



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ανάλυση Μεγάλων Γεωχωρικών Δεδομένων με
Τεχνολογίες Πινάκων για Αγροτικές
Εφαρμογές

**Big Geospatial Data Analysis with Array
Technologies for Agricultural Applications**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Κ. ΚΑΡΜΑ

Επιβλέπων: Ιωάννης Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
Αθήνα, Ιούλιος 2014



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών
Εργαστήριο Συστημάτων Βάσεων Γνώσεων και Δεδομένων

Ανάλυση Μεγάλων Γεωχωρικών Δεδομένων με Τεχνολογίες Πινάκων για Αγροτικές Εφαρμογές

Big Geospatial Data Analysis with Array Technologies for Agricultural Applications

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Κ. ΚΑΡΜΑ

Επιβλέπων: Ιωάννης Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29η Ιουλίου 2014.

.....
Ιωάννης Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κώστας Κοντογιάννης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Αργιαλάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

(Υπογραφή)

.....

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΡΜΑΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2014 – All rights reserved



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών
Εργαστήριο Συστημάτων Βάσεων Γνώσεων και Δεδομένων

Copyright ©–All rights reserved Αθανάσιος Κ. Κάρμας, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Η εργασία αυτή
αφιερώνεται
στη Σοφία και στο Γιώργο.*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αγάπη, την υποστήριξη και όλα όσα μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Χωρίς αυτά τίποτα δεν θα ήταν δυνατό.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ιωάννη Βασιλείου για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω στο εργαστήριο Συστημάτων Βάσεων Γνώσεων και Δεδομένων.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Υπεύθυνο Ερευνητικών Έργων του ΙΠΣΥ Ερευνητικού Κέντρου "Αθηνά" κ. Σπύρο Αθανασίου για την εμπιστοσύνη, τις συμβουλές, την καθοδήγησή του και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε στο πλαίσιο εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης το Διδάκτορα του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ.Π. κ. Άγγελο Τζώτσο για όλες τις τεχνικές συμβουλές και τη βοήθεια που τόσο απλόχερα μου προσέφερε.

Τέλος, γνωρίζω ότι ένα ευχαριστώ δεν είναι αρκετό αλλά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή, ξάδελφο και φίλο μου κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο για όλα.

Αθήνα,
Ιούλιος 2014.

Περίληψη

Οι δορυφορικές αποστολές US Landsat και EU Sentinel παρέχουν μαζικά διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη αποδοτικών τεχνολογιών για την απευθείας διαχείριση και επεξεργασία αυτών των τηλεπισκοπικών δεδομένων είναι θεμελιώδους σημασίας. Προς την κατεύθυνση αυτή, σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε ένα WebGIS σύστημα για την online ανάλυση ανοιχτών τηλεπισκοπικών δεδομένων και για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Ειδικότερα, ο πυρήνας του συστήματος βασίζεται στο rasdaman Array Database Management System για την αποθήκευση των δεδομένων και το πρότυπο Web Coverage Processing Service του Open Geospatial Consortium για την εκτέλεση ερωτημάτων πάνω σε αυτά. Διάφορα ερωτήματα σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν για την πρόσβαση και την επεξεργασία πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων. Το πρόγραμμα πελάτη του WebGIS συστήματος, το οποίο βασίζεται στις βιβλιοθήκες OpenLayers και GeoExt οι οποίες είναι γραμμένες στην γλώσσα προγραμματισμού javascript, χρησιμοποιεί τα υλοποιημένα ερωτήματα για την ad-hoc, online χωρική και φασματική ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Το ανεπτυγμένο σύστημα στην τρέχουσα μορφή του καλύπτει πλήρως τον Ελλαδικό χώρο με πολυφασματικά δεδομένα τα οποία προέρχονται από το δορυφόρο Landsat 8, τα οποία με αυτόματο τρόπο συλλέγονται, προ-επεξεργάζονται, καταλογοποιούνται και είναι έτοιμα προς διάθεση και για τις περαιτέρω βασικές επεξεργασίες ανάλυσης. Τα ανεπτυγμένα ερωτήματα επεξεργασίας των δεδομένων τα οποία και εστιάζουν σε αγροτικές εφαρμογές είναι σε θέση να υπολογίσουν αποτελεσματικά την κάλυψη της βλάστησης, την κόμη φυλλώματος (canopy) και το υδατικό στρες της βλάστησης σε αγροτικές και δασώδεις εκτάσεις. Τα online παρεχόμενα τηλεπισκοπικά προϊόντα του συστήματος, συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν σε σχέση με παρόμοιες διεργασίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε τυπικό λογισμικό τηλεπισκόπησης και GIS συστημάτων.

Λέξεις Κλειδιά

Rasdaman, Τεχνολογίες Πινάκων, Αγροτικές Εφαρμογές, Γεωργία Ακριβείας, Πολυχρονικά, Πολυφασματικά, Δορυφορικά Δεδομένα, Γεωχωρικά Δεδομένα, Διαδυκτιακό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, WCPS

Abstract

US Landsat and EU Sentinel missions provide massive multitemporal remote sensing data. Therefore, the development of efficient technologies for their direct manipulation and processing is of fundamental importance. Towards this direction, we have designed, developed and evaluated a WebGIS system for the online analysis of open remote sensing data and for precision agriculture applications. In particular, the core functionality consists of the rasdaman Array Database Management System for storage, and the Open Geospatial Consortium Web Coverage Processing Service for data querying. Various queries have been designed and implemented in order to access and process multispectral satellite imagery. The web-client, which is based on the OpenLayers and GeoExt javascript libraries, exploits these queries enabling the online ad-hoc spatial and spectral remote sensing data analysis. The developed framework is fully covering Greece with Landsat 8 multispectral data which are stored and pre-processed automatically in our hardware for demonstration purposes. The developed queries, which are focusing on agricultural applications, can efficiently estimate vegetation coverage, canopy and water stress over agricultural and forest areas. The online delivered remote sensing products have been evaluated and compared with similar processes performed from standard desktop remote sensing and GIS software.

Keywords

Rasdaman, Array Technologies, Agricultural Applications, Precision Agriculture, Multitemporal, Multispectral, Satellite data, Geospatial data, WebGIS, WCPS

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	5
Abstract	7
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Σχημάτων	15
Κατάλογος Πινάκων	17
1 Εισαγωγή	19
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	19
1.2 Συνεισφορά	20
1.3 Οργάνωση του τόμου	21
2 Εργαλεία διαχείρισης Γεωχωρικών Δεδομένων	23
2.1 Γεωχωρικά Δεδομένα	23
2.1.1 Vector Data	24
2.1.2 Raster Data	25
2.2 Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων	29
2.2.1 Σχεσιακά ΣΔΒΔ (Relational DBMSs)	31
2.2.2 Πινακοποιημένα ΣΔΒΔ (Array DBMSs)	35
2.3 Πρότυπα OGC	46
2.3.1 Οργανισμός OGC	46
2.3.2 Ανοικτά Πρότυπα του OGC	47
2.3.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις	51
2.4 WebGISs	52
2.4.1 Εισαγωγή	52
2.4.2 Παραδείγματα	54
2.4.3 PlanetServer	57

3	Παρακολούθηση Αγροτικής Παραγωγής	59
3.1	Εισαγωγή	59
3.2	Οφέλη	66
3.3	Παραδείγματα Χρήσης	68
3.3.1	Εδαφικοί Χάρτες	69
3.3.2	Σθένος ή Υγεία των Καλλιεργειών	69
3.3.3	Κάλυψη Βλάστησης	71
3.3.4	Προβλέψεις Απόδοσης	72
3.3.5	Έλεγχος Ζιζανίων	73
3.3.6	Υπολείμματα Καλλιεργειών	73
4	Ανάλυση και Σχεδίαση	75
4.1	Επιστημονικές Προκλήσεις	75
4.2	Ανάλυση - Περιγραφή Αρχιτεκτονικής	76
4.2.1	Διαχωρισμός Υποσυστημάτων	78
4.2.2	Περιγραφή Υποσυστημάτων	79
4.3	Απαιτήσεις Χρηστών	82
4.3.1	Ανίχνευση Βλάστησης	82
4.3.2	Υπολογισμός Κόμης Φυλλώματος	85
4.3.3	Υπολογισμός του στρες της βλάστησης σε σχέση με το νερό	87
5	Υλοποίηση	89
5.1	Πλατφόρμες και Προγραμματιστικά Εργαλεία	89
5.1.1	PostgreSQL	89
5.1.2	Rasdaman	90
5.1.3	OpenLayers	91
5.1.4	GeoExt	92
5.1.5	Apache HTTP Server	92
5.1.6	Apache Tomcat	93
5.1.7	GDAL/OGR	94
5.1.8	PHP	94
5.1.9	HTML/CSS	95
5.1.10	Javascript	96
5.1.11	JQuery	97
5.1.12	Python	97
5.1.13	Debian GNU/Linux	98
5.2	Δεδομένα και μεταδεδομένα	99
5.2.1	Πηγές δεδομένων	99
5.2.2	Επεξεργασία	102
5.3	Διαδουκτιακή εφαρμογή	105

6	Οδηγός Εγκατάστασης και Χρήσης	119
6.1	Οδηγός Εγκατάστασης	119
6.2	Οδηγός Χρήσης	129
6.2.1	Οπίσθιο Τμήμα	129
6.2.2	Web Client	131
6.3	Επίδειξη Εφαρμογής	138
7	Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις	149
7.1	Σύνοψη και συμπεράσματα	149
7.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις	149
7.2.1	Βελτίωση και επέκταση της διαδουκτιακής εφαρμογής	150
7.2.2	Αξιοποίηση υποδομών νέφους	150
7.2.3	Ανάπτυξη εφαρμογής Android	151
7.2.4	Βελτιώσεις στο rasdaman	151
	Βιβλιογραφία	152

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Vector Data εν σχέση με τον πραγματικό κόσμο. (Πηγή: www.geography.hunter.cuny.edu)	24
2.2	Raster Data.	25
2.3	Πρόβλεψη κινδύνου για εκδήλωση πυρκαγιάς ανά την Ευρώπη για τις 22–6–2000 σε μορφή raster. (Πηγή: ec.europa.eu/echo/files)	26
2.4	Επικάλυψη πληροφορίας από raster και vector layers. (Πηγή: maprabu.blogspot.gr)	27
2.5	Απλοποιημένο περιβάλλον συστήματος Βάσης Δεδομένων.	30
2.6	Raster Data Cubes.	37
2.7	Θέση του rasdaman στη στοίβα προγραμμάτων εφαρμογών. (Πηγή: wiki.ieee-earth.org)	41
2.8	Tiling ενός array data cube στο rasdaman. (Πηγή: en.wikipedia.org/wiki/Rasdaman)	43
2.9	Αρχιτεκτονική του rasdaman σε σχέση με τα προγράμματα πελάτες. Εδώ παρουσιάζεται συγκεκριμένα το petascope μέσω της υλοποίησης της διεπαφής για το πρότυπο WCPS. (Πηγή: www.rasdaman.org/wiki/Technology)	45
2.10	Screenshot της υπηρεσίας Google Maps.	55
2.11	Screenshot της υπηρεσίας NOA GIS.	56
2.12	Screenshot της υπηρεσίας VegScape.	57
2.13	Screenshot της εφαρμογής PlanetServer.	58
3.1	Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων. (Πηγή: http://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση)	61
3.2	Το ορατό φως είναι μία σχετικά στενή ζώνη στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η τηλεπισκόπηση μετράει την ανακλαστικότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μέσα αλλά και έξω από την ορατή περιοχή του φάσματος. (Πηγή: http://extension.missouri.edu/p/EQ453)	63
3.3	Εδαφικός Χάρτης.	69
3.4	Χάρτης Σθένους. (Πηγή: nassgeodata.gmu.edu/VegScape/)	70
3.5	Χάρτης Κάλυψης Βλάστησης. (Πηγή: nassgeodata.gmu.edu/CropScape/)	71
3.6	Χάρτης Πρόβλεψης Απόδοσης. (Πηγή: http://www.innovativegis.com)	72

3.7	Χάρτης υπολειμμάτων καλλιεργειών στις Η.Π.Α. (Πηγή: www.nrel.gov/gis/biomass.html)	73
4.1	Οι βασικές συνιστώσες (components) του <i>RemoteAgri</i> WebGIS συστήματος.	78
4.2	Ο Web Client του <i>RemoteAgri</i> WebGIS συστήματος για την online ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων για αγροτικές εφαρμογές. Σε αυτό το συγκεκριμένο στιγμιότυπο, το σύστημα <i>RemoteAgri</i> έχει υπολογίσει το έγχρωμο σύνθετο (RGB 654) σε μια περιοχή κοντά στο δέλτα του ποταμού Αξιού και το αποτέλεσμα απεικονίζεται σαν ένα επίθεμα εικόνας. Περιοχές οι οποίες καλύπτονται από οποιοδήποτε τύπο βλάστησης απεικονίζονται σε τόνους πράσινου χρώματος, καθώς η βλάστηση αντανακλά έντονα στην περιοχή του φάσματος της υπέρυθρης ζώνης (NIR band).	83
5.1	Screenshot Web εφαρμογής η οποία χρησιμοποιεί το OpenLayers και το GeoExt.	92
5.2	Ο Landsat 8 με ευδιάκριτους τους δύο αισθητήρες. (Πηγή: landsat.usgs.gov)	100
5.3	Αντιστοιχία ανάμεσα στα κανάλια των δορυφόρων Landsat 7 και 8. (Πηγή: NASA)	101
5.4	Γραφική παρουσίαση της πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας. (Πηγή: SeaHARRE-5 Workshop 13-16 April 2010, Hobart, Tasmania)	102
5.5	Διάγραμμα Ροής Τηλεπισκόπησης. (Πηγή: Hadjimitsis, 2011)	103
5.6	Screenshot του Web Client του <i>RemoteAgri</i> WebGIS, με ορατές όλες τις δυνατότητές του.	105
6.1	Άνοιγμα τεματικού.	121
6.2	Τεματικό.	121
6.3	Οθόνη σύνδεσης.	132
6.4	Μενού επιλογών.	133
6.5	Γραμμή εργαλείων.	133
6.6	Επιλογή εστίασης σε συγκεκριμένη περιοχή.	134
6.7	Μέτρηση μήκους γραμμής.	134
6.8	Μέτρηση εμβαδού περιοχής.	135
6.9	Ορισμός περιοχής ενδιαφέροντος.	135
6.10	Διαθέσιμες εικόνες κάλυψης περιοχής ενδιαφέροντος.	136
6.11	Αναδυόμενα παράθυρα εικόνων και διαθέσιμων επεξεργασιών.	136
6.12	Προβολή αποτελέσματος.	137
6.13	Παρακολούθηση περιοχής στον Αξιό ποταμό – RGB εικόνες.	141
6.14	Παρακολούθηση περιοχής στον Αξιό ποταμό – Vegetation Detection.	142
6.15	Παρακολούθηση περιοχής στον Αξιό ποταμό – Canopy Estimation.	143
6.16	Παρακολούθηση περιοχής στον Αξιό ποταμό – Water Stress Estimation.	144
6.17	Στιγμιότυπο προβολής της RGB εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.	145

6.18 Στιγμιότυπο προβολής της RGB 543 εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.	145
6.19 Στιγμιότυπο προβολής της RGB 654 εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.	146
6.20 Στιγμιότυπο εκτέλεσης της επεξεργασίας Vegetation Detection για την περιοχή ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.	146
6.21 Στιγμιότυπο εκτέλεσης της επεξεργασίας Canopy Estimation για την περιοχή ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.	147
6.22 Στιγμιότυπο εκτέλεσης της επεξεργασίας Water Stress Estimation για την περιοχή ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.	147

Κατάλογος Πινάκων

5.1	Τα κανάλια του αισθητήρα OLI. (Πηγή: NASA)	101
5.2	Τα κανάλια του αισθητήρα TIRS. (Πηγή: NASA)	101

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Στην ιστορία της ανθρωπότητας, η δημιουργία και η επεξεργασία πληροφοριών, αποτέλεσε και αποτελεί τον πιο βασικό μοχλό για την τεχνολογική εξέλιξη και την κατανόηση του κόσμου. Στη σύγχρονη εποχή υπάρχει μια εκρηκτική αύξηση της ποσότητας της δημιουργούμενης πληροφορίας και αντιστοίχως της απαίτησης για την επεξεργασία της με σκοπό την παραγωγή γνώσης. Ο επιστημονικός και τεχνολογικός κόσμος δημιουργεί σύνολα δεδομένων τεραστίου μεγέθους μέσω κινητών συσκευών συλλογής πληροφοριών, τεχνολογιών εναέριων αισθητήρων, καμερών, μικροφώνων και δικτύων ασύρματων αισθητήρων. Επίσης στις διεθνείς αγορές [4] οι επιχειρήσεις, οι προμηθευτές και οι πελάτες δημιουργούν τεράστιες ποσότητες πληροφοριών. Ο παγκόσμιος όγκος ψηφιακής πληροφορίας διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες.

Αυτός ο κατακλυσμός δεδομένων που δημιουργεί μεγάλες προκλήσεις στην επιστημονική κοινότητα, αναφέρεται συχνά ως Big Data. Ο όρος Big Data αναφέρεται σε συλλογές συνόλων δεδομένων, το μέγεθος των οποίων καθιστά την επεξεργασία τους δύσκολη από τις τωρινές ή τις παραδοσιακές τεχνολογίες βάσεων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτών των συλλογών μπορεί να είναι είτε δημόσια, δηλαδή να είναι διαθέσιμα στο κοινό με κάποια χρέωση ή ακόμα και χωρίς χρέωση, είτε ιδιωτικά οπότε και ανήκουν σε κάποιον οργανισμό και είναι διαθέσιμα μόνο σε αυτόν τον οργανισμό. Εν γένει, σύνολα δεδομένων τα οποία είναι δημόσια αναφέρονται ως ανοιχτά δεδομένα (Open Data). Τα ανοιχτά δεδομένα αποτελούν καίριο μοχλό ανάπτυξης και καινοτομίας καθώς παρέχουν τη βάση για την ανάπτυξη ποικίλων εφαρμογών. Η σημασία και η επίδραση των ανοιχτών δεδομένων γίνεται περισσότερο κατανοητή αν αναλογιστούμε το γεγονός ότι πριν την απελευθέρωσή τους και τελικά την ελεύθερη παροχή τους, τα δεδομένα αυτά είτε ήταν τελείως απρόσιτα στην επιστημονική κοινότητα είτε ήταν διαθέσιμα με κόστος το οποίο όμως ήταν απαγορευτικό.

Τα Big Data έχουν αγγίξει πλέον κάθε τομέα της επιστήμης και της παγκόσμιας οικονομίας. Ένα είδος Big Data τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον και έχουν τεράστιο φάσμα εφαρμογών είναι τα Γεωχωρικά Δεδομένα (Geospatial Data). Τα γεωχωρικά δεδομένα είναι πλέον σε μεγάλο βαθμό δημόσια και αυτό έχει ανοίξει το δρόμο για την ανάπτυξη ανοιχτών (ελεύθερων) εφαρμογών (open geospatial data applications) για την επεξεργασία τους

και την εξαγωγή γνώσης από αυτά. Οι εφαρμογές αυτές έχουν ζωτικής σημασίας πρακτική αξία όπως για παράδειγμα [14] στην παρακολούθηση των πάγων στην επιφάνεια της γής, στην παρακολούθηση της κατάστασης της ατμόσφαιρας, στη δημιουργία γεωλογικών μοντέλων, στην ωκεανογραφία καθώς και στη γεωλογική ανάλυση των πλανητών.

