



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα  
σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο  
HST και επίγεια δεδομένα**

**Πέτρος Α. Δραζίνος**

**ΑΘΗΝΑ**

**Μάρτιος 2016**





**NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS**

**SCHOOL OF SCIENCES  
DEPARTMENT OF PHYSICS**

**PhD THESIS**

**Star forming regions and stellar structures in nearby  
galaxies using data from HST and ground bases  
instruments**

**Petros A. Drazinos**

**ATHENS**

**MARCH 2016**



## **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

**Πέτρος Α. Δραζίνος**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** **Μαρία Κοντιζά**, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:**

**Μαρία Κοντιζά**, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

**Δέσποινα Χατζηδημητρίου**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

**Αναστάσιος Δαπέργολας**, Διευθυντής Ερευνών ΕΑΑ

## **ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Μαρία Κοντιζά**,  
Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

**Δέσποινα Χατζηδημητρίου**,  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια  
ΕΚΠΑ

**Αναστάσιος Δαπέργολας**,  
Διευθυντής Ερευνών ΕΑΑ

**Θεοχάρης Αποστολάτος**,  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Στυλιανός Καζαντζίδης**,  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Άλκηστις Μπονάνου**,  
Εντεταλμένη Ερευνήτρια  
ΕΑΑ

**Ιωάννης Μπέλλας - Βελίδης**,  
Κύριος Ερευνητής ΕΑΑ

**Ημερομηνία Εξέτασης: 17 Μαρτίου 2016**



## **PhD THESIS**

Star forming regions and stellar structures in nearby galaxies using data from HST and ground bases instruments

**Petros A. Drazinos**

**SUPERVISOR:** **Mary Kontizas**, Assistant Professor UoA

### **THREE-MEMBER ADVISORY COMMITTEE:**

**Mary Kontizas**, Assistant Professor UoA

**Despina Hatzidimitriou**, Associate Professor UoA

**Anastasios Dapergolas**, Research Director NOA

### **SEVEN-MEMBER EXAMINATION COMMITTEE**

**Mary Kontizas**,  
Assistant Professor UoA

**Despina Hatzidimitriou**,  
Associate Professor UoA

**Anastasios Dapergolas**,  
Research Director NOA

**Theocharis Apostolatos**,  
Assistant Professor UoA

**Stylianos Kazantzidis**,  
Assistant Professor UoA

**Alceste Bonanos**,  
Associate Researcher NOA

**Ioannis Bellas-Velidis**,  
Senior Researcher NOA

**Examination Date: March 17, 2016**







## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη της δημιουργίας των αστέρων στους γαλαξίες αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο στην κατανόηση του αστρικού πληθυσμού των γαλαξιών και της εξέλιξης τους. Η διαφοροποίηση και οι λόγοι αυτής της ποικιλίας ιδιοτήτων του αστρικού πληθυσμού στους γαλαξίες αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας. Το αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής είναι η ανίχνευση, καταλογοποίηση και μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας σε γειτονικούς γαλαξίες με την ανάπτυξη μιας αυτόματης μεθόδου για την ανίχνευση τους. Σημαντικό μέρος αυτής της διατριβής είναι η χρήση των αποτελεσμάτων της αυτόματης μεθόδου για την προετοιμασία και την επεξεργασία των δεδομένων της διαστημικής αποστολής ESA/Gaia. Το πρόγραμμα ανίχνευσης αστρικών ομάδων βασίζεται στον αλγόριθμο συσταδοποίησης Friends of friends ο οποίος και τροποποιήθηκε για της ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης. Τα αποτελέσματα της εργασίας προσφέρουν τη δυνατότητα για τη μελέτη των αστρικών ομάδων νεαρών άστρων σε μεγάλη κλίμακα, καθώς η μέθοδος εφαρμόστηκε σε δέκα διαφορετικούς γαλαξίες ανιχνεύοντας περίπου 6.000 αστρικές ομάδες. Μελετήθηκαν οι ιδιότητες των αστρικών ομάδων και βρέθηκαν ενδείξεις που επιβεβαιώνουν την ιεραρχική δομή των περιοχών αστρικής δημιουργίας αλλά και το διαχωρισμό των ομάδων σε κατηγορίες με βάση τη διάστασή τους. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε για την εργασία είναι ένα εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρύτερα, σε προβλήματα ομαδοποίησης μεγάλου όγκου δεδομένων.

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:** Εξωγαλαξιακή Αστρονομία

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Γαλαξιακή δομή, Αστρικές δομές, Στατιστικές μέθοδοι, Ανάλυση δεδομένων, Κατάλογοι



## **ABSTRACT**

The aim this thesis is a) to develop a new method for the identification of young stellar structures and b) to prepare for the future data from the Gaia mission concerning the study of the young stellar content of the Local Group galaxies. The study of star forming regions and particularly of stellar associations is very important as it can provide a better understanding on the stellar formation process and the structure of galaxies. The method developed in this thesis is an alternate version of a Friend of Friend algorithm, a cluster finding technique, categorized as an hierarchical clustering - divisive algorithm which can classify an object only as a member of a single class. Ten galaxies in various distances were studied using the developed algorithm and thousands of young stellar structures were detected. Our method can identify stellar structures from small sizes of a few pc up to large structures with size of a few kpc. Therefore it can provide information on the structure of small and large scale star forming regions in the studied galaxies confirming the existence of distinct levels of hierarchical structure as suggested in relative literature.

**SUBJECT AREA:** Extragalactic Astronomy

**KEYWORDS:** Galactic structure, Stellar structures, Statistical methods, Data analysis, Catalogues



*Στους γονείς μου, στη γυναίκα μου και στα αδέρφια μου.*





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την υποστήριξη πολλών ανθρώπων. Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα Επικ. Καθηγήτρια κα Μαρία Κοντιζά και το σύζυγό της Δντη Ερευνών του ΕΑΑ κο Ευάγγελο Κοντιζά για την επιστημονική και πνευματική καθοδήγηση που μου παρείχαν αλλά και για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπό μου. Ο τρόπος δουλειάς τους, η ηθική τους στάση και η αγάπη που έδειξαν θα είναι πάντα σημείο αναφοράς στη ζωή μου.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου Αναστάσιο Δραζίνο και Θεοδώρα Δραζίνου, στη γιαγιά μου Φωτεινή, στη θεία μου Ειρήνη Δραζίνου, στη γυναίκα μου Ειρήνη Ζαχαροπούλου και στα αδέρφια μου Κατερίνα Δραζίνου και Κώστα Παπαναστασίου, για την βοήθεια τους, ηθική, πνευματική, οικονομική αλλά κυρίως για την αγάπη και την κατανόηση που έδειξαν. Χωρίς εσάς δεν θα είχα καταφέρει να φτάσω έως εδώ.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου, Γιάννη Αναγνωστάτο, Άννα Σαχανίδου και Σταύρο Καραγιαννακίδη για τη αγάπη και τη στήριξη τους που ήταν πολύ σημαντική για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους μου Δρ Αντώνιο Καραμπέλα, Δρ Ευδοκία Λιβανού και Δρ Παναγιώτη Γαβρά για την υποστηρίξη και τη φιλία που μου προσέφεραν. Ευχαριστώ θερμά τον Δρ Ιωάννη Μπέλλα-Βελίδη για τη συνεργασία, τις επιστημονικές παρατηρήσεις του και τη βοήθειά του. Ευχαριστώ τον Δρ Αναστάσιο Δαπέργολα για την υποστήριξη του και τις λεπτομερείς διορθώσεις στη διατριβή. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τη Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα Δέσποινα Χατζηδημητρίου για τις επιστημονικές παρατηρήσεις της και την ηθική υποστήριξη που μου παρείχε.

Ευχαριστώ τη Δρ Άλκηστη Μπονάνου, το Δρ Στυλιανό Καζαντζίδη και το Δρ Θεοχάρη Αποστολάτο για τις επιστημονικές τους παρατηρήσεις και διορθώσεις στο κείμενο της διατριβής. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τη γραμματέα του τομέα Αστρονομίας, Αστροφυσικής και Μηχανικής κα Σοφία Ζαρμπούτη για τη βοήθεια που προσέφερε όποτε χρειάστηκε.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ</b>	<b>33</b>
1.1	Εισαγωγή . . . . .	33
1.2	Ομαδοποίηση (Clustering) . . . . .	40
1.2.1	Αλγόριθμος Friends of Friends . . . . .	42
1.2.2	Διαδικασία ανίχνευσης αστρικών ομάδων . . . . .	44
1.3	Σχόλια - Παρατηρήσεις . . . . .	50
1.3.1	Εκδόσεις του προγράμματος ανίχνευσης αστρικών ομάδων . . . . .	50
1.3.2	Nmin . . . . .	50
1.3.3	Εύρος τιμών Ds . . . . .	51
1.3.4	Εφαρμογές της μεθόδου . . . . .	51
1.3.4.1	Δεδομένα σε τρεις διαστάσεις . . . . .	51
1.3.4.2	Ομάδες αστέρων άνθρακα στο LMC . . . . .	56
1.3.4.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων . . . . .	59
<b>2</b>	<b>ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ - HST</b>	<b>63</b>
2.1	Εισαγωγή . . . . .	63
2.2	Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble . . . . .	64
2.2.1	Περιγραφή των οργάνων στο HST . . . . .	64
2.2.1.1	Space Telescope Imaging Spectrograph . . . . .	64
2.2.1.2	Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer . . . . .	65
2.2.1.3	Advanced Camera for Surveys . . . . .	65
2.2.1.4	Fine Guidance Sensors . . . . .	66
2.2.1.5	Cosmic Origins Spectrograph . . . . .	66
2.2.1.6	Wide Field Camera 3 . . . . .	66
2.3	Wide Field Planetary Camera 2 . . . . .	68
2.4	Γαλαξίες . . . . .	70
2.4.1	NGC 925 . . . . .	70
2.4.2	NGC 2541 . . . . .	70

2.4.3	NGC 3351	70
2.4.4	NGC 3621	71
2.4.5	NGC 4548	71
2.4.6	NGC 5457	71
2.5	Δεδομένα	72
2.5.1	Παρατηρήσεις	72
2.5.2	Φωτομετρική ανάλυση	72
2.6	Εφαρμογή της αυτόματης μεθόδου εντοπισμού αστρικών δομών	73
2.6.1	Επιλογή αστέρων κύριας ακολουθίας	73
2.6.2	Αποτελέσματα	74
2.7	Σχόλια - Παρατηρήσεις	77
<b>3</b>	<b>ΕΞΩΓΑΛΑΞΙΑΚΑ ΑΣΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΑΠΟΣΤΟΛΗ GAIΑ</b>	<b>91</b>
3.1	Εισαγωγή	91
3.2	Διαστημική αποστολή Gaia	92
3.2.1	Εισαγωγή	92
3.2.2	Επιστημονικοί στόχοι	92
3.2.3	Κατάσταση λειτουργίας	93
3.2.4	Μονάδα ωφέλιμου φορτίου (Payload Module)	94
3.3	Γαλαξίες του Τοπικού Σμήνου	98
3.3.0.1	Νέφη του Μαγγελάνου	98
3.3.0.2	M31	99
3.3.0.3	M33	99
3.3.0.4	NGC6822	99
3.3.0.5	Phoenix	100
3.3.0.6	Pegasus	100
3.3.0.7	WLM	100
3.3.0.8	IC10	100
3.3.0.9	Sextans A	101
3.3.0.10	Sextans B	101
3.4	Δεδομένα - Παρατηρήσεις	102
3.4.1	Local Group Galaxy Survey - LGGS	102

3.4.2	Magellanic Clouds Photometric Survey - MCPS . . . . .	102
3.5	Προετοιμασία για τα μελλοντικά δεδομένα από τη Gaia . . . . .	105
3.5.1	Crowding . . . . .	107
3.5.2	Εφαρμογή της αυτόματης μεθόδου . . . . .	107
3.5.3	Αποτελέσματα . . . . .	111
3.6	Σχόλια - Παρατηρήσεις . . . . .	113
<b>4</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>129</b>
4.1	Αυτόματη μέθοδος . . . . .	129
4.2	Εφαρμογή της μεθόδου . . . . .	130
4.3	Προετοιμασία για την αποστολή Gaia . . . . .	134
4.4	Μελλοντικά Σχέδια . . . . .	135
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>137</b>
<b>A</b>	<b>ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB ΚΑΙ IDL</b>	<b>137</b>
I	ΕΙΣΑΓΩΓΗ . . . . .	137
II	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ . . . . .	140
III	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ . . . . .	143
IV	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ FOF . . . . .	144
V	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ . . . . .	168
VI	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΙΜΗ $D_s$ . . . . .	175
VII	ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ . . . . .	178
VIII	ΤΕΛΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ . . . . .	182
IX	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ . . . . .	187
X	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ . . . . .	189
XI	ΙΣΟΧΡΟΝΕΣ . . . . .	208
XII	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΜΕΓΕΘΟΣ $G$ . . . . .	212
XIII	CROWDING . . . . .	213
XIV	ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΜΗΝΗ . . . . .	218
XV	ΑΣΤΕΡΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ . . . . .	240
	<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>263</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- 1.1 Το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου των Huchra & Geller (1982) ( $D_{12}$ : απόσταση μεταξύ δύο γαλαξιών,  $D_L$ : προκαθορισμένο όριο απόστασης για το οποίο δύο γαλαξίες θεωρούνται μέλη της ίδιας ομάδας.  $V_{12}$ : διαφορά ταχύτητας μεταξύ δύο γαλαξιών,  $V_L$ : προκαθορισμένο όριο της διαφοράς της ταχύτητας για το οποίο δύο γαλαξίες θεωρούνται μέλη της ίδιας ομάδας.) 43
- 1.2 Επιλογή τιμής της ακτίνας έρευνας (Ds) από τον αλγόριθμο FoF στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης την αυτόματης μεθόδου εντοπισμού αστρικών δομών στο σπειροειδή γαλαξία NGC 925. . . . . 45
- 1.3 Επιλογή μιας τιμής Ds για κάθε κατηγορία ταξινόμησης στον NGC 925. . . 47
- 1.4 Οι πέντε κατηγορίες ομάδων σε ένα γράφημα και η επιλογή πέντε τιμών Ds από τον αλγόριθμο, μια για κάθε κατηγορία. . . . . 48
- 1.5 Γράφημα επιλογής Ds από τον αλγόριθμο FoF. Επιρροή του ελάχιστου αριθμού μελών μιας ομάδας,  $N_{min}$ , στον αριθμό ομάδων που ανιχνεύονται και στην τιμή του Ds. . . . . 52
- 1.6 Γράφημα της μέσης τιμής μεγέθους για τις ομάδες που ανιχνεύονται από τον αλγόριθμο ανάλογα με την τιμή του ελάχιστου αριθμού μελών κάθε ομάδας,  $N_{min}$ , για διάφορες τιμές της ακτίνας έρευνας. . . . . 53
- 1.7 Γράφημα του αριθμού των άστρων σε σχέση με το σύνολο των άστρων του καταλόγου τα οποία είναι μέλη ομάδων για διάφορες τιμές της ακτίνας έρευνας (Γαλαξίες από HST). . . . . 54
- 1.8 Γράφημα του αριθμού των άστρων σε σχέση με το σύνολο των άστρων του καταλόγου τα οποία είναι μέλη ομάδων για διάφορες τιμές της ακτίνας έρευνας (Γαλαξίες από επίγεια τηλεσκόπια). . . . . 55
- 1.9 Γράφημα επιλογής τιμής ακτίνας έρευνας. . . . . 56
- 1.10 Γραφική απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις των ομάδων Ανοιχτών Σμηνών που ανιχνεύθηκαν με την αυτόματη μέθοδο. . . . . 57
- 1.11 Απεικόνιση αστερών άνθρακα χωρισμένων σε τέσσερα υποσύνολα. . . . . 57
- 1.12 Γράφημα επιλογής τιμής ακτίνας έρευνα για κάθε υποσύνολο αστερών άνθρακα. . . . . 58
- 1.13 Τα κέντρα των ομάδων αστερών άνθρακα που ανιχνεύθηκαν από τη μέθοδο στο LMC. . . . . 58
- 1.14 Ισοπληθείς κατανομές στο SMC. . . . . 60
- 1.15 Ομάδες άστρων κύριας ακολουθίας του SMC σύμφωνα με την ταξινόμηση της μεθόδου. . . . . 61

2.1	Γραφική απεικόνιση του HST. . . . .	64
2.2	Γραφική απεικόνιση του οπτικού πεδίου της WFPC2. . . . .	69
2.3	Γραφική απεικόνιση της προβολής του οπτικού πεδίου της WFPC2. . . . .	69
2.4	Έξι σπειροειδείς γαλαξίες από το HST. . . . .	79
2.5	Το όριο του απόλυτου μεγέθους $M_v$ για το 50% της πληρότητας σε κάθε γαλαξία. . . . .	80
2.6	Σφάλματα στο απόλυτο μέγεθος $M_v$ για τον NGC 925. . . . .	80
2.7	CMD του NGC 925. . . . .	81
2.8	Γράφημα της τιμής της ακτίνας έρευνας ( $D_s$ ) με το πλήθος των ομάδων που ανιχνεύθηκαν από τον αλγόριθμο. . . . .	82
2.9	Κατανομή διαστάσεων για associations και aggregates για κάθε γαλαξία. . . . .	83
2.10	Επιφανειακή πυκνότητα των ομάδων του NGC 925. Associations (30-100 pc), Aggregates (100-300pc), Complexes (300-1000pc), Supercomplexes(>1000pc). . . . .	84
2.11	Κατανομή επιφανειακής πυκνότητας ομάδων για κάθε γαλαξία. . . . .	85
2.12	Γραφική απεικόνιση όλων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν για τους γαλαξίες NGC 925 και NGC 2541. . . . .	86
2.13	Γραφική απεικόνιση όλων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν για τους γαλαξίες NGC 3351 και NGC 3621. . . . .	87
2.14	Γραφική απεικόνιση όλων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν για τους γαλαξίες NGC 4548 και NGC 5457. . . . .	88
2.15	Συναρτήσεις λαμπρότητας των διαφόρων δομών που ανιχνεύθηκαν για κάθε γαλαξία. . . . .	89
3.1	Στιγμιότυπα από την εκτόξευση της Gaia. . . . .	95
3.2	Το αστρικό σμήνος NGC 1818 στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου. . . . .	96
3.3	Γραφική απεικόνιση του αστρομετρικού πεδίου και του φασματογράφου ακτινικής ταχύτητας με τα δύο πρίσματα (BP/RP) του φωτομετρικού οργάνου. . . . .	96
3.4	Γραφική απεικόνιση του εστιακού επιπέδου της Gaia. . . . .	97
3.5	Γραφική απεικόνιση του αστρομετρικού οργάνου. . . . .	98
3.6	Ο M31 με τα πεδία παρατήρησης. . . . .	103
3.7	Ο M33 με τα πεδία παρατήρησης. . . . .	103
3.8	Επιφανειακή πυκνότητα του LMC και SMC για άστρα εντός ορίου παρατήρησης του φωτομετρικού οργάνου ( $G < 20$ ). . . . .	108



3.9	Επιφανειακή πυκνότητα του LMC και SMC για άστρα εντός ορίου παρατήρησης του φασματογράφου ακτινικής ταχύτητας ( $G < 17$ ).	108
3.10	Κατανομή της επιφανειακής πυκνότητας για άστρα με $G < 20$ για το LMC και το SMC.	109
3.11	Κατανομή της επιφανειακής πυκνότητας για άστρα με $G < 16$ για το LMC και το SMC.	109
3.12	CMD's των LMC και SMC.	110
3.13	CMD's των M31 και M33.	116
3.14	CMD's των έξι νάνων γαλαξιών από το LGGS με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από τη Gaia ( $G < 20$ ).	117
3.15	Σύγκριση εικόνων από την ίδια περιοχή του M31 (OB58) από το KPNO και από το HST (WFPC2).	118
3.16	CMD της περιοχής 58 του M31 με δεδομένα από το HST/Treasury και το KPNO/LGGS.	118
3.17	Γραφική απεικόνιση των LMC και SMC όπως εκτιμάται πως θα παρατηρήσει η Gaia.	119
3.18	Γραφική απεικόνιση των M31, M33 και NGC 6822 όπως εκτιμάται πως θα παρατηρήσει η Gaia.	120
3.19	Οι έξι νάνοι γαλαξίες από το LGGS με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από τη Gaia ( $G < 20$ )	121
3.20	Αστρικές δομές στο SMC με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.	122
3.21	Αστρικές δομές στο M31 με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.	123
3.22	Αστρικές δομές στο M33 με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.	124
3.23	Αστρικές δομές στο NGC 6822 με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.	125
3.24	Κατανομή διαστάσεων των αστρικών ομάδων από 200 έως 800 pc στους γαλαξίες NGC 6822, SMC, M31 και M33.	126
3.25	Κατανομή διαστάσεων των αστρικών ομάδων έως 100 pc στους γαλαξίες SMC, NGC 6822, M31 και M33.	127
3.26	Surface density estimated for SMC, NGC 6822, M31 and M33.	128
4.1	Μέση τιμή διάστασης για κάθε κατηγορία κατάταξης σε δέκα γαλαξίες.	132
4.2	Διάμεσος των τιμών διάστασης για κάθε κατηγορία κατάταξης σε δέκα γαλαξίες.	133



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1	Ταξινόμηση των αστρικών ομάδων. . . . .	34
1.2	Διάφοροι μέθοδοι ανίχνευσης και αποτελέσματα. . . . .	35
2.1	Στοιχεία των παρατηρήσεων για κάθε γαλαξία από το HST. . . . .	72
2.2	Γενικά στοιχεία της φωτομετρικής ανάλυσης. . . . .	73
2.3	Τιμές της ακτίνας έρευνας (Ds) από τον αλγόριθμο για κάθε γαλαξία και κάθε κατηγορία ταξινόμησης. . . . .	75
2.4	Δείγμα του καταλόγου των ομάδων που εντοπίστηκαν στον NGC 925. . . .	75
2.5	Πλήθος ομάδων που ανιχνεύθηκαν για κάθε κατηγορία ταξινόμησης και τα χαρακτηριστικά τους για κάθε γαλαξία. . . . .	76
3.1	Κατάλογος γνωστών άστρων από επίγειες παρατηρήσεις μέσα στα όρια παρατήρησης της Gaia για το SMC. . . . .	106
3.2	Κατάλογος άστρων μέσα στα όρια παρατήρησης της Gaia για το M31. . . .	106
3.3	Εκτίμηση αριθμού άστρων από δημοσιευμένους καταλόγους επίγειων παρατηρήσεων που θα αναμένεται να παρατηρήσει η Gaia σε έντεκα γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους. . . . .	111
3.4	Τιμές της ακτίνας έρευνας (Ds) από τον αλγόριθμο για κάθε γαλαξία και κάθε κατηγορία ταξινόμησης. . . . .	112
3.5	Κατάλογος αστρικών ομάδων από την αυτόματη μέθοδο στο SMC. . . . .	113
3.6	Πλήθος ομάδων για κάθε κατηγορία ταξινόμησης και χαρακτηριστικά της για κάθε γαλαξία. . . . .	114



# 1. ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ

## 1.1 Εισαγωγή

Η μελέτη της δημιουργίας αστέρων στους γαλαξίες αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο στην κατανόηση του αστρικού πληθυσμού των γαλαξιών και αντίστοιχα της εξέλιξής τους. Οι περιοχές αστρογέννησης έχουν ιεραρχική δομή (Elmegreen & Efremov 1996, Maragoudaki et al. 1998) και η διάστασή τους αντιστοιχεί σε μια χρονοκλίμακα αστρικής δημιουργίας (Efremov & Elmegreen 1998). Οι δομές μεγάλης κλίμακας μερικών εκατοντάδων pc διαιρούνται σε μικρότερες δομές από μερικές δεκάδες pc όπως τα OB associations έως ομάδες με διάσταση μόλις μερικών pc (Bianchi et al. 2012). Τα OB associations μπορούν να θεωρηθούν σαν τα δομικά στοιχεία της δημιουργίας των Σπειροειδών γαλαξιών (Efremov & Chernin 1994). Έτσι οι περιοχές αστρικής δημιουργίας και το αστρικό τους περιεχόμενο είναι ένα βασικό κομμάτι στη διαδικασία της γαλαξιακής εξέλιξης. Η διαφοροποίηση και οι λόγοι αυτής της ποικιλίας ιδιοτήτων του αστρικού πληθυσμού στους γαλαξίες αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας. Μία προσέγγιση για την μελέτη του αστρικού πληθυσμού είναι η μελέτη των αστέρων στα αρχικά στάδια της αστρικής εξέλιξης. Ο νεαρός αστρικός πληθυσμός δύναται να μελετηθεί κυρίως σε αστρικά συστήματα, όπου έχουμε την δυνατότητα για να προσδιορίσουμε την ηλικία, τη μεταλλικότητα και άλλα χαρακτηριστικά των εν λόγω αστέρων.

Το αντικείμενο αυτής της διδακτορικής διατριβής είναι η ανίχνευση, καταλογοποίηση και μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας σε γειτονικούς γαλαξίες με την ανάπτυξη μιας αυτόματης μεθόδου για την ανίχνευση τους. Σημαντικό μέρος αυτής της διατριβής είναι η χρήση των αποτελεσμάτων της αυτόματης μεθόδου για την προετοιμασία και την επεξεργασία των δεδομένων της διαστημικής αποστολής ESA/Gaia.

Ο πρώτος που πρότεινε τον όρο stellar association ήταν ο Abartsumian (1949) και αργότερα ο Blaauw (1964) περιέγραψε αυτές τις αστρικές ομάδες ως μεγάλες αστρικές ομάδες αστέρων φασματικού τύπου O και B οι οποίες δεν είναι βαρυτικά δεσμευμένες. Έχει γίνει αποδεκτό ότι άστρα φασματικού τύπου O και B δημιουργούν ομάδες τόσο στο Γαλαξία όσο και στα Νέφη του Μαγγελάνου. Οι ομάδες αυτές ποικίλουν σε μέγεθος, οι μικρότερες από ένα έως δύο pc, σε πιο μεγάλες με μέσο μέγεθος 100 pc και σε ακόμα μεγαλύτερες ομάδες που φτάνουν σε μέγεθος τα 500 μέχρι 1000 pc (Battinelli et al. 1996).

Στη βιβλιογραφία ο όρος "stellar association" χρησιμοποιήθηκε ευρέως για να περιγράψει διάφορα είδη αστρικών ομάδων με μικρές και μεγάλες διαστάσεις (Ivanov 1996). Το μέγεθος των associations που συναντάμε στη βιβλιογραφία εξαρτάται από τα κριτήρια και τον αλγόριθμο ανίχνευσής τους, από την απόσταση του γαλαξία στον οποίο βρίσκονται και από την κλίμακα της εικόνας (Hodge 1986). Αρχικά η διαδικασία αναγνώρισης μιας τέτοιας ομάδας γινόταν με υποκειμενικά κριτήρια επιλογής (Lucke & Hodge 1970, Hodge 1986), κατά συνέπεια η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων διάφορων μελετών γινόταν δύσκολη έως αδύνατη.

Μια προσπάθεια για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα ήταν η μέθοδος που πρότεινε ο

Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

Όρολογία	Διάσταση (pc)
Clusters	< 30
Associations	30-100
Aggregates	100-300
Complexes	300-1000
Supercomplexes	> 1000

Table 1.1: Ταξινόμηση των αστρικών ομάδων.

P. Battinelli (1991). Μια αντικειμενική μέθοδο ανίχνευσης αστρικών ομάδων την οποία ονόμασε Path Linkage Criterion (από εδώ και πέρα PLC). Η μέθοδος PLC βασίζεται στις γενικές αρχές ενός Ιεραρχικού Διαιρετικού αλγορίθμου που χρησιμοποιεί σαν κριτήριο την πλήρη απόσταση. Για να αποφευχθεί η σύγχυση που δημιουργούσε η γενική χρήση του όρου association οι Efremov (1987) και Battinelli (1991) υιοθέτησαν την ταξινόμηση των ομάδων OB σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους με την εξής ορολογία. Ομάδες με διάσταση  $\sim 1-20$  pc ονομάστηκαν clusters, ο όρος associations χρησιμοποιήθηκε για ομάδες με τυπική διάσταση  $\sim 100$  pc και οι ομάδες με μέγεθος  $\sim 500$  pc ονομάστηκαν complexes. Διάφορες αυτόματες μέθοδοι έχουν εφαρμοσθεί κι εμφανίστηκαν στη βιβλιογραφία τα επόμενα χρόνια όπως τα δένδρογράμματα (Maschberger et al. 2010) και το nearest neighbor (Gouliermis 2010).

Ένα παράδειγμα από τις διάφορες μεθόδους που υπάρχουν στη βιβλιογραφία δίνεται στον Πίνακα 1.1 (Gouliermis et al. 2003) όπου δίνονται συνοπτικά αποτελέσματα και μέθοδοι ανίχνευσης. Χαρακτηριστικό των μεθόδων αυτών είναι η ανίχνευση αστρικών ομάδων σε σχετικά μικρό εύρος διάστασης. Αυτό αποτελεί και το βασικό κίνητρο για τη συγκεκριμένη διατριβή. Η ανίχνευση αστρικών ομάδων σε μεγάλο εύρος διαστάσεων ώστε να μας δοθεί η δυνατότητα να μελετήσουμε και την ιεραρχική δομή των περιοχών αυτών.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού αναπτύχθηκε μια αυτόματη μέθοδος η οποία χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη μορφή του αλγορίθμου Friends of Friends (FoF) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για τη μελέτη γαλαξιακών σμηνών (Huchra & Geller 1982, Press & Davis 1982, Einasto et al. 1984). Κατά την ανάπτυξη της μεθόδου ανίχνευσης νεαρών αστρικών δομών η ορολογία που χρησιμοποιήσαμε για την ταξινόμηση των δομών αυτών βασίστηκε στην ορολογία του Efremov (1987) και ακολούθως του Battinelli (1996) και τροποποιήθηκε χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα από μελέτες στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου (LMC) (Maragoudaki et al. 1998, Maragoudaki et al. 2001, Livanou et al. 2006) , στο Μικρό Νέφος του Μαγγελάνου (SMC) (Livanou et al. 2007) και στο νάνο γαλαξία NGC 6822 (Karampelas et al. 2009). Η τελική ταξινόμηση και ορολογία που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.1

Η αυτόματη μέθοδος ανίχνευσης που αναπτύξαμε είναι ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης δεδομένων και ανήκει στην κατηγορία των Ιεραρχικών Συσσωρευτικών αλγορίθμων (Hierarchical Agglomerative). Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης (clustering algorithms) δημιουργήθηκαν για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με τον διαχωρισμό ενός συνόλου δεδομένων σε ομάδες. Ο διαχωρισμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα μέλη

Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

Table 1.2: Διάφοροι μέθοδοι ανίχνευσης και αποτελέσματα (Gouliermis et al. 2003).

Galaxy Name	Hubble Type	Number	Size (pc)			References	Detection Method
			min	mean	max		
Sextans A	E	3		93		Ivanov (1996)	6
M31	Sb	210	20	80		Efremov et al. (1987)	1
		15		83		Ivanov (1996)	6
		142		440		Hodge (1986)	1
NGC 7331	Sb	143		200		Humphreys & Sandage (1980)	1
		460	30	80	270		Ivanov (1987)
		289	6	66	305	Ivanov (1991)	5
		8		87		Ivanov (1996)	6
		41	10	40	120	Wilson (1991)	3
		88	160	348	600	Hodge (1985a)	1
		235		290		Hodge (1986)	1
NGC 4303	SBbc	122	15	78	150	Lucke & Hodge (1970)	1
		2883	5	18	272		Bica et al. (1999)
		153	21	86	190	Gouliermis (2003)	7
		24		250		Maragoudaki (2009)	8
		5		164		Livanou (2006)	8
		70	18	77	180	Hodge (1985b)	1
SMC	Irr	31	50	90	270	Battinelli (1991)	4
		200	9	46	234	Bica & Schmitt (1995)	1
				~ 150		Livanou (2006)	8
				150		Hodge (1977)	2
NGC 6822	Ir+	16	48	163	305	Karampelas (2009)	8
		6		72			Ivanov (1996)
IC 1613	Irr	20	68	164	485	Hodge (1978)	2
		6		83		Ivanov (1996)	6
Pegasus	Irr	3		65		Ivanov (1996)	6
GR8	Irr	3		114		Ivanov (1996)	6
HolX	Im	3		72		Ivanov (1996)	6

#### DETECTION METHODS EXPLANATIONS

- 1: Detection by eye on photographic plates or films.
- 2: Detection by eye using star counts from photoelectric and photographic observations.
- 3: "Friends of friends" grouping algorithm on stars from CCD observations.
- 4: "Path Linkage Criterion" applied on O-B2 stars selected from objective-prism observations.
- 5: "Cluster analysis" technique on stars from photographic observations.
- 6: Automated "cluster analysis" technique on OB stars selected from CCD observations.
- 7: Objective statistical method based on star counts from photographic stellar catalogs.
- 8: Isopleth contour maps.

κάθε ομάδας να είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους από ότι είναι με τα μέλη των άλλων ομάδων.

Οι συσσωρευτικοί αλγόριθμοι ομαδοποίησης ενός συνόλου δεδομένων χαρακτηρίζουν κάθε αντικείμενο του συνόλου ως μια ξεχωριστή ομάδα (κλάση). Στη συνέχεια ανάλογα με το κριτήριο επιλογής που χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο τα αντικείμενα συγχωνεύονται σε κλάσεις. Για παράδειγμα εάν δύο αντικείμενα βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από ένα προκαθορισμένο όριο ανήκουν στην ίδια κλάση. Η απόσταση

ονομάζεται κριτήριο επιλογής και στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιείται η ελάχιστη τιμή της απόστασης μεταξύ των αντικειμένων (single linkage). Έτσι δημιουργείται ένα σύνολο από ομάδες οι οποίες βρίσκονται ή μια μέσα στην άλλη. Κάθε αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια κλάσεις ταυτόχρονα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου αλγόριθμου εκτός από το FoF είναι τα δένδρογράμματα (dendrograms).

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας των συσσωρευτικών αλγόριθμων μας επιτρέπει να εξετάσουμε την ιεραρχική δομή των ομάδων από πολύ μεγάλη έως τη μικρότερη κλίμακα. Το κριτήριο επιλογής στη μέθοδό μας αλλά και στις περισσότερες εφαρμογές του είδους στην αστρονομία είναι η απόσταση μεταξύ των αντικειμένων. Συνήθως στις αστρονομικές εφαρμογές των συσσωρευτικών αλγόριθμων χρησιμοποιείται η μικρότερη απόσταση (single linkage). Η χρήση της μικρότερης απόστασης έχει ένα σοβαρό μειονέκτημα, να ανιχνεύει ασύμμετρες κι επιμηκυμένες ομάδες με μικρή επιφανειακή πυκνότητα (Feigelson & Babu 2012). Στη μέθοδό μας χρησιμοποιείται σαν κριτήριο επιλογής η μέγιστη απόσταση μεταξύ των αντικειμένων που συνήθως ανιχνεύει συμμετρικές και συμπαγείς ομάδες.

Ένα βασικό πρόβλημα για τη μέθοδο ομαδοποίησης είναι η επιλογή της τιμής της απόστασης για την οποία δύο ή περισσότερα αντικείμενα θα θεωρούνται μέλη της ίδιας ομάδας. Συνήθως σε ανάλογα προβλήματα στην αστρονομία η ομαδοποίηση των δεδομένων γίνεται για μια τιμή της απόστασης μετά από μια διαδικασία επιλογής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν από τους Battinelli (1991), Battinelli et al. (1996) και Gouliermis (2010). Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων έχει σαν αποτέλεσμα την ανίχνευση ομάδων που ανήκουν κυρίως σε μία ή δύο κατηγορίες ταξινόμησης, όπως φαίνεται και από τη μέση διάσταση των ομάδων στον Πίνακα . Η μέθοδος που αναπτύξαμε επιλέγει αυτόματα πέντε διαφορετικές τιμές απόστασης, μια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά ο αλγόριθμος μας δίνει πέντε διαφορετικούς διαχωρισμούς του συνόλου δεδομένων ώστε να ικανοποιεί την αρχική συνθήκη που θέσαμε, την ανίχνευση ομάδων σε ευρεία κλίμακα διαστάσεων και τη μελέτη της ιεραρχικής δομής.

Η μέθοδος αποτελείται από οκτώ προγράμματα για την ανάπτυξη των οποίων χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB και η γλώσσα προγραμματισμού IDL. Εφαρμόστηκε σε δέκα διαφορετικούς γαλαξίες με παρατηρησιακά δεδομένα από το Hubble Space Telescope και από τρία επίγεια τηλεσκόπια. Οι παρατηρήσεις έγιναν στα πλαίσια τριών ερευνών, το HST Key Project (Freedman et al. 1994, Kennicutt et al. 1995), το Local Group Galaxy Survey (LGGS), (Zaritsky et al. 2002, Zaritsky et al. 2004) και Magellanic Clouds Photometric Survey (MCPS) (Massey et al. 2006, Massey et al. 2007). Ο αστρικός κατάλογος στον οποίο και εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ομαδοποίησης δημιουργείται από τον αρχικό αστρικό κατάλογο των παρατηρήσεων. Από το Color Magnitude Diagram και με τη χρήση θεωρητικών ισόχρονων επιλέγονται άστρα κύριας ακολουθίας και σχετικά νεαρής ηλικίας μέχρι περίπου 100 Myr. Ο κατάλογος αυτός χρησιμοποιείται στη συνέχεια από τον αλγόριθμο για την επιλογή των πέντε τιμών της απόστασης. Ακολουθεί ο διαχωρισμός του συνόλου σε ομάδες και η δημιουργία καταλόγων αστρικών ομάδων (Drazinos et al



2013, Drazinos et al 2014).

Συνολικά με τη μέθοδό μας ανιχνεύσαμε περίπου 6.000 αστρικές ομάδες και δημιουργήσαμε δέκα νέους καταλόγους αστρικών ομάδων. Οι δομές που ανιχνεύθηκαν παρουσίασαν μικρό εύρος μέσης διάστασης σε κάθε μια από τις κατηγορίες ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα παρέχουν ενδείξεις για την ιεραρχική κατανομή της δομής των περιοχών που μελετήθηκαν και για το διαχωρισμό των αστρικών ομάδων σε κατηγορίες διάστασης ανεξαρτήτως τύπου γαλαξία, απόστασης ή οργάνου παρατήρησης. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε για την εργασία είναι ένα εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρύτερα σε προβλήματα ομαδοποίησης μεγάλου όγκου δεδομένων.

Η χρήση της μεθόδου μας έδωσε επίσης τη δυνατότητα να γίνει εκτίμηση της συνεισφοράς της διαστημικής αποστολής Gaia στη μελέτη του αστρικού πληθυσμού σε γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας. Οι αστρικοί κατάλογοι των τεσσάρων γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας στους οποίους έγινε η εφαρμογή του αλγόριθμου αποτελούνται κυρίως από άστρα εντός ορίου παρατήρησης της Gaia. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη αστρικού πληθυσμού έξω από το Γαλαξία δεν συμπεριλαμβανόταν στους αρχικούς στόχους της αποστολής. Για το συγκεκριμένο κομμάτι της εργασίας προτιμήθηκαν παρατηρήσεις από επίγειες έρευνες γιατί προσομοιάζουν τον τρόπο παρατήρησης της Gaia. Δημιούργησαν ομοιογενείς καταλόγους καλύπτοντας ένα μεγάλο κομμάτι του ουρανού αλλά με σημαντικά μικρότερη ακρίβεια. Η προετοιμασία για την διαστημική αποστολή Gaia έχει τρεις στόχους:

1. Εκτίμηση του πλήθους των άστρων που θα παρατηρήσει η Gaia σε κάθε γαλαξία της Τοπικής Ομάδας.
2. Δημιουργία καταλόγων για κάθε γαλαξία με τα άστρα που βρίσκονται εντός των ορίων παρατήρησης από τη Gaia.
3. Εκτίμηση των σφαλμάτων που έχουν οι παρατηρήσεις σε εξαιρετικά πυκνές περιοχές, (crowding) όπως στα Νέφη του Μαγγελάνου.

Για να εκτιμηθεί πόσα άστρα βρίσκονται μέσα στα όρια παρατήρησης της Gaia, για το φωτομετρικό όργανο(BP/RP) και το φασματογράφο ακτινικής ταχύτητας (RVS) έγινε ο μετασχηματισμός του μεγέθους V και των χρωμάτων, V-I και B-V από το φωτομετρικό σύστημα Johnsons-Cousins για κάθε γαλαξία σε G και GRVS για το BP/RP και το RVS αντίστοιχα (Jordi et al. 2010). Η επιλογή των άστρων έγινε με βάση τα όρια παρατήρησης της Gaia και δημιουργήθηκαν οι αστρικοί κατάλογοι για κάθε γαλαξία. Αναμένεται να παρατηρηθούν συνολικά περίπου 9.000.000 άστρα στα Νέφη του Μαγγελάνου και περισσότερα από 50.000 άστρα στους υπόλοιπους εννιά γαλαξίες. Για την εκτίμηση της επίδρασης του crowding, το πεδίο παρατήρησης στο Μεγάλο και Μικρό νέφος του Μαγγελάνου διαιρέθηκε σε μικρότερα πεδία με επιφάνεια ίση με το CCD της Gaia (de Bruijne 2012). Σε κάθε τέτοιο πεδίο μετρήθηκε η πυκνότητα των άστρων. Τα όρια πυκνότητας των οργάνων παρατήρησης της Gaia είναι υψηλά και το crowding δε θα έχει ιδιαίτερη επίδραση στις παρατηρήσεις.

Στη συνέχεια δίνεται μια περιγραφή του περιεχομένου κάθε κεφαλαίου της διατριβής. Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρέχει μια αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας

ανίχνευσης αστρικών ομάδων. Αρχικά γίνεται μια θεωρητική εισαγωγή στην ομαδοποίηση (clustering) και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό. Παρουσιάζεται ο αλγόριθμος Friends of Friends με σχετικές αναφορές στη βιβλιογραφία όπου δίνονται παραδείγματα χρήσης του σε διάφορα αστρονομικά προβλήματα. Περιγράφεται λεπτομερώς η τροποποίηση του FoF και δίνονται παραδείγματα χρήσης μιας τιμής απόστασης και τα αποτελέσματα της. Περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία λειτουργίας της μεθόδου με αναφορά στις δοκιμές που έγιναν ώστε να καταλήξει στην τελική της μορφή. Στην τελευταία ενότητα δίνονται παραδείγματα χρήσης της μεθόδου και σε άλλα αστρονομικά προβλήματα όπως η ανίχνευση ομάδων αστερών άνθρακα στο LMC, αλλά και ανίχνευση ομαδοποιήσεων ανοιχτών σημνών του Γαλαξία σε τρεις διαστάσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εφαρμόζεται η μέθοδος σε έξι σπειροειδείς γαλαξίες με δεδομένα από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (HST). Στην αρχή του κεφαλαίου δίνονται αναλυτικές πληροφορίες για το HST, τα όργανα παρατήρησης που χρησιμοποιούνται και η κάμερα WFPC2. Οι παρατηρήσεις έγιναν στα πλαίσια του HST Key Project που παρουσιάζεται συνοπτικά στην συνέχεια του κεφαλαίου. Επίσης παρουσιάζονται και οι έξι γαλαξίες στους οποίους εφαρμόστηκε η μέθοδος. Στη συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται αναλυτική αναφορά για τη διαδικασία της ανίχνευσης αστρικών ομάδων, την επιλογή αστερών κύριας ακολουθίας για τη δημιουργία καταλόγου στον οποίο κι εφαρμόζεται η μέθοδος. Ακολουθώς παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου σε σχετικούς πίνακες και διαγράμματα. Για κάθε γαλαξία παρουσιάζονται πίνακες με το πλήθος των ομάδων για κάθε κατηγορία ταξινόμησης και τις ιδιότητες των ομάδων, τη μέση τιμή διάστασης και το μέσο αριθμό μελών. Επίσης δίνονται παραδείγματα καταλόγων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνονται αναφορές στη βιβλιογραφία από ανάλογες μελέτες. Γίνεται αναλυτική αναφορά στις ομοιότητες και διαφορές της μεθόδου που αναπτύξαμε με ανάλογες μεθόδους και γίνεται σύγκριση των ευρημάτων. Οι διαστάσεις των ομάδων που ανιχνεύθηκαν φαίνεται να βρίσκονται μέσα στα όρια που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και παρουσιάζουν ενδείξεις ιεραρχικής δομής.

Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου σε γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας και γίνεται αναφορά στην αναμενόμενη συνεισφορά της αποστολής στη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας στους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνου. Αρχικά παρουσιάζεται η διαστημική αποστολή Gaia. Γίνεται αναλυτική αναφορά στο δορυφόρο και τα όργανα παρατήρησης αλλά και στους επιστημονικούς στόχους. Στη συνέχεια δίνεται μια σύνοψη της κατάστασης λειτουργίας του δορυφόρου μετά το αρχικό στάδιο (commissioning). Αναφέρονται τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν και οι λύσεις που δόθηκαν για τη διόρθωσή τους. Στις επόμενες ενότητες δίνονται στοιχεία για τους έντεκα γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας που μελετήθηκαν, τα Νέφη του Μαγγελάνου, M31, M33 κι επτά νάνους γαλαξίες. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται οι έρευνες από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις, το Local Group Galaxy Survey (LGGS) και Magellanic Clouds Photometric Survey (MCPS), παρουσιάζονται τα επίγεια όργανα παρατήρησης, Las Campanas Swope (1m), το Kitt Peak National Observatory (4m) και το Cerro Tololo Inter-American Observatory (4m).

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου σε τέσσερις από τους έντεκα γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας, το LMC, M31, M33 και NGC 6822. Παρουσιάζονται

τα κριτήρια επιλογής νεαρών άστρων κύριας ακολουθίας για την αυτόματη μέθοδο τα οποία και βρίσκονται εντός ορίου παρατήρησης της Gaia. Δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο με αναλυτική παρουσίαση σχετικών πινάκων και διαγραμμάτων όπως και δείγματα των καταλόγων που δημιουργήθηκαν για άστρα εντός των ορίων παρατήρησης του δορυφόρου. Συγκρίνοντας τη μέση τιμή για κάθε κατηγορία ταξινόμησης των γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας και των γαλαξιών από το HST φαίνεται ότι η μέση διάσταση για κάθε ομάδα συγκλίνει σε μια τιμή, ανεξάρτητα από το όργανο παρατήρησης, τον τύπο του γαλαξία και την απόσταση αυτού. Γίνεται σύγκριση με αναφορές στη βιβλιογραφία και δημιουργούνται κατάλογοι για τις αστρικές ομάδες σε κάθε ένα από τους τέσσερις γαλαξίες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της εργασίας, και συγκεκριμένα:

- Αναπτύσσουμε μία μέθοδο που μπορεί να ανιχνεύσει αστρικές δομές σε ευρεία κλίμακα.
- Παρατηρούμε ενδείξεις, από την εκτεταμένη μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας σε δέκα γαλαξίες, ότι οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται οι αστρικές ομάδες παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά σε όλους τους γαλαξίες που μελετήθηκαν και ότι υπάρχει ιεραρχική δομή στα διάφορα συστήματα.
- Μελετήσαμε έντεκα γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας για την προετοιμασία της αποστολής Gaia.
- Δημιουργήσαμε 21 καταλόγους και για τους δύο στόχους της εργασίας.
- Τονίζουμε τη δυνατότητα της χρήσης της αυτόματης μεθόδου σαν ένα ευέλικτο εργαλείο σε αστρονομικά και μη προβλήματα που αφορούν στην ομαδοποίηση δεδομένων.
- Τέλος στο παράρτημα δίνονται οι κώδικες των οκτώ προγραμμάτων από τα οποία αποτελείται η μέθοδος.

## 1.2 Ομαδοποίηση (Clustering)

Ομαδοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα σύνολο δεδομένων διαχωρίζεται σε ομάδες ή (κλάσεις) με κοινές ιδιότητες (π.χ. η θέση τους στο χώρο, διαστάσεις) (Mirkin 2005). Ο διαχωρισμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα μέλη μιας ομάδας να παρουσιάζουν περισσότερες ομοιότητες μεταξύ τους και περισσότερες διαφορές με τα μέλη των άλλων ομάδων (Everitt et al. 2011). Το τελικό αποτέλεσμα της ομαδοποίησης, ο διαχωρισμός του αρχικού συνόλου σε μικρότερα ομοιογενή σύνολα προκύπτει από τη χρήση στατιστικών τεχνικών για την ανάλυση δεδομένων και δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη τεχνική. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ομαδοποίησης στο πλαίσιο της ανάλυσης και εξόρυξης δεδομένων (data mining) (Ballard et al. 1998). Η εξόρυξη δεδομένων είναι μια διαδικασία η οποία χρησιμοποιεί διάφορα στατιστικά εργαλεία ανάλυσης για να ανακαλύψει συσχετισμούς στα δεδομένα (Edelstein 1999, Williams & Simoff 2006, Bramer 2007, Poncelet et al. 2008).

Τα μέλη μιας κλάσης δεδομένων που προέκυψε μετά από ομαδοποίηση, παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα, μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα αντικείμενα που ανήκουν σε άλλες κλάσεις σύμφωνα με ένα ή με περισσότερα κριτήρια ομοιότητας. Κάθε αντικείμενο που αποδίδεται σε μία κλάση προσδιορίζεται πλέον από το χαρακτηριστικό σημείο αναφοράς της κλάσης, συνήθως κάποιον μέσο όρο των μελών της κλάσης (Aldenderfer & Blashfield 1984).

Κάθε κλάση παρουσιάζει ένα χαρακτηριστικό που διαφέρει από τις υπόλοιπες κλάσεις κι επιτρέπει τον περαιτέρω διαχωρισμό σε νέες κλάσεις ή σε μια νέα ταξινόμηση. Η χρήση τεχνικών ομαδοποίησης οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το σύνολο των δεδομένων που εξετάζονται. Η χρησιμότητα των συμπερασμάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η μέθοδος και τα κριτήρια ομοιότητας που χρησιμοποιήθηκαν, το πλήθος των κριτηρίων ομοιότητας αλλά και από τα ίδια τα δεδομένα και την ποιότητά τους (Edelstein 1999, Janos et al. 2007).

Ο κύριος στόχος της ομαδοποίησης είναι να μειωθεί το μέγεθος των δεδομένων και η πολυπλοκότητά τους με τον διαχωρισμό του συνόλου δεδομένων σε υποσύνολα (κλάσεις). Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το πλήθος των αντικειμένων που ανήκουν σε μια κλάση αντιπροσωπεύονται πλέον από την ίδια την κλάση. Ένας αστρικός κατάλογος για παράδειγμα με χιλιάδες μέλη, μετά τη ομαδοποίηση μπορεί να μετατραπεί σε σύνολο αστρικών ομάδων όπου οι ιδιότητες κάθε μέλους μιας κλάσης (άστρο) μπορούν να αντικατασταθούν με τις ιδιότητες του σημείου αναφοράς της κλάσης αυτής (αστρική ομάδα), όπου το σημείο αναφοράς αυτής κλάσης μπορεί να είναι οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του κέντρου της ομάδας. Τα συσταδοποιημένα δεδομένα καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο αποθήκευσης συνεπώς η διαχείρισή τους είναι ευκολότερη. Η αξιολόγηση κάθε μεθόδου ομαδοποίησης εξαρτάται από την ταχύτητα του αλγορίθμου αλλά και από την αναπαράσταση του αρχικού συνόλου από τα καινούρια υποσύνολα. Κάθε ξεχωριστό χαρακτηριστικό ή μέτρηση αποτελεί μία διάσταση, μία συνιστώσα. Η ενοποίηση μεγάλων συνόλων δεδομένων είναι ο κύριος σκοπός του τομέα της ανάλυσης κλάσεων (Kaufman & Rousseeuw 2005, Feigelson & Babu 2012).

Στη συγκεκριμένη μελέτη το σύνολο των δεδομένων αποτελείται από δημοσιευμένους αστρικούς καταλόγους που περιλαμβάνουν δεδομένα όπως οι συντεταγμένες κάθε αντικειμένου και τα φωτομετρικά μεγέθη με χρήση φίλτρων U, B, V, I. Σε κάθε πεδίο παρατήρησης εφαρμόζεται μια διαδικασία συσχέτισμού και μια διαδικασία ταξινόμησης. Αρχικά ο διαχωρισμός των αντικειμένων σε κλάσεις γίνεται με βάση τη μεταξύ τους απόσταση (α φάση). Για να ανήκουν δύο αντικείμενα στην ίδια κλάση πρέπει η μεταξύ τους απόσταση να είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο όριο. Για κάθε κλάση υπολογίζεται η διάσταση σε parsec με βάση τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των μελών της. Στη δεύτερη φάση η ταξινόμηση γίνεται πλέον στις κλάσεις της αρχικής ομαδοποίησης. Οι κλάσεις που βρέθηκαν από τον αλγόριθμο ταξινομούνται στις πέντε κατηγορίες, clusters, associations, aggregates, complexes και supercomplexes με βάση τη διάστασή τους. Οι βασικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν από τον αλγόριθμο είναι οι ουρανογραφικές συντεταγμένες, ορθή αναφορά (right ascension,  $\alpha$ ) και απόκλιση (declination,  $\delta$ ) για τον υπολογισμό της απόστασης.

Το πρόβλημα της ομαδοποίησης σχετίζεται με την τμηματοποίηση ενός συνόλου δεδομένων σε συστάδες έτσι ώστε τα στοιχεία του συνόλου των δεδομένων που ανήκουν σε μία συστάδα να είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους από ότι είναι με τα στοιχεία των άλλων συστάδων. Η ομαδοποίηση μπορεί να βρεθεί με διαφορετικά ονόματα σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία, όπως μη εποπτευόμενη μάθηση (unsupervised learning) στην αναγνώριση προτύπων, αριθμητική ταξονομία (numerical taxonomy) στην βιολογία, οικολογία, τυπολογία, στις κοινωνικές επιστήμες και τμηματοποίηση (segmentation, partitioning) στις Βάσεις Δεδομένων.

Ο βασικός διαχωρισμός των μεθόδων γίνεται ανάλογα με τον τρόπο ομαδοποίησης σε δύο βασικές κατηγορίες, 1) Ιεραρχική Ομαδοποίηση (Hierarchical Clustering) και 2) Ομαδοποίηση Διαμέρισης (Partitioning Clustering). Άλλα παραδείγματα κατηγοριών είναι Ασαφής ομαδοποίηση (Fuzzy Clustering), Ομαδοποίηση βασισμένη σε δίκτυα Kohonen (Kohonen Net Clustering), Ομαδοποίηση βασισμένη στην πυκνότητα (Density-based Clustering), Ομαδοποίηση βασισμένη σε πλέγμα (Grid-based Clustering) κ.α. (Berry & Browne 2006, Janos et al. 2007, Everitt et al. 2011),

Οι ιεραρχικοί αλγόριθμοι (Hierarchical Clustering) διαχωρίζουν σταδιακά ένα σύνολο δεδομένων σε μικρές ομάδες οι οποίες με τη σειρά τους μπορεί να διαχωρίζονται σε ακόμα μικρότερες (Hopppner et al 1999, Janos et al. 2007, Everitt et al. 2011). Οι Ιεραρχικοί Αλγόριθμοι μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε i) Συσσωρευτικοί (Agglomerative), κατηγορία στην οποία ανήκει και η αυτόματη μέθοδος που αναπτύξαμε και ii) Διαιρετικοί (Divisive).

Οι συσσωρευτικοί αλγόριθμοι ξεκινούν χαρακτηρίζοντας κάθε αντικείμενο του συνόλου ως μια ξεχωριστή κλάση και στη συνέχεια ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται συγχωνεύει τα αντικείμενα σε κλάσεις δημιουργώντας ένα σύνολο από συστάδες οι οποίες βρίσκονται η μια μέσα στην άλλη. Κάθε αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια κλάσεις ταυτόχρονα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου αλγόριθμου είναι τα δένδρογράμματα (dendrograms). Οι διαιρετικοί αλγόριθμοι ξεκινούν από το σύνολο των δεδομένων διαχωρίζοντας το σε υποσύνολα έτσι ώστε κάθε μέλος μιας κλάσης να ανήκει αποκλειστικά και μόνο στη συγκεκριμένη κλάση.

Τα κριτήρια ομοιότητας ή σύνδεσης που χρησιμοποιούνται στους Συσσωρευτικούς αλγόριθμους χαρακτηρίζονται ανάλογα με την απόσταση για την οποία ένα αντικείμενο θεωρείται μέλος μιας κλάσης. Η μικρότερη απόσταση ανάμεσα σε ζεύγη συστάδων ονομάζεται μονή σύνδεση ή *single linkage*. Η ομοιότητα μεταξύ δύο τέτοιων κλάσεων εξαρτάται από τα μέλη τους με τη μεγαλύτερη ομοιότητα, αφήνοντας στο περιθώριο μέλη με μικρότερη ομοιότητα το οποίο οδηγεί στο μειονέκτημα της δημιουργίας επιμηκυμένων κλάσεων. Η χρήση της μέσης απόστασης ανάμεσα στα ζεύγη ονομάζεται μέση σύνδεση ή *average linkage*. Η μέγιστη απόσταση ανάμεσα σε ζεύγη συστάδων ονομάζεται πλήρης σύνδεση, *complete linkage* όπου εδώ η ομοιότητα μεταξύ δύο κλάσεων εξαρτάται από την ομοιότητα των μελών με το μικρότερο βαθμό συσχετισμού. Αυτό το κριτήριο σύνδεσης οδηγεί στη δημιουργία μικρών και συμπαγών ομάδων αποφεύγοντας το μειονέκτημα της μονής σύνδεσης. Όπως αναφέρθηκε οι συσχετισμοί με αυτό το κριτήριο έχουν ευαισθησία προς τα αντικείμενα με μικρό βαθμό ομοιότητας τα οποία και μπορούν ανάλογα να καθορίσουν και τη δημιουργία των ομάδων. Για παράδειγμα ένα αντικείμενο σε μεγαλύτερη απόσταση από τα άλλα μπορεί να συμπεριληφθεί σε μια κλάση αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά της. Τελευταία περίπτωση είναι η χρήση της απόστασης μεταξύ κεντροειδών ή *centroids*.

### 1.2.1 Αλγόριθμος Friends of Friends

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για την ανίχνευση γαλαξιακών σμηνών (Huchra & Geller 1982; Press & Davis 1982; Einasto et al. 1984) και αργότερα για τον ίδιο σκοπό σε διάφορες παραλλαγές (Eke et al. 2004; Berlind et al. 2006). Επίσης παραλλαγές του αρχικού αλγόριθμου των Huchra & Geller χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση άλω σκοτεινής ύλης σε κοσμολογικές προσομοιώσεις (Einasto et al. 1984; Davis et al. 1985; Frenk et al. 1988; Lacey & Cole 1994; van Kampen 1995; Klypin et al. 1999; Jenkins et al. 2001; Warren et al. 2006; Gottlober & Yepes 2007; More et al. 2011). Το μεγάλο πλεονέκτημα του FoF είναι η απλότητα των κριτηρίων. Δύο αντικείμενα είναι μέλη της ίδιας ομάδας μόνο όταν η απόσταση τους είναι μικρότερη από μια προκαθορισμένη τιμή. Στην περίπτωση των γαλαξιών εκτός από τις ουρανογραφικές συντεταγμένες υπάρχει και η μετατόπιση στο ερυθρό (*redshift*) η οποία χρησιμοποιείται και αυτή ως τρίτη διάσταση. Μετέπειτα κι άλλα κριτήρια προτάθηκαν και συμπεριελήφθησαν σε διάφορες παραλλαγές του αρχικού αλγόριθμου. Στο σχήμα 1.1 βλέπουμε το διάγραμμα ροής που πρότειναν οι Huchra & Geller το 1982 για τον αλγόριθμο ανίχνευσης γαλαξιακών σμηνών. Κατά την εκκίνηση του ο αλγόριθμος επιλέγει ένα γαλαξία που δεν ανήκει σε καμία ομάδα προς το παρών. Για να είναι μέλος μιας ομάδας πρέπει να βρεθούν οι "φίλοι" (*companions* στο διάγραμμα) του γαλαξία. Στο επόμενο βήμα υπολογίζουμε την απόσταση του γαλαξία  $D$  από κάθε ένα από τους άλλους γαλαξίες,  $D_{12}$  και την διαφορά της ταχύτητας των γαλαξιών,  $V_{12}$ . Συγκρίνουμε τα  $D_{12}$  και  $V_{12}$  με τα προκαθορισμένα όρια,  $D_L$  και  $V_L$ . Αν ισχύει,  $D_{12} < D_L$  και  $V_{12} < V_L$  τότε οι γαλαξίες ανήκουν στην ίδια ομάδα κι επαναλαμβάνεται η διαδικασία για να βρεθούν και οι "φίλοι των φίλων" για κάθε μέλος της ομάδας. Αν δεν βρεθούν γαλαξίες που να ικανοποιούν τις παραπάνω ανισότητες ο γαλαξίας κατατάσσεται στους "απομωνωμένους" (*isolated*) γαλαξίες.

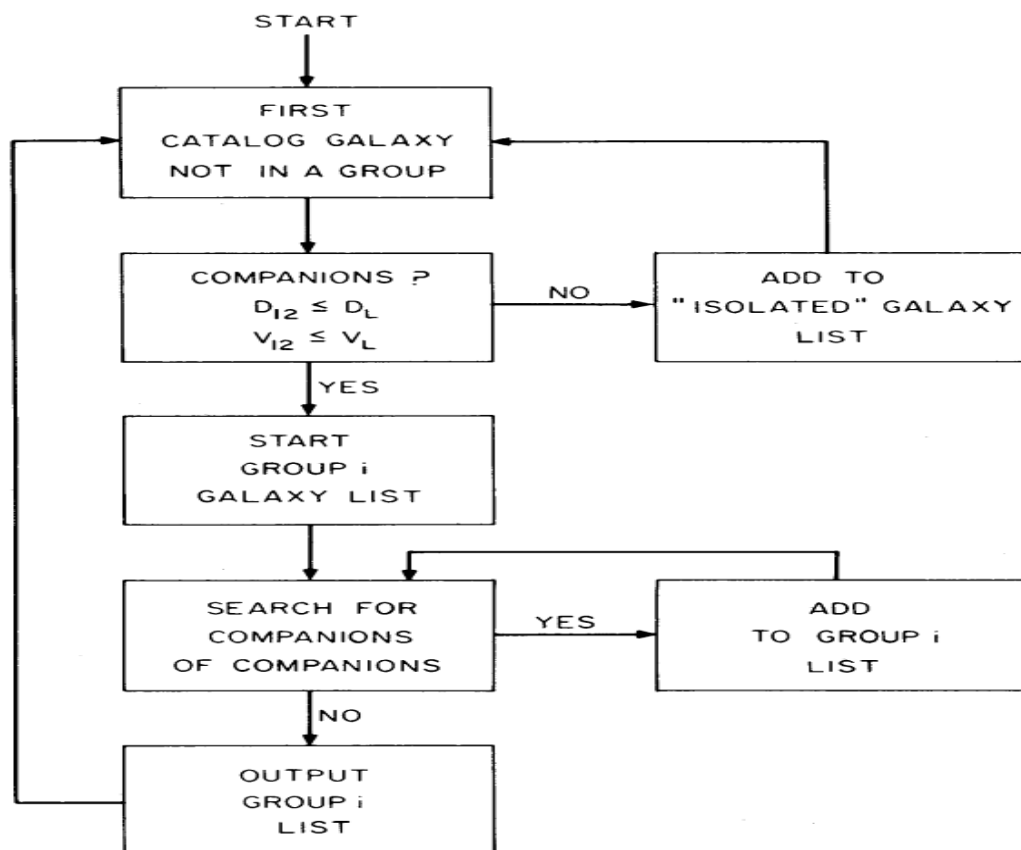


Figure 1.1: Το διάγραμμα ροής του αλγόριθμου των Huchra & Geller (1982) ( $D_{12}$ : απόσταση μεταξύ δύο γαλαξιών,  $D_L$ : προκαθορισμένο όριο απόστασης για το οποίο δύο γαλαξίες θεωρούνται μέλη της ίδιας ομάδας.  $V_{12}$ : διαφορά ταχύτητας μεταξύ δύο γαλαξιών,  $V_L$ : προκαθορισμένο όριο της διαφοράς της ταχύτητας για το οποίο δύο γαλαξίες θεωρούνται μέλη της ίδιας ομάδας.)

### 1.2.2 Διαδικασία ανίχνευσης αστρικών ομάδων

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου η μέθοδος που αναπτύχθηκε κατά την εκπόνηση αυτής της διατριβής χαρακτηρίζεται ως Ιεραρχική Συσσωρευτική με κριτήριο πλήρους απόστασης (complete linkage). Ο στόχος της μεθόδου εκτός από την ανίχνευση νεαρών αστρικών δομών είναι επίσης να παρέχει πληροφορίες για την ύπαρξη ιεραρχικών δομών. Μια αντικειμενική και αυτόματη μέθοδος όπως το PLC μπορεί να ανιχνεύσει ομάδες OB (associations και aggregates) χωρίς όμως να παρέχει καμία πληροφορία για την ύπαρξη μεγαλύτερων δομών, απαραίτητη πληροφορία για τη μελέτη τυχόν ιεραρχικής δομής των αστρικών ομάδων. Ο όρος αντικειμενική μέθοδος χρησιμοποιείται για να δώσει έμφαση στο ότι η επιλογή της τιμής του κριτηρίου σύνδεσης γίνεται από τον ίδιο τον αλγόριθμο.

Το σύνολο των δεδομένων είναι αστρικοί κατάλογοι που παρέχουν τις ουρανογραφικές συντεταγμένες για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των αστερών. Η αυτόματη μέθοδος βασίζεται σε ένα αλγόριθμο FoF ο οποίος ερευνά ζεύγη αστερών και κατατάσσει στην ίδια κλάση τα ζεύγη με απόσταση μικρότερη από μια προκαθορισμένη τιμή. Η απόσταση αυτή ονομάζεται ακτίνα έρευνας (από εδώ και πέρα  $D_s$ ). Για τον καθορισμό της τιμής του  $D_s$  ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα σειτ τιμών από μια ελάχιστη ( $D_{smin}$ ) έως μια μέγιστη τιμή ( $D_{smax}$ ). Καθώς η τιμή του  $D_s$  είναι αρχικά μικρή πολύ λίγες ομάδες ανιχνεύονται. Καθώς η τιμή του  $D_s$  μεγαλώνει ο αριθμός των ομάδων αυξάνεται και μετά από την τιμή που θα μας δώσει το μέγιστο οι ομάδες συγχωνεύονται και ο αριθμός τους μειώνεται σταδιακά έως η τιμή του  $D_s$  να είναι τόσο μεγάλη που σχεδόν όλα τα άστρα του καταλόγου να συμπεριλαμβάνονται σε μια μόνο ομάδα. Συνήθως οι τιμές του  $D_s$  που δοκιμάζει ο αλγόριθμος είναι από 1 έως 200 pc με βήμα 1 pc. Η τιμή που επιλέγει ο αλγόριθμος για να χρησιμοποιήσει ώστε να διαχωρίσει τα άστρα σε ομάδες είναι αυτή που δίνει το μέγιστο αριθμό ομάδων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Η εφαρμογή του FoF στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι σε δεδομένα από το σπειροειδή γαλαξία NGC 925. Βλέπουμε πως για  $D_s = 59$  pc ο αλγόριθμος εντοπίζει 328 ομάδες. Στο αρχικό στάδιο της ανάπτυξης της αυτόματης μεθόδου ο αλγόριθμος επέλεγε αυτή την τιμή και στο συγκεκριμένο παράδειγμα, συσχέτιζε ζεύγη αστερών του συγκεκριμένου καταλόγου (NGC 925) σε κλάσεις με κριτήριο η μέγιστη απόσταση μεταξύ τους να είναι 59 pc. Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση των ομάδων που εντόπισε ο αλγόριθμος και η κατάταξη τους σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1. Περίπου το 96% των ομάδων αυτών ανήκουν σε δύο κατηγορίες, associations και aggregates. Επίσης καθώς ο FoF είναι Διαιρετικός αλγόριθμος τα μέλη κάθε ομάδας ανήκουν αποκλειστικά σε αυτή. Παρόμοια αποτελέσματα είχε η εφαρμογή του αλγόριθμου και σε άλλους πέντε σπειροειδείς γαλαξίες, τους NGC 2548, NGC 3351, NGC 3621, NGC 4548 και NGC 5457.

Ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας της διαδικασίας αυτόματου εντοπισμού αστρικών δομών παρουσιάζει δύο σοβαρά προβλήματα, πρώτον δεν παρέχει πληροφορίες για τις υπόλοιπες ομάδες με μεγαλύτερο μέγεθος από τις δύο προαναφερθείσες στο παράδειγμα του NGC 925 και δεύτερον δεν παρέχει καμία πληροφορία για τον εντοπισμό ιεραρχικών δομών λόγω του τρόπου λειτουργίας του ίδιου του αλγόριθμου FoF. Συνεπώς για τη λύση των προβλημάτων αυτών χρειαζόμαστε μια μέθοδο που θα μπορεί να επιλέγει τιμές



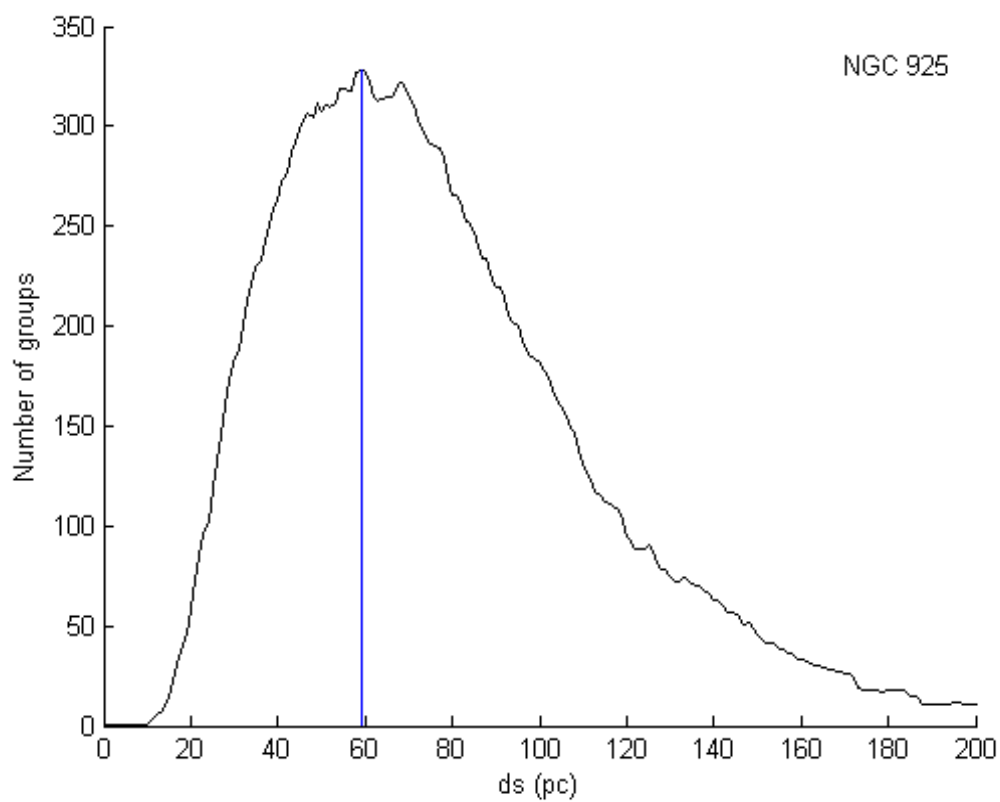


Figure 1.2: Επιλογή τιμής της ακτίνας έρευνας ( $D_s$ ) από τον αλγόριθμο FoF στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης την αυτόματης μεθόδου εντοπισμού αστρικών δομών στο σπειροειδή γαλαξία NGC 925.

Ds μεγαλύτερες από αυτές που επέλεγε μέχρι αυτό το στάδιο για να μας παρέχει και πληροφορίες για τις μεγαλύτερες ομάδες από associations και aggregates αλλά και μια μέθοδο που δεν θα κατατάσσει ένα μέλος αποκλειστικά σε μια κλάση αλλά θα επιτρέπει σε ένα άστρο να ανήκει και σε άλλες ομάδες μικρότερες η και μεγαλύτερες ώστε να παρέχει τη δυνατότητα της μελέτης της κατανομής των δομών στο χώρο και κατά πόσο μια δομή περιέχει άλλες μικρότερες η περιέχεται σε μεγαλύτερες.

Για να καταφέρουμε να εντοπίσουμε και μεγάλες σε μέγεθος ομάδες τροποποιήσαμε τη μέθοδο έτσι ώστε σε κάθε δοκιμή μιας τιμής Ds να υπολογίζει το μέγεθος κάθε ομάδας και να τις ταξινομεί πριν να γίνει η τελική επιλογή του Ds. Με αυτό τον τρόπο η μέθοδος μας δίνει ένα γράφημα όπως στο Σχήμα 1.2 για κάθε κατηγορία ταξινόμησης, Σχήμα .

Η τροποποίηση της μεθόδου, η αναζήτηση πέντε τιμών Ds αντί της μιας αρχικής, μια για κάθε κατηγορία ταξινόμησης λύνει ουσιαστικά το πρόβλημα της έλλειψης πληροφορίας για τις κατηγορίες ομάδων που έλλειπαν στο αρχικό στάδιο της μεθόδου. Ο συνδυασμός και των πέντε γραφημάτων σε ένα μας δίνει το Σχήμα . Τα γραφήματα των πέντε κατηγοριών με το αρχικό γράφημα του συνόλου των ομάδων παρουσιάζεται στην πάνω εικόνα του Σχήματος , ενώ στην κάτω εικόνα παρουσιάζεται το σύνολο των ομάδων (αρχικό γράφημα σχήμα 1.2) και οι πέντε τιμές Ds που επέλεξε ο αλγόριθμος μια για κάθε κατηγορία ομάδας.

Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά ο αλγόριθμος μας δίνει πέντε διαφορετικούς διαχωρισμούς του συνόλου δεδομένων αλλάζοντας κάθε φορά το κριτήριο σύνδεσης έτσι ώστε να ικανοποιεί την αρχική συνθήκη που θέσαμε, να βρεθεί μια τιμή της ακτίνας έρευνας για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Συνεπώς ένα άστρο μπορεί στον πρώτο διαχωρισμό να ανήκει σε μια κλάση ή να είναι ελεύθερο και στον επόμενο διαχωρισμό μπορεί να έχει διατηρήσει την ίδια ιδιότητα ή να ανήκει σε μια νέα κλάση. Με τον τρόπο αυτό η μέθοδος πλέον δίνει τη δυνατότητα με τη μελέτη των πέντε διαφορετικών διαχωρισμών του συνόλου εάν οι μεγαλύτερες κλάσεις που δημιουργούνται (Supercomplexes) περιέχουν μικρότερες και εάν αυτές με τη σειρά τους περιέχουν άλλες ακόμα μικρότερες κλάσεις. Η κλίμακα αυτού του είδους της μελέτης εξαρτάται από το κάθε σύνολο δεδομένων που εξετάζεται αλλά συνήθως ξεκινάει από μερικές χιλιάδες pc και καταλήγει σε ομάδες μερικών pc.

Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της αυτόματης μεθόδου χρησιμοποιούνται οκτώ διαφορετικά προγράμματα, επτά γραμμένα σε γλώσσα προγραμματισμού του πακέτου επιστημονικού λογισμικού MATLAB (Π. Δραζίνος) και ένα (η εικονοποίηση των ομάδων) σε γλώσσα προγραμματισμού IDL (Δρ. Α. Καράμπελας) το οποίο και προτιμήθηκε καθώς η IDL παρέχει καλύτερο πακέτο εικονοποίησης για τη συγκεκριμένη εργασία.

Τα προγράμματα που εκτελούνται αναλυτικά:

1. Εισαγωγή κι επεξεργασία δεδομένων - Βήμα 1. Διαβάζει τα αρχεία και τα μετατρέπει σε μορφή κατάλληλη για την επεξεργασία τους. Δημιουργεί το CMD κι εφαρμόζει τα κριτήρια επιλογής των δεδομένων για τον αλγόριθμο (Κεφάλαια, 2,3).
2. Υπολογισμός αποστάσεων - Βήμα 2.
3. Αλγόριθμος Friends of Friends - Βήμα 3-9 και Βήμα 11.
4. Πρόγραμμα επιλογής των πέντε τιμών του Ds - Βήμα 10.

Περιοχές δημιουργίας αστερών και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

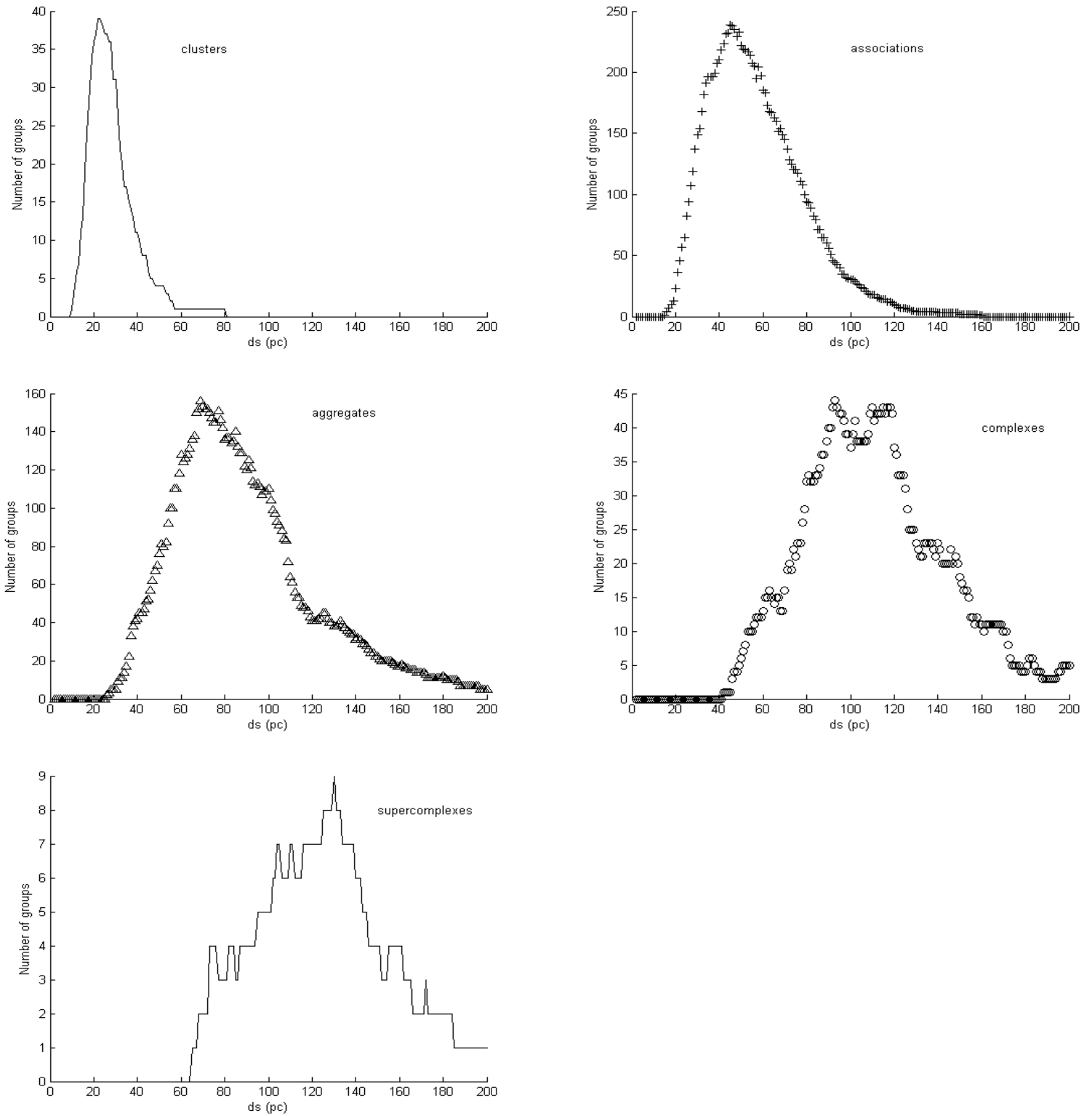


Figure 1.3: Επιλογή μιας τιμής  $D_s$  για κάθε κατηγορία ταξινόμησης στον NGC 925.

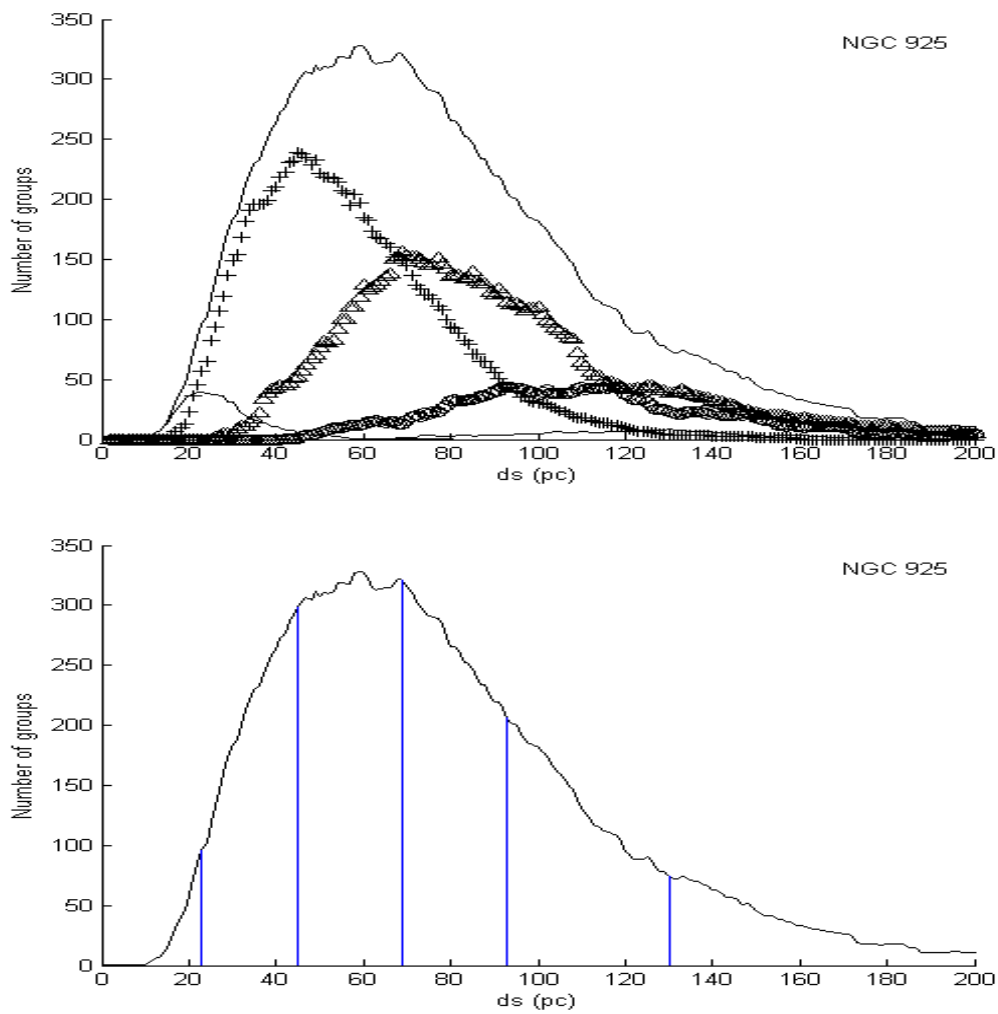


Figure 1.4: Οι πέντε κατηγορίες ομάδων σε ένα γράφημα (πάνω) και η επιλογή πέντε τιμών  $D_s$  από τον αλγόριθμο, μια για κάθε κατηγορία (κάτω).

5. Δημιουργία καταλόγων - Βήμα 12.
6. Προετοιμασία για εικονοποίηση - Βήμα 13.
7. Εικονοποίηση - Βήμα 14.

Αναλυτικά οι διαδικασίες κατά την εφαρμογή της μεθόδου:

1. Δημιουργείται ο αστρικός κατάλογος. Σε κάθε άστρο γίνεται ανάθεση ενός κωδικού.
2. Υπολογίζονται οι αποστάσεις ανάμεσα σε όλα τα άστρα.
3. Ο αλγόριθμος επιλέγει την πρώτη τιμή της ακτίνας έρευνας ( $D_s$ ). Το εύρος των τιμών του  $D_s$  και το βήμα καθορίζονται από το χρήστη.
4. Για τη συγκεκριμένη τιμή του  $D_s$  ο αλγόριθμος διαχωρίζει το σύνολο των δεδομένων σε ομάδες. Κάθε μέλος μιας ομάδας ανήκει αποκλειστικά στη συγκεκριμένη ομάδα για τη συγκεκριμένη τιμή του  $D_s$ .
5. Επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Επιβεβαίωση πως τα μέλη κάθε ομάδας δεν ανήκουν σε καμία άλλη. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί κάτι τέτοιο το πρόγραμμα σταματά τη λειτουργία του και ειδοποιεί το χρήστη (flag). Επιβεβαίωση πως κατά τη διάρκεια του διαχωρισμού τα μέλη των ομάδων πληρούν την προϋπόθεση της απόστασης και επιβεβαίωση ότι τα αντικείμενα που δεν συμπεριελήφθησαν σε ομάδες δεν πληρούσαν τα κριτήρια. Σε περίπτωση λάθους όπως και προηγουμένως το πρόγραμμα σταματά την εκτέλεση του.
6. Μετά το πέρας της ομαδοποίησης δημιουργούνται κατάλογοι των ομάδων και των χαρακτηριστικών τους όπως συντεταγμένες κέντρου, μέγεθος, αριθμός μελών κ.α.
7. Ταξινόμηση ομάδων στις πέντε κατηγορίες που προαναφέρθηκαν.
8. Ενημέρωση συγκεκριμένων αρχείων για διάφορα στοιχεία όπως ο αριθμός των ομάδων ανα κατηγορία, το σύνολο των άστρων που ανήκουν σε ομάδες κ.α.
9. Ο αλγόριθμος φτάνει στο τέλος, καθαρίζει τη μνήμη και επιστρέφει στο βήμα 3 για την επόμενη τιμή  $D_s$ .
10. Όταν εκτελεστεί ο αλγόριθμος για κάθε τιμή του  $D_s$  που επέλεξε αρχικά ο χρήστης δημιουργείται ένα διάγραμμα όπως στο σχήμα 1.3 και η μέθοδος επιλέγει τις 5 τιμές του  $D_s$ .
11. Για τις 5 συγκεκριμένες τιμές του προηγούμενου βήματος ο αλγόριθμος εκτελείται όπως στα βήματα 3-9 με την εκτέλεση μιας εργασίας επιπλέον. Για κάθε  $D_s$  μετά το διαχωρισμό και την ταξινόμηση το πρόγραμμα διατηρεί αρχεία για κάθε ομάδα, από τα συγκεκριμένα άστρα που αποτελείται. Αυτό δεν έγινε στην προηγούμενη εκτέλεση εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους των αρχείων.

12. Δημιουργία καταλόγων για κάθε κατηγορία ταξινόμησης που περιέχει για κάθε ομάδα, συντεταγμένες κέντρου, αριθμό μελών, μέγεθος, τύπο ομάδας. Δημιουργία δεύτερου καταλόγου όπου αρχειοθετείται κάθε άστρο με τον κωδικό που του ανατέθηκε στο βήμα 1, με στοιχεία όπως, συντεταγμένες, φαινόμενο μέγεθος, χρώμα, ομάδες στις οποίες είναι μέλος και το Ds για το οποίο ανιχνεύθηκε η κάθε ομάδα και στοιχεία για κάθε ομάδα όπως στο προηγούμενο κατάλογο.
13. Προετοιμασία στοιχείων για εικονοποίηση των ομάδων.
14. Εικονοποίηση των ομάδων.

### 1.3 Σχόλια - Παρατηρήσεις

#### 1.3.1 Εκδόσεις του προγράμματος ανίχνευσης αστρικών ομάδων

Για να φτάσουμε στη μέθοδο που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα έγιναν πολλές δοκιμές και ο αλγόριθμος στον οποίο βασίζεται η μέθοδος άλλαξε αρκετά κατά τη διάρκεια της διατριβής. Οι πρώτες εκδόσεις του προγράμματος είχαν μεγάλες αλλαγές, όχι μόνο στον αλγόριθμο FoF αλλά και στα επιμέρους προγράμματα όπως στο πρόγραμμα υπολογισμού αποστάσεων, κυρίως για να βελτιωθεί η απόδοση, να μειωθεί ο χρόνος λειτουργίας και η κατανάλωση μνήμης. Αρχικά η 1η έκδοση δοκιμάστηκε σε μια μικρή περιοχή του NGC 6822 και η ανάγκη της απόδοσης του προγράμματος ήταν μικρές καθώς και το σύνολο των δεδομένων ήταν μικρό. Η επιλογή του Ds αρχικά ήταν θέμα χρήστη και η διαδικασία δεν ήταν αυτόματη. Η αύξηση των δεδομένων οδήγησε στην αλλαγή του προγράμματος καθώς η καλύτερη διαχείριση της μνήμης έγινε απαραίτητη για τη λειτουργία και επιτυχία του αλγορίθμου. Η 2η και η 3η έκδοση αντιμετώπισαν τα προβλήματα μνήμης. Επίσης άλλαξε και ο τρόπος λειτουργίας του αλγορίθμου, στην 4η έκδοση δοκιμάστηκε σαν παράμετρος στον αλγόριθμο ο ελάχιστος αριθμός μελών για τις ομάδες που ανιχνεύονται. Μια ακόμα δοκιμή ήταν η αναζήτηση ομάδων σε τρεις διαστάσεις που δοκιμάστηκε σε ανοιχτά σμήνη του γαλαξία. Τέλος από τη μια αρχικά τιμή Ds, καταλήξαμε στις πέντε τιμές. Αυτή η αλλαγή δοκιμάστηκε στην 4η έκδοση και εδραιώθηκε στην 5η. Οι αλλαγές στις τελευταίες εκδόσεις, όπως στην 5η και την 6η ήταν πολύ μικρές και αφορούσαν μικρές τροποποιήσεις του προγράμματος για καλύτερη διαχείριση της μνήμης ή τροποποιήσεις στα ονόματα και στη διαχείριση των αρχείων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία καταλόγων. Η μελέτη των γαλαξιών από το HST έγινε με την 5η έκδοση του προγράμματος και η μελέτη των γαλαξιών του Τοπικού Σμήνου έγινε με την 6η έκδοση του προγράμματος.

#### 1.3.2 Nmin

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, 1.2.2, αρχικά ο αλγόριθμος επέλεγε μια τιμή Ds για την οποία έκανε τον διαχωρισμό των ομάδων. Η τιμή αυτή δεν παρείχε

πληροφορίες για τις ομάδες μεγάλου μεγέθους αλλά σχεδόν μόνο για τις μικρές, associations και aggregates. Ως μια λύση δοκιμάστηκε η επιρροή στη διαδικασία της εισαγωγής της παραμέτρου  $N_{min}$ , ο ελάχιστος αριθμός μελών για μια ομάδα. Στο σχήμα 1.5 βλέπουμε ένα παράδειγμα του γραφήματος επιλογής  $D_s$  (όπως στο σχήμα 1.3) όπου κάθε καμπύλη δημιουργήθηκε από τον αλγόριθμο που αναζητούσε ομάδες με ελάχιστο αριθμό μελών,  $N_{min}$ , για τους γαλαξίες NGC 2541 και NGC 3351. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 1.5, η αύξηση του ελάχιστου αριθμού μελών των ομάδων οδηγεί στην ανίχνευση ομάδων με μεγαλύτερο μέγεθος. Για τους δύο γαλαξίες, NGC 925 και NGC 6822 του παραδείγματος, οι ομάδες που ανιχνεύθηκαν με  $N_{min}=3$  είχαν μικρότερη μέση τιμή μεγέθους από τις ομάδες που ανιχνεύθηκαν με τιμές  $N_{min}$ , 3 και 4, για τις αντίστοιχες τιμές του  $D_s$ . Κατά συνέπεια η εφαρμογή στον αλγόριθμο του κριτηρίου του  $N_{min}$  ουσιαστικά μας δίνει ένα τρόπο να ελέγχουμε το μέγεθος των ομάδων που ανιχνεύει ο αλγόριθμος, σαν μια λύση του παραπάνω προβλήματος. Η λύση αυτή, η χρήση του  $N_{min}$  απορρίφθηκε και τελικά χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση των ομάδων σε κατηγορίες. Η χρήση του  $N_{min}$  μόνο εμπειρικά μπορεί να μας οδηγήσει στις τιμές του  $D_s$  για τις οποίες θα ανιχνεύσουμε το μέγιστο αριθμό ομάδων μιας συγκεκριμένης κατηγορίας. Μόνο μετά από πολλές δοκιμές σε κάθε γαλαξία κάτι που είναι σπατάλη χρόνου χωρίς εγγυημένο αποτέλεσμα. Είναι όμως χρήσιμο για τη διαδικασία του αλγορίθμου να γνωρίζουμε την επιρροή διάφορων παραμέτρων, όπως το  $N_{min}$ .

### 1.3.3 Εύρος τιμών $D_s$

Ο προσδιορισμός του εύρους των τιμών του  $D_s$  το οποίο θα χρησιμοποιήσει ο αλγόριθμος γίνεται εμπειρικά καθώς καθορίζεται κυρίως από την έκταση της περιοχής που μελετάται. Στους γαλαξίες που παρατηρήθηκαν με το HST το εύρος ήταν από 1-200 pc με βήμα 1 pc. Το βήμα είναι το ίδιο σε κάθε γαλαξία καθώς δοκιμές σε μικρότερη τιμή, 0.1 pc, έδειξαν ότι δεν παρέχει περισσότερες πληροφορίες (ο αριθμός των ομάδων που ανιχνεύονται) και επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του προγράμματος. Η τελική τιμή του εύρους τιμών καθορίζεται από το σημείο τα περισσότερα άστρα του συνόλου δεδομένων ανήκουν σε μια ομάδα ή όλα τα άστρα των δεδομένων είναι μέλη ομάδων, συνεπώς οποιαδήποτε τιμή του  $D_s$  μετά από αυτή δεν θα πρόσθετε κανένα νέο διαχωρισμό. Στο σχήμα 1.7, φαίνεται ότι το εύρος 1-200 pc είναι αρκετό για όλες τις περιπτώσεις καθώς για  $D_s=200$  pc, όλα τα άστρα ανήκουν σε κάποια ομάδα. Ο M31 είναι ο μοναδικός γαλαξίας από τους δέκα συνολικά που εφαρμόστηκε η μέθοδος όπου το εύρος είναι 1-400 pc. Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζονται και οι τέσσερις γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους.

### 1.3.4 Εφαρμογές της μεθόδου

#### 1.3.4.1 Δεδομένα σε τρεις διαστάσεις

Στη μελέτη των γαλαξιών που περιγράφεται στα επόμενα κεφάλαια τα δεδομένα που έχουμε μας αναγκάζουν να δουλεύουμε σε δύο διαστάσεις. Δοκιμάστηκε η εφαρμογή του προγράμματος σε ανοιχτά σμήνη στο γαλαξία όπου οι θέσεις των σμηνών δίνονται

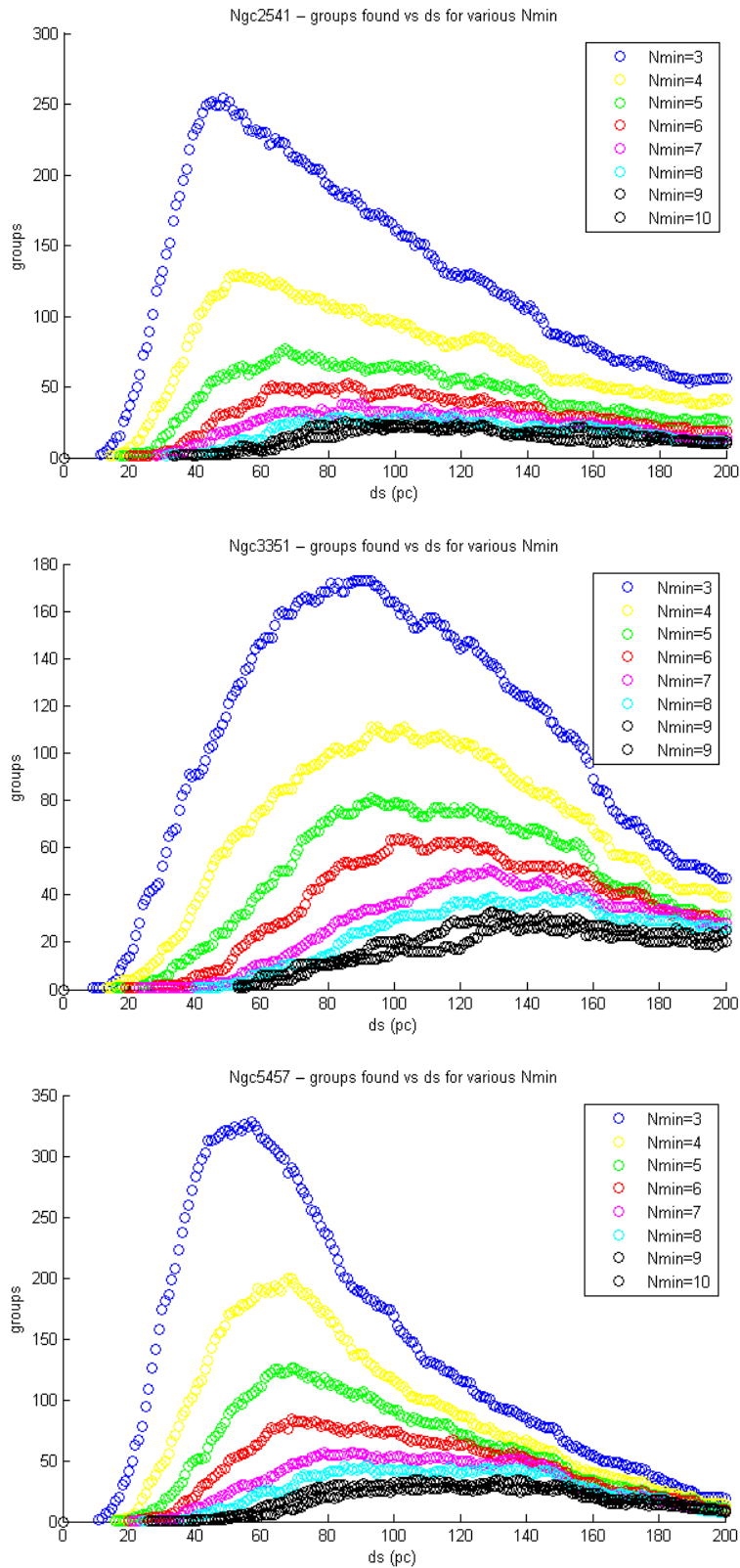


Figure 1.5: Γράφημα επιλογής  $D_s$  από τον αλγόριθμο FoF. Επιρροή του ελάχιστου αριθμού μελών μιας ομάδας,  $N_{min}$ , στον αριθμό ομάδων που ανιχνεύονται και στην τιμή του  $D_s$ .



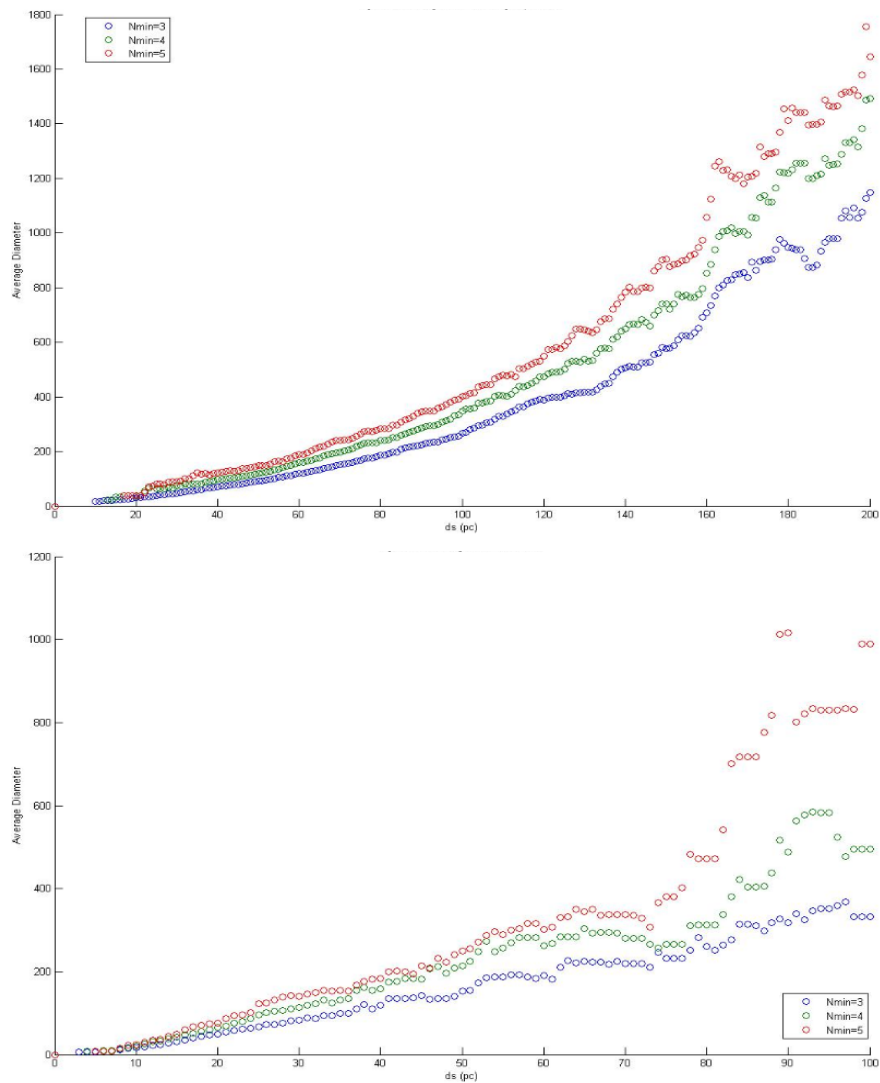


Figure 1.6: Γράφημα της μέσης τιμής μεγέθους για τις ομάδες που ανιχνεύονται από τον αλγόριθμο ανάλογα με την τιμή του ελάχιστου αριθμού μελών κάθε ομάδας,  $N_{min}$ , για διάφορες τιμές της ακτίνας έρευνας.

Περιοχές δημιουργίας αστερών και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

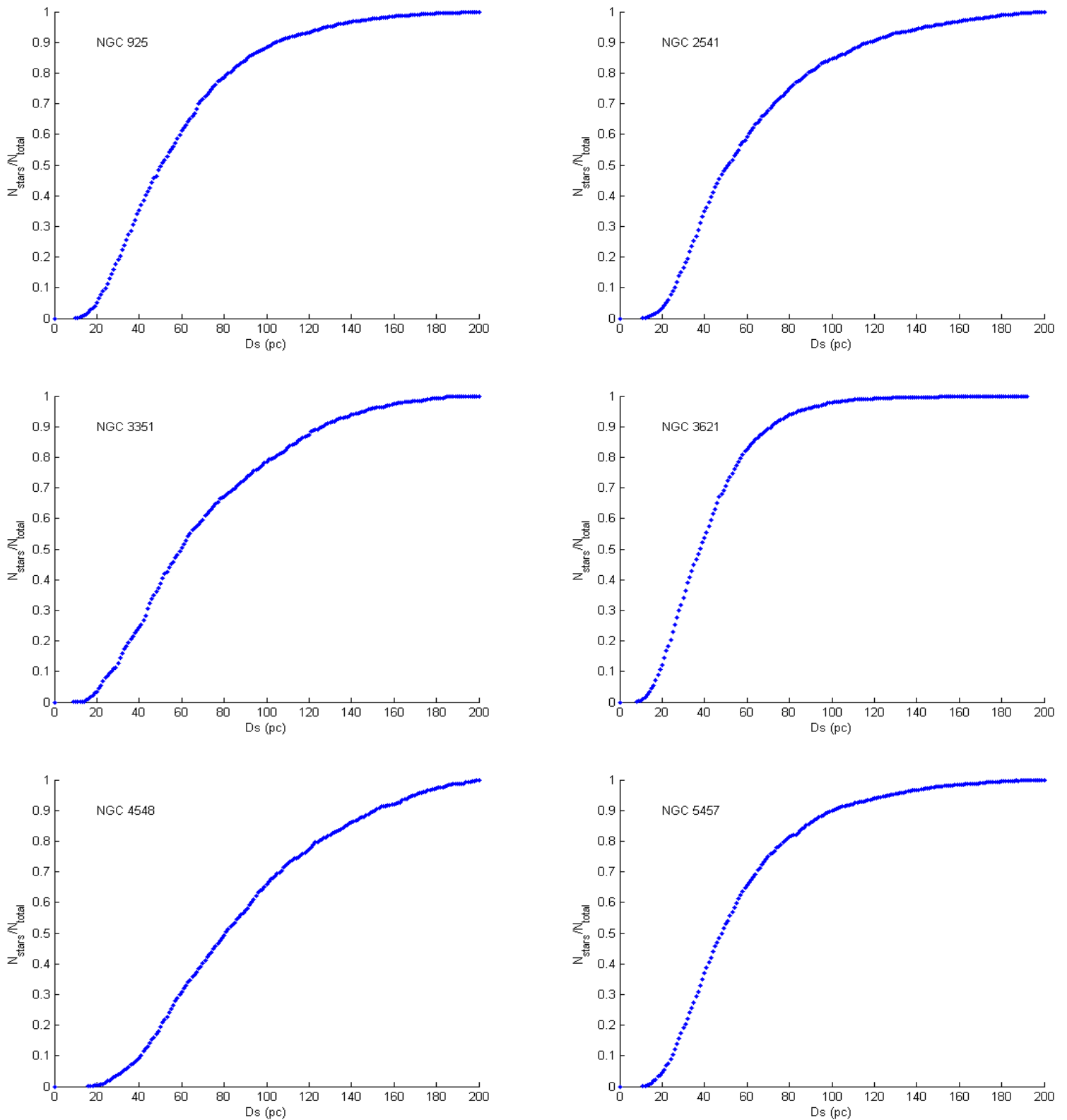


Figure 1.7: Γράφημα του αριθμού των άστρων σε σχέση με το σύνολο των άστρων του καταλόγου τα οποία είναι μέλη ομάδων για διάφορες τιμές της ακτίνας έρευνας (Γαλαξίες από HST).

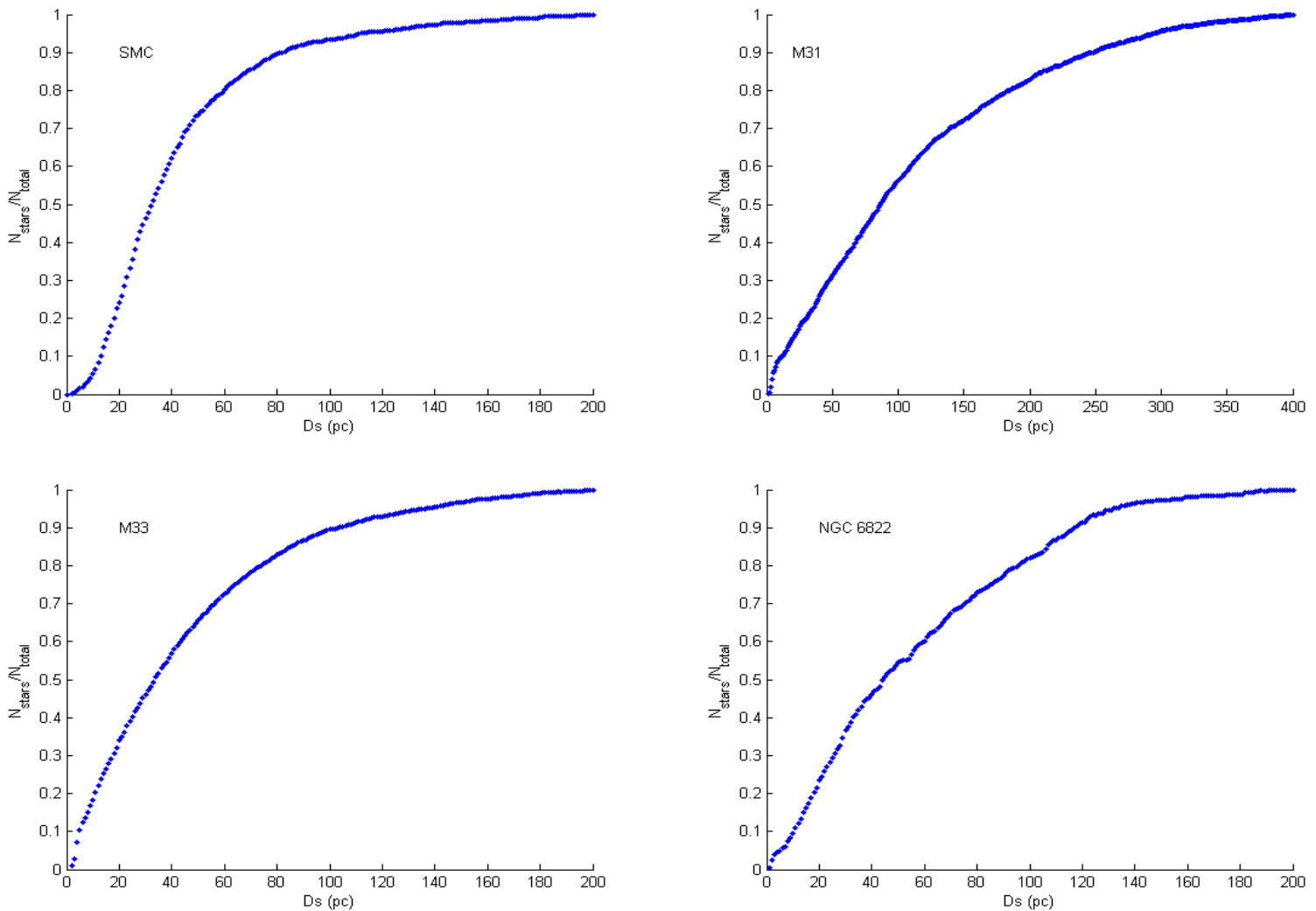


Figure 1.8: Γράφημα του αριθμού των αστερων σε σχέση με το σύνολο των αστερων του καταλόγου τα οποία είναι μέλη ομάδων για διάφορες τιμές της ακτίνας έρευνας (Γαλαξίες από επίγεια τηλεσκόπια). Στους τρεις γαλαξίες το εύρος του  $D_s$ , 1-200 pc περιέχει το σύνολο των αστερων. Μόνο στον M31 το εύρος είναι 1-400.

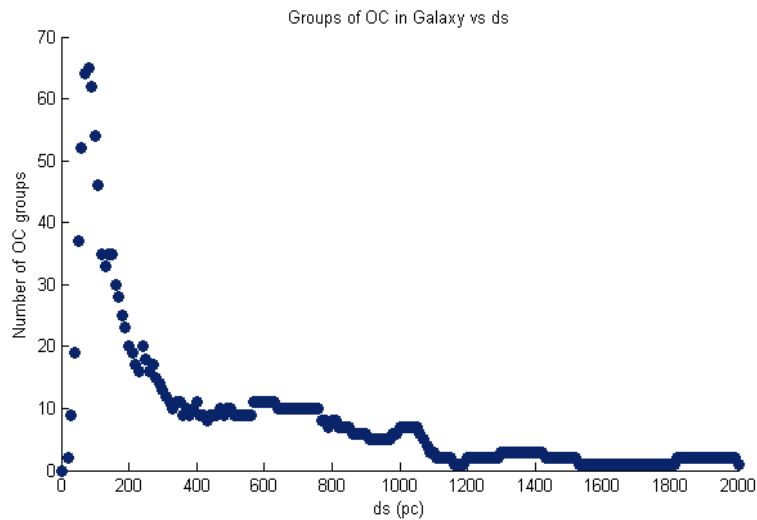


Figure 1.9: Γράφημα επιλογής τιμής ακτίνας έρευνας. Ο μέγιστος αριθμός ομάδων, 65, επιτυγχάνεται για  $D_s=80$  pc.

σε γαλαξιακές συντεταγμένες και οι αποστάσεις τους είναι γνωστές. Για τον υπολογισμό των αποστάσεων μεταξύ των σημνών οι τρεις γνωστές διαστάσεις,  $l, b$  και  $d$  (γαλαξιακό πλάτος, γαλαξιακό μήκος και απόσταση) μετατράπηκαν σε καρτεσιανές  $x, y, z$ . Μετά τον υπολογισμό των αποστάσεων εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος FoF και οι ομάδες που ανιχνεύθηκαν, εικονοποιήθηκαν σε γράφημα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κάθε σημνός αναπαρίσταται ως ένα σημείο, το κέντρο του, καθώς μας ενδιέφερε να μελετήσουμε τυχόν ομαδοποιήσεις των σημνών. Στο σχήμα 1.9 παρουσιάζεται το γράφημα επιλογής της τιμής ακτίνας έρευνας (αριθμός ομάδων για διάφορες τιμές του  $D_s$ ). Ο μέγιστος αριθμός ομάδων ήταν 65 και ο διαχωρισμός αυτός έγινε για  $D_s=80$  pc. Το σχήμα 1.10 παρουσιάζει μια απόπειρα εικονοποίησης των ομάδων σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Η μελέτη αυτή έγινε κυρίως για τη δοκιμή του προγράμματος. Η συγκεκριμένη εικονοποίηση των αποτελεσμάτων σε τρεις διαστάσεις δεν βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων.

#### 1.3.4.2 Ομάδες αστέρων άνθρακα στο LMC

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη δοκιμή της μεθόδου είναι από (Kontizas et al. 2001). Σκοπός ήταν η δοκιμή της μεθόδου για τη μελέτη τυχόν ομαδοποιήσεων αστέρων άνθρακα στο LMC. Τα δεδομένα διαιρέθηκαν σε τέσσερα υποσύνολα ανάλογα με το μέγεθος  $R$ . Αυτό έγινε καθώς η μέθοδος ήταν σε στάδιο όπου η διαχείριση της μνήμης για αριθμό συνόλων μεγαλύτερων από 5000 αντικείμενα ήταν προβληματική. Τα τρία υποσύνολα ήταν,  $R < 14$  με 250 άστρα,  $14 < R < 14.5$  με 1039 άστρα,  $14.5 < R < 15$  με 3332 άστρα και τέλος  $R > 15$  με 3139 άστρα, σχήμα . Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε κάθε υποσύνολο ξεχωριστά και η επιλογή της τιμής ακτίνας έρευνας για κάθε υποσύνολο φαίνεται στο σχήμα 1.12. Τα κέντρα των ομάδων μετά την ανίχνευσή τους από τη μέθοδο με τον ίδιο χρωματικό κώδικα στο σχήμα 1.13.

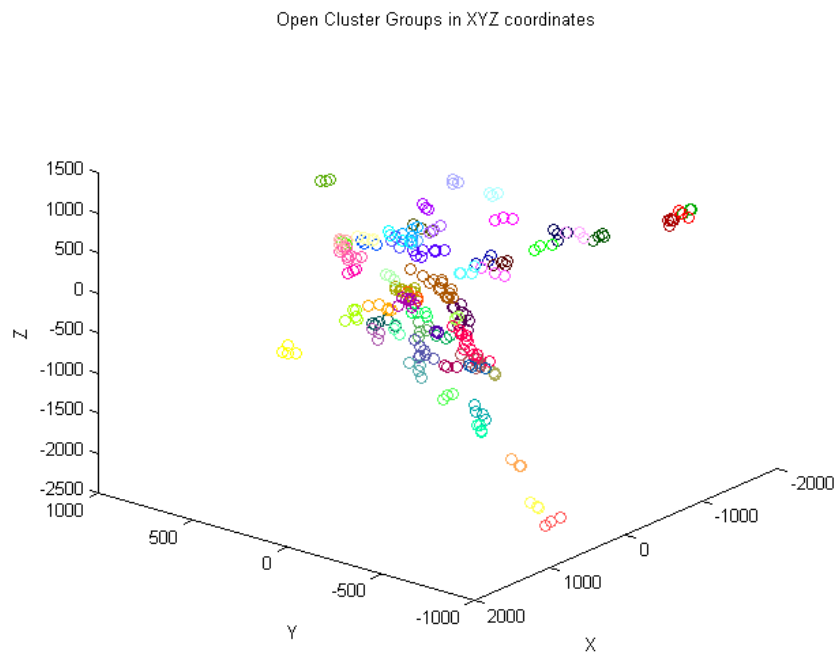


Figure 1.10: Γραφική απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις των ομάδων Ανοιχτών Σμηνών που ανιχνεύθηκαν με την αυτόματη μέθοδο.

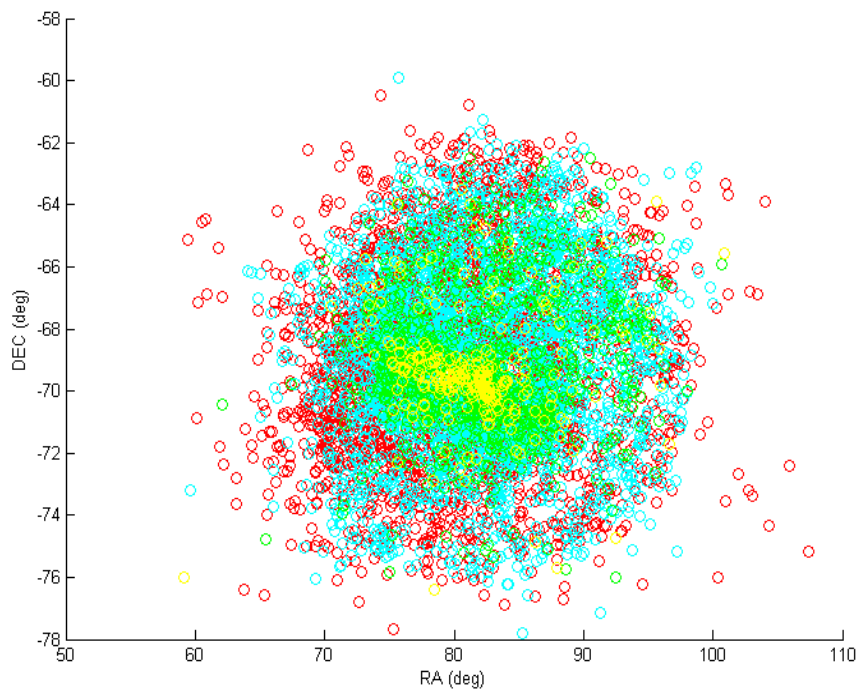


Figure 1.11: Απεικόνιση των αστερών άνθρακα χωρισμένων σε τέσσερα υποσύνολα,  $R < 14$  κίτρινο,  $14 < R < 14.5$  πράσινο,  $14.5 < R < 15$  κυανό και  $R > 15$  κόκκινο.

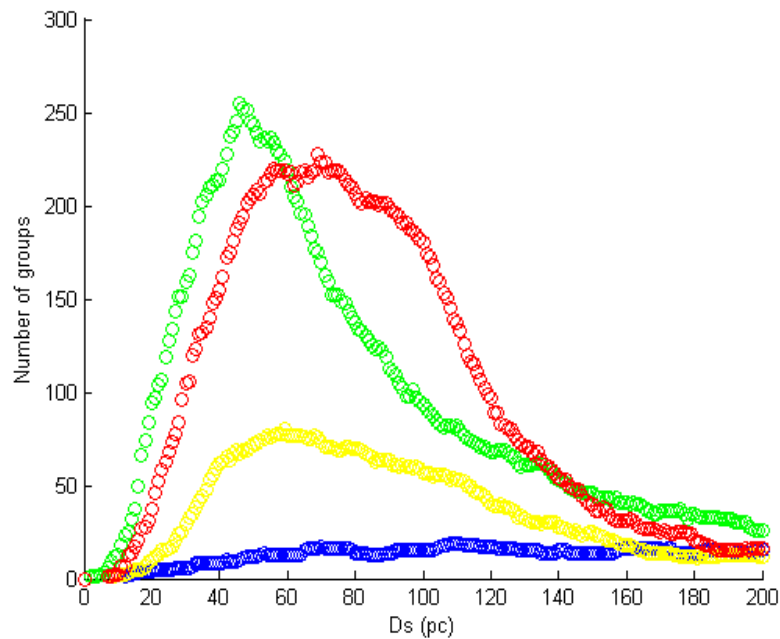


Figure 1.12: Γράφημα επιλογής τιμής ακτίνας έρευνα για κάθε υποσύνολο αστέρων άνθρακα,  $R < 14$  κίτρινο,  $14 < R < 14.5$  πράσινο,  $14.5 < R < 15$  κυανό και  $R > 15$  κόκκινο.

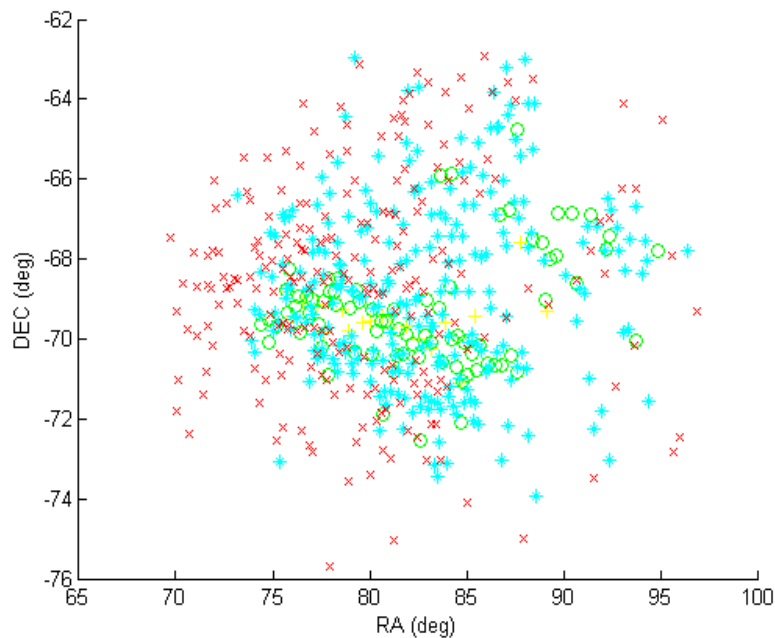


Figure 1.13: Τα κέντρα των ομάδων αστέρων άνθρακα που ανιχνεύθηκαν από τη μέθοδο στο LMC,  $R < 14$  κίτρινο,  $14 < R < 14.5$  πράσινο,  $14.5 < R < 15$  κυανό και  $R > 15$  κόκκινο.

### 1.3.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ένας τρόπος για να γίνει έλεγχος των αποτελεσμάτων της μεθόδου είναι η σύγκριση με ομαδοποιήσεις που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Η σύγκριση με τα αποτελέσματα άλλων μελετών, για παράδειγμα η μέση τιμή μεγέθους ομάδων που αναφέρονται στην βιβλιογραφία γίνεται αναλυτικά στις αντίστοιχες ενότητες των επόμενων κεφαλαίων. Σ' αυτό το κεφάλαιο η σύγκριση γίνεται χρησιμοποιώντας γραφήματα όπου εικονοποιούνται δύο ομαδοποιήσεις της ίδιας περιοχής του SMC, όπου επιλέγονται άστρα νεαρής ηλικίας. Στο σχήμα 1.14 παρουσιάζεται τα γραφήματα από το SMC (Maragoudaki et al. 2001) με isodensity contours από άστρα κύριας ακολουθίας με  $U < 15$  και  $15 < U < 16$ . Χρησιμοποιώντας δεδομένα από το Magellanic Clouds Photometric Survey (MCPS - Κεφάλαιο 3) και τη μέθοδο όπως περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα, παρουσιάζονται στο σχήμα 1.15 οι ομάδες όπως ανιχνεύθηκαν από τη μέθοδο για άστρα κύριας ακολουθίας με  $V < 15$  και  $15 < V < 16$ . Ο διαχωρισμός των ομάδων και η ιεραρχική κατανομή είναι ενδεικτικά της ομοιότητας των δύο ομαδοποιήσεων που έγιναν για τον ίδιο σκοπό, τη μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας στο SMC, με διαφορετικά δεδομένα και διαφορετικές μεθόδους.

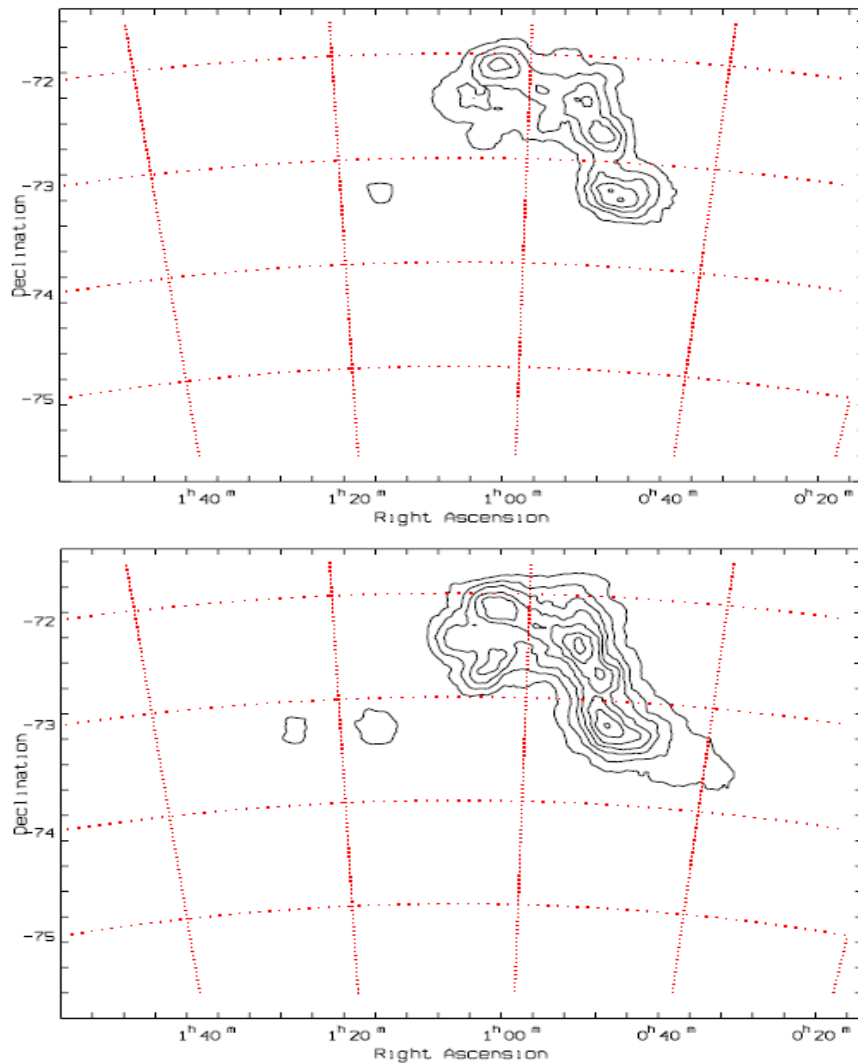


Figure 1.14: Isodensity contours από το SMC (Maragoudaki et al. 2001),  $U < 15$  (άνω) και  $15 < U < 16$  (κάτω).



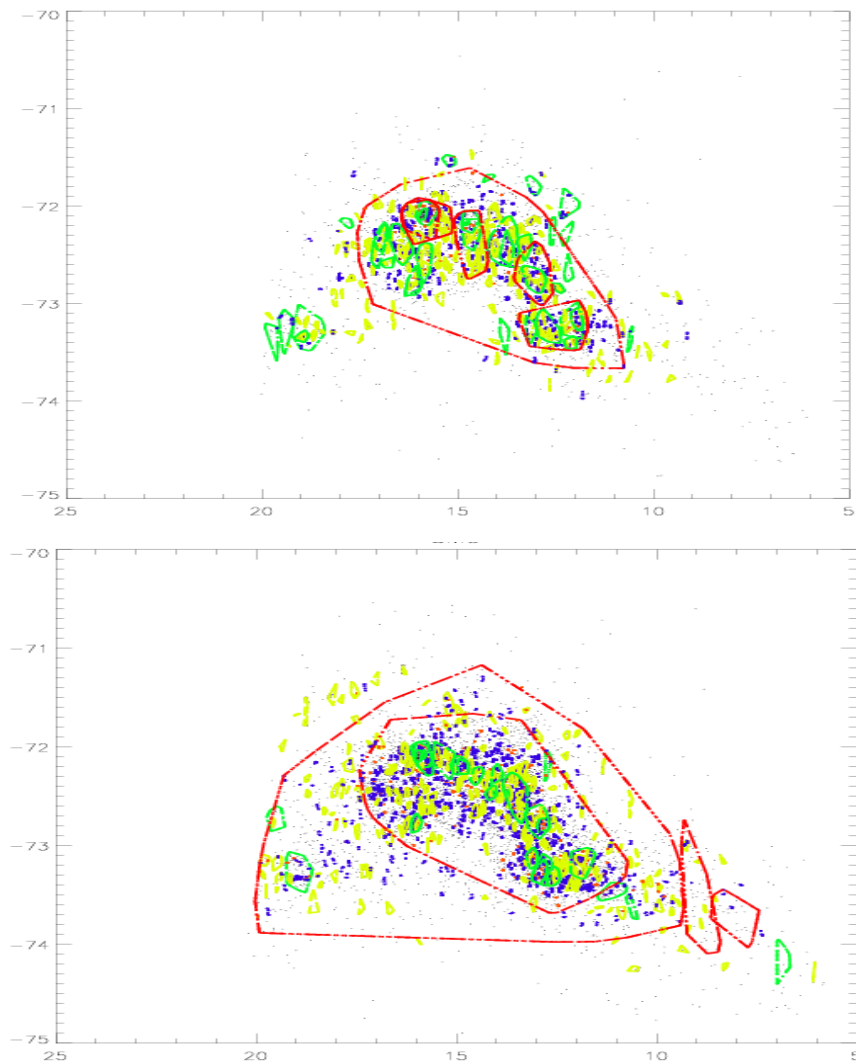


Figure 1.15: Ομάδες άστρων κύριας ακολουθίας,  $V < 15$  (άνω) και  $15 < V < 16$  (κάτω), του SMC σύμφωνα με την ταξινόμηση της μεθόδου, associations (μπλε), aggregates (κίτρινο), complexes (πράσινο), supercomplexes (red).



## 2. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΓΑΛΑΞΙΕΣ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ HST

### 2.1 Εισαγωγή

Η αυτόματη μέθοδος εντοπισμού νεαρών αστρικών δομών (Κεφάλαιο 1) εφαρμόστηκε σε έξι σπειροειδείς γαλαξίες, NGC 925, NGC 2548, NGC 3351, NGC 3621, NGC 4548 και NGC 5457. Οι παρατηρήσεις έγιναν από το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble (Hubble Space Telescope, από εδώ και πέρα HST) στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος HST Extragalactic Distance Scale Key Project για τη μελέτη μεταβαλλόμενων κηφείδων με σκοπό τον προσδιορισμό ή την καλύτερη τιμή της σταθεράς του Hubble (Kennicutt, Freedman & Mould, 1995). Οι παρατηρήσεις έγιναν με την Wide Field Planetary Camera 2 (από εδώ και πέρα WFPC2) του HST σε μια συνολική περίοδο περίπου τριών ετών και για τους έξι γαλαξίες, ξεκινώντας το Μάρτιο του 1994 και τελειώνοντας το Μάιο του 1997. Ο κοντινότερος γαλαξίας των παρατηρήσεων είναι ο NGC 3621 σε απόσταση 6,3 Mpc και ο πιο μακρινός είναι ο NGC 4548 σε απόσταση 15,9 Mpc.

Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

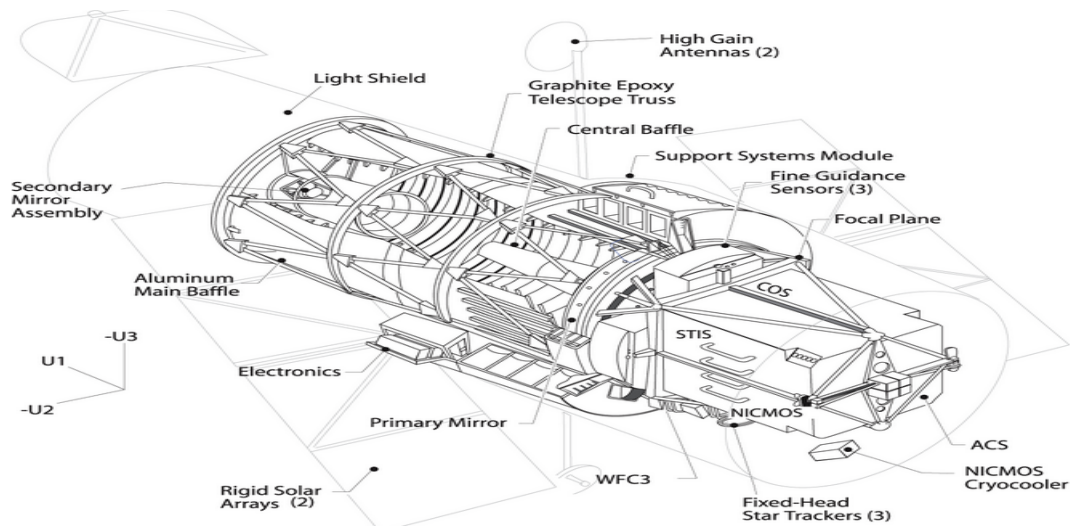


Figure 2.1: Γραφική απεικόνιση του HST μετά την αποστολή συντήρησης του 2009 (credit: STScI).

## 2.2 Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble

Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο Hubble, ένα κατοπτρικό τηλεσκόπιο 2,4 μέτρων με εύρος παρατήρησης από τα 90 nm έως περίπου τα 3  $\mu\text{m}$  και χωρική ανάλυση 0,05 δευτερόλεπτα τόξου (ACS), μπήκε σε χαμηλή τροχιά (600 km) στις 25 Απριλίου του 1990 στα πλαίσια της αποστολής STS-31. Το HST είναι πρόγραμμα συνεργασίας της Αμερικάνικης Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (National Agency of Aeronautics and Space, από εδώ και πέρα NASA) με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency, από εδώ και πέρα ESA). Υπεύθυνο για το συντονισμό και την εκτέλεση των επιστημονικών προγραμμάτων είναι το Space Telescope Science Institute (STScI) στο πανεπιστήμιο John Hopkins, στη Βαλτιμόρη της πολιτείας του Μέριλαντ στις ΗΠΑ. Το HST φέρει την τρέχουσα περίοδο τρία τηλεσκόπια και δύο σπεκτρογράφους.