Ένας ακόμα τομέας στον οποίο οι ανοιχτές εφαρμογές γεωχωρικών δεδομένων είναι όχι μόνο εξαιρετικά χρήσιμες αλλά πλέον μπορούν να αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο μέχρι σήμερα οι άνθρωποι εργάζονται σε αυτόν είναι η γεωργία και οι καλλιεργητικές πρακτικές και τεχνικές. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές γεωχωρικών δεδομένων στην παρακολούθηση καλλιεργειών, παρέχουν εργαλεία [32] τα οποία μας δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της ανάπτυξης της βλάστησης σε πραγματικό χρόνο μέσω της φασματικής ανάλυσης εικόνων υψηλής ανάλυσης. Έτσι μπορούμε να αποφασίσουμε με ακρίβεια και ταχύτητα για επιπλέον εργασίες που πρέπει να γίνουν σε κάποια καλλιέργεια οσοδήποτε απομακρυσμένη και αν είναι αυτή, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής. Είναι φανερό πόσο σημαντική είναι η παρακολούθηση του καλλιεργειών μέσω αυτών των εργαλείων στη σύγχρονη κοινωνία, όπου ο ολοένα και αυξανόμενος πληθυσμός δημιουργεί παγκοσμίως την ανάγκη για αυξημένη αγροτική παραγωγή και καλύτερη διαχείριση των αγροτικών πόρων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους οι εφαρμογές γεωχωρικών δεδομένων γίνονται διαθέσιμοι στο κοινό. Ένας από τους πιο εύχρηστους, προσιτούς και ταυτόχρονα εύρωστους τρόπους για να γίνουν διαθέσιμες οι εφαρμογές και τα εργαλεία αυτά είναι μέσω ενός διαδικτυακού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (webGIS). Ο τρόπος αυτός δεν απαιτεί τίποτε άλλο παρά [25] έναν φυλλομετρητή ιστού (browser) από τον χρήστη προκειμένου αυτός να έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη ενός webGIS για την παρακολούθηση καλλιεργειών καθώς και συλλογή, επεξεργασία και διαχείριση ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων με τη βοήθεια καινοτόμων εργαλείων διαχείρισης Big Geospatial Data.

1.2 Συνεισφορά

Η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνίσταται στα παρακάτω σημεία :

- Στην εργασία αυτή έγινε η επίδειξη της διασύνδεσης σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογιών διαχείρισης μεγάλων δεδομένων (τηλεπισκοπικά δεδομένα) καθώς και τεχνολογιών ανάπτυξης διαδικτυακών εφαρμογών σε ένα πολυχρηστικό περιβάλλον πελάτη - εξυπηρετητή καθώς και η μελέτη διαδικτυακών προτύπων τα οποία έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να διευκολύνουν την επικοινωνία του πελάτη με τον εξυπηρετητή για την αποστολή και λήψη γεωχωρικών δεδομένων και πληροφοριών.
- Επίσης πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός πλήρους συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση των καλλιεργειών και την εξαγωγή γνώσης σχετικά με την κατάστασή τους και τις δυνατότητές τους. Το σύστημα αυτό με εντατική ανάπτυξη και επιπλέον

έρευνα έχει όλες τις δυνατότητες να εξελιχθεί σε ένα σύστημα παρακολούθησης της βλάστησης σε - σχεδόν - πραγματικό χρόνο. Επιπλέον το σύστημα έχει τη δυνατότητα να ενσωματώσει και άλλες χρήσεις των τηλεπισκοπικών δεδομένων πέρα από τις υπάρχουσες για αγροτικές εφαρμογές. Για παράδειγμα είναι δυνατόν το σύστημα με την προσθήκη κάποιων επιπλέον επεξεργασιών να λειτουργήσει και ως ένα σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε λίμνες και ποτάμια. Άρα, η συνεισφορά της εργασίας για το σημείο αυτό, έγκειται όχι μόνο στη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης μεγάλων δεδομένων για αγροτικές εφαρμογές, αλλά και στην ανάπτυξη μιας πλατφόρμας διαχείρισης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων γενικού σκοπού, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τις υπάρχουσες ανάγκες και δυνατότητες.

1.3 Οργάνωση του τόμου

Η εργασία αυτή είναι οργανωμένη σε επτά κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται οι βασικές τεχνολογίες που σχετίζονται με την εργασία αυτή. Αρχικά περιγράφονται τα γεωχωρικά δεδομένα και τα εργαλεία διαχείρισής τους, στη συνέχεια παρουσιάζεται ο οργανισμός OGC και τα διαδικτυακά του πρότυπα τα οποία κάνουν δυνατή την online ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων και τέλος γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των δυνατοτήτων και των πλεονεκτημάτων των Web GIS συστημάτων.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η θεματική βάση αυτής της εργασίας με την περιγραφή της τεχνικής της παρακολούθησης της αγροτικής παραγωγής με τηλεπισκοπικές μεθόδους. Αναλύεται η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής καθώς και η επιστήμη της τηλεπισκόπησης, παρουσιάζονται τα οφέλη αυτής, καθώς και παραδείγματα χρήσης τα οποία καταδεικνύουν τη σημασία των προαναφερθέντων μεθόδων.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η ανάλυση και η σχεδίαση του συστήματος που δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα αυτής της εργασίας και δίνεται η περιγραφή των υποσυστημάτων και των εφαρμογών του.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η περιγραφή της υλοποίησης του συστήματος, με λεπτομέρειες σχετικά με τις πλατφόρμες και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και με την ανάλυση των βασικών αλγορίθμων του και της δομής του κώδικα.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρέχεται αρχικά ένας οδηγός εγκατάστασης και στη συνέχεια ένας οδηγός χρήσης του συστήματος και στο τέλος παρουσιάζεται ο έλεγχος καλής λειτουργίας του συστήματος με βάση ένα συγκεκριμένο σενάριο χρήσης.

Τέλος στο **Κεφάλαιο 7** δίνονται τα συμπεράσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και μελλοντικές επεκτάσεις της.

Κεφάλαιο 2

Εργαλεία διαχείρισης Γεωχωρικών Δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τα εργαλεία διαχείρισης γεωχωρικών δεδομένων. Αφού εξηγήσουμε τον όρο "γεωχωρικά δεδομένα", θα παρουσιάσουμε τα διάφορα εργαλεία διαχείρισης με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους καθώς και τις δυνατότητες διαχείρισης Big Data που αυτά έχουν. Στόχος είναι η κατανόηση των διάφορων τεχνολογιών τόσο ως ξεχωριστές οντότητες για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων όσο και ως συνεργαζόμενα μέρη για την παροχή ολοκληρωμένων υπηρεσιών επεξεργασίας, διαχείρισης και παρουσίασης γεωχωρικών δεδομένων.

2.1 Γεωχωρικά Δεδομένα

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή τα Γεωχωρικά Δεδομένα (Geospatial Data) παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον και έχουν τεράστιο φάσμα εφαρμογών. Τι σημαίνει όμως ο όρος γεωχωρικά δεδομένα;

Με τον όρο γεωχωρικά δεδομένα [2] περιγράφεται η πληροφορία εκείνη που προσδιορίζει τη γεωγραφική τοποθεσία καθώς και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα φυσικών ή και κατασκευασμένων από τον άνθρωπο αντικειμένων, καθώς και διάφορα νοητά όρια στην γή.

Από τον ορισμό των γεωχωρικών δεδομένων καταλαβαίνουμε ότι αυτά έχουν δύο συνιστώσες. Η μία συνιστώσα είναι η λεγόμενη χωρική συνιστώσα η οποία περιγράφει την τοποθεσία, το σχήμα, τον προσανατολισμό και το μέγεθος ενός αντικειμένου στον διδιάστατο ή τριδιάστατο χώρο. Η δεύτερη συνιστώσα περιγράφει ένα αντικείμενο μέσω μη χωρικών χαρακτηριστικών τα οποία αναφέρονται και ως θεματικά ή περιγραφικά χαρακτηριστικά.

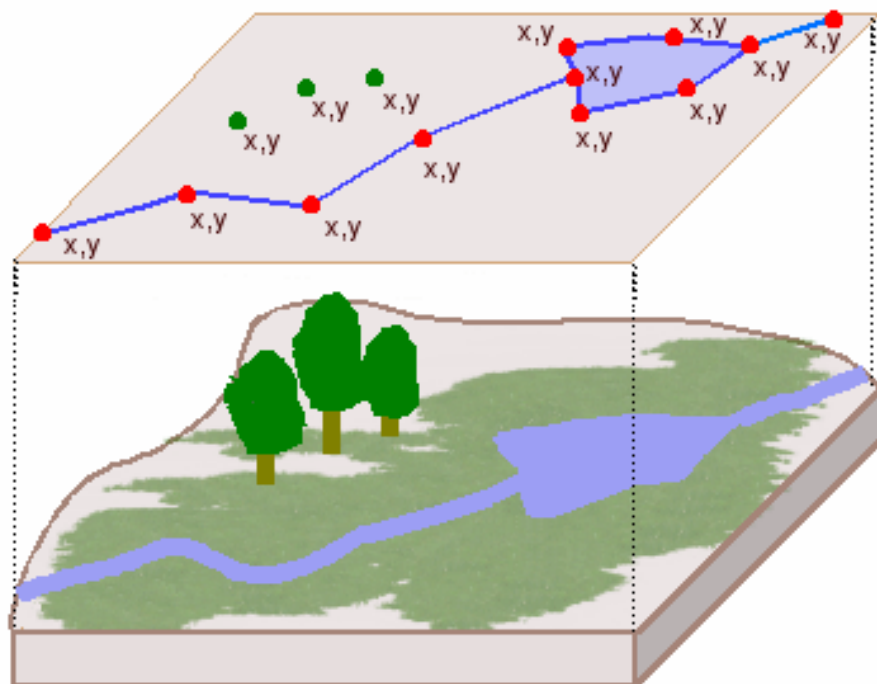
Οι εικόνες από χάρτες και δορυφόρους όπως επίσης και η τοπολογία ενός οδικού δικτύου είναι τυπικά παραδείγματα γεωχωρικών δεδομένων. Οι χάρτες μπορεί να παρέχουν όχι μόνο πληροφορίες θέσεων (χωρική συνιστώσα) για σύνορα, ποταμούς και δρόμους, για παράδειγμα, αλλά επίσης και πιο λεπτομερείς πληροφορίες (περιγραφικά χαρακτηριστικά) που σχετίζονται με τόπους, όπως υψόμετρο, τύπο χώματος, χρήση γης και ετήσιες βροχοπτώσεις.

Τα γεωχωρικά δεδομένα αναπαρίστανται τυπικά στα σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα

με δύο κυρίως τρόπους. Αναπαρίστανται είτε ως είτε ως διανυσματικά δεδομένα (vector data) είτε ως δεδομένα raster (raster data). Παρακάτω περιγράφουμε αναλυτικά αυτούς τους δύο τρόπους αναπαράστασης [24], παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός .

2.1.1 Vector Data

Τα διανυσματικά δεδομένα (vector data) κατασκευάζονται από απλά γεωμετρικά αντικείμενα, τα οποία βασίζονται σε μαθηματικές εκφράσεις και αποτελούνται από έναν ή περισσότερους διασυνδεδεμένους κόμβους, για να αναπαραστήσουν εικόνες σε γραφικά ηλεκτρονικών υπολογιστών(H/Y). Ένας κόμβος περιγράφει μια θέση στο χώρο χρησιμοποιώντας δύο ή και τρεις άξονες. Στο πλαίσιο των γεωχωρικών δεδομένων μια θέση στο χώρο αντιπροσωπεύεται συνήθως από το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος και από το ύψος στο οποίο βρίσκεται. Τέτοια γεωμετρικά αντικείμενα είναι ένα σημείο, ένα ευθύγραμμο τμήμα, μια polyline, ένα τρίγωνο καθώς και άλλα πολύγωνα σε δύο διαστάσεις και ένας κύλινδρος, μία σφαίρα, ένας κύβος και άλλα πολύεδρα σε τρεις διαστάσεις.



Σχήμα 2.1: Vector Data εν σχέση με τον πραγματικό κόσμο. (Πηγή: www.geography.hunter.cuny.edu)

Τα διανυσματικά δεδομένα παρέχουν έναν τρόπο αναπαράστασης οντοτήτων του πραγματικού κόσμου. Μια οντότητα είναι οτιδήποτε μπορεί να υπάρχει σε έναν τόπο. Τα δέντρα, τα σπίτια, οι δρόμοι, τα ποτάμια είναι όλα οντότητες. Κάθε τέτοια οντότητα εκτός από τη θέση έχει και επιπρόσθετη πληροφορία-χαρακτηριστικά, είτε σε μορφή κειμένου είτε σε αριθμητική μορφή που την περιγράφει.

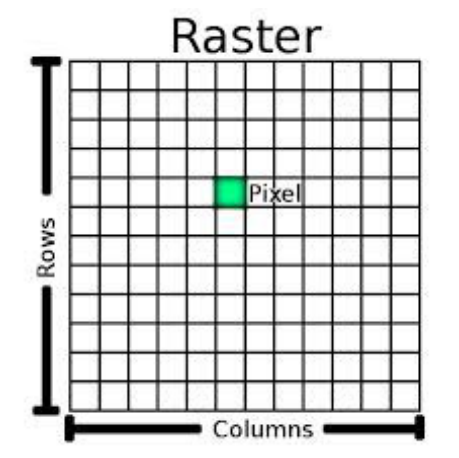
Τα δεδομένα χαρτών συνήθως αντιπροσωπεύονται σε διανυσματική μορφή. Οι δρόμοι συνήθως αντιπροσωπεύονται σαν polyline. Διάφορες γεωγραφικές οντότητες, όπως μεγάλες λίμνες ή ακόμα και πολιτικές οντότητες, όπως νομοί και χώρες αντιπροσωπεύονται από πολύπλοκα πολύγωνα. Μερικές οντότητες όπως οι ποταμοί μπορούν να αναπαρασταθούν είτε ως πολύπλοκες καμπύλες είτε ως πολύπλοκα πολύγωνα ανάλογα με το αν έχει σημασία το πλάτος τους.

Η αναπαράσταση των γεωχωρικών δεδομένων σε μορφή vector έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Τα κυριότερα είναι τα ακόλουθα :

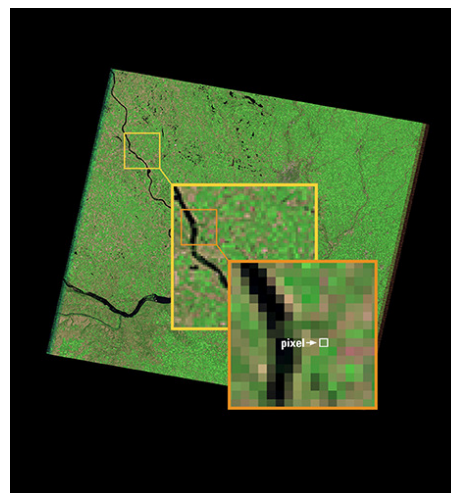
- Τα διανυσματικά δεδομένα έχουν μικρές απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο καθώς το μέγεθος της αναπαράστασης τους στο δίσκο δεν εξαρτάται από τις διαστάσεις του αντικειμένου που αναπαριστούν.
- Η εστίαση (zoom in) σε μια αναπαράσταση διανυσματικών δεδομένων μπορεί να γίνει οσοδήποτε μεγάλη χωρίς να αλλοιωθεί το οπτικό αποτέλεσμα της αναπαράστασης .

2.1.2 Raster Data

Τα raster δεδομένα αποτελούνται από bitmap ή από pixel (εικονοστοιχεία – ψηφίδες) σε παράθεση, σε δύο ή περισσότερες διαστάσεις. Κάθε ψηφίδα [40] καλύπτει μια περιοχή σταθερού μεγέθους και περιέχει μια τιμή η οποία προέρχεται από κάποιον αισθητήρα και περιγράφει τις συνθήκες για την περιοχή την οποία καλύπτει. Ένα τυπικό παράδειγμα δισδιάστατης εικόνας raster είναι μια δορυφορική εικόνα μιας περιοχής.



Πλέγμα pixel. (Πηγή: docs.qgis.org)



Δορυφορική εικόνα με εμφανή τα pixel. (Πηγή: www.mapbox.com)

Σχήμα 2.2: Raster Data.

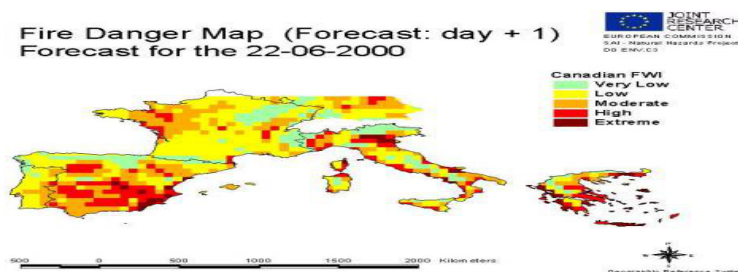
Εκτός από την εικόνα, τα δεδομένα περιλαμβάνουν τη θέση της εικόνας, που καθορίζεται για παράδειγμα από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος των γωνιών της, τη χωρική ανάλυση

της εικόνας, που καθορίζεται από το συνολικό αριθμό των pixel από τα οποία αποτελείται μια εικόνα ή πιο συχνά στα γεωχωρικά δεδομένα από την περιοχή που καλύπτεται από κάθε pixel και την φασματική ανάλυση της εικόνας που καθορίζεται από το πλήθος των ζωνών (bands) της εικόνας για τις οποίες αυτή έχει πληροφορία.

Για μια εικόνα raster όσο μεγαλύτερη είναι η χωρική ανάλυση της εικόνας τόσο μεγαλύτερη λεπτομέρεια αυτή έχει αλλά ανάλογο είναι και το κόστος σε αποθηκευτικό χώρο. Σε αντίθεση δηλαδή με τα διανυσματικά δεδομένα, εδώ, για περισσότερη ανάλυση χρειαζόμαστε περισσότερο αποθηκευτικό χώρο στο δίσκο. Επίσης ένα ακόμα μειονέκτημα σε σχέση με τα διανυσματικά δεδομένα είναι ότι για μεγάλη εστίαση (zoom in) το οπτικό αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό καθώς οι ψηφίδες από τις οποίες αποτελείται η εικόνα γίνονται ορατές με συνέπεια να χάνεται η αίσθηση της συνέχειας και τα διάφορα αντικείμενα που απεικονίζονται να μην διακρίνονται εύκολα.

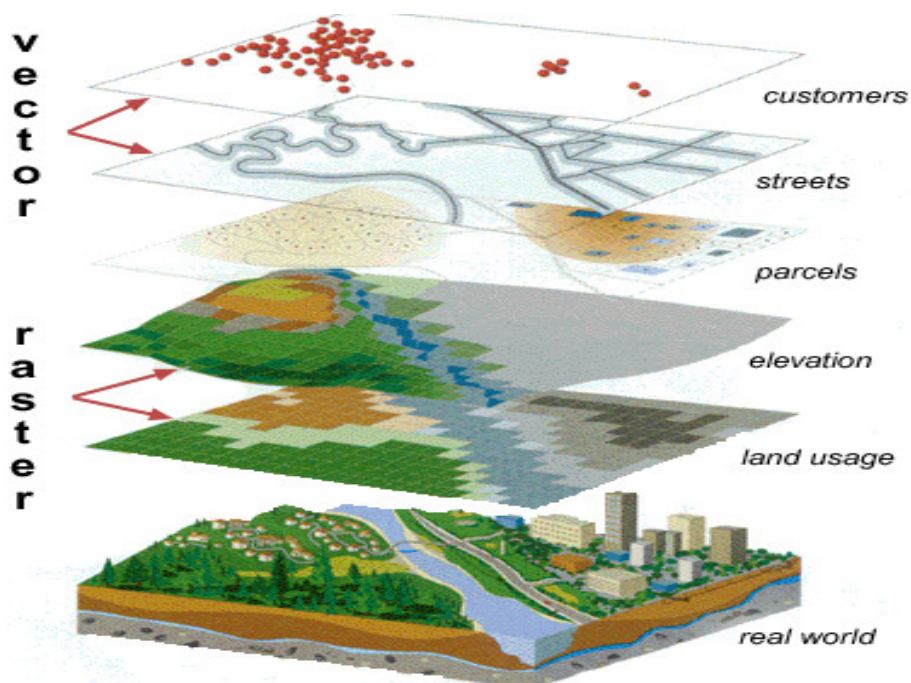
Τα raster δεδομένα από την άλλη πλευρά είναι εξαιρετικά χρήσιμα όταν θέλουμε να παρουσιάσουμε πληροφορία η οποία είναι συνεχής σε μια περιοχή και δεν μπορεί να διαχωριστεί εύκολα σε οντότητες μιλώντας με όρους διανυσματικών δεδομένων. Για παράδειγμα, μια πεδιάδα η οποία συνήθως έχει μεγάλη ποικιλία σε χρώματα και πυκνότητα βλάστησης είναι πολύ δύσκολο να αναπαρασταθεί χρησιμοποιώντας διανυσματικά δεδομένα. Είτε θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε κάποια πολύ απλή αναπαράσταση χάνοντας όμως έτσι πολύτιμες πληροφορίες είτε θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε κάποια πολύ σύνθετη αναπαράσταση ψηφιοποιώντας και την παραμικρή λεπτομέρεια, εργασία για την οποία όμως θα χρειαζόταν να δαπανηθεί πάρα πολύς χρόνος και κόπος. Τα raster δεδομένα επομένως είναι αυτό που χρειαζόμαστε όταν έχουμε ομογενή χαρακτηριστικά καθώς το ανθρώπινο μάτι είναι πολύ ικανό στο να ερμηνεύει εικόνες και να διαχωρίζει μικρές λεπτομέρειες που θα ήταν δύσκολο να ψηφιοποιηθούν επαρκώς εξαιτίας της ποσότητας τους.

Τα raster δεδομένα, δεν είναι ικανά μόνο στο να απεικονίζουν επιφάνειες του πραγματικού κόσμου αλλά μπορούν να απεικονίζουν και πιο αφηρημένες έννοιες. Παραδείγματος χάρη μπορούν να δείχνουν τις τάσεις των βροχοπτώσεων για μια περιοχή ή να απεικονίζουν τον κίνδυνο για την εκδήλωση πυρκαγιάς σε έναν τόπο. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές κάθε pixel στη raster εικόνα αντιπροσωπεύει μια διαφορετική τιμή. Στο παράδειγμα με τον κίνδυνο για εκδήλωση πυρκαγιάς, κάθε pixel μπορεί να περιέχει μια τιμή σε κλίμακα από το 1 μέχρι το 10 για τον κίνδυνο στη συγκεκριμένη περιοχή.



Σχήμα 2.3: Πρόβλεψη κινδύνου για εκδήλωση πυρκαγιάς ανά την Ευρώπη για τις 22–6–2000 σε μορφή raster. (Πηγή: ec.europa.eu/echo/files)

Το σύνθηρες στις εφαρμογές και κυρίως στην παρουσίαση γεωχωρικών δεδομένων είναι να χρησιμοποιούνται από κοινού vector και raster δεδομένα καθώς όπως εύκολα καταλαβαίνουμε αλληλοσυμπληρώνονται όσον αφορά τα πλεονεκτήματά τους. Έτσι συνήθως χρησιμοποιούνται εικόνες raster σαν βασικά στρώματα (layers) και επικαλύπτονται με πληροφορία που προκύπτει από vector layers. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να παρουσιάσουμε μια πεδιάδα μπορούμε να έχουμε μια raster δορυφορική εικόνα της πεδιάδας σαν ένα βασικό layer και να το επικαλύψουμε με διάφορα vector layers που θα μπορούσαν να είναι ένα layer με τους δρόμους που τη διασχίζουν καθώς και ένα layer με τα ποτάμια που τη διαρρέουν.



Σχήμα 2.4: Επικάλυψη πληροφορίας από raster και vector layers. (Πηγή: maprabu.blogspot .gr)

Raster Data = Big Data

Στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, παρουσιάστηκε και επεξηγήθηκε ο όρος Big Data, καθώς επίσης και έγινε αναφορά στις προκλήσεις που έχουν τεθεί στην επιστημονική κοινότητα σε σχέση με την αποθήκευση, οργάνωση, διαχείριση, επεξεργασία και το διαμοιρασμό "μεγάλων" δεδομένων. Αναφέρθηκε επίσης ότι τα γεωχωρικά δεδομένα είναι ένα είδος Big Data και για το λόγο αυτό –και όχι μόνο– παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον και έχουν τεράστιο φάσμα εφαρμογών. Γιατί όμως τα γεωχωρικά δεδομένα στη μορφή raster είναι Big Data;

Τα Big Data έχουν τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι γνωστά ως τα "4 Vs" από το αρχικό γράμμα (V) των λατινικών τους ονομασιών. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα

εξής [33]:

- i. **Ο όγκος (Volume)** : Για να χαρακτηριστεί ένα σύνολο δεδομένων ως Big Data, θα πρέπει αυτό να είναι ένα σύνολο δεδομένων μεγάλου όγκου. Δηλαδή μιλάμε για τάξεις μεγέθους από terabyte έως exabyte και μεγαλύτερες, εν σχέση πάντα και με τους υπολογιστικούς πόρους που έχουμε στη διάθεσή μας. Δηλαδή ένα σύνολο δεδομένων μεγάλου όγκου που για έναν οργανισμό μπορεί να είναι Big Data, για ένα άλλο μπορεί να μην είναι.
- ii. **Η ταχύτητα (Velocity)** : Το πόσο γρήγορα καταφθάνουν νέα δεδομένα στο σύστημα για προεπεξεργασία και εισαγωγή, όπως επίσης και πόσο γρήγορα το σύστημα πρέπει να ανταποκρίνεται σε ερωτήματα χρηστών πάνω στα δεδομένα. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο πιο απαιτητική σε υπολογιστικούς πόρους και χρόνο είναι η διαχείριση των δεδομένων.
- iii. **Η ποικιλομορφία (Variety)** : Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται στην ποικιλομορφία των δεδομένων που καταφθάνουν με μεγάλη ταχύτητα σε ένα σύστημα προς επεξεργασία. Με τη λέξη ποικιλομορφία εννοούμε τους διαφορετικούς τύπους δεδομένων που μπορεί να καταφθάνουν, τις μη ευθυγραμμισμένες δομές δεδομένων καθώς επίσης και την πιθανή ασυνεπή σημασιολογία των δεδομένων. Όλη αυτή η διαφορετικότητα πρέπει να είναι διαχειρίσιμη από το εκάστοτε σύστημα διαχείρισης των δεδομένων για να είναι δυνατόν να εξαχθεί γρήγορα και σωστά γνώση από αυτά τα δεδομένα.
- iv. **Η αλήθεια–εγκυρότητα (Veracity)** : Η αλήθεια των δεδομένων. Δηλαδή ποια πρέπει να είναι η ερμηνεία των δεδομένων ώστε αυτά να αποτελούν αληθή και έγκυρη αναπαράσταση του στιγμιότυπου της κατάστασης του κόσμου που απεικόνισαν.

Τα raster δεδομένα [15] έχουν και τα τέσσερα αυτά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, τα raster δεδομένα είναι **σύνολα δεδομένων μεγάλου όγκου**. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα από διάφορους τομείς που επιβεβαιώνουν αυτό το χαρακτηριστικό. Στην κοινωνική δικτύωση υπάρχουν περιπτώσεις πινάκων πρόσπτωσης που το μέγεθός τους αγγίζει το $10^8 \times 10^8$. Στον τομέα των επιστημών που σχετίζονται με τη γη (earth science) ο οργανισμός ESA¹ σχεδιάζει να φυλάσσει 10^{12} εικόνες που το μέγεθός της κάθε μιας κυμαίνεται από 500MB έως 2GB ή και παραπάνω. Επιπλέον η **ταχύτητα** των raster δεδομένων είναι τρομακτική. Το όργανο της NASA, MODIS (ή Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), που βρίσκεται στους δορυφόρους Terra² και Aqua³ καταγράφει και στέλνει καθημερινά περίπου 1TB raster δεδομένων. Οι κατανεμημένοι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη ραδιο–αστρονομία (LOFAR: distributed sensor array farms for radio astronomy) συγκεντρώνουν 2 με 3 PB δεδομένων το χρόνο. Επιπροσθέτως, η **ποικιλομορφία** των raster δεδομένων είναι τεράστια καθώς μπορεί να έχουμε δεδομένα από αισθητήρες, εικόνες, στατιστικά και από διάφορα μοντέλα. Οι τομείς δραστηριοτήτων που παράγουν και χρειάζονται raster δεδομένα είναι πολλοί

¹www.esa.int

²<http://terra.nasa.gov>

³<http://aqua.nasa.gov>

και ετερογενείς όπως οι επιστήμες υγείας, οι γέωεπιστήμες, η μηχανολογία και οι πολυμεσικές εφαρμογές. Τέλος, η **αλήθεια** των raster δεδομένων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη χρήση τους, καθώς και τα μετρούμενα και τα υπολογισμένα δεδομένα που προκύπτουν από αυτά τα σύνολα μεγάλου όγκου, ταχύτητας και ποικιλίας πρέπει να περιέχουν πληροφορίες ποιότητας που να τα συνοδεύουν. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται προκαθορισμένες διαδικασίες για τον υπολογισμό λαθών στα δεδομένα αυτά, αλλά και πολλές φορές δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο με συνέπεια να υπάρχει μεγάλο ζήτημα για το πώς θα αποφεύγεται η διάδοση σφαλμάτων.

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται φανερό ότι τα raster δεδομένα είναι Big Data και επίσης προσδιορίζονται οι διάφορες προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν ώστε τα γεωχωρικά – raster δεδομένα να αξιοποιηθούν και να καταφέρουμε να δημιουργήσουμε καινοτόμες, βιώσιμες και χρήσιμες υπηρεσίες γεωχωρικών δεδομένων.

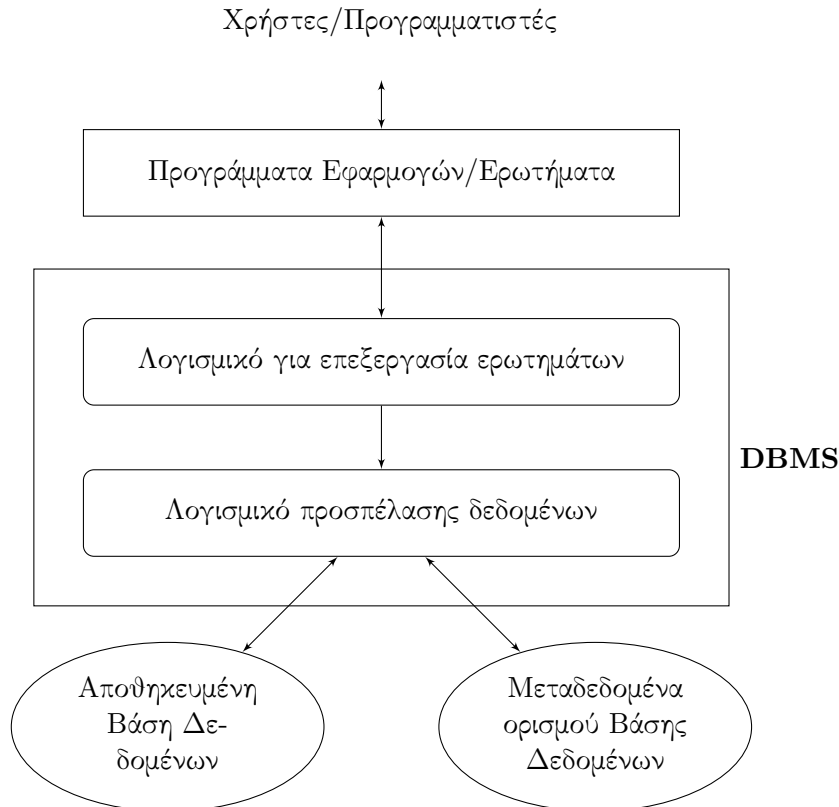
2.2 Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων

Η ραγδαία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τη συλλογή και την ψηφιοποίηση γεωχωρικών δεδομένων [45], σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη απαίτηση τόσο για το διαδραστικό χειρισμό όσο και την ανάλυση τους, δημιούργησαν την ανάγκη για ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού ικανού να πραγματοποιήσει τις παραπάνω εργασίες. Τέτοιο λογισμικό αποτελεί για παράδειγμα ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (Geographic Information System, GIS). Ένα GIS αποθηκεύει, ανακτά και συνδυάζει γεωχωρικά δεδομένα (είτε σε raster είτε σε vector μορφή) για να δημιουργήσει νέες αναπαραστάσεις, παρέχει εργαλεία για χωρική ανάλυση των δεδομένων και δίνει την δυνατότητα για τη διενέργεια προσομοιώσεων κάτι που είναι εξαιρετικά χρήσιμο για παράδειγμα στη μελέτη συγκοινωνιακών δικτύων. Εξαιτίας του ολοένα και αυξανόμενου όγκου των γεωχωρικών δεδομένων (για παράδειγμα ο όγκος των εικόνων που καταγράφονται από ένα δορυφόρο σε μία μέρα είναι της τάξεως πολλών terabyte), μία από τις πιο σημαντικές εργασίες που πρέπει να διεκπεραιωθεί, είτε από ένα GIS είτε γενικότερα από οποιαδήποτε εφαρμογή χρησιμοποιεί γεωχωρικά δεδομένα, είναι η αποδοτική διαχείριση περίπλοκων δεδομένων τεραστίου όγκου.

Το κρίσιμο πρόβλημα της αποδοτικής διαχείρισης περίπλοκων δεδομένων τεραστίου όγκου, που αφορά τη λειτουργία και τη λειτουργικότητα των εφαρμογών γεωχωρικών δεδομένων, αρχικά αντιμετωπίστηκε [51] μέσω της αποθήκευσης των δεδομένων ως αρχεία σε ένα σύστημα αρχείων ενός λειτουργικού συστήματος. Με την πάροδο του χρόνου όμως, τόσο η πολυπλοκότητα όσο και ο όγκος των δεδομένων καθώς επίσης και ο αριθμός των χρηστών που χρειάζεται να έχουν πρόσβαση και να επεξεργάζονται τα δεδομένα, αυξήθηκαν δραματικά. Αυτό είχε σαν συνέπεια να καταστεί ανεπαρκής, για τις ανάγκες των περισσότερων εφαρμογών που χρησιμοποιούν γεωχωρικά δεδομένα, η προσέγγιση της αποθήκευσης και της ανάκλησης των δεδομένων ως αρχεία σε ένα σύστημα αρχείων.

Η λύση στο πρόβλημα ήταν η τεχνολογία των Βάσεων Δεδομένων. Μια Βάση Δεδομένων [23] είναι μια μεγάλη συλλογή από σχετιζόμενα δεδομένα αποθηκευμένα σε ένα υπολογιστικό σύστημα η οποία και αναπαριστά κάποια άποψη του πραγματικού κόσμου. Ένα Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων (Database Management System, DBMS), είναι μια συλλο-

γή από προγράμματα που επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν και να συντηρήσουν μια Βάση Δεδομένων. Επομένως ένα DBMS, είναι ένα γενικής χρήσης (general-purpose) σύστημα λογισμικού το οποίο διευκολύνει τις διαδικασίες ορισμού, κατασκευής, χειρισμού, εκτέλεσης ερωτημάτων, ενημέρωσης, προστασίας και διαμοιρασμού Βάσεων Δεδομένων για διάφορες εφαρμογές. Το **Σχήμα 2.5** απεικονίζει ένα απλοποιημένο περιβάλλον συστήματος Βάσης Δεδομένων. Απεικονίζει πως ένα DBMS δρά ως ενδιάμεσος ανάμεσα στους χρήστες ή τα προγράμματα εφαρμογών και στους χώρους φυσικής αποθήκευσης των δεδομένων.



Σχήμα 2.5: Απλοποιημένο περιβάλλον συστήματος Βάσης Δεδομένων.

Τα GIS συστήματα και οι διάφορες εφαρμογές γεωχωρικών δεδομένων, απαιτούν δυνατότητες που προσφέρονται από μια Βάση Δεδομένων, ιδιαίτερα τις δυνατότητες της αποθήκευσης και της αποτελεσματικής εκτέλεσης ερωτημάτων σε μεγάλο όγκο δεδομένων. Μερικές εφαρμογές μπορεί ακόμα να απαιτούν επιπλέον λειτουργίες που προσφέρουν οι βάσεις δεδομένων, όπως ατομικές ενημερώσεις σε μέρη των αποθηκευμένων δεδομένων, ανθεκτικότητα αυτών και έλεγχο συγχρονισμού.

Ο πυρήνας επομένως κάθε GIS συστήματος και γενικότερα κάθε εφαρμογής γεωχωρικών δεδομένων, είναι η τεχνολογία των Βάσεων Δεδομένων. Η φύση και η πολυπλοκότητα όμως των γεωχωρικών δεδομένων είναι τέτοια που δεν επιτρέπει την αποτελεσματική εκτέλεση ερωτημάτων από τα τυπικά DBMSs. Ενώ οι τυπικές Βάσεις Δεδομένων έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται διάφορους αριθμητικούς και αλφαριθμητικούς τύπους δεδομένων, επιπλέον

λειτουργικότητα πρέπει να προστεθεί ώστε οι Βάσεις Δεδομένων να είναι σε θέση να επεξεργάζονται γεωχωρικά δεδομένα αποδοτικά. Για το λόγο αυτό οι τυπικές Βάσεις Δεδομένων και τα αντίστοιχα DBMSs έχουν επεκταθεί ώστε να δημιουργηθούν οι λεγόμενες **Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων**.

Μια Γεωχωρική Βάση Δεδομένων, είναι μια Βάση Δεδομένων η οποία έχει βελτιστοποιηθεί ώστε να αποθηκεύει και να εκτελεί αποτελεσματικά ερωτήματα πάνω σε δεδομένα που αναπαριστούν αντικείμενα τα οποία έχουν οριστεί σε ένα γεωμετρικό χώρο (γεωχωρικά δεδομένα). Οι περισσότερες Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων επιτρέπουν την αναπαράσταση απλών γεωμετρικών αντικειμένων όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Μερικές Γεωχωρικές Βάσεις χειρίζονται και πιο πολύπλοκες δομές όπως τρισδιάστατα αντικείμενα, τοπολογικές καλύψεις και γραμμικά δίκτυα.

Οι Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων είναι ο πυρήνας σε μια ποικιλία συστημάτων και εφαρμογών. Έχουν χρήση σε online υπηρεσίες χαρτών, σε συστήματα πλοήγησης οχημάτων, σε πληροφορίες κατανεμημένων δικτύων για δημόσια εξυπηρέτηση όπως για παράδειγμα για το τηλεφωνικό δίκτυο, το δίκτυο ηλεκτροδότησης και το δίκτυο ύδρευσης, καθώς επίσης και πληροφορίες χρήσης γης για οικολόγους και σχεδιαστές.

Η ερευνητική προσπάθεια στο πλαίσιο της τεχνολογίας των Βάσεων Δεδομένων, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός σημαντικού αριθμού μοντέλων βάσεων δεδομένων. Ένα μοντέλο βάσης δεδομένων είναι ένα μοντέλο δεδομένων, το οποίο προσδιορίζει τη λογική δομή μιας βάσης δεδομένων και επιπλέον θεμελιώνει τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα αποθηκεύονται, οργανώνονται και διαχειρίζονται σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Τέτοια μοντέλα είναι για παράδειγμα το σχεσιακό μοντέλο, το ιεραρχικό μοντέλο, το δικτυωτό μοντέλο, το μοντέλο οντοτήτων—συσχετίσεων και το αντικειμενικό μοντέλο.