### 2.2.1 Περιγραφή των οργάνων στο HST

#### 2.2.1.1 Space Telescope Imaging Spectrograph

Ο Φασματογράφος Απεικόνισης του Διαστημικού Τηλεσκοπίου (STIS) είναι ένα ευέλικτο όργανο με την ικανότητα να καταγράφει φάσματα και εικόνες το οποίο εγκαταστάθηκε στο HST το 1997. Το εύρος φάσματος ξεκινά από το υπεριώδες (115 nm) και φτάνει έως το ορατό ερυθρό και το κοντινό υπέρυθρο (1000 nm). Χρησιμοποιεί τρεις ανιχνευτές με 1024x1024 πίξελ ο καθένας, ένα φωτοηλεκτρικό ανιχνευτή μέτρησης φωτονίων (multi-anode microchannel array, MAMA) με φωτοκάθοδο ιωδιούχου καισίου για εύρος παρατήρησης από 115 έως 170 nm, ακόμα ένα MAMA τελλουριούχου καισίου για παρατηρήσεις στο εύρος 165 έως 310 nm και τέλος μια συσκευή συζευγμένου φορτίου

(Charged Coupled Device ή CCD) για παρατηρήσεις στο εύρος από 165 έως 1000 nm. Το οπτικό πεδίο των δύο MAMA είναι 25x25 δευτερόλεπτα τόξου ενώ του CCD είναι 52x52 δευτερόλεπτα τόξου. Το πλεονέκτημα αυτού του φασματογράφου είναι η ικανότητα να επιχειρεί φασματογραφία δύο διαστάσεων και με τους τρεις ανιχνευτές, καθώς έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν ταυτόχρονα το φάσμα πολλών περιοχών σε ένα γαλαξία, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα του HST από την αρχική του κατάσταση.

### 2.2.1.2 Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer

Το NIMCOS που εγκαταστάθηκε το 1998 παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης στο κοντινό υπέρυθρο και καταγραφής φάσματος σε εύρος φασματικής ζώνης από 0,8 έως 2,5  $\mu\text{m}$ . Αποτελείται από τρεις κάμερες τοποθετημένες συνεχόμενα οι οποίες όμως λειτουργούν ανεξάρτητα και ταυτόχρονα. Κάθε κάμερα είναι εξοπλισμένη με ανεξάρτητες διατάξεις HgCdTe Rockwell, 256x256 πίξελ οι οποίες χωρίζονται σε τέσσερα τμήματα, 128x128 το καθένα. Το μέγεθος κάθε πίξελ είναι περίπου 0,043 δευτερόλεπτα τόξου και το οπτικό πεδίο, 11x11 δευτερόλεπτα τόξου για την κάμερα 1. Οι αντίστοιχες τιμές για την κάμερα 2 είναι 0,075 και 19,2x19,2 και για την κάμερα 3 είναι 0,2 και 51,2x51,2. Κάθε κάμερα έχει εγκατεστημένα σε τρεις ανεξάρτητους τροχούς το δικό της σετ φίλτρων, έχοντας συνολικά 20 φίλτρα σε κάθε τροχό. Το εύρος φάσματος για κάθε κάμερα είναι διαφορετικό, από 0,8 έως 1,3  $\mu\text{m}$  για την κάμερα 1, από 1,9 έως 2,1  $\mu\text{m}$  για την κάμερα 2 και η κάμερα 3 καλύπτει όλο το εύρος παρατήρησης του NIMCOS από 0,8 έως 2,5  $\mu\text{m}$ .

### 2.2.1.3 Advanced Camera for Surveys

Η Φωτογραφική Μηχανή Χαρτογράφησης (ACS) εγκαταστάθηκε το Μάρτιο του 2002. Αποτελείται από τρεις επιμέρους κάμερες με τη δυνατότητα έρευνας ευρέως πεδίου από το ορατό έως το κοντινό υπέρυθρο με την Wide Field Camera (WFC), καταγραφής εικόνων υψηλής ανάλυσης από το κοντινό υπεριώδες έως το κοντινό υπέρυθρο με την High Resolution Camera (HRC) και απεικόνισης στο μακρινό υπεριώδες με τη Solar Blind Camera (SBC). Αστοχίες στα ηλεκτρονικά του CCD και στην παροχή ισχύος χαμηλής τάσης το 2007 είχαν ως αποτέλεσμα οι κάμερες HRC και WFC να τεθούν εκτός λειτουργίας. Η λειτουργία της WFC αποκαταστάθηκε το 2009.

Η κάμερα ευρέως πεδίου (WFC) έχει οπτικό πεδίο 202"x202", εύρος από 350 nm έως 1100 nm και πίξελ μεγέθους 15x15  $\mu\text{m}$ . Η χωρική ανάλυση (spatial resolution) είναι 0,05 δευτερόλεπτα τόξου ανά πίξελ. Η κάμερα SBC έχει αντιστοίχως οπτικό πεδίο 34"x31" και εύρος φάσματος από 115 nm έως 170 nm. Χρησιμοποιεί ένα ανιχνευτή MAMA με πίξελ μεγέθους 25x25  $\mu\text{m}$ . Η χωρική ανάλυση της SBC είναι 0,032 δευτερόλεπτα τόξου ανά πίξελ.

#### 2.2.1.4 Fine Guidance Sensors

Οι αισθητήρες οδήγησης FGS είναι τρία όργανα εγκατεστημένα κάθετα στον άξονα του HST και χρησιμεύουν στην καθοδήγηση του διαστημικού τηλεσκοπίου (δύο από τα τρία FGS) και στη λήψη αστρομετρικών δεδομένων (ένα FGS). Ο βασικός σκοπός των FGS είναι να παρέχουν σταθερότητα στη σκόπευση του HST σε επίπεδο χιλιοστού δευτερολέπτων τόξου και να παρέχουν τη δυνατότητα για χρόνου έκθεσης μέχρι και δεκάδων λεπτών. Τα FGS είναι συμβολόμετρα διάτμησης λευκού φωτός δύο αξόνων με οπτικό πεδίο περίπου 69 τετραγωνικά λεπτά τόξου. Η ακρίβεια στη σκόπευση είναι περίπου 2 χιλιοστά δευτερολέπτων τόξου ή και λιγότερη. Επίσης το FGS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αστόμετρο υψηλής ακρίβειας και σαν επιστημονικό όργανο με υψηλή γωνιακή ανάλυση.

#### 2.2.1.5 Cosmic Origins Spectrograph

Ο Φασματογράφος «Κοσμικής Απαρχής» (COS) είναι ένα όργανο τέταρτης γενιάς το οποίο εγκαταστάθηκε στο HST το 2009 και σχεδιάστηκε για να ενισχύσει την ικανότητα του HST για καταγραφή φάσματος στο υπεριώδες παρέχοντας φάσματα μέσης και χαμηλής ανάλυσης και να βελτιστοποιήσει την παρατήρηση σημειακών πηγών. Αποτελείται από δύο κανάλια, ένα για φασματογραφία στο μακρινό υπεριώδες (Far Ultra-Violet, FUV) κι ένα για το κοντινό υπεριώδες (Near Ultra-Violet, NUV).

Το FUV χρησιμοποιεί μόνο ένα οπτικό στοιχείο με υψηλή ευαισθησία από περίπου 900 Å έως 2050 Å. Η διακριτική ικανότητα έχει εύρος από  $R \sim 1300$  έως  $\sim 17,000$ . Κάθε τμήμα του ανιχνευτή έχει ενεργό περιοχή 85 x 10 mm, με 16384 x 1024 πίξελ και ανάλυση 6x10 πίξελ. Το NUV χρησιμοποιεί ένα ανιχνευτή Cs<sub>2</sub>Te MAMA με 1024x1024 πίξελ. Κομμάτια από το φάσμα πρώτης βαθμίδας κατευθύνονται στον ανιχνευτή από τρεις ξεχωριστούς επίπεδους καθρέφτες οι οποίοι παράγουν από μια λωρίδα φάσματος στον ανιχνευτή. Η διακριτική ικανότητα του NUV εξαρτάται από το πλέγμα διασποράς, το πλέγμα χαμηλής διασποράς καλύπτει 400 Å του εύρους φάσματος με  $R \sim 2100$  έως 3900. Το πλέγμα υψηλής διασποράς παρέχουν διακριτική ικανότητα από 16.000 έως 24.000.

#### 2.2.1.6 Wide Field Camera 3

Η Φωτογραφική Μηχανή Ευρέως Πεδίου 3 (WFC3) εγκαταστάθηκε το 2009 κατά την αποστολή συντήρησης 4 αντικαθιστώντας την Φωτογραφική Μηχανή Ευρέως Πεδίου 2. Η WFC3 παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης στο υπεριώδες, οπτικό και κοντινό υπέρυθρο μέσω δύο ανεξάρτητων καναλιών, Wide Field Ultraviolet-Visible Channel (UVIS) και Wide Field High-Throughput Infrared Channel (IR) τα οποία δεν γίνεται να λειτουργούν ταυτόχρονα αλλά συνεχόμενα το ένα μετά από το άλλο. Το UVIS αποτελείται από δύο 4096x2051 CCD, με χωρική ανάλυση περίπου 0,04 δευτερόλεπτα τόξου ανά πίξελ καλύπτοντας ένα οπτικό πεδίο 162x162 δευτερόλεπτα τόξου. Τα CCD είναι βελτιστοποιημένα για απεικονίσεις από το κοντινό υπεριώδες στα 200 nm έως τα ορατά

μήκη κύματος στα 1000 nm.

Το κανάλι IR χρησιμοποιεί διάταξη ανιχνευτών HgCdTe Teledyne, 1024x1024 πίξελ, χαμηλού θορύβου με χωρική ανάλυση περίπου 0,13"/pixel. Μόνο τα 1014x1014 κεντρικά πίξελ χρησιμοποιούνται για λήψη εικόνων καθώς τα εξωτερικά 5 πίξελ χρησιμοποιούνται ως πίξελ αναφοράς. Η θερμοκρασία λειτουργίας των διατάξεων HgCdTe είναι 145 K. Η φασματική απόκριση του ανιχνευτή IR έχει βελτιστοποιηθεί για λήψη εικόνων στο κοντινό υπέρυθρο από περίπου 800 έως 1700 nm.

### 2.3 Wide Field Planetary Camera 2

Οι παρατηρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτής της διατριβής πραγματοποιήθηκαν με την Wide Field Planetary Camera 2. Εγκαταστάθηκε στο HST κατά τη διάρκεια της πρώτης αποστολής συντήρησης το Δεκέμβριο του 1993. Αποσύρθηκε το Μάιο του 2009 κατά τη διάρκεια της τέταρτης αποστολής συντήρησης μετά από λειτουργία περίπου 15,5 ετών και αντικαταστάθηκε από την WFC3.

Το οπτικό πεδίο της WFPC2 (Σχήμα 2.2) βρισκόταν στο κέντρο του εστιακού επιπέδου του HST. Ένα σύνολο από 48 φασματικά στοιχεία και πολωτές περιέχεται σε μια κατασκευή 12 τροχών φίλτρων. Το φως προσπίπτει με ρηχή γωνία σε μια τετράεδρη πυραμίδα που βρίσκεται τοποθετημένη στο παρεκκλίνων εστιακό επίπεδο του τηλεσκοπίου του HST. Κάθε έδρα της πυραμίδας είναι μια κοίλη σφαιρική επιφάνεια που διαιρεί την εικόνα του τηλεσκοπίου σε τέσσερα μέρη. Κάθε ένα από τα τεταρτημόρια του πλήρους οπτικού πεδίου αφού αφήσει την πυραμίδα διαβιβάζεται από ένα επίπεδο καθρέφτη στο επόμενο μέσο διαβίβασης (Cassegrain) το οποίο σχηματίζει μια δεύτερη εικόνα του οπτικού πεδίου σε μια CCD με 800x800 pixels. Συνολικά η WFPC2 είχε τέσσερα CCD, τα Wide Field 2 (WF2), Wide Field 3 (WF3), Wide Field 4 (WF4) και την Planetary Camera (PC). Η προβολή του οπτικού πεδίου στον ουρανό φαίνεται στο Σχήμα 2.3, έχει σχήμα L και συνολικό οπτικό πεδίο 2,5x2,5 λεπτά τόξου. Τα τρία WF CCD έχουν το ίδιο οπτικό πεδίο, 80x80 δευτερόλεπτα τόξου ενώ το PC έχει αντίστοιχα οπτικό πεδίο, 36x36 δευτερόλεπτα τόξου. Η χωρική ανάλυση για τα WF είναι 0,0966/pixels και για το PC είναι 0,0455/pixels. Το μέγεθος ενός pixel είναι 15 μm. Η ανάλυση όπως αναφέρθηκε είναι ίδια και για τα τέσσερα CCD, 800x800 pixels.



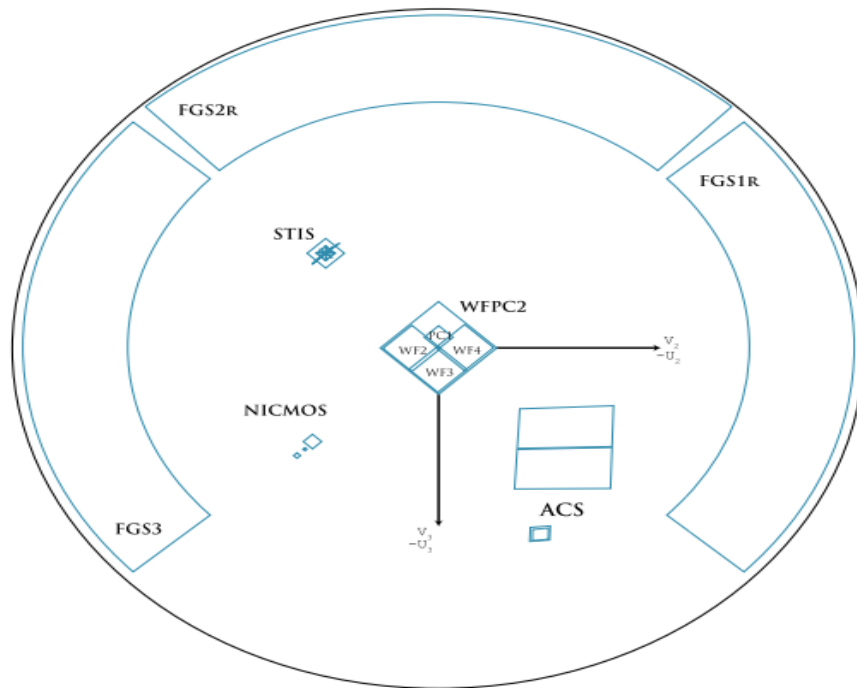


Figure 2.2: Γραφική απεικόνιση του οπτικού πεδίου της WFPC2 (credit: STScI).

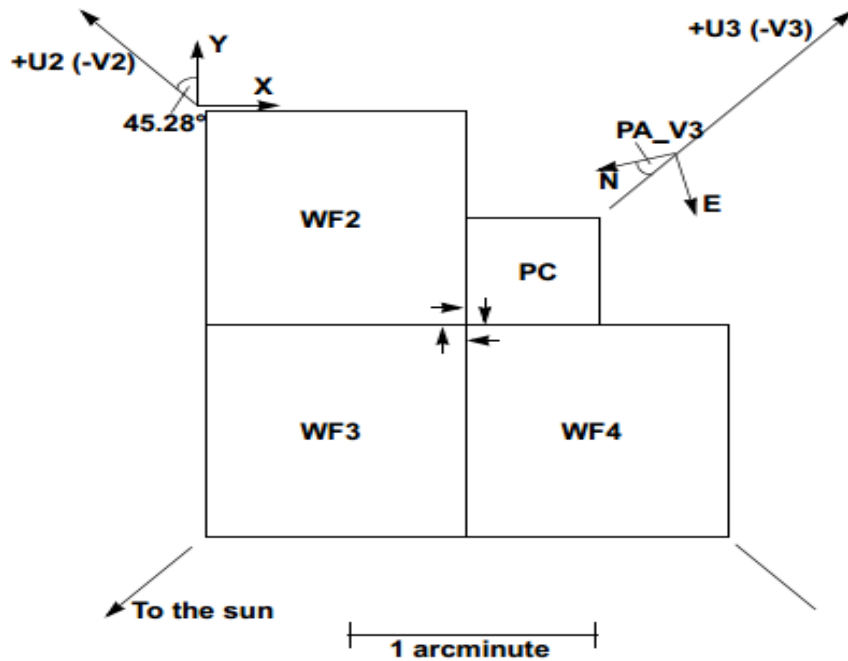


Figure 2.3: Γραφική απεικόνιση της προβολής του οπτικού πεδίου της WFPC2. Οι άξονες  $U_2$ ,  $U_3$  όπως και οι  $-V_2$ ,  $-V_3$  ορίζονται από το οπτικό τηλεσκόπιο του HST το οποίο βρίσκεται κοντά στο κέντρο του οπτικού πεδίου της WFPC2 (credit: STScI).

## 2.4 Γαλαξίες

Παρατηρήσεις από έξι σπειροειδείς γαλαξίες χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του αλγορίθμου και για τον εντοπισμό νεαρών αστρικών δομών. Όλες οι παρατηρήσεις ήταν στα πλαίσια του προγράμματος HST Key Project κι έγιναν με την WFPC2 του HST. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια σύντομη αναφορά για κάθε ένα από τους γαλαξίες των οποίων μελετήθηκαν οι περιοχές αστρικής δημιουργίας.

### 2.4.1 NGC 925

Ο NGC 925 (Silbermann et al 1996) ταξινομήθηκε σαν ένας γαλαξίας τύπου SBcII-III από τους Sandage και Tammann (1981) και αργότερα σαν SBS3 (de Vaucouleurs et al 1991) κι έχει κλίση  $59^\circ$ . Βρίσκεται σε ορθή αναφορά,  $\alpha_{2000} = 2^h 27^m 16.913^s$  και απόκλιση  $\delta_{2000} = +34^\circ 34' 43.97''$  (γαλαξιακό πλάτος =  $144^\circ, 9$  και γαλαξιακό μήκος =  $-25^\circ, 2$ ). Είναι μέλος της γαλαξιακής ομάδας 1023 (Tully 1980), μια βαρυντικά δεσμευμένη ομάδα περίπου 30 γαλαξιών σε απόσταση περίπου 10 Mpc, με μια εκτιμώμενη ακτίνα 0.8 Mpc.

### 2.4.2 NGC 2541

Ο NGC 2541 (Ferrarese et al 1998) ανήκει στο γαλαξιακό σμήνος NGC 2841 το οποίο καταλαμβάνει μια περιοχή στον ουρανό  $15^\circ \times 7^\circ$  κοντά στα σύνορα της Μεγάλης Άρκτου με το Λύγκα. Το σμήνος αυτό έχει συνολικά επτά μεγάλους σπειροειδείς γαλαξίες και πιθανότατα αρκετούς ακόμα νάνους. Όλα τα μέλη έχουν χαμηλές συστημικές ταχύτητες στο εύρος  $420-750 \text{ km s}^{-1}$ . Η ταχύτητα του NGC 2541 προσδιορίζεται στα  $556 \pm 4 \text{ km s}^{-1}$  (de Vaucouleurs et al 1991). Ο NGC 2541 βρίσκεται σε ορθή αναφορά,  $\alpha_{2000} = 08^h 14^m 40^s$  και απόκλιση  $\delta_{2000} = +49^\circ 03' 44''$  κι έχει κλίση  $58^\circ$ .

### 2.4.3 NGC 3351

Ο NGC 3351 (Graham et al 1997) ή M95 είναι ένας λαμπρός σπειροειδής γαλαξίας με μπάρα και έχει ορθή αναφορά  $\alpha_{2000} = 10^h 43^m 58^s$  και απόκλιση  $\delta_{2000} = +11^\circ 42' 15''$ . Ταξινομήθηκε σαν SBb(r) II (Sandage & Tammann 1981) και ως SB(r)b (de Vaucouleurs 1975). Εικόνες από επίγεια τηλεσκόπια (Sandage & Bedke 1994) απεικονίζουν ένα λαμπρό πυρήνα με ευρεία μπάρα και δύο κύριες σπείρες. Ύλη ρέει προς την περιοχή του πυρήνα από βορειοανατολική κατεύθυνση και από νοτιοδυτική, προκαλώντας αστρική δημιουργία. Η κλίση του είναι  $40^\circ$  (Rubin et al 1975) κι η ηλιοκεντρική του ταχύτητα εκτιμάται  $779 \pm 3 \text{ km s}^{-1}$ . Είναι μέλος του γαλαξιακού σμήνους Leo I το οποίο συμπεριλαμβάνει αρκετούς λαμπρούς γαλαξίες με ποικίλους μορφολογικούς τύπους.

#### 2.4.4 NGC 3621

Ο NGC 3621 (Rawson et al 1997) είναι ένας σχετικά απομονωμένος σπειροειδής γαλαξίας, με μορφολογική κατάταξη, Sc II.8 (Sandage & Tammann 1981) και Sc III-IV (de Vaucouleurs et al 1991). Έχει χαμηλή γαλακτοκεντρική απόκλιση στο ερυθρό  $526 \text{ km.s}^{-1}$  ενδεικτικό της σχετικά μικρής απόστασης από το σμήνος Virgo. Οι σπείρες του είναι πλεγμένες και ακανόνιστες, έχει κλίση  $51^\circ$ .

#### 2.4.5 NGC 4548

Ο NGC 4548 (Graham et al 1999) κατά πάσα πιθανότητα ανήκει στο γαλαξιακό σμήνος Virgo. Βρίσκεται σε ορθή αναφορά  $\alpha_{2000} = 12^h 35^m 26^s, 3$  και απόκλιση  $\delta_{2000} = +14^\circ 29' 49''$  με ηλιοκεντρική ταχύτητα  $475 \text{ km.s}^{-1}$  (Rubin, Waterman, & Kenney 1999). Ταξινομήθηκε σαν SBb(rs)I-II (Sandage & Tammann 1981) και SBb(rs) (de Vaucouleurs et al 1975) ενώ η κλίση του εκτιμάται  $37^\circ$  (Rubin et al 1999). Ο NGC 4548 παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τον NGC 3351 και υπάρχουν αναφορές στη βιβλιογραφία που τον χαρακτηρίζουν ως ένα εξαιρετικό παράδειγμα ανεμικού σπειροειδούς (van den Bergh 1976).

#### 2.4.6 NGC 5457

Ο NGC 5457 ή M101 (Kelson et al 1996) Βρίσκεται σε ορθή αναφορά  $\alpha_{2000} = 14^h 3^m$  και απόκλιση  $\delta_{2000} = +54^\circ 21'$  ( $l = 102^\circ$  και  $b = 60^\circ$ ). Είναι ένας λαμπρός Sc σπειροειδής με μορφολογικό τύπο SAB(rs)cd (de Vaucouleurs et al 1991). Είναι grand design face on και έχει μελετηθεί εκτεταμένα για τη σπειροειδή δομή του (για παράδειγμα Elmegreen, Elmegreen & Montenegro 1992).

Γαλαξίας	Ημερομηνία Παρατηρήσεων	Απόσταση (Mpc)	m-M (mag)	E(V-I)	Κλίση (deg)
NGC 925	08/09-07/10/1994	9.3	29.80	0.18	55.8
NGC 2541	28/12/1994-15/12/1995	12.4	30.25	0.11	58
NGC 3351	29/11/1994-04/12/1995	10.05	29.85	0.15	40
NGC 3621	27/12/1994-25/02/1995	6.3	29.08	0.30	51
NGC 4548	16/04/1996-05/05/1997	15.9	30.88	0.12	37
NGC 5457	22/03/1994-17/04/1995	7.4	29.13	0.18	18

Table 2.1: Στοιχεία των παρατηρήσεων για κάθε γαλαξία από το HST.

## 2.5 Δεδομένα

### 2.5.1 Παρατηρήσεις

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες ενότητες τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη ενότητα προέρχονται από παρατηρήσεις του Διαστημικού Τηλεσκοπίου Hubble στα πλαίσια του προγράμματος HST Key Project. Συγκεκριμένα οι εικόνες προέρχονται από την WFPC2, με χρήση φίλτρων F555W (V) και F814W (I) και ελήφθησαν από το αρχείο δεδομένων του HST, <http://archive.stsci.edu/hst/search.php>. Το οπτικό πεδίο της WFPC2 σε κάθε γαλαξία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4 και αναλυτικά στοιχεία των παρατηρήσεων στον Πίνακα 2.1.

### 2.5.2 Φωτομετρική ανάλυση

Η φωτομετρική ανάλυση των δεδομένων έγινε από το Δρ. Αναστάσιο Δαπέργολα με το πακέτο λογισμικού HSTrhot (Dolphin 2000). Στον Πίνακα 2.2 φαίνονται τα γενικά στοιχεία της φωτομετρικής ανάλυσης όπως ο συνολικός χρόνος έκθεσης και ο αριθμός των άστρων στον κατάλογο που δημιουργήθηκε μετά το τέλος της διαδικασίας. Για την αύξηση του ορίου μεγέθους της φωτομετρικής ανάλυσης έγινε χρήση της υπορουτίνας coadd του HSTrhot. Με αυτό τον τρόπο αρκετές εικόνες που ελήφθησαν με το ίδιο φίλτρο συνδυάστηκαν και δημιουργήθηκαν εικόνες με πολύ βαθιά έκθεση. Ο κατάλογος των άστρων κάθε γαλαξία που δημιουργήθηκε από την αρχική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για να παραχθούν ψευδείς εικόνες με σκοπό να γίνει και πάλι η φωτομετρική ανάλυση και να εκτιμηθεί η πληρότητα της αρχικής ανάλυσης. Το μικρότερο μέγεθος με πληρότητα 50% για τα δεδομένα μας ήταν  $M_v = -4$  για τον NGC 4548. Ενδεικτικά στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται το όριο σε απόλυτο μέγεθος για κάθε ένα από τους γαλαξίες των παρατηρήσεων και στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα γράφημα του απόλυτου μεγέθους  $M_v$  με τα σφάλματα της φωτομετρικής ανάλυσης για τον NGC 925.

Γαλαξίας	Έκθεσης (sec)	Αριθός Εικόνας F555W / F814W	Σφάλμα (Median) F555W / F814W	Αριθμός Άστρων	Αριθμός άστρων κύριας ακολουθίας
NGC 925	22000 / 6600	20 / 6	0.089 / 0.129	25584	3930
NGC 2541	28500 / 12500	26 / 10	0.095 / 0.113	23276	4356
NGC 3351	31900 / 8100	26 / 7	0.116 / 0.114	24999	2420
NGC 3621	18200 / 7200	20 / 8	0.111 / 0.115	35367	5329
NGC 4548	52200 / 30900	41 / 23	0.118 / 0.112	28465	3697
NGC 5457	16800 / 4600	15 / 4	0.087 / 0.124	34111	4052

Table 2.2: Γενικά στοιχεία της φωτομετρικής ανάλυσης.

## 2.6 Εφαρμογή της αυτόματης μεθόδου εντοπισμού αστρικών δομών

### 2.6.1 Επιλογή αστερών κύριας ακολουθίας

Ο σκοπός της εφαρμογής της μεθόδου είναι ο εντοπισμός δομών που αποτελούνται από άστρα νεαρής σχετικά ηλικίας. Από το σύνολο των δεδομένων που έχουμε στη διάθεσή μας, με βάση το Color Magnitude Diagram (από εδώ και πέρα CMD) προχωρούμε στην επιλογή ενός υποσυνόλου. Θεωρητικές ισόχρονες εφαρμόζονται στο διάγραμμα για την εκτίμηση της ηλικίας και για την τελική επιλογή των τιμών των παραμέτρων επιλογής του υποσυνόλου.

Τα κριτήρια επιλογής θα περιορίσουν τον αρχικό κατάλογο σε άστρα κύριας ακολουθίας σχετικά νεαρής ηλικίας. Ένα από τα κριτήρια αυτά είναι το χρώμα, V-I. Σε συνδυασμό με το όριο πληρότητας 50% από τη φωτομετρία και με τις θεωρητικές ισόχρονες μπορούμε να προσδιορίσουμε τα άστρα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Αρνητικό είναι η απόσταση των γαλαξιών καθώς το μέγεθος του συνόλου των άστρων κυρίας ακολουθίας είναι σχετικά μικρό, συνεπώς και ο αριθμός των πολύ λαμπρών αστερών οπότε και οι τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν πρέπει να επιτρέπουν ένα στατιστικά επαρκές σύνολο αστερών με την παραδοχή πως η επιλογή δεν γίνεται αυστηρά για φασματικούς τύπους O και B αλλά και A. Εάν όμως τα κριτήρια και κυρίως το V-I γίνουν πιο χαλαρά υπάρχει ο κίνδυνος επιλογής αστερών φασματικού τύπου πέρα από το A. Η επιλογή έγινε υιοθετώντας το  $V-I < 0,23$  όπως και στο Bresolin et al (1998) που μελέτησε το ίδιο σύνολο γαλαξιών. Η τιμή  $V-I=0,2$  μείωνε το σύνολο των άστρων κατά 5% μέσο όρο στους γαλαξίες και η τιμή  $V-I=0,3$  αύξανε μεν κατά 10% το πλήθος των άστρων αλλά αυξανόταν και η πιθανότητα να συμπεριληφθούν άστρα μεγαλύτερου φασματικού τύπου.

Για την εκτίμηση της πιθανότητας να έχουν συμπεριληφθεί άστρα του Γαλαξία στο σύνολο που επιλέχθηκε, για κάθε γαλαξία έγιναν τεστ με το μοντέλο δυναμικής του Γαλαξία μας, Besancon (Robin et al. 2003). Η πιθανότητα προβολής αστερών του Γαλαξία μας όπως προβλέπεται από το μοντέλο Besancon, στο σύνολο των δειγμάτων είναι μηδαμινή. Το CMD για το γαλαξία NGC 925 απεικονίζεται στο Σχήμα 2.7 όπως και οι θεωρητικές ισόχρονες (Marigo et al 2008) για 10, 50 και 100 Myr. Η κάθετη γραμμή δείχνει το όριο στο χρώμα (V-I) που επιλέχθηκε για τον περιορισμό του δείγματος και η παράλληλη γραμμή δείχνει το όριο πληρότητας (50%) από τη φωτομετρική ανάλυση. Διόρθωση για extinction έγινε σε όλους τους γαλαξίες σύμφωνα με Allen & Shanks (2004).

## 2.6.2 Αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου στο σύνολο των γαλαξιών του HST που επιλέξαμε. Η λειτουργία της μεθόδου περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 1. Ο αλγόριθμος επεξεργάστηκε τα δεδομένα που επιλέχθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα 2.6.1. Πρέπει να σημειωθεί πως για το συγκεκριμένο σύνολο γαλαξιών αποφασίστηκε να μην ερευνηθεί ο αλγόριθμος για ομάδες της κατηγορίας με τη μικρότερη διάσταση, clusters. Για κάθε γαλαξία η μέθοδος καθόρισε μια τιμή της ακτίνας έρευνας ( $D_s$ ) για κάθε κατηγορία ταξινόμησης, συνολικά πέντε τιμές για κάθε γαλαξία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.8 όπου δίνεται το γράφημα του πλήθους των ομάδων που ανιχνεύτηκαν για κάθε τιμή του  $D_s$  που δοκίμασε η μέθοδος. Η τιμή που δίνει το μέγιστο αριθμό ομάδων σε κάθε κατηγορία επελέγεται αυτόματα από τον αλγόριθμο. Για κάθε μια από αυτές τις τιμές του  $D_s$ , ο αλγόριθμος διαχώρισε το σύνολο των άστρων κάθε γαλαξία σε ομάδες, υπολόγισε τη διάσταση κάθε ομάδας, τις ταξινόμησε και δημιούργησε καταλόγους αφού αφαιρέσει διπλές καταχωρήσεις ομάδων. Στον Πίνακα 2.3 δίνονται οι τιμές του  $D_s$  σε κάθε γαλαξία και για κάθε κατηγορία ομάδας ενώ ο Πίνακας 2.4 παρουσιάζει ένα δείγμα των καταλόγων που δημιουργήθηκαν για κάθε γαλαξία.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6, όπου για κάθε γαλαξία και για κάθε κατηγορία δίνεται το πλήθος των ομάδων που ανιχνεύθηκαν από τον αλγόριθμο, η μέση τιμή του πλήθους των μελών και της διάστασης κάθε κατηγορίας. Για παράδειγμα στον NGC 925 η μέθοδος εντόπισε 775 ομάδες συνολικά, από τις οποίες 356 ταξινομήθηκαν ως associations με μέση διάσταση 67 pc και μέσο αριθμό μελών 4 άστρα. Αντίστοιχες τιμές δίνονται και για τις υπόλοιπες κατηγορίες.

Σχεδόν 60% των associations σε όλους τους γαλαξίες έχουν τρία μέλη και 95% αυτών των ομάδων έχουν μέχρι πέντε μέλη. Το σύνολο του πλήθους των ομάδων που ανήκουν στις κατηγορίες associations και aggregates αποτελούν το 88% των ομάδων που βρέθηκαν σε όλους τους γαλαξίες. Η κατανομή των μεγεθών γι' αυτές τις κατηγορίες δίνεται στο Σχήμα 2.9. Η επιφανειακή πυκνότητα υπολογίστηκε ως αριθμός άστρων ανά τετραγωνικό parsec. Η διάσταση κάθε ομάδας θεωρήθηκε διάμετρος μιας κυκλικής επιφάνειας που περιέχει τα άστρα της ομάδας. Έτσι έγινε και η εκτίμηση της πυκνότητας. Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται το γράφημα της πυκνότητας κάθε ομάδας που βρέθηκε στον NGC 925 με τη διάσταση της ομάδας. Από το γράφημα βλέπουμε ότι μεγαλύτερες τιμές πυκνότητας έχουν οι ομάδες μικρότερου μεγέθους, μέχρι 100 pc (associations). Η κατανομή της πυκνότητας των ομάδων για κάθε γαλαξία δίνεται στο Σχήμα 2.11 όπου φαίνεται πως η πλειοψηφία των ομάδων παρουσιάζει μικρές τιμές επιφανειακής πυκνότητας.

Στα Σχήματα 2.12, 2.13 και 2.14 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των ομάδων που ανιχνεύθηκαν σε κάθε γαλαξία. Σε όλους τους γαλαξίες η πλειοψηφία των ομάδων περικλείεται από μεγαλύτερες ομάδες κι αυτές με τη σειρά τους από άλλες μέχρι να φτάσουμε στις ομάδες με τη μεγαλύτερη διάσταση. Οι εικόνες αυτές παρουσιάζουν ενδείξεις ιεραρχικής κατανομής των δομών καθώς οι μεγαλύτερες κατηγορίες (complexes και supercomplexes) περιέχουν τις μικρότερες ομάδες (associations και aggregates).

Η συνάρτηση λαμπρότητας για κάθε κατηγορία ταξινόμησης και για κάθε γαλαξία

Table 2.3: Τιμές της ακτίνας έρευνας (Ds) από τον αλγόριθμο για κάθε γαλαξία και κάθε κατηγορία ταξινόμησης.

Γαλαξίας	Associations Ds (pc)	Aggregates Ds (pc)	Complexes Ds (pc)	Supercomplexes Ds (pc)
NGC 925	45	69	93	130
NGC 2541	41	78	179	200
NGC 3351	48	83	113	147
NGC 3621	40	58	73	96
NGC 4548	59	97	129	182
NGC 5457	39	69	106	132

Table 2.4: Δείγμα του καταλόγου των ομάδων που εντοπίστηκαν στον NGC 925 (Τύπος ομάδας : Associations (1), Aggregates (2), Complexes (3), Supercomplexes (4)).

Δείκτης Ομάδας	$\alpha$ (deg) (J2000.0)	$\delta$ (deg) (J2000.0)	Μέλη	Διάσταση (pc)	Τύπος
1	36.771894	33.576788	37	256	2
2	36.769074	33.581435	60	408	3
3	36.772756	33.579100	7	129	2
4	36.770938	33.582163	20	219	2
5	36.773414	33.583055	3	35	1
6	36.767240	33.584428	18	179	2
7	36.775191	33.578170	6	86	1
8	36.773012	33.577534	10	94	1
9	36.765970	33.583368	6	100	1
10	36.774014	33.580712	4	77	1

απεικονίζεται στο σχήμα 2.15. Προσδιορίστηκε το best fit και η κλίση για κάθε γράφημα. Αν και η πληρότητα των δεδομένων ήταν 50% για μέγεθος  $V=27$ , η συνάρτηση λαμπρότητας παρουσιάζει breaking point περίπου στο  $V=26$  mag περιορίζοντας το πιο μικρό μέγεθος της συνάρτησης σε  $M_v < -4.5$  ή  $M_v < -4.0$  ανάλογα με το γαλαξία. Η κλίση για τα associations έχει μέση τιμή 0.59, παρόμοια με το 0.61 που αναφέρεται από Bresolin et al (1998) για τους ίδιους γαλαξίες. Θα περιμέναμε τη συνάρτηση λαμπρότητας για τους άλλες κατηγορίες ταξινόμησης ειδικά για τα μεγαλύτερα μεγέθη, complexes, και supercomplexes να έχουν μεγαλύτερη κλίση καθώς περιμένουμε να έχουν λιγότερο λαμπρά μέλη. Αυτό μεν συμβαίνει αλλά η διαφορά από τα associations είναι μικρή. Αυτό συμβαίνει γιατί το οριακό μέγεθος της συνάρτησης και το όριο ανίχνευσης των παρατηρήσεων είναι μέχρι περίπου  $M_v=-2$  mag, συνεπώς λιγότερο λαμπρά άστρα δεν ήταν δυνατόν να ανιχνευθούν. Επίσης οι μεγάλες ομάδες δεν έχουν ανεξάρτητο αστρικό πληθυσμό από τις μικρές καθώς περιέχουν ένα μεγάλο ποσοστό από αυτές.

Table 2.5: Πλήθος ομάδων που ανιχνεύθηκαν για κάθε κατηγορία ταξινόμησης και τα χαρακτηριστικά τους για κάθε γαλαξία.

Γαλαξίας NGC 925	Τύπος	Πλήθος ομάδων	Διάσταση (Average) (pc)	Αριθμός Μελών (Average)	Διάσταση (Median) (pc)
	Associations	356	67	4	68
	Aggregates	326	174	8	162
	Complexes	80	512	32	476
	Supercomplexes	13	1527	195	1239
<hr/>					
NGC 2541					
	Associations	305	64	4	64
	Aggregates	271	165	6	151
	Complexes	97	517	22	448
	Supercomplexes	15	1770	205	1670
<hr/>					
NGC 3351					
	Associations	184	68	4	69
	Aggregates	264	176	7	165
	Complexes	98	507	23	466
	Supercomplexes	14	1609	118	1533
<hr/>					
NGC 3621					
	Associations	495	63	4	61
	Aggregates	359	162	9	151
	Complexes	77	510	48	466
	Supercomplexes	12	1424	311	1242
<hr/>					
NGC 4548					
	Associations	178	75	3	75
	Aggregates	446	162	5	168
	Complexes	172	502	15	469
	Supercomplexes	36	1424	74	1399
<hr/>					
NGC 5457					
	Associations	340	62	4	61
	Aggregates	278	172	7	161
	Complexes	75	500	26	424
	Supercomplexes	17	1469	146	1453



## 2.7 Σχόλια - Παρατηρήσεις

Συγκρίναμε τη μέση τιμή μεγέθους που υπολογίστηκε από την αυτόματη μέθοδο με τις μέσες τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για διάφορους γαλαξίες, M101 και LMC (B98, Bresolin, Kennicutt, Stetson 1996, από εδώ και πέρα BKS), LMC (Gouliermis et al. 2003), M33, M31, SMC (Battinelli et al. 1996), NGC 6822 (Karampelas et al. 2009, Gouliermis et al. 2010) και οι έξι γαλαξίες του HST που μελετήθηκαν στα πλαίσια της διατριβής (Bresolin et al. 1998). Οι τελευταίοι μελέτησαν το ίδιο δείγμα γαλαξιών με βάση την αυτόματη μέθοδο που πρότεινε ο Battinelli (1991). Σε κάθε γαλαξία έθεσαν ένα ελάχιστο αριθμό μελών ( $N_{min}$ ) για να θεωρηθεί μια αστρική ομάδα association και χρησιμοποίησαν μια ακτίνα έρευνας για κάθε γαλαξία. Η μέση τιμή μεγέθους για τα associations κυμαίνεται από 87-125 pc και δέχτηκαν και μεγέθη μέχρι 200 pc. Οι μέσες τιμές αυτές υπερκαλύπτουν δύο κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή τη διατριβή. Ο διαφορετικός ορισμός του association και τα μεγάλα μεγέθη που ανεβάζουν τη μέση τιμή είναι οι αιτίες για τις διαφορές με τις δικές μας κατηγορίες ταξινόμησης. Η κατανομή μεγεθών και για στις δύο μελέτες έδειξε μια κορύφωση στο ίδιο εύρος, 40-80 pc για τους Bresolin et al και 50-80 pc για τη δική μας μέθοδο. Επίσης οι BKS αναφέρουν για έξι γαλαξίες, M101 (NGC 5457), M31, M33, NGC 6822, LMC, και SMC μέσες τιμές στο εύρος 60-100 pc και την τιμή του  $N_{min}$  να μεταβάλλεται από 3-10 μέλη. Η κατανομή μεγεθών και σ' αυτή τη μελέτη έδειξε να κορυφώνεται στο εύρος 40-80 pc. Ακόμα ένας λόγος για τη διαφορά στις μέσες τιμές είναι η τιμή του  $N_{min}$  όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 1 η αύξηση της οδηγεί τον αλγόριθμο στην ανίχνευση ομάδων με μεγαλύτερη διάσταση. Για το LMC η μέση διάσταση για τα association αναφέρεται στα 70 pc (Gouliermis et al 2003) και από άλλες μελέτες έχει ένα εύρος από 65-93 pc. Πρέπει να τονιστεί ότι το εύρος στις τιμές που αναφέρθηκαν μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετικό ορισμό των αστρικών ομάδων σε κάθε περίπτωση. Ο όρος association έχει ένα εύρος ορισμών και στη βιβλιογραφία τα μεγέθη που αποδίδονται σ' αυτές τις ομάδες ποικίλουν.

Στις μεγαλύτερες κατηγορίες ταξινόμησης από τα associations η αυτόματη μέθοδος υπολόγισε ένα εύρος μέσης τιμής για τα aggregates, 162-175 pc και 5-9 μέλη για κάθε ομάδα. Τα complexes έχουν μέση διάσταση από 500 έως 517 pc και ο μέσος αριθμός μελών είναι από 15 έως 48 άστρα. Η μεγαλύτερη κατηγορία, τα supercomplexes έχουν μέση διάσταση από 1200 έως 1600 pc και ο μέσος αριθμός μελών είναι 74-311 άστρα. Οι αναφορές στη βιβλιογραφία για ομάδες μεγαλύτερες από associations βρίσκονται κοντά στα ευρήματα της αυτόματης μεθόδου. Για τον M31 ο van den Bergh (1964) εντόπισε ομάδες με μέση διάσταση 600 pc, οι Magnier et al (1993) αναφέρουν ένα μεγάλο αριθμό ομάδων με διάσταση 50-150 pc, περίπου οι μέσες τιμές για τα associations και aggregates και μερικές δομές με 400 pc μέση διάσταση. Για τον ίδιο γαλαξία οι Battinelli, Efremov και Magnier (1996) εντόπισαν δομές ιεραρχικής μορφής σε δύο επίπεδα, το πρώτο με διάσταση περίπου 100 pc και το δεύτερο με κατανομή από 100 έως 800 pc με μέγιστο στα 200 pc και με μια ένδειξη δεύτερης κορυφής στα 400 pc. Επίσης για τον LMC (Livanou et al. 2007) και τον NGC 6822 (Karampelas et al. 2009), οι αναφορές είναι παρόμοιες με ομάδες να εντοπίζονται σε δύο επίπεδα, το πρώτο από 150-400, το εύρος που ορίσαμε για τα aggregates και το δεύτερο 400-800, μέσα στο εύρος των complexes.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι τη επιφανειακή πυκνότητα συσχετίζεται με τη διάσταση της ομάδας. Η πυκνότητα εμφανίζει μεγάλες τιμές για μικρές τιμές διάστασης. Η πλειοψηφία των associations είναι πυκνότερα από κάθε άλλη ομάδα εκτός από aggregates που πλησιάζουν το μικρότερο όριο των διαστάσεων τους, τα 100 pc και τα complexes και supercomplexes εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές πυκνότητας, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10 για τον NGC 925. Οι αστρικές ομάδες είναι σχηματισμοί χωρίς βαρυτική συνοχή και με πυκνότητα  $\rho \leq 0.1 \odot$  (Kontizas et al 1999). Τα αστρικά σμήνη έχουν πυκνότητα  $\rho \geq 0.1 \odot$  και βαρυτικές δυνάμεις τέτοιες που να διατηρούν τη συνοχή τους για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα από  $10^8$  yrs (Lada & Lada 2003). Τα αστρικά σμήνη διαχωρίζονται σε σφαιρωτά και ανοιχτά. Τα ανοιχτά σμήνη παρουσιάζουν χαλαρή βαρυτική συνοχή έτσι ώστε η πυκνότητα βρίσκεται κοντά στο κατώτερο όριο ενώ τα σφαιρωτά σμήνη βρίσκονται στα ανώτερα όρια πυκνότητας. Κατά συνέπεια τα ανοιχτά σμήνη λόγω της σχετικής χαλαρότητας των βαρυτικών δυνάμεων μπορούν να θεωρηθούν σαν αντικείμενα που βρίσκονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση, ανάμεσα στις ομάδες και τα σφαιρωτά σμήνη (Kontizas et al 1999).

Σε ολόκληρο το δείγμα των έξι γαλαξιών υπάρχουν ενδείξεις ιεραρχικής δομής καθώς η πλειοψηφία των associations και aggregates που είναι μικρές σε διάσταση ομάδες και πυκνές σε σχέση με τις υπόλοιπες περικλείονται από μεγαλύτερες ομάδες, complexes και supercomplexes. Επίσης συναντάται συχνά μια μεγάλη ομάδα όπως ένα supercomplex να βρίσκεται μέσα σε μια ομάδα της ίδιας κατηγορίας, ακόμα μεγαλύτερο σε διάσταση. Όπως στον NGC 3621 (σχήμα 2.13, κάτω) όπου σχεδόν στο κέντρο της απεικόνισης βρίσκονται τρία supercomplex, το ένα μέσα στο άλλο. Το μικρότερο βρέθηκε από τον αλγόριθμο για  $D_s=58$  pc κι όταν η τιμή του  $D_s$  αυξήθηκε στα 73 pc βρέθηκε το επόμενο που το περικλείει και τέλος το πιο μεγάλο που περιέχει τα δύο προηγούμενα βρέθηκε για  $D_s=96$  pc. Συνεπώς όπως φάνηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η αύξηση της τιμής του  $D_s$  οδηγεί στην εύρεση ομάδων με μεγαλύτερη διάσταση, κάτι που είναι εμφανές κυρίως στις μεγάλες κατηγορίες όπως τα supercomplex.

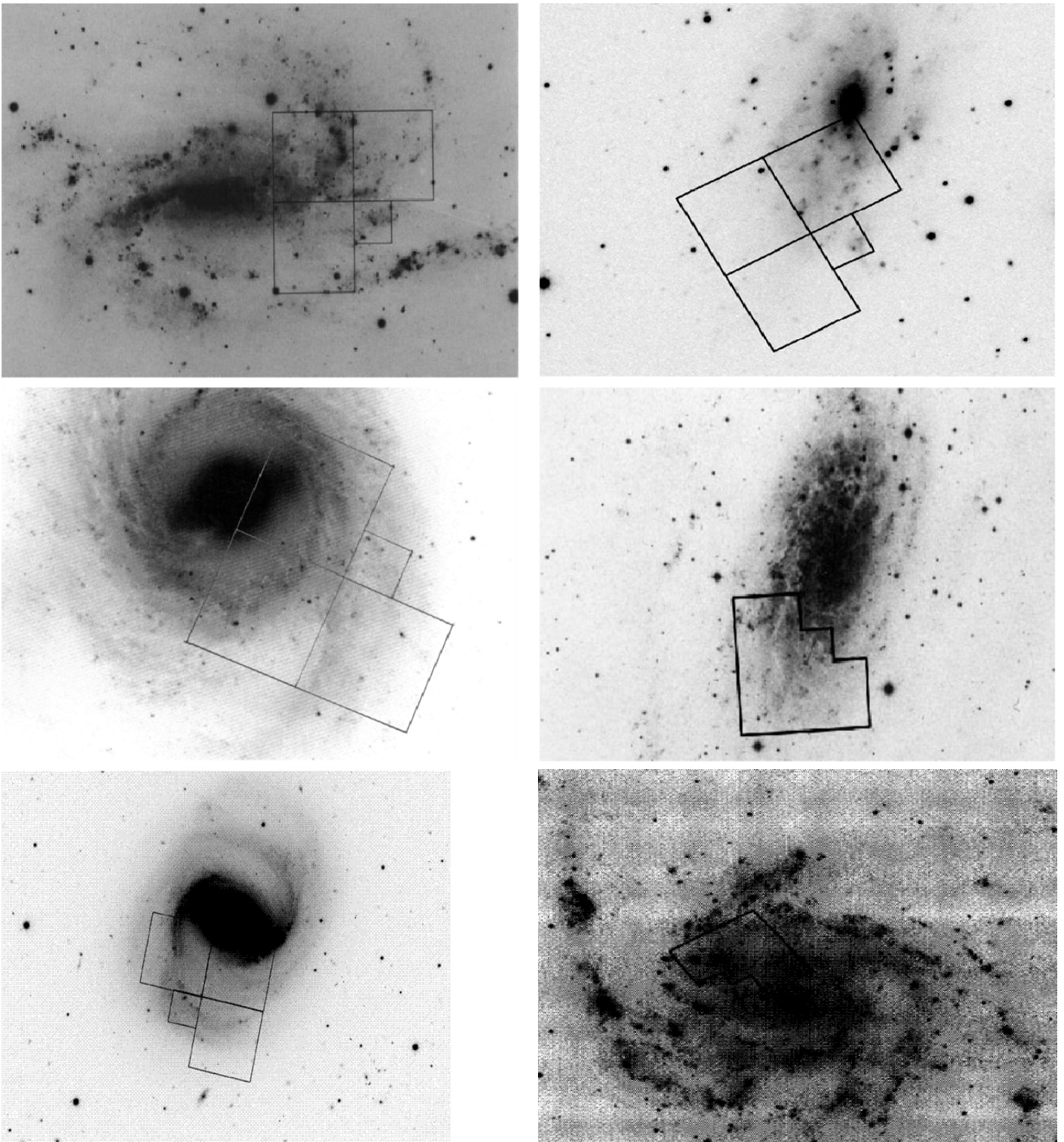


Figure 2.4: Εικόνες από κάθε ένα γαλαξία που αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2 και το οπτικό πεδίο της WFPC2. Πρώτη σειρά από αριστερά, NGC 925 (Silberman et al. 1996) , NGC 2541 (Ferrarese et al. 1998). Δεύτερη σειρά, NGC 3351 (Graham et al. 1997), NGC 3621 (Rawson et al. 1997). Τρίτη σειρά, NGC 4548 (Graham et al. 1997), NGC 5457 (BKS 1996)

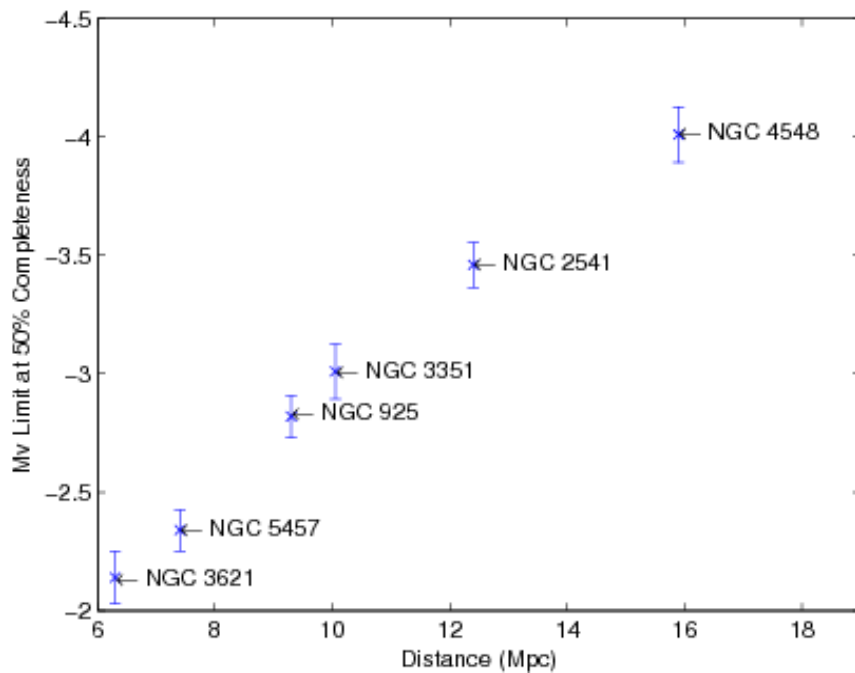


Figure 2.5: Το όριο του απόλυτου μεγέθους  $M_v$  για το 50% της πληρότητας σε κάθε γαλαξία.

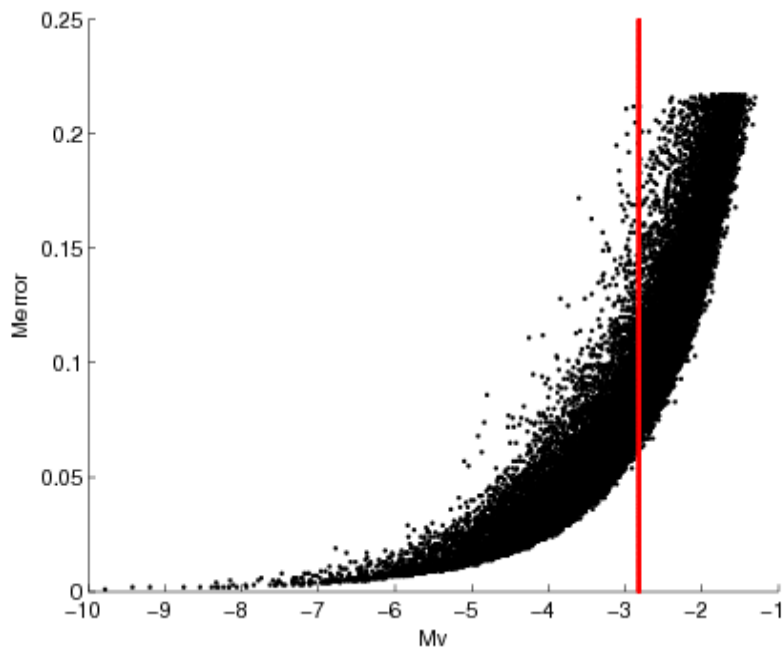


Figure 2.6: Σφάλματα στο απόλυτο μέγεθος  $M_v$  για τον NGC 925. Η κάθετη γραμμή είναι ενδεικτική του ορίου του 50%.

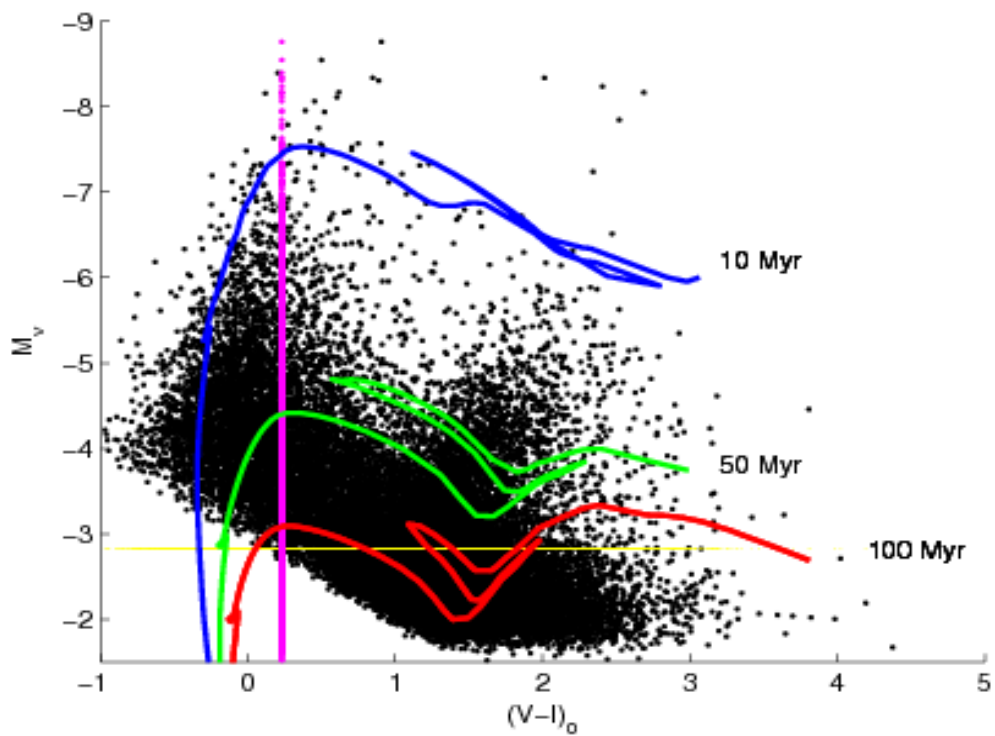


Figure 2.7: CMD του NGC 925 με θεωρητικές ισόχρονες για 10, 50 και 100 Myr (Marigo et al. 2008).

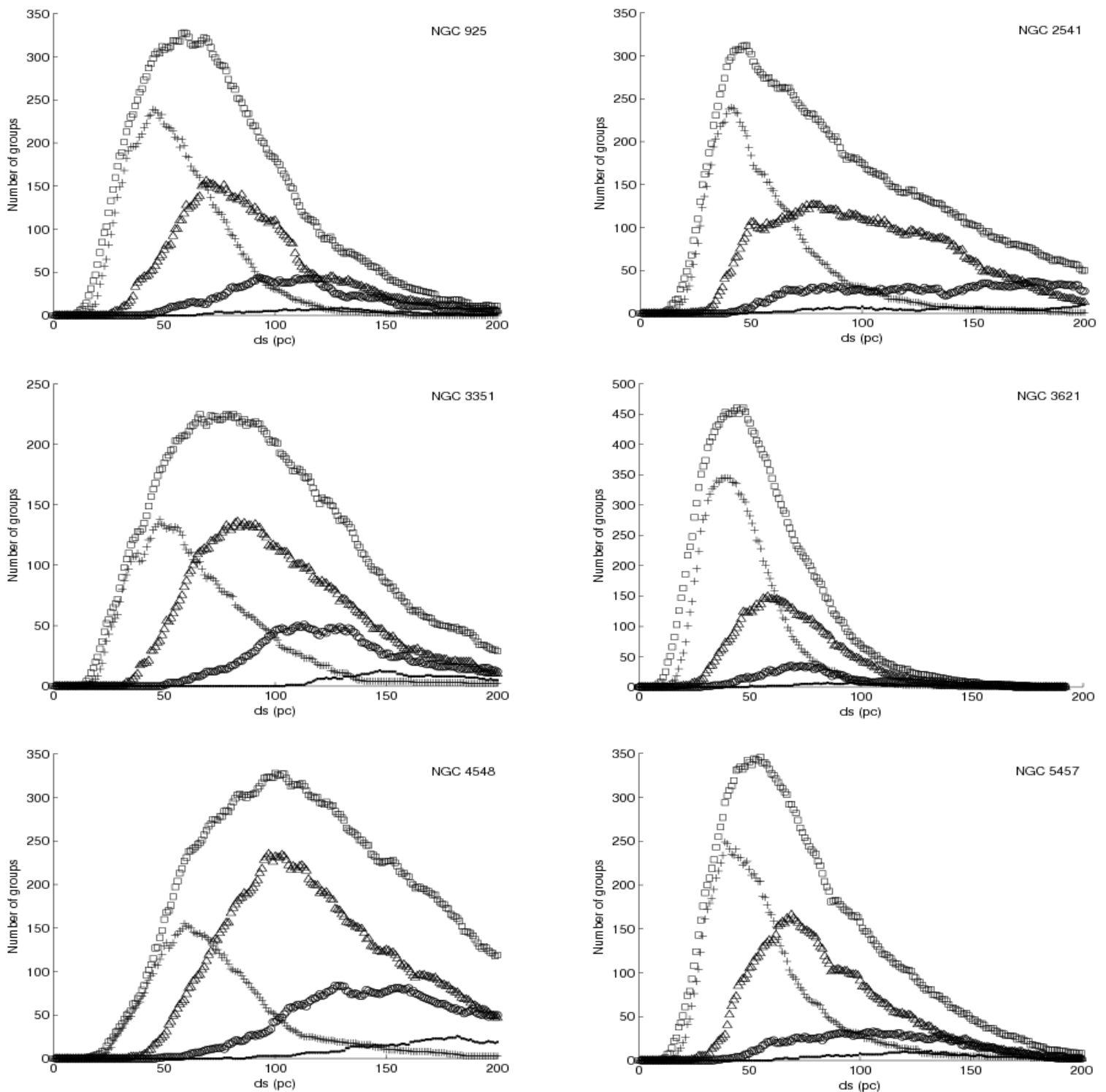


Figure 2.8: Γράφημα της τιμής της ακτίνας έρευνας (Ds) με το πλήθος των ομάδων που ανιχνεύθηκαν από τον αλγόριθμο. Σύνολο ομάδων (τετράγωνα), Associations (σταυροί), Aggregates (τρίγωνα), Complexes (κύκλοι), Supercomplexes(τελείες).

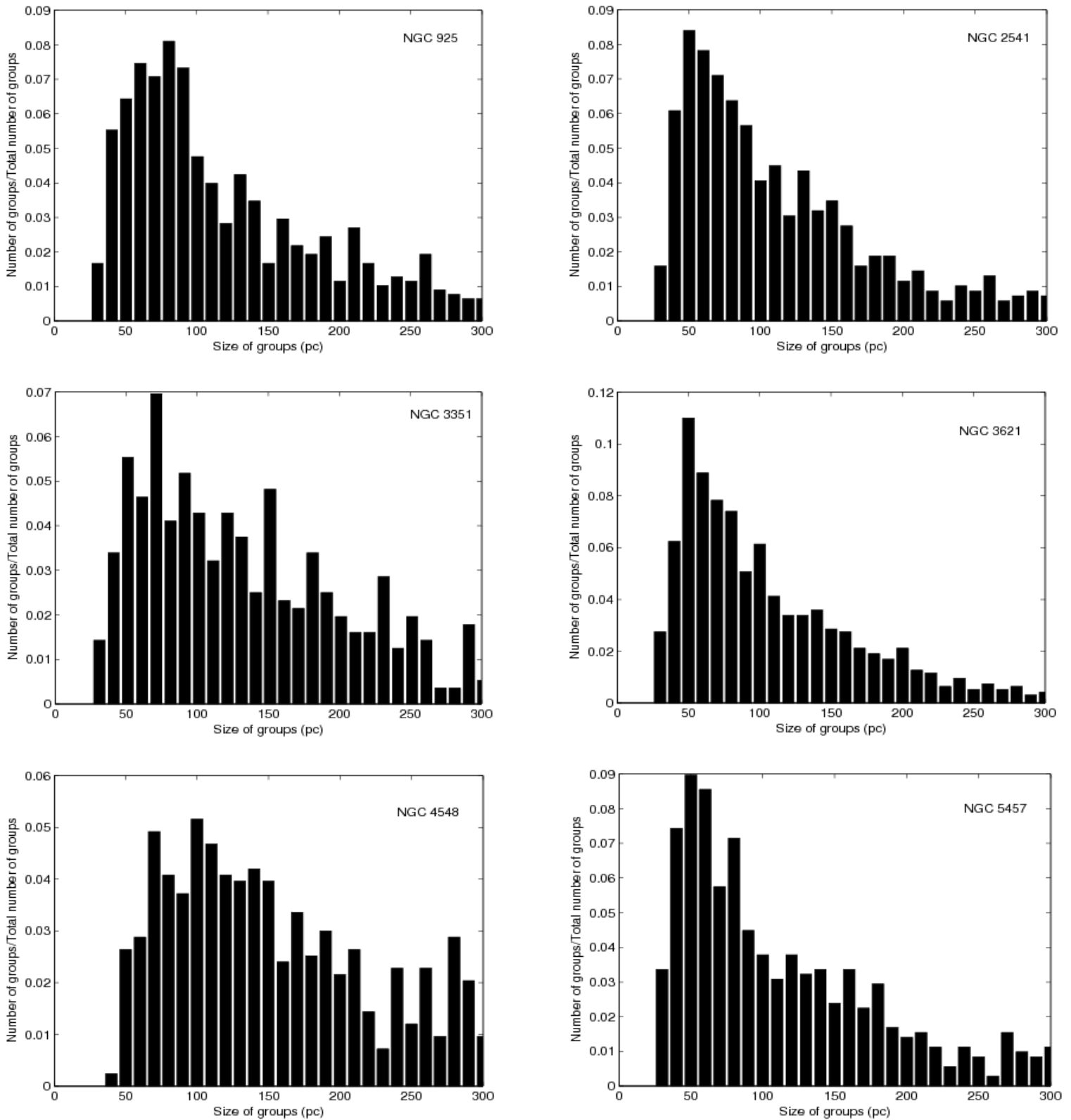


Figure 2.9: Κατανομή διαστάσεων για associations και aggregates (ομάδες με διάσταση έως 300 pc) για κάθε γαλαξία.

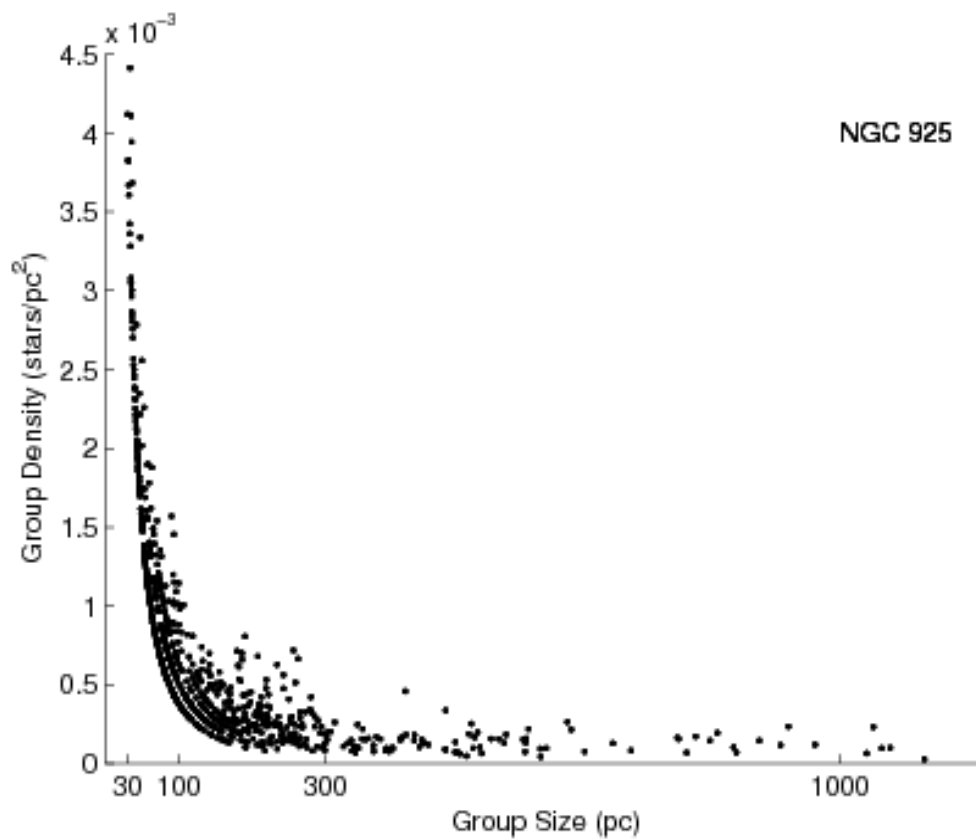


Figure 2.10: Επιφανειακή πυκνότητα των ομάδων του NGC 925. Associations (30-100 pc), Aggregates (100-300pc), Complexes (300-1000pc), Supercomplexes(>1000pc).