Το σχεσιακό μοντέλο είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα βάσεων δεδομένων. Τα πιο γνωστά, αξιόπιστα και αποτελεσματικά DBMSs υλοποιούν το σχεσιακό μοντέλο. Είναι τα ίδια DBMSs τα οποία έχουν επεκταθεί για να υποστηρίζουν Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων. Για το λόγο αυτό στις επόμενες δύο υπο-ενότητες θα περιγράψουμε αρχικά τα σχεσιακά DBMSs στο πλαίσιο των Γεωχωρικών Βάσεων Δεδομένων και στη συνέχεια μια σχετικά καινούργια τεχνολογία, τα πινακοποιημένα DBMSs, που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διαχείριση raster δεδομένων (big data) τα οποία όμως έχουν στον πυρήνα τους ένα σχεσιακό DBMS.

2.2.1 Σχεσιακά ΣΔΒΔ (Relational DBMSs)

Οι πιο διαδεδομένες Βάσεις Δεδομένων με τα αντίστοιχα DBMSs είναι αυτές που υλοποιούν το σχεσιακό μοντέλο. Το σχεσιακό μοντέλο παρουσιάστηκε από τον Codd [18] ως ένας τρόπος για να ανεξαρτηθούν τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων από οποιαδήποτε συγκεκριμένη εφαρμογή. Είναι ένα μαθηματικό μοντέλο ορισμένο με όρους κατηγορηματικής λογικής και συνολοθεωρίας. Τα συστήματα (DBMSs) που το υλοποιούν έχουν χρησιμοποιηθεί σε όλα τα είδη υπολογιστικών συστημάτων. Από μικρής κλίμακας υπολογιστικά συστήματα (desktop systems) έως μεγάλης κλίμακας υπολογιστικά συστήματα (mainframes). Τα σχεσιακά DBMSs, υλοποιούν το σχεσιακό μοντέλο όπως αυτό ορίστηκε από τον

Codd κατά προσέγγιση και χρησιμοποιούν εκτενώς τρεις βασικούς όρους. Τις **σχέσεις**, τις **ιδιότητες** των σχέσεων και τα **πεδία τιμών** των ιδιοτήτων. Μια σχέση είναι ένας πίνακας με γραμμές και στήλες. Τα ονόματα των στηλών μιας σχέσης καλούνται ιδιότητες και τα πεδία τιμών είναι σύνολα τιμών που οι ιδιότητες επιτρέπεται να παίρνουν.

Η βασική δομή δεδομένων του σχεσιακού μοντέλου, είναι ο πίνακας στον οποίο η πληροφορία για μια συγκεκριμένη οντότητα (για παράδειγμα ένα εργαζόμενο), αναπαρίσταται σε γραμμές (καλούνται και εγγραφές ή tuples) και στήλες. Συνεπώς ο όρος "σχέση" στην "σχεσιακή βάση δεδομένων" αναφέρεται στους διάφορους πίνακες της βάσης δεδομένων. Μια σχέση είναι ένα σύνολο από εγγραφές. Οι στήλες απαριθμούν τις διάφορες ιδιότητες μιας οντότητας (για παράδειγμα το όνομα του εργαζόμενου, τη διεύθυνσή του ή/και το τηλέφωνό του) και μια γραμμή είναι ένα πραγματικό στιγμιότυπο μιας οντότητας (έναν συγκεκριμένο εργαζόμενο) που αναπαρίσταται από τη σχέση. Σαν αποτέλεσμα, κάθε εγγραφή στον πίνακα με τους εργαζόμενους αναπαριστά τις διάφορες ιδιότητες ενός μεμονωμένου εργαζόμενου. Όλες οι σχέσεις (δηλαδή οι πίνακες), σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων πρέπει να ακολουθούν ορισμένους βασικούς κανόνες για να λογίζονται ως σχέσεις. Αρχικά, η σειρά των στηλών είναι ασήμαντη σε ένα πίνακα. Επιπλέον, δεν μπορούν να υπάρχουν ταυτόσημες εγγραφές σε ένα πίνακα. Τέλος, κάθε εγγραφή θα περιέχει μία μοναδική τιμή για κάθε μια από τις ιδιοτήτες της. Οι εγγραφές διαφορετικών σχέσεων μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω προκαθορισμένων ιδιοτήτων που ονομάζονται κλειδιά. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μοντελοποιήσουμε μικρόκοσμοις του πραγματικού κόσμου σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων.

Εξαιτίας της αποδοχής και των δυνατοτήτων του σχεσιακού μοντέλου, τα σχεσιακά DBMSs ήταν αυτά που προτιμήθηκαν και επεκτάθηκαν ώστε να υποστηρίζουν γεωχωρικά δεδομένα και συνεπώς Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων. Κύρια χαρακτηριστικά των σχεσιακών Γεωχωρικών Βάσεων Δεδομένων αποτελούν τα χωρικά ευρετήρια και οι χωρικές πράξεις που μπορούν να εκτελέσουν στα δεδομένα. Οι Βάσεις Δεδομένων χρησιμοποιούν δομές δεδομένων γνωστές ως ευρετήρια, για να μπορούν να αναζητούν και να βρίσκουν γρήγορα τιμές των αποθηκευμένων δεδομένων. Τα περισσότερα από αυτά τα ευρετήρια δεν είναι βέλτιστα για χωρικά ερωτήματα πάνω στα δεδομένα. Για το λόγο αυτό οι Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων χρησιμοποιούν χωρικά ευρετήρια τα οποία επιταχύνουν τις πράξεις πάνω σε γεωχωρικά δεδομένα. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων ευρετηρίων είναι τα R δένδρα και τα R+ δένδρα. Όσον αναφορά στις χωρικές πράξεις που μπορούν να εκτελεστούν στα δεδομένα μέσω των Γεωχωρικών Βάσεων Δεδομένων, αυτές έχουν καθοριστεί από τον οργανισμό OGC⁴ (Open Geospatial Consortium), για τον οποίο θα μιλήσουμε σε επόμενη ενότητα. Ενδεικτικά, κάποιες από τις πράξεις αυτές είναι οι ακόλουθες :

- **Χωρικές μετρήσεις:** Υπολογίζουν το μήκος μιας γραμμής, το εμβαδόν ενός πολυγώνου, την απόσταση ανάμεσα σε αντικείμενα στο χώρο κ.α.
- **Χωρικές συναρτήσεις:** Οι χωρικές συναρτήσεις τροποποιούν υπάρχοντα αντικείμενα για να δημιουργήσουν νέα, όπως για παράδειγμα να παρέχουν μια ζώνη (buffer) γύρω τους ή να υπολογίσουν την τομή τους (intersection).

⁴www.opengeospatial.org

- **Χωρικά κατηγορήματα:** Επιτρέπουν ερωτήματα με απάντηση αληθές/ψευδές τα οποία αφορούν χωρικές σχέσεις ανάμεσα σε αντικείμενα. Τέτοια ερωτήματα είναι για παράδειγμα εάν "επικαλύπτονται δύο πολύγωνα;" ή "υπάρχει νοσοκομείο σε ακτίνα 30 χιλιομέτρων από το σημείο που θα χτιστεί μία συγκεκριμένη κατοικία;".
- **Κατασκευαστές γεωμετρίας (Geometry Constructors):** Δημιουργούν νέες γεωμετρίες, συνήθως μέσω του καθορισμού των κόμβων που ορίζουν το σχήμα της γεωμετρίας.
- **Συναρτήσεις παρατήρησης:** Ερωτήματα που επιστρέφουν συγκεκριμένη πληροφορία σχετικά με ένα αντικείμενο, όπως για παράδειγμα αν αυτό είναι κύκλος επιστρέφεται η τοποθεσία του κέντρου του κύκλου.

Η Γεωχωρική Βάση Δεδομένων PostGIS ⁵, η οποία αποτελεί επέκταση του αντικειμενο-σχεσιακού DBMS Postgresql ⁶, για την αποθήκευση και διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων, είναι αυτή τη στιγμή η πιο ολοκληρωμένη και διαδεδομένη βάση. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι χρησιμοποιείται σαν το κύριο σύστημα λογισμικού για τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων από πολλούς οργανισμούς, όπως επίσης και ότι χρησιμοποιείται σαν βάση δεδομένων παρασκησιακά (database backend) από ένα μεγάλο αριθμό δημοφιλών συστημάτων λογισμικού. Η PostGIS/ Postgresql είναι σύστημα ελεύθερου λογισμικού/λογισμικού ανοιχτού κώδικα.

Το σχεσιακό DBMS Postgresql έχει σχεδιαστεί με έμφαση στην επεκτασιμότητα και τη συμφωνία με τα διεθνή πρότυπα των βάσεων δεδομένων. Ως ένας εξυπηρετητής βάσης δεδομένων, η κύρια λειτουργία του είναι να αποθηκεύει δεδομένα με ασφάλεια και να τα ανακατάργαργότερα κατ' απαίτηση λογισμικού εφαρμογών, είτε οι εφαρμογές αυτές τρέχουν στο ίδιο υπολογιστικό σύστημα με τον εξυπηρετητή είτε τρέχουν σε κάποιο άλλο υπολογιστικό σύστημα δια μέσου κάποιου δικτύου (για παράδειγμα μέσω Internet). Είναι ικανό να διαχειρίζεται φόρτο εργασίας που κυμαίνεται από μικρών απαιτήσεων εφαρμογές που τρέχουν σε ένα μηχάνημα μέχρι μεγάλων απαιτήσεων εφαρμογές που πρέπει να διαχειριστούν ερωτήματα από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Οι πρόσφατες εκδόσεις του συστήματος Postgresql υποστηρίζουν πολλαπλά αντίγραφα της βάσης δεδομένων για λόγους ασφάλειας και κλιμακωσιμότητας.

Η Postgresql υλοποιεί τη γλώσσα ερωτημάτων SQL, συμμορφώνεται με το σύνολο ιδιοτήτων που είναι γνωστό με το ακρωνύμιο ACID (Atomicity/Ατομικότητα, Consistency/Συνέπεια, Isolation/Απομόνωση, Durability/Ανθεκτικότητα), αποφεύγει ζητήματα κλειδωμάτων των δεδομένων χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που είναι γνωστή με το όνομα MVCC (multiversion concurrency control), παρέχει προστασία από τα dirty reads καθώς και πλήρη σειριοποιησιμότητα. Επιπλέον, μπορεί να χειριστεί περίπλοκα ερωτήματα SQL χρησιμοποιώντας μεθόδους ευρετηρίου που δεν είναι διαθέσιμες σε άλλες βάσεις δεδομένων. Η Postgresql είναι ένα σύστημα ανεξάρτητο πλατφόρμας (cross-platform) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν από όλα τα λειτουργικά συστήματα.

⁵www.postgis.net

⁶www.postgresql.org

Η PostGIS είναι ένα λογισμικό το οποίο προσθέτει υποστήριξη για γεωχωρικά δεδομένα στην PostgreSQL. Η PostGIS ακολουθεί τις υποδείξεις του οργανισμού OGC για την αποθήκευση και την πρόσβαση σε γεωχωρικά δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά της είναι τα ακόλουθα. Παρέχει γεωμετρικά αντικείμενα για όλους τους τύπους vector δεδομένων. Επίσης παρέχει χωρικά κατηγορήματα για τον προσδιορισμό αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις ορισμένες γεωμετρικές, χωρικούς τελεστές για τον προσδιορισμό γεωχωρικών μετρήσεων όπως απόσταση, μήκος, εμβαδόν, όπως επίσης και χωρικούς τελεστές για εκτέλεση πράξεων πάνω σε γεωχωρικά σύνολα όπως είναι η ένωση, η διαφορά, η τομή και η ζώνη απομόνωσης (buffer). Επιπλέον, χρησιμοποιεί τροποποιημένες δομές ευρετηρίων με βάση τα R δένδρα για ταχύτατη εκτέλεση χωρικών ερωτημάτων πάνω στα δεδομένα καθώς και δυνατότητα επιλογής ευρετηρίων για σχεδίαση ερωτημάτων υψηλής απόδοσης όταν τα ερωτήματα είναι μείγμα χωρικών και μη χωρικών ερωτημάτων. Ακόμα, υποστηρίζει –έως ένα βαθμό– raster δεδομένα μέσω της πρόσφατης επέκτασης της που ονομάζεται PostGIS Raster.

Η υλοποίηση της PostGIS βασίζεται σε "ελαφριές" (light-weight) γεωμετρικές και ευρετήρια, τα οποία έχουν βελτιστοποιηθεί ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις μνήμης, είτε κύριας (RAM) είτε δευτερεύουσας (σκληρός δίσκος), που χρειάζεται για τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων. Μέσω της χρήσης light-weight γεωμετριών τα μεγάλα υπολογιστικά συστήματα (servers), μπορούν να αυξήσουν την ποσότητα των δεδομένων που είναι δυνατόν να βρίσκονται στην κύρια μνήμη τους (RAM) με συνέπεια να βελτιώνεται σημαντικά η απόδοση των ερωτημάτων.

Εξαιτίας της λειτουργικότητας και της αποτελεσματικότητας τους όπως επίσης και λόγω της υποστήριξης τους από πολλούς σημαντικούς οργανισμούς σε παγκόσμιο επίπεδο, τα ελεύθερα συστήματα λογισμικού/λογισμικού ανοιχτού κώδικα κατέχουν ένα πολύ μεγάλο μερίδιο από την πίτα των χρηστών των γεωχωρικών βάσεων δεδομένων. Υπάρχουν όμως και πολύ εύρωστα και αξιόπιστα συστήματα ιδιόκτητου λογισμικού (proprietary software) μεγάλων εταιρειών πληροφορικής και πληροφοριακών συστημάτων. Από τα κλειστά συστήματα λογισμικού, η Βάση Δεδομένων της εταιρείας Oracle είναι αρκετά διαδεδομένη.

Τα σχεσιακά DBMSs προσέφεραν αποδοτική λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των γεωχωρικών δεδομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εξακολουθούν να είναι η κύρια λύση στην αποθήκευση και διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων σε μορφή vector. Για δεδομένα raster όμως, δεν αποτελούν πλέον αποδοτική λύση, καθώς με τις σύγχρονες τεχνολογίες αισθητήρων έχει αυξηθεί εκθετικά ο όγκος και η πολυπλοκότητα των γεωχωρικών δεδομένων σε μορφή raster, με συνέπεια να μην είναι πλέον αποτελεσματικά διαχειρίσιμα από τα σχεσιακά DBMSs. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού υπήρξαν διάφορες προσεγγίσεις. Οι κύριες ήταν δύο. Η μία ήταν η εκ νέου επέκταση των σχεσιακών Γεωχωρικών Βάσεων Δεδομένων και η άλλη η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών DBMS για τη διαχείριση raster δεδομένων. Η δεύτερη προσέγγιση, όπως εκδηλώθηκε μέσω των συστημάτων διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων με τεχνολογίες πινάκων, φαίνεται να επικρατεί της πρώτης καθώς στο πλαίσιο της έχουν αναπτυχθεί πολύ αποδοτικά εργαλεία. Τα συστήματα διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων με τεχνολογίες πινάκων αναλύονται στην επόμενη υπο-ενότητα.

2.2.2 Πινακοποιημένα ΣΔΒΔ (Array DBMSs)

Η ευρεία διαθεσιμότητα τηλεπισκοπικών εικόνων (δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες) υψηλής ανάλυσης [52] σε συνδυασμό με την σύγχρονη τάση για παροχή υπηρεσιών βασισμένων στο διαδίκτυο (web-based services), έχουν αναβαθμίσει την εφαρμογή των εικόνων τόσο στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος όσο και στον αστικό σχεδιασμό. Επιπλέον, όλο και περισσότερες εταιρείες και οργανισμοί συνεργάζονται μεταξύ τους σε μια προσπάθεια να δημιουργήσουν τις κατάλληλες υποδομές με σκοπό το διαμοιρασμό του τεράστιου όγκου raster δεδομένων που έχουν συλλέξει.

Ένα βασικό στοιχείο [37] σε αυτό τον επιχειρούμενο διαμοιρασμό raster δεδομένων, είναι το πως θα πραγματοποιηθεί ο χειρισμός των petabytes raster δεδομένων αποδοτικά σε ένα σύγχρονο, ετερογενές και πολλαπλών χρηστών (multi-user) περιβάλλον. Οι Γεωχωρικές Βάσεις Δεδομένων δεν είναι σε θέση να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε αυτή την εργασία. Αυτό συμβαίνει διότι τα raster σύνολα δεδομένων προς επεξεργασία, έχουν συχνά μέγεθος πολύ μεγαλύτερο από αυτό της κύριας μνήμης (RAM) των συστημάτων που τα επεξεργάζονται και οι Γεωχωρικές Βάσεις δεν μπορούν να το διαχειριστούν αποδοτικά αυτό. Επιπροσθέτως, για την υποστήριξη των raster δεδομένων, υπάρχει η ανάγκη για τύπους δεδομένων υποστηριζόμενων από το σύστημα διαχείρισής τους, οι οποίοι εννοιολογικά επιτρέπουν τον ορισμό πινάκων απεριόριστων διαστάσεων και απεριόριστου μεγέθους ανά διάσταση. Η υποστήριξη αυτού από τις Γεωχωρικές Βάσεις είναι περιορισμένης λειτουργικότητας όπως επίσης και η υποστήριξη της βελτιστοποίησης χωρικών ερωτημάτων σε τόσο μεγάλο όγκο raster δεδομένα. Υπάρχουν ακόμα ζητήματα που αφορούν την κλιμακωσιμότητα και τον ταυτοχρονισμό συστημάτων τα οποία βασίζονται σε Γεωχωρικές Βάσεις και διαχειρίζονται raster δεδομένα.

Επομένως για την αποτελεσματική διαχείριση μεγάλου όγκου raster δεδομένων [41] χρειαζόμαστε συστήματα τα οποία :

- i. Θα χειρίζονται δεδομένα και σύνολα δεδομένων με μέγεθος μεγαλύτερο αυτού της κύριας μνήμης των υπολογιστικών συστημάτων που τα επεξεργάζονται. Για το λόγο αυτό χρειαζόμαστε συστήματα τα οποία θα πραγματοποιούν χωρική κατάτμηση (spatial partitioning) των δεδομένων και θα υποστηρίζουν αντίστοιχα ευρετήρια κατάτμησης (partition indexing) τα οποία θα είναι υπεύθυνα για τη γρήγορη εύρεση των διαχωρισμένων δεδομένων.
- ii. Θα πραγματοποιούν αποτελεσματική εκτέλεση ερωτημάτων, μέσω της βελτιστοποίησης των ερωτημάτων και της αξιοποίησης του παραλληλισμού [44], σε μεγάλα σύνολα δεδομένων και σε αντικείμενα με αυθαίρετο εύρος και σε αυθαίρετη θέση αυτών των αντικειμένων.
- iii. Θα υποστηρίζουν γεωαναφορά των εικόνων, η οποία είναι η βάση για να συσχετίζονται οι raster συντεταγμένες μιας εικόνας με συντεταγμένες του πραγματικού κόσμου. Αυτό θα δίνει την δυνατότητα για πρόσβαση στα raster δεδομένα μέσω των πραγματικών συντεταγμένων τους.

- iv. Θα μοντελοποιούν έννοιες κατάλληλες για την αναπαράσταση των πραγματικών raster δεδομένων και θα προσφέρουν ενσωματωμένους τύπους δεδομένων για την υποστήριξή τους.
- v. Θα είναι ικανά να διαχειρίζονται χώρους μαζικής αποθήκευσης (cloud) της τάξεως των petabyte για τα εικονιστικά δεδομένα.