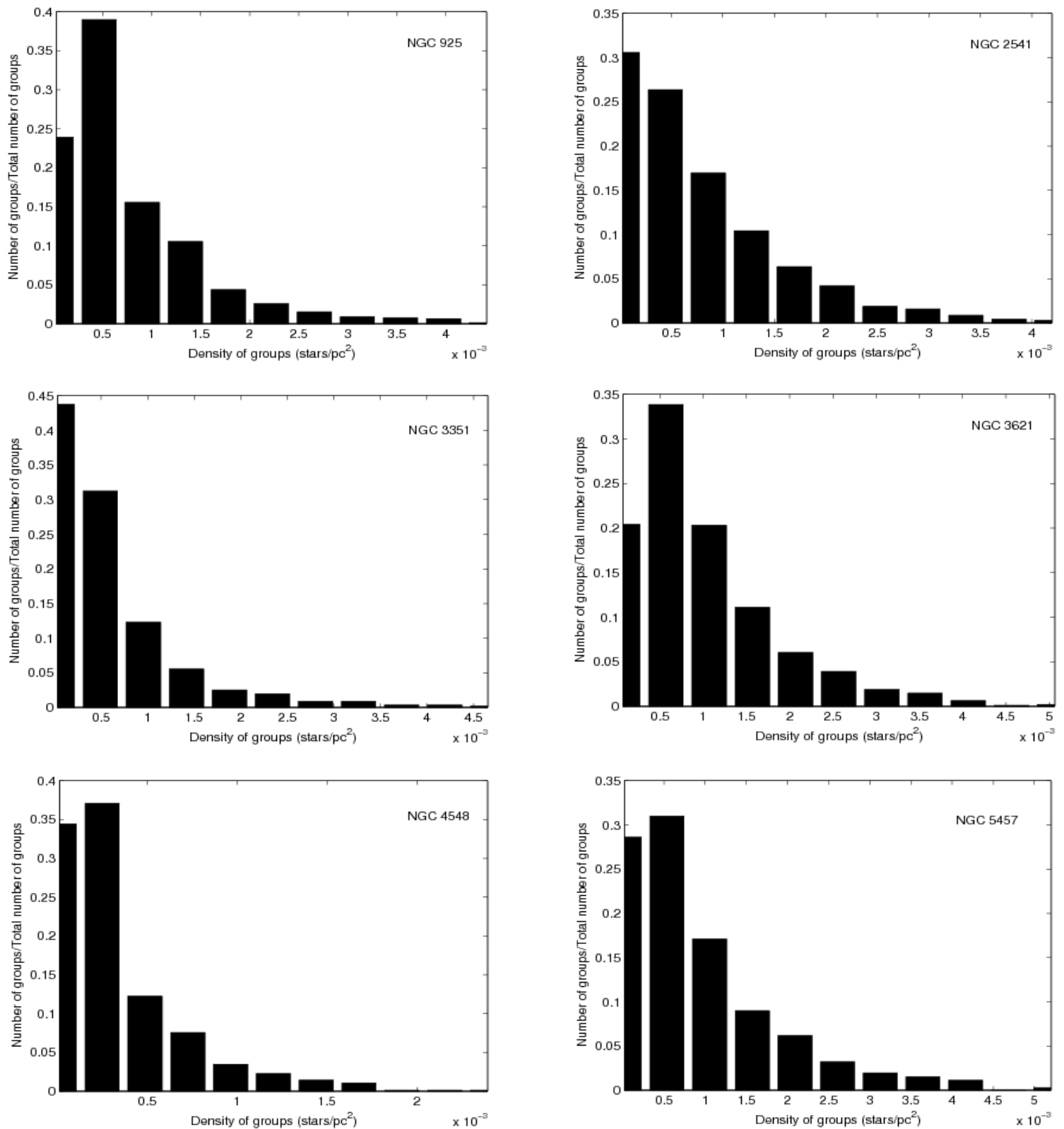


Figure 2.11: Κατανομή επιφανειακής πυκνότητας ομάδων για κάθε γαλαξία.

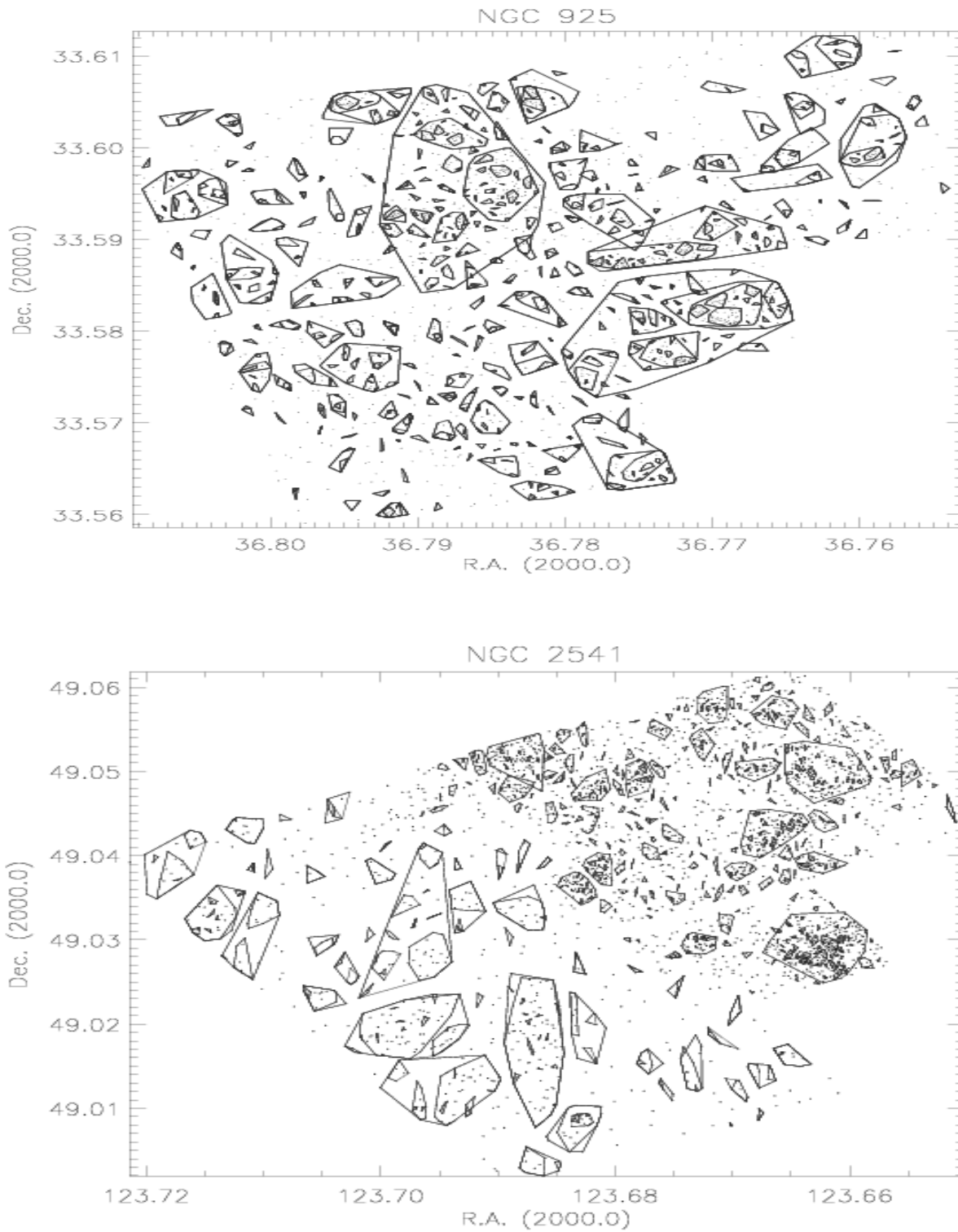


Figure 2.12: Γραφική απεικόνιση όλων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν για τους γαλαξίες NGC 925 (πάνω) και NGC 2541 (κάτω).

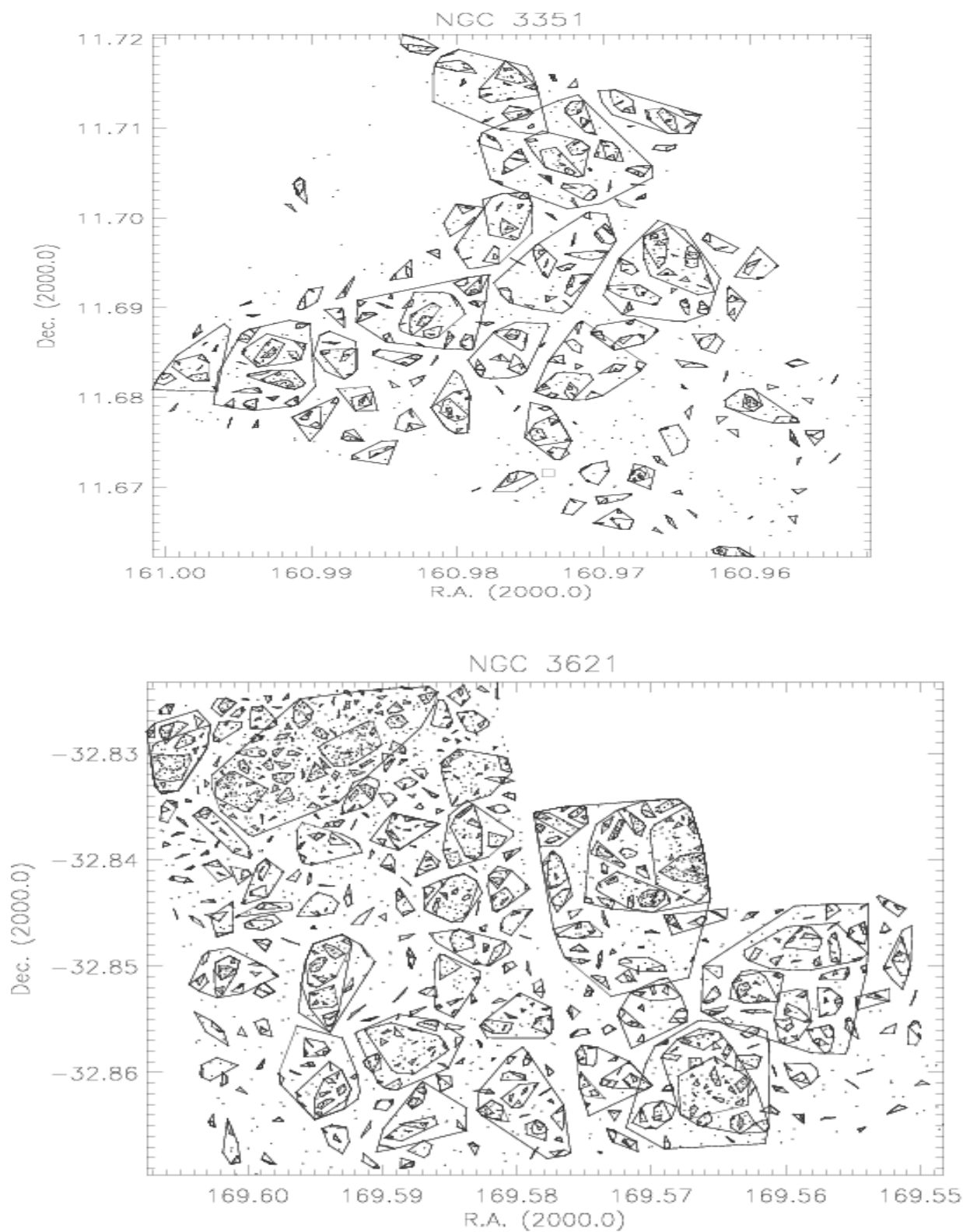


Figure 2.13: Γραφική απεικόνιση όλων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν για τους γαλαξίες NGC 3351 (πάνω) και NGC 3621 (κάτω)

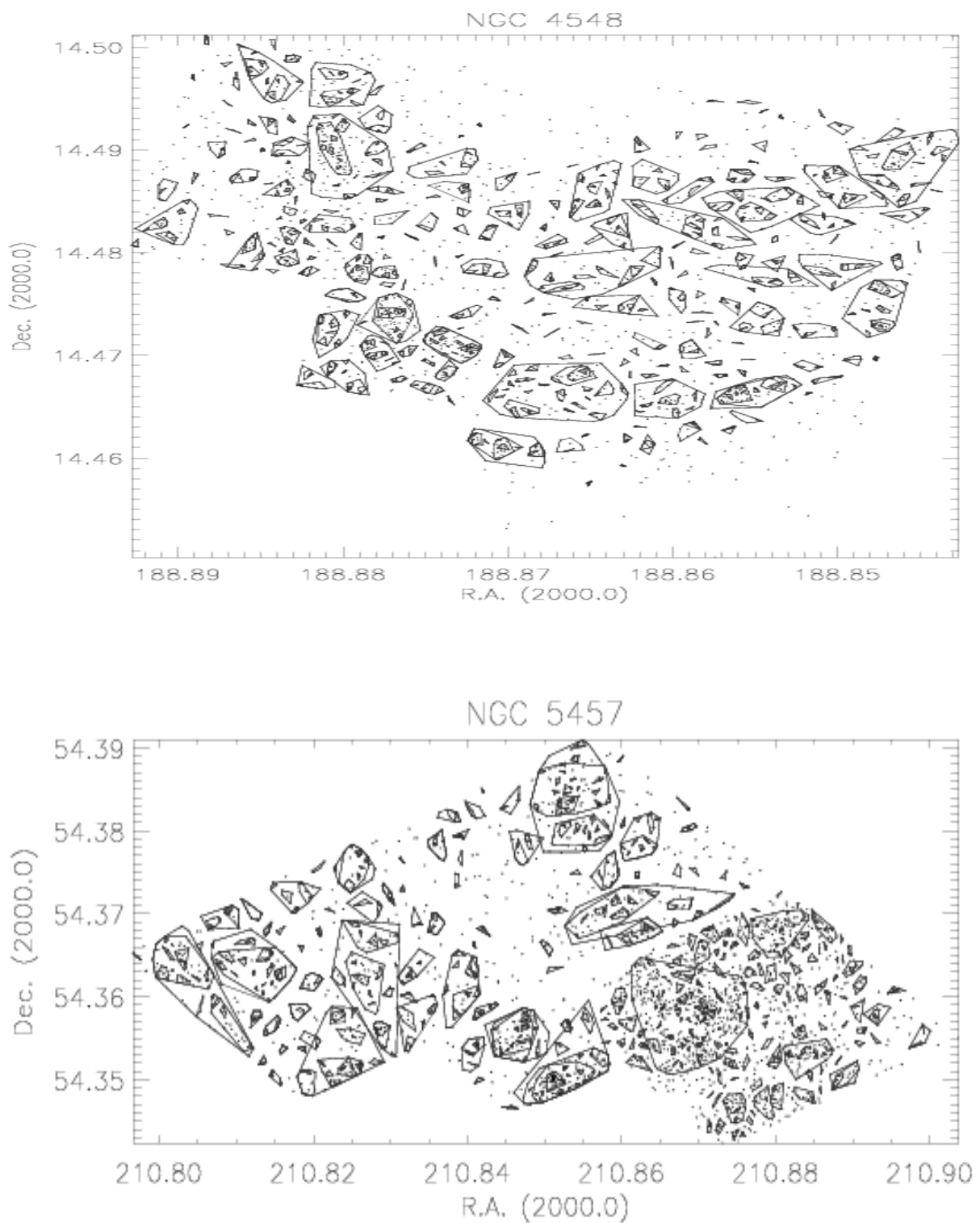


Figure 2.14: Γραφική απεικόνιση όλων των ομάδων που ανιχνεύθηκαν για τους γαλαξίες NGC 4548 (πάνω) και NGC 5457 (κάτω).

Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

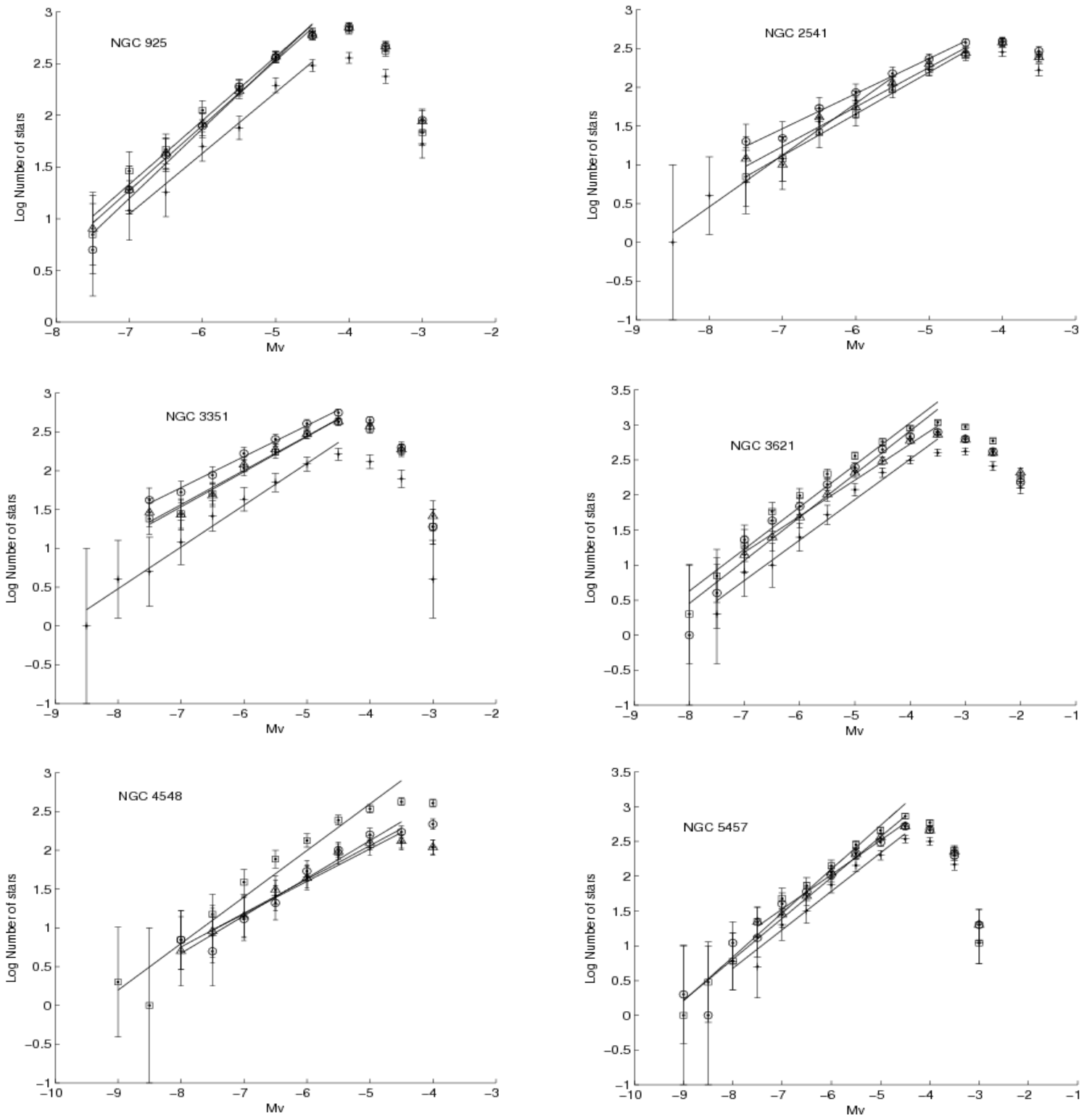


Figure 2.15: Συναρτήσεις λαμπρότητας των διαφόρων δομών που ανιχνεύθηκαν για κάθε γαλαξία (Associations (σταυροί), Aggregates (τρίγωνα), Complexes (κύκλοι), Supercomplexes (τετράγωνα).)



### **3. ΕΞΩΓΑΛΑΞΙΑΚΑ ΑΣΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΑΠΟΣΤΟΛΗ GAIÀ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Σ' αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαστημική αποστολή Gaia, ο δορυφόρος και τα όργανα παρατήρησης, οι επιστημονικοί στόχοι και οι εκτιμήσεις των μελλοντικών παρατηρήσεων. Η συγκεκριμένη διατριβή επικεντρώνεται στην προετοιμασία για τις παρατηρήσεις της Gaia στο Τοπικό Σμήνος με τη δημιουργία καταλόγων άστρων που βρίσκονται εντός των ορίων παρατήρησης και γενικότερα στην αναμενόμενη συνεισφορά της αποστολής στη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας στους κοντινούς γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους. Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται δεδομένα από επίγειες έρευνες οι οποίες καλύπτουν ένα μεγάλο κομμάτι του ουρανού, προσομοιάζοντας τον τρόπο παρατήρησης της Gaia. Συνολικά παρουσιάζεται η εκτίμηση για τις παρατηρήσεις του δορυφόρου σε έντεκα γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους. Η αυτόματη μέθοδος εντοπισμού αστρικών δομών που περιγράφεται σε προηγούμενα κεφάλαια εφαρμόζεται σε τέσσερις γαλαξίες, κάνοντας χρήση των καταλόγων που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

## 3.2 Διαστημική αποστολή Gaia

### 3.2.1 Εισαγωγή

Η πρώτη πρόταση για την αποστολή Gaia έγινε το 1994 και το 2000 έγινε αποδεκτή από την ESA σαν μια από τις θεμελιώδεις αποστολές της. Η διαστημική αποστολή Gaia έχει σαν κύριο στόχο τη χαρτογράφηση του ουρανού με πολύ μεγάλη ακρίβεια την παρατήρηση σχεδόν ενός δισεκατομμυρίου άστρων στο Γαλαξία ώστε να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο χάρτη. Ο δορυφόρος θα σαρώσει συνεχώς τον ουρανό παρατηρώντας και καταγράφοντας κάθε αντικείμενο που βρίσκεται εντός των ορίων των οργάνων του,  $G < 20$  ( $20 < V < 25$  ανάλογα με το φασματικό τύπο του άστρου) για το φάσμα χαμηλής ανάλυσης και  $G < 17$  για το φάσμα υψηλής ανάλυσης. Κάθε αντικείμενο αναμένεται να παρατηρηθεί κατά μέσο όρο περίπου 70 φορές. Συνεπώς εκτός από τα αστέρια του Γαλαξία η Gaia αναμένεται να παρατηρήσει εκατομμύρια άλλα αντικείμενα όπως, εξωπλανήτες, αντικείμενα του Ηλιακού Συστήματος, Υπερκαινοφανείς αλλά και αντικείμενα εκτός γαλαξία όπως άστρα στους κοντινούς μας γαλαξίες, κβάζαρς και τέλος ένα μεγάλο αριθμό γαλαξιών.

### 3.2.2 Επιστημονικοί στόχοι

Ο μεγάλος αριθμός των δεδομένων που αναμένονται από την αποστολή αλλά και η μεγάλη ακρίβεια (10  $\mu\text{as}$ ) που θα ξεπεράσει κατά πολύ την προηγούμενη αστρομετρική αποστολή της ESA, Hipparcos, θα δώσουν τη δυνατότητα για μελέτες σε ένα ευρύ πεδίο της επιστημονικής έρευνας όπως ο σχηματισμός του Γαλαξία, η δυναμική και χημική εξέλιξη του αλλά και η μελέτη της εξέλιξης της αστρικής δημιουργίας. Η αποστολή έχει στόχο να παρέχει αστρομετρικές και κινηματικές παρατηρήσεις, θέση, παράλλαξη, ίδια κίνηση και ακτινική ταχύτητα από το φασματογράφο υψηλής ανάλυσης (Radial Velocity Spectrometer - RVS) με ακρίβεια που κυμαίνεται από 1 έως 15  $\text{km.s}^{-1}$ . Επίσης για κάθε αντικείμενο που θα παρατηρεί η Gaia θα παρέχεται η φάσμα χαμηλής ανάλυσης στο μπλέ και το ερυθρό. Αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό φυσικών παραμέτρων όπως, η επιφανειακή βαρύτητα, η μεταλλικότητα, η θερμοκρασία και ερυθρότητα.

Πολύ σημαντικό είναι ο υπολογισμός της απόστασης με ακρίβεια μεγαλύτερη από τις υπάρχουσες αποστολές, για κάθε αντικείμενο, για όλους τους τύπους των άστρων και για κάθε αστρικό πληθυσμό επιτρέποντας την καλύτερη εκτίμηση μάζας για όλα τα άστρα. Από τα άστρα με τη μεγαλύτερη μάζα όπως αυτά με φασματικό τύπο O μέχρι τους καφέ νάνους και πλανητικά συστήματα. Επίσης η συνεχή σάρωση και οι πολλαπλές παρατηρήσεις κάθε αντικειμένου επιτρέπουν την παρατήρηση και καταγραφή μεταβλητότητας για κάθε τύπου άστρου όπως οι Κηφείδες, άστρα τύπου RR Lyrae αλλά και μεταβλητοί αστέρες μεγάλης περιόδου που είναι σημαντικά για την βελτίωση της ακρίβειας μέτρησης αποστάσεων. Σημαντικό είναι επίσης η ανίχνευση άστρων που βρίσκονται σε φάσεις της εξελικτικής τους πορείας όπως, ακτινοβολία καύσης He στον πυρήνα και ακτινοβολία και θερμικοί παλμοί καύσης He στο κέλυφος.



Τα δεδομένα από την Gaia δίνουν την δυνατότητα σε συνδιασμό με τις θεωρίες της αστρικής εξέλιξης και αστρικής δημιουργίας να κατανοήσουμε την κινηματική και επομένως τη δυναμική του Γαλαξία μας. Ο υπολογισμός του ρυθμού δημιουργίας αστρικού πληθυσμού στο Γαλαξία μας θα βοηθήσει στη δημιουργία ενός μοντέλου για τη μελέτη των μεγάλων σπειροειδών.

Η πολύ μεγάλη ακρίβεια των αστρομετρικών παρατηρήσεων θα βοηθήσει σε πολλούς τομείς έρευνας όπως κατανόηση της δημιουργίας διπλών και πολλαπλών αστέρων μέσω της κατανομής του λόγου μαζών  $q$ . Η Gaia θα παρέχει υπολογισμό της κατανομής  $q$  μέχρι περίπου  $q \sim 0.1$ . Στον εντοπισμό καφέ νάνων αλλά και πλανητών και τον προσδιορισμό της τροχιάς τους για την περιοχή κοντά στον Ήλιο. Θα ανιχνεύσει ένα μεγάλο αριθμό (300000) από αντικείμενα στο Ηλιακό Σύστημα που θα συνεισφέρουν στην κατανόηση της δημιουργίας και της εξέλιξης του Ηλιακού Συστήματος και θα προσδιορίσει με ακρίβεια τις τροχιές γνωστών αστεροειδών.

Επίσης πρέπει να τονιστεί πως η Gaia δεν θα περιοριστεί σε αντικείμενα του Γαλαξία αλλά θα συνεισφέρει και στην εξωγαλαξιακή αστρονομία. Οι παρατηρήσεις θα βοηθήσουν στη μελέτη της δομής των κοντινών γαλαξιών του Τοπικού Σμήνους, της δυναμικής τους αλλά και του αστρικού πληθυσμού τους, κυρίως στα Νέφη του Μαγγελάνου αλλά και στην Ανδρομέδα και στον M33. Ακόμα θα παρέχει πληροφορίες για τουλάχιστον μερικές εκατοντάδες χιλιάδες γαλαξιών που θα παρατηρηθούν σαν σημειακές πηγές αλλά και υπερκαινοφανείς και κβάζαρς.

Αναλυτικές αναφορές για τους επιστημονικούς στόχους της αποστολής, Perryman et al. 2001, Prusti 2012, Robin et al. 2012, CAL Bailer Jones et al. 2013, de Bruijne 2015.

### 3.2.3 Κατάσταση λειτουργίας

Η εκτόξευση του δορυφόρου Gaia έγινε με επιτυχία στις 19 Δεκεμβρίου του 2013 από το Κουρού της Γαλλικής Γουιάνας (Σχήμα 3.1). Το όχημα εκτόξευσης ήταν ένας πύραυλος Soyuz και υπεύθυνη για τη διαδικασία εκτόξευσης ήταν η Arianspace. Η εκτόξευση έγινε στις 09:12 GMT (Greenwich Mean Time) και ακολούθησε σταδιακά ο διαχωρισμός των επιπέδων του οχήματος μεταφοράς του δορυφόρου και ο τελικός διαχωρισμός έγινε 42 λεπτά μετά την εκτόξευση. Το επιχειρησιακό κέντρο της ESA στο Darmstadt της Γερμανίας ανέλαβε τον έλεγχο του δορυφόρου και άρχισε να ενεργοποιεί τα συστήματά του. Η ανάπτυξη της ηλιακής ασπίδας (sunshield), ένα βασικό κομμάτι της λειτουργίας του σκάφους καθώς διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία στο δορυφόρο και παρέχει την απαραίτητη ισχύ για τη λειτουργία του, ολοκληρώθηκε 88 λεπτά μετά την εκτόξευση. Μια μέρα μετά ενεργοποιήθηκε ο προωθητήρας του σκάφους θέτοντας τροχιά προς το τελικό σημείο στο οποίο έφτασε στις 8 Ιανουαρίου του 2014, στην επιχειρησιακή της τροχιά στο σημείο Lagrange 2 (L2) περίπου 1,5 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τη Γη όπου βρίσκεται σήμερα. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται μια φωτογραφία που έλαβε η Gaia κατά τη διάρκεια των πρώτων δοκιμών των οργάνων της. Είναι το νεαρό αστρικό σμήνος NGC 1818 στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου. Η εικόνα καλύπτει λιγότερο από το 1% του οπτικού πεδίου της Gaia. Αν και η εικόνα είναι ενδεικτική για τις δυνατότητες του δορυφόρου,

είναι μια από τις ελάχιστες που θα λάβουμε καθώς τα κυρίως όργανα της Gaia είναι φασματογράφοι.

Κατά την πρώτη φάση λειτουργίας του δορυφόρου (commissioning) η οποία έληξε τον Ιούλιο του 2014, διαπιστώθηκαν ορισμένα ζητήματα τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοση της Gaia ([http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/news\\_20140729](http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/news_20140729), de Bruijne 2015, Eyer et al. 2015). Τα πιο σημαντικά είναι τρία, α) παρασιτική ακτινοβολία (stray light), β) η μεταβολή της βασικής γωνίας και γ) η ύπαρξη πάγου στο οπτικό πεδίο. Το παρασιτικό φως προκαλείται από άστρα του Γαλαξία και από τον Ήλιο, μεταβάλλεται με το χρόνο και το εστιακό πεδίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου του θορύβου. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου άλλαξε το όριο του οργάνου φασματοσκοπίας (RVS) από  $G_{rvs} < 17mag$  σε  $G_{rvs} < 16mag$ , το λειτουργικό που έχει εγκατασταθεί στο δορυφόρο έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να αυξήσει την αναλογία σήματος – θορύβου και πλέον έχουν εφαρμοστεί νέοι αλγόριθμοι απαλοιφής υποβάθρου. Η μεταβολή της βασικής γωνίας αντιμετωπίζεται επιτυχώς με το μηχανισμό Basic-Angle-Monitor (Mora et al. 2014) που είναι εγκατεστημένος στο δορυφόρο γι' αυτό το σκοπό. Τέλος, η επίδραση του πάγου στο οπτικό πεδίο αντιμετωπίζεται με την προσωρινή θέρμανση του δορυφόρου, κάτι που έγινε ήδη κατά την πρώτη περίοδο λειτουργίας κι αναμένεται να ξανασυμβεί κατά την διάρκεια της αποστολής.

Η Gaia βρίσκεται ήδη στην επιχειρησιακή φάση λειτουργίας κατά την οποία σαρώνει τον ουρανό και καταγράφει κατά μέσο όρο 40 εκατομμύρια αντικείμενα κάθε μέρα ([http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/news\\_20141219](http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/news_20141219)).

### 3.2.4 Μονάδα ωφέλιμου φορτίου (Payload Module)

Μετά την ανάθεση της κατασκευής του δορυφόρου στην EADS-Astrium αποφασίστηκε να ενσωματωθούν τα τρία ανεξάρτητα όργανα, το φωτόμετρο, οι φασματογράφοι και το αστρομετρικό σε μια κατασκευή (Σχήμα 3.3 με τα δύο τηλεσκόπια που διαθέτει η Gaia και με κοινό εστιακό πεδίο. Τα τηλεσκόπια έχουν διαφορετική γωνία θέασης και σχηματίζουν γωνία 106.5, η οποία ονομάζεται βασική γωνία. Το οπτικό πεδίο κάθε τηλεσκοπίου μοιράζεται το ίδιο εστιακό επίπεδο, μια κατασκευή με 106 CCD και σχεδόν ένα δισεκατομμύριο pixels (Σχήμα 3.4). Κάθε ένα από τα τηλεσκόπια έχει έξι κάτοπτρα με δύο από αυτά να είναι κοινά. Το εστιακό τους μήκος είναι 35 m και το οπτικό πεδίο κάθε τηλεσκοπίου είναι 0.7x0.7 με διαστάσεις 1.49x0.54 m. Το φως που συλλέγεται από τα δύο τηλεσκόπια κατευθύνεται στο εστιακό πεδίο και ανιχνεύεται από τα τρία όργανα που διαθέτει ο δορυφόρος γι' αυτό το σκοπό.

Αρχικά το φως από το οπτικό πεδίο των δύο τηλεσκόπια κατευθύνεται στο Sky Mapper, μια διάταξη από CCD στο εστιακό επίπεδο. Το Sky Mapper ανιχνεύει κάθε αντικείμενο που είναι στο οπτικό πεδίο και υπολογίζει σε πραγματικό χρόνο τη θέση και τη λαμπρότητα του αντικειμένου ώστε στη συνέχεια να κατευθυνθεί στο ανάλογο όργανο είτε να απορριφθεί στην περίπτωση που δεν είναι λαμπρότερο από  $G=17$ . Οι αστρομετρικές παρατηρήσεις θα γίνουν από το Αστρομετρικό Πεδίο (Astrometric Field - AF) και είναι βασισμένο στις ίδιες αρχές με της οποίες έγιναν οι αστρομετρικές μετρήσεις και στην αποστολή Hippar-



Figure 3.1: Στιγμιότυπα από την εκτόξευση της Gaia από το Κουρου, τέσσερα δευτερόλεπτα μετά την εκτόξευση (πάνω) και μερικά λεπτά αργότερα (κάτω) (Credit: ESA).

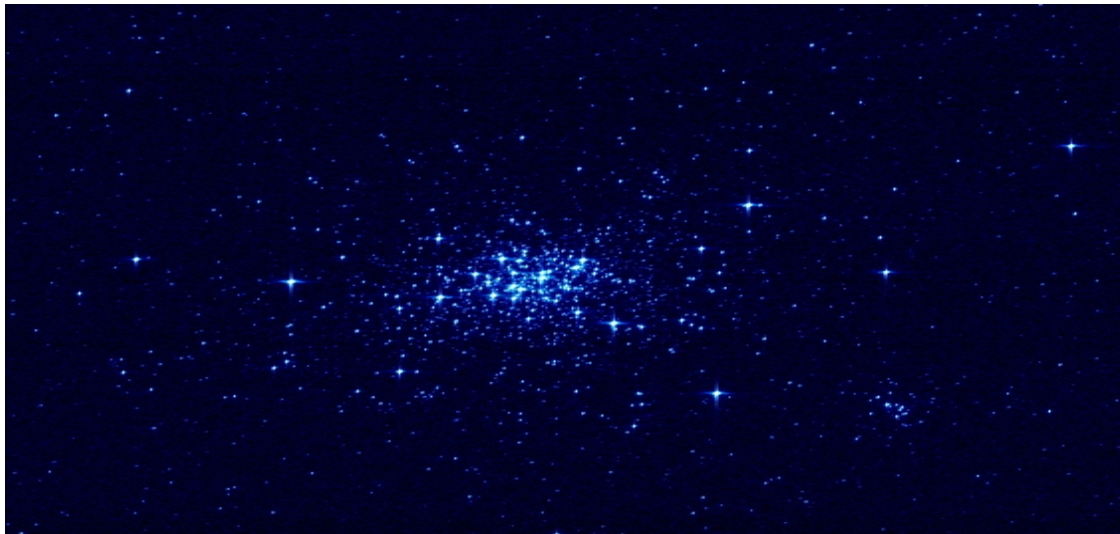


Figure 3.2: Το αστρικό σμήνος NGC 1818 στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου, μια δοκιμαστική φωτογραφία από την Gaia που καλύπτει λιγότερο από το 1% του συνολικού οπτικού της πεδίου (Credit: ESA/DPAC/Airbus DS).

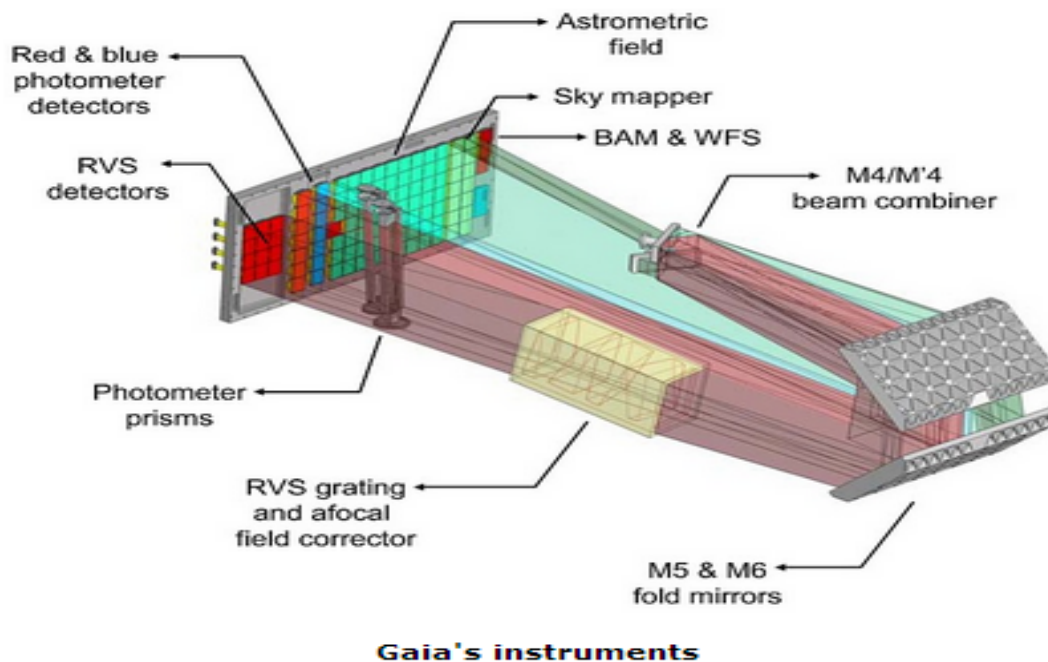


Figure 3.3: Γραφική απεικόνιση του αστρομετρικού πεδίου και του φασματογράφου ακτινικής ταχύτητας με τα δύο πρίσματα (BP/RP) του φωτομετρικού οργάνου (Credit:EADS/Astrium).

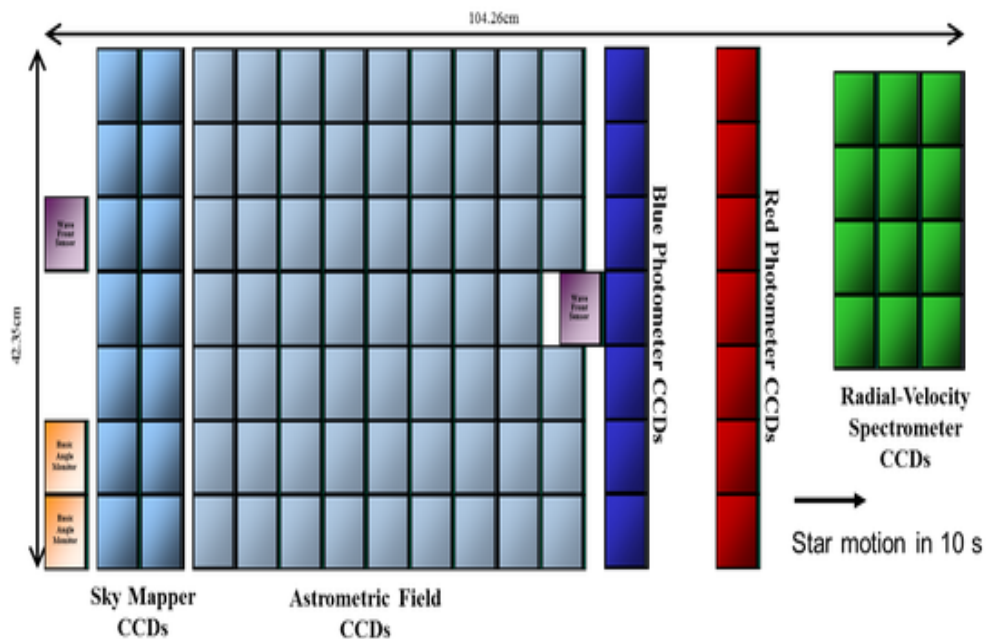


Figure 3.4: Γραφική απεικόνιση του εστιακού επιπέδου της Gaia, κοινό και για τα δύο τηλεσκόπια.

cos. Στο εστιακό πεδίο το αστρομετρικό όργανο διαθέτει 62 CCD. Η υψηλή γωνιακή ανάλυση και κατά συνέπεια μεγάλη ακρίβεια στις αστρομετρικές μετρήσεις παρέχεται από τον πρωτεύον κάτοπτρο κάθε τηλεσκοπίου. Το φωτομετρικό όργανο (Photometric Instrument) αποτελείται από δύο χαμηλής ανάλυσης πρίσματα τα οποία διαχέουν το φως που διαπερνάει το οπτικό τους πεδίο. Το ένα πρίσμα ονομάζεται BP (Blue photometer), καλύπτει τα μήκη κύματος στο εύρος 330–680 nm και το άλλο RP (Red Photometer) και καλύπτει τα μήκη κύματος στο εύρος 640–1050 nm. Η ανάλυση του φάσματος είναι συνάρτηση του μήκους κύματος και για το BP είναι από 4 έως 32 nm/pixel και για το RP κυμαίνεται από 7 έως 15 nm/pixel. Το όργανο φασματοσκοπίας (Radial Velocity Spectrometer - RVS) παρέχει ακτινικές ταχύτητες για κάθε άστρο λαμπρότερο από το 16ο μέγεθος ( $G_{rvs} < 16$ ). Και τα δύο όργανα (BP/RP και RVS) έχουν από 7 CCD το καθένα τοποτημένα σε μια κάθετη λωρίδα. Τα AF, RVS και τα δύο πρίσματα του BP/RP μπορούμε να τα δούμε στην απεικόνιση του σχήματος 3.5.



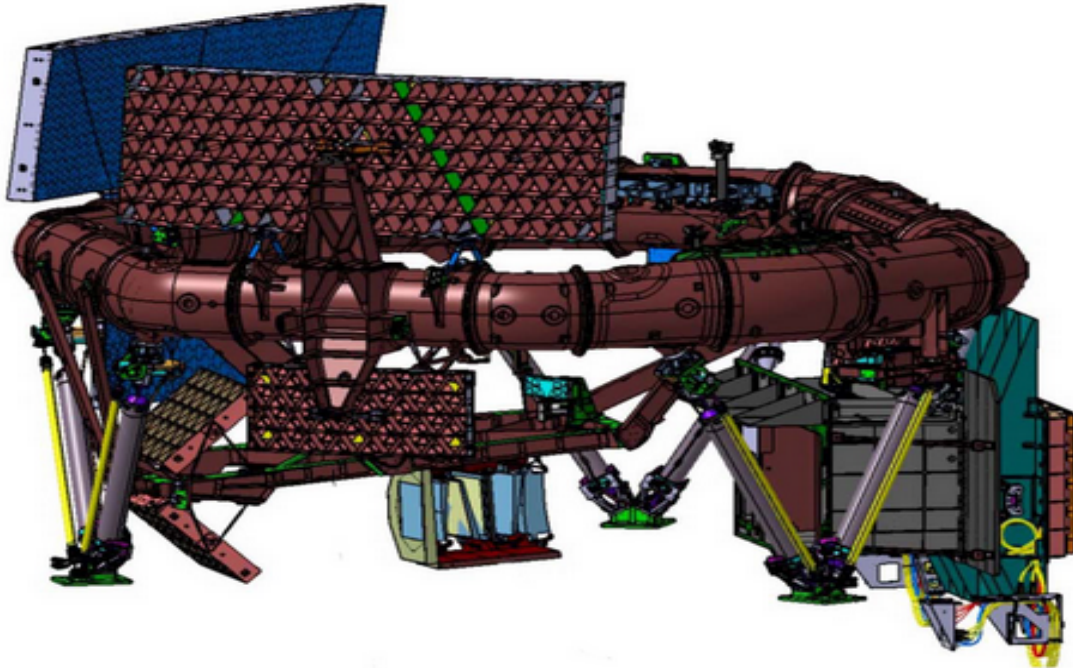


Figure 3.5: Γραφική απεικόνιση του αστρομετρικού οργάνου - Astrometric Instrument (Credit: EADS/Astrium).

### 3.3 Γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους

#### 3.3.0.1 Νέφη του Μαγγελάνου

Το Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου (LMC) μαζί με το Μικρό Νέφος (SMC) είναι από τους πιο πολύ μελετημένους γαλαξίες, λόγω της εγγύτητάς τους και της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν στον ουρανό. Η μεγάλη αυτή έκταση είναι ταυτόχρονα κι ένα μεγάλο εμπόδιο στη μελέτη τους καθώς είναι δύσκολο για μια έρευνα να καλύψει τους γαλαξίες στην ολόκληρότητά τους. Έχουν ταξινομηθεί μορφολογικά ως IrrIII-IV ο LMC και Irr IV-V ο SMC. Έχουν γίνει πολλές μελέτες για τον αστρικό πληθυσμό στο LMC όπως, αστρικά σμήνη (Pietrzynski & Udalski 2000, Harris & Zaritsky 2009), Κηφείδες (Alcock et al. 1999, Nikolaev et al. 2004), μεταβλητοί αστέρες τύπου RR Lyrae (Subramaniam & Subramaniam 2009). Αλληλεπιδράσεις του Γαλαξία με τα LMC και SMC προκάλεσαν περιόδους έντονης και ακανόνιστης αστρικής δημιουργίας και στους δύο αυτούς γαλαξίες (Girardi et al. 1995, Pietrzynski & Udalski 2000, Chiosi et al. 2006). Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές για περιόδους έντονης αστρικής δημιουργίας στο LMC περίπου στα 7, 125 και 800 Myr , 125 και 800 Myr (Glatt et al. 2010). Υπάρχουν ενδείξεις ότι και οι δύο γαλαξίες, LMC και SMC έχουν ασύμμετρη μορφή, οι μετρήσεις της κλίσης στο LMC υποδεικνύουν ότι έχει διαστρεβλωμένο επίπεδο. Για το SMC οι Hatzidimitriou και Hawkins (1989) παρουσίασαν την τρισδιάστατη κατανομή του γηραιού πληθυσμού στο δίσκο και την άλω αναφέροντας μεγαλύτερο βάθος περίπου 10 kpc στις ΒΑ περιοχές από τις ΝΔ. Η ασυμμετρία στην άλω επιβεβαιώνεται και από τους Gardiner και Hawkins (1991). Η πιο δραστήρια περιοχή

αστρικής δημιουργίας στο SMC είναι η ράβδος (M. Cignoni et al. 2012). Αρχικά, στα πρώτα Gyr η αστρική δημιουργία στη μπάρα ήταν σχεδόν ανύπαρκτη, όμως στα 6-4 Gyr υπήρξε έντονη αύξηση της δραστηριότητας και παραμένει στα ίδια επίπεδα μέχρι τώρα. Το χρονικό σημείο που εντάθηκε η αστρική δημιουργία στην περιοχή υποδεικνύει ότι αίτιο της ήταν η αλληλεπίδραση με το LMC καθώς έχει αναφερθεί ανάλογο επεισόδιο εκείνη την περίοδο.

### 3.3.0.2 M31

Ο M31 η Ανδρομέδα βρίσκεται σε απόσταση 0.76 Mpc από το γαλαξία και είναι ταξινομημένος μορφολογικά ως σπειροειδής, Sb I-II. Ο ρυθμός αστρικής δημιουργίας (Star Formation Rate - SFR) για τον M31 εκτιμάται  $\approx 0,25\odot$  (Ford et al. 2013) και  $\approx 0,3\odot$  για  $6kpc < R < 17kpc$  (Tabatabaei & Berkhuijsen 2010). Στον εξωτερικό δίσκο τιμή του SFR ήταν σταθερή μέχρι περίπου  $t \approx 4.5$  Gyr, μειώθηκε μέχρι  $t \approx 1.5$  κι ακολούθησε εκρηκτική αύξηση (burst) για 1.5 Gyr (Bernard et al. 2012). Είναι πιθανό αυτό το επεισόδιο να το προκάλεσε αλληλεπίδραση με τον M33 (Bernard et al. 2012), η μελέτη των δομών στις εξωτερικές περιοχές του M31 ενισχύει την πιθανότητα αλληλεπιδράσεων (Ferguson et al. 2002, Richardson et al. 2008, McConnachie et al. 2009) όπως και προσομοιώσεις από McConnachie et al. (2009).

### 3.3.0.3 M33

Ο M33 είναι σπειροειδής γαλαξίας (Sc II-III) και βρίσκεται σε απόσταση 0.83 Mpc. Ενδείξεις για την ύπαρξη ράβδου στον M33 παρουσιάστηκαν από τους Elmegreen, Elmegreen & Montenegro (1992) ενώ παρατηρήσεις από τους Minniti et al. (1993) υποδεικνύουν ότι δεν έχει σχηματιστεί ράβδος στον M33 και υπάρχει buldge στο οποίο φαίνεται να υπήρχε πρόσφατα ( $<1$  Gyr) αστρική δημιουργία. Οι Regan & Vogel (1994) διαπιστώνουν ενδείξεις ύπαρξης ράβδου όπως και οι Corbelli & Walterbos (2007) υποστηρίζουν την ύπαρξη μιας αδύναμης ράβδου. Η αστρική δημιουργία στο δίσκο δεν δείχνει να μεταβάλλεται (Kang et al. 2012) και οι Davidge & Puzia (2011) αναφέρουν επίσης σταθερό ρυθμό αστρικής δημιουργίας τα τελευταία 250 Myr στο δίσκο σε ακτίνα περίπου 8 kpc ενώ σε πιο μακρινές περιοχές φαίνεται ο ρυθμός να μειώνεται. Η συνεισφορά των νεαρών άστρων στη συνολική μάζα του δίσκου φαίνεται να αλλάζει με την ακτίνα και να εμφανίζει τις μεγαλύτερη τιμή στα 8 kpc. Επίσης δομές με μεγέθη αρκετά kpc που περιέχουν μπλε αντικείμενα (πιθανότατα άστρα κύριας ακολουθίας) ανιχνεύονται στα όρια του δίσκου.

### 3.3.0.4 NGC6822

Ο NGC 6822 είναι ένας ανώμαλος γαλαξίας ταξινομημένος ως, Ir IV-V (Massey et al. 2007). Είναι σχετικά απομονωμένος και βρίσκεται σε απόσταση 0.5 Mpc. Ο αστρικός πληθυσμός του NGC 6822 έχει σχηματίσει μια αστρική άλω που εκτείνεται περισσότερο

από μια μοίρα και ο νέος σε ηλικία πληθυσμός βρίσκεται σε μια δομή με τη μορφή μπάρας. Αν και η αστρική δημιουργία στο γαλαξία ήταν σε χαμηλό επίπεδο, αυξήθηκε πρόσφατα και κυρίως στη μπάρα. Υπάρχουν αναφορές για αλληλεπίδραση με γειτονικό γαλαξία σε διάστημα 300 Myr είτε για επίδραση της άλω σκοτεινής ύλης γύρω από τον NGC 6822. (Karamelas et al. 2009).

### 3.3.0.5 Phoenix

Ο νάνος γαλαξίας Phoenix έχει ταξινομηθεί μορφολογικά ως dIrr/dSph και βρίσκεται σε απόσταση 0.4 Mpc. Είχε συνεχή αλλά σταδιακά μειωμένη αστρική δημιουργία, με τη μεγαλύτερη δραστηριότητα να σημειώνεται από το σχηματισμό του έως τα 10.5 Gyr όταν και το 50% της αστρικής δημιουργίας είχε ήδη πραγματοποιηθεί. Από εκείνο το σημείο και μετά συνεχίζεται με σημαντικό ρυθμό μέχρι και τα 6 Gyr όπου και μειώνεται σε πολύ χαμηλό ρυθμό μέχρι τώρα. Νεαρά άστρα βρίσκονται κυρίως στις εσωτερικές περιοχές του γαλαξία ενώ μέσης και μεγάλης ηλικίας βρίσκονται σε όλες τις περιοχές (Hidalgo et al. 2009).

### 3.3.0.6 Pegasus

Ο γαλαξίας Pegasus βρίσκεται σε απόσταση 0.76 Mpc και είναι ταξινομημένος μορφολογικά ως Ir V. Η αστρική δημιουργία ανιχνεύεται στον Pegasus από τα 15 Gyr και υπάρχουν ενδείξεις ότι ήταν πιο ισχυρή στο πρώτο μισό της εξέλιξης του από το δεύτερο που φτάνει έως σήμερα. Στις πιο πρόσφατες περιόδους φαίνεται ότι η αστρική δημιουργία αυξάνεται έντονα κι απότομα κατά περιόδους (Aparicio et al. 1997).

### 3.3.0.7 WLM

Ο WLM βρίσκεται σε απόσταση 0.93 Mpc και έχει ταξινομηθεί μορφολογικά ως Ir IV-V (Massey et al. 2007) και είναι ένας απομονωμένος γαλαξίας του Τοπικού Σμήνους. Ο μεγαλύτερος πληθυσμός άστρων βρίσκεται στο δίσκο του γαλαξία και υπάρχει μια αχνή άλω γύρω από τον WLM σε απόσταση έως και 2 kpc. Από τη μελέτη των Bianchi et al. (2012) ο WLM βρέθηκε να έχει το μεγαλύτερο σχετικό απόθεμα σε νεαρά άστρα. Η αστρική δημιουργία αυξήθηκε περίπου πριν 1 Gyr και παραμένει στα ίδια επίπεδα μέχρι τώρα (Dolhryn et al. 2000).

### 3.3.0.8 IC10

Υπάρχουν αναφορές στη βιβλιογραφία ότι ο IC10 βρίσκεται σε κατάσταση έντονη αστρικής δημιουργίας (Massey & Armandroff 1995, Hunter & Gallagher 1986; Thronson et al. 1990; Hunter et al. 1993) οι οποίες βασίζονται στην μεγάλη λαμπρότητα στη γραμμή H $\alpha$  σε σχέση με τη μάζα του H I και με τη λαμπρότητα στο κυανό αλλά και λόγω της πολύ μεγάλου αριθμού άστρων τύπου Wolf-Rayet (WR, με τυπική ηλικία σε αυτή τη φάση να είναι τα 3-4



Myr) που ανιχνεύτηκαν (Massey et al. 1992). Η επιφανειακή πυκνότητα αυτού του τύπου των αστερών σε όλο το γαλαξία συγκρίνεται με τις ομάδες OB στον M33 με το μεγαλύτερο πληθυσμό σε WR αστέρες. Επίσης οι Massey & Holmes (2002) αναφέρουν ότι ο αριθμός των WR στον IC10 είναι ακόμα μεγαλύτερος. Η αστρική δημιουργία στο γαλαξία αυτό δε γίνεται να συνεχίσει για μεγάλο διάστημα λόγω της μικρής μάζας αερίου. Ο IC10 βρίσκεται σε απόσταση 0.66 Mpc κι έχει ταξινομηθεί μορφολογικά σαν Ir IV.

### 3.3.0.9 Sextans A

Ο Sextans A βρίσκεται σε απόσταση 1.45 Mpc, στα όρια του Τοπικού Σμήνους και έχει ταξινομηθεί μορφολογικά σαν Ir V, με κοντινότερους γειτονικούς γαλαξίες τον Sextans B και το νάνο Antlia. Είναι ένας γαλαξίας με γνωστή ενεργή αστρική δημιουργία, καθώς μπλε υπεργίγαντες παρατηρήθηκαν από τους Sandage και Carlson από το 1982 και περιοχές HII παρατηρήθηκαν από τους Aparicio και Rodriguez-Ulloa (1992) και Hodge, Kennicutt, και Strobel (1994). Η αστρική δημιουργία στον Sextans A ξεκίνησε σε υψηλό ρυθμό περίπου ανάμεσα σε 1 και 2.5 Gyr νωρίτερα. Ο ρυθμός αστρικής δημιουργίας τα τελευταία 0.06 Gyr είναι τρεις φορές πάνω από το μέσο όρο των τελευταίων 2.5 Gyr (Dolphin et al. 2003).

### 3.3.0.10 Sextans B

Ο Sextans B βρίσκεται σε απόσταση 1.32 Mpc και είναι ταξινομημένος μορφολογικά ως Ir IV-V. Είναι ένας γαλαξίας με ομογενή αστρικό πληθυσμό και φαίνεται να έχει εξελιχθεί ολόκληρος ο γαλαξίας περίπου σαν ένα ομογενές σώμα. Προσομοιώσεις από τους (Tosi et al. 1991) δημιουργούν υπόνοιες για μια σειρά από σύντομες και ξεχωριστές περιόδους αστρικής δημιουργίας με μεγάλες περιόδους ενδιάμεσα που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή δραστηριότητα. Δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι έχει ενεργή αστρική δημιουργία.

### 3.4 Δεδομένα - Παρατηρήσεις

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη των έντεκα γαλαξιών του Τοπικού Σμήνου προέρχονται από δύο έρευνες που έγιναν με επίγεια τηλεσκόπια, το Local Group Galaxy Survey (LGGS - Massey et al. 2006,2007) και το Magellanic Clouds Photometric Survey (MCPS - Zaritsky et al. 2002, 2004). Ο λόγος που προτιμήθηκαν αυτές οι έρευνες είναι γιατί προσομοιάζουν τον τρόπο παρατήρησης της Gaia, καλύπτοντας μεγάλες περιοχές παρέχοντας ένα ομοιόμορφο σύνολο δεδομένων, με την παραδοχή ότι τα δεδομένα αυτά δεν έχουν την ακρίβεια της Gaia η οποία θα παρέχει χωρική ανάλυση περίπου όπως το HST και πολύ μεγάλη αστρομετρική ακρίβεια.

#### 3.4.1 Local Group Galaxy Survey - LGGS

Η έρευνα των γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας είχε στόχο τη λήψη εικόνων από τους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνου που έχουν ενεργή αστρική δημιουργία (Massey et al. 2006, 2007, <ftp://ftp.lowell.edu/pub/massey/lgsurvey>). Χρησιμοποίησαν δύο επίγεια τηλεσκόπια τεσσάρων μέτρων, το Kitt Peak National Observatory (KPNO) και το Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO). Ο σπειροειδής M31 (σχήμα 3.6) καλύφθηκε με δέκα πεδία, οι M33 (σχήμα 3.7), WLM, IC10 και NGC 6822 με τρία πεδία. Με ένα πεδίο καλύφθηκαν οι Phoenix, Pegasus, Sextans A και Sextans B. Η έρευνα περιλαμβάνει δεδομένα στα φίλτρα UBVRi και εικόνες με φίλτρα (50–80 ) επικεντρωμένα στις γραμμές  $H\alpha$ ,  $[O_{III}]\lambda 5007$  και  $[S_{II}]\lambda 6713, 6731$ . Σκοπός της έρευνας ήταν να παρέχει ομοιόμορφη κάλυψη μεγάλων περιοχών αστρικής δημιουργίας με καλή φωτομετρία στο 1%-2% για μαζικά άστρα. Τα δεδομένα ελήφθησαν κάτω από καλές συνθήκες παρατήρησης, seeing μικρότερο από 1"-1".2. (Massey et al. 2006)

Οι παρατηρήσεις για τους σπειροειδείς M33 και M31 και τους νάνους NGC 6822, Phoenix, Pegasus, WLM, IC10, Sextans A και Sextans B ξεκίνησαν από τον Αύγουστο του 2000 και συνέχισαν μέχρι το Σεπτέμβριο του 2002, καλύπτοντας κυρίως τους δύο σπειροειδείς. Συνολικά ελήφθησαν δεδομένα από 16 νύχτες παρατήρησης και στα δύο τηλεσκόπια, τα τετράμετρα KPNO και CTIO. Τα δεδομένα έγιναν διαθέσιμα από το επιστημονικό αρχείο National Optical Astronomy Observatory (NOAO) από το 2003. Οι παρατηρήσεις καλύπτουν 2.2 τετραγωνικές μοίρες του M31 και 0.8 τετραγωνικές μοίρες του M33. Οι τρεις νάνοι γαλαξίες του Νοτίου Ημισφαιρίου, WLM, NGC6822 και Phoenix παρατηρήθηκαν με το CTIO και οι άλλοι τέσσερις νάνοι (IC 10, Sextans B, Sextans A και Pegasus) με το KPNO. Οι δύο κάμερες των τηλεσκοπίων είναι σχεδόν ίδια όργανα κι αποτελούνται από μια διάταξη 2x4 CCD με 2048x4096 pixels και δημιουργούν εικόνες που περιέχουν 8192x8192 pixels. Η χωρική ανάλυση ήταν 0."27/pixel. Το οπτικό πεδίο της κάμερας ήταν 35'x35'.

#### 3.4.2 Magellanic Clouds Photometric Survey - MCPS

Ο σκοπός της έρευνας των Νεφών του Μαγγελάνου από τους Zaritsky et al. (2002, 2004) ήταν να καλύψει αποτελεσματικά, με υψηλή ανάλυση, ψηφιακά και με πολυχρωματικά



Figure 3.6: Ο M31 με τα πεδία παρατήρησης (Massey et al. 2006).

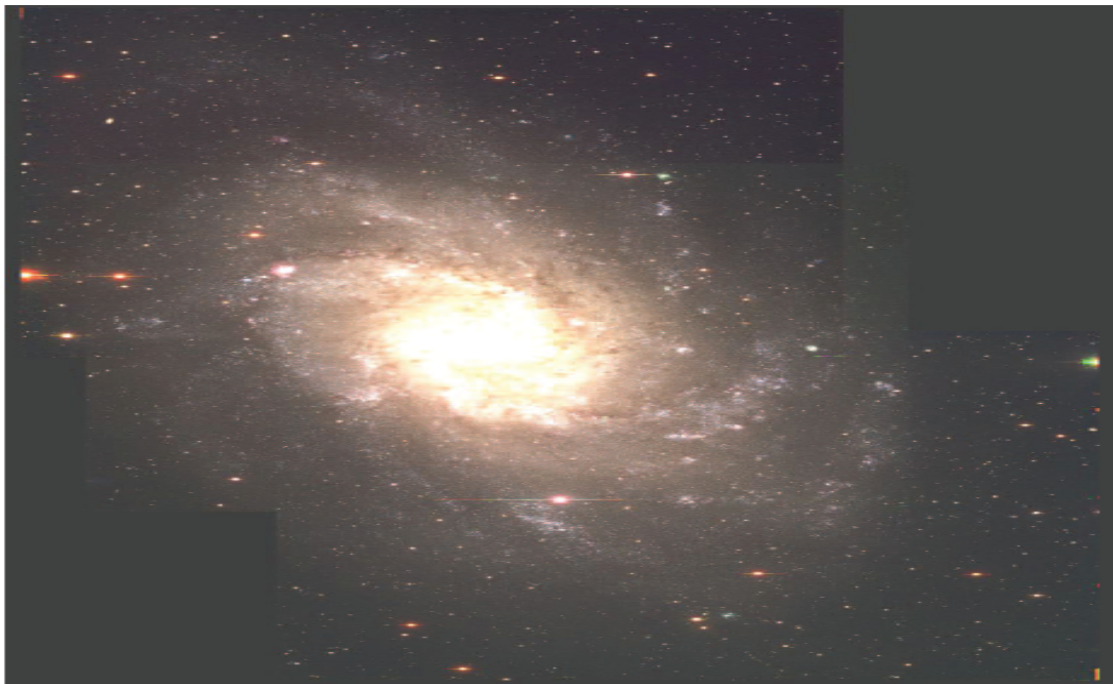


Figure 3.7: Ο M33 με τα πεδία παρατήρησης (Massey et al. 2006).

φίλτρα μεγάλες περιοχές από τα Νέφη του Μαγγελάνου. Στόχος είναι να λάβει εικόνες από την κεντρική περιοχή  $8^{\circ} \times 8^{\circ}$  για το LMC και  $4^{\circ} \times 4^{\circ}$  για το SMC στις ζώνες UBVI. Οι παρατηρήσεις έγιναν κατά τη διάρκεια σχεδόν δέκα ετών, με το τηλεσκόπιο ενός μέτρου, Las Campanas Swore χρησιμοποιώντας την Great Circle Camera με ένα CCD, 2048x2048. Η κάμερα επιτρέπει τη σάρωση κατά την φορά της απόκλισης ( $\delta$ ), με ελάχιστη αλλοίωση της εικόνας. Τα δύο Νέφη του Μαγγελάνου χωρίζονται σε πεδία σάρωσης, το κάθε ένα είναι περίπου  $2^{\circ}$  κατά μήκος και  $24'$  κατά πλάτος. Κάθε τέτοια σάρωση ολοκληρώνεται σε 25 λεπτά. Το CCD έχει χωρική ανάλυση  $0.7''/\text{pixel}$  και οι συνθήκες seeing κατά την παρατήρηση ήταν μεταξύ  $1.''2$  και  $1.''8$ . (Zaritsky & Thompson 1997)

Οι παρατηρήσεις (Zaritsky et al. 2002) για τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το SMC έγιναν από το Νοέμβριο του 1996 μέχρι και το Δεκέμβριο του 1999 από το τηλεσκόπιο Las Campanas Swore (1m) με χρήση της κάμερας Great Circle Camera με CCD 2048x2048 pixels λαμβάνοντας εικόνες στα φίλτρα Johnson U, B, V και Gunn I. Ο χρόνος έκθεσης ήταν από τέσσερα έως πέντε λεπτά και η χωρική ανάλυση  $0.7''/\text{pixel}$ . Η τυπική τιμή για το seeing ήταν  $1.''5$  και σαρώσεις με τιμή seeing χειρότερο από  $2.''5$  δεν έγιναν δεκτές. Η φωτομετρική ανάλυση έγινε με τα ειδικά πακέτα λογισμικού DAOPHOT II και IRAF.

Οι παρατηρήσεις για το LMC (Zaritsky et al. 2004) έγιναν με το ίδιο τηλεσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε και για το SMC και με την ίδια κάμερα και τα ίδια φίλτρα. Ο χρόνος έκθεσης για το LMC κυμάνθηκε από 3.8 έως 5.2 λεπτά με χωρική ανάλυση όπως και προηγουμένως,  $0.7''/\text{pixel}$ . Οι παρατηρήσεις έγιναν τη χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1995 μέχρι το Δεκέμβριο του 1999 και πρόσθετες παρατηρήσεις έγιναν το Δεκέμβριο του 2001 για να συμπληρωθούν κενά στα δεδομένα των προηγούμενων παρατηρήσεων. Η φωτομετρική ανάλυση έγινε με τα πακέτα DAOPHOT II και IRAF.