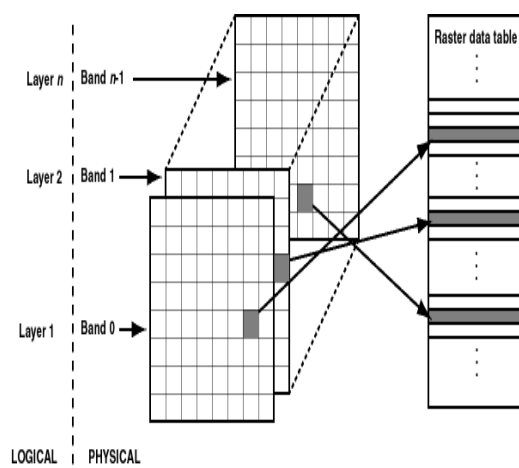
Οι απαιτήσεις για τη χωρική διαχείριση raster δεδομένων συνοψίζονται ως εξής: Η δυνατότητα για την αποτελεσματική διαχείριση, αποθήκευση, εκτέλεση ερωτημάτων και πρόσβαση σε μεγάλο όγκου ξεχωριστών raster αντικειμένων και "πολύ μεγάλων" raster μωσαϊκών σε ένα multi-user περιβάλλον.

Τα συστήματα Βάσεων Δεδομένων με τεχνολογίες πινάκων ή αλλιώς τα πινακοποιημένα συστήματα Βάσεων Δεδομένων (Array DBMSs), παρ' όλο που είναι μια σχετικά αναδυόμενη τεχνολογία, επιλύουν τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα ζητήματα αποδοτικά καθώς έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίζουν αυτά ακριβώς τα ζητήματα. Επιπλέον προτιμώνται από ολόένα και περισσότερους οργανισμούς για τη διαχείριση των αποθηκών δεδομένων τους όπως επίσης και παρουσιάζουν μεγάλες προοπτικές βελτίωσης και περαιτέρω εξέλιξης καθώς υπάρχουν ακόμα αρκετά ανοιχτά ερευνητικά θέματα τα οποία περιλαμβάνουν το σχεδιασμό και το φορμαλισμό γλωσσών ερωτημάτων, τη βελτιστοποίηση ερωτημάτων, την παράλληλη και κατανεμημένη επεξεργασία ερωτημάτων όπως επίσης και θέματα κλιμακωσιμότητας για κατανεμημένα πολυεπεξεργαστικά συστήματα.

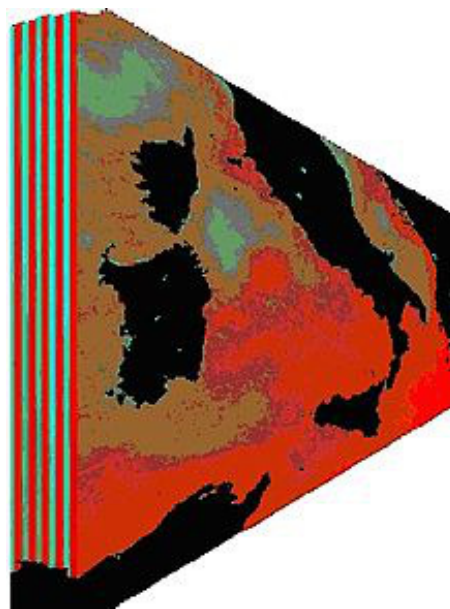
Τα Array DBMSs παρέχουν υπηρεσίες βάσεων δεδομένων ειδικά για πίνακες (δηλαδή για raster δεδομένα). Όπως έχει αναφερθεί, αυτά (τα raster δεδομένα) είναι ομογενείς συλλογές ξεχωριστών οντοτήτων δεδομένων (καλούνται pixels), τα οποία και είναι τοποθετημένα σε ένα κανονικό πλέγμα ενός, δύο ή και περισσότερων διαστάσεων (**Σχήμα 2.6**). Συχνά οι πίνακες χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν δεδομένα από αισθητήρες, εικόνες, στατιστικά καθώς και από προσομοιώσεις. Τέτοιοι πίνακες τείνουν να είναι Big Data καθώς το μέγεθος μεμονωμένων πινάκων κυμαίνεται στην τάξη μεγέθους του Terabyte και σύντομα στο Petabyte.

Τα τυπικά συστήματα βάσεων δεδομένων προσφέρουν υπηρεσίες βάσεων δεδομένων πάνω σε σύνολα. Με ανάλογο τρόπο τα Array DBMSs προσφέρουν ευέλικτες και κλιμακώσιμες υπηρεσίες αποθήκευσης καθώς και ευέλικτο χειρισμό και ανάκτηση πάνω σε πίνακες οι οποίοι εννοιολογικά έχουν απεριόριστο μέγεθος. Καθώς στην πράξη οι πίνακες δεν εμφανίζονται μόνοι τους, συνήθως ένα τέτοιο μοντέλο πινάκων εννοιολογικά απεριόριστου μεγέθους, ενσωματώνεται σε κάποιο άλλο μοντέλο δεδομένων όπως είναι το σχεσιακό μοντέλο. Κάποια Array DBMSs υλοποιούν τους πίνακες σε αναλογία με τους σχεσιακούς πίνακες (σχέσεις) και κάποια άλλα τους εισάγουν σαν ένα επιπρόσθετο τύπο ιδιότητας (attribute type).

Η διαχείριση των πινάκων απαιτεί καινοτόμες τεχνικές κυρίως επειδή το μέγεθος τους είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Ο κύριος στόχος των Array DBMSs είναι η γρήγορη πρόσβαση σε μεγάλους πίνακες και υπο-πίνακες διάφορων διαστάσεων. Για να είναι δυνατόν να συμβεί αυτό, είναι ζωτικής σημασίας η διατήρηση της χωρικής τοπικότητας των δεδομένων στο δίσκο ώστε να μειωθούν οι προσβάσεις σε αυτόν. Η παραδοσιακή προσομοίωση πολυδιάστατων πινάκων



Πολυφασματική δορυφορική εικόνα.
(Πηγή: docs.oracle.com)



Χρονοσειρά χάρτη της Ευρώπης.
(Πηγή: wiki.ieee-earth.org)

Σχήμα 2.6: Raster Data Cubes.

ως εμφωλευμένες λίστες μονοδιάστατων πινάκων δεν βοηθάει προς αυτή την κατεύθυνση και δεν οδηγεί σε κλιμακώσιμες αρχιτεκτονικές συστημάτων. Για το λόγο αυτό τα Array DBMSs κατατμούν τους αρχικούς πολυδιάστατους πίνακες των δεδομένων σε μικρότερων διαστάσεων υπο-πίνακες (array partition) οι οποίοι και σχηματίζουν τη μονάδα πρόσβασης των δεδομένων στο δίσκο. Αυτή η τεχνική της κατάτμησης όταν είναι κανονική, δηλαδή όταν όλοι οι υπο-πίνακες έχουν το ίδιο μέγεθος [47] ονομάζεται chunking. Μια γενίκευση της κανονικής κατάτμησης, που ονομάζεται tiling [38], καταργεί τον περιορισμό για υπο-πίνακες ίσου μεγέθους καθώς υποστηρίζει την κατάτμηση σε τμήματα (tiles) οποιουδήποτε τύπου και μεγέθους. Η κατάτμηση των πινάκων από τα Array DBMSs μπορεί να βελτιώσει την επίδοση της πρόσβασης σε υποσύνολα των πινάκων σημαντικά, καθώς αν προσαρμοστεί ο τρόπος που γίνεται το tiling στον τρόπο που γίνεται η πρόσβαση στα δεδομένα, ένας server μπορεί ιδεατά με μία πρόσβαση στο δίσκο να φέρει όλα τα απαιτούμενα δεδομένα. Επίσης η συμπίεση των μεμονωμένων tiles έχει πολλά οφέλη καθώς από τη μία πλευρά μειώνει σημαντικά τις απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο και από την άλλη πλευρά κατά τη μετάδοση αποτελεσμάτων μειώνει σημαντικά την ποσότητα των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν από το δίκτυο.

Τα Array DBMSs προσφέρουν γλώσσες ερωτημάτων οι οποίες δίνουν δηλωτική (declarative) πρόσβαση σε πίνακες και επιτρέπουν τη δημιουργία, το χειρισμό, την αναζήτηση και τη διαγραφή τους. Όπως συμβαίνει με τη γλώσσα ερωτημάτων SQL, έτσι και με τις γλώσσες ερωτημάτων που προσφέρουν τα Array DBMSs, εκφράσεις και ερωτήματα αυθαίρετης πολυπλοκότητας για το χειρισμό πινάκων μπορούν να δημιουργηθούν με βάση ένα σύνολο από βασικούς τελεστές που δρουν πάνω σε πίνακες. Καθώς η βελτιστοποίηση των ερωτημάτων

και η δυνατότητα παραλληλοποίησής τους είναι σημαντικοί παράγοντες για την επίτευξη της κλιμακωσιμότητας συστημάτων τα οποία διαχειρίζονται Big Data, πολλοί βασικοί τελεστές που δρουν πάνω σε πίνακες συμπεριφέρονται εξαιρετικά στην παράλληλη αποτίμηση ερωτημάτων μέσω της παράλληλης επεξεργασίας των tiles ενός πίνακα σε ξεχωριστούς κόμβους ενός υπολογιστικού συστήματος ή σε ξεχωριστούς πυρήνες ενός επεξεργαστή. Αυτή η δυνατότητα που δίνουν οι τελεστές των Array DBMSs σε συνδυασμό με την αποθήκευση σε tile των πινάκων, επιτρέπει στους servers να επεξεργάζονται σύνολα δεδομένων (πίνακες), με μέγεθος πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από αυτό της κύριας μνήμης τους.

Τα Array DBMSs είναι ιδανικά για τη διαχείριση συνόλων δεδομένων που προκύπτουν σε πολλά πεδία εφαρμογών. Στις περισσότερες περιπτώσεις όπου έχουμε τη δειγματοληψία ή την προσομοίωση κάποιου φαινομένου, το αποτέλεσμα είναι ένα πινακοποιημένο (rasterized) σύνολο δεδομένων το οποίο μπορεί πολύ εύκολα να αποθηκευτεί, να ανακτηθεί και να προωθηθεί σαν ένας πίνακας. Τυπικά, τα πινακοποιημένα δεδομένα συνοδεύονται από μεταδεδομένα (metadata) τα οποία τα περιγράφουν περαιτέρω. Για παράδειγμα για μια γεωαναφερμένη φωτογραφία, τα μεταδεδομένα θα περιέχουν τη γεωγραφική θέση που απεικονίζει η φωτογραφία καθώς και το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο αυτή η θέση έχει εκφραστεί. Τα παρακάτω είναι αντιπροσωπευτικά πεδία εφαρμογών, στο πλαίσιο των οποίων μεγάλης κλίμακας, πολυδιάστατα, πινακοποιημένα δεδομένα πρέπει να διαχειρισθούν :

- Γεωεπιστήμες (Earth Sciences) : γεωδαισία, χαρτογραφία, τηλεπισκόπηση, γεωλογία, ωκεανογραφία, υδρολογία και ατμοσφαιρικές μελέτες.
- Επιστήμες του διαστήματος (Space Sciences) : πλανητικές επιστήμες και αστροφυσική.
- Βιολογία : δεδομένα γονιδιώματος, αξονικές τομογραφίες.
- Κοινωνικές Επιστήμες : ανάλυση στατιστικών κύβων δεδομένων.
- Επιχειρήσεις : OLAP, αποθήκες δεδομένων (data warehousing).

Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός καινοτόμων συστημάτων λογισμικού τα οποία υποστηρίζουν το μοντέλο πινάκων. Κάποια από αυτά υποστηρίζουν αμιγώς το μοντέλο πινάκων και κάποια επεκτείνουν την υπάρχουσα λειτουργικότητά τους ώστε να υποστηρίζουν το μοντέλο. Η γεωχωρική βάση της εταιρείας Oracle, η Oracle Spatial and Graph, προσφέρει το χαρακτηριστικό (feature) Oracle GeoRaster το οποίο δίνει τη δυνατότητα για κατάτμηση κατά την αποθήκευση διδιάστατων raster δεδομένων με την τεχνική chunking, χωρίς όμως να ενσωματώνει κάποια γλώσσα ερωτημάτων. Η TerraLib είναι ένα ανοιχτού κώδικα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, το οποίο επεκτείνει την αντικειμενοσχεσιακή τεχνολογία των συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων ώστε να διαχειρίζεται χωροχρονικούς τύπους δεδομένων. Παρ' όλο που η TerraLib εστιάζει κυρίως σε vector δεδομένα υπάρχει αρκετή υποστήριξη και για raster δεδομένα. Η PostGIS, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υπο-ενότητα, υποστηρίζει διδιάστατα raster δεδομένα και παρέχει μια ειδική συνάρτηση που δίνει τη δυνατότητα για δηλωτική εκδήλωση ερωτημάτων πάνω στα δεδομένα. Ακόμη υπάρχει

η γλώσσα ερωτημάτων για πίνακες, η SciQL, η οποία έχει προστεθεί στο σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων MonetDB για την υποστήριξη raster δεδομένων.

Το μόνο αμιγώς Array DBMS είναι το σύστημα rasdaman [9]. Το rasdaman είναι μια πλήρως ολοκληρωμένη υλοποίηση του μοντέλου πινάκων εννοιολογικά απεριόριστου μεγέθους, το οποίο και προσφέρει λειτουργικότητα ερωτημάτων εισαγωγής, ενημέρωσης, χειρισμού και διαγραφής πάνω σε πίνακες. Χρησιμοποιείται και σε ερευνητικές και σε εμπορικές εφαρμογές. Η κλίμακα των εφαρμογών αυτών, κυμαίνεται από εφαρμογές που τρέχουν σε ένα μηχάνημα ενός χρήστη μέχρι μεγάλης κλίμακας κατανομημένα πολυεπεξεργαστικά συστήματα. Το rasdaman, είναι το πρώτο Array DBMS που αναπτύχθηκε και για το λόγο αυτό, τόσο σε πρακτικό όσο και σε θεωρητικό επίπεδο (σε μοντέλα δεδομένων και γλωσσών ερωτημάτων), έχει διαμορφώσει σε μεγάλο βαθμό την τρέχουσα ερευνητική δραστηριότητα στο πεδίο των βάσεων δεδομένων. Για όλους αυτούς τους λόγους, είναι το εργαλείο που επιλέχθηκε για την αποθήκευση, διαχείριση και ανάλυση μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων, κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Το εργαλείο rasdaman παρουσιάζεται και περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

rasdaman

Η προσφορά και τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των βάσεων δεδομένων, προς την κατεύθυνση της δημιουργίας ευέλικτων πληροφοριακών συστημάτων μεγάλης κλίμακας, συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία. Οι βάσεις δεδομένων προσφέρουν :

- **Ολοκλήρωση της πληροφορίας** καθώς δημιουργούν τις συνθήκες για τη συνέπεια των δεδομένων και την εύκολη διαχείριση τους.
- **Ευελιξία** στη διαχείριση των δεδομένων καθώς αντικαθιστούν στατικές προγραμματιστικές διεπαφές εφαρμογών (static APIs) με δυναμικές γλώσσες ερωτημάτων.
- **Κλιμακωσιμότητα (Scalability)** η οποία επιτυγχάνεται μέσω προχωρημένων τεχνικών αποθήκευσης και επεξεργασίας των δεδομένων και συγκεκριμένα μέσω της βελτιστοποίησης των ερωτημάτων, τεχνική η οποία βελτιώνει σημαντικά την επίδοση.
- **Ωριμότητα** των συστημάτων που αποτελεί εγγύηση αποτελεσματικής λειτουργίας καθώς υπάρχει ιστορικό δεκαετιών ανάπτυξης αυτών των συστημάτων και πλούσια λειτουργικότητα.

Δυστυχώς, όλη αυτή η τεχνολογία και τα πλεονεκτήματά της, ήταν διαθέσιμη μόνο για αλφαριθμητικούς τύπους δεδομένων και προσφάτως και για vector τύπους δεδομένων. Η διαχείριση raster δεδομένων δεν είχε σε τίποτα να ωφεληθεί από την τεχνολογία των βάσεων δεδομένων καθώς τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων δεν υποστηρίζουν πολυδιάστατους πίνακες μεγάλου μεγέθους. Αυτό το κενό έχει κλείσει από την τεχνολογία του συστήματος διαχείρισης rasdaman, το οποίο προσφέρει ξεχωριστά χαρακτηριστικά για τη διαχείριση πινάκων.

Το **rasdaman**⁷ ("raster data manager") [10],[12] είναι ένα Array DBMS ανεξάρτητο πεδίου, κάτι το οποίο σημαίνει ότι είναι ένα εργαλείο κατάλληλο για όλα τα είδη εφαρμογών στα οποία είναι απαραίτητη η διαχείριση raster δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, το rasdaman είναι ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, το οποίο δίνει τη δυνατότητα για την αποθήκευση και την ανάκτηση πολυδιάστατων πινάκων πολύ μεγάλου μεγέθους όπως είναι τα δεδομένα από αισθητήρες, εικόνες και στατιστικά.

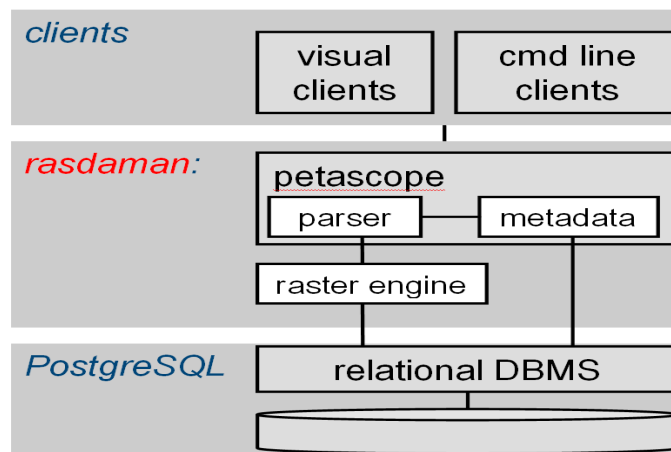
Ιστορικά, το rasdaman⁸ έχει πρωτοπορήσει στο πεδίο των Array DBMSs, καθώς είναι το πρώτο αλλά και το μόνο πλήρως υλοποιημένο σύστημα του είδους. Η τεχνολογία του συστήματος έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο μιας σειράς από προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τεχνικά, το rasdaman λειτουργεί ως ενδιάμεσο σύστημα λογισμικού (middleware) (**σχήμα 2.7**), το οποίο επεκτείνει τις τυπικές σχεσιακές βάσεις δεδομένων με δυνατότητες εκτέλεσης ερωτημάτων σε μεγάλους πολυδιάστατους πίνακες. Για το σκοπό αυτό το rasdaman προσφέρει μια γλώσσα ορισμού τύπων, την *rasdl*, για τον ορισμό τύπων πινάκων και μια γλώσσα ερωτημάτων βασισμένη στην SQL, την *rasql*, για να είναι δυνατή η διατύπωση ερωτημάτων επιλογής, εισαγωγής, ενημέρωσης και διαγραφής σε μια βάση δεδομένων η οποία διαχειρίζεται raster δεδομένα. Τα ερωτήματα βελτιστοποιούνται στην πλευρά του server και εκτελούνται πάνω σε raster αντικείμενα τα οποία έχουν καταταμηθεί (tiled) και αποθηκευτεί σαν BLOBs (binary large objects) σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Προγραμματιστικές Διεπαφές Εφαρμογών (APIs) υπάρχουν για τις γλώσσες προγραμματισμού C++ και Java. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα παραλληλοποίησης των ερωτημάτων με πολλούς αποτελεσματικούς τρόπους, οι οποίοι έχουν δείξει ότι κλιμακώνουν εξαιρετικά όταν εφαρμόζονται σε αντικείμενα το μέγεθος των οποίων είναι της τάξεως πολλών Terabyte. Επιπροσθέτως, μια βασική συνιστώσα του rasdaman είναι το *petascope*, ένα πακέτο από Java servlets τα οποία παρέχουν την υλοποίηση πολλών από τα πρότυπα του οργανισμού OGC, τα οποία προτυποποιούν την επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων στο διαδίκτυο. Μέσω του *petascope*, το rasdaman μετατρέπεται σε ένα server γεωχωρικών δεδομένων. Τέλος, μέσω της αποθήκευσης των πινακοποιημένων δεδομένων σε μια συμβατική βάση δεδομένων όπως είναι η PostgreSQL, το rasdaman δίνει τη δυνατότητα για την ολοκλήρωση της πληροφορίας καθώς όλα τα δεδομένα βρίσκονται ομοιόμορφα στην ίδια βάση δεδομένων. Η αξιοποίηση μιας συμβατικής βάσης δεδομένων (PostgreSQL) έχει και το επιπλέον πλεονέκτημα ότι η λειτουργία του rasdaman ωφελείται σημαντικά από την ωριμότητα και τη σταθερότητα αυτής, καθώς μέσω της χρήσης της βασίζεται σε καλώς και εξαντλητικά δοκιμασμένους μηχανισμούς αποθήκευσης βάσεων δεδομένων. Τα προαναφερθέντα τεχνικά χαρακτηριστικά του rasdaman αναλύονται διεξοδικά στη συνέχεια.

Το rasdaman δεν έχει κάποιο περιορισμό στο πλήθος των διαστάσεων ενός πίνακα που μπορεί να διαχειριστεί. Μπορεί να εξυπηρετήσει για παράδειγμα μονοδιάστατα δεδομένα μετρήσεων, διδιάστατες δορυφορικές εικόνες, τρισδιάστατες χρονοσειρές εικόνων, κλιματικά και ωκεανογραφικά δεδομένα τεσσάρων διαστάσεων και ακόμα και παραπέρα από τις χωροχρονικές διαστάσεις. Αυτή η δυνατότητα οφείλεται στο **μοντέλο δεδομένων** που υλοποιεί

⁷ www.rasdaman.org

⁸ www.rasdaman.org/wiki



Σχήμα 2.7: Θέση του rasdaman στη στοίβα προγραμμάτων εφαρμογών. (Πηγή: wiki.ieee-earth.org)

το rasdaman. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μια άλγεβρα πινάκων [11] ειδικά ανεπτυγμένη για τους σκοπούς των βάσεων δεδομένων. Σύμφωνα με αυτή, το rasdaman, προσθέτει ένα καινούργιο τύπο ιδιότητας (attribute type), τον πίνακα, στο σχεσιακό μοντέλο δεδομένων. Δεδομένου του γεγονότος ότι αυτός ο ορισμός του πίνακα έχει πραγματοποιηθεί μέσω παραμέτρων, ο τύπος του πίνακα αποτελεί ένα κατασκεύασμα δεύτερης τάξης (second order construct). Το γεγονός αυτό αντανακλάται και από τις συναρτήσεις δεύτερης τάξης στην άλγεβρα πινάκων και τη γλώσσα ερωτημάτων που προσφέρει το rasdaman και θα παρουσιαστεί παρακάτω. Για ιστορικούς λόγους, οι πίνακες στο προαναφερθέν μοντέλο δεδομένων καλούνται συλλογές (collections). Το εννοιολογικό μοντέλο [7] του rasdaman επομένως, αποτελείται από μη διατεταγμένες συλλογές (σύμφωνα με την ορολογία του ODMG [17]) οι οποίες με τη σειρά τους αποτελούνται από ζεύγη (OID, A) όπου το OID είναι ένα παραγόμενο από το σύστημα αναγνωριστικό της συλλογής και το A είναι ένας πίνακας. Η συγκεκριμένη επιλογή της δομής μιας συλλογής εξυπηρετεί και την πλήρη συμφωνία με τη γλώσσα ερωτημάτων SQL καθώς επιτρέπει την εγκαθίδρυση αναφορών ξένων κλειδιών μεταξύ των πινάκων και τον συνηθισμένων σχεσιακών tuples.

Οι πίνακες εκτός από το πλήθος των διαστάσεων τους, προσδιορίζονται και από το μέγεθος της κάθε διάστασης και από τον τύπο του κελιού που περιέχουν (pixel type). Η γλώσσα ορισμού τύπων που προσφέρει το rasdaman, η rasdl, επιτρέπει το δυναμικό ορισμό νέων τύπων. Όλοι οι βασικοί και σύνθετοι τύποι δεδομένων που επιτρέπονται σε γλώσσες όπως η C και η C++ (εκτός από δείκτες και πίνακες) μπορούν να οριστούν ως τύποι κελιών, συμπεριλαμβανομένου και των εμφωλευμένων δομών δεδομένων. Για παράδειγμα το επόμενο κομμάτι κώδικα ορίζει μια RGB εικόνα στο rasdaman:

```
//Ορισμός RGB εικόνας δύο διαστάσεων με απεριόριστο μέγεθος ανά διάσταση

struct Pixel {unsigned short red, green, blue;};
typedef marray <Pixel,2> RGBImage;
```

Μια συλλογή από RGB εικόνες ορίζεται μέσω της `rasdl` ως εξής:

```
typedef set<RGBImage> RGBSet;
```

Ο συγκεκριμένος τύπος συλλογής μπορεί να αρχικοποιηθεί (instantiated) μέσω μιας εντολής γραμμένης στη γλώσσα ερωτημάτων που προσφέρει το `rasdaman`, την `rasql`, η οποία είναι η ακόλουθη :

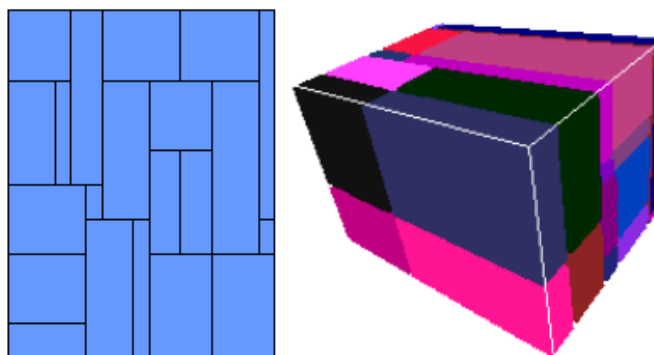
```
create collection RGBSet myRGBCollection;
```

Μετά από την παραπάνω αρχικοποίηση η συλλογή (`myRGBCollection`) είναι έτοιμη να γεμίσει με δεδομένα μέσω της γλώσσας ερωτημάτων `rasql`.

Η γλώσσα ερωτημάτων του `rasdaman`, η `rasql`, ενσωματώνεται στην τυπική SQL και στον τρόπο επεξεργασίας ερωτημάτων αυτής που είναι προσανατολισμένος στα σύνολα. Πάνω στο νέο τύπο ιδιότητας, τους πολυδιάστατους πίνακες, ένα σύνολο από επιπλέον πράξεις παρέχεται οι οποίες βασίζονται σε ένα μικρό σύνολο από αλγεβρικά ορισμένους **βασικούς τελεστές**. Αυτοί είναι ένας **κατασκευαστής πινάκων** (array constructor), ο οποίος ορίζει ένα νέο πίνακα και τον γεμίζει με τιμές και ένας **συμπυκνωτής πινάκων** (array condenser) ο οποίος αντλεί βαθμωτή πληροφορία από ένα πίνακα. Η `rasql` είναι μια πλήρης γλώσσα ερωτημάτων, η οποία υποστηρίζει πράξεις επιλογής, εισαγωγής, ενημέρωσης και διαγραφής. Επιπλέον η `rasql`, εισάγει και την έννοια της μερικής ενημέρωσης η οποία επιτρέπει την επιλεκτική ενημέρωση συγκεκριμένων μερών ενός πίνακα. Στο πλαίσιο των πινάκων μεγάλου μεγέθους αυτό είναι ένα πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό καθώς για παράδειγμα επιτρέπει την ενημέρωση χαρτών δορυφορικών εικόνων με τις νέες εικόνες που καταφθάνουν συνεχώς. Η διατύπωση των ερωτημάτων στη γλώσσα `rasql` γίνεται με δηλωτικό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι τα ερωτήματα εκφράζουν το πως θα πρέπει να μοιάζει το αποτέλεσμα και όχι το πως θα γίνει ο υπολογισμός του. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για εκτενείς βελτιστοποιήσεις στην πλευρά του server. Επιπλέον η `rasql` είναι ασφαλής στην αποτίμησή της (safe in evaluation), κάτι το οποίο σημαίνει ότι κάθε έγκυρο ερώτημα γραμμένο στη γλώσσα αυτή είναι εγγυημένο ότι θα τερματίσει σε πεπερασμένο χρόνο. Ένα παράδειγμα ερωτήματος [19] στη γλώσσα αυτή είναι το εξής : "Ποια είναι η διαφορά του κόκκινου με το πράσινο κανάλι από όλες τις εικόνες της συλλογής `myRGBCollection` στα κελιά εκείνα στα οποία η ένταση του κόκκινου καναλιού είναι μεγαλύτερη από 127; "

```
//Κώδικας ερωτήματος rasql
select (c.red - c.green) from myRGBCollection as c where (c.red > 127)
```

Όσον αναφορά στη **διαχείριση της αποθήκευσης των δεδομένων** από το rasdaman, τα raster δεδομένα διατηρούνται σε μια τυπική σχεσιακή βάση δεδομένων και η αποθήκευσή τους γίνεται με βάση την κατάτμηση (partitioning) των raster αντικειμένων σε τμήματα που ονομάζονται tiles [26],[27]. Εκτός από τον τρόπο κατάτμησης που προσφέρει το ίδιο το rasdaman, οποιαδήποτε στρατηγική κατάτμησης που προέρχεται είτε από κάποιο χρήστη είτε από κάποιο σύστημα είναι δυνατή. Καθώς τα tiles αποτελούν τη μονάδα πρόσβασης στο δίσκο, είναι κρίσιμης σημασίας ο τρόπος κατάτμησης να προσαρμόζεται στα μοτίβα πρόσβασης στα δεδομένα των ερωτημάτων. Ποικίλες στρατηγικές (tiling strategies) βοηθούν στη θέσπιση μιας κατάτμησης η οποία δίνει καλή επίδοση. Χωρικά ευρετήρια χρησιμοποιούνται ώστε να αποφασίζεται με ταχύτητα ποια tiles επηρεάζονται από ένα ερώτημα. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για συμπίεση των tiles με διάφορους αλγόριθμους (π.χ. μετασχηματισμός wavelet) ώστε αυτά να καταλαμβάνουν μικρότερο αποθηκευτικό χώρο. Ανεξαρτήτως της προαναφερθείσας δυνατότητας τα αποτελέσματα των ερωτημάτων μπορούν και αυτά να συμπεστούν κατά τη μεταφορά τους από τον server (rasdaman) προς τον πελάτη (client). Τα tiles και τα ευρετήρια πάνω σε αυτά, αποθηκεύονται σαν BLOBs σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων η οποία επίσης περιέχει και το λεξικό δεδομένων (data dictionary) το οποίο χρειάζεται το σύστημα δυναμικών τύπων του rasdaman. Προσαρμογείς (adaptors) υπάρχουν για πολλά σχεσιακά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, ανάμεσά τους και το σύστημα PostgreSQL. Για πίνακες με μέγεθος μεγαλύτερο από τον χώρο του δίσκου, έχει αναπτυχθεί υποστήριξη για τη διαχείριση ιεραρχικής αποθήκευσης (hierarchical storage management (HSM)).



Σχήμα 2.8: Tiling ενός array data cube στο rasdaman. (Πηγή: en.wikipedia.org/wiki/Rasdaman)

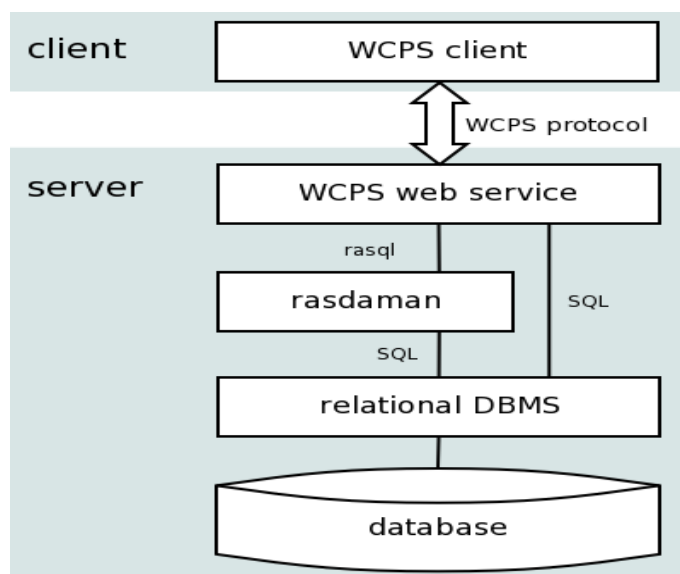
Σχετικά με την **επεξεργασία των ερωτημάτων** πάνω στα δεδομένα από το rasdaman, πρέπει να παρουσιαστούν τα διάφορα βήματα που ακολουθούνται. Μόλις ένα ερώτημα παραληφθεί από το σύστημα, αυτό υφίσταται συντακτική ανάλυση (parsing), βελτιστοποιείται

και στη συνέχεια εκτελείται από το `rasdaman`. Ο συντακτικός αναλυτής παραλαμβάνει το ερώτημα σαν μια ακολουθία χαρακτήρων, εκτελεί λεκτική και συντακτική ανάλυση πάνω σε αυτό για να επιβεβαιώσει την ορθότητά του και κατόπιν παράγει το δέντρο εκτέλεσης (συντακτικό δέντρο) των υπολογισμών που πρέπει να γίνουν. Στη συνέχεια, εφαρμόζει αλγεβρικούς κανόνες μετασχηματισμού στο συντακτικό δέντρο όπου αυτό είναι δυνατό. Κάποιοι από αυτούς τους κανόνες είναι κανόνες βελτιστοποίησης και κάποιοι άλλοι εξυπηρετούν το μετασχηματισμό των ερωτημάτων σε κανονική μορφή (canonical form). Η εκτέλεση των συντακτικά αναλυμένων (parsed) ερωτημάτων ακολουθεί μια αρχή που ονομάζεται `tile streaming` (ροή `tile`) [54]. Σύμφωνα με αυτή την αρχή, οποτεδήποτε είναι δυνατόν, τα `tiles` ενός αποθηκευμένου πίνακα τα οποία χρειάζεται ένα ερώτημα, φέρνονται ακολουθιακά για επεξεργασία και κάθε `tile` αποβάλλεται από την κύρια μνήμη μετά την επεξεργασία του. Αυτό οδηγεί σε μια αρχιτεκτονική συστήματος, η οποία είναι δυνατόν να κλιμακώνει εξαιρετικά σε όγκους δεδομένων που ξεπερνούν την κύρια μνήμη ενός υπολογιστικού συστήματος κατά πολλές τάξεις μεγέθους. Η εκτέλεση των ερωτημάτων παραλληλοποιείται εκτενώς. Ένας δυναμικός δρομολογητής, το λογισμικό `rasmgr`, λαμβάνει τις εισερχόμενες αιτήσεις ερωτημάτων από τους πελάτες (clients) και αναθέτει στην κάθε μία μια ελεύθερη διεργασία `server`. Η συγκεκριμένη διεργασία `server` από εκεί και έπειτα, αφιερώνεται στην αίτηση που της ανατέθηκε μέχρις ότου η σύνδεση με τον πελάτη να τερματιστεί. Αυτό επιτρέπει πολύ υψηλή ταυτόχρονη πρόσβαση στον `server` και την ίδια στιγμή αυξάνει τη συνολική ασφάλεια του συστήματος καθώς οι διάφοροι πελάτες βρίσκονται σε απομόνωση μεταξύ τους. Τα ερωτήματα παραλληλοποιούνται και εσωτερικά καθώς οι υπολογισμοί για ένα συγκεκριμένο ερώτημα κατανέμονται διαφανώς στους διαθέσιμους πυρήνες, στις GPUs ή στους κόμβους του υπολογιστικού συστήματος που τρέχει το `rasdaman`.

Όσον αναφορά στις **προγραμματιστικές διεπαφές εφαρμογών** για τους πελάτες (client APIs) που προσφέρει το `rasdaman`, η πρωταρχική διεπαφή προς αυτό είναι γλώσσα ερωτημάτων, η `rasql`. Η ανάπτυξη προγραμμάτων από πελάτες (client side development), τα οποία χρησιμοποιούν το `rasdaman`, υποστηρίζεται από το API για τη γλώσσα προγραμματισμού C++, τη βιβλιοθήκη `raslib` και από το API για τη γλώσσα προγραμματισμού Java, το πακέτο κλάσεων `rasj`. Τα δύο αυτά APIs δίνουν τη δυνατότητα σε προγράμματα γραμμένα στις αντίστοιχες γλώσσες, να στέλνουν ερωτήματα προς το `rasdaman`, όπως επίσης και προσφέρουν έτοιμες συναρτήσεις για το χειρισμό πινάκων. Υπάρχει διαθέσιμη επίσης μια βιβλιοθήκη γραμμένη στη γλώσσα προγραμματισμού javascript, η `raswct` (`rasdaman web client toolkit`), η οποία βοηθάει στο σχεδιασμό δια-δικτυακών εφαρμογών και επιτρέπει την εύκολη θέσπιση εμπρόσθιων μερών (frontends) για ερωτήματα προς το `rasdaman` μέσω του διαδικτύου. Οι δυνατότητές της περιλαμβάνουν τη δημιουργία γραφικών εργαλείων (widgets) σε μια web εφαρμογή για το χειρισμό παραμετροποιημένων ερωτημάτων, όπως για παράδειγμα είναι η δημιουργία κυλιόμενης μπάρας (slider) για τον έλεγχο τιμών κατωφλίου σε ερωτήματα.

Τέλος, θα παρουσιάσουμε το **petascope** [3], ένα πακέτο από Java servlets τα οποία παρέχουν την υλοποίηση πολλών από τα πρότυπα του οργανισμού OGC, τα οποία προτυποποιούν την επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων στο διαδίκτυο. Το `petascope` τρέχει σαν ένα πρόγραμμα πελάτη του `rasdman` (**Σχήμα 2.9**) και προσφέρει διεπαφές ειδικά για την πρόσβαση,

την επεξεργασία και το φιλτράρισμα γεωχωρικών δεδομένων από δια-δικτυακές υπηρεσίες. Συνεπώς το petascope, επιτρέπει την κατ' απαίτηση υποβολή ερωτημάτων, τα οποία επεξεργάζονται πολυδιάστατους πίνακες, στο rasdaman, μέσω του διαδικτύου. Επιπλέον, προσθέτει υποστήριξη για γεωγραφικά και χρονικά συστήματα συντεταγμένων. Το petascope υποστηρίζει τα παρακάτω πρότυπα του οργανισμού OGC : το πρότυπο WMS (Web Map Service), το πρότυπο WCS (Web Coverage Service), το πρότυπο WCPS (Web Coverage Processing Service) και το πρότυπο WPS (Web Processing Service). Ειδικότερα για τα πρότυπα WCS και WCPS, το rasdaman είναι η υλοποίηση αναφοράς.