### 3.5 Προετοιμασία για τα μελλοντικά δεδομένα από τη Gaia

Η αποστολή Gaia αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στη μελέτη των γαλαξιών του Τοπικού Σμήνους παρέχοντας ένα πολύ μεγάλο και ομογενές σύνολο δεδομένων με μεγάλη ακρίβεια, καλύπτοντας ολόκληρους γαλαξίες όπως τα Νέφη του Μαγγελάνου, το M31 και το M33. Σύμφωνα με το Gaia Universe Model Simulation (GUMS) ο δορυφόρος θα παρατηρήσει περισσότερα από εννιά εκατομμύρια άστρα στο Μεγάλο και στο Μικρό Νέφος του Μαγγελάνου (Robin et al. 2012). Ένας από τους στόχους της διατριβής είναι η προετοιμασία για τη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας στο Τοπικό Σμήνος με τα αναμενόμενα δεδομένα από τη Gaia. Η προετοιμασία συνίσταται

α) στην εκτίμηση των γαλαξιών στους οποίους θα παρατηρήσει άστρα η Gaia και το πλήθος των άστρων

β) στη δημιουργία καταλόγων για κάθε γαλαξία με τα άστρα αυτά που βρίσκονται εντός των ορίων παρατήρησης από τη Gaia. Συνολικά ετοιμάστηκαν κατάλογοι για έντεκα γαλαξίες του τοπικού σμήνους, LMC, SMC, M31, M33, NGC 6822, Phoenix, WLM, Sextans A, Sextans B, IC10 και Pegasus. Ένα παράδειγμα αυτών των καταλόγων δίνεται στον Πίνακα 3.1 για το SMC και στον Πίνακα 3.2 για το M31. Το κομμάτι του καταλόγου του SMC αντιπροσωπεύει τη μορφή των καταλόγων στα Νέφη του Μαγγελάνου και το κομμάτι του καταλόγου που δίνεται από το M31 αντιπροσωπεύει τη μορφή που έχουν οι κατάλογοι των γαλαξιών που παρατηρήθηκαν από το LGGS.

γ) κατάλογοι αστρικών συστημάτων από τη μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας χρησιμοποιώντας τους καταλόγους της περίπτωσης (β) σε γαλαξίες με στατιστικά ικανό αριθμό άστρων όπως το Μικρό Νέφος του Μαγγελάνου, οι M31 και M33 αλλά και ο NGC 6822 όπου και εφαρμόστηκε η αυτόματη μέθοδος που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 1 και ετοιμάστηκαν κατάλογοι των αστρικών δομών που ανιχνεύθηκαν.

Για να εκτιμηθεί πόσα άστρα βρίσκονται μέσα στα όρια παρατήρησης της Gaia, για το φωτομετρικό όργανο και το φασματογράφο ακτινικής ταχύτητας πρέπει να μετασχηματιστούν το  $V$  μέγεθος και τα χρώματα,  $V-I$  και  $B-V$  από το φωτομετρικό σύστημα Johnsons-Cousins, ανάλογα με τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας για κάθε γαλαξία σε  $G$  και  $G_{rvs}$  για το BP/RP και το RVS αντίστοιχα. Οι μετασχηματισμοί έγιναν σύμφωνα με Jordi et al. (2010) Πίνακας 3,

$$G - V = -0.0257 - 0.0924(V - I) - 0.1623(V - I)^2 + 0.0090(V - I)^3$$

$$G_{rvs} = V - 0.0119 - 1.2092(V - I) + 0.0188(V - I)^2 + 0.0005(V - I)^3$$

Μετά το μετασχηματισμό έγινε η επιλογή των άστρων με  $G < 20$  για το BP/RP και  $G_{rvs} < 17$  για το RVS και δημιουργήθηκαν νέοι κατάλογοι για κάθε γαλαξία. Στην επόμενη ενότητα (3.5.1 γίνεται εκτίμηση της επίδρασης που μπορεί να έχει το φαινόμενο crowding στις παρατηρήσεις της Gaia και στην ενότητα 3.5.2 περιγράφεται το επόμενο βήμα, ο εντοπισμός των άστρων κύριας ακολουθίας με σχετικά νεαρή ηλικία ώστε να γίνει μέσω της αυτόματης μεθόδου αναζήτησης αστρικών δομών όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Table 3.1: Κατάλογος γνωστών άστρων από επίγειες παρατηρήσεις μέσα στα όρια παρατήρησης της Gaia για το SMC.

Index	RA (deg) (J2000.0)	DEC (deg) (J2000.0)	B	V	I	G	Grvs
1	5.657340	-74.732400	13.450000	12.990000	12.560000	12.839606	12.461660
2	5.690770	-74.614400	15.040000	14.420000	13.550000	14.201027	13.370655
3	5.698250	-74.690800	14.190000	13.600000	12.400000	13.395057	12.164996
4	5.839110	-74.809400	14.850000	14.250000	13.520000	14.040440	13.365597
5	5.848670	-74.429700	14.280000	13.650000	12.830000	13.426231	12.659473
6	5.875610	-74.410800	15.250000	14.580000	13.820000	14.336457	13.660186
7	5.932550	-74.424000	15.550000	14.600000	13.570000	14.192174	13.363115
8	5.970080	-74.463900	15.700000	14.920000	14.010000	14.617258	13.823673
9	5.976830	-74.629600	15.160000	14.390000	13.670000	14.092929	13.517409
10	6.028410	-74.217800	14.420000	13.230000	11.380000	12.646766	11.048589

Table 3.2: Κατάλογος άστρων μέσα στα όρια παρατήρησης της Gaia για το M31.

Index	RA (deg) (J2000.0)	DEC (deg) (J2000.0)	V	BV	G	Grvs
1	9.267500	39.867472	19.995000	1.434000	19.202549	17.683955
2	9.267542	40.191806	20.028000	0.835000	19.693045	18.638321
3	9.268458	40.031861	16.777000	1.341000	16.067852	14.611615
4	9.268875	40.240556	17.876000	0.468000	17.722545	17.027295
5	9.269000	40.089167	17.829000	0.645000	17.597926	16.721954
6	9.269000	40.228417	19.568000	0.832000	19.234847	18.182824
7	9.269208	40.268639	20.900000	1.549000	19.998652	18.407723
8	9.269208	40.340778	19.104000	0.541000	18.920817	18.149354
9	9.269250	40.413389	19.686000	0.552000	19.498058	18.715316
10	9.269375	40.252417	20.154000	1.515000	19.285516	17.715427

### 3.5.1 Crowding

Το μεγάλο πλήθος των άστρων που αναμένεται να παρατηρηθεί στα Νέφη του Μαγγελάνου, περισσότερα από εννέα εκατομμύρια άστρα (Robin et al. 2012), δημιουργεί το ερώτημα κατά πόσο το crowding θα μπορούσε να επηρεάσει τις παρατηρήσεις της Gaia. Για να γίνει μια εκτίμηση της επίδρασης του crowding, διαιρέθηκε η περιοχή παρατήρησης του MCPS στο LMC και SMC σε pixels τα οποία έχουν την επιφάνεια ενός CCD της Gaia, 347.59 δευτερόλεπτα τόξου κατά την κάθετη κατεύθυνση και 265.05 δευτερόλεπτα τόξου κατά την οριζόντια κατεύθυνση (de Bruijne & de Marchi 2011). Για κάθε ένα από αυτά τα pixel μετρήθηκαν τα άστρα από τους καταλόγους που δημιουργήθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και έγινε υπολογισμός της τιμής της επιφανειακής πυκνότητας διαιρώντας με την επιφάνεια ενός pixel (347.59"x265.05"). Το όριο της πυκνότητας για το φωτομετρικό όργανο (BP/RP) είναι 750,000 αντικείμενα/τετραγωνική μοίρα και η αντίστοιχη τιμή για το φασματογράφο ακτινικής ταχύτητας (RVS) είναι 36,000 αντικείμενα/τετραγωνική μοίρα (<http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/science-performance>).

Η τιμή της επιφανειακής πυκνότητας για το BP/RP και για τους δύο γαλαξίες είναι πολύ μικρή συγκριτικά με το όριο του οργάνου. Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται η τιμή της επιφανειακής πυκνότητας για το LMC και SMC κι όπως φαίνεται από το διάγραμμα η μέγιστη τιμή για το LMC δεν ξεπερνά τα 250,000 χιλιάδες αντικείμενα ανά τετραγωνική μοίρα, το ένα τρίτο του ορίου και για το SMC η μέγιστη τιμή είναι 160,000 αντικείμενα ανά τετραγωνική μοίρα, σχεδόν το ένα πέμπτο του ορίου.

Αντίστοιχα για το RVS οι τιμές της επιφανειακής πυκνότητας ξεπερνούν το όριο του οργάνου σε ένα πολύ μικρό ποσοστό της επιφάνειας παρατήρησης. Στο SMC 2 από τα 9,338 pixel, περίπου 0.02%, βρίσκονται πάνω από το όριο. Τα pixels αυτά βρίσκονται βόρεια από το κέντρο του SMC και δεν ανήκουν στα άστρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον αλγόριθμο εύρεσης αστρικών δομών στην επόμενη ενότητα. Η πλειοψηφία των pixel στο SMC, ( $\simeq 99.98\%$ ), έχουν τιμή κάτω από το 1/3 του ορίου του RVS. Για το LMC κανένα από τα 27,456 pixels δεν βρίσκεται εκτός ορίου. Όπως και το στο SMC η πλειοψηφία των pixels περίπου 99.11% έχουν τιμή μικρότερη από το 1/3 του ορίου. Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η τιμή της επιφανειακής πυκνότητας για τα LMC και SMC για το RVS και στα σχήματα 3.10, 3.11 παρουσιάζεται η κατανομή της τιμής της επιφανειακής πυκνότητας σε συνάρτηση με το  $N/N_{tot}$  (πλήθος pixel/σύνολο pixel), για τους δύο γαλαξίες και τα δύο όργανα, BP/RP και RVS.

### 3.5.2 Εφαρμογή της αυτόματης μεθόδου

Η αυτόματη μέθοδος εφαρμόστηκε στους αστρικούς καταλόγους που περιγράφονται στην ενότητα 3.5 κι αφού πρώτα έγινε η επιλογή νεαρών άστρων κύριας ακολουθίας δημιουργώντας υποσύνολα των καταλόγων αυτών. Η μέθοδος εφαρμόστηκε στο SMC, στους σπειροειδείς M31, M33 και στον NGC 6822. Τα άστρα για τη μέθοδο επιλέχθηκαν με βάση τα CMD's (σχήμα 3.12, 3.13, 3.14) και τις θεωρητικές ισόχρονες (Marigo et al. 2008) που εφαρμόστηκαν για να γίνει μια εκτίμηση της ηλικίας των άστρων. Για το SMC

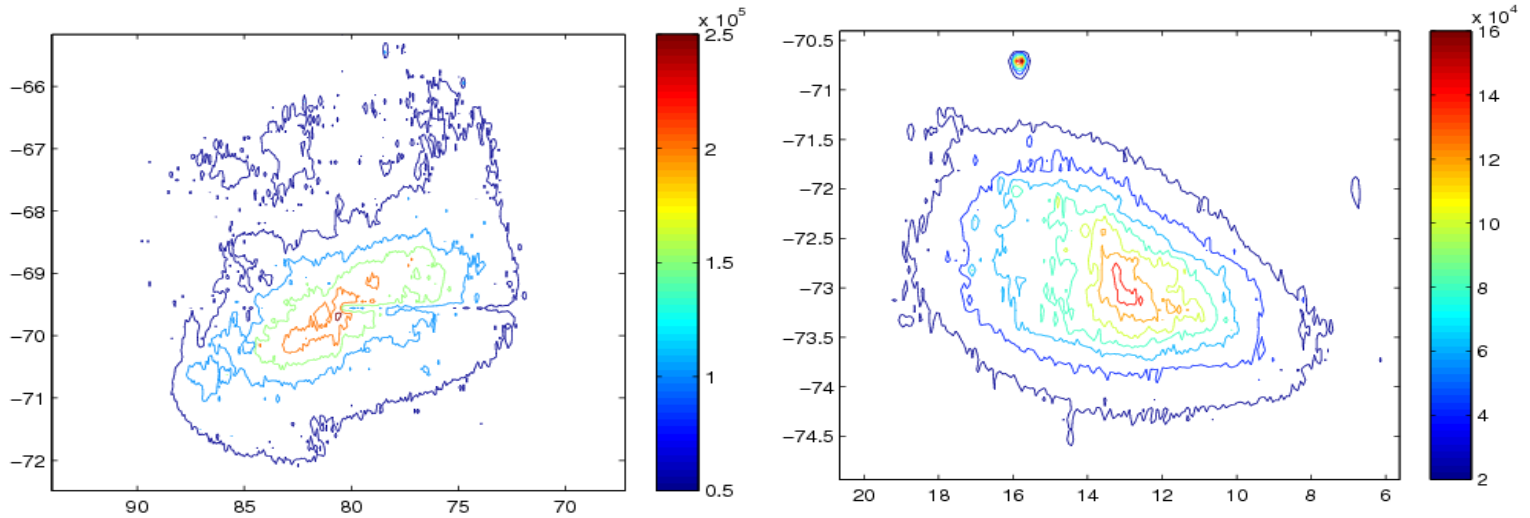


Figure 3.8: Επιφανειακή πυκνότητα του LMC (αριστερά) και SMC (δεξιά) για άστρα εντός ορίου παρατήρησης του φωτομετρικού οργάνου ( $G < 20$ ).

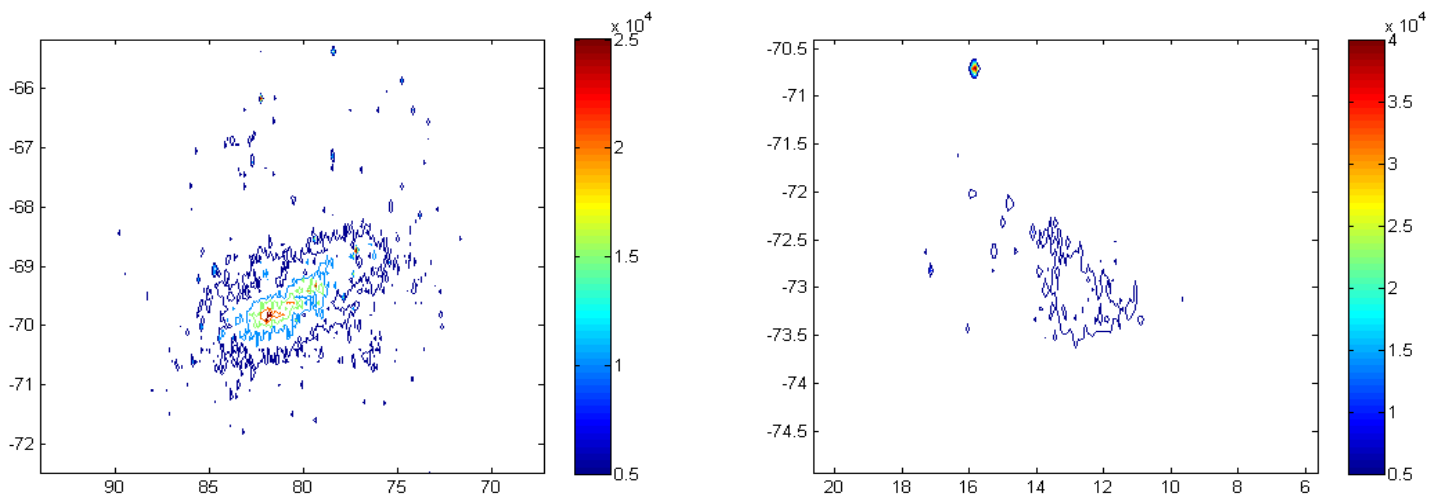


Figure 3.9: Επιφανειακή πυκνότητα του LMC (αριστερά) και SMC (δεξιά) για άστρα εντός ορίου παρατήρησης του φασματογράφου ακτινικής ταχύτητας ( $G < 17$ ).



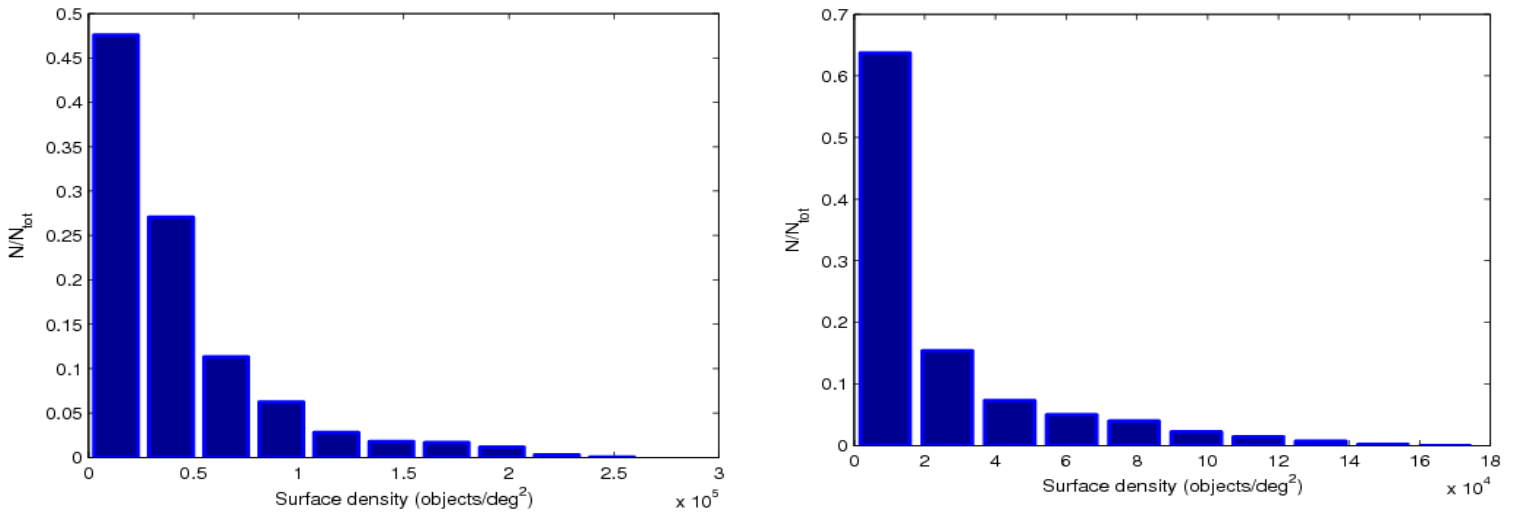


Figure 3.10: Κατανομή της επιφανειακής πυκνότητας για άστρα με  $G < 20$ , για το LMC (αριστερά) και SMC (δεξιά).

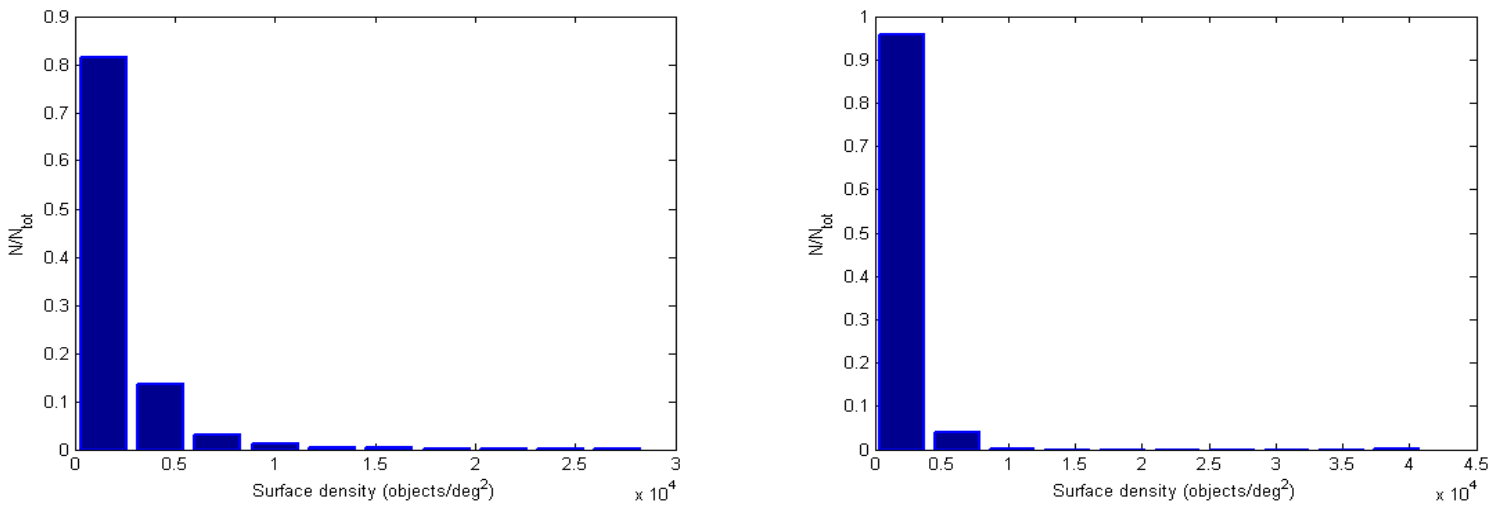


Figure 3.11: Κατανομή της επιφανειακής πυκνότητας για άστρα με  $G < 16$  για το LMC (αριστερά) και SMC (δεξιά).

τα κριτήρια ήταν  $V < 15.5$ ,  $V - I < 0.1$ ,  $G_{rvs} < 17$  με εκτιμώμενη ηλικία των άστρων μέχρι τα 100 Myr για να έχουμε ένα στατιστικά ικανό δείγμα αλλά και να μπορούμε να ανιχνεύσουμε και μεγάλες δομές όπως τα supercomplexes. Επίσης όλα τα άστρα που επελέγησαν για τη μέθοδο στο SMC είναι στα όρια παρατήρησης του RVS που σημαίνει ότι θα μπορούμε να έχουμε και ακτινικές ταχύτητες γι' αυτές τις ομάδες. Το πλήθος των δεδομένων στο SMC έδωσε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε και το μέγεθος  $G_{rvs}$  ως κριτήριο επιλογής. Στους υπόλοιπους τρεις γαλαξίες δεν υπήρχε αυτή η δυνατότητα λόγω μικρού πλήθους άστρων. Στους M31 και M33 τα κριτήρια επιλογής ήταν  $V < 20$  και  $B - V < 0.25$  κι από θεωρητικές ισόχρονες (Marigo et al. 2008) η ηλικία του πληθυσμού αυτού εκτιμάται μέχρι τα 50 Myr. Για τον NGC 6822 τα κριτήρια τροποποιήθηκαν ελαφρώς  $V < 20$ ,  $B - V < 0.5$  για να έχουμε ένα επαρκές δείγμα και η ηλικία εκτιμήθηκε από θεωρητικές ισόχρονες (Marigo et al. 2008) έως τα 125 Myr.

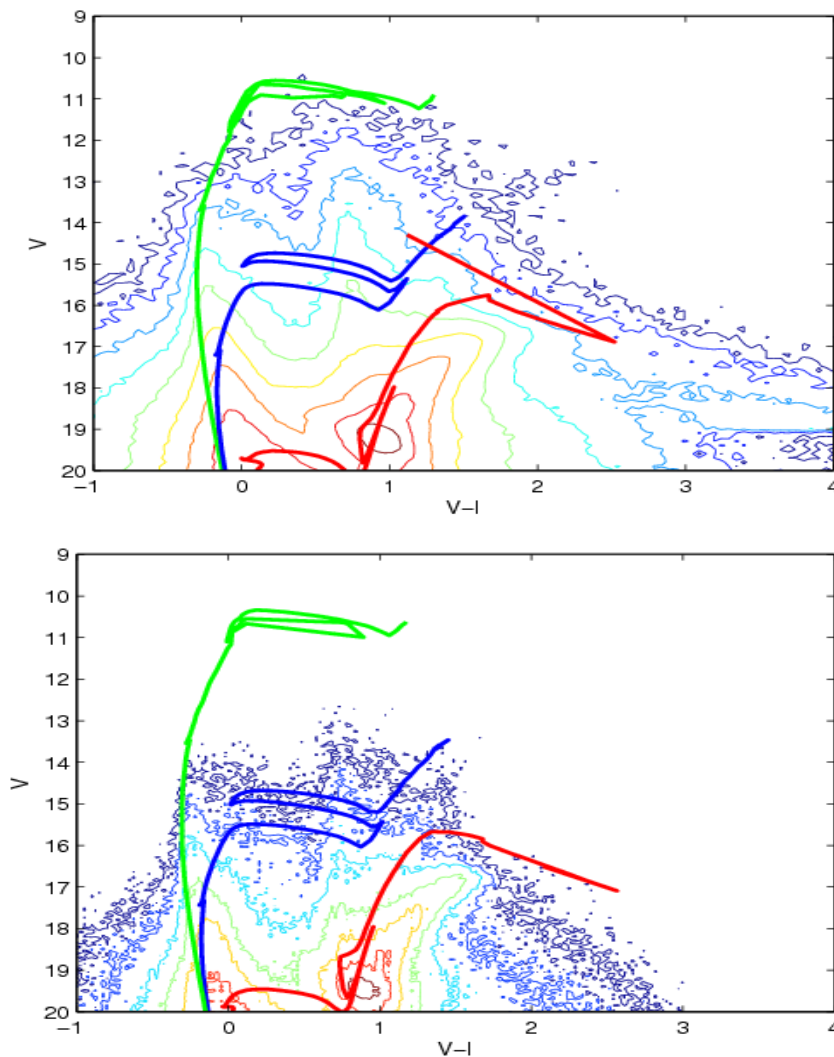


Figure 3.12: CMD's των LMC και SMC με ισόχρονες για 10 Myr (πράσινο), 100 Myr (μπλε) και 1Gyr (κόκκινο).

Table 3.3: Εκτίμηση αριθμού άστρων από δημοσιευμένους καταλόγους επίγειων παρατηρήσεων που θα αναμένεται να παρατηρήσει η Gaia σε έντεκα γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους.

Galaxy	Photometric ( $G < 20$ )	Spectroscopic ( $G < 16$ ) after commissioning	Spectroscopic ( $G < 17$ ) before commissioning
LMC	7550000 <sup>1</sup>	380884	1015935 <sup>1</sup>
SMC	1250000 <sup>1</sup>	77056	190049 <sup>1</sup>
M31	27625	3689	7866
M33	14270	948	2228
NGC 6822	11175	715	2215
Phoenix	973	135	267
WLM	920	110	253
Sextans A	510	110	199
Sextans B	358	70	126
IC10	1512	100	301
Pegasus	560	101	210

<sup>1</sup> Robin et al. 2012

### 3.5.3 Αποτελέσματα

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζεται ο αριθμός των άστρων που εκτιμάται πως θα παρατηρήσει η Gaia σε έντεκα γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους. Η πλειοψηφία των άστρων αναμένεται να παρατηρηθεί στα Νέφη του Μαγγελάνου, σχεδόν 9 εκ. άστρα. Σημαντικός αριθμός αναμένεται να παρατηρηθεί και στους δύο σπειροειδείς, M31 (περίπου  $27 \times 10^3$  άστρα) M33 (περίπου  $14 \times 10^3$  χιλιάδες άστρα) και στον νάνο γαλαξία NGC 6822, περισσότερα από  $10^3$  άστρα. Η αλλαγή του ορίου παρατήρησης στο RVS μετά το commissioning έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των άστρων που εκτιμάται ότι θα παρατηρήσει η Gaia περίπου κατά 60%. Αναλυτικά στον Πίνακα 3.3 αναφέρονται οι εκτιμήσεις για τον αριθμό των άστρων μετά και πριν το commissioning στις στήλες τρία και τέσσερα αντίστοιχα.

Ένα χρήσιμο μέτρο σύγκρισης αποτελεί το HST, με χωρική ανάλυση συγκρίσιμη με της Gaia, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να παρατηρήσει γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους στα πλαίσια του προγράμματος, HST Treasury. Σκοπός του προγράμματος είναι η μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν από εικόνες του δορυφόρου Galaxy Evolution Explorer (GALEX). Στον σπειροειδή M31 επέλεξαν 22 περιοχές αστρικής δημιουργίας οι οποίες παρατηρήθηκαν με το HST. Με την καταμέτρηση των άστρων με φασματικό τύπο OB στις συγκεκριμένες περιοχές βρέθηκε πληθυσμός τρεις φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο πληθυσμό που βρέθηκε με το LGGS (Bianchi et al. 2012). Επίσης αναφέρθηκε ότι στους έξι νάνους γαλαξίες εκτός του NGC 6822, η πλειοψηφία των άστρων από τα δεδομένα του LGGS όταν παρατηρήθηκαν με τη χωρική ανάλυση του HST φάνηκε πως ήταν στην πραγματικότητα πολλαπλά άστρα. Στο σχήμα 3.15, απεικονίζεται η περιοχή OB58 του M31 (Massey et al. 2006). Η εικόνα αριστερά είναι από το KPNO στα πλαίσια του LGGS και η δεξιά εικόνα είναι η ίδια περιοχή από

το HST. Αντικείμενα που παρατηρήθηκαν σαν μοναδικά άστρα από το KPNO με το HST αναλύθηκαν σε πολλαπλά αντικείμενα. Γι'αυτό το λόγο αναμένουμε μεγαλύτερο αριθμό παρατηρήσεων από τη Gaia από την καταμέτρηση που έγινε με βάση τις επίγειες παρατηρήσεις από τα KPNO και CTIO. Στο σχήμα 3.16 απεικονίζεται το CMD της περιοχής 58 με τις παρατηρήσεις του HST (Treasury Study) και του KPNO (LGGS). Το όριο της Gaia,  $G=20$ , μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί ως,  $V \simeq 20.1$  για  $-0.5 < V-I < 1.4$ . Το HST όπως και το KPNO μπορούν να κάνουν παρατηρήσεις και σε μεγέθη πιο μικρά από τη Gaia η οποία όμως θα παρέχει ένα ομογενές σύνολο δεδομένων με μεγάλη ακρίβεια για πολύ μεγάλες περιοχές παρατήρησης.

Στα σχήματα, 3.17, 3.18, 3.19 δίνεται η γραφική απεικόνιση των έντεκα γαλαξιών με τον αστρικό πληθυσμό που βρέθηκε εντός του ορίου παρατήρησης από την Gaia. Τα νέφη του Μαγγελάνου είναι ιδιαίτερα πυκνά και στους δύο σπειροειδείς, M31 και M33 ο αριθμός των άστρων είναι τέτοιος που χαρακτηριστικά γνωρίσματα των γαλαξιών όπως οι σπείρες είναι εύκολα αναγνωρίσιμα.

Στον Πίνακα 3.4 δίνονται οι τιμές του  $D_s$  σε κάθε γαλαξία και για κάθε κατηγορία ομάδας ενώ στα σχήματα 3.20, 3.21, 3.22 και 3.23 παρουσιάζονται οι περιοχές αστρικής δημιουργίας στους γαλαξίες SMC, M31, M33 και NGC 6822 με τις αστρικές ομάδες που ανιχνεύθηκαν και καταλογοποιήθηκαν από την αυτόματη μέθοδο. Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα καταλόγου νεαρών αστρικών δομών δίνεται στον Πίνακα 3.5, ένα απόσπασμα του καταλόγου του SMC, όπου δίνεται το κέντρο κάθε ομάδας (R.A., dec) το πλήθος των μελών, το μέγεθος σε pc και ο τύπος της ομάδας. Για κάθε ένα από τους τέσσερις γαλαξίες έχει δημιουργηθεί κι ένας κατάλογος όπως στο προηγούμενο παράδειγμα. Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε γαλαξία στον οποίο εφαρμόστηκε η αυτόματη μέθοδος και για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Δίνεται το πλήθος των ομάδων που αναγνωρίστηκαν από το πρόγραμμα, η μέση τιμή του μεγέθους και η μέση τιμή του αριθμού των μελών για κάθε κατηγορία.

Table 3.4: Τιμές της ακτίνας έρευνας ( $D_s$ ) από τον αλγόριθμο για κάθε γαλαξία και κάθε κατηγορία ταξινόμησης.

Γαλαξίας	Clusters $D_s$ (pc)	Associations $D_s$ (pc)	Aggregates $D_s$ (pc)	Complexes $D_s$ (pc)	Supercomplexes $D_s$ (pc)
SMC	21	34	46	54	73
M31	19	61	116	234	296
M33	14	41	76	135	161
NGC 6822	19	63	115	144	193

Table 3.5: Κατάλογος αστρικών ομάδων από την αυτόματη μέθοδο στο SMC (Τύπος ομάδας : Clusters (0), Associations (1), Aggregates (2), Complexes (3), Supercomplexes (4)).

Group Index	RA (deg) (J2000.0)	DEC (deg) (J2000.0)	Members	Size (pc)	Type
1	9.302047	-72.993367	3	35.591404	1
2	11.857450	-73.107583	6	37.920717	1
3	11.871925	-73.217400	4	27.360612	0
4	11.895733	-73.146533	3	28.19969	0
5	11.943700	-73.133700	3	25.173601	0
6	11.975867	-73.103233	3	20.062199	0
7	11.987433	-73.424400	3	23.918704	0
8	12.011467	-73.406900	3	18.795968	0
9	12.156767	-73.423067	3	10.772526	0
10	12.197640	-73.427580	5	22.069062	0

### 3.6 Σχόλια - Παρατηρήσεις

Οι αστρικές δομές που ανιχνεύθηκαν κατά τη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας στους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνου ποικίλουν σε διάσταση, από μερικά pc έως μερικές χιλιάδες pc. Η μέση τιμή της διάστασης για τη μικρότερη κατηγορία τα clusters κυμαίνεται από 13 έως 22 pc. Στην επόμενη κατηγορία, τα associations έχουν εύρος στους τέσσερις γαλαξίες που μελετήθηκαν από 60 έως 67 pc. Στο κεφάλαιο 2 η μέση τιμή των associations είχε παρόμοιο εύρος από 62 έως 75 pc, με τους περισσότερους γαλαξίες του δείγματος (5/6) να κυμαίνονται από 62 μέχρι 68 pc. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι γαλαξίες έχουν παρατηρηθεί από τέσσερα διαφορετικά όργανα, τρία επίγεια (KPNO, CTIO, Las Campanas) και το HST και οι αποστάσεις των γαλαξιών κυμαίνονται από 0.050 έως 15.9 Mpc.

Στις μεγαλύτερες κατηγορίες, η μέση τιμή της διάστασης για τα Aggregates έχει εύρος 160-182 pc, για τα complexes 481-537 pc και τέλος για τα supercomplexes 1958-2402 pc. Και στις μεγαλύτερες κατηγορίες το εύρος της μέσης τιμής είναι παρόμοιο με μοναδική διαφορά τα supercomplexes όπου οι γαλαξίες του HST έχουν μικρότερες μέσες τιμές. Αυτό οφείλεται στην μερική κάλυψη που είχαν οι γαλαξίες από το HST καθώς ο αλγόριθμος δεν μπορούσε να αναγνωρίσει μεγαλύτερες ομάδες περιορισμένος από το πεδίο παρατήρησης. Στους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνου τα επίγεια τηλεσκόπια κάλυψαν είτε ολόκληρους όπως το NGC 6822 είτε ένα μεγάλο κομμάτι όπως στο SMC.

Οι αναφορές στη βιβλιογραφία από ανάλογες μελέτες στους ίδιους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνου φανερώνουν ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων για τις αστρικές ομάδες. Μια επισκόπηση τέτοιων αναφορών γίνεται από Gouliermis et al. (2003). Για τον M31 η μέση τιμή των διαστάσεων που αναφέρονται έχουν ένα εύρος από 80 έως 83 pc, μεγαλύτερο από τα 64 pc για τα associations που βρέθηκε από το δικό μας αλγόριθμο. Αυτή η

Table 3.6: Πλήθος ομάδων για κάθε κατηγορία ταξινόμησης και χαρακτηριστικά της για κάθε γαλαξία.

Galaxy	Type	Number of groups	Average size (pc)	Average number of members (pc)	Median size (pc)
SMC	Clusters	116	22	3	24
	Associations	346	60	5	57
	Aggregates	151	160	13	148
	Complexes	27	481	59	448
	Supercomplexes	6	1958	518	1640
	<hr/>				
M31	Clusters	154	13	4	11
	Associations	230	64	4	65
	Aggregates	354	182	6	174
	Complexes	228	537	13	485
	Supercomplexes	61	2257	110	1700
	<hr/>				
M33	Clusters	354	15	4	14
	Associations	371	61	5	60
	Aggregates	268	168	10	154
	Complexes	105	482	33	438
	Supercomplexes	19	2080	553	1374
	<hr/>				
NGC 6822	Clusters	47	16	4	17
	Associations	69	67	5	70
	Aggregates	70	165	5	150
	Complexes	28	522	17	517
	Supercomplexes	7	2408	520	2011

διαφορά μπορεί να οφείλεται στη διαφορετικό τρόπο ανίχνευσης, όπως ο Efremov (1987) που δεν χρησιμοποίησε κάποιο αυτόματο αλγόριθμο αναγνώρισης, είτε στην περίπτωση του Ivanov (1996) ο οποίος χρησιμοποίησε ένα FoF αλγόριθμο να οφείλεται στο μικρό δείγμα από 15 ομάδες ή στο ότι ο FoF χωρίς τη τροποποίηση που χρησιμοποιήθηκε για τη συγκεκριμένη διατριβή θα ανιχνεύσει ομάδες με μεγαλύτερη μέση τιμή διάστασης (Κεφάλαιο 1). Για τον M33 το εύρος των μέσων τιμών της διάστασης στη βιβλιογραφία είναι ακόμα μεγαλύτερο από 40 έως 200 pc κι ενώ η μέθοδός μας υπολόγισε 61 pc μέση τιμή για τα associations και 168 pc για τα aggregates. Στο SMC οι αναφορές στη βιβλιογραφία για associations κυμαίνονται από 46 έως 77 pc και τη μέθοδό μας να δίνει 60 pc. Τέλος στον NGC 6822 οι μέσες τιμές για τις αστρικές ομάδες έχουν εύρος 68-163 pc. Το εύρος αυτό όπως και στην περίπτωση του M31 καλύπτει δύο από τις κατηγορίες ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη διατριβή. Τα associations στον NGC 6822 έχουν μέση τιμή διάστασης 67 pc και τα aggregates 165 pc. Κάτι που καταδεικνύει ότι οι διαφορές στις μέσες τιμές που αναφέρθηκαν είναι πιθανόν να οφείλονται και στο διαφορετικό ορισμό της αστρικής ομάδας σε κάθε μελέτη.

Παρόμοια μελέτη για αστρικές ομάδες στον NGC 6822 και LMC, SMC από Karampelas et al. (2009) ανίχνευσε ομάδες με διαστάσεις από ~ 150 έως ~ 300-400 pc και από ~ 400 έως 800 pc. Το εύρος των ομάδων αυτών αντιστοιχεί στο εύρος των aggregates και complexes. Η κατανομή των διαστάσεων των ομάδων από 200 έως 800 pc (Σχήμα 3.24) και παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την αντίστοιχη κατανομή στο σχήμα

4, Karamelas et al. (2009), μέγιστο  $\sim 200$  pc σε όλους τους γαλαξίες. Η κατανομή των ομάδων με διάσταση έως 100 pc (Σχήμα 3.25) παρουσιάζει μέγιστο σε διαστάσεις  $< 30$  pc (clusters) και στις 30-100 pc (associations).

Στη μελέτη του Gusev (2014) στον NGC 628 (Σχήμα 6 και Πίνακας 2) η κατανομή διαστάσεων και οι μέσες τιμές για τρεις κατηγορίες ομάδων παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με τα ευρήματα της μεθόδου αυτής της διατριβής. Στις κατανομές διαχωρίζονται οι ομάδες σε τρεις κατηγορίες όπου παρουσιάζεται και μέγιστο, κάτω από 100 pc,  $\sim 250$  pc και  $\sim 600$  pc. Οι μέση τιμή διάστασης των associations είναι 60-70 pc, για τα aggregates 234 pc και για τα complexes 601 pc. Οι τιμές αυτές είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από τις τιμές στους γαλαξίες των κεφαλαίων 2 και 3 αλλά είναι μέσα στα όρια των κατηγοριών.

Οι ομάδες που ανιχνεύθηκαν και αναφέρθηκαν σ' αυτό το κεφάλαιο και η σύγκριση με ανάλογες μελέτες στη βιβλιογραφία παρέχουν σοβαρές ενδείξεις ότι ακόμα κι αν οι παρατηρήσεις της Gaia στους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους περιοριστούν στο πλήθος των άστρων που παρατηρήθηκαν με τα επίγεια τηλεσκόπια και με πολύ μικρότερη χωρική ανάλυση και ακρίβεια μπορούν να παρέχουν ένα στατιστικά ικανό δείγμα για τη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας. Οι αστρικές ομάδες που αναγνωρίστηκαν έχουν μεγέθη είτε πολύ κοντά με τις αναφορές στη βιβλιογραφία είτε βρίσκονται μέσα στο αναφερόμενο εύρος. Τα δεδομένα από την Gaia θα παρέχουν ένα μεγάλο και ομογενές σύνολο δεδομένων με μεγάλη ακρίβεια και σε συνδυασμό με τις κινηματικές και αστροφυσικές παρατηρήσεις θα συνεισφέρουν σημαντικά στη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας στους κοντινούς γαλαξίες.

Όπως και στο Κεφάλαιο 2, ενότητα 2.7, η επιφανειακή πυκνότητα στους γαλαξίες SMC, NGC 6822, M31 και M33 φαίνεται να συσχετίζεται με τη διάσταση των ομάδων καθώς όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.26, οι μικρές ομάδες όπως clusters και associations έχουν σημαντικά υψηλότερες τιμές από τις μεγάλες σε διάσταση ομάδες όπως τα supercomplexes. Η μελέτη αντίστοιχων ομάδων στον M31 με το HST (Bianchi et al. I (2012), Σχήμα 11), με σημαντικά καλύτερη χωρική ανάλυση από το KPNO, παρουσιάζει ανάλογο γράφημα. Οι τιμές της επιφανειακής πυκνότητας για τις μικρές ομάδες είναι μεγαλύτερη αλλά αυτό οφείλεται στο HST και στο μεγαλύτερο αριθμό άστρων που παρατηρήθηκαν (ενδεικτικά 3.5.3).

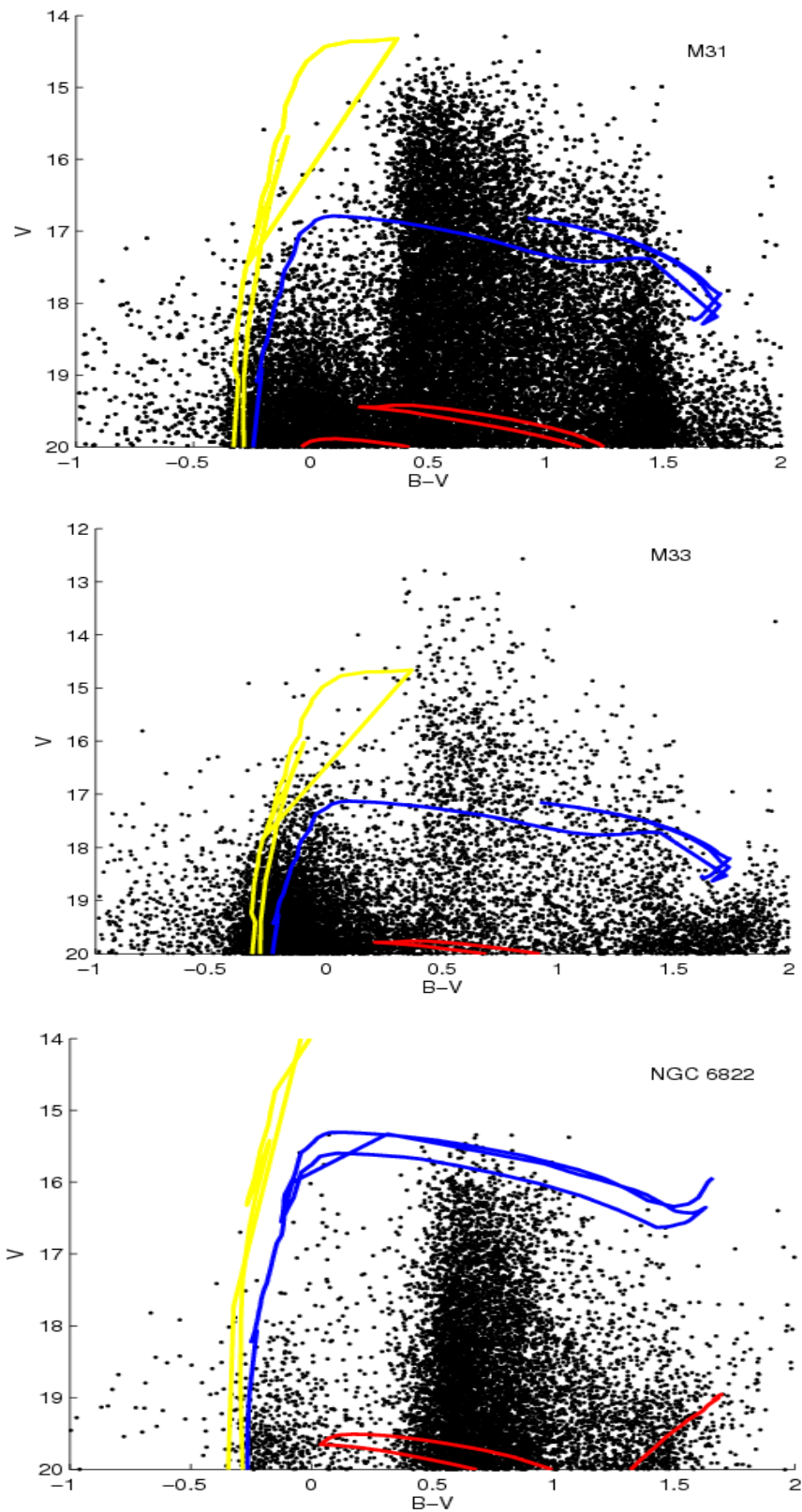


Figure 3.13: CMD's των M31, M33 με ισόχρονες για 4 (πράσινο), 10 (μπλε) και 50 Myr (κόκκινο) και CMD του NGC 6822 με ισόχρονες για 4 (πράσινο), 10 (μπλε) και 100 Myr (κόκκινο).



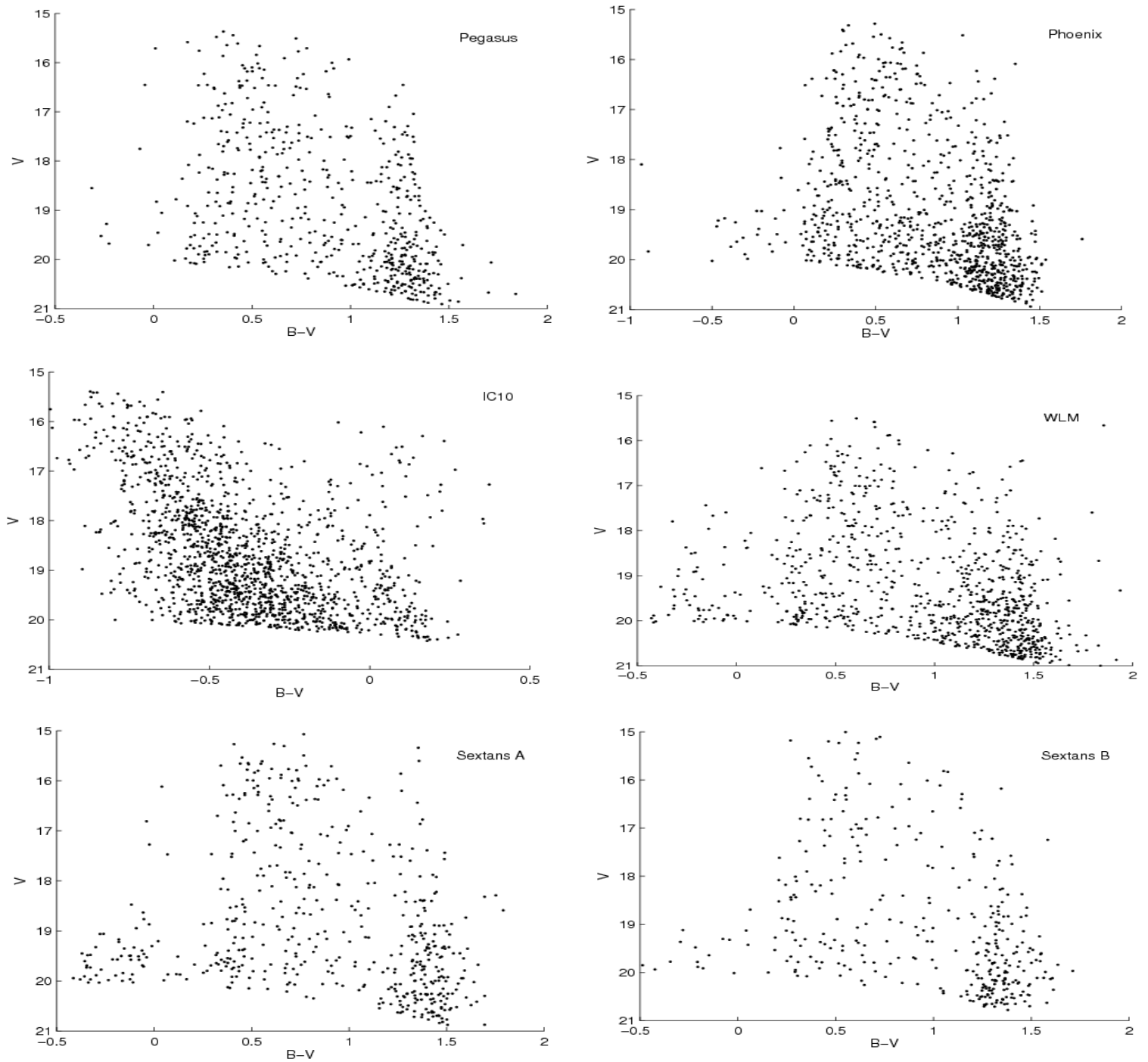


Figure 3.14: CMD's των έξι νάνων γαλαξιών από το LGGS με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από τη Gaia ( $G < 20$ ).

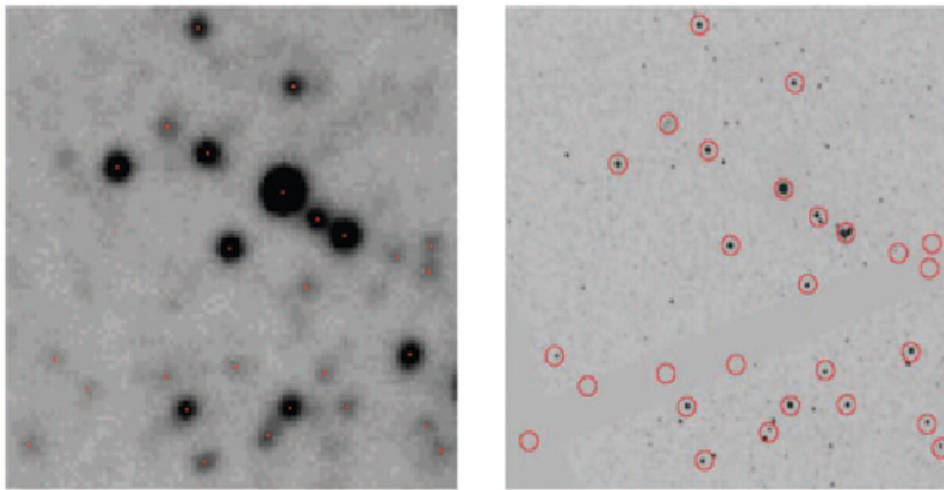


Figure 3.15: Σύγκριση εικόνων από την ίδια περιοχή του M31 (OB58) από το KPNO στα αριστερά και από το HST (WFPC2) στα δεξιά (Massey et al. 2007).

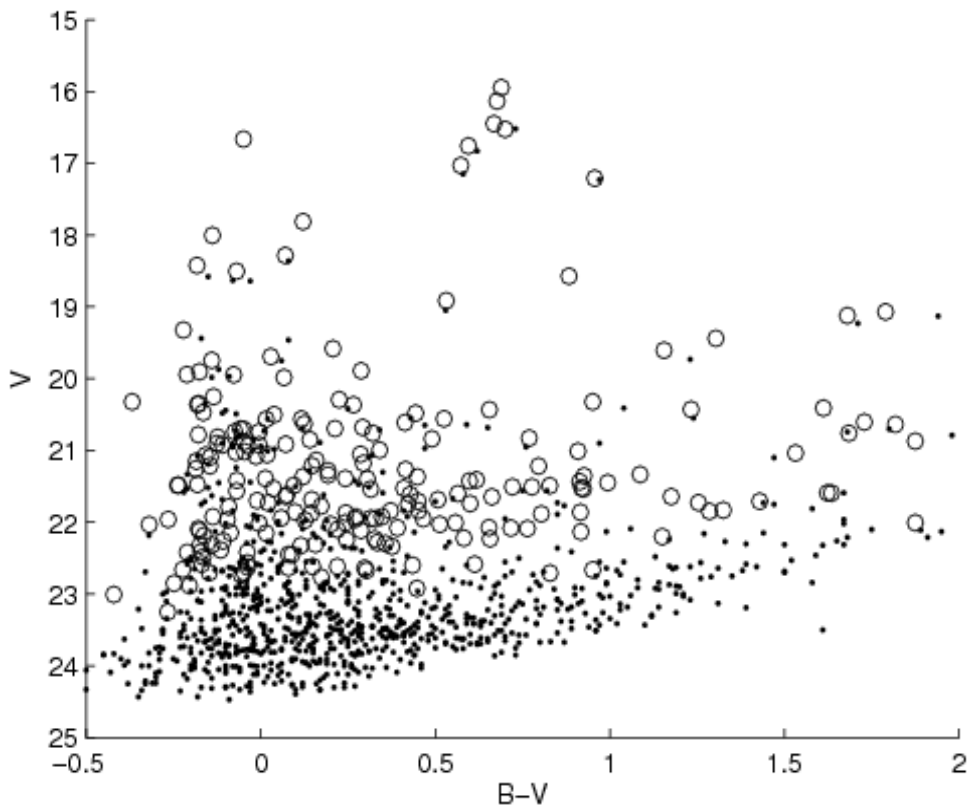


Figure 3.16: CMD της περιοχής 58 του M31 με δεδομένα από το HST/Treasury (τελείες) και το KPNO/LGGS (κύκλοι).

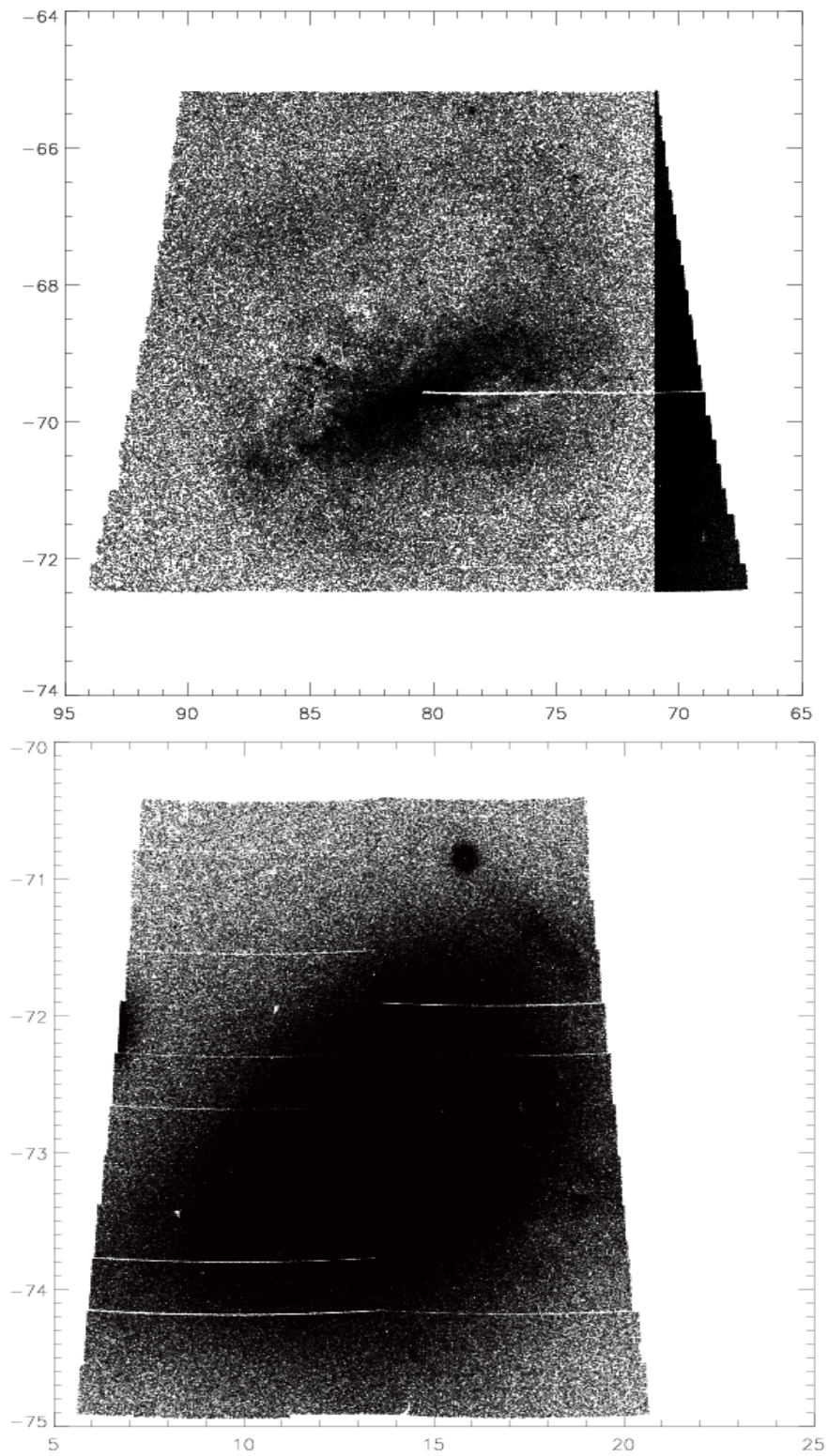


Figure 3.17: Γραφική απεικόνιση των LMC (πάνω) και SMC (κάτω) όπως εκτιμάται πως θα παρατηρήσει η Gaia.

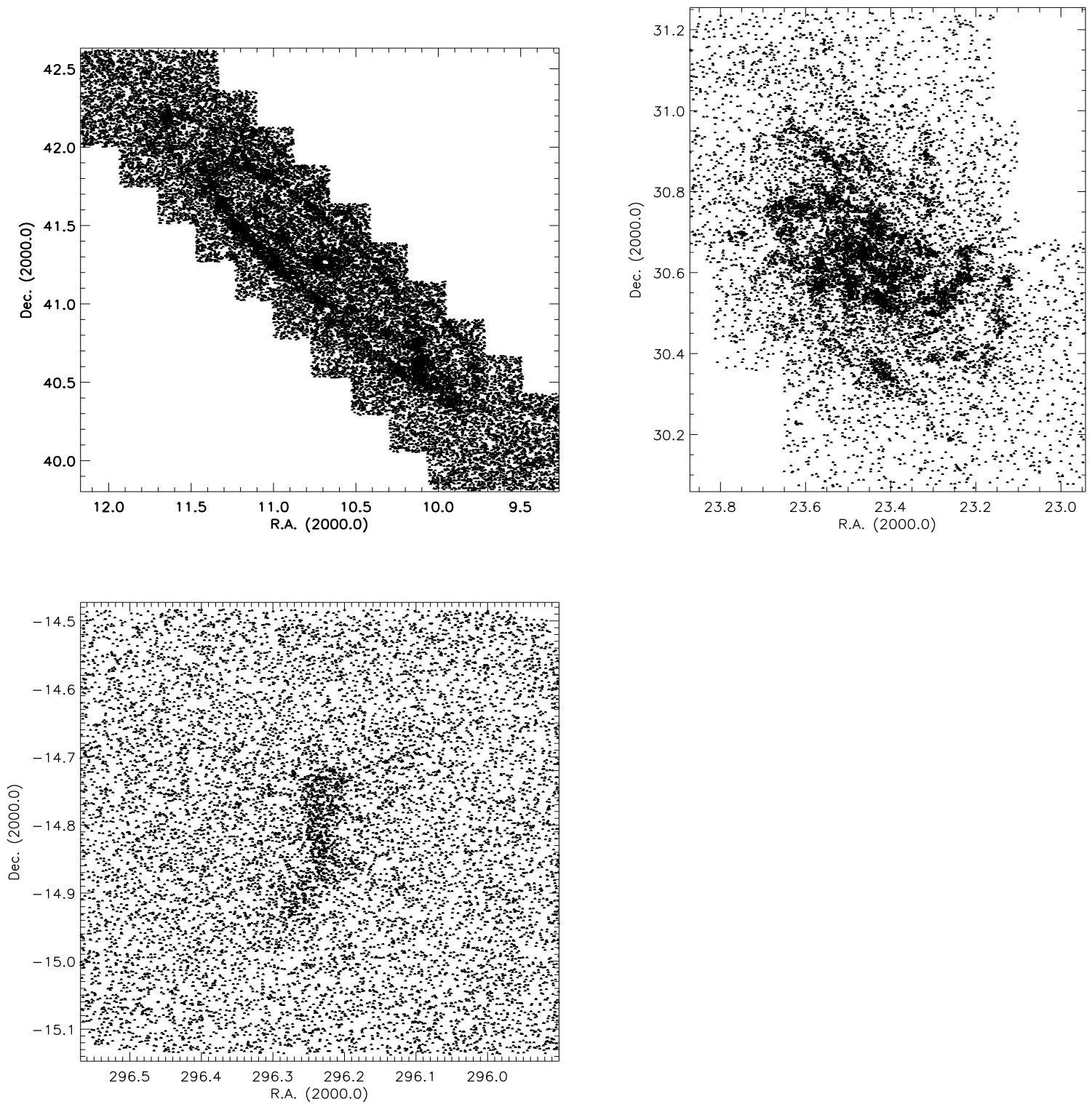


Figure 3.18: Γραφική απεικόνιση των M31, M33 και NGC 6822 όπως εκτιμάται πως θα παρατηρήσει η Gaia.

Περιοχές δημιουργίας αστέρων και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

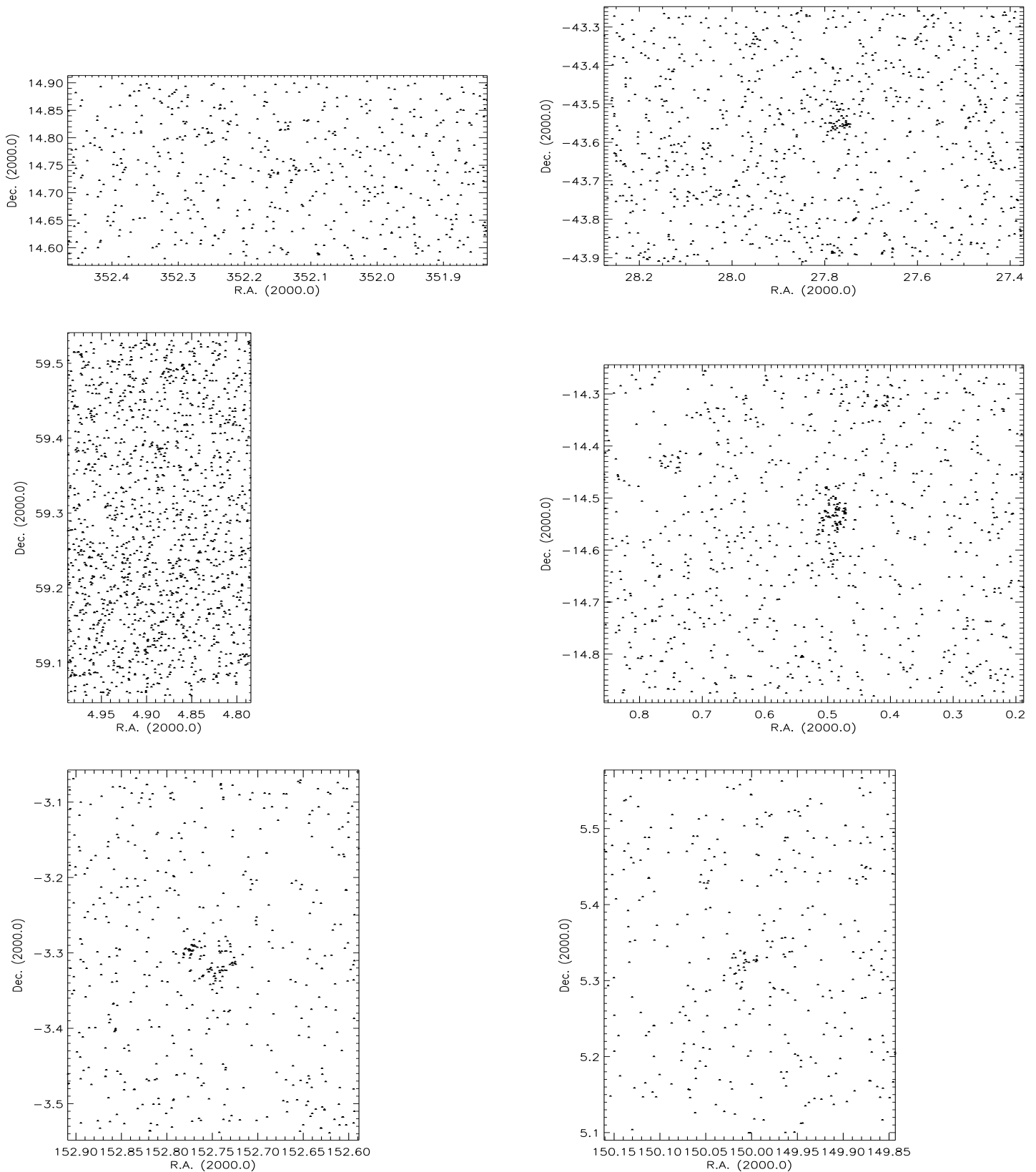


Figure 3.19: Οι έξι νάνοι γαλαξίες από το LGGS με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από τη Gaia ( $G < 20$ ). Επάνω, Pegasus (αριστερά) και Phoenix (Δεξιά). Μέση, IC10 (αριστερά), WLM (δεξιά). Κάτω, Sextans A (αριστερά), Sextans B (δεξιά)

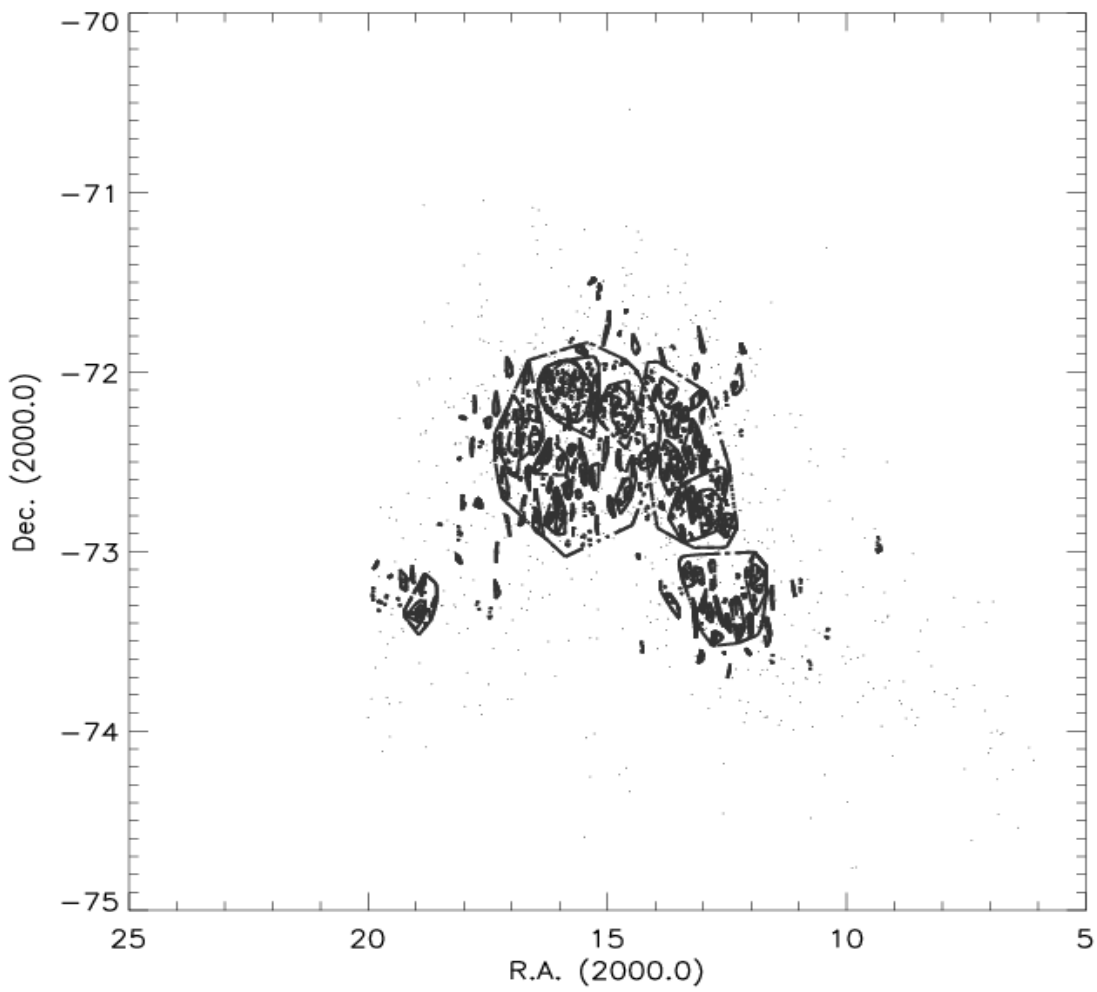


Figure 3.20: Αστρικές δομές στο SMC με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.