Σχήμα 2.9: Αρχιτεκτονική του rasdaman σε σχέση με τα προγράμματα πελάτες. Εδώ παρουσιάζεται συγκεκριμένα το petascope μέσω της υλοποίησης της διεπαφής για το πρότυπο WCPS. (Πηγή: www.rasdaman.org/wiki/Technology)

Συμπερασματικά, το rasdaman είναι μία πλήρως ανεπτυγμένη υλοποίηση Array DBMS η οποία και προσφέρει ερωτήματα επιλογής, εισαγωγής, ενημέρωσης και διαγραφής πάνω σε βάσεις δεδομένων οι οποίες περιέχουν και χειρίζονται "μεγάλους", πολυδιάστατους πίνακες. Μεγάλοι οργανισμοί όπως η ESA (European Space Agency) το χρησιμοποιούν για να διαχειρίζονται τις αποθήκες δεδομένων τους. Αποτελεί ελεύθερο λογισμικό/λογισμικό ανοιχτού κώδικα καθώς η κοινότητα του rasdaman (rasdaman community) η οποία είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη και την υποστήριξή του, το διανέμει κάτω από την άδεια GNU GPL⁹ και LGPL¹⁰. Σε σύγκριση με τις διάφορες άλλες πλατφόρμες και εργαλεία τα οποία διαχειρίζονται raster data, το rasdaman εμφανίζεται ως το πιο αξιόπιστο, αποδοτικό και ισχυρό εργαλείο για την εργασία αυτή, με το μεγάλο του πλεονέκτημα να είναι η γλώσσα ερωτημάτων του και η δηλωτική σημασιολογία της. Για όλους τους παραπάνω λόγους το rasdaman επιλέχθηκε να είναι το εργαλείο με το οποίο θα διαχειρισθούμε, θα επεξεργαστούμε και θα αναλύσουμε

⁹<https://gnu.org/licenses/gpl.html>

¹⁰<https://www.gnu.org/copyleft/lesser.html#section4>

μεγάλα γεωχωρικά δεδομένα για αγροτικές εφαρμογές, στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

2.3 Πρότυπα OGC

Το όραμα της ερευνητικής κοινότητας [28] είναι το σύνολο των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων, να είναι προσβάσιμο μέσω του διαδικτύου και το διαδίκτυο να είναι ένας "τόπος" στον οποίο τα γεωχωρικά δεδομένα θα μπορούν να δημοσιεύονται, να διασυνδέονται και να παράγουν γνώση και πληροφορία μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών (web-services). Προς αυτήν την κατεύθυνση, ο οργανισμός OGC για τον οποίο θα μιλήσουμε στην ενότητα αυτή, έχει προτυποποιήσει διάφορες διαδικασίες για την ανάλυση των γεωχωρικών δεδομένων μέσω του διαδικτύου. Τα σημαντικότερα από τα πρότυπα αυτά, παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια σε ξεχωριστή υπο-ενότητα. Στο τέλος της ενότητας αυτής θα αναφερθούμε σε μελλοντικά πλάνα του οργανισμού, τα οποία σχεδιάζουν, προτυποποιούν και οργανώνουν το διαδίκτυο των δεδομένων του μέλλοντος, με έμφαση στα γεωχωρικά δεδομένα.

2.3.1 Οργανισμός OGC

Ο οργανισμός OGC (Open Geospatial Consortium) ιδρύθηκε το 1994 με σκοπό να προωθήσει την ανάπτυξη της επικοινωνίας μεταξύ των διάφορων GIS συστημάτων ώστε να διασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ αυτών. Η ιδέα ενός ανοιχτού GIS, είναι να απομακρυνθούμε από τη νοοτροπία της ανάπτυξης των GIS ως μονολιθικά συστήματα λογισμικού και να προχωρήσουμε προς την κατεύθυνση ενός τμηματοποιημένου συστήματος (modular system), το οποίο και θα περιλαμβάνει πολλά και διαφορετικά συστήματα λογισμικού. Ο OGC είναι το αποτέλεσμα μίας συνεργασίας, βασισμένης σε κοινή συναίνεση, μεταξύ οργανισμών του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα και είναι αφοσιωμένος στη δημιουργία και τη διαχείριση μιας βιομηχανικού εύρους αρχιτεκτονικής για τη διαλειτουργική επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων. Οι τεχνικοί στόχοι του OGC είναι:

- Ένα καθολικό χώρο-χρονικό μοντέλο δεδομένων και επεξεργασιών πάνω σε αυτά, το οποίο θα καλύπτει όλες τις υπάρχουσες αλλά και τις πιθανές χώρο-χρονικές εφαρμογές. Το μοντέλο αυτό καλείται "το μοντέλο δεδομένων του OGC" (OGC data model).
- Ο καθορισμός των προδιαγραφών, για κάθε μια από τις σημαντικές γλώσσες βάσεων δεδομένων, ώστε αυτές να είναι σε θέση να υλοποιήσουν το μοντέλο δεδομένων του OGC.
- Ο καθορισμός των προδιαγραφών, για κάθε ένα από τα σημαντικά καταναμεημένα υπολογιστικά περιβάλλοντα, ώστε αυτά να είναι σε θέση να υλοποιήσουν το μοντέλο επεξεργασίας του OGC.

Οι τεχνικές δραστηριότητες του OGC απλώνονται σε τρεις κατηγορίες. Αφορούν την ανάπτυξη αφηρημένων προδιαγραφών, την ανάπτυξη προδιαγραφών υλοποίησης καθώς και τη διαδικασία της αναθεώρησης των προδιαγραφών αυτών.

Σύμφωνα με τους στόχους που έχουν τεθεί από τον OGC, ο σκοπός της ανάπτυξης αφηρημένων προδιαγραφών είναι η δημιουργία και η τεκμηρίωση ενός εννοιολογικού μοντέλου ικανού να επιτρέψει τη δημιουργία προδιαγραφών υλοποίησης. Οι αφηρημένες προδιαγραφές αποτελούνται από δύο μοντέλα: το βασικό μοντέλο (essential model), το οποίο θεσπίζει την εννοιολογική σύνδεση μεταξύ του λογισμικού και του πραγματικού κόσμου και το αφηρημένο μοντέλο (abstract model), το οποίο ορίζει το τελικό σύστημα λογισμικού με έναν ουδέτερο τρόπο όσον αναφορά στην υλοποίησή του (δηλαδή, χωρίς να ορίζει τα ακριβή πρωτόκολλα τα οποία χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν). Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους εξυπηρετητές δεδομένων και στους πελάτες που τρέχουν αλγόριθμους επεξεργασίας αυτών, να επικοινωνούν σε ποικίλα περιβάλλοντα όπως στο διαδίκτυο, κατά μήκος ενός τοπικού δικτύου ή ακόμα και στο ίδιο μηχάνημα. Τεχνικές προδιαγραφές, οι οποίες υλοποιούν τις αφηρημένες απαιτήσεις σε κάθε ένα από τα διαδεδομένα κατανομημένα υπολογιστικά περιβάλλοντα – για παράδειγμα το περιβάλλον CORBA (Common Object Request Broker Architecture), το DCOM και η Java – είναι πλέον διαθέσιμες.

Ο φορμαλισμός για όλα τα μοντέλα τα οποία περιέχονται στα έγγραφα αφηρημένων προδιαγραφών καθώς και στα έγγραφα των προδιαγραφών υλοποίησης του OGC είναι η γλώσσα UML (Unified Modeling Language). Η κύρια οντότητα η οποία εξετάζεται στο μοντέλο του OGC είναι το "χαρακτηριστικό" (feature), το οποίο έχει ένα τύπο και μια γεωμετρία, τα οποία ορίζονται από τον ίδιο τον OGC κάτω από τις "πολύ γνωστές δομές" (well-known structures).

2.3.2 Ανοικτά Πρότυπα του OGC

Τα πρότυπα του OGC ¹¹ είναι τεχνικά έγγραφα τα οποία ορίζουν λεπτομερώς διεπαφές (interfaces) ή κωδικοποιήσεις (encodings). Οι προγραμματιστές λογισμικού χρησιμοποιούν αυτά τα έγγραφα για να κατασκευάσουν και να ενσωματώσουν ανοικτές διεπαφές και κωδικοποιήσεις στα προϊόντα και στις υπηρεσίες τους. Τα πρότυπα αυτά είναι τα κύρια "προϊόντα" του OGC τα οποία και έχουν αναπτυχθεί από την κοινότητα με σκοπό τη διευθέτηση συγκεκριμένων προκλήσεων διαλειτουργικότητας. Ίδανικά, όταν τα πρότυπα του OGC υλοποιούνται σε προϊόντα ή online υπηρεσίες από δύο διαφορετικούς προγραμματιστές λογισμικού οι οποίοι εργάζονται ανεξάρτητα, τα παραγόμενα συστατικά μέρη μπορούν να λειτουργήσουν αμέσως σε συνεργασία μεταξύ τους χωρίς καμία περαιτέρω εργασία, είναι δηλαδή της μορφής plug and play. Τα πρότυπα του OGC καθώς και τα έγγραφα τα οποία τα υποστηρίζουν είναι διαθέσιμα σε όλους χωρίς κανένα κόστος. Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής ήταν αναγκαία η γνωριμία και η εξοικείωση με κάποια από τα πολύ δημοφιλή πρότυπα του οργανισμού OGC τα οποία και παρουσιάζονται στη συνέχεια.

WCS

Το πρότυπο WCS (Web Coverage Service) [8] του OGC, ορίζει μια πρότυπη διεπαφή και λειτουργίες που επιτρέπουν τη διαλειτουργική πρόσβαση σε χωρικά δεδομένα κανάβου (grid

¹¹ www.opengeospatial.org/standards

coverages). Ο όρος αυτός (coverage) τυπικά περιγράφει δεδομένα όπως τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, δορυφορικές εικόνες, ψηφιακές αεροφωτογραφίες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους και άλλα φαινόμενα που μπορούν να αναπαρασταθούν από τιμές σε κάθε σημείο μέτρησης. Το πρότυπο WCS του OGC ουσιαστικά είναι μια διαδικτυακή υπηρεσία δεδομένων. Ορίζει μια υπηρεσία πρόσβασης δεδομένων που επιτρέπει σε δεδομένα κανάβου, όπως τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους, να μπορούν να ανακτηθούν μέσω του πρωτοκόλλου HTTP. Η απάντηση ενός εξυπηρετητή σε ένα αίτημα WCS περιλαμβάνει μεταδεδομένα δεδομένων κανάβου και τα δεδομένα εξόδου, των οποίων τα εικονοστοιχεία είναι κωδικοποιημένα σε συγκεκριμένο πρότυπο ψηφιακής εικόνας όπως για παράδειγμα στα πρότυπα GeoTIFF ή NetCDF.

WFS

Το πρότυπο WFS (Web Feature Service) [53] του OGC, ορίζει διαδικτυακές λειτουργίες για ανάκτηση και επεξεργασία διανυσματικών γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Το πρότυπο αυτό, ορίζει διαδικασίες που επιτρέπουν την ανακάλυψη συνόλων χαρακτηριστικών που είναι διαθέσιμα (GetCapabilities), την περιγραφή των γεωγραφικών χαρακτηριστικών (DescribeFeatureType), την ανάκτηση ενός μέρους των δεδομένων μέσω κάποιου φίλτρου (GetFeature) και την πρόσθεση, τη διόρθωση ή την αφαίρεση χαρακτηριστικών (Transaction). Όλες οι υπηρεσίες WFS υποστηρίζουν είσοδο και έξοδο δεδομένων με τη χρήση του προτύπου Geography Markup Language (GML). Κάποιες υπηρεσίες WFS επιπλέον υποστηρίζουν άλλες κωδικοποιήσεις, όπως το GeoRSS ή τα αρχεία shapefiles. Οι χρήστες τυπικά αλληλεπιδρούν με τις υπηρεσίες WFS μέσω περιηγητών ή μέσω λογισμικών GIS, τα οποία τους επιτρέπουν να έχουν πρόσβαση σε επίπεδα δεδομένων από εξωτερικές πηγές μέσω διαδικτύου.

WMS

Το πρότυπο WMS (Web Map Service) [20] του OGC παρέχει μια απλή διεπαφή πρωτοκόλλου HTTP για την αίτηση και λήψη γεωαναφερωμένων εικόνων χαρτών από μία ή περισσότερες κατανεμημένες βάσεις χωρικών δεδομένων. Η απάντηση του εξυπηρετητή στο αίτημα από τον εκάστοτε χρήστη είναι μία ή περισσότερες εικόνες (σε μορφή JPEG, PNG, κ.α) που μπορούν να απεικονιστούν εύκολα είτε από κάποιο περιηγητή ιστού είτε από τοπικές εφαρμογές στην επιφάνεια εργασίας ενός προσωπικού υπολογιστή. Το πρότυπο WMS έχει υλοποιηθεί από ένα σημαντικό αριθμό λογισμικών και ορίζει τρεις λειτουργίες:

- Λειτουργία **GetCapabilities** (υποχρεωτική): Αφορά τη λήψη μεταδεδομένων σχετικά με την υπηρεσία WMS σε μορφή κατανοητή και από ένα υπολογιστικό σύστημα αλλά και από ανθρώπους, την περιγραφή πληροφοριών σχετικά με την υπηρεσία WMS καθώς και "διαφημίζει" τις αποδεκτές παραμέτρους κατά την κλήση της υπηρεσίας.
- Λειτουργία **GetMap** (υποχρεωτική): Αφορά τη λήψη της εικόνας του ζητούμενου χάρτη, της οποίας οι χωρικές και γεωμετρικές διαστάσεις είναι πλήρως καθορισμένες.
- Λειτουργία **GetFeatureInfo** (προαιρετική): Ερώτημα για λήψη πληροφοριών που αφορούν ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό που απεικονίζεται στο χάρτη.

WPS

Το πρότυπο WPS (Web Processing Service) [50] παρέχει κανόνες για την προτυποποίηση δεδομένων εισόδου και εξόδου (αιτήματα και απαντήσεις) για υπηρεσίες χωρικής επεξεργασίας και επιπλέον περιγράφει την πρόσβαση σε χωρικές λειτουργίες επεξεργασίας μέσω του διαδικτύου. Οι επεξεργασίες αυτές είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν κάθε αλγόριθμο, υπολογισμό ή μοντέλο που λειτουργεί πάνω σε χωρικά δεδομένα είτε αυτά είναι διανυσματικά είτε αυτά είναι εικονιστικά δεδομένα. Μια υπηρεσία WPS μπορεί να εξυπηρετήσει απλούς υπολογισμούς όπως είναι η τομή δύο πολυγώνων ή η πρόσθεση δύο ψηφιακών εικόνων, αλλά και πιο πολύπλοκους όπως για παράδειγμα είναι ένα μοντέλο για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Το πρότυπο WPS ορίζει τρεις βασικές λειτουργίες, μέσω των οποίων γίνονται οι επεξεργασίες:

- Λειτουργία **GetCapabilities**: Η λειτουργία αυτή ζητά από τον εξυπηρετητή WPS να αποστείλει τις λεπτομέρειες της υπηρεσίας που προσφέρεται, οι οποίες περιλαμβάνουν τα μεταδεδομένα της υπηρεσίας και τα μεταδεδομένα που περιγράφουν τις διαθέσιμες επεξεργασίες. Η απόκριση του εξυπηρετητή στη λειτουργία αυτή είναι ένα XML αρχείο το οποίο ονομάζεται capabilities document και περιέχει όλες τις ζητούμενες πληροφορίες.
- Λειτουργία **DescribeProcess**: Η λειτουργία αυτή θέτει ως αίτημα στον εξυπηρετητή WPS την περιγραφή μιας WPS επεξεργασίας που είναι διαθέσιμη από την υπηρεσία. Με την παροχή μιας συγκεκριμένης παραμέτρου (ονομάζεται identifier) προσδιορίζεται η επεξεργασία που θα περιγραφεί, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να ζητηθεί η περιγραφή πολλαπλών επεξεργασιών. Η απάντηση από τον εξυπηρετητή είναι ένα XML αρχείο, το οποίο περιλαμβάνει μεταδεδομένα σχετικά με κάθε αιτούμενη επεξεργασία, συμπεριλαμβάνοντας, το όνομα της επεξεργασίας, τον τίτλο και μία συνοπτική περιγραφή της. Επίσης για κάθε παράμετρο εισόδου και εξόδου περιλαμβάνεται το αναγνωριστικό της (identifier), ο τίτλος της, η συνοπτική περιγραφή της επεξεργασίας, η πολλαπλότητα των επεξεργασιών, οι υποστηριζόμενοι τύποι δεδομένων καθώς και η μορφή τους (format).
- Λειτουργία **Execute**: Η λειτουργία αυτή καταθέτει το αίτημα στον εξυπηρετητή WPS ώστε να εκτελεστεί κάποια επεξεργασία με τις καθορισμένες τιμές εισόδου και τα απαιτούμενα δεδομένα εξόδου. Το αίτημα μπορεί να αποσταλεί στον εξυπηρετητή είτε με τη μέθοδο GET είτε με τη μέθοδο POST, με ένα XML αρχείο. Επειδή όμως το αίτημα έχει πολύπλοκη δομή, η μέθοδος POST καθιστά τη λειτουργία περισσότερο ασφαλή και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται περισσότερο. Τα δεδομένα εισόδου και εξόδου που απαιτούνται για το αίτημα, εξαρτώνται από την επεξεργασία που πρόκειται να εκτελεστεί.

Το πρότυπο WPS είναι εξαιρετικά χρήσιμο αφού προσφέρει μία πληθώρα δυνατοτήτων όπως είναι η μείωση της πολυπλοκότητας στην επεξεργασία των δεδομένων, η δημιουργία αλυσιδωτών επεξεργασιών, η εύκολη διαχείριση επεξεργασιών και η διαλειτουργική πρόσβαση σε επεξεργασίες μεγάλης πολυπλοκότητας.

WCPS

Το πρότυπο WCPS (Web Coverage Processing Service) [13] ορίζει μια υψηλού επιπέδου γλώσσα η οποία επιτρέπει την server-side επεξεργασία πολύπλοκων ερωτημάτων πάνω σε πολυδιάστατα raster δεδομένα. Αυτή η γλώσσα η οποία καθορίζεται από το πρότυπο WCPS, λειτουργεί σαν μια διεπαφή μεταξύ των πελατών και του server και μπορεί να χαρακτηριστεί σαν η SQL γλώσσα για δεδομένα που έχουν τη φύση μιας coverage. Η WCPS επιτρέπει την κατ' απαίτηση υποβολή ερωτημάτων στο server με σκοπό την ad-hoc επεξεργασία δεδομένων coverage για εξαγωγή αποτελεσμάτων διαφόρων ειδών, όπως ο υπολογισμός διάφορων δεικτών ποιότητας, ο προσδιορισμός στατιστικών εκτιμήσεων καθώς επίσης και η δημιουργία διαφόρων ειδών γραφημάτων όπως για παράδειγμα είναι ένα ιστόγραμμα ή μία ταξινόμηση. Είναι μια συναρτησιακή γλώσσα κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν έχει παρενέργειες και χρησιμοποιεί δηλωτική σημασιολογία κάτι το οποίο αφήνει περιθώρια για πολλές βελτιστοποιήσεις στην πλευρά του server κατά την εκτέλεση των ερωτημάτων. Επίσης η γλώσσα αυτή έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι "ασφαλής κατά την αποτίμηση" (safe in evaluation), κάτι το οποίο σημαίνει ότι οποιοδήποτε έγκυρο ερώτημα γραμμένο στην WCPS είναι εγγυημένο ότι θα τερματίσει. Αυτή η ιδιότητα είναι πολύ σημαντική σε περιβάλλοντα client - server καθώς διασφαλίζεται το σύστημα ενάντια σε επιθέσεις "Άρνησης Υπηρεσίας" (Denial of Service (Dos)) στο επίπεδο της εκτέλεσης ενός μεμονωμένου ερωτήματος. Η διατήρηση της ιδιότητας αυτής (safe in evaluation) σημαίνει ότι η γλώσσα χάνει σε εκφραστική δύναμη καθώς απαγορεύεται η ρητή χρήση επανάληψης (για παράδειγμα for-loop) και η αναδρομή, αλλά συνειδητά έχει επιλεγεί η γλώσσα να είναι ασφαλής κατά την αποτίμηση, καθώς ένας πελάτης δεν πρέπει να έχει απεριόριστη δύναμη στο να καθορίζει το τι εκτελείται στην πλευρά του server. Παρ' όλο που χάνεται η δυνατότητα έκφρασης κάποιων υπολογισμών, ένα μεγάλο σύνολο από επεξεργασίες μπορούν να υποστηριχθούν. Για παράδειγμα μπορεί να μην είναι δυνατή η αναστροφή πινάκων, αλλά είναι δυνατός ο υπολογισμός συνελίξεων.