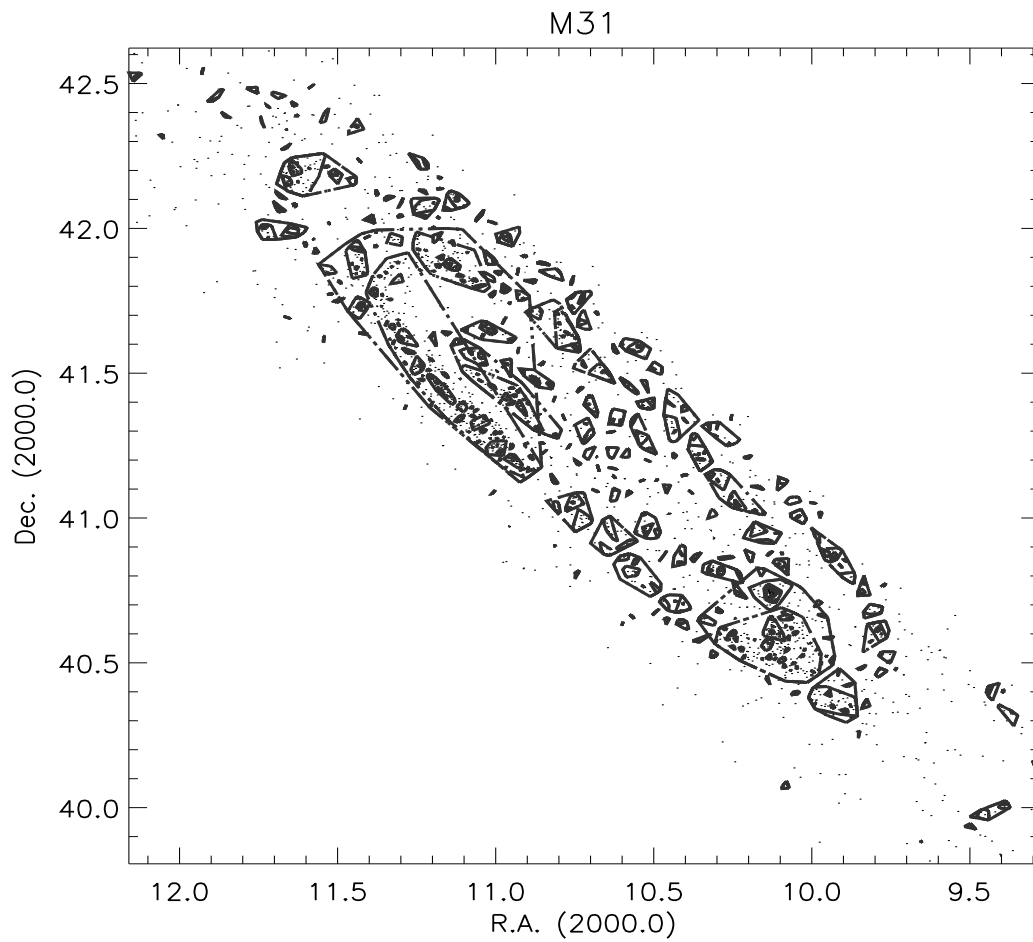


Figure 3.21: Αστρικές δομές στο M31 με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.

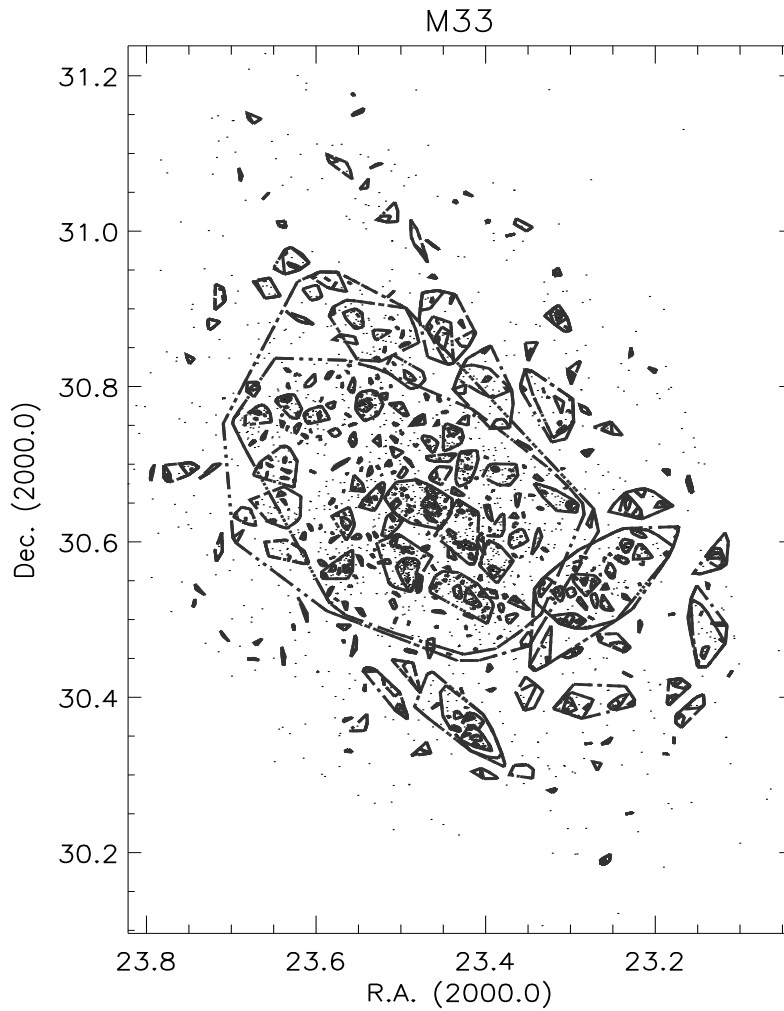


Figure 3.22: Αστρικές δομές στο M33 με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP..



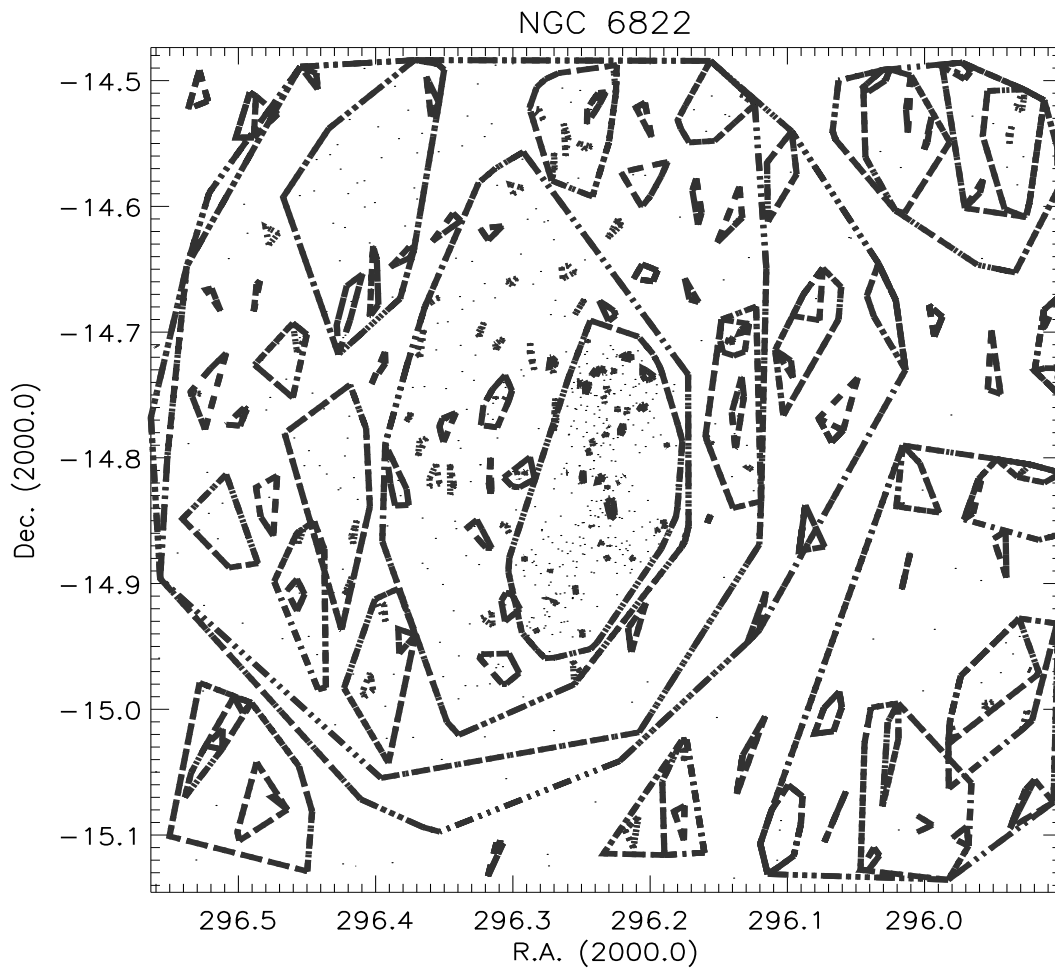


Figure 3.23: Αστρικές δομές στο NGC 6822 με άστρα εντός ορίου παρατήρησης από το BP/RP.

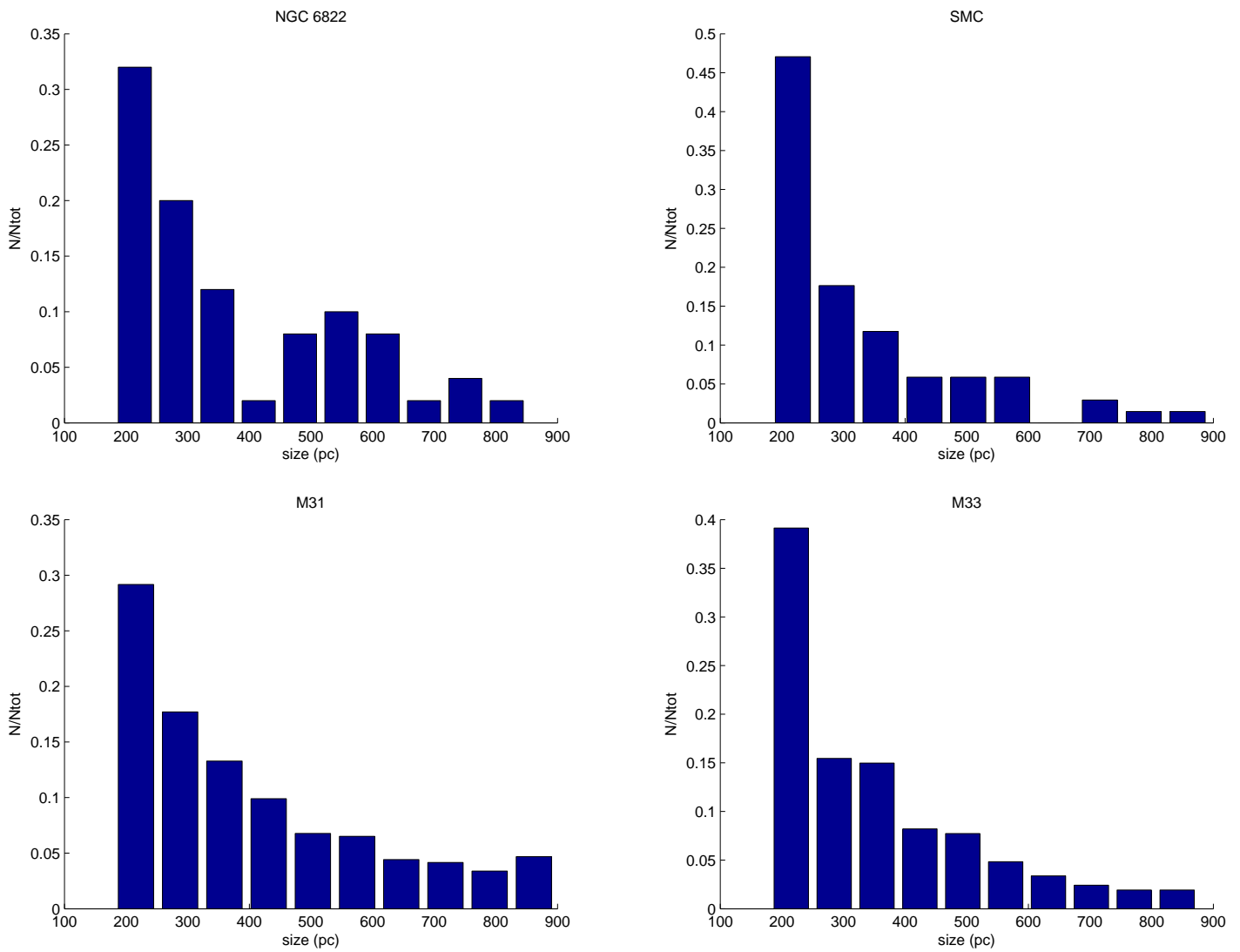


Figure 3.24: Κατανομή διαστάσεων των αστρικών ομάδων από 200 έως 800 pc στους γαλαξίες NGC 6822, SMC, M31 και M33.

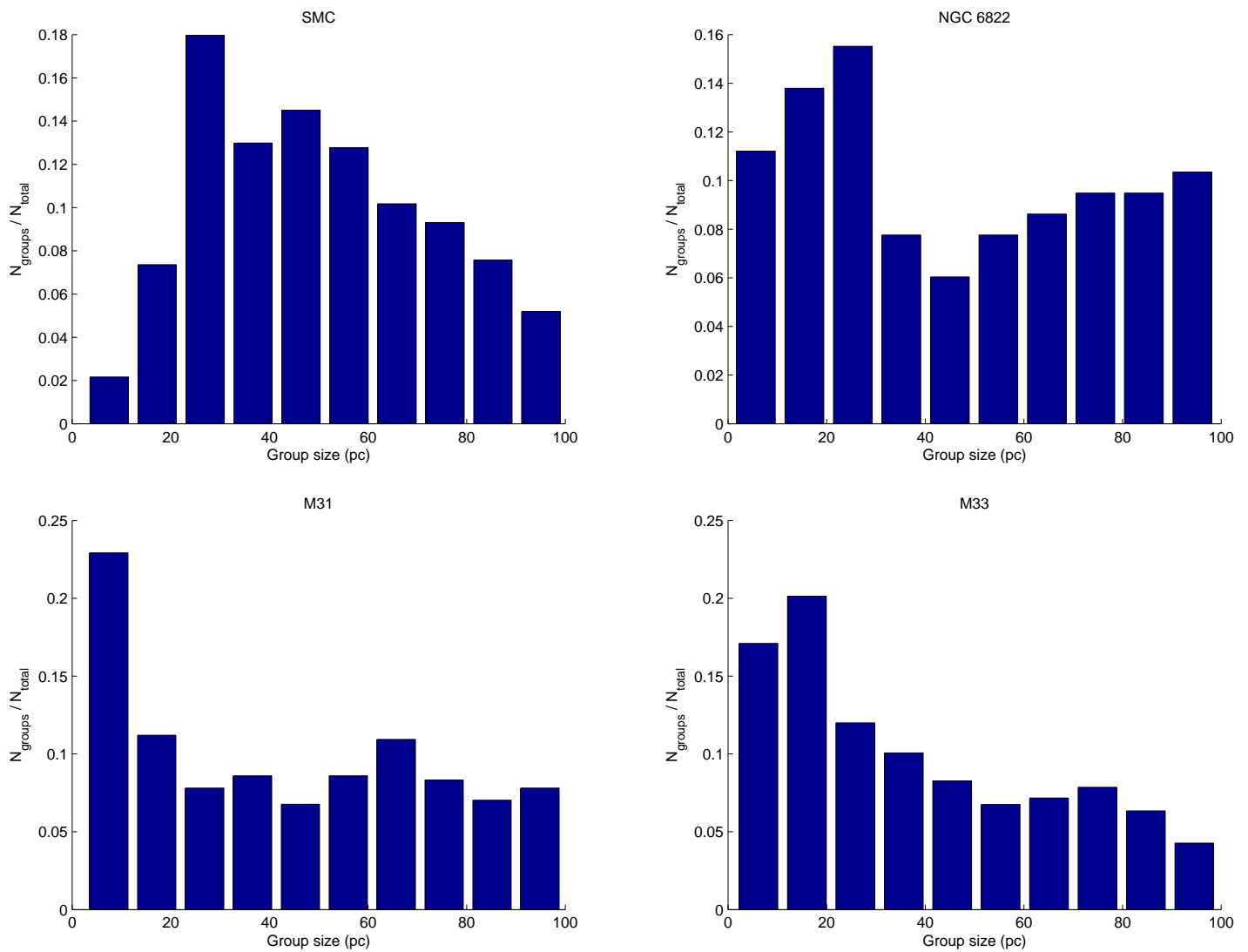


Figure 3.25: Κατανομή διαστάσεων των αστρικών ομάδων έως 100 pc στους γαλαξίες SMC, NGC 6822, M31 και M33.

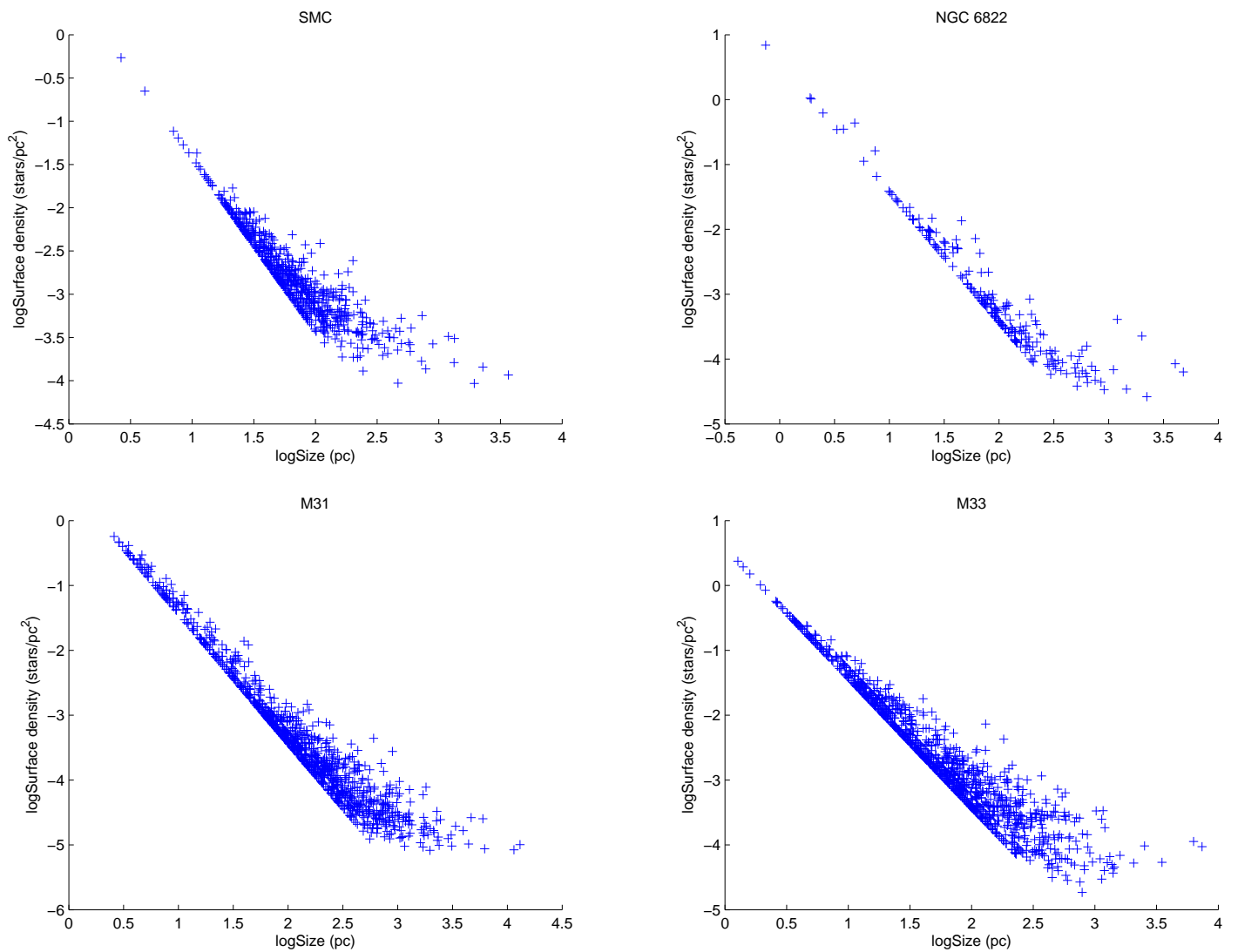


Figure 3.26: Surface density estimated for SMC, NGC 6822, M31 and M33.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διατριβής από τα Κεφάλαια 1, 2 και 3.

### 4.1 Αυτόματη μέθοδος

Στα πλαίσια της διατριβής αναπτύχθηκε μια μέθοδος ανίχνευσης νεαρών αστρικών δομών η οποία χρησιμοποιεί τις ιδιότητες του αλγόριθμου Friends of Friends, ένα ιεραρχικό και διαιρετικό αλγόριθμο για να διαχωρίσει τα αντικείμενα (άστρα) σε κλάσεις (ομάδες). Στη συνέχεια με τα κριτήρια ομοιότητας που χρησιμοποιούνται (απόσταση και μέγεθος ομάδας) κατατάσσει τις κλάσεις σε κατηγορίες όπου τελικά το κάθε αντικείμενο είναι μέλος σε περισσότερες από μια κλάσεις, ιδιότητα των ιεραρχικών και συσσωρευτικών αλγόριθμων.

Η μέθοδος εφαρμόστηκε συνολικά σε δέκα γαλαξίες που βρίσκονται σε ένα εύρος αποστάσεων από μερικές δεκάδες parsec έως μερικά εκατομύρια parsec. Αποτελείται από οκτώ επιμέρους προγράμματα γραμμένα σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB και IDL και βρίσκεται στην 5η έκδοση του συνολικού πακέτου. Έχει την ικανότητα να ανιχνεύει αστρικές δομές οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλο εύρος μεγέθους. Επίσης δοκιμάστηκε η εφαρμογή της μεθόδου σε ανίχνευση αστρικών δομών σε τρεις διαστάσεις, στην ανίχνευση δομών σε αστέρες άνθρακα στο LMC, αναλυτικά στην υπό-ενότητα 1.3.4

## 4.2 Εφαρμογή της μεθόδου

Η μέθοδος εφαρμόστηκε αρχικά σε έξι σπειροειδείς γαλαξίες NGC 925, NGC 2541, NGC 3351, NGC 3621, NGC 4548, NGC 5457, Σχήμα 2.4 με δεδομένα από το HST/WFPC2. Για τη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν άστρα κυρίας ακολουθίας, με ηλικία έως 100 Myr, ενδεικτικά για τον NGC 925 στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται οι θεωρητικές ισόχρονες. Ανιχνεύθηκαν συνολικά περίπου 3500 αστρικές ομάδες και στους έξι γαλαξίες που μελετήθηκαν και δημιουργήθηκαν κατάλογοι για κάθε γαλαξία με στοιχεία για όλες τις ομάδες που ανιχνεύθηκαν. Μετά την ανάλυση των αποτεσμάτων η μέση τιμή του μεγέθους των association σε κάθε γαλαξία προσδιορίστηκε από 62 έως 75 pc. Για τις υπόλοιπες κατηγορίες το εύρος των μέσων τιμών είναι, από 162 έως 175 pc για τα aggregates, από 500 έως 517 pc για τα complexes και για τα supercomplexes από 1200 έως 1600 pc. Αναλυτικά για κάθε γαλαξία του δείγματος, Πίνακας 3.6. Το εύρος των μέσων τιμών είναι παρόμοιο με αναφορές στη βιβλιογραφία για τα μεγέθη αστρικών δομών νεαρής ηλικίας στους συγκεκριμένους έξι γαλαξίες που μελετήθηκαν κι αναφέρονται παραπάνω αλλά και σε γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ενδείξεις ιεραρχικής κατανομής των αστρικών ομάδων, όπου μικρές και πυκνές ομάδες, associations και aggregates, βρίσκονται επικαλυπτόμενες από μεγαλύτερες δομές με μικρή επιφανειακή πυκνότητα όπως complexes και supercomplexes. Στα Σχήματα 2.12, 2.13 και 2.14 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των ομάδων που ανιχνεύθηκαν σε κάθε γαλαξία και στο Σχήμα 2.10 η επιφανειακή πυκνότητα των ομάδων του NGC 925, όπου φαίνεται ότι οι μικρές ομάδες παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιφανειακή πυκνότητα από τις μεγάλες σε μέγεθος ομάδες.

Στη συνέχεια η μέθοδος εφαρμόστηκε σε τέσσερις γαλαξίες του Τοπικού σμήνους (SMC, M31, M33 NGC 6822), με δεδομένα από τρία επίγεια τηλεσκόπια, KPNO, CTIO και Las Campanas. Σκοπός ήταν να συνδυαστεί η μελέτη των περιοχών αστρογέννησης αυτών των γαλαξιών με την προετοιμασία για τη διαστημική αποστολή Gaia. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε άστρα που βρίσκονται εντός του ορίου παρατήρησης του δορυφόρου Gaia ( $G < 20$ ). Σε κάθε γαλαξία έγινε επιλογή άστρων κυρίας ακολουθίας με ηλικία έως 125 Myr (σχήμα 3.12, 3.13, 3.14) όμως ανάλογα με τα δεδομένα και τις ανάγκες της μεθόδου τα κριτήρια επιλογής διέφεραν ως προς το όριο μεγέθους V αλλά και τα V-I και B-V, αναλυτική αναφορά στην ενότητα 3.5.2. Συνολικά ανιχνεύθηκαν περίπου 2300 ομάδες και στους τέσσερις γαλαξίες και δημιουργήθηκαν κατάλογοι για κάθε γαλαξία με στοιχεία για κάθε ομάδα που ανιχνεύτηκε. Το εύρος των μέσων τιμών των ομάδων για κάθε κατηγορία για το δείγμα των τεσσάρων γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας είναι παρόμοιο με το προηγούμενο δείγμα γαλαξιών. Τα associations έχουν εύρος μεγέθους από 60 έως 67 pc, τα aggregates από 160 έως 182 pc, τα complexes 481 έως 537 pc και τέλος τα supercomplexes 1958 έως 2402 pc. Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το γράφημα της μέσης τιμής του μεγέθους κάθε κατηγορίας ανά γαλαξία. Η διαφορά της μέσης τιμής για κάθε κατηγορία εκτός από τα supercomplexes είναι μικρή παρά το μεγάλο εύρος των αποστάσεων (0.059-15.9 Mpc) και των διαφορετικών οργάνων παρατήρησης (HST, KPNO, CTNO, Las Campanas). Στην κατηγορία των Supercomplexes παρατηρείται ο διαχωρισμός σε δύο ομάδες, στους κοντινούς γαλαξίες που βρίσκονται σε απόσταση έως 1 Mpc και στους μακρινούς

γαλαξίες που παρατηρήθηκαν από το HST όπου η απόσταση κυμαίνεται από 6.3 Mpc έως 15.9 Mpc. Μια ενδεχόμενη αιτία του διαχωρισμού είναι ότι η διάσταση του πεδίου παρατήρησης. Στους μακρινούς γαλαξίες στο πεδίο παρατήρησης περιλαμβάνεται ένα σχετικά μικρό κομμάτι του κάθε γαλαξία βάζοντας ένα όριο στο μέγεθος των μεγαλύτερων ομάδων που ανιχνεύονται από τον αλγόριθμο. Οι παρατηρήσεις στους κοντινούς γαλαξίες συμπεριλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του παρατηρούμενου γαλαξία με συνέπεια το μέγεθος των supercomplexes να είναι μεγαλύτερο από των αντίστοιχων ομάδων των μακρινών γαλαξιών. Για να αποφύγουμε τις πολύ μεγάλες τιμές διάστασης για τα supercomplexes στο σχήμα 4.2 χρησιμοποιήσαμε τη διάμεσο (median) των τιμών διάστασης των ομάδων. Σ' αυτό το γράφημα παρατηρούμε ότι δεν διαχωρίζονται οι γαλαξίες σε δύο ομάδες όπως στο σχήμα 4.1. Αυτό είναι μια ένδειξη ότι η το περιορισμένο πεδίο παρατήρησης στους μακρινούς γαλαξίες περιορίζει τις ακραίες τιμές διάστασης των supercomplexes που μπορεί να ανιχνεύσει ο αλγόριθμος.

Μελέτες σε γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας, Efremov (1987), Magnier et al. (1993), Battinelli (1991), Battinelli et al. (1996), Gouliermis et al. (2003), Bastian et al. (2007), Livanou et al. (2007), Karampelas et al. (2009), Gouliermis et al. (2010) αλλά και σε γαλαξίες που βρίσκονται σε μεγαλύτερες απόστάσεις όπως, Bresolin et al. (1996), Bresolin et al. (1998), Drazinos et al. (2013), Gusev et al. (2014), παρουσίασαν ευρήματα αστρικών ομάδων σε περιοχές αστρικής δημιουργίας με ιεραρχική δομή σε διαφορετικά επίπεδα διαστάσεων που φαίνεται να επιβεβαιώνουν την κατάταξη που πρότεινε ο Efremov (1987). Οι περισσότερες αναφορές είναι για associations, aggregates και complexes. Οι αναφορές στις ομάδες που βρίσκονται στα άκρα της κατάταξης δεν είναι πολλές. Οι μικρότερες ομάδες (clusters) είναι στα όρια της χωρικής ανάλυσης των τηλεσκοπίων (3.5.3) και η ανίχνευση των μεγαλύτερων ομάδων εξαρτάται σημαντικά από τη μέθοδο ομαδοποίησης που χρησιμοποιείται σε κάθε μελέτη.

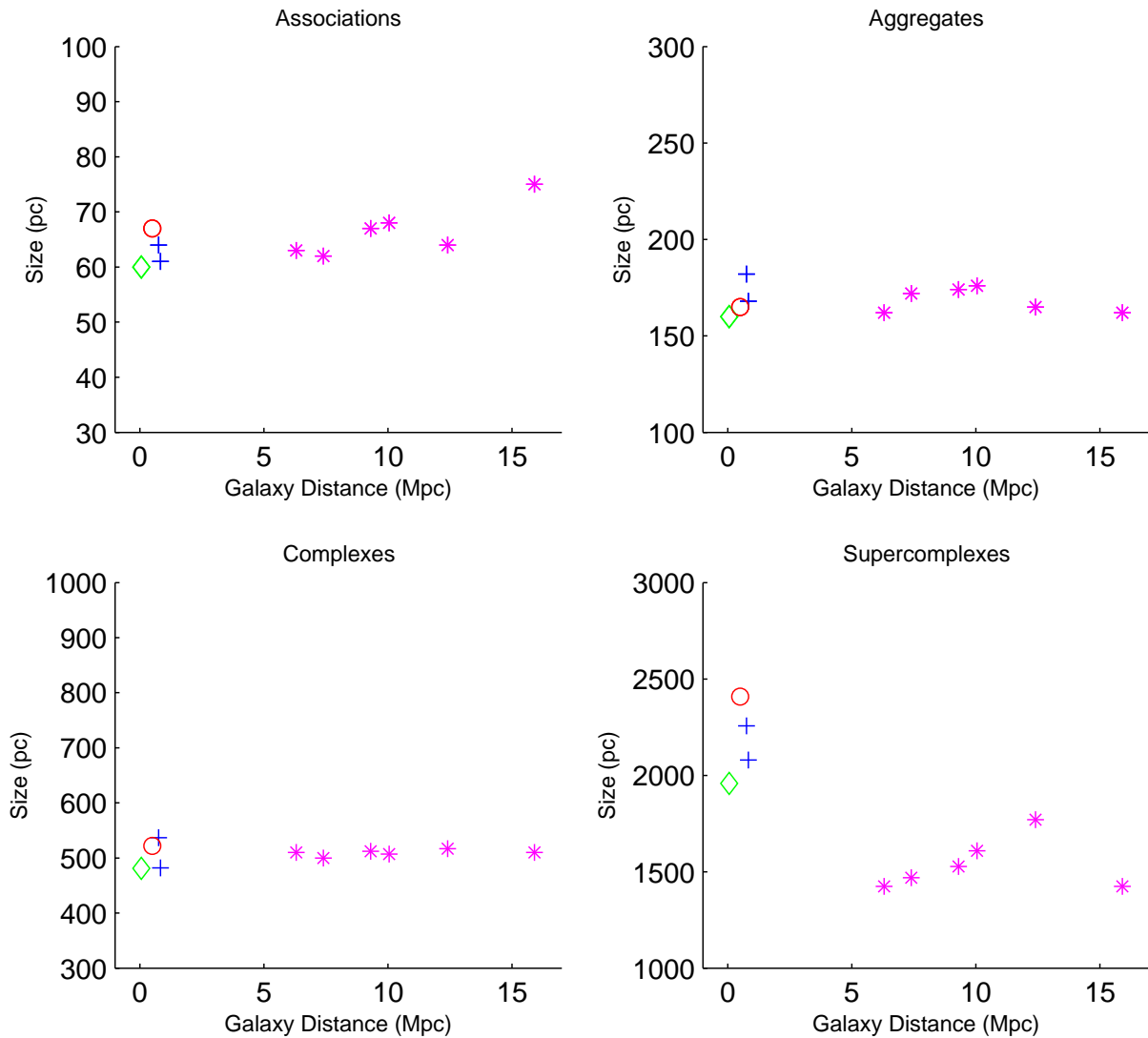


Figure 4.1: Γράφημα της μέσης τιμής διάστασης κάθε κατηγορίας για κάθε γαλαξία (HST (\*, μώβ), KPNO (+, μπλε), CTNO (o, κόκκινο), Las Campanas (◇, πράσινο)).



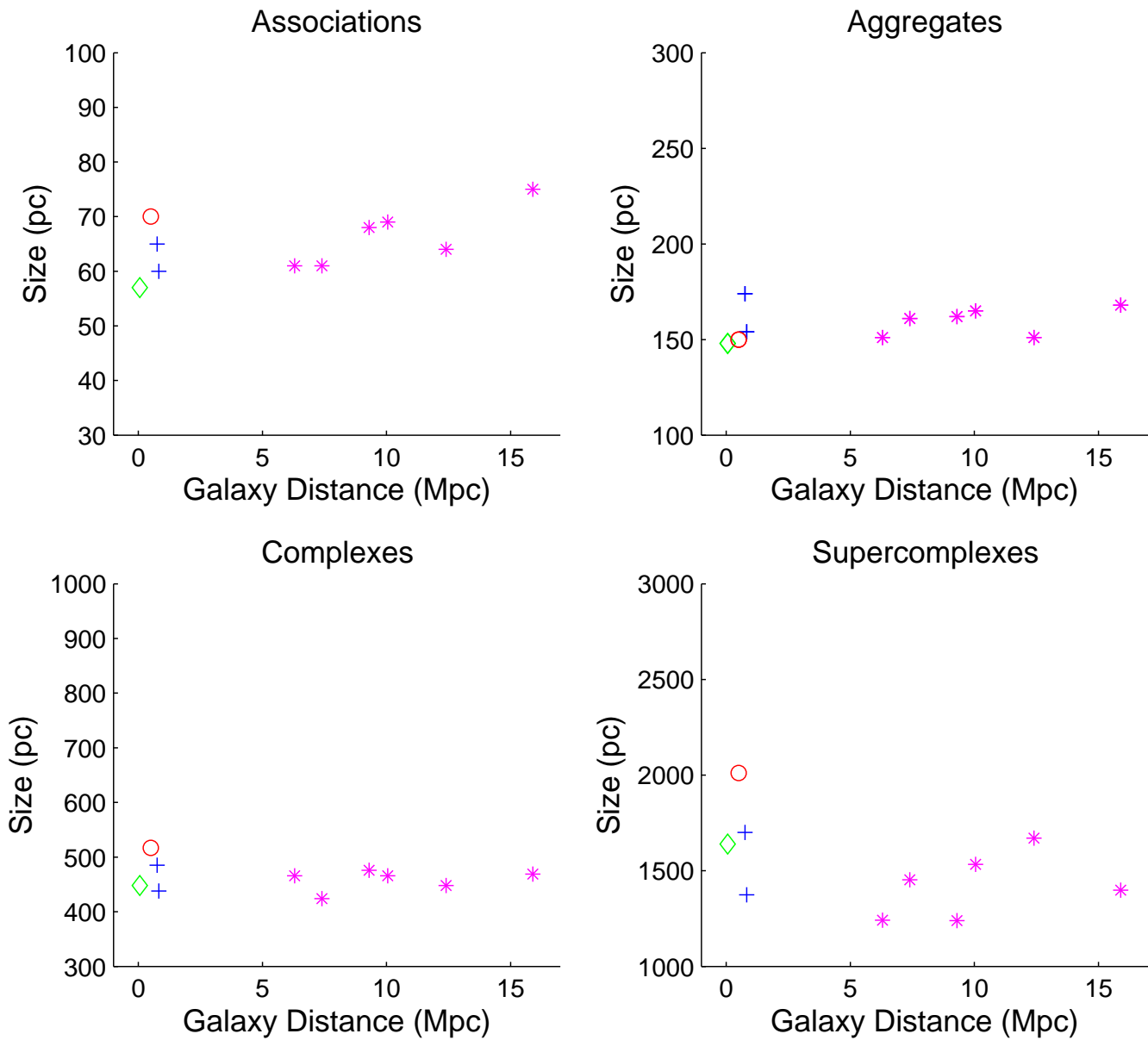


Figure 4.2: Γράφημα της διαμέσου των τιμών διάστασης κάθε κατηγορίας για κάθε γαλαξία (HST (\*, μώβ), KPNO (+, μπλε), CTNO (ο, κόκκινο), Las Campanas (◇, πράσινο)).

### 4.3 Προετοιμασία για την αποστολή Gaia

Σκοπός είναι η εκτίμηση της συνεισφοράς του δορυφόρου Gaia στη μελέτη του αστρικού πληθυσμού των γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων καθώς παρουσιάζουν μεγάλη κάλυψη γαλαξιών όπως τα Νέφη του Μαγγελάνου, τα M31 και M33 αλλά και νάνων γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας. Συνολικά μελετήθηκαν έντεκα γαλαξίες (LMC, SMC, M31, M33, NGC 6822, Pegasus, Sextans A, Sextans B, Phoenix, WLM, IC10) για τους οποίους γίνεται μια εκτίμηση για το πλήθος των άστρων που μπορούν να παρατηρηθούν στα πλαίσια της αποστολής Gaia από το φωτομετρικό όργανο (BP/RP) όσο και από το φασματογράφο ακτινικής ταχύτητας (RVS). Επίσης μελετήθηκε η ενδεχόμενη επίδραση της επιφανειακής πυκνότητας στις μελλοντικές παρατηρήσεις.

Σε κάθε ένα από τους γαλαξίες και για κάθε άστρο από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έγινε μετασχηματισμός του μεγέθους  $V$  στα μεγέθη  $G$  και  $G_{rvs}$  και καταμέτρηση των άστρων που βρίσκονται στα όρια παρατήρησης της Gaia. Ο δορυφόρος Gaia αναμένεται να παρατηρήσει περίπου εννιά εκατομμύρια άστρα στους γαλαξίες της Τοπικού Σμήνους με τα περισσότερα από αυτά να βρίσκονται στα Νέφη του Μαγγελάνου, αναλυτικά οι αριθμοί των άστρων για κάθε γαλαξία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3 και στα Σχήματα, 3.17, 3.18, 3.19 δίνεται η γραφική απεικόνιση των έντεκα γαλαξιών με τον αστρικό πλυθησμό που βρέθηκε εντός του ορίου παρατήρησης από την Gaia. Για κάθε γαλαξία δημιουργήθηκαν αστρικοί κατάλογοι που περιέχουν τα άστρα εντός του ορίου παρατήρησης της Gaia, παραδείγματα καταλόγων για το SMC και τον M31, Πίνακας 3.1 και Πίνακας 3.2 αντίστοιχα. Συνυπολογίζοντας τα όρια πυκνότητας των δύο οργάνων, BP/RP και RVS, εκτιμάται ότι η επιφανειακή πυκνότητα που παρουσιάζει υψηλές τιμές κυρίως στα Νέφη του Μαγγελάνου δεν θα επηρεάσει σημαντικά τις παρατηρήσεις της Gaia όπως φαίνεται και στα Σχήματα 3.8, 3.9, 3.10 και 3.11. Η αποστολή Gaia αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά στη μελέτη των περιοχών αστρικής δημιουργίας στο στους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους καθώς θα παρέχει ένα ομογενές σύνολο δεδομένων με μεγάλη ακρίβεια συνδυάζοντας κινηματικές και αστροφυσικές πληροφορίες για κάθε αντικείμενο. Για τέσσερις γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους όπως αναφέρθηκε παραπάνω εφαρμόστηκε η αυτόματη μέθοδος σε περιοχές αστρικής δημιουργίας και δημιουργήθηκαν αντίστοιχα κατάλογοι των ομάδων που ανιχνεύτηκαν, Πίνακας 3.5.

#### 4.4 Μελλοντικά Σχέδια

Τα μελλοντικά σχέδια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στην εξέλιξη/βελτίωση της αυτόματης μεθόδου και στη μελέτη νέων γαλαξιών. Για την πρώτη κατηγορία βασικός στόχος είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη εξωτερική παρέμβαση στον αλγόριθμο. Η επιλογή των τιμών  $D_s$ , των ομάδων αλλά και της ταξινόμησης τους να γίνεται αυτόματα. Ένα από τα μελλοντικά σχέδια είναι η χρήση κι άλλων στατιστικών μεθόδων, όπως η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis - PCA), η μέθοδος kmeans ή Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks - NN) σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο FoF. Ο συνδυασμός των στατιστικών μεθόδων είναι πιθανό να οδηγήσει στην αυτόματη επιλογή των αρχικών συνθηκών που τίθενται στη μέθοδο όπως η απόσταση μεταξύ των άστρων ( $D_s$ ), ο αριθμός των κατηγοριών αλλά και το είδος τους (association, aggregates κλπ). Σκοπός είναι η ανάλυση της καμπύλης που χρησιμοποιείται για την επιλογή του  $D_s$  σε συνιστώσες οι οποίες είναι ανάλογες με τις κατηγορίες ταξινόμησης (όπως στο σχήμα 2.1), έτσι σε κάθε γαλαξία ο αριθμός των συνιστωσών/κατηγοριών δεν θα είναι απαραίτητα ίδιος. Μια τέτοια μέθοδος θα είναι πλήρως αυτόματη και θα βασίζεται αποκλειστικά σε στατιστικές μεθόδους κι όχι σε εμπειρικά δεδομένα. Κατά συνέπεια θα έχει ενδιαφέρον η σύγκριση των συνιστωσών/κατηγοριών που θα προκύψουν από μια τέτοια μέθοδο με τις αντίστοιχες κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη διατριβή.

Για τη δεύτερη κατηγορία βασικός στόχος είναι η μελέτη του LMC καθώς όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3 αναμένεται να παρατηρήσει η Gaia περισσότερα από επτά εκατομμύρια άστρα στο συγκεκριμένο γαλαξία. Επίσης στα μελλοντικά σχέδια είναι η μελέτη περιοχών αστρικής δημιουργίας και σε άλλους γαλαξίες του Τοπικού Σμήνους είτε στα πλαίσια της προετοιμασίας για την αποστολή Gaia είτε όχι (χωρίς τον περιορισμό  $G < 20$ ) εάν το σύνολο των δεδομένων δεν είναι στατιστικά επαρκές.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB ΚΑΙ IDL

### I ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο Παράρτημα παρουσιάζονται δώδεκα προγράμματα τα οποία αναπτύχθηκαν για το σκοπό της διατριβής. Η πλειοψηφία των προγραμμάτων που παρουσιάζονται στο παράρτημα χρησιμοποιούνται από την αυτόματη μέθοδο για την ανίχνευση αστρικών ομάδων όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 1, ενότητα 1.2.2. Τα υπόλοιπα προγράμματα χρησιμοποιούνται είτε για την επιλογή ενός υποσυνόλου των αρχικών δεδομένων τα οποία θα επεξεργαστεί η αυτόματη μέθοδος είτε για τη μελέτη γαλαξιών της Τοπικής Ομάδας κατά την προετοιμασία για την αποστολή Gaia (Κεφάλαιο 3). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα προγράμματα αυτά τροποποιούνται για κάθε γαλαξία, είτε για την αρχική επιλογή των δεδομένων είτε κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου friends of friends.

Αναλυτικά τα προγράμματα είναι :

- Εισαγωγή κι επιλογή δεδομένων. Διαχείριση των δεδομένων από το HST ή από επίγεια τηλεσκόπια και μετατροπή τους σε κατάλληλη μορφή (format) για την εισαγωγή στο περιβάλλον της αυτόματης μεθόδου. Επιλογή του υποσυνόλου των αρχικών δεδομένων ανάλογα με τα κριτήρια επιλογής, εκτίμηση ηλικίας από θεωρητικές ισόχρονες, επιλογή ορίου V-I ή B-V κ.α. Δημιουργία καταλόγου με νεαρά άστρα.
- Υπολογισμός αποστάσεων. Υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των άστρων του καταλόγου από το προηγούμενο πρόγραμμα. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε αρχείο το οποίο καλείται στη συνέχεια από τον αλγόριθμο. Η ύπαρξη ξεχωριστού προγράμματος για τον υπολογισμό των ταχυτήτων επιτάχυνε σημαντικά την συνολική εκτέλεση της αυτόματης μεθόδου.
- Αλγόριθμος friends of friends. Η βάση της αυτόματης μεθόδου, χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων προγραμμάτων. Η αρχική επιλογή του πλήθους των διακριτών βημάτων του κριτηρίου επιλογής του αλγόριθμου (η απόσταση μεταξύ των άστρων) ορίζει και τον αριθμό των συνεχών εκτελέσεων του συγκεκριμένου προγράμματος. Για τους γαλαξίες από το HST το πλήθος των βημάτων είναι 200, η απόσταση μεταξύ των άστρων που θεωρούνται ότι ανήκουν στην ίδια ομάδα αρχικά ορίζεται ως 1 pc και σε κάθε εκτέλεση αυξάνεται κατά 1 pc μέχρι το όριο των 200 pc.

Μετά την εκτέλεση του επόμενου προγράμματος μια παραλλαγή του αλγόριθμου εκτελείται ξανά για τις πέντε συγκεκριμένες τιμές της απόστασης για τις οποίες έχουμε το μέγιστο αριθμό ομάδων κάθε κατηγορίας ώστε να δημιουργηθούν αναλυτικά αρχεία και κατάλογοι των ομάδων για τις συγκεκριμένες τιμές της απόστασης για να μειωθεί ο όγκος των παραγόμενων αρχείων κατά συνέπεια και η χρήση

αποθηκευτικού χώρου αλλά και μνήμης από το εκτελούμενο πρόγραμμα μειώνοντας επίσης και το συνολικό χρόνο εκτέλεσης.

- Ανάλυση αρχικών αποτελεσμάτων από τον αλγόριθμο. Το πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των πέντε τιμών του κριτηρίου επιλογής, μια τιμή για κάθε κατηγορία μεγέθους. Το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται και πάλι στον αλγόριθμο friends of friends.
- Δημιουργία καταλόγων. Τα προγράμματα πέντε έως επτά χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των τελικών καταλόγων από τα αποτελέσματα του friends of friends. Το πρόγραμμα πέντε δημιουργεί κατάλογο για κάθε τιμή της απόστασης, συνολικά πέντε καταλόγους. Το πρόγραμμα έξι συγχωνεύει τους καταλόγους και δημιουργεί ένα κατάλογο για κάθε γαλαξία και το πρόγραμμα ελέγχει και αφαιρεί τυχόν πολλαπλές εισόδους στον τελικό κατάλογο από ομάδες που ανιχνεύθηκαν σε περισσότερες από μια τιμές απόστασης.
- Προετοιμασία των αποτελεσμάτων για εικονοποίηση. Ένα μικρό πρόγραμμα που προετοιμάζει τους τελικούς καταλόγους για χρήση από το πρόγραμμα εικονοποίησης που είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού IDL.
- Εικονοποίηση (IDL). Το πρόγραμμα εικονοποίησης το οποίο δέχεται τον κατάλογο ομάδων κάθε γαλαξία και χαρτογραφεί τα άστρα του αρχικού υποσυνόλου από το πρόγραμμα ένα και προσθέτει περίγραμμα σε όλες τις ομάδες που ανιχνεύθηκαν από τον αλγόριθμο.
- Θεωρητικές ισόχρονες για αρχική επιλογή δεδομένων. Το πρόγραμμα εισάγει τα δεδομένα από τα τηλεσκόπια μετά την επεξεργασία τους από το πρόγραμμα ένα και υπολογίζει τις θεωρητικές ισόχρονες με βάση θεωρητικά μοντέλα που παρέχονται από Marigo et al. 2008.
- Μετασχηματισμός  $V$  to  $G$ . Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για το μετασχηματισμό του μεγέθους  $V$  σε  $G$  και  $G_{rvs}$  όπως δίνεται από Jordi et al. 2010, Πίνακας 3. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει η εκτίμηση του αριθμού των άστρων που θα παρατηρήσει ο δορυφόρος Gaia σε έντεκα από τους γαλαξίες της Τοπικής Ομάδας.
- Crowding. Το πρόγραμμα υπολογίζει την επιφανειακή πυκνότητα στα νέφη του Μαγγελάνου. Διαιρεί την επιφάνεια κάθε γαλαξία σε τμήματα ίσα με το CCD της Gaia και υπολογίζει τον αριθμό των άστρων σε κάθε τμήμα. Στη συνέχεια δίνει το αποτέλεσμα σε γράφημα με χρωματικό κώδικα. Επίσης δημιουργεί γράφημα για κάθε γαλαξία με το πλήθος των τμημάτων σε σχέση με την τιμή της επιφανειακής πυκνότητας και το όριο της τιμής αυτής για κάθε όργανο του δορυφόρου.
- Open Clusters - 3D Ένα σύνολο προγραμμάτων που εισάγουν δεδομένα για ανοιχτά σμήνη στο Γαλαξία, επιλέγουν τα κατάλληλα δεδομένα για τον αλγόριθμο, ομαδοποιούν τα δεδομένα (σε τρεις διαστάσεις) και παράγουν τις εικόνες των ομάδων σε τρεις διαστάσεις.

- Carbon Stars in LMC Προγράμματα όπως τα παραπάνω τα οποία κάνουν τις αντίστοιχες λειτουργίες για αστέρες άνθρακα στο LMC σε δύο διαστάσεις.

## II ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

```
tic
clear
format long e

dm=29.82;
v=dm-4.76;
ext=0.17;
%% This is the original txt file and the individual columns and transformed
%% in Ngc925 file ignoring the Index data
[Index,X,Y,V,Ve,I,Ie,VI,VJe]=textread('925_radec.txt','%d%f%f%f%f%f%f%f%f');
svsi=[median(Ve) median(Ie)]
break
%Mv=V-dm;
VIc=(VI-VJe)-ext;
Vc=(V-Ve);

Ngc=[X,Y,Vc,Ve,I,Ie,VIc,VI,VJe,Index];
F555W=[min(Ve) max(Ve)]
F814W=[min(Ie) max(Ie)]

%RA=[min(X) max(X)]
%DEC=[min(Y) max(Y)]
%break

%% Besancon Model
[Dist Mv1 CL Typ LTef logg Age Mass BV1 UB VI1 VK V1 FeH l b av Mbol]=
textread('Besancon 925 stars.txt','%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f');
%minVI1=min(VI1);
%nb=0;
%Ngc925=[X,Y,V,Ve,I,Ie,VI,VJe];
%for i=1:length(VI1);
%    if (VI1(i,1)<=0.23) %&& (Ngc(i,3)<=24);
%        nb=nb+1;
%    end
%end
%nb

%hold all
%scatter(VIc,Vc, '.', 'k')
%scatter(VI1,V1, '.', 'r')
%set(gca, 'YDir', 'reverse')
```



```
%break

%% We must impose certain colour and magnitude limits in order to search in
%% the catalogue.
%% The default limits in the paper are : (V-I)<0.23 and Mv <= -4.76
%% The distance modulus is reported in the HST Key project related paper
%% as 29.82 and the distance from bresolin as 9.3 Mpc
%% Since Mv=V-dm
%% -4.76=V-dm => V = dm - 4.76 = 29.82 - 4.76 => V = 25.06.
%% So translating the limits in our data we must search for (VI-VIe)<0.23
%% and V <= 25.08

%% Perform a search using the above defined criteria

n=0;
%Ngc925=[X,Y,V,Ve,I,Ie,VI,VIe];
for i=1:length(Ngc);
    if (Ngc(i,7)<0.23) %&& (Ngc(i,3)<=24);
        n=n+1;
        Ngc925(n,1:10)=Ngc(i,1:10);
    end
end

n

Mv=Ngc925(:,3)-dm;
MaxMv=min(Mv);
MinMv=max(Mv);
Mv925=[MinMv MaxMv]
break

%break
strs=n;
In(1:strs,1)=1:strs;
Mx(1:strs,1)=Ngc925(1:strs,1);
My(1:strs,1)=Ngc925(1:strs,2);
Mi(1:strs,1)=Ngc925(1:strs,9);
StI(1:strs,1)=0;
Ch(1:strs,1)=0;
Matrix925=[Mx My In StI Ch];
%% centre coords
%cx=sum(Mx)/length(Mx);
```

```
%cy=sum(My)/length(My);

%Edge(1,1)=max(Mx)
%Edge(2,1)=max(My)
%Edge(1,2)=min(Mx)
%Edge(2,2)=min(My)

%Midx=((Edge(1,1)-Edge(1,2))/2)+Edge(1,2)
%Midy=((Edge(2,1)-Edge(2,2))/2)+Edge(2,2)
%Mid(1,1)=Midx;
%Mid(2,1)=Midy;

hold all

scatter(VIc,Vc-dm,'.','k')
%scatter(VI1,V1-dm,'.','b')
%scatter(VI2,V2-dm,'.','r')
%scatter(VI040,V040-dm,'.','b')
%scatter(VI0148,V0148-dm,'.','r')
%scatter(Ngc925(:,7),Ngc925(:,3)-dm,'b')
scatter(Ngc925(:,7),Ngc925(:,3)-dm,'.','b')
%scatter(VI1,Mv1,'.','r')
set(gca,'YDir','reverse')
%plot(0.23,Vc-dm,'r')
%plot(VIc,-4.76,'r')

xlim([-1 3])
%ylim([-6 -1.5])

%scatter(Mid(1,1),Mid(2,1),'*')
%plotmatrix(Mid(:,1))
%hold all
%scatter(X,Y)
%scatter(Ngc(:,1),Ngc(:,2),'k')
%scatter(Ngc925(:,1),Ngc925(:,2),'b')
%plot(cx,cy,'r*')
%dlmwrite('Ngc925ef.dat',Ngc925,'precision','%f')
%dlmwrite('Matrix925ef.dat',Matrix925,'precision','%f')
toc
```

### III ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ

```
tic
clear
%% This script will calculate the distances of all stars after the first
%% search.

Ngc925=dlmread('Ngc925g1.dat');
Matrix925=dlmread('Ngc925g1.dat');
strs=length(Ngc925);
Mx(1:strs,1)=Ngc925(1:strs,1);
My(1:strs,1)=Ngc925(1:strs,2);
%Mi(1:strs,1)=Ngc925(1:strs,9);
StI(1:strs,1)=0;
Ch(1:strs,1)=0;
rad=pi/180;
Sam=[Mx*rad My*rad];
R=9.3*10^6;
%% 2
%% we need to find min and max ds
%% we run a small script to identify distances between all stars in the random sample
%% Distance formula : d = R*dphi
%%          1. sqrt of x's and y's
%%          2. arccos formula
%% We've used the 2nd formula and at the end we are given the Max and Min
%% values
Ds=zeros(strs,strs);
for i=1:strs;
    for j=(i+1):strs;
%Ds(i,j)=sqrt((Mx(i)-Mx(j))^2+(My(i)-My(j))^2);
Ds(i,j)=R*acos(sin(Sam(i,1))*sin(Sam(j,1))+cos(Sam(i,1))
*cos(Sam(j,1))*cos(Sam(i,2)-Sam(j,2)));
Ds(j,i)=Ds(i,j);
    end
end
%dlmwrite('dist_925.dat',Ds,'precision','%f');
toc
```

#### IV ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ FOF

```
tic

clear
format long e

Ngc925=dlmread('Ngc925.dat');
Matrix=dlmread('Matrix925.dat');

Values(200,6)=zeros;
sd2=0;
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2);

dlmwrite('values925n.dat',Values);
Values0B(200,7)=zeros;
dlmwrite('925Values0Bn.dat',Values0B);
GroupSize(200,250)=zeros;
dlmwrite('925GroupSizen.dat',GroupSize);

%% 1    0    0
%% 2    0    0
%% 3   63  221 b
%% 4   82  129 y
%% 5   84   86 g
%% 6  104   62 r
%% 7  104   52 m
%% 8    0    0
%% 9    0    0
%% 10   0    0
%% 11   0    0

%L=dlmread('925IndexList.dat');
%a=length(L);
%for in=6:8

for dsr1=0.001:0.001:0.2; %% 20c 40m 63 b, 84 y, 104 g, 255 r 190 k
%%
%% 1 LOADING OF DATA FILES
%% the files read below have been prepared by other relative to each
%% process scripts.
```

```
%% Bresolin criteria
Ngc925=dlmread('Ngc925.dat');
Matrix=dlmread('Matrix925.dat');
Ds=dlmread('dist_925.dat');
%% for bright stars (mikrh feta)
%Ngc925=dlmread('Ngc925.dat');
%Matrix=dlmread('Matrix925.dat');
%Ds=dlmread('dist_925.dat');
GroupSize=dlmread('925GroupSizen.dat');
Values0B=dlmread('925Values0Bn.dat');
Values=dlmread('values925n.dat');
%Index=dlmread('925Index.dat');
%RE=dlmread('results_925bs_n5DsC.dat');
sd2=dlmread('res_sd2.dat');
%D=dlmread('Depthn5bs.dat');
%Values=dlmread('values925n.dat');
strs=length(Ngc925);
Nmin=3;
%L=dlmread('925IndexList.dat');
%dsr=L(in,1);
dsr=dsr1*(10^3);
depth=4;
%% 2 PREPARATION OF GLOBAL VARIABLES AND DATA MATRICES

Ras=Ngc925(1:strs,1);
Decs=Ngc925(1:strs,2);

L(strs,strs)=zeros;
L1(strs,strs)=zeros;

%% the commands below are used in order to identify the region where the
%% ngc925 group members lie within and print the min and max values of RA and Dec

m=0;
k=0;
n=0;
asi=0;
r=0;
s=0;
v=0;
asp=0;
EL1=0;
h=0;
z=0;
```

```
u=0;
t=0;

%% outer loop. friends of star i
%% friends of i are recognised and stored into a matrix L1.
for i=1:strs
    f=0;
    n=0;
    m=0;
    f=0;
    if Matrix(i,5)==0;
        %Mi=Matrix(i,5);
        for j=1:strs;
            if (j~=i) && (Ds(i,j)<=dsr) && (Matrix(j,5)==0);
                Dj=Ds(i,j);
                %Mj=Matrix(j,5);
                m=m+1;
                L(i,1)=i;
                L(i,m+1) = j;
            end
        end
        f=m+1 ;
    end

%% if friends of i are more than Nmin
%% then we proceed to the next loop, the 1st inner loop
%% else the i star and its friends are returned in the Matrix
    if f>=Nmin;

        asi=asi+1;

        L1(asi,1:f)=L(i,1:f);
        Matrix(L(i,1:f),5)=1;
        Matrix(L(i,1:f),4)=asi;

%% inner loop_1, friends of friends of i
%% here the firends of i are going through the fof process as i and their
%% friends are also stored in L1 in the same line designating the
%% association index number
        for p=2:f;
            if Matrix(L1(asi,p),4)==asi;
                for q=1:strs;
                    if Matrix(q,5)==0;
```

```
    if (q~=L1(asi,p));
    if q~=L1(1:asi,1:f);
    if Ds(L1(asi,p),q)<=dsr;
    %EL1=L1(asi,p);
    %q;
    n=n+1;
    L1(asi,f+n)= q;
    %Matrix(L1(asi,p),5)=1
    Matrix(q,5)=1;
    %Matrix(L1(asi,p),4)=asi;
    Matrix(q,4)=asi;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    n ;

%% inner loop_2, friends of friends of inner loop_1
%% second inner loop where the 2nd order of i star friends are going into
%% fof script
for h=1:n;
    if Matrix(L1(asi,f+h),4)==asi;
    for z=1:strs;
    if Matrix(z,5)==0;
    if (z~=L1(asi,f+h));
    if z~=L1(1:asi,1:f+n);
    if Ds(L1(asi,f+h),z)<=dsr;
    % h;
    % z;
    t=t+1;
    L1(asi,f+n+t)= z;
    Matrix(z,5)=1;
    Matrix(z,4)=asi;
    end
    end
    end
    end
    end
    end
    end
```

```

%% inner loop_3, friends of friends of inner loop_2
%% here the 3rd order of i star friends (i.e. the friends of 2nd order)
%% through fof
for v=1:t;
    if Matrix(L1(asi,f+n+v),4)==asi;
        for r=1:strs;
            if r~=L1(1:asi,1:f+n+t);
                if Matrix(r,5)==0;
                    if Ds(L1(asi,f+n+v),r)<=dsr;
                        u=u+1;
                        L1(asi,f+n+t+u)=r;
                        Matrix(r,5)=1;
                        Matrix(r,4)=asi;
                    end
                    %%members=f+n+t+u
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end

%% this is the end of the main fof process

%% the matrix members is used to keep information for the total number of
%% members for each asi (it has to be updated after the corrections
%% process!!!)
    Members(asi,1)=f+n+t+u;
    Matrix;
        t=0;
        z=0;
        v=0;
        f=0;
        n=0;
        m=0;
        n=0;
        u=0;

%% the asp var is used in order to keep the asi number stored in case f<Nmin, so in the
%% next iteration where f>Nmin the correct value will be used
    asp=asi;

elseif f<Nmin;
    asi=asp;
    m=0;
    v=0;

```



```
        f=0;
        n=0;
    end
end

%% small loop to identify isolated stars
iso=0;
for i=1:strs;
    if Matrix(i,5)==0;
        iso=iso+1;
        I(iso,1)=Matrix(i,3);
    end
end

%% count of asi's population and if asi=0 the appropriate message is
%% printed and the process stops
stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;
P(1:asi,1:2)=zeros;
P1(1:asi,1:strs)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            P1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end
    P(i,1)=i;
    P(i,2)=population;
    %stars=population;
    population=0;
    stars=popu;
end

if asi>0;
    P;
    stars;
    isolated=strs-stars;
    %[dsr Nmin asi];
```

```
elseif asi==0;
    sprintf('%s','There are no valid associations for the selected ds');
    [dsr Nmin 0];
    sd2=sd2+1;
    RE(sd2,1)=dsr;
    RE(sd2,2)=Nmin;
    RE(sd2,3)=asi;
    RE(sd2,4)=0;
    RE(sd2,5)=0;
    %dlmwrite('res_sd925bs_n5DsC.dat',sd2);
    %dlmwrite('results_925bs_n5DsC.dat',RE);
    D(sd2,1)=dsr;
    %dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
    %Results925=[dsr Nmin 0 0 0];
    %dlmwrite('Results925.dat',Results925,'precision','%f')
    Values0B(sd2,1:6)=[dsr Nmin 0 0 0 0];
    dlmwrite('925Values0Bn.dat',Values0B,'precision','%f');
    dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
    continue
end

%% correction phase, first checking if there are any friends between the
%% asi members already found

%% 4 LOOPS TO IDENTIFY POSSIBLE MISTAKES IN FOF

%% 4.1 Loop checking already found members
wlen=strs-stars;
if wlen==0;
    stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;

P3(1:asi,1:2)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            uP1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end

end

end
```

```
P3(i,1)=i;
P3(i,2)=population;
stars=popu;
population=0;

end
%Matrix;
asi_new=0;
for i=1:asi;
    if P3(i,2)>0;
        asi_new=asi_new+1;
        uP(asi_new,1)=asi_new;
        uP(asi_new,2)=P3(i,2);
    end
end
% sprintf('%s','updated P1 and P');
% uP1;
% uP;
%ustars=sum(uP(1:asi_new,2))
stars;
isolated=strs-stars;
%[dsr Nmin asi_new stars isolated]
sd2=sd2+1;
RE(sd2,1)=dsr;
RE(sd2,2)=Nmin;
RE(sd2,3)=asi_new;
RE(sd2,4)=stars;
RE(sd2,5)=isolated;
%dlmwrite('res_sd925bs_n5DsC.dat',sd2);
%dlmwrite('results_925bs_n5DsC.dat',RE);
g=0;
for i=1:depth;
    for j=1:asi_new;
        if uP(j,2)==Nmin+i;
            g=g+1;
        end
        D(sd2,1)=dsr;
        D(sd2,i+1)=g;
    end
end
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
Results925=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
%dlmwrite('Results925n3.dat',Results925,'precision','%f')
```

```
M=max(uP(1:asi_new,2));
%% Size of groups

% creating matrices to support needed data
DsCt(M,M,asi_new)=zeros;
Mdt(asi_new,M)=zeros;
m=0;

% loop to store distances of all members from each other in DsCt
for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
        for k=j+1:uP(i,2)
            m=m+1;
            DsCt(j,k,i)=Ds(uP1(i,j),uP1(i,k));
        end
        m=0;
    end
end

% selecting max distance as size for each group
Maxdt(asi_new,M)=zeros;
for i=1:asi_new
    for j=1:M
        Maxdt(i,j)=max(DsCt(1:M,j,i));
    end
end

for i=1:asi_new
    Mdt(i,1)=i;
    Mdt(i,2)=max(Maxdt(i,:));
end

%% Size filtering of groups
% in Mdt a new column is added to be used for filtering
Mdt(1:asi_new,3)=zeros;
n=0;
SizeFilter=0;
for i=1:asi_new
    if Mdt(i,2)>30 && Mdt(i,2)<255
        Mdt(i,3)=1;
    end
end
```

```

        n=n+1;
        % matrix to contain groups satisfying filtering criteria
        SizeFilter(n,1)=Mdt(i,1);
    end
end
AveDiamOB=mean(Mdt(:,2));
MedDiamOB=median(Mdt(:,2));
%% Create uP1 file afte filtering
uP1f(length(SizeFilter),M)=zeros;

if n>0
for i=1:size(SizeFilter)
    uP1f(i,:)=uP1(SizeFilter(i,1),:);
end
N=n;
else N=0;
end
%dlmwrite('3351uP1f_068_30255.dat',uP1f);

ValuesOB(sd2,1:5)=[dsr Nmin N 0 0];
dlmwrite('925ValuesOBn3.dat',ValuesOB,'precision','%f');
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
continue

elseif wlen>0;

    WR(wlen,5)=zeros;
    w=0;
    for i=1:asi;
        for j=1:Members(i);
            for k=i+1:asi;
                for k1=1:Members(k);
if (i~=k) && (P1(i,j)~=P1(k,k1)) && (P1(i,j)>0) && (P1(k,k1)>0)
&& (Matrix(P1(i,j),4)~=Matrix(P1(k,k1),4));
if Ds(P1(i,j),P1(k,k1))<=dsr;
                    w=w+1;
                    WR(w,1)=P1(i,j);
                    WR(w,2)=P1(k,k1);
                    WR(w,3)=Ds(P1(i,j),P1(k,k1));
                    WR(w,4)=Matrix(P1(i,j),4);
                    WR(w,5)=Matrix(P1(k,k1),4);
                    if WR(w,4)<WR(w,5)
                        [row col]=(find(Matrix(:,4)==Matrix(P1(k,k1),4)));
                        Matrix(row(1:length(row)),4)=Matrix(P1(i,j),4);

```

```

elseif WR(w,4)>WR(w,5)
    [row col]=(find(Matrix(:,4)==Matrix(P1(i,j),4)));
    Matrix(row(1:length(row)),4)=Matrix(P1(k,k1),4);
end

end

end

end

end

end

if w==0;
    sprintf('%s','There are no lost friends in found members');
elseif w>0;
    sprintf('%s','Lost friends in found members');
    WR(1:w,1:3);
% apply corrections in Matrix data
    %for i=1:w;
    %WR;
%    Matrix(WR(i,2),4)=Matrix(WR(i,1),4)
    %Matrix(P1(WR(i,5),1:P(WR(i,5),2)),4)=Matrix(WR(i,1),4);
    %isa_new=isa-1

    %break
    %end
    % WR;
end
end

%% this is for the isolated stars, doublechecking if we missed something
w1=0;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        for k=1:iso;
            if (P1(i,j)>0) && (Matrix(I(k),5)==0) ;%&& (Ds(P1(i,j),I(k))<=dsr);
                %if Ds(P1(i,j),P1(k,j))<=dsr
                if Ds(P1(i,j),I(k))<=dsr;
                    w1=w1+1;
                    WR(w+w1,1)=P1(i,j);
                    WR(w+w1,2)=I(k);
                    WR(w+w1,3)=Ds(P1(i,j),I(k));
                    Matrix(I(k),4)=Matrix(P1(i,j),4);

```

```
                Matrix(I(k),5)=1;
            end
        end
    end
end

if w1==0;
    sprintf('%s','There are no lost friends in isolated stars');

elseif w1>0;
    sprintf('%s','Lost friends in isolated stars');
    WR(w+1:w1,1:3);
end

stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;
% the uP1 matrix should now be used as Members matrix

%% ERROR NOTIFICATION !!!!!
%% as it is found by plotting associations for ds=101pc the uP and 1
%% matrices are not valid, since it was found that 1 contains a line only
%% of zeros, as apparently the specific association,7, after the correction
%% phase was merged and the data was not really updated which is odd as the
%% uP's matrices are constructed using the updated Matrix.
%% actually this is not odd at all, since I used mempry allocation the
%% matrix contains mostly zeros. I have to find a mechanosm to exclude such
%% phantom associations, which now makes the uP matrix the only suspect for
%% the occured error. since the asi number even after the correction
%% remains the same, even though some of the associations might have been
%% merged in the script for uP's the same asi is used. so I must change the
%% line of events in the script. firstly the new_asi will be calculated
%% form the updated Matrix and then will follow the update of P's. ok the
%% asi_new is actually calculated correctly as the P3 matrix makes the
%% check for merged associations but then we must reupdate the uP1 matrix
%% so there will not be any zero lines between the real association's data.
%% perhaps one solution is to order the uP1 to move the data lines one line
%% up at the asi's merged known as the P3(asi,2) zero element. need to
%% consult the help. or just put the uP1 matrix creation a bit t=further
%% down in the script process.
```

```
%% The problem occurred causing the appearance of phantom
%% associations. During the correction process the merged associations are
%% given the asi which is smaller, i.e. if 4 and 6 are merged then stars of
%% 6 will be given the 4 index in Matrix(star,4). When we calculate the
%% new_asi the script runs for the old asi numbers and for those with
%% population>0 a new_asi is given. let's go to asi 6 and let that all
%% asi's before that are given a new_asi the same as it was, so since it is
%% merged, the script will move to the next (remember new_asi is 5) and let
%% say that population of asi 7 is >0, so it will be given new_asi 6. which
%% means that in the Matrix there will be no 7 index but the 7(asi) stars
%% will be counted as 6(new_asi) stars and that is not shown in any matrix
```

```
%% first loop to construct P3 matrix which holds info on the original asi
%% and its population, so we can identify merged asi's after
%% the correction phase.
```

```
P3(asi,2)=zeros;
%uP1(strs,strs)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            %uP1(i,population)=Matrix(j,3);
```

```
        end
```

```
    end
```

```
    P3(i,1)=i;
    P3(i,2)=population;
    stars=popu;
    population=0;
```

```
end
```

```
%% second loop which uses data from P3 to remove the merged asi's and to
%% make new_asi variable which is the right number of found associations
%% and to make uP matrix as well which gives info on the population of each
%% asi.
```



```
%Matrix;
asi_new=0;
UP(asi,3)=zeros;
for i=1:asi;
    if P3(i,2)>0;

        asi_new=asi_new+1;
        UP(asi_new,1)=asi_new;
        UP(asi_new,2)=P3(i,2);
        UP(asi_new,3)=i;
    end
end

uP(1:asi_new,1:3)=UP(1:asi_new,1:3);
%% The third loop in the row which constructs the uP1 matrix, which states
%% specificaly the members of each association by using the index given to
%% a star during the import process, at the cration of Matrix. In order to
%% avoid more time consuming by adding a new loop I will try to use memory
%% allocation for multidimensional arrays.
M=max(uP(1:asi_new,2));
population=0;
uP1(asi_new,M)=zeros;

for i=1:asi_new;
    for j=1:strs;
        if uP(i,3)==Matrix(j,4);
            population=population+1;
            uP1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end

    end

    population=0;
end

%ustars=sum(uP(1:asi_new,2));
% sprintf('%s','updated P1 and P');
% uP1;
% uP;

%% Depth
g=0;
sd2=sd2+1;
```

```
%D(1,depth+1)=zeros;
for i=1:depth;
    for j=1:asi_new;
        if uP(j,2)==Nmin+i;
            g=g+1;
        end
        D(sd2,1)=dsr;
        D(sd2,i+2)=g;
    end
end

isolated=strs-stars;

RE(sd2,1)=dsr;
RE(sd2,2)=Nmin;
RE(sd2,3)=asi_new;
RE(sd2,4)=stars;
RE(sd2,5)=isolated;
%dlmwrite('925uP1_059.dat',uP1);
%dlmwrite('925uP_059.dat',uP);
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
%dlmwrite('res_sd925bs_n5DsC.dat',sd2);
%dlmwrite('results_925bs_n5DsC.dat',RE);
Results925=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
%dlmwrite('Results925n3.dat',Results925,'precision','%f');

%% 2ND PART (CentreCoords & DsC)

%% This is a script which will be used to identify the centre of each
%% association. We will use the Genplot matrix data in our calculations.
%% 1st step, identify limits of ra and dec coords
%% 2nd step, find central coords, (max-min)/2 for ra and dec.
format long e
R=9.3*10^6;

Ras=Ngc925(1:strs,1);
Decs=Ngc925(1:strs,2);
```

```
rad=pi/180;
Sam=[Ras*rad Decs*rad];
Samd=[Ras Decs];
M=max(uP(1:asi_new,2));

Centre(asi_new,2)=zeros;
rad=pi/180;

%% We need the Genplot data so we have to run the small for loop creating
%% the matrix. We cant use dlmwrite/read because this is a 3D matrix and
%% the write function creates a 2D matrix.

a=1:asi_new;
%M=max(uP);
Genplot(M,3,asi_new)=zeros;
for i=a(1:length(a))%1:a%asi;
    for j=1:uP(i,2);
        Genplot(j,1:3,i)=Matrix(uP1(i,j),1:3);
    end
end

%% The loop is used for centre coords calculation and to add the
%% information into the Genplot matrix at the last line of each matrix
%% designated at the 3rd column as 1.1.

% Centre matrix/ centre calculated finding mean ra&dec
% Centre1 / centre using diff between max and min points

n=0;
for i=1:asi_new;

    mra(i,1)=mean(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
    mdec(i,1)=mean(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
    Centre(i,1)=mra(i,1);
    Centre(i,2)=mdec(i,1);

    Maxra=max(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
    Minra=min(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
    Maxdec=max(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
    Mindec=min(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
    %Centre1(i,1)=Minra+((Maxra-Minra)/2);
```

```

    %Centre1(i,2)=Mindec+((Maxdec-Mindec)/2);
    Genplot(uP(i,2)+1,1,i)=Centre(i,1);
    Genplot(uP(i,2)+1,2,i)=Centre(i,2);
    Genplot(uP(i,2)+1,3,i)=1.1;
end
Centrec(asi_new,2)=zeros;
Centrec(1:asi_new,1)=Centre(1:asi_new,1)*rad;
Centrec(1:asi_new,2)=Centre(1:asi_new,2)*rad;
%Centrec1(asi_new,2)=zeros;
%Centrec1(1:asi_new,1)=Centre1(1:asi_new,1)*rad;
%Centrec1(1:asi_new,2)=Centre1(1:asi_new,2)*rad;

%% This loop is used in order to plot the centre of each association.

%% DsC
%% 2.3.1 Distance from the center

%% two ways of calculating size of group, one finding the max distance of
%% a member from the center multiplied by 2
%% second, accepting the max distance between two members
%% since we use the 2nd method we dont need to calculate the distances of
%% all members from the center.

%% Distance of group members from center of the group
M=0;
M=max(uP(1:asi_new,2));
%starc(asi_new,2)=zeros;
%DsC(M,2,asi_new)=zeros;
%Md(asi_new,2)=zeros;
%for i=1:asi_new;
%for j=1:uP(i,2);
%DsC, coordinates in rads
%DsC(j,1,i)=R*acos(sin(Sam(uP1(i,j),1))*sin(Centrec(i,1))+cos(Sam(uP1(i,j),1))
*cos(Centrec(i,1))*cos(Sam(uP1(i,j),2)-Centrec(i,2)));
%DsC, coordinates in degrees
%DsC(j,1,i)=R*acos(sin(Samd(uP1(i,j),1))*sin(Centrec(i,1))+cos(Samd(uP1(i,j),1))
*cos(Centrec(i,1))*cos(Samd(uP1(i,j),2)-Centrec(i,2)));
%DsC(j,2,i)=Genplot(j,3,i);
%end
%Md(i,1)=max(DsC(1:uP(i,2),1,i))*2;

```

```
%star=find(DsC(1:uP(i,2),1,i)==(Md(i,1)/2));
%st=Genplot(star,3,i);
%Md(i,2)=i;
%Md(i,3)=star;
%starc(i,1)=Ngc925(st,1);
%starc(i,2)=Ngc925(st,2);
%starc(1,3)=st;
%Md(i,3)=uP(i,2);
%end
%hist(Md(1:asi_new,1))
%% 2.3.2 Max distance between members

%% the idea is to used data in Genplot

%% MODIFICATION
%% Size of groups
% creating matrices to support needed data
% 8/10/2010 For using less memory I added a for loop instead of
% using the 3D matrix DsCt
Mdt(asi_new,3)=zeros;
%DsCt(M,M)=zeros;
Maxdt(asi_new,M)=zeros;
for i=1:asi_new
DsCt(uP(i,2),uP(i,2))=zeros;
Maxdt(uP(i,2),1)=zeros;
% loop to store distances of all members from each other in DsCt
%for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
        for k=j+1:uP(i,2)
            DsCt(j,k)=Ds(uP1(i,j),uP1(i,k));
        end
    end
end
%end

% selecting max distance as size for each group
%for i=1:asi_new
    for l=1:uP(i,2)
        Maxdt(i,l)=max(DsCt(:,l));
    end
%end
%for i=1:asi_new
    Mdt(i,1)=i;
    Mdt(i,2)=max(Maxdt(i,:));
%end
```

```
%clear
end
GroupSize(sd2,1:asi_new)=Mdt(1:asi_new,2);
%% Size filtering of groups
% in Mdt a new column is added to be used for filtering
%Mdt(1:asi_new,3)=zeros;
SizeFilter=0;
SizeFilter2=0;
SizeFilter3=0;
SizeFilter4=0;

ncl=0;
n=0;
n2=0;
n3=0;
n4=0;

for i=1:asi_new
    if Mdt(i,2)<30 % Clusters
        Mdt(i,3)=0;
        ncl=ncl+1;
        SizeFiltercl(ncl,1)=Mdt(i,1);
        SizeFiltercl(ncl,2)=uP(i,2);
        SizeFiltercl(ncl,3)=Mdt(i,2);

    elseif Mdt(i,2)>=30 && Mdt(i,2)<=100 % Associations
        Mdt(i,3)=1;
        n=n+1;
        % matrix to contain groups satisfying filtering criteria
        SizeFilter(n,1)=Mdt(i,1);
        SizeFilter(n,2)=uP(i,2);
        SizeFilter(n,3)=Mdt(i,2);

    elseif Mdt(i,2)>100 && Mdt(i,2)<=300 % Aggregates
        n2=n2+1;
        Mdt(i,3)=2;
        SizeFilter2(n2,1)=Mdt(i,1);
        SizeFilter2(n2,2)=uP(i,2);
        SizeFilter2(n2,3)=Mdt(i,2);

    elseif Mdt(i,2)>300 && Mdt(i,2)<=1000 % Complexes
        n3=n3+1;
        Mdt(i,3)=3;
        SizeFilter3(n3,1)=Mdt(i,1);
        SizeFilter3(n3,2)=uP(i,2);
```

```
        SizeFilter3(n3,3)=Mdt(i,2);
elseif Mdt(i,2)>1000% && Mdt(i,2)<=1500           % Supercomplexes
    n4=n4+1;
    Mdt(i,3)=4;
    SizeFilter4(n4,1)=Mdt(i,1);
    SizeFilter4(n4,2)=uP(i,2);
    SizeFilter4(n4,3)=Mdt(i,2);
end
end
%AveDiamOB=mean(:,2);
%MedDiamOB=median(:,2);
%% Create uP1 filer after filtering
%for
if n>0
Mn=max(SizeFilter(:,2));
Matrixf(n,3)=zeros;
uP1f(n,Mn)=zeros;
for i=1:n
    uP1f(i,1:SizeFilter(i,2))=uP1(SizeFilter(i,1),1:SizeFilter(i,2));
    Matrixf(i,1:2)=Centre(SizeFilter(i,1),1:2);
    Matrixf(i,3)=Mdt(SizeFilter(i,1),2);
end
N=n;

elseif n<=0
    N=0;
end

if n2>0
Mn2=max(SizeFilter2(:,2));
%CMatrix(m,3)=zeros;
uP1f2(n2,Mn2)=zeros;
for i=1:n2
    uP1f2(i,1:SizeFilter2(i,2))=uP1(SizeFilter2(i,1),1:SizeFilter2(i,2));
    Matrixf(i,1:2)=Centre(SizeFilter2(i,1),1:2);
    Matrixf(i,3)=Mdt(SizeFilter2(i,1),2);
end
end
if n3>0
Mn3=max(SizeFilter3(:,2));
uP1f3(n3,Mn3)=zeros;
for i=1:n3
    uP1f3(i,1:SizeFilter3(i,2))=uP1(SizeFilter3(i,1),1:SizeFilter3(i,2));
    Matrixf(i,1:2)=Centre(SizeFilter3(i,1),1:2);
```

```
    Matrixf(i,3)=Mdt(SizeFilter3(i,1),2);
end
end

if n4>0
Mn4=max(SizeFilter4(:,2));
uP1f4(n4,M)=zeros;
for i=1:n4
    uP1f4(i,1:SizeFilter4(i,2))=uP1(SizeFilter4(i,1),1:SizeFilter4(i,2));
    Matrixf(i,1:2)=Centre(SizeFilter4(i,1),1:2);
    Matrixf(i,3)=Mdt(SizeFilter4(i,1),2);
end
end

%dlmwrite('925uP1_255pc.dat',uP1);
%dlmwrite('925uP_255pc.dat',uP);
%dlmwrite('925Mdt_255pc.dat',Mdt);
%dlmwrite('925Centre_255pc.dat',Centre);
%dlmwrite('925Matrix_255pc.dat',Matrix);

%dlmwrite('925SizeFilter_255pc.dat',SizeFilter);
%dlmwrite('925SizeFilter2_255pc.dat',SizeFilter2);
%dlmwrite('925SizeFilter3_255pc.dat',SizeFilter3);
%dlmwrite('925SizeFilter4_255pc.dat',SizeFilter4);

%dlmwrite('925uP1f_255pc.dat',uP1f);
%dlmwrite('925uP1f2_255pc.dat',uP1f2);
%dlmwrite('925uP1f3_255pc.dat',uP1f3);
%dlmwrite('925uP1f4_255pc.dat',uP1f4);

%% Isolated stars matrix
Iso(length(I),2)=zeros;
for i=1:length(I)
    Iso(i,1:2)=Matrix(I(i),1:2);
end

%a=65
%% Stars and group mapping
%for i=1:asi_new
%    hold all
```



```
% axis equal
% scatter(Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i),'k','*');
% scatter(Iso(:,1),Iso(:,2),'k')
% scatter(Centre(i,1),Centre(i,2),'r','+');
% scatter(Centre1(i,1),Centre1(i,2),'k','*');

% set(gca,'XDir','reverse')
% xlim([36.75 36.81])
% ylim([33.559 33.613])
%end

%% Deauney Trangulation
%for i=1:asi_new
% hold all
% axis equal
% TRI = delaunay(Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i));
% triplot(TRI,Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i),'c')
%end

%% ELLIPSES DRAW CIRCLE
%Pprgroups=dlmread('GroupListPaper925dg.dat');
%l=length(Pprgroups);

%scatter(CentrePpr(1:l,1),CentrePpr(1:l,2),'r','*');
%for i=1%:l
%draw_circle(CentrePpr(i,3)/(2*R),[CentrePpr(i,1) CentrePpr(i,2)],'r')
%end

%% Group file
Group(asi_new,4)=zeros;
Group(1:asi_new,1:2)=Centre(1:asi_new,1:2);
Group(1:asi_new,3)=Mdt(1:asi_new,2);
Group(1:asi_new,4)=uP(1:asi_new,2);

%dlmwrite('Md_n5_084.dat',Md,'precision','%f');
%dlmwrite('Mdg_n5_084.dat',Mdg,'precision','%f');
%dlmwrite('Centre_n5_084.dat',Centre,'precision','%f');
%dlmwrite('Md_n3.0622.dat',Md,'precision','%f');
%scatter(Md(1:length(Md),3),Md(1:length(Md),1))
%Associations=length(Md);
```

```
%NOTVALIDAvgMembers=mean(Md(:,3))
%AvgDiameter=mean(Mdt(:,1));
%MedDiameter=median(Mdt(:,2));
Values(sd2,1:5)=Results925;
Values(sd2,6)=toc;
%% this is used to measure the number of groups with size close to OB
%% associations (30-255pc)

ValuesOB(sd2,1:7)=[dsr Nmin ncl n n2 n3 n4];
dlmwrite('925ValuesOBn.dat',ValuesOB,'precision','%f');
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
dlmwrite('925GroupSizen.dat',GroupSize,'precision','%f');

dlmwrite('values925n.dat',Values,'precision','%f');
dlmwrite('Groups200.dat',Group,'precision','%f');

%% GROUP SIZE SORTING & DATA PLOT
%Size=sort(Pprgroups(1:1,3));
%g=0;

%for i=1:asi_new
%   if Mdt(i,2)>=min(Size)
%       g=g+1;
%       G(g,1)=Mdt(i,2);
%       end
%end
%l(1:asi_new,1)=Mdt(:,2);
%ls=sort(l);
%if g>=3
%gs=sort(G);
%hold all
%plot(ls,'c')
%plot(Size,'-ks')
%plot(gs,'-s')

% Compatibility Index
%Idx(5,1)=zeros;
%Idx(1:3,1)=Size(1-2:1,1);
%Index2=mean(Idx(:,1));

%l1=length(G);
%Idx1(5,1)=zeros;
%Idx1(1:3,1)=gs(l1-2:l1,1);
%Index1=mean(Idx1(:,1));
```

```
%Index(sd2,1)=dsr;  
%Index(sd2,2)=(Index1/Index2)*100;  
%dlmwrite('925Index.dat',Index);  
%else continue  
%end  
clear  
end  
toc
```

## V ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

```
tic
clear
%% the first thing that we need to identify is the ds for which we have the
%% maximum number of groups. then we introduce that number into the script
%% in order to find the number of groups for the rndom sample.
%% workflow

%% 1. Find max number of associations (asi)
%% 2. Find ds of the previous number (ds)
%% 3. Find asi of random sample for the previous ds (rasi)
%% 4. Find asi/rasi for the specified above ds.
%% 5. Repeat the previous steps for higher Nmins.

%% 1. The real data will be denoted as REx where x is the value of the
%% respective Nmin.
%% 2. The random data will be denoted as value x where x as above is the
%% Nmin value.

%% 1. Importing and plotting real and random data
%% For Ngc5457
%% Real data
%RE3=dlmread('values5457n3dsloop.dat');
RE3=dlmread('values5457n.dat');
OB3=dlmread('Values0Bn5457.dat');
%RE4=dlmread('values5457n4dsloop.dat');
%RE5=dlmread('values5457n5dsloop.dat');
%RE6=dlmread('values5457n6dsloop.dat');
%RE7=dlmread('values5457n7dsloop.dat');

%% Plotting real data - asi vs ds
hold all
a=3;
ncl=3;
n=4;
n2=5;
n3=6;
n4=7;
%subplot(3,1,3);
%hold all
plot(RE3(:,1),RE3(:,a),'k')
plot(OB3(:,1),OB3(:,ncl),'m')
```

```
plot(OB3(:,1),OB3(:,n),'b')
plot(OB3(:,1),OB3(:,n2),'y')
plot(OB3(:,1),OB3(:,n3),'g')
plot(OB3(:,1),OB3(:,n4),'r')
%title(['Ngc 5457'])

%plot(RE3(:,1),RE3(:,a)/sum(RE3(:,a)),'k')
%plot(OB3(:,1),OB3(:,nc1)/sum(RE3(:,a)),'m')
%plot(OB3(:,1),OB3(:,n)/sum(RE3(:,a)),'b')
%plot(OB3(:,1),OB3(:,n2)/sum(RE3(:,a)),'y')
%plot(OB3(:,1),OB3(:,n3)/sum(RE3(:,a)),'g')
%plot(OB3(:,1),OB3(:,n4)/sum(RE3(:,a)),'r')

%scatter(RE4(:,1),RE4(:,a))
%scatter(RE5(:,1),RE5(:,a))
%scatter(RE6(:,1),RE6(:,a))
%scatter(RE7(:,1),RE7(:,a))
%% Random data
%value3=dlmread('random_values5457nc.dat');
%value4=dlmread('random_values5457n4dsloop.dat');
%value5=dlmread('random_values5457n5dsloop.dat');
%value6=dlmread('random_values5457n6dsloop.dat');
%value7=dlmread('random_values5457n7dsloop.dat');
%value(1400,1)=zeros;
%value(401:600,1)=value3(1:200,3);
%value(601:800,1)=value4(1:200,3);
%value(801:1000,1)=value5(1:200,3);
%value(1001:1200,1)=value6(1:200,3);
%value(1201:1400,1)=value7(1:200,3);
%% Plotting random data - asi vs ds
%scatter(value3(:,1),value3(:,3))
%scatter(value4(:,1),value4(:,3))
%scatter(value5(:,1),value5(:,3))
%scatter(value6(:,1),value6(:,3))
%scatter(value7(:,1),value7(:,3))

%% 2. Find max asi and respective ds
%% Find max asi (M3) and line (r) of that value for different Nmins
%% Nmin from 3 to 6
%% presentation of whole RE line containing ds value

%defining matrix M&N containing the asi and ds values respectively
NmOB(1,1)=1;
```

```
rob=0;
Mob=0;
Nob=0;

%find max ds for clusters (up to 30pc)
Mob(1,1)=max(OB3(:,ncl));
rob=find(OB3(:,ncl)==Mob(1,1));
Nob(1,1)=OB3(max(rob),1);
Totgr=OB3(Nob(1,1),ncl)+OB3(Nob(1,1),4)+OB3(Nob(1,1),5)+OB3(Nob(1,1),6);
rob;
Max_Clusters=[ncl size(rob) Nob Mob Totgr]
% [type of group, the number of ds at which we found the same max, ds
% chosen, number of type groups, total groups]

%find max ds for OB (30-150pc)
Mob(1,1)=max(OB3(:,n));
rob=find(OB3(:,n)==Mob(1,1));
Nob(1,1)=OB3(max(rob),1);
Totgr=OB3(Nob(1,1),n)+OB3(Nob(1,1),n)+OB3(Nob(1,1),5)+OB3(Nob(1,1),6);
rob;
Max_Associations=[n size(rob) Nob Mob Totgr]

%find max ds for aggregates (150-300pc)
Mob(1,1)=max(OB3(:,n2));
rob=find(OB3(:,n2)==Mob(1,1));
Nob(1,1)=OB3(max(rob),1);
Totgr=OB3(Nob(1,1),3)+OB3(Nob(1,1),n2)+OB3(Nob(1,1),5)+OB3(Nob(1,1),6);
rob;
Max_Aggregates=[n2 size(rob) Nob Mob Totgr]

%find max ds for complexes (300-1000pc)
Mob(1,1)=max(OB3(:,n3));
rob=find(OB3(:,n3)==Mob(1,1));
Nob(1,1)=OB3(max(rob),1);
Totgr=OB3(Nob(1,1),3)+OB3(Nob(1,1),4)+OB3(Nob(1,1),n3)+OB3(Nob(1,1),6);
rob;
Max_Complexes=[n3 size(rob) Nob Mob Totgr]

%find max ds for supercomplexes (above 1000pc)
Mob(1,1)=max(OB3(:,n4));
rob=find(OB3(:,n4)==Mob(1,1));
Nob(1,1)=OB3(max(rob),1);
Totgr=OB3(Nob(1,1),3)+OB3(Nob(1,1),4)+OB3(Nob(1,1),5)+OB3(Nob(1,1),n4);
rob;
```

```
Max_Supercomplexes=[n4 size(rob) Nob Mob Totgr]
```

```
Nm(1:11,1)=1:11;  
r=0;
```

```
M(11,1)=zeros;  
N(11,1)=zeros;
```

```
M(3,1)=max(RE3(:,3));  
r=find(RE3(:,3)==M(3,1));  
N(3,1)=RE3(max(r),1);
```

```
%M(4,1)=max(RE4(:,3));  
%r=find(RE4(:,3)==M(4,1));  
%N(4,1)=RE4(max(r),1);
```

```
%M(5,1)=max(RE5(:,3));  
%r=find(RE5(:,3)==M(5,1));  
%N(5,1)=RE5(max(r),1);
```

```
%M(6,1)=max(RE6(:,3));  
%r=find(RE6(:,3)==M(6,1));  
%N(6,1)=RE6(max(r),1);
```

```
%M(7,1)=max(RE7(:,3));  
%r=find(RE7(:,3)==M(7,1));  
%N(7,1)=RE7(max(r),1);
```

```
%M(8,1)=max(RE8(:,3));  
%r=find(RE8(:,3)==M(8,1));  
%N(8,1)=RE8(max(r),1);
```

```
%M(9,1)=max(RE9(:,3));  
%r=find(RE9(:,3)==M(9,1));  
%N(9,1)=RE9(max(r),1);
```

```
%M(10,1)=max(RE10(:,3));
%r=find(RE10(:,3)==M(10,1));
%N(10,1)=RE10(max(r),1);

[N M]
AN(11,3)=zeros;
AN(1:11,1)=Nm;
AN(1:11,2)=N;
AN(1:11,3)=M;
%dlmwrite('res_analysis_AN.dat',AN,'precision','%f');

%% 3. Use depth analysis for higher Nmin values
%% We will use the real and random results with the highest "full"
%% analysis. So, Nmin=7.

%Depth7=dlmread('Depth7.dat');
%RDepth7=dlmread('random_Depthn7.dat');
%total groups at Nmin=7
%tg=RE7(:,3);
%total groups with only 7 members etc.
%t7=Depth7(:,2);
%t8=Depth7(:,3);
%t9=Depth7(:,4);
%t10=Depth7(:,5);

%total groups with at least 8 members etc
%tg8=tg-t7;
%tg9=tg8-t8;
%tg10=tg9-t9;
%tg11=tg10-t10;

%M(8,1)=max(tg8);
%r=find(tg8(:,1)==M(8,1));
%N(8,1)=max(r);

%M(9,1)=max(tg9);
%r=find(tg9(:,1)==M(9,1));
%N(9,1)=max(r);

%M(10,1)=max(tg10);
%r=find(tg10(:,1)==M(10,1));
%N(10,1)=max(r);
```



```
%M(11,1)=max(tg11);
%r=find(tg11(:,1)==M(11,1));
%N(11,1)=max(r);
%% Random
%total groups at Nmin=7
%tgr=value7(:,3);
%total groups with only 7 members etc.
%tr7=RDepth7(:,2);
%tr8=RDepth7(:,3);
%tr9=RDepth7(:,4);
%tr10=RDepth7(:,5);

%total groups with at least 8 members etc
%tgr8=tgr-tr7;
%tgr9=tgr8-tr8;
%tgr10=tgr9-tr9;
%tgr11=tgr10-tr10;

%% 4. Find random asi values using N matrix
%Mr(11,1)=zeros;

%for i=3:7
%    Mr(i,1)=max(value(((j*(i-1))+1):(i*j),3))
%Mr(i,1)=value((i-1)*200+N(i,1),1);
%end

%Mr(8,1)=tgr8(N(8,1));
%Mr(9,1)=tgr9(N(9,1));
%Mr(10,1)=tgr8(N(10,1));
%Mr(11,1)=tgr8(N(11,1));
%%

%Contamination(11,1)=zeros;
%C(11,2)=zeros;
%for i=3:11
%    C(i,1)=(Mr(i,1)/M(i,1))*100;
%end

%Contamination(:,2)=C(:,1);
%Contamination(:,1)=1:11;
```

```
%Contamination(:,2)
%dlmwrite('Contamination.dat',Contamination);
%plot(Contamination(:,1),Contamination(:,2))
toc
```

## VI ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΙΜΗ Ds

```
tic
clear
%% Script to infer group catalogues from star catalogues for a specific ds
%% we need centre coordinates, number of stars, size, category index,
%% original ds, original index

% import star catalogues
ds=093;
Cat093=dlmread('925StarCatalogue_093pc.txt');
GrCat093=dlmread('925GroupCat_093pc.txt');
uP=dlmread('925uP_093pc.dat');
uP1=dlmread('925uP1_093pc.dat');
Mdt=dlmread('925Mdt_093pc.dat');
Matrix=dlmread('Matrix925.dat');

% calculate centre of group for each ds
% find asi_new of each ds
asi_new=max(Cat093(:,4));
mStars=max(uP(:,2));
mra(asi_new,1)=zeros;
mdec(asi_new,1)=zeros;
mra1(asi_new,1)=zeros;
mdec1(asi_new,1)=zeros;
ra(1,1)=0;
dec(1,1)=0;
s=0;
a=1:asi_new;
%Genplot(mStars,3,asi_new)=zeros;
Genplot1(mStars,3,asi_new)=zeros;
%for i=a(1:length(a))%1:a%asi;
%     for j=1:uP(i,2);
%         Genplot(j,1:3,i)=Matrix(uP1(i,j),1:3);
%     end
%end
%for i=a(1:length(a))
%     mra(i,1)=mean(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
%     mdec(i,1)=mean(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
%end

for i=1:asi_new
```

```
ra(uP(i,2),1)=zeros;
dec(uP(i,2),1)=zeros;
for j=1:length(Cat093)
    if Cat093(j,4)==i
        s=s+1;
        star=Cat093(j,3);
        Genplot1(s,1:3,i)=Matrix(star,1:3);
        ra(s,1)=Cat093(j,1);
        dec(s,1)=Cat093(j,2);
    end
end
dc(i,1)=uP(i,2)-s;
mra1(i,1)=mean(ra(1:s,1));
mdec1(i,1)=mean(dec(1:s,1));
s=0;
end

%for i=a(1:length(a))
%    mra(i,1)=mean(Genplot1(1:uP(i,2),1,i));
%    mdec(i,1)=mean(Genplot1(1:uP(i,2),2,i));
%end

Groups(asi_new,7)=zeros;
Groups(1:asi_new,1)=mra1(:,1);
Groups(1:asi_new,2)=mdec1(:,1);
Groups(1:asi_new,3)=uP(:,2);
Groups(1:asi_new,4)=Mdt(:,2);
Groups(1:asi_new,6)=ds;
Groups(1:asi_new,7)=Mdt(1:asi_new,1);

for i=1:asi_new
    [row col]=find(GrCat093==i);
    if col>0
        Groups(i,5)=col;
    end
end
%hold all
%Centre=dlmread('925Centre_093.dat');
%scatter(Cat093(:,1),Cat093(:,2),'o','b')
%scatter(Groups(:,1),Groups(:,2),'+','r')
%scatter(Centre(:,1),Centre(:,2),'*','g')
```

Περιοχές δημιουργίας αστερών και αστρικά συστήματα σε γειτονικούς γαλαξίες με δεδομένα από το τηλεσκόπιο HST και επίγεια δεδομένα

---

```
dlmwrite('925GroupCatalogue_093pc.txt',Groups,'delimiter','\t','precision','%f',  
'newline','pc');
```

toc

## VII ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ

```
tic
clear
%% Script to make total catalogue of groups for a galaxy
%% 1. RA, 2. DEC, 3. NUM OF STARS, 4. SIZE, 5. CATEGORY, 6. DS,
%% 7. GR INDEX, 8. TOT GR INDEX, 9. DENSITY

% import catalogues of each ds
Cat045=dlmread('925GroupCatalogue_045pc.txt');
Cat069=dlmread('925GroupCatalogue_069pc.txt');
Cat093=dlmread('925GroupCatalogue_093pc.txt');
Cat130=dlmread('925GroupCatalogue_130pcmod.txt');

% find total groups per ds
asi045=length(Cat045);
asi069=length(Cat069);
asi093=length(Cat093);
asi130=length(Cat130);
asi=asi045+asi069+asi093+asi130;

% need for a total group index just like in star catalogues. so since the
% catalogues of each ds carries the original group index I need to start
% again and give them a universal index
Cat045(1:asi045,8)=1:asi045;
for i=1:asi069
Cat069(i,8)=Cat069(i,7)+asi045;
end
m=max(Cat069(:,8));
for i=1:asi093
Cat093(i,8)=Cat093(i,7)+m;
end
m=max(Cat093(:,8));
for i=1:asi130
Cat130(i,8)=Cat130(i,7)+m;
end
% construct a total catalogue of groups
TempG(asi,8)=zeros;
TempG(1:asi045,1:8)=Cat045(1:asi045,1:8);
TempG(asi045+1:asi045+asi069,1:8)=Cat069(1:asi069,1:8);
TempG(asi045+asi069+1:asi045+asi069+asi093,1:8)=Cat093(1:asi093,1:8);
TempG(asi045+asi069+asi093+1:asi045+asi069+asi093+asi130,1:8)=Cat130(1:asi130,1:8);
% find groups that do not belong in these 4 categories, under 30pc in size
% in order to find the size of the final catalogue
```

```
z=0;
for i=1:asi
    if TempG(i,5)==0
        z=z+1;
        zerogr(z,1)=i;
    end
end
totgr=asi-z;
Groups925(totgr,9)=zeros;
% sort for category index
n=0;
n1=0;
n2=0;
for i=1:4
    for j=1:asi
        if TempG(j,5)==i
            n=n+1;
            n2=n2+1;
            Groups925(n2,1:8)=TempG(j,1:8);
        end
    end
    n1(i,1)=i;
    n1(i,2)=n;
    n=0;
end
sum(n1(:,2))-asi+z

const=pi/4;
const1=pi/6;
for i=1:totgr
    Groups925(i,9)=Groups925(i,3)/[const*(Groups925(i,4))^2];
    %Groups925(i,10)=Groups925(i,3)/[const1*(Groups925(i,4))^3];
end

n1=0;
n2=0;
n3=0;
n4=0;
for i=1
for j=1:length(Groups925)
    if Groups925(j,5)==i
        n1=n1+1;
        D1(n1,1)=Groups925(j,9);
    end
end
```

```
end
end

for i=2
for j=1:length(Groups925)
    if Groups925(j,5)==i
        n2=n2+1;
        D2(n2,1)=Groups925(j,9);
    end
end
end

for i=3
for j=1:length(Groups925)
    if Groups925(j,5)==i
        n3=n3+1;
        D3(n3,1)=Groups925(j,9);
    end
end
end

for i=4
for j=1:length(Groups925)
    if Groups925(j,5)==i
        n4=n4+1;
        D4(n4,1)=Groups925(j,9);
    end
end
end

mind=min(Groups925(:,9));
maxd=max(Groups925(:,9));
x(10,1)=zeros;
x(10,1)=maxd;
x(1,1)=mind;
for i=2:9
    x(i,1)=mind+[((maxd-mind)/10)*(i-1)];
end
h1=hist(D1,x);
h2=hist(D2,x);
h3=hist(D3,x);
h4=hist(D4,x);
dlmwrite('925GroupCatalogue_total_mod.txt',Groups925(:,1:9),
```



```
'delimiter', '\t', 'precision', '%f', 'newline', 'pc');
```

```
toc
```

## VIII ΤΕΛΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ

```
tic
clear

% we want to check our global catalogue if a group found in one ds was
% found again at a later ds and was catalogued again as a bona fide
% group.

Groups=dlmread('925GroupCatalogue_total.txt');

n=0;
for i=1:length(Groups)
    for j=1:length(Groups)
        if j~=i
            ra=(Groups(i,1)-Groups(j,1));
            dec=(Groups(i,2)-Groups(j,2));
            if ra==0 && dec==0 && i<j
                n=n+1;
                check(n,1)=Groups(i,8);
                check(n,2)=Groups(j,8);
            end
        end
    end
end

m=0;
for i=1:n
    for j=i+1:n
        a=check(i,2)-check(j,2);
        if a==0
            m=m+1;
            check1(m,1)=i;
            check1(m,2)=j;
            check1(m,3)=check(i,2);
            check1(m,4)=check(j,2);
        end
    end
end

for i=1:m
    row=find(check1(:,3)==check1(i,3));
    err(i,1)=check1(i,3);
end
```

```
    err(i,2)=length(row);
end

k=0;
for i=1:length(Groups)
    if Groups(i,8)~=check(:,2)
        k=k+1;
        Total(k,1:9)=Groups(i,1:9);
    end
end

l=0
for i=1:n
    row=find(Total(:,8)==check(n,2));
    if row>0
        l=l+1;
    end
end
```

```
%for i=1:n
%   for j=1+1:n
%       if check(i,2)==check(j,1)
%           check(j,2)=0;
%       end
%   end
%end
```

```
%for i=1:n
%   for j=i+1:n
%       if check(i,1)==check(j,1)
%           check(j,1)=0;
%       end
%   end
%end
```

```
 %[row col]=find(check(:,1)>0);
%for i=1:length(row)
%check1(i,1)=check(row(i),1);
%end
```

```
% we found n double entries above, so we need to identify the groups that
% we want to erase form the global catalogue. First we want to keep the
% groups that were found at the lower ds. So we make the program erase
%
```

```
%for i=1:length(Groups)
%   for j=1:n
%   if Groups(i,8)==check(j(
```

```
%plot(edges,n,'r')
%plot(xout1,n1/sum(n1),'b')
```

```
%dlmwrite('925GroupCatalogue_total_corr.txt',Total(:,1:9),
'delimiter','\t','precision','%f','newline','pc');
```

```
clear
format long e
Groups=dlmread('925GroupCatalogue_total_corr.txt');
n=0;
n1=0;
n2=0;
n3=0;
n4=0;
for i=1:length(Groups)
    if Groups(i,4)%&& Groups(i,4)<=1000
        n=n+1;
        Gs(n,1:9)=Groups(i,:);
    end
    if Groups(i,5)==1
        n1=n1+1;
        Groups1(n1,1:9)=Groups(i,:);
    elseif Groups(i,5)==2
        n2=n2+1;
        Groups2(n2,1:9)=Groups(i,:);
    elseif Groups(i,5)==3
        n3=n3+1;
```

```
        Groups3(n3,1:9)=Groups(i,:);
    elseif Groups(i,5)==4
        n4=n4+1;
        Groups4(n4,1:9)=Groups(i,:);
    end
end
[n n1 n2 n3 n4]
[mean(Groups1(:,3)) mean(Groups1(:,4)) median(Groups1(:,3)) median(Groups1(:,4))]
[mean(Groups2(:,3)) mean(Groups2(:,4)) median(Groups2(:,3)) median(Groups2(:,4))]
[mean(Groups3(:,3)) mean(Groups3(:,4)) median(Groups3(:,3)) median(Groups3(:,4))]
[mean(Groups4(:,3)) mean(Groups4(:,4)) median(Groups4(:,3)) median(Groups4(:,4))]

n41=0;
for i=1:length(Groups4)
    if Groups4(i,4)<3000
        n41=n41+1;
        Groups41(n41,1:9)=Groups4(i,:);
    end
end
n41
[mean(Groups41(:,3)) mean(Groups41(:,4)) median(Groups41(:,3))
median(Groups41(:,4))]

%% Histogram and plot of members distribution
a=min(Groups1(:,3));
b=max(Groups1(:,3));
edges=a:b;
[nn,xout]=hist(Groups1(:,3),edges);
nn1=[nn/(sum(nn))];
%bar(edges,nn1)
%hist(Groups1(:,3),edges)
%hist(edges,nn/n1)
%hist(Groups2(:,3))
%break
n41=0;
nn=(3:10)';
m=0;
for j=1:length(nn)
    for i=1:length(Groups2)
        if Groups2(i,3)==nn(j,1)
            n41=n41+1;
        end
    end
end
```

```
end
nm(j,1)=nn(j,1);
nm(j,2)=n41;
n41=0;
end
mm=[(nm(:,2)/n1)*100];
%scatter(nn,mm)

%% Histogram and plot of size distribution
a=min(Groups(:,4));
b=max(Groups(:,4));
edges=0:20:1000;
p=0;
for i=1:length(Groups)
    if Groups(i,4)<1000
        p=p+1;
    GroupsTemp(p,1)=Groups(i,4);
    end
end
avg=mean(GroupsTemp(:,1))
std(GroupsTemp(:,1))
hold all
[nn,xout]=hist(GroupsTemp(:,1),edges);
nn1=[nn/(sum(nn))];
bar(edges,nn1)
xlim([0 1000])
title('NGC925 - Size distribution of groups found with size up to 1000 pc')
xlabel('Size of groups (pc)')
ylabel('Number of groups/Total number of groups')
set(gca,'XTick',0:100:1000)
set(gca,'XTickLabel',{'0','100','200','300','400','500','600','700','800',
'900','1000'})
%set(gca,'XTick',600:200:1000)
%set(gca,'XTickLabel',{'600','800','1000'})
%annotate the point (239,45)
%text(45,239,'\leftarrow associations maximum',...
%'Horizontalalignment','left')
%legend('Total number of groups','Groups up to 30pc',
'Groups from 30 to 100pc','Groups from 100 to 1000 pc',1)

toc
```

## IX ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

```
tic
```

```
clear
```

```
%%
```

```
cl1=dlmread('M33uP1c1_014pc.dat');  
as1=dlmread('M33uP1f_014pc.dat');  
ag1=dlmread('M33uP1f2_014pc.dat');  
%co1=dlmread('M33uP1f3_014pc.dat');sizeco=size(co1)  
%sco1=dlmread('M33uP1f4_014pc.dat')
```

```
ds1=[size(cl1) size(as1) size(ag1) 0 0]  
%break
```

```
cl2=dlmread('M33uP1c1_041pc.dat');sizecl=size(cl2);  
as2=dlmread('M33uP1f_041pc.dat');sizeas=size(as2);  
ag2=dlmread('M33uP1f2_041pc.dat');sizeag=size(ag2);  
co2=dlmread('M33uP1f3_041pc.dat');sizeco=size(co2);  
%sco2=dlmread('M33uP1f4_041pc.dat');sizesco=size(sco2)  
ds2=[size(cl2) size(as2) size(ag2) size(co2) 0]
```

```
cl3=dlmread('M33uP1c1_076pc.dat');sizecl=size(cl3);  
as3=dlmread('M33uP1f_076pc.dat');sizeas=size(as3);  
ag3=dlmread('M33uP1f2_076pc.dat');sizeag=size(ag3);  
co3=dlmread('M33uP1f3_076pc.dat');sizeco=size(co3);  
sco3=dlmread('M33uP1f4_076pc.dat');sizesco=size(sco3);  
ds3=[size(cl3) size(as3) size(ag3) size(co3) size(sco3)]
```

```
cl4=dlmread('M33uP1c1_135pc.dat');sizecl=size(cl4);  
as4=dlmread('M33uP1f_135pc.dat');sizeas=size(as4);  
ag4=dlmread('M33uP1f2_135pc.dat');sizeag=size(ag4);  
co4=dlmread('M33uP1f3_135pc.dat');sizeco=size(co4);  
sco4=dlmread('M33uP1f4_135pc.dat');sizesco=size(sco4);  
ds4=[size(cl4) size(as4) size(ag4) size(co4) size(sco4)]
```

```
cl5=dlmread('M33uP1c1_161pc.dat');sizecl=size(cl5);  
as5=dlmread('M33uP1f_161pc.dat');sizeas=size(as5);  
ag5=dlmread('M33uP1f2_161pc.dat');sizeag=size(ag5);  
co5=dlmread('M33uP1f3_161pc.dat');sizeco=size(co5);
```

```
sco5=dlmread('M33uP1f4_161pc.dat');sizensco=size(sco5);  
ds5=[size(c15) size(as5) size(ag5) size(co5) size(sco5)]
```

```
toc
```



## X ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

```
PRO Hierarchical_4ds_SMCrvs

; all groups coloured according to size

set_plot,'win' & device,decomposed=0 & loadct,13 & !p.multi=[0,1,1]

##### LOAD AND READ NGCM31 DATA MATRIX
;readcol, 'petrosM31.txt', xcenter,ycenter,major,minor,angle,
format='(d12.7,d12.7,d12.7,d12.7,d12.7)'
;readcol,'bright_stars.dat',rafofb,decfofb,format='(d12.7,d12.7)'
;eadcol, 'M31BianchiOBAreas.txt', x,y,format='(d12.7,d12.7)'
readcol,'MatrixSMCrvs.dat',rafof,decfof,a1,a2,a3,
format='(d12.7,d12.7,d12.7,d12.7)'
ps_begin,'SMC_RVSThick.ps'

LOADCT, 13
MAP_SET, -70., 50., /HAMMER, /GRID, /ISOTROPIC, LIMIT=[-80., -9., -60., 107.],
/REVERSE, $/NoBorder, GLineStyle=0, GLineThick=5, /LABEL, LONLAB=-81.5, LatDel=5.,
LonDel=20., Clip=1, $Position=[0.01,0.01,0.89,0.99], CharSize=1.2, COLOR=0
plot, rafof,decfof,xrange=[max(rafof),min(rafof)],yrange=[min(decfof)-0.01,
max(decfof)+0.01],psym=3,symsi=.1,thick=5,charsize=1.2,charthick=3,
BACKGROUND=255,COLOR=0,xtitle='R.A. (2000.0)', ytitle='Dec. (2000.0)', $
tit='';
;oplot, rs,ds,psym=6,thick=2,color=255
##### PLOT ALL STARS
;loadct,0
;plot,xcenter,ycenter,psym=5,symsi=.1,/iso,/xst,/yst,charsize=1.2,
xtitle='R.A. (2000.0)',
ytitle='Dec.(2000.0)', $
;plot,rafof,decfof,xrange=[max(rafof),min(rafof)],
yrange=[min(decfof)-0.01,max(decfof)+0.01],psym=3,
symsi=.1,thick=5,/iso,/xst,/yst,charsize=1.2,
charthick=3,BACKGROUND=255,COLOR=0, xtitle='R.A. (2000.0)', ytitle='Dec. (2000.0)',
$;tit='SMC';, ds=45/69/93/130 pc !C associations (size=30-116pc, blue)
!C aggregates(size=116-300pc, cyan)
!C complexes (size=300-1160pc, green) !C supercomplexes (size=above 1160pc, red)'

;loadct,13
;oplot,x,y,psym=7,symsi=1,thick=5,COLOR=255

;stop
```

```
##### WE DONT NEED THE ELLIPSES FOR NOW
;for i=0,n_elements(angle)-1 do begin &
;TVELLIPSE,major(i)/2.,minor(i)/2.,xcenter(i),ycenter(i),angle(i),/DATA &
;endfor

;*****
; CLUSTERS

n1=6 & n2=103 ;clusters

OPENR, u, 'SMCrvsuP1cl_021pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj99
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
&www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj99: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))],linestyle=1,thick=5,
&color=240
plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))],/cont,linestyle=1,
&thick=5,color=240 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

##### AND Associations
n1=20 & n2=49
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f_021pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj93
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj93: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=2,thick=5,
&color=50
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,linestyle=2,
&thick=5,color=50;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Aggregates

n1=78 & n2=3
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f2_021pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
&r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
```

```
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj92
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj92: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))],linestyle=3,
&thick=5,color=150
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))],/cont,linestyle=3,
&thick=5,color=150;
&endfor & endfor
endifor & endfor
```

```
***** 1ST DS : 021pc
```

```
n1=4 & n2=35
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1c1_034pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj98
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
```

```
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj98:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=1,
&thick=5,color=240
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=240 ;
&endfor & endfor
endifor & endfor
```

```
##### LOAD TABLES FOR Associations
```

```
;n1=10 & n2=183 ; OB 59pc
```

```
;n1=8 & n2=172 ; max ds 63 pc
```

```
n1=13 & n2=164
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f_034pc.dat', /GET_LUN
```

```
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
```

```
& r=dblarr(n2)
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
```

```
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
```

```
& good1=good1-1
```

```
loadct,13
```

```
best1=dblarr(1) & best2=best1
```

```
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
```

```
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj97
```

```
& endif
```

```
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
```

```
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
```

```
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
```

```
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
```

```
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
```

```
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
```

```
& endif & nextj97:
```

```
& endfor & endfor
```

```
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
```

```
plots, [rafof(good1(best1(g))), decfof(good1(best1(g)))] , linestyle=1,
&thick=5, color=50
&plots, [rafof(good1(best2(g))), decfof(good1(best2(g)))] , /cont,
&linestyle=1, thick=5, color=50 ;
& endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Aggregates
n1=48 & n2=25

OPENR, u, 'SMCrvsuP1f2_034pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj1
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj1:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots, [rafof(good1(best1(g))), decfof(good1(best1(g)))] , linestyle=2,
&thick=5, color=200
&plots, [rafof(good1(best2(g))), decfof(good1(best2(g)))] , /cont,
&linestyle=2, thick=5, color=200 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Complexes

n1=238 & n2=1
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f3_034pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj2
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj2: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=3,
&thick=5,color=150
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=3,thick=5,color=150 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor
```

```
;***** 2ND DS : 069pc
```

```
n1=4 & n2=15
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1c1_046pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
```

```
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj96
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj96: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=1,
&thick=5,color=240
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=240 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor
```

```
##### LOAD TABLES FOR Associations
```

```
n1=8 & n2=123
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f_046pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj3
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
```



```
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj3: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=1,
&thick=5,color=50
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=50 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor
```

```
;##### AND Aggregates
n1=43 & n2=57
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f2_046pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj6
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj6:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=2,
&thick=5,color=200
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=2,thick=5,color=200 ;
&endfor & endfor
```

```
endfor & endfor

;##### AND Complexes

n1=113 & n2=5
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f3_046pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj9
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj9:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))],linestyle=3,
&thick=5,color=150
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))],/cont,
&linestyle=3,thick=5,color=150 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Supercomplexes
n1=364 & n2=1
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f4_046pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj12
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj12:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=4,
&thick=5,color=255
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=4,thick=5,color=255 ;
&endfor & endfor
endifor & endfor
```

```
;***** 3RD DS : 093pc
```

```
n1=4 & n2=4
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1c1_054pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
```

```
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj95
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj95:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=1,
&thick=5,color=240
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=240 ;
&endfor & endfor
endifor & endfor
```

```
##### LOAD TABLES FOR Associations
```

```
n1=9 & n2=69
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f_054pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj4
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
```

```
& endif & nextj4:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots, [rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=1,
&thick=5,color=50
&plots, [rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=50 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Aggregates
n1=25 & n2=38

OPENR, u, 'SMCrvsuP1f2_054pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj7
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj7:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots, [rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=2,
&thick=5,color=200
&plots, [rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=2,thick=5,color=200 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor
```

```
##### AND Complexes
```

```
n1=167 & n2=17
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f3_054pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj10
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj10:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=3,
&thick=5,color=150
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=3,thick=5,color=150 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor
```

```
##### AND Supercomplexes
```

```
n1=433 & n2=2
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f4_054pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
```

```
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj13
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj13:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=4,
&thick=5,color=255
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=4,thick=5,color=255 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor
```

```
;***** 4TH DS : 130pc
```

```
n1=4 & n2=2
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1c1_073pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u
```

```
for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj94
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
```

```
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj94:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g))),linestyle=1,
&thick=5,color=240
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g))),/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=240 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### LOAD TABLES FOR Associations

n1=9 & n2=38

OPENR, u, 'SMCrvsuP1f_073pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj5
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj5:
& endfor & endfor
```



```
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=1,
&thick=5,color=50
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=1,thick=5,color=50 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Aggregates
n1=15 & n2=33

OPENR, u, 'SMCrvsuP1f2_073pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj8
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj8: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=2,
&thick=5,color=200
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=2,thick=5,color=200 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Complexes

n1=69 & n2=4
```

```
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f3_073pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj11
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj11:
& endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=3,
&thick=5,color=150
&plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=3,thick=5,color=150 ;
&endfor & endfor
endfor & endfor

;##### AND Supercomplexes
n1=1225 & n2=3
OPENR, u, 'SMCrvsuP1f4_073pc.dat', /GET_LUN
fof=dblarr(n1,n2) & fof_temp=dblarr(n1) & xc=dblarr(n2) & yc=dblarr(n2)
& r=dblarr(n2)
for i=0L,n2-1 do begin & READF,u,fof_temp & fof(*,i)=fof_temp & endfor
close,u & free_lun,u

for i=0L,n2-1 do begin & good1=fof(*,i) & good1=good1(where(good1 gt 0))
& good1=good1-1
loadct,13
best1=dblarr(1) & best2=best1
```

```
for k=0,n_elements(good1)-1 do begin & for j=0,n_elements(good1)-1 do begin
if k eq j or rafof(good1(k)) eq rafof(good1(j)) then begin & goto,nextj14
& endif
alpha=(decfof(good1(k))-decfof(good1(j)))/(rafof(good1(k))-rafof(good1(j)))
& beta=decfof(good1(k))-alpha*rafof(good1(k))
y=where(good1 ne good1(k) and good1 ne good1(j))
ww=where(decfof(good1(y)) lt (alpha*rafof(good1(y))+beta),ndown)
& www=where(decfof(good1(y)) gt (alpha*rafof(good1(y))+beta),nup)
if nup eq 0 or ndown eq 0 then begin & best1=[best1,k] & best2=[best2,j]
& endif & nextj14: & endfor & endfor
for g=0,n_elements(best1)-1 do begin
plots,[rafof(good1(best1(g))),decfof(good1(best1(g)))] ,linestyle=4,
&thick=5,color=255
& plots,[rafof(good1(best2(g))),decfof(good1(best2(g)))] ,/cont,
&linestyle=4,thick=5,color=255 ;
& endfor & endfor
endfor & endfor

;image = TVRD(TRUE=1);,BACKGROUND=255,thick=5,color=0
;WRITE_JPEG,'hierSMCrvs.jpeg',image, TRUE=1,QUALITY=073
;Image=TVRD()
;WRITE_JPEG, 'hierSMCrvs.jpg', image, TRUE=3, /ORDER,QUALITY=073
ps_end

stop
end
```



```
i=smctemp(:,5);
v=smctemp(:,4);
vi=(v-i)-ebv;
Mv=v-dm;
SMC=[ra,dec,v,vi];
hold all
scatter(vi,v,'.k')
set(gca,'YDir','reverse')
%break
%% Plot LF of whole star catalogue
%hold all
%edges=-9:1:-3;
%[n,xout]=hist(M31(:,3)-dm,edges);
%break
%a=histc(M31(:,3)-dm,edges)
%plot(xout,n,'LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k',
'MarkerFaceColor',[.49 1 .63],
'MarkerSize',10)

%% Plot CMD of sample
%hold all
%scatter(bv,Mv,'.', 'k')
%scatter(BV,Mv,'.', 'k')
%scatter(M31mas(:,4)+ebv,M31mas(:,3)-dm,'+', 'b')
%scatter(M31cl(:,2),M31cl(:,1)-dm,'+', 'm')
%scatter(M31as(:,2),M31as(:,1)-dm,'*', 'b')
%scatter(M31ag(:,2),M31ag(:,1)-dm,'o', 'y')
%scatter(M31co(:,2),M31co(:,1)-dm,'d', 'g')
%scatter(M31sco(:,2),M31sco(:,1)-dm,'.', 'r')

%%scatter(BV1,V1,'.', 'r')
%set(gca,'YDir','reverse')
%plot(0.23,Vc-dm,'m','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k',
'MarkerFaceColor',[.49 1 .63],
'MarkerSize',10)
%xlim([-0.5 0.5])

%% plot isochrones

% age=log(t/yr)
% t=10^age
```

```
% in Myrs
%years=[10 50 100 150]';
minage=min(A(:,1));
maxage=max(A(:,1));

%available ages
k=0;
for i=minage:0.05:maxage
    k=k+1;
    years(k,1)=(10^i);
    Agespan(k,1)=i;
end

%break

n=0;
l=0;
k=0;
m=0;
Age=[7]'; %6.6 7.0 7.7 8 8.1 8.2
for i=1:length(Age)%7.76:0.05:9
    row=find(A(:,1)==Age(i,1));
    k=k+1;
    for j=1:length(row(:,1))
        %break
        if A(row(j,1),1)==Age(i,1)
            l=l+1;
            n=n+1;
            Vall(n,1)=A(row(j,1),10);
            Iall(n,1)=A(row(j,1),12);
            VIall=Vall-Iall;
            %Mall(n,1)=A(row(j,1),11);
        end
    end

end

m=0;
Check(k,1)=n;
Check(k,2)=i;
hold all
plot(VIall,Vall+dm,'y','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k',
'MarkerFaceColor',
[.49 1 .63],'MarkerSize',10);
%xlim([-0.5 2])
```

```
%ylim([9 20])
xlabel('V-I')
ylabel('V')
set(gca,'YDir','reverse')
xlim([-1 1])
ylim([9 20])
%text(0.2, -8.9, '4 Myr','Color','b');
%text(0.05, -7.9, '10 Myr','Color','g');
%text(0.3, -3.5, '63 Myr','Color','r');
n=0;
row=0;

end
%scatter(Mx,My);

toc
```

## XII ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΜΕΓΕΘΟΣ G

```
tic
%%script to find the V limit for G=20 and VI=1
clear

%% Selection of coefficients

%% V-I Johnson-Cousins
G=15;
VI=[-0.5:0.1:2]';
%a=-0.0257;b=-0.0924;c=-0.1623;d=0.0090;
%% B-V Johnson-Cousins
a=-0.0424;b=-0.0851;c=-0.3348;d=0.0205;
for i=1:16;
C1=VI(i);
C2=VI(i)^2;
C3=VI(i)^3;
%% B-V Johnson-Cousins
%a=-0.0424;b=-0.0851;c=-0.3348;d=0.0205;
%C1=BV;
%for i=1:stars
%C2(i,1)=BV(i,1)^2;
%C3(i,1)=BV(i,1)^3;
%end

%% Transformation
GV=a+b*C1+c*C2+d*C3;

%G=GV+V;
V(i)=G-GV;
end

V

toc
```



### XIII CROWDING

```
tic

clear

dm=18.5; % http://iopscience.iop.org/1538-3881/135/1/112/fulltext/
%%%%%
%[X,Y,V,bv]

%A=dlmread('M33gaia.dat');
%B=dlmread('smccat.dat');
%B=dlmread('SMCrvspaperII.dat');
B=dlmread('SMCrvsNEWpaperII.dat');
%B=dlmread('LMCrvsNEW.dat');
%B=dlmread('lmccat.dat');
%figure(9)
%hold all
%scatter(B(:,4),B(:,6),'.','r')
%set(gca,'YDir','reverse')
%xlim([-0.5 2])
%break
X=B(:,1);
Y=B(:,2);

%row=find((B(:,1)>=-73) & (Cat(:,2)<=-72));

%V=B(:,4);
%Mv=V-dm;
%B(:,8)=Mv;

xmin=min(X);
xmax=max(X);
ymin=min(Y);
ymax=max(Y);

%V young limit and VI young limit
Vyo=15;
VIyo=0;
Mvyo=Vyo-dm;
% Number of squares
sq=100;
nmap=100;
```

```
% Divisions per axis
d=sqrt(sq);
% X and Y range
xrange=xmax-xmin;
yrange=ymin-ymin;
% X and Y range per square
%xsq=xrange/sq;
%ysq=yrange/sq;

%Asq=(xrange/nmap)*(yrange/nmap);

nm=0;
ysq=347.59/3600;%76;
xsq=265.05/3600;%364;

Asq=xsq*ysq;
pixH=xrange/xsq;
pixV=yrange/ysq;
xb=linspace(xmin,xmax,pixH);
yb=linspace(ymin,ymin,pixV);
%break
for i=0:(pixV-1)
    for j=0:(pixH-1)
ny=i;
nx=j;
y1=ymin+ny*ysq; y2=ymin+(ny+1)*ysq;
x1=xmin+nx*xsq; x2=xmin+(nx+1)*xsq;
nm=nm+1;
row=find((B(:,1))>=x1) & (B(:,1)<=x2) & (B(:,2)<=y2) & (B(:,2)>=y1));
Coord(nm,1)=(x1+x2)/2;
Coord(nm,2)=(y1+y2)/2;
Map(i+1,j+1)=length(row(:,1));
    end
end
figure(1)
DensM=Map./Asq;
%Map=Asq.*DensM;
%contour(xb,yb,Map);set(gca,'XDir','reverse')
contour(xb,yb,DensM);set(gca,'XDir','reverse')

% make plot of n/ntot vs density

% reshape DensM matrix into sorted vector
```

```
A1=reshape(DensM,1,[]);
A=sort(A1);
[n xout]=hist(A);
Ntot=sum(n);
figure(2)
rvspct=bar(xout,n/Ntot);
set(rvspct,'LineWidth',2,'EdgeColor','blue');
xlabel('Surface density (objects/deg^2)')
ylabel('N/N_t_o_t')
toc
break
xd = X;
yd = Y;

%n=49;
xi = linspace(min(xd(:)),max(xd(:)),nmap);
yi = linspace(min(yd(:)),max(yd(:)),nmap);

xr = interp1(xi,1:numel(xi),xd,'nearest');
yr = interp1(yi,1:numel(yi),yd,'nearest');
%yrr=fliplr(yr);

z = accumarray([xr' yr'], 1, [nmap nmap]);

%figure(2)
%surf(z)
Dens=z./Asq;
DensM=Map./Asq;
%pcolor(Dens)
%set(gca,'XDir','reverse')
%xlabel('square')
%ylabel('square')
%title('LMC')
toc
%break

%% Find Young Stars
rowbr=find((B(:,4)<Vyo));% & (B(:,4)<VIyo));
Bbr=B(rowbr,:);

xdbr = Bbr(:,1);
ydbr = Bbr(:,2);

%n=49;
```

```
xibr = linspace(min(xdbr(:)),max(xdbr(:)),nmap);
yibr = linspace(min(ydbr(:)),max(ydbr(:)),nmap);

xrbr = interp1(xibr,1:numel(xibr),xdbr,'nearest');
yrbr = interp1(yibr,1:numel(yibr),ydbr,'nearest');
%yrr=fliplr(yr);

zbr = accumarray([xrbr' yrbr'], 1, [nmap nmap]);

figure(3)
%surf(zbr)
pcolor(zbr)
%set(gca,'XDir','reverse')
xlabel('square')
ylabel('square')
title('LMC')

for i=1:nmap
    for j=1:nmap

        D(i*j)=z(j,i);
    end
end

nt=(1:(nmap)^2)';
figure(4)
plot(nt,D)
xlabel('square')
ylabel('stars')
title('LMC')

for i=1:nmap
    for j=1:nmap

        S(i*j)=zbr(j,i);
    end
end

figure(5)
plot(nt,S)
xlabel('square')
ylabel('stars')
```

```
title('LMC')
```

```
figure(6)
hold all;
plot(nt,D,'b')
plot(nt,S,'r')
xlabel('square')
ylabel('stars')
title('LMC')
```

```
figure(7);scatter(S,D)
xlabel('Young stars/square')
ylabel('Stars/square')
title('LMC')
```

```
toc
```

#### XIV ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΜΗΝΗ

```
%% This is the original txt file and the individual columns and transformed
%% in Ngc925 file ignoring the Index data
[RA,DEC,dist]=textread('open_clusters2.txt','%f %f %f');
[RAG,DECG,RA1,DEC1]=textread('open_clusters_galactic.txt','%f %f %f %f');
index(length(RA),1)=zeros;
for i=1:length(RA)
index(i,1)=i;
end
%polar(RAG,dist,'o')
%break
n=0;
OC1=[index,RA,DEC,RAG,dist];
for i=1:length(RA);
    if (OC1(i,4)>0)
        n=n+1;
        OC(n,1)=n;
        OC(n,2:6)=OC1(i,1:5);

    end
end
n

%Matrix(length(OC),1:6)=zeros;
%Matrix(:,3)=OC(:,1);
%Matrix(:,1:2)=OC(:,3:4);
%Matrix(:,6)=OC(:,5);
%dlmwrite('OC.dat',OC)
%dlmwrite('Matrix_OC.dat',Matrix)

%% This script will calculate the distances of all stars after the first
%% search.

OC=dlmread('OC.dat');
strs=length(OC(:,1));
% make rho,phi,theta values
% transform degrees to rad
rad=pi/180;
theta=OC(:,3)*rad;
phi=OC(:,4)*rad;
rho=OC(:,5);
break
```

```
% make x,y,z values
for i=1:strs
x(i,1)=rho(i)*sin(theta(i))*cos(phi(i));
y(i,1)=rho(i)*sin(theta(i))*sin(phi(i));
z(i,1)=rho(i)*cos(theta(i));
end
Cart_OC=[x y z];
scatter3(theta,phi,rho)
%break
%dlmwrite('cartesian_OC1.dat',Cart_OC,'precision','%f');
scatter3(x,y,z)
break
Ds=zeros(strs,strs);
for i=1:strs;
    for j=(i+1):strs;
%Ds(i,j)=sqrt((Mx(i)-Mx(j))^2+(My(i)-My(j))^2);
Ds(i,j)=sqrt((x(i)-x(j))^2+(y(i)-y(j))^2+(z(i)-z(j))^2);
Ds(j,i)=Ds(i,j);
    end
end

dlmwrite('dist_OC1.dat',Ds,'precision','%f');

tic
%% to n5 den engine akoma
clear
format long e

%OC=dlmread('OCbrightstars.dat');
%Matrix=dlmread('Matrix_OCbrightstars.dat');
%strs=length(OC);
%depth=4;
%D(200,1:depth+1)=zeros;
%RE(200,5)=zeros;
%Results(200,5)=zeros;
%Values(200,9)=zeros;
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
sd2=0;
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2);
%dlmwrite('results_925bs_n5DsC.dat',RE);
%dlmwrite('values925bsn5dsloop.dat',Values);
%L(strs,strs)=zeros;
%L1(strs,strs)=zeros;
%% lines needed
```

```
%ValuesOC(200,5)=zeros;
%dlmwrite('OCValues1.dat',ValuesOC);
%GroupSize(200,250)=zeros;
%dlmwrite('OCGroupSize.dat',GroupSize);
%%
%ValuesOB(200,6)=zeros;
%dlmwrite('OCValuesOB.dat',ValuesOB);
%Index(200,2)=zeros;
%GroupSize(200,250)=zeros;
%dlmwrite('OCGroupSize.dat',GroupSize);
%dlmwrite('925Index.dat',Index);

for dsr1=0.120%:0.010:2.000; %% 20c 40m 63 b, 84 y, 104 g, 140 r 190 k
%%
%% 1 LOADING OF DATA FILES
%% the files read below have been prepared by other relative to each
%% process scripts.

%% Bresolin criteria
OC=dlmread('OC.dat');
Matrix=dlmread('Matrix_OC.dat');
Ds=dlmread('dist_OC1.dat');
%% for bright stars (mikrh feta)
%OC=dlmread('OC.dat');
%Matrix=dlmread('Matrix_OC.dat');
%Ds=dlmread('dist_925.dat');
GroupSize=dlmread('OCGroupSize.dat');

ValuesOB=dlmread('OCValuesOB.dat');
ValuesOC=dlmread('OCValues1.dat');
%Index=dlmread('OCIndex.dat');
%RE=dlmread('results_OCbs_n5DsC.dat');
sd2=dlmread('res_sd2.dat');
%D=dlmread('Depthn5bs.dat');
%Values=dlmread('valuesOCbsn5dsloop.dat');
strs=length(OC);
Nmin=3;
%L=dlmread('OCIndexList.dat');
%dsr=L(in,1);
dsr=dsr1*(10^3);
depth=4;
%% 2 PREPARATION OF GLOBAL VARIABLES AND DATA MATRICES

Ras=OC(1:strs,1);
```



```
Decs=OC(1:strs,2);
```

```
L(strs,strs)=zeros;  
L1(strs,strs)=zeros;
```

```
%% the commands below are used in order to identify the region where the  
%% OC group members lie within and print the min and max values of RA and Dec
```

```
m=0;  
k=0;
```

```
n=0;  
asi=0;  
r=0;  
s=0;  
v=0;  
asp=0;  
EL1=0;  
h=0;  
z=0;  
u=0;  
t=0;
```

```
%% outer loop. friends of star i  
%% friends of i are recognised and stored into a matrix L1.  
for i=1:strs  
    f=0;  
    n=0;  
    m=0;  
    f=0;  
    if Matrix(i,5)==0;  
        %Mi=Matrix(i,5);  
        for j=1:strs;  
            if (j~=i) && (Ds(i,j)<=dsr) && (Matrix(j,5)==0);  
                Dj=Ds(i,j);  
                %Mj=Matrix(j,5);  
                m=m+1;  
                L(i,1)=i;  
                L(i,m+1) = j;
```

```

        end
    end
    f=m+1 ;
end

%% if friends of i are more than Nmin
%% then we proceed to the next loop, the 1st inner loop
%% else the i star and its friends are returned in the Matrix
    if f>=Nmin;

        asi=asi+1;

        L1(asi,1:f)=L(i,1:f);
        Matrix(L(i,1:f),5)=1;
        Matrix(L(i,1:f),4)=asi;

%% inner loop_1, friends of friends of i
%% here the firends of i are going through the fof process as i and their
%% friends are also stored in L1 in the same line designating the
%% association index number
        for p=2:f;
            if Matrix(L1(asi,p),4)==asi;
                for q=1:strs;
                    if Matrix(q,5)==0;
                        if (q~=L1(asi,p));
                            if q~=L1(1:asi,1:f);
                                if Ds(L1(asi,p),q)<=dsr;
                                    %EL1=L1(asi,p);
                                    %q;
                                    n=n+1;
                                    L1(asi,f+n)= q;
                                    %Matrix(L1(asi,p),5)=1
                                    Matrix(q,5)=1;
                                    %Matrix(L1(asi,p),4)=asi;
                                    Matrix(q,4)=asi;
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
n ;

```

```

%% inner loop_2, friends of friends of inner loop_1
%% second inner loop where the 2nd order of i star friends are going into
%% fof script
for h=1:n;
    if Matrix(L1(asi,f+h),4)==asi;
        for z=1:strs;
            if Matrix(z,5)==0;
                if (z~=L1(asi,f+h));
                    if z~=L1(1:asi,1:f+n);
                        if Ds(L1(asi,f+h),z)<=dsr;
                            %
                            %
                            h;
                            z;
                            t=t+1;
                            L1(asi,f+n+t)= z;
                            Matrix(z,5)=1;
                            Matrix(z,4)=asi;
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

%% inner loop_3, friends of friends of inner loop_2
%% here the 3rd order of i star friends (i.e. the friends of 2nd order)
%% through fof
for v=1:t;
    if Matrix(L1(asi,f+n+v),4)==asi;
        for r=1:strs;
            if r~=L1(1:asi,1:f+n+t);
                if Matrix(r,5)==0;
                    if Ds(L1(asi,f+n+v),r)<=dsr;
                        u=u+1;
                        L1(asi,f+n+t+u)=r;
                        Matrix(r,5)=1;
                        Matrix(r,4)=asi;
                    end
                    %members=f+n+t+u
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```
        end
end
%% this is the end of the main fof process

%% the matrix members is used to keep information for the total number of
%% members for each asi (it has to be updated after the corrections
%% process!!!)
    Members(asi,1)=f+n+t+u;

    Matrix;
        t=0;
        z=0;
        v=0;
        f=0;
        n=0;
        m=0;
        n=0;
        u=0;

%% the asp var is used in order to keep the asi number stored
%% in case f<Nmin, so in the
%% next iteration where f>Nmin the correct value will be used
        asp=asi;

    elseif f<Nmin;
        asi=asp;
        m=0;
        v=0;
        f=0;
        n=0;

    end

end

end

%% small loop to identify isolated stars
iso=0;
for i=1:strs;
    if Matrix(i,5)==0;
        iso=iso+1;
        I(iso,1)=Matrix(i,3);
    end
end
```

```
end

%% count of asi's population and if asi=0 the appropriate message is
%% printed and the process stops
stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;
P(1:asi,1:2)=zeros;
P1(1:asi,1:strs)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            P1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end
    P(i,1)=i;
    P(i,2)=population;
    %stars=population;
    population=0;
    stars=popu;
end

if asi>0;
    P;
    stars;
    isolated=strs-stars;
    %[dsr Nmin asi];
elseif asi==0;
    sprintf('%s','There are no valid associations for the selected ds');
    [dsr Nmin 0];
    sd2=sd2+1;
    RE(sd2,1)=dsr;
    RE(sd2,2)=Nmin;
    RE(sd2,3)=asi;
    RE(sd2,4)=0;
    RE(sd2,5)=0;
    %dlmwrite('res_sdOCbs_n5DsC.dat',sd2);
    %dlmwrite('results_OCbs_n5DsC.dat',RE);
    D(sd2,1)=dsr;
```

```
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
%ResultsOC=[dsr Nmin 0 0 0];
%dlmwrite('ResultsOC.dat',ResultsOC,'precision','%f')
ValuesOB(sd2,1:6)=[dsr Nmin 0 0 0 0];
dlmwrite('OCValuesOBn3_2.dat',ValuesOB,'precision','%f');
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
continue
end

%% correction phase, first checking if there are any friends between the
%% asi members already found

%% 4 LOOPS TO IDENTIFY POSSIBLE MISTAKES IN FOF

%% 4.1 Loop checking already found members
wlen=strs-stars;
if wlen==0;
    stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;

P3(1:asi,1:2)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            uP1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end

    end
    P3(i,1)=i;
    P3(i,2)=population;
    stars=popu;
    population=0;

end
%Matrix;
asi_new=0;
for i=1:asi;
    if P3(i,2)>0;
        asi_new=asi_new+1;
        uP(asi_new,1)=asi_new;
    end
end
```

```
        uP(asi_new,2)=P3(i,2);

    end
end
% sprintf('%s','updated P1 and P');
% uP1;
% uP;
%ustars=sum(uP(1:asi_new,2))
stars;
isolated=strs-stars;
%[dsr Nmin asi_new stars isolated]
sd2=sd2+1;
RE(sd2,1)=dsr;
RE(sd2,2)=Nmin;
RE(sd2,3)=asi_new;
RE(sd2,4)=stars;
RE(sd2,5)=isolated;
%dlmwrite('res_sd0Cbs_n5DsC.dat',sd2);
%dlmwrite('results_0Cbs_n5DsC.dat',RE);
g=0;
for i=1:depth;
    for j=1:asi_new;
        if uP(j,2)==Nmin+i;
            g=g+1;
        end
        D(sd2,1)=dsr;
        D(sd2,i+1)=g;
    end
end
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
Results0C=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
%dlmwrite('Results0Cn3.dat',Results0C,'precision','%f')

M=max(uP(1:asi_new,2));
%% Size of groups

% creating matrices to support needed data
DsCt(M,M,asi_new)=zeros;
Mdt(asi_new,M)=zeros;
m=0;

% loop to store distances of all members from each other in DsCt
for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
```

```
        for k=j+1:uP(i,2)
            m=m+1;
            DsCt(j,k,i)=Ds(uP1(i,j),uP1(i,k));
        end
        m=0;
    end
end

% selecting max distance as size for each group
Maxdt(asi_new,M)=zeros;
for i=1:asi_new
    for j=1:M
        Maxdt(i,j)=max(DsCt(1:M,j,i));
    end
end

for i=1:asi_new
    Mdt(i,1)=i;
    Mdt(i,2)=max(Maxdt(i,:));
end

%% Size filtering of groups
% in Mdt a new column is added to be used for filtering
Mdt(1:asi_new,3)=zeros;
n=0;
SizeFilter=0;
for i=1:asi_new
    if Mdt(i,2)>30 && Mdt(i,2)<120
        Mdt(i,3)=1;
        n=n+1;
        % matrix to contain groups satisfying filtering criteria
        SizeFilter(n,1)=Mdt(i,1);
    end
end
AveDiamOB=mean(Mdt(:,2));
MedDiamOB=median(Mdt(:,2));
%% Create uP1 file afte filtering
uP1f(length(SizeFilter),M)=zeros;

if n>0
    for i=1:size(SizeFilter)
```



```
        uP1f(i,:)=uP1(SizeFilter(i,1),:);
end
N=n;
else N=0;
end
%dlmwrite('3351uP1f_068_30120.dat',uP1f);

ValuesOB(sd2,1:5)=[dsr Nmin N 0 0];
dlmwrite('OCValuesOBn3.dat',ValuesOB,'precision','%f');
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
continue

elseif wlen>0;

WR(wlen,5)=zeros;
w=0;
for i=1:asi;
for j=1:Members(i);
for k=i+1:asi;
for k1=1:Members(k);
if (i~=k) && (P1(i,j)~=P1(k,k1)) && (P1(i,j)>0) && (P1(k,k1)>0)
&& (Matrix(P1(i,j),4)~=Matrix(P1(k,k1),4));
if Ds(P1(i,j),P1(k,k1))<=dsr;
w=w+1;
WR(w,1)=P1(i,j);
WR(w,2)=P1(k,k1);
WR(w,3)=Ds(P1(i,j),P1(k,k1));
WR(w,4)=Matrix(P1(i,j),4);
WR(w,5)=Matrix(P1(k,k1),4);
if WR(w,4)<WR(w,5)
[ row col]=(find(Matrix(:,4)==Matrix(P1(k,k1),4)));
Matrix(row(1:length(row)),4)=Matrix(P1(i,j),4);
elseif WR(w,4)>WR(w,5)
[ row col]=(find(Matrix(:,4)==Matrix(P1(i,j),4)));
Matrix(row(1:length(row)),4)=Matrix(P1(k,k1),4);
end
end
end
end
end
end
end
end
if w==0;
    sprintf('%s','There are no lost friends in found members');
```

```
elseif w>0;
    sprintf('%s','Lost friends in found members');
    WR(1:w,1:3);
% apply corrections in Matrix data
    %for i=1:w;
    %WR;
%   Matrix(WR(i,2),4)=Matrix(WR(i,1),4)
%Matrix(P1(WR(i,5),1:P(WR(i,5),2)),4)=Matrix(WR(i,1),4);
%isa_new=isa-1

    %break
    %end
% WR;
end
end

%% this is for the isolated stars, doublechecking if we missed something
w1=0;
    for i=1:asi;
        for j=1:strs;
            for k=1:iso;
                if (P1(i,j)>0) && (Matrix(I(k),5)==0) ;%&& (Ds(P1(i,j),I(k))<=dsr);
                    %if Ds(P1(i,j),P1(k,j))<=dsr
                    if Ds(P1(i,j),I(k))<=dsr;
                        w1=w1+1;
                        WR(w+w1,1)=P1(i,j);
                        WR(w+w1,2)=I(k);
                        WR(w+w1,3)=Ds(P1(i,j),I(k));
                        Matrix(I(k),4)=Matrix(P1(i,j),4);
                        Matrix(I(k),5)=1;
                    end
                end
            end
        end
    end

    if w1==0;
        sprintf('%s','There are no lost friends in isolated stars');
    elseif w1>0;
        sprintf('%s','Lost friends in isolated stars');
        WR(w+1:w1,1:3);
    end
end
```

```
stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;
% the uP1 matrix should now be used as Members matrix

%% first loop to construct P3 matrix which holds info
%% on the original asi and its population.
%% so we can identify merged asi's after the correction phase.

P3(asi,2)=zeros;
%uP1(strs,strs)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            %uP1(i,population)=Matrix(j,3);

            end

        end
        P3(i,1)=i;
        P3(i,2)=population;
        stars=popu;
        population=0;

end

%% second loop which uses data from P3 to remove the merged asi's and to
%% make new_asi variable which is the right number of found associations
%% and to make uP matrix as well which gives info on the population of each
%% asi.

%Matrix;
asi_new=0;
UP(asi,3)=zeros;
for i=1:asi;
    if P3(i,2)>0;

        asi_new=asi_new+1;
```

```
        UP(asi_new,1)=asi_new;
        UP(asi_new,2)=P3(i,2);
        UP(asi_new,3)=i;
    end
end

uP(1:asi_new,1:3)=UP(1:asi_new,1:3);

M=max(uP(1:asi_new,2));
population=0;
uP1(asi_new,M)=zeros;

for i=1:asi_new;
    for j=1:strs;
        if uP(i,3)==Matrix(j,4);
            population=population+1;
            uP1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end

    end

    population=0;
end

%% Depth
g=0;
sd2=sd2+1;
%D(1,depth+1)=zeros;
for i=1:depth;
    for j=1:asi_new;
        if uP(j,2)==Nmin+i;
            g=g+1;
        end
        D(sd2,1)=dsr;
        D(sd2,i+2)=g;
    end
end

isolated=strs-stars;

RE(sd2,1)=dsr;
RE(sd2,2)=Nmin;
RE(sd2,3)=asi_new;
```

```
RE(sd2,4)=stars;
RE(sd2,5)=isolated;
dlmwrite('OC1uP1_120.dat',uP1);
dlmwrite('OC1uP_120.dat',uP);
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
%dlmwrite('res_sdOCbs_n5DsC.dat',sd2);
%dlmwrite('results_OCbs_n5DsC.dat',RE);
ResultsOC=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
%dlmwrite('ResultsOCn3.dat',ResultsOC,'precision','%f');

%% 2ND PART (CentreCoords & DsC)

ValuesOC(sd2,1:5)=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
%dlmwrite('OCValues1.dat',ValuesOC,'precision','%f');
%dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
%dlmwrite('OCGroupSize.dat',GroupSize,'precision','%f');

%dlmwrite('valuesOCbsn5dsloop.dat',ResultsOC,'precision','%f');

clear
end

toc

tic
clear

%% 1. Importing and plotting real and random data
%% For Ngc925
%% Real data
RE3=dlmread('valuesOCbsn5dsloop.dat');
OB3=dlmread('OCValues.dat');
RE4=dlmread('values925n4dsloop.dat');
RE5=dlmread('values925n5dsloop.dat');
RE6=dlmread('values925n6dsloop.dat');
RE7=dlmread('values925n7dsloop.dat');

%% Plotting real data - asi vs ds
hold all
a=3;
n=3;
n2=4;
```

```
n3=5;
n4=6;
%scatter(RE3(:,1),RE3(:,a),'b')
scatter(OB3(:,1),OB3(:,n),'c')
%scatter(OB3(:,1),OB3(:,n2),'y')
%scatter(OB3(:,1),OB3(:,n3),'g')
%scatter(OB3(:,1),OB3(:,n4),'r')
%scatter(RE4(:,1),RE4(:,a))
%scatter(RE5(:,1),RE5(:,a))
%scatter(RE6(:,1),RE6(:,a))
%scatter(RE7(:,1),RE7(:,a))
%% Random data
%% 2. Find max asi and respective ds
%% Find max asi (M3) and line (r) of that value for different Nmins
%% Nmin from 3 to 6
%% presentation of whole RE line containing ds value

%defining matrix M&N containing the asi and ds values respectively
NmOB(1,1)=1;
rob=0;
Mob=0;
Nob=0;

%find max ds for OB (30-150pc)
Mob(1,1)=max(OB3(:,3));
rob=find(OB3(:,3)==Mob(1,1));
Nob(1,1)=OB3(max(rob),1);
[Nob Mob]

Nm(1:11,1)=1:11;
r=0;

M(11,1)=zeros;
N(11,1)=zeros;

M(3,1)=max(RE3(:,3));
r=find(RE3(:,3)==M(3,1));
N(3,1)=RE3(max(r),1);

M(4,1)=max(RE4(:,3));
```

```
r=find(RE4(:,3)==M(4,1));
N(4,1)=RE4(max(r),1);

M(5,1)=max(RE5(:,3));
r=find(RE5(:,3)==M(5,1));
N(5,1)=RE5(max(r),1);

M(6,1)=max(RE6(:,3));
r=find(RE6(:,3)==M(6,1));
N(6,1)=RE6(max(r),1);

M(7,1)=max(RE7(:,3));
r=find(RE7(:,3)==M(7,1));
N(7,1)=RE7(max(r),1);

[N M];
AN(11,3)=zeros;
AN(1:11,1)=Nm;
AN(1:11,2)=N;
AN(1:11,3)=M;
%dlmwrite('res_analysis_AN.dat',AN,'precision','%f');

toc

tic
clear
% Prerequisites
cart=dlmread('cartesian_OC1.dat');
OC=dlmread('OC.dat');
Matrix=dlmread('Matrix_OC.dat');
uP1=dlmread('OC1uP1_120.dat');
%Mdt=dlmread('OCMdt_080.dat');
uP=dlmread('OC1uP_120.dat');
%CMatrix=dlmread('CMatrix.dat');
asi_new=length(uP1(:,1));
stars=sum(uP(:,2));
starstot=length(Matrix);
% Plot a single group

% make a matrix with coordinates of group members
Matrix2(stars,5)=zeros;
```

```
Matrix3(stars,5)=zeros;
Matrix4(stars,5)=zeros;
n=0;
for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
        n=n+1;
        Matrix2(n,1:2)=Matrix(uP1(i,j),1:2);
        Matrix2(n,3)=Matrix(uP1(i,j),6);
        Matrix2(n,4)=Matrix(uP1(i,j),3);
        Matrix2(n,5)=i;
        Matrix3(n,1:3)=cart(uP1(i,j),1:3);
        Matrix3(n,4)=Matrix(uP1(i,j),3);
        Matrix3(n,5)=i;
        Matrix4(n,1)=OC(uP1(i,j),6);
        Matrix4(n,2)=OC(uP1(i,j),8);
        Matrix4(n,5)=i;
    end
end

%3D plot of all OC
%scatter3(cart(:,1),cart(:,2),cart(:,3),'b')
hold all
% 3D plot of all OC found in groups @ 120 pc in cartesian
%scatter3(Matrix3(:,1),Matrix3(:,2),Matrix3(:,3),'r')
%2D plot of all OC, RA,DEC
%scatter(Matrix(:,1),Matrix(:,2),'r')
% 2D plot of all OC in groups, RA,DEC
%scatter(Matrix2(:,1),Matrix2(:,2),'b')
%scatter(OC(:,3),OC(:,4),'r')
%break
hold all
colormap(colorcube(67));
C=colormap;
S(length(C),1)=zeros;
S(:,1)=50;
for i=1:asi_new
for j=1:uP(i,2)
    if Matrix2(j,5)==i
        % 3D in cartesian
        %scatter3(Matrix3(j,1),Matrix3(j,2),Matrix3(j,3),S(i),C(i,:))
        hold all
        % 3D, RA,DEC,dist
        scatter3(Matrix2(j,1),Matrix2(j,2),Matrix2(j,3),S(i),C(i,:))
        %r=C(i);
```



```
        %polar(OC(uP1(i,j),7),OC(uP1(i,j),8),'ob')
    end
end
end
stars
break

% Genplot Matrix - all data for each group in a 3D Matrix - if needed
a=1:asi_new;
M=max(uP);
%Mf=length(uP1f(1,:));
Genplot(M,3,asi_new)=zeros;
for i=a(1:length(a))%1:a%asi;
    for j=1:uP(i,2);
        Genplot(j,1:3,i)=Matrix(uP1(i,j),2:4);
    end
end

% Load Mdt and filter the wanted "2" groups
%f=length(uP1f(:,1));
%Mdtf(1:f,1)=SizeFilter(1:f,1);
%Mdtf(1:f,2)=SizeFilter(1:f,3);

% Now we have a list (original indices) of filter2
% Use uP and make a new uPf (just for reference, we can use genplot for
% mapping).
%uPf(f,3)=zeros;
%for i=1:f
%    uPf(i,:)=uP(Mdtf(i,1),:);
%end
```

```
%Genplotf(Mf,3,f)=zeros;
%for i=1:f
%    for j=SizeFilter(i,1);
%        Genplotf(1:Mf,1:3,i)=Genplot(1:Mf,1:3,j);
%    end
%end

% Use Delauney for mapping
%% Delauney Triangulation f
%a=1:3; %Use the group index needed to be mapped
%for i=5
%    hold all
%    axis equal
%    TRI = delaunay(Genplotf(1:uP(Mdtf(i,1),2),1,i),
%    Genplotf(1:uP(Mdtf(i,1),2),2,i));
%    triplot(TRI,Genplot(1:uP(Mdtf(i,1),2),1,i),
%    Genplot(1:uP(Mdtf(i,1),2),2,i), 'm')
%end

%for i=30:35
%    for j=Mdtf(i)
%    hold all
%    axis equal
%    TRI = delaunay(Genplot(1:uP(j,2),1,j),Genplot(1:uP(j,2),2,j));
%    triplot(TRI,Genplot(1:uP(j,2),1,j),Genplot(1:uP(j,2),2,j), 'g')
%    end
%end

%% Deauney Triangulation
for i=1:asi_new
    hold all
    axis equal
    TRI = delaunay(Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i));
```

```
    triplot(TRI,Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i),'r')
end
%V = ALPHAVOL([Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i)]);

% Map all stars of sample
hold all
%for i=1:asi_new
%    for j=1:uP(Mdt(i,1),2)
%        scatter(Matrix(uP1(i,j),1),Matrix(uP1(i,j),2),'c');
%    end
%end

% map centre points of groups
%b=1:f;
%for i=1:asi_new
%scatter(CMatrix(i,1),CMatrix(i,2),'r','+');
%end

toc
```

## XV ΑΣΤΕΡΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

```
tic
clear
format long e

%% This is the original txt file and the individual
%% columns and transformed in Ngc925 file
%% ignoring the Index data
[index,RA,DEC]=textread('LMC_Carbon.txt','%f %f %f');
Temp=[RA,DEC,index];
strs=max(index);

sam=3500;
Sample=floor(strs*rand(sam,1)+1);
LMC(sam,5)=zeros;
for i=1:sam
    LMC(i,1:3)=Temp(Sample(i,1),1:3);
end

hold all
%scatter(RA,DEC,'r')
scatter(LMC(:,1),LMC(:,2),'r')
%[RA_un,DEC_un,Size_un]=textread
%('Gouliermis_LMC_Unbound.txt','%f %f %f');
%[RA_in,DEC_in,Size_in]=textread
%('Gouliermis_LMC_Indermediate.txt','%f %f %f');
hold all
scatter(RA_un,DEC_un,'b','+')
scatter(RA_in,DEC_in,'g','+')

break

Matrix((sam),1:6)=zeros;
Matrix(:,1:2)=LMC(:,1:2);
Matrix(:,3)=1:sam;
dlmwrite('LMC.dat',LMC)
dlmwrite('Matrix_LMC.dat',Matrix)

toc

tic
clear
```

```
%% This script will calculate the distances of
%% all stars after the first search.
Matrix=dlmread('Matrix_LMC15plus.dat');
LMC=dlmread('LMC15plus.dat');
strs=length(Matrix(:,1));

Mx(1:strs,1)=Matrix(1:strs,1);
My(1:strs,1)=Matrix(1:strs,2);
rad=pi/180;
Sam=[Mx*rad My*rad];
R=48.5*10^3;

Ds=zeros(strs,strs);
for i=1:strs;
    for j=(i+1):strs;
%Ds(i,j)=sqrt((Mx(i)-Mx(j))^2+(My(i)-My(j))^2);
Ds(i,j)=R*acos(sin(Sam(i,1))*
sin(Sam(j,1))+cos(Sam(i,1))*cos(Sam(j,1))*cos(Sam(i,2)-Sam(j,2)));
Ds(j,i)=Ds(i,j);
    end
end

dlmwrite('dist_LMC15plus.dat',Ds,'precision','%f');

toc
tic
%% to n5 den engine akoma
clear
format long e

%LMC=dlmread('LMCbrightstars.dat');
%Matrix=dlmread('Matrix925brightstars.dat');
%strs=length(LMC);
%depth=4;
%D(200,1:depth+1)=zeros;
%RE(200,5)=zeros;
Results(200,5)=zeros;
%Values(200,9)=zeros;
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
sd2=0;
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2);
%dlmwrite('results_LMCbs_n5DsC.dat',RE);
```

```
dlmwrite('ResultsLMC2.dat',Results);
%L(strs,strs)=zeros;
%L1(strs,strs)=zeros;
ValuesOB(200,6)=zeros;
dlmwrite('LMC2ValuesOBn3_2.dat',ValuesOB);
%Index(200,2)=zeros;
GroupSize(200,250)=zeros;
dlmwrite('LMC2GroupSize.dat',GroupSize);
%dlmwrite('LMCIndex.dat',Index);
%dsr1=

for dsr1=0.001:0.001:0.2;
%% 20c 40m 63 b, 84 y, 104 g, 140 r 190 k
%%
%% 1 LOADING OF DATA FILES
%% the files read below have been prepared by
%% other relative to each
%% process scripts.

LMC=dlmread('LMC2.dat');
Matrix=dlmread('Matrix_LMC2.dat');
Ds=dlmread('dist_LMC2.dat');
GroupSize=dlmread('LMC2GroupSize.dat');

ValuesOB=dlmread('LMC2ValuesOBn3_2.dat');
sd2=dlmread('res_sd2.dat');
Results=dlmread('ResultsLMC2.dat');
strs=length(LMC);
Nmin=3;
dsr=dsr1*(10^3);
depth=4;
%% 2 PREPARATION OF GLOBAL VARIABLES AND DATA MATRICES

Ras=LMC(1:strs,1);
Decs=LMC(1:strs,2);

L(strs,strs)=zeros;
L1(strs,strs)=zeros;
```

```
%% the commands below are used in order to identify
%% the region where the ngcLMC group members lie
%% within and print the min and max values of RA and Dec

m=0;
k=0;

n=0;
asi=0;
r=0;
s=0;
v=0;
asp=0;
EL1=0;
h=0;
z=0;
u=0;
t=0;

%% outer loop. friends of star i
%% friends of i are recognised and stored into a matrix L1.
for i=1:strs
    f=0;
    n=0;
    m=0;
    f=0;
    if Matrix(i,5)==0;
        %Mi=Matrix(i,5);
        for j=1:strs;
            if (j~=i) && (Ds(i,j)<=dsr) && (Matrix(j,5)==0);
                Dj=Ds(i,j);
                %Mj=Matrix(j,5);
                m=m+1;
                L(i,1)=i;
                L(i,m+1) = j;
            end
        end
        f=m+1 ;
    end

    %% if friends of i are more than Nmin
    %% then we proceed to the next loop, the 1st inner loop
```

```

%% else the i star and its friends are returned in the Matrix
    if f>=Nmin;

        asi=asi+1;

        L1(asi,1:f)=L(i,1:f);
        Matrix(L(i,1:f),5)=1;
        Matrix(L(i,1:f),4)=asi;

%% inner loop_1, friends of friends of i
%% here the firends of i are going through the fof process as i and their
%% friends are also stored in L1 in the same line designating the
%% association index number
        for p=2:f;
            if Matrix(L1(asi,p),4)==asi;
                for q=1:strs;
                    if Matrix(q,5)==0;
                        if (q~=L1(asi,p));
                            if q~=L1(1:asi,1:f);
                                if Ds(L1(asi,p),q)<=dsr;
                                    %EL1=L1(asi,p);
                                    %q;
                                    n=n+1;
                                    L1(asi,f+n)= q;
                                    %Matrix(L1(asi,p),5)=1
                                    Matrix(q,5)=1;
                                    %Matrix(L1(asi,p),4)=asi;
                                    Matrix(q,4)=asi;
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
        n ;

%% inner loop_2, friends of friends of inner loop_1
%% second inner loop where the 2nd order of i star friends are going into
%% fof script
for h=1:n;
    if Matrix(L1(asi,f+h),4)==asi;
        for z=1:strs;

```





```
%% members for each asi (it has to be updated after the corrections
%% process!!!)
    Members(asi,1)=f+n+t+u;

    Matrix;
    t=0;
    z=0;
    v=0;
    f=0;
    n=0;
    m=0;
    n=0;
    u=0;

%% the asp var is used in order to keep the asi number stored
%% in case f<Nmin, so in the next iteration where
%% f>Nmin the correct value will be used
    asp=asi;

    elseif f<Nmin;
        asi=asp;
        m=0;
        v=0;
        f=0;
        n=0;

    end

end

%% small loop to identify isolated stars
iso=0;
for i=1:strs;
    if Matrix(i,5)==0;
        iso=iso+1;
        I(iso,1)=Matrix(i,3);
    end
end

%% count of asi's population and if asi=0 the appropriate message is
%% printed and the process stops
stars=0;
```

```
popu=0;
population=0;
isolated=0;
P(1:asi,1:2)=zeros;
P1(1:asi,1:strs)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            P1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end
    P(i,1)=i;
    P(i,2)=population;
    %stars=population;
    population=0;
    stars=popu;
end

if asi>0;
    P;
    stars;
    isolated=strs-stars;
    %[dsr Nmin asi];
elseif asi==0;
    sprintf('%s','There are no valid associations for the selected ds');
    [dsr Nmin 0];
    sd2=sd2+1;
    RE(sd2,1)=dsr;
    RE(sd2,2)=Nmin;
    RE(sd2,3)=asi;
    RE(sd2,4)=0;
    RE(sd2,5)=0;

    D(sd2,1)=dsr;

    ValuesOB(sd2,1:6)=[dsr Nmin 0 0 0 0];
    dlmwrite('LMC2ValuesOBn3_2.dat',ValuesOB,'precision','%f');
    dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
    continue
end

%% correction phase, first checking if there are any friends between the
```

```
%% asi members already found

%% 4 LOOPS TO IDENTIFY POSSIBLE MISTAKES IN FOF

%% 4.1 Loop checking already found members
wlen=strs-stars;
if wlen==0;
    stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;

P3(1:asi,1:2)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            uP1(i,population)=Matrix(j,3);
        end

        end
        P3(i,1)=i;
        P3(i,2)=population;
        stars=popu;
        population=0;

end
%Matrix;
asi_new=0;
for i=1:asi;
    if P3(i,2)>0;
        asi_new=asi_new+1;
        uP(asi_new,1)=asi_new;
        uP(asi_new,2)=P3(i,2);

    end
end

stars;
isolated=strs-stars;
%[dsr Nmin asi_new stars isolated]
sd2=sd2+1;
RE(sd2,1)=dsr;
```

```
RE(sd2,2)=Nmin;
RE(sd2,3)=asi_new;
RE(sd2,4)=stars;
RE(sd2,5)=isolated;
%dlmwrite('res_sdLMCbs_n5DsC.dat',sd2);
%dlmwrite('results_LMCbs_n5DsC.dat',RE);
g=0;
for i=1:depth;
    for j=1:asi_new;
        if uP(j,2)==Nmin+i;
            g=g+1;
        end
        D(sd2,1)=dsr;
        D(sd2,i+1)=g;
    end
end
%dlmwrite('Depthn5bs.dat',D);
ResultsLMC=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
%dlmwrite('ResultsLMCn3.dat',ResultsLMC,'precision','%f')

M=max(uP(1:asi_new,2));
%% Size of groups

% creating matrices to support needed data
DsCt(M,M,asi_new)=zeros;
Mdt(asi_new,M)=zeros;
m=0;

% loop to store distances of all members from each other in DsCt
for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
        for k=j+1:uP(i,2)
            m=m+1;
            DsCt(j,k,i)=Ds(uP1(i,j),uP1(i,k));
        end
    end
end
end

% selecting max distance as size for each group
Maxdt(asi_new,M)=zeros;
for i=1:asi_new
    for j=1:M
```

```
        Maxdt(i,j)=max(DsCt(1:M,j,i));
    end
end

for i=1:asi_new
    Mdt(i,1)=i;
    Mdt(i,2)=max(Maxdt(i,:));
end

%% Size filtering of groups
% in Mdt a new column is added to be used for filtering
Mdt(1:asi_new,3)=zeros;
n=0;
SizeFilter=0;
for i=1:asi_new
    if Mdt(i,2)>30 && Mdt(i,2)<120
        Mdt(i,3)=1;
        n=n+1;
        % matrix to contain groups satisfying filtering criteria
        SizeFilter(n,1)=Mdt(i,1);
    end
end
end
AveDiamOB=mean(Mdt(:,2));
MedDiamOB=median(Mdt(:,2));
%% Create uP1 file afte filtering
uP1f(length(SizeFilter),M)=zeros;

if n>0
for i=1:size(SizeFilter)
    uP1f(i,:)=uP1(SizeFilter(i,1),:);
end
N=n;
else N=0;
end
%dlmwrite('3351uP1f_068_30120.dat',uP1f);

ValuesOB(sd2,1:5)=[dsr Nmin N 0 0];
dlmwrite('LMCValuesOBn3.dat',ValuesOB,'precision','%f');
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
continue

elseif wlen>0;
```

```

WR(wlen,5)=zeros;
w=0;
for i=1:asi;
    for j=1:Members(i);
        for k=i+1:asi;
            for k1=1:Members(k);

                if (i~=k) && (P1(i,j)~=P1(k,k1)) && (P1(i,j)>0) &&
                    (P1(k,k1)>0) && (Matrix(P1(i,j),4)~=Matrix(P1(k,k1),4));
                    if Ds(P1(i,j),P1(k,k1))<=dsr;

                        w=w+1;
                        WR(w,1)=P1(i,j);
                        WR(w,2)=P1(k,k1);
                        WR(w,3)=Ds(P1(i,j),P1(k,k1));
                        WR(w,4)=Matrix(P1(i,j),4);
                        WR(w,5)=Matrix(P1(k,k1),4);
                        if WR(w,4)<WR(w,5)
                            [row col]=(find(Matrix(:,4)==Matrix(P1(k,k1),4)));
                            Matrix(row(1:length(row)),4)=Matrix(P1(i,j),4);
                        elseif WR(w,4)>WR(w,5)
                            [row col]=(find(Matrix(:,4)==Matrix(P1(i,j),4)));
                            Matrix(row(1:length(row)),4)=Matrix(P1(k,k1),4);
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
if w==0;
    sprintf('%s','There are no lost friends in found members');
elseif w>0;
    sprintf('%s','Lost friends in found members');
    WR(1:w,1:3);
% apply corrections in Matrix data
%for i=1:w;
%WR;
% Matrix(WR(i,2),4)=Matrix(WR(i,1),4)
%Matrix(P1(WR(i,5),1:P(WR(i,5),2)),4)=Matrix(WR(i,1),4);
%isa_new=isa-1

```

```
        %break
    %end
    % WR;
end
end

%% this is for the isolated stars, doublechecking if we missed something
w1=0;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        for k=1:iso;
            if (P1(i,j)>0) && (Matrix(I(k),5)==0) ;
                %&& (Ds(P1(i,j),I(k))<=dsr);
                %if Ds(P1(i,j),P1(k,j))<=dsr
                if Ds(P1(i,j),I(k))<=dsr;
                    w1=w1+1;
                    WR(w+w1,1)=P1(i,j);
                    WR(w+w1,2)=I(k);
                    WR(w+w1,3)=Ds(P1(i,j),I(k));
                    Matrix(I(k),4)=Matrix(P1(i,j),4);
                    Matrix(I(k),5)=1;
                end
            end
        end
    end
end

if w1==0;
    sprintf('%s','There are no lost friends in isolated stars');
elseif w1>0;
    sprintf('%s','Lost friends in isolated stars');
    WR(w+1:w1,1:3);
end

stars=0;
popu=0;
population=0;
isolated=0;

P3(asi,2)=zeros;
```



```
%uP1(strs,strs)=zeros;
for i=1:asi;
    for j=1:strs;
        if i==Matrix(j,4);
            popu=popu+1;
            population=population+1;
            %uP1(i,population)=Matrix(j,3);

            end

        end
        P3(i,1)=i;
        P3(i,2)=population;
        stars=popu;
        population=0;

    end

%Matrix;
asi_new=0;
UP(asi,3)=zeros;
for i=1:asi;
    if P3(i,2)>0;

        asi_new=asi_new+1;
        UP(asi_new,1)=asi_new;
        UP(asi_new,2)=P3(i,2);
        UP(asi_new,3)=i;
    end
end

uP(1:asi_new,1:3)=UP(1:asi_new,1:3);

population=0;
uP1(asi_new,M)=zeros;

for i=1:asi_new;
    for j=1:strs;
        if uP(i,3)==Matrix(j,4);
            population=population+1;
            uP1(i,population)=Matrix(j,3);
        end
    end

end
```

```
    population=0;
end

g=0;
sd2=sd2+1;
%D(1,depth+1)=zeros;
for i=1:depth;
    for j=1:asi_new;
        if uP(j,2)==Nmin+i;
            g=g+1;
        end
        D(sd2,1)=dsr;
        D(sd2,i+2)=g;
    end
end

isolated=strs-stars;

RE(sd2,1)=dsr;
RE(sd2,2)=Nmin;
RE(sd2,3)=asi_new;
RE(sd2,4)=stars;
RE(sd2,5)=isolated;

%% 2ND PART (CentreCoords & DsC)
Ras=LMC(1:strs,1);
Decs=LMC(1:strs,2);
rad=pi/180;
Sam=[Ras*rad Decs*rad];
Samd=[Ras Decs];
M=max(uP(1:asi_new,2));

Centre(asi_new,2)=zeros;
rad=pi/180;

a=1:asi_new;
%M=max(uP);
Genplot(M,3,asi_new)=zeros;
for i=a(1:length(a))%1:a%asi;
    for j=1:uP(i,2);
        Genplot(j,1:3,i)=Matrix(uP1(i,j),1:3);
    end
end
```

```
        end
    end

n=0;
for i=1:asi_new;

    mra(i,1)=mean(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
    mdec(i,1)=mean(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
    Centre(i,1)=mra(i,1);
    Centre(i,2)=mdec(i,1);

    Maxra=max(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
    Minra=min(Genplot(1:uP(i,2),1,i));
    Maxdec=max(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
    Mindec=min(Genplot(1:uP(i,2),2,i));
    %Centre1(i,1)=Minra+((Maxra-Minra)/2);
    %Centre1(i,2)=Mindec+((Maxdec-Mindec)/2);
    Genplot(uP(i,2)+1,1,i)=Centre(i,1);
    Genplot(uP(i,2)+1,2,i)=Centre(i,2);
    Genplot(uP(i,2)+1,3,i)=1.1;
end
Centrec(asi_new,2)=zeros;
Centrec(1:asi_new,1)=Centre(1:asi_new,1)*rad;
Centrec(1:asi_new,2)=Centre(1:asi_new,2)*rad;

%% This loop is used in order to plot the centre of each association.

%% 2.3.2 Max distance between members

%% the idea is to used data in Genplot

%% Size of groups

Mdt(asi_new,3)=zeros;
TempDs=0;
MaxDs(asi_new,1)=zeros;
m=0;

for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
        for k=j+1:uP(i,2)
            m=m+1;
        end
    end
end
```

```
        %DsCt(j,k,i)=Ds(uP1(i,j),uP1(i,k));
        TempDs=Ds(uP1(i,j),uP1(i,k));
        if TempDs>MaxDs(i,1)
            MaxDs(i,1)=TempDs;
        else continue
        end
    end
    m=0;
    TempDs=0;
end
end

for i=1:asi_new
    Mdt(i,1)=i;
    Mdt(i,2)=MaxDs(i,1);
end

GroupSize(sd2,1:asi_new)=Mdt(1:asi_new,2);

%dlmwrite('LMCuP1_120.dat',uP1);
%dlmwrite('LMCuP_120.dat',uP);
%dlmwrite('LMCMdt_120.dat',Mdt);
%dlmwrite('LMCCentre_120.dat',Centre);
%dlmwrite('LMCMatrix_120.dat',Matrix);

%dlmwrite('LMCuP1f_120.dat',uP1f);
%dlmwrite('LMCuP1f2_120.dat',uP1f2);
%dlmwrite('LMCuP1f3_120.dat',uP1f3);
%dlmwrite('LMCuP1f4_120.dat',uP1f4);

%% Isolated stars matrix
Iso(length(I),2)=zeros;
for i=1:length(I)
    Iso(i,1:2)=Matrix(I(i),1:2);
end

%% Group file
Group(asi_new,4)=zeros;
Group(1:asi_new,1:2)=Centre(1:asi_new,1:2);
Group(1:asi_new,3)=Mdt(1:asi_new,2);
Group(1:asi_new,4)=uP(1:asi_new,2);
```

```
ValuesOB(sd2,1:6)=[dsr Nmin n n2 n3 n4];
dlmwrite('LMC2ValuesOBn3_2.dat',ValuesOB,'precision','%f');
dlmwrite('res_sd2.dat',sd2,'precision','%f');
dlmwrite('LMC2GroupSize.dat',GroupSize,'precision','%f');
Results(sd2,1:5)=[dsr Nmin asi_new stars isolated];
dlmwrite('ResultsLMC2.dat',Results,'precision','%f');

clear
end

toc
atic
clear

% A script to calculate the density of stars for a given area.
% This is needed to evaluate the ds/groups plots.

[RA,DEC,index,Rmag]=textread('LMC_Carbon.txt','%f %f %f %f');
Temp=[RA,DEC,index,Rmag];
%Temp=dlmread('LMC14.dat');
%Matrix=dlmread('Matrix_LMC14.dat');
strs=length(Temp(:,1));
%RA=Temp(:,1);
%DEC=Temp(:,2);
% identify center of area.
rac=mean(RA);
decc=mean(DEC);
c=[rac decc];

% calculate distances from centre
Mx(1:strs,1)=RA(1:strs,1);
My(1:strs,1)=DEC(1:strs,1);

rad=pi/180;
Sam=[Mx*rad My*rad];
crad=[rac*rad decc*rad];
R=48.5*10^3;

Ds=zeros(strs,1);
for i=1:strs;
    for j=1;
Ds(i,j)=R*acos(sin(Sam(i,1))
*sin(crad(j,1))+cos(Sam(i,1))*cos(crad(j,1))*cos(Sam(i,2)-crad(j,2)));
    end
end
```

```
end

dlmwrite('dist_Tempcentre14.dat',Ds,'precision','%f');

a=max(Ds);
n=0;
n1=0;
n2=0;
n3=0;
n4=0;
k=0;
for i=1:100:a
    k=k+1;
    for j=1:stras
        if Ds(j,1)<=i
            n=n+1;
            density(k,1)=n/(pi*(i^2));
            if Temp(j,4)<14
                n1=n1+1;
                density1(k,1)=n1/(pi*(i^2));
            end
            if Temp(j,4)>=14 && Temp(j,4)<14.5
                n2=n2+1;
                density2(k,1)=n2/(pi*(i^2));
            end
            if Temp(j,4)>=14.5 && Temp(j,4)<15
                n3=n3+1;
                density3(k,1)=n3/(pi*(i^2));
            end
            if Temp(j,4)>=15
                n4=n4+1;
                density4(k,1)=n4/(pi*(i^2));
            end
        end
    end
    stars(k,1)=n;
    stars(k,2)=n1;
    stars(k,3)=n2;
    stars(k,4)=n3;
    stars(k,5)=n4;
    n=0;
    n1=0;
    n2=0;
    n3=0;
    n4=0;
end
```

```
end

hold all
plot(density,'b')
plot(density1,'y')
plot(density2,'g')
plot(density3,'c')
plot(density4,'r')
XLim([0 100])
%break

%for i=1:strs

toc

tic
%% A small script to map the groups found by fof
%% files needed: uP1f, Matrix
%% read from Mdt the progenial index of the group and then from uP the
%% number of stars. Then use that information to map directly the group you
%% need.
%% Mdt : asi_new, Max dist., 1st or 2nd filter
clear
% Prerequisites
[RA_un,DEC_un,Size_un]=textread('Gouliermis_LMC_Unbound.txt','%f %f %f');
[RA_in,DEC_in,Size_in]=textread('Gouliermis_LMC_Indermediate.txt','%f %f %f');

%Ds=dlmread('dist_LMC3.dat');

LMC=dlmread('LMC14_5.dat');
Matrix=dlmread('Matrix_LMC14_5.dat');
uP1=dlmread('LMC14_5uP1_059.dat');
Mdt=dlmread('LMC14_5Mdt_059.dat');
uP=dlmread('LMC14_5uP_059.dat');

Ct1=dlmread('LMCCentre_111.dat');
Ct2=dlmread('LMC14_5Centre_059.dat');
Ct3=dlmread('LMC15Centre_046.dat');
Ct4=dlmread('LMC15plusCentre_069.dat');

hold all
%scatter(RA_un,DEC_un,'b','o')
```

```
%scatter(RA_in,DEC_in,'g','o')
scatter(Ct1(:,1),Ct1(:,2),'y','+')
scatter(Ct2(:,1),Ct2(:,2),'g','o')
scatter(Ct3(:,1),Ct3(:,2),'c','*')
scatter(Ct4(:,1),Ct4(:,2),'r','x')
xlabel('RA (deg)')
ylabel('DEC (deg)')
break

asi_new=length(uP1(:,1));
stars=sum(uP(:,2));
starstot=length(Matrix);
% Detect errors in Ds
%a=7.2300e-004;
%[row col]=find(Ds==a);
%size(row)
%break
% make a matrix with coordinates of group members
Matrix2(stars,5)=zeros;
n=0;
for i=1:asi_new
    for j=1:uP(i,2)
        n=n+1;
        Matrix2(n,1:2)=Matrix(uP1(i,j),1:2);
        Matrix2(n,3)=Matrix(uP1(i,j),6);
        Matrix2(n,4)=Matrix(uP1(i,j),3);
        Matrix2(n,5)=i;
    end
end

% Genplot Matrix - all data for each group in a 3D Matrix - if needed
a=1:asi_new;
M=max(uP);
%Mf=length(uP1f(1,:));
Genplot(M,3,asi_new)=zeros;
for i=a(1:length(a))%1:a%asi;
    for j=1:uP(i,2);
        Genplot(j,1:3,i)=Matrix(uP1(i,j),2:4);
    end
end

%% Deauney Triangulation
```



```
%for i=1:asi_new
% hold all
% axis equal
% TRI = delaunay(Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i));
% triplot(TRI,Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i),'r')
%end
%V = ALPHAVOL([Genplot(1:uP(i,2),1,i),Genplot(1:uP(i,2),2,i)]);

colormap(colorcube(195));
C=colormap;
S(length(C),1)=zeros;
S(:,1)=50;
%for i=1:asi_new
%for j=1:3500
% if Matrix(j,5)==i
% 3D in cartesian
%scatter3(Matrix3(j,1),Matrix3(j,2),Matrix3(j,3),S(i),C(i,:))
% hold all
% 2D, RA,DEC
% scatter(Matrix(j,1),Matrix(j,2),S(i),C(i,:))
% end
%end
%end

%break
% Map all stars of sample
hold all
for i=1:asi_new
for j=1:uP(Mdt(i,1),2)
scatter(Matrix(uP1(i,j),1),Matrix(uP1(i,j),2),S(i),C(i,:));
%xlim([80 85])
end
end

% map centre points of groups

%for i=1:asi_new
%scatter(CMatrix(i,1),CMatrix(i,2),'r','+');
%end

toc
```



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Ambartsumian, V. A. 1949, AZh, 26, 3
- [2] Aldenderfer, M & Blashfield R. K. 1984, Cluster Analysis, Sage Publications Inc,
- [3] Allen, P.D., & Shanks, T. 2004, MNRAS, 347, 1011
- [4] Alcock, C., Allsman, R. A., Alves, D., et al. 1999, ApJ, 511, 185A
- [5] Aparicio, A. & Rodriguez-Ulloa, J. A. 1992, A&A, 260, 77A
- [6] Aparicio, A., Gallart, C., Bertelli, G., 1997, AJ, 114, 669A
- [7] Bailer-Jones, C.A.L., Andrae, R., Arcay, B., et al. 2013, A&A, 559, A74
- [8] Battinelli, P. 1991, A&A, 244, 69
- [9] Battinelli, P., Efremov, Yu., Magnier, E. A., 1996, A&A, 314, 51
- [10] Bastian, N., Ercolano, B., Gieles, M., et al. 2007, MNRAS, 379, 1302B
- [11] Belcheva, M. K., et al. 2011, AJ, 527A, 31B
- [12] Berlind, A. A., Frieman, J., Weinberg, D. H., et al. 2006, ApJS, 167, 1B
- [13] Bernard, E. J., Ferguson, A. M. N., Barker, M. K., et al. 2012, MNRAS, 420, 2625B
- [14] Berry, M. W. & Browne, M. 2006, Lecture Notes in Data Mining - UNIVERSITY OF TENNESSEE USA, World Scientific Publishing
- [15] Bianchi, L., Efremova, B., Hodge, P., 2012, AJ, 144, 142
- [16] Bianchi, L., Efremova, B., Hodge, P., 2012, AJ, 143, 74
- [17] Binggeli, B., Tammann, G. A., Sandage, A., 1987, AJ, 94, 251
- [18] Blaauw, A., 1964, ARA&A, 2, 213
- [19] Bosma, A., Goss, W. M., Allen, R. J., 1981, A&A, 93, 106
- [20] Bottinelli, L., Gouguenheim, L., Paturel, G., 1985, A&A, 59, 43B
- [21] Bramer, M. 2007, Principles of Data Mining, Springer
- [22] Bresolin, F., Kennicutt, R. C., Jr., Stetson, P. B., 1996, AJ, 112, 1009 (BKS)
- [23] Bresolin, F., Kennicutt, R. C., Jr., Ferrarese, L., et al. 1998, AJ, 116, 119

- [24] Bressert, E., Bastian, N., Gutermuth, R., et al. 2010, MNRAS, 409, L54
- [25] de Bruijne, J. H. J. % De Marchis, G. 2011, 2011sca, conf, 352D
- [26] de Bruijne, J. H. J. 2012, Ap&SS, 341, 31
- [27] de Bruijne, J. H. J., Rygl, K. L. J., Antoja, T., 2015, arXiv, 150200791D
- [28] Chiosi, E., Vallenari, A., Held, E. V., et al. 2006, A&A, 452, 179
- [29] Cignoni, M., Cole, A. A., Tosi, M., et al. 2012, ApJ, 754, 130C
- [30] Corbelli & Walterbos 2007, AJ, 315, 669
- [31] Cropper, M. & Katz, D. 2011, in EAS Publications Series, Vol. 45, EAS Publications Series, 181–188
- [32] Davidge, T. J. & Puzia, T. H. 2011, ApJ, 738, 144D
- [33] Davis, M., Efstathiou, G., Frenk, C. S., White, S. D. M., 1985, ApJ, 292, 371
- [34] Dolphin, A. 2000, PASP 112, 138
- [35] Dolphin, A. E. 2000, ApJ, 531, 804D
- [36] Dolphin, A. E., Saha, A., Skillman, E. D., et al. 2003, AJ, 126, 187D
- [37] Drazinos, P., Kontizas, E., Karamelas, A., et al. 2013, apj, 553A, 87D
- [38] Drazinos, P., Kontizas, E., Kontizas, M., et al. 2014, MmSAI, 85, 585D
- [39] Drazinos, P., Kontizas, E., Karamelas, A., et al. 2014, yCat, 35539087D
- [40] Edelstein H. A. 1999, Introduction to Data Mining and Knowledge Discovery 3rd Edition, Two Crows Corporation
- [41] Efremov, Y., Ivanov, G. R., Nikolov, N. S., 1987, Ap&SS, 135, 119
- [42] Efremov, Yu. N., & Chernin, A.D. 1994, Vistas Astron., 38, 165
- [43] Efremov, Yu. N., & Elmegreen, B. G. 1998, MNRAS, 299, 588
- [44] Einasto, J., Klypin, A. A., Saar, E., Shandarin, S. F., 1984, MNRAS, 206, 529E
- [45] Eke, V. R., Baugh, C. M., Cole, S., et al. 2004, MNRAS, 348, 866E
- [46] Elmegreen, B. G., Elmegreen, D. M., Montenegro, L., 1992, ApJS, 79, 37
- [47] Elmegreen, B. G. & Efremov, Y. N. 1996, ApJ, 466, 802
- [48] Elmegreen, B. G. 2006, arXiv, astro-ph/0605519

- [49] Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., Stahl, D., 2011, Cluster Analysis 5th edition, Wiley
- [50] Eyer, L., Rimoldini, L., Holl, B., et al. 2015, arXiv, 150203829E
- [51] Fall, S. M. 2004 , in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 322, The Formation and Evolution of Massive Young Star Clusters, ed. H. J. G. L. M. Lamers, L. J. Smith, & A. Nota, 399-+
- [52] Feigelson, E. D. & Babu, G. J. 2003, Statistical Challenges in Astronomy, Springer
- [53] Feigelson, E. D. & Babu, G. J. 2012, Modern Statistical Methods for Astronomy, Cambridge University Press
- [54] Ferguson, A. M. N., Irwin, M. J., Ibata, R. A., et al. 2002, AJ, 124, 1452F
- [55] Ferrarese, L., Bresolin, F., Kennicutt, R. C. Jr., et al. 1998, AJ, 507, 655
- [56] Ford, G. P., Gear, W. K., Smith, M. W. L., et al. 2013, ApJ, 769, 55F
- [57] Frenk, C. S., White, S. D. M., Davis, M., Efstathiou, G. 1988, ApJ, 327, 507
- [58] Gardiner, L.T., & Whiteoak, J.B. 1977, Australian J. Phys., 30, 187
- [59] Gardiner, L. T. & Hawkins, M. R. S. 1991, MNRAS, 251, 174G
- [60] Gieles, M., Moeckel, N., Clarke, C. J., 2012, MNRAS, 426, L11
- [61] Girardi, L., Chiosi, C., Bertelli, G., Bressan, A. 1995, A&A, 298, 87G
- [62] Glatt, K., Grebel, E. K., Koch, A., 2010, A&A, 517A, 50G
- [63] Gottlöber, S. & Yepes, G. 2007, ApJ, 664, 117G
- [64] Gouliermis, D., Kontizas, M., Kontizas, E., et al. 2003, A&A, 405, 111
- [65] Gouliermis, D., Schmeja, S., Klessen, R. S., et al. 2010, A&A, 725, 1717
- [66] Graham, J. A. & Phelps, R. L. & Freedman, W. L. et al. 1997, AJ, 477, 535
- [67] Graham, J. A., Ferrarese, L., Freedman, W. L., et al. 1999, AJ, 516, 626
- [68] Gusev, Alexander S. 2014, MNRAS, 442, 3711G
- [69] Harris, J. & Zaritsky, D. 2009, AJ, 138, 1243H
- [70] Hatzidimitriou, D. & Hawkins, M. R. S. 1989, MNRAS, 241, 667H
- [71] Hidalgo, S. L., Aparicio, A., Martínez-Delgado, D., Gallart, C., 2009, ApJ, 705, 704H
- [72] Hodge, P. 1986, IAUS, 116, 369

- [73] Hodge, P., Kennicutt, R. C., Strobel, N., 1994, *PASP*, 106, 765H
- [74] Hoppner, F., Klawonn, F., Kruse, R., Runkler, T., 1999, *Fuzzy Cluster Analysis*, Wiley
- [75] Huchra, J.P. & Geller, M.J. 1982, *AJ*, 257, 423
- [76] Hunter, D. A. & Gallagher, J. S. 1986, *PASP*, 98, 5
- [77] Hunter, D. A., Hawley, W. N., Gallagher, J. S., 1993, *AJ*, 106, 1797
- [78] Ivanov, G. R. 1987, *Ap&SS*, 136, 113
- [79] Ivanov, G. R. 1996, *A&A*, 305, 708
- [80] János, A. & Balázs, F. 2007, *Cluster Analysis for Data Mining and System Identification*, Birkhäuser
- [81] Jenkins, A., Frenk, C. S., White, S. D. M., et al. 2001, *MNRAS*, 321, 372
- [82] Jordi, C., Høg, E., Brown, A. G. A., et al. 2006, *MNRAS*, 367, 290
- [83] Jordi, C., Gebran, M., Carrasco, J. M., et al. 2010, *A&A*, 523, A48
- [84] Kang, X., Chang, R., Yin, J., et al. 2012, *MNRAS*, 426, 1455K
- [85] Karampelas, A., Dapergolas, A., Kontizas, E., et al. 2009, *A&A*, 497, 703
- [86] Katz, D., Munari, U., Cropper, M., et al. 2004, *MNRAS*, 354, 1223
- [87] Katz, D., Cropper, M., Meynadier, F., et al. 2011, in *EAS Publications Series*, Vol. 45, *EAS Publications Series*, 189–194
- [88] Kaufman, L. & Rousseeuw, P. J. 2005, *Finding Groups in Data An Introduction to Cluster Analysis*, Wiley-Interscience
- [89] Kelson, D. D., Illingworth, G. D., Freedman, w. F. et al. 1996, *AJ*, 463, 26
- [90] Kennicutt, R. C. Jr., Freedman, W. L., Mould, J. R., 1995, *AJ*, 110, 1476
- [91] Klypin, A., Gottlöber, S., Kravtsov, A. V., Khokhlov, A. M., 1999, *ApJ*, 516, 530K
- [92] Kontizas, E., Dapergolas, A., Morgan, D. H., Kontizas, M., 2001, *A&A*, 369, 932K
- [93] Kontizas, E., Dapergolas, A., Morgan, D. H., Kontizas, M., 2001yCat, 33690932K
- [94] Kontizas, E., Kontizas, M., Gouliermis, D., et al. 1999, *IAU Symposium*, Vol 190
- [95] Lacey, C. & Cole, S. 1994, *MNRAS*, 271, 676
- [96] Lada C.J., & Lada E.A. 2003, *ARA&A*, 41, 57

- [97] Lindegren, L., Klioner, S. A., Seidelmann, P. K., Soffel, M. H., 2010 IAU Symp., 261, 296
- [98] Livanou, E., Kontizas, M., Gonidakis, I., et al. 2006, A&A, 451, 431
- [99] Livanou, E., Gonidakis, I., Kontizas, E., et al. 2007, AJ, 133, 2179
- [100] Lucke, P. B. & Hodge, P. W. 1970, AJ, 75,171
- [101] McConnachie, Alan W., Irwin, Michael J., Ibata, Rodrigo A., et al 2009, Natur, 461, 66M
- [102] Magnier, E. A., Battinelli, P., Lewin, W. H. G., et al., 1993, A&A, 278, 36
- [103] Maragoudaki, F., Kontizas, M., Kontizas, E., et al. 1998, A&A, 338, L29
- [104] Maragoudaki, F., Kontizas, M., Morgan, D. H., et al. 2001, A&A, 379, 864
- [105] Marigo, P., Girardi, L., Bressan, A., et al. 2008, A&A, 482, 883
- [106] Maschberger, T., Clarke, C. J., Bonnell, I. A., Kroupa, P., 2010, MNRAS, 404, 1061M
- [107] Massey, P., Conti, P. S., Armandroff, T. E., 1992, AJ, 103, 1159
- [108] Massey, P. & Armandroff, T. E. 1995, AJ, 109, 2470
- [109] Massey, P. & Holmes, S. 2002,ApJ,580L,35M
- [110] Massey, P., Olsen, K. A. G., Hodge, P. W., 2006, AJ, 131, 2478–2496
- [111] Massey, P., Olsen, K. A. G., Hodge, P. W., 2007, AJ, 133, 2393
- [112] Minniti, D., Olszewski, E. W., Rieke, M., 1993, ApJ, 410, L79
- [113] Mirkin, B. 2005, Clustering for Data Mining A Data Recovery Approach, Chapman & Hall/CRC
- [114] Mora, A., Biermann, M., Brown, A. G. A., et al 2014, SPIE, 9143E, 0XM
- [115] More, S., Kravtsov, A. V., Dalal, N., Gottlöber, S., 2011, ApJS, 195, 4M
- [116] Nikolaev, S., Drake, A. J., Keller, S. C., et al. 2004, ApJ, 601, 260N
- [117] Perryman, M. A. C., de Boer, K. S., Gilmore, G., et al. 2001, A&A, 369, 339
- [118] Pietrzynski, G. & Udalski, A. 2000, AcA, 50, 355P
- [119] Poncelet, P., Teisseire, M., Maseglier, F., 2008, Data Mining Patterns New Methods and Applications, Information Science Reference
- [120] Porras, A., Christopher, M., Allen, L., et al. 2003, AJ, 126, 1916

- [121] Press & Davis 1982, ApJ, 259,449P
- [122] Prusti, T. 2012, AN, 333, 453P
- [123] Rawson, D. M., Macri, L. M., Mould, J. R., et al. 1997, AJ, 490, 517
- [124] Regan, M. W. & Vogel, S. N. 1994,ApJ,434,536R
- [125] Richardson, J. C., Ferguson, A. M. N., Johnson, R. A., et al. 2008, AJ, 135, 1998R
- [126] Robin, A., Luri, X., Reylé, C., et al. 2012, A&A, 543, A100
- [127] Robin, A. C., Reyle, C., Derriere, S., et al. 2003, A&A, 409, 523
- [128] Rubin, V. C., Ford, W. K., Peterson, C. J., 1975, ApJ, 199, 39
- [129] Rubin, V. C., Waterman, A. H., Kenney, J. P. D., 1999, AJ, 118, 236R
- [130] Sandage, A & Tamman, G. A. 1981, A Revised Shapley-Ames Catalog of Bright Galaxies (Washington, DC: Carnegie Inst. Washington)
- [131] Sandage, A & Tamman, G. A. 1987, A Revised Shapley-Ames Catalog of Bright Galaxies (Washington, DC: Carnegie Inst. Washington)
- [132] Sandage, A & Bedke, 1988, Atlas of Galaxies Useful for Measuring the Cosmological Distcane Scale (Washington, DC: NASA)
- [133] Sandage, A. & Bedke, J. 1994, in The Carnegie Atlas of Galaxies (Washington DC: Carnegie Inst. Washington)
- [134] Sandage, A. & Carlson, G. 1982, ApJ, 258, 439S
- [135] Silbermann, N.A., Harding, P., Madore, B.F., et al. 1996, AJ, 470, 1
- [136] Silva-Villa, E. & Larsen, S. S. 2011, A&A, 529, 59
- [137] Subramaniam, A. & Subramanian, S. 2009, A&A, 503L, 9S
- [138] Tabatabaei, F. S. & Berkhuijsen, E. M. 2010, A&A, 517A, 77T
- [139] Thronson, H. A., Hunter, D. A., Casey, S., Harper, D. A., 1990, ApJ, 355, 94
- [140] Tosi, M., Greggio, L., Marconi, G., Focardi, P., 1991, AJ, 102, 951T
- [141] Tully, R. B. 1980, ApJ, 237, 390
- [142] van den Bergh, S. 1964, ApJS 9, 65
- [143] van den Bergh, S. 1976, ApJ, 206, 883
- [144] van Kampen, E. 1995, MNRAS, 273, 295



- [145] de Vaucouleurs, G. & de Vaucouleurs, A. 1973, A&A, 28, 109
- [146] de Vaucouleurs, G. 1975, in *Galaxies and the Universe (Stars and Stellar Systems X)* ed. A. Sandage, M. Sandage, & J. Kristian (Chicago: Univ. Chicago Press), 557
- [147] de Vaucouleurs, G. 1978, ApJ, 224, 14
- [148] de Vaucouleurs, G. et al. 1991, *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies* (New York: Springer)
- [149] Warren, M. S., Abazajian, K., Holz, D. E., Teodoro, L., 2006, ApJ, 646, 881
- [150] Wilkinson, M. I., Vallenari, A., Turon, C., et al. 2005, MNRAS, 359, 1306
- [151] Williams, G. J. & Simoff, S. J. 2006, *Data Mining Theory Methodology Techniques and Applications*, Springer
- [152] Zaritsky, D., Harris, J., Thompson, Ian B., Grebel, Eva K., Massey, P. 2002, AJ, 123, 855
- [153] Zaritsky, D., Thomson, I. D., Grebel, E. K., 2004, AJ, 128, 1606