Γενικά, τα ερωτήματα γραμμένα στην WCPS χρησιμοποιούν έναν for-όρο για να ορίσουν τα δεδομένα εισόδου του ερωτήματος και ένα return-όρο για να καθορίσουν ποια πληροφορία θα επιστραφεί και με ποια μορφή. Ακολουθεί ένα υπόδειγμα ενός ερωτήματος γραμμένου στην WCPS:

```
for data in (collection)
return encode(data.band, "form")
```

Η μεταβλητή data είναι μια μεταβλητή επανάληψης μέσω της οποίας αναφερόμαστε στα δεδομένα που θα προσπελαστούν. Η μεταβλητή collection αντικαθίσταται από το όνομα μιας coverage την οποία θέλουμε να επεξεργαστούμε και καθορίζει τα δεδομένα εισόδου. Ο όρος form αντικαθίσταται από τη μορφή που θα έχει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας, για παράδειγμα png, jpg, csv κ.α. Ακολουθούν κάποια παραδείγματα ερωτημάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμένα στην WCPS.

Στο πρώτο παράδειγμα το ερώτημα ψάχνει σε μια δεδομένη χρονοσειρά εικόνων για οποιοδήποτε pixel έχει τιμή μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Επιστρέφει σε ένα csv αρχείο τιμή true όπου το κατώφλι ξεπερνιέται και τιμή false αλλιώς:

```

for ts in ( TimeSeries )
return
encode( ( ts > T ), "csv")

```

Στο δεύτερο παράδειγμα το ερώτημα WCPS παράγει το ιστόγραμμα για μία 8-bit greyscale δορυφορική εικόνα:

```

for ls in ( LandsatScene )
return
encode(
coverage LandsatRedHistogram
over abstract n( 0, 255 )
values count( ls.red = n ),
"csv"
)

```

Το PetaScope, το οποίο και αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα, παρέχει την υλοποίηση αναφοράς του πρότυπου WCPS. Μέσω του PetaScope επιτρέπεται η κατ' απαίτηση υποβολή ερωτημάτων στη γλώσσα WCPS για την online επεξεργασία coverages από ένα σύστημα κατάλληλο για το σκοπό αυτό όπως είναι το rasdaman. Επομένως ένας πελάτης ή ένα πρόγραμμα πελάτη μπορεί να συντάξει ένα ερώτημα επεξεργασίας στην γλώσσα WCPS, να το στείλει σε κάποιο server που τρέχει το PetaScope ώστε να ελεγχθεί και στη συνέχεια να παραδοθεί για εκτέλεση στο βασικό σύστημα (rasdaman), το οποίο και θα επιστρέψει στον πελάτη τα αποτελέσματα της επεξεργασίας.

2.3.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Στο πλαίσιο της ενασχόλησής μας με τον οργανισμό OGC και τη συνεισφορά του στην επιστημονική κοινότητα είναι σημαντική μια αναφορά στις μελλοντικές κατευθύνσεις του οργανισμού, οι οποίες σε μεγάλο βαθμό θα διαμορφώσουν το online περιβάλλον πλοήγησης, διαχείρισης και επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων του μέλλοντος. Η συνεχής ανάπτυξη, βελτίωση και αναθεώρηση των υπάρχοντων προτύπων ώστε αυτά να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις σύγχρονες ανάγκες είναι κορυφαία προτεραιότητα. Η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη όμως δημιουργεί νέες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Οι κύριες προκλήσεις προέρχονται από την εξέλιξη στη χρήση των χαρτών. Ένας χάρτης συνήθως ήταν κάτι που βρισκόταν σε ένα βιβλίο και περιέγραφε τοποθεσίες εξωτερικών χώρων. Πλέον ο χάρτης είναι κάτι που οι άνθρωποι έχουν συνεχώς μαζί τους σε ένα smartphone ή σε ένα tablet pc και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πληροφορίες που υπηρεσίες βασισμένες στους χάρτες προσφέρουν. Επίσης η νέα τάση βρίσκεται στους χάρτες που περιγράφουν εσωτερικούς χώρους όπως για παράδειγμα είναι ένα μουσείο ή ένα πολυκατάστημα. Επειδή οι

φορητές συσκευές με γνώση της εσωτερικής τοποθεσίας προσφέρουν μεγάλες επιχειρηματικές ευκαιρίες, περιμένουμε ότι η εκρηκτική διαθεσιμότητα χαρτών εσωτερικών χώρων θα ανοίξει ένα νέο μέτωπο στις υπηρεσίες βασισμένες στην εσωτερική τοποθεσία (indoor location based services).

Επίσης η βελτίωση στην τεχνολογία έχει καταστήσει να είναι εφικτή η γρήγορη συλλογή τρισδιάστατης πληροφορίας και για το λόγο αυτό οι τρισδιάστατοι (3D) χάρτες γίνονται όλο και πιο κοινοί. Η ικανότητα για παροχή 3D χαρτών σε περιηγητές ιστού σε συνδυασμό με το ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον για το αστικό περιβάλλον, δίνουν την ώθηση για την ανάπτυξη ενός νέου εύρους εφαρμογών. Η τρισδιάστατη απεικόνιση δίνει επιπλέον βαρύτητα στην ανάγκη οι χάρτες να είναι πιο προσβάσιμοι στους χρήστες και στις εφαρμογές. Η επιτυχία του πειράματος διαλειτουργικότητας για 3D απεικόνιση του OGC (OGC's 3D Portrayal Interoperability Experiment) είναι η βάση για την ομάδα ανάπτυξης των τρισδιάστατων προτύπων του OGC (OGC 3D Portrayal Standards).

Επιπλέον, η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality (AR)) συγχωνεύει τους χάρτες με τον πραγματικό κόσμο. Η AR βρίσκεται ακόμα σε πρωταρχικό στάδιο αλλά είναι σε θέση να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε τον κόσμο. Ένας τομέας με τον οποίο ασχολείται η AR είναι η εξατομίκευση των χαρτών για κάθε χρήστη. Η εξατομίκευση βασίζεται στην ακαριαία και σε πραγματικό χρόνο αλληλεπίδραση των εφαρμογών των χρηστών με γεωχωρική πληροφορία. Τέτοια υπολογιστική χαρτογραφία με σκοπό τη δημιουργία εξειδικευμένων υπηρεσιών για τους χρήστες εξαρτάται από το αν η δόμηση της γεωχωρικής πληροφορίας είναι τέτοια που να επιτρέπει την αυτόματη επεξεργασία της. Η σημασιολογική τεχνολογία μπορεί να προσφέρει μια βασική οντολογία για γεωχωρικούς υπολογισμούς. Ο OGC έχει δημιουργήσει κάποια πρότυπα για την σημασιολογική τεχνολογία και τα έχει εφαρμόσει στα πρότυπα του OGC για τις διαδικτυακές τεχνολογίες (OGC Web Services Standards).

Συμπερασματικά, ο OGC εργάζεται για τη συνεχή προτυποποίηση των νέων αναγκών και των τεχνολογιών που τις επιλύουν, με έμφαση στη διαλειτουργικότητα των παλαιών προτύπων με τα νέα, ώστε να είναι εύκολη και γρήγορη η διάχυση πληροφορίας και γνώσης που αφορά γεωχωρικά δεδομένα.

2.4 WebGISs

Στην ενότητα αυτή θα μιλήσουμε για τα WebGIS συστήματα. Αφού παρουσιάσουμε στην εισαγωγή τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες τους στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε κάποια παραδείγματα WebGIS που δείχνουν την κατεύθυνση και τις τάσεις σε αυτόν τον τομέα. Τέλος θα μελετήσουμε το WebGIS σύστημα PlanetServer, το οποίο αποτέλεσε οδηγό και ορόσημο κατά την ανάπτυξη του δικού μας WebGIS συστήματος (RemoteAgri) για την παρακολούθηση καλλιεργειών.

2.4.1 Εισαγωγή

Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (geographic information system, GIS) είναι ένα σύστημα λογισμικού το οποίο έχει σχεδιαστεί ώστε να συλλαμβάνει, να αποθηκεύει, να

χειρίζεται, να αναλύει, να διαχειρίζεται και να παρουσιάζει όλους τους τύπους γεωχωρικών δεδομένων. Οι εφαρμογές GIS (GIS applications), είναι εργαλεία τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν διαδραστικά ερωτήματα πάνω σε γεωχωρικά δεδομένα, να αναλύουν χωρική πληροφορία, να επεξεργάζονται (προσθέτουν/διορθώνουν) δεδομένα χαρτών όπως επίσης και να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα όλων αυτών των εργασιών.

Ο παγκόσμιος ιστός (world wide web) έχει αλλάξει τα δεδομένα στη διαχείριση της πληροφορίας και τα GIS συστήματα και οι εφαρμογές τους δεν αποτελούν εξαίρεση. Η επίδραση του διαδικτύου και η στροφή στις υπηρεσίες βασισμένες στο διαδίκτυο (web services) έχουν οδηγήσει σε μια αναδυόμενη τάση στην χαρτογραφία, που αποτελεί συνδυασμό του διαδικτύου (web) και των GIS συστημάτων και ονομάζεται WebGIS. Τα WebGIS συστήματα είναι ο τρόπος με τον οποίο η λειτουργικότητα των GIS συστημάτων γίνεται διαθέσιμη προς όλους τους χρήστες μέσω του διαδικτύου. Αποτελούν μία προσιτή, εύρωστη και ταυτόχρονα εύχρηστη λύση καθώς η χρήση τους δεν απαιτεί τίποτα περισσότερο από ένα περιηγητή ιστού, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά GIS συστήματα τα οποία απαιτούν την εγκατάσταση ειδικών προγραμμάτων καθώς και σχετικά ισχυρά προσωπικά υπολογιστικά συστήματα.

Τα WebGIS συστήματα επίσης, καθώς είναι προσβάσιμα μέσω του διαδικτύου, δίνουν τη δυνατότητα οι εφαρμογές τους να είναι προσβάσιμες πραγματικά από οποιοδήποτε υπολογιστικό σύστημα διαθέτει ένας χρήστης. Είτε αυτό πρόκειται για ένα προσωπικό υπολογιστή είτε πρόκειται για ένα smartphone είτε για ένα tablet pc. Αυτό το χαρακτηριστικό μειώνει την ανάγκη για την ανάπτυξη ειδικά προσαρμοσμένων (customized) εφαρμογών καθώς τα WebGIS συστήματα λειτουργούν ομαλά κατά μήκος διαφορετικών συσκευών για ένα τρομερά μεγάλο και πολύπλοκο εύρος εφαρμογών.

Τα WebGIS συστήματα προσφέρουν στους χρήστες εφαρμογές οι οποίες ονομάζονται WebGIS εφαρμογές. Οι WebGIS εφαρμογές προκύπτουν από τη σύνθεση κάποιων βασικών υποβάθρων χαρτών, κάποιων επιθεμάτων πληροφοριών που σχετίζονται με τα βασικά υπόβαθρα και διάφορων εργαλείων τα οποία παίρνουν εντολές από τους χρήστες και παράγουν ή απλά προβάλλουν τις ζητούμενες πληροφορίες. Οι WebGIS εφαρμογές έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Εκτός από αυτά που έχουν ήδη αναφερθεί σχετικά με τις μικρές απαιτήσεις τους σε υπολογιστικούς πόρους όσον αναφορά τους χρήστες—πελάτες και το χαρακτηριστικό τους ότι είναι προσβάσιμες σχεδόν από οποιοδήποτε, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα τους να συνδυάζουν πληροφορία από ένα μεγάλο αριθμό πηγών γεωχωρικών δεδομένων στην ίδια οθόνη για ένα συγκεκριμένο σκοπό.

Αυτό το πλεονέκτημα δίνει τη δυνατότητα για το σχεδιασμό και την υλοποίηση συστημάτων τα οποία θα είναι σε θέση να παρακολουθούν την εξέλιξη φαινομένων είτε φυσικών (για παράδειγμα το λιώσιμο των πάγων) είτε προερχόμενων από ανθρώπινη δραστηριότητα (για παράδειγμα υλοτομία), σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορούν να συνδυάζουν πληροφορία σε πραγματικό χρόνο από διάφορους αισθητήρες είτε επίγειους είτε εναέριους και με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού να παίρνουν χρήσιμες αποφάσεις. Τα συστήματα αυτά όχι μόνο θα μπορούν να παρέχουν σχετικές πληροφορίες και στατιστικά σχετικά με την κατάσταση των φαινομένων που παρακολουθούν, αλλά θα μπορούν να παρέχουν και κρίσιμες ειδοποιήσεις που θα συνεισφέρουν στην τήρηση των νόμων, στην προστασία του

περιβάλλοντος καθώς και στη διαχείριση κρίσεων. Για παράδειγμα ένα WebGIS σύστημα που παρακολουθεί την κατάσταση των δασών θα μπορούσε να στέλνει ειδοποιήσεις σχετικά με το που και το πως μειώνεται η έκταση τους. Το που θα αφορά φυσικά την τοποθεσία που ανιχνεύεται κάποια αλλαγή και το πώς θα αφορά τα αίτια αυτής της αλλαγής που θα μπορούσαν να είναι για παράδειγμα κάποια φυσική καταστροφή (πυρκαϊά ή ασθένεια) ή ανθρώπινη δραστηριότητα (υλοτομία).

Συμπερασματικά, η νέα τάση βρίσκεται στην παροχή υπηρεσιών οι οποίες είναι βασισμένες στο διαδίκτυο και γίνεται στροφή στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη WebGIS συστημάτων και εφαρμογών, τα οποία όχι μόνο θα παρουσιάζουν αλλά και θα επεξεργάζονται γεωχωρικά δεδομένα και θα δημιουργούν γνώση και πληροφορία από αυτά. Για το λόγο αυτό αλλά και εξαιτίας των δεδομένων πλεονεκτημάτων και των δυνατοτήτων των WebGIS συστημάτων, επιλέξαμε να υλοποιήσουμε στο πλαίσιο της εργασίας αυτής (και) ένα WebGIS σύστημα για την παρακολούθηση καλλιεργειών και την εξαγωγή πληροφοριών για την κατάσταση της βλάστησης.

2.4.2 Παραδείγματα

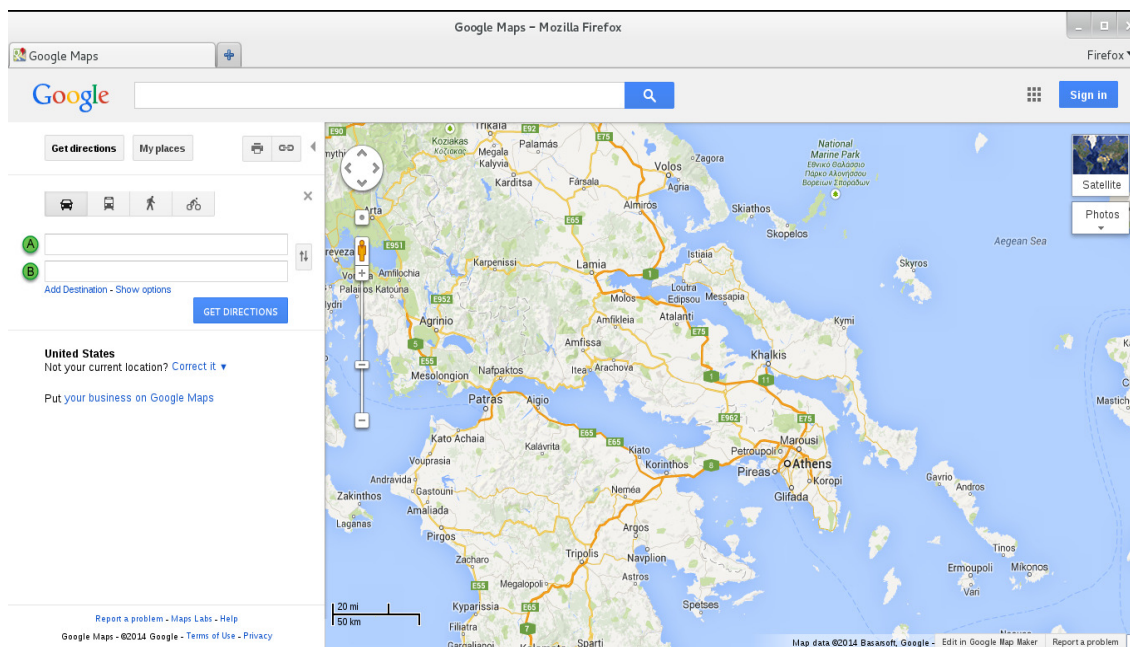
Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια εκρηκτική αύξηση στις εφαρμογές χαρτογραφίας μέσω του διαδικτύου όπως είναι για παράδειγμα οι εφαρμογές Google Maps και Bing Maps και των WebGIS εφαρμογών γενικότερα. Οι εφαρμογές αυτές παρέχουν ελεύθερη πρόσβαση σε τεράστιες ποσότητες γεωχωρικών δεδομένων. Κάποιες από αυτές, όπως το Google Maps και η βιβλιοθήκη OpenLayers, εκθέτουν προγραμματιστικές διεπαφές εφαρμογών (APIs) ώστε οι χρήστες να μπορούν να δημιουργούν εφαρμογές προσαρμοσμένες στις ανάγκες τους. Οι εφαρμογές αυτές προσφέρουν οδικούς χάρτες, εναέριες και δορυφορικές φωτογραφίες, αναζήτηση σε γεωχωρικά δεδομένα καθώς και λειτουργίες δρομολόγησης–πλοήγησης. Πολλές από τις εφαρμογές αυτές έχουν αποκαλύψει και τις δυνατότητες του crowdsourcing των γεωχωρικών δεδομένων. Μια τέτοια εφαρμογή είναι το OpenStreetMap¹², το οποίο είναι ένα συνεργατικό έργο με σκοπό τη δημιουργία ενός ελεύθερα επεξεργάσιμου παγκόσμιου χάρτη.

Παρακάτω παρουσιάζουμε κάποια παραδείγματα WebGIS συστημάτων, τα οποία δείχνουν την κατεύθυνση και τις τάσεις σε αυτόν τον τεχνολογικό τομέα.

¹²www.openstreetmap.org

Google Maps

Το Google Maps ¹³ είναι μια εφαρμογή χαρτογραφίας μέσω του διαδικτύου διαθέσιμη και για προσωπικούς υπολογιστές και για κινητές συσκευές η οποία παρέχεται από την εταιρεία Google. Προσφέρει δορυφορικές εικόνες, οδικούς χάρτες και προσφάτως και απόψεις δρόμου (Street View perspectives), καθώς επίσης και σχεδιασμό ταξιδιωτικών διαδρομών για ταξίδι είτε με τα πόδια, είτε με αυτοκίνητο είτε με δημόσιες συγκοινωνίες. Παρακάτω ακολουθεί ένα στιγμιότυπο (screenshot) της υπηρεσίας Google Maps.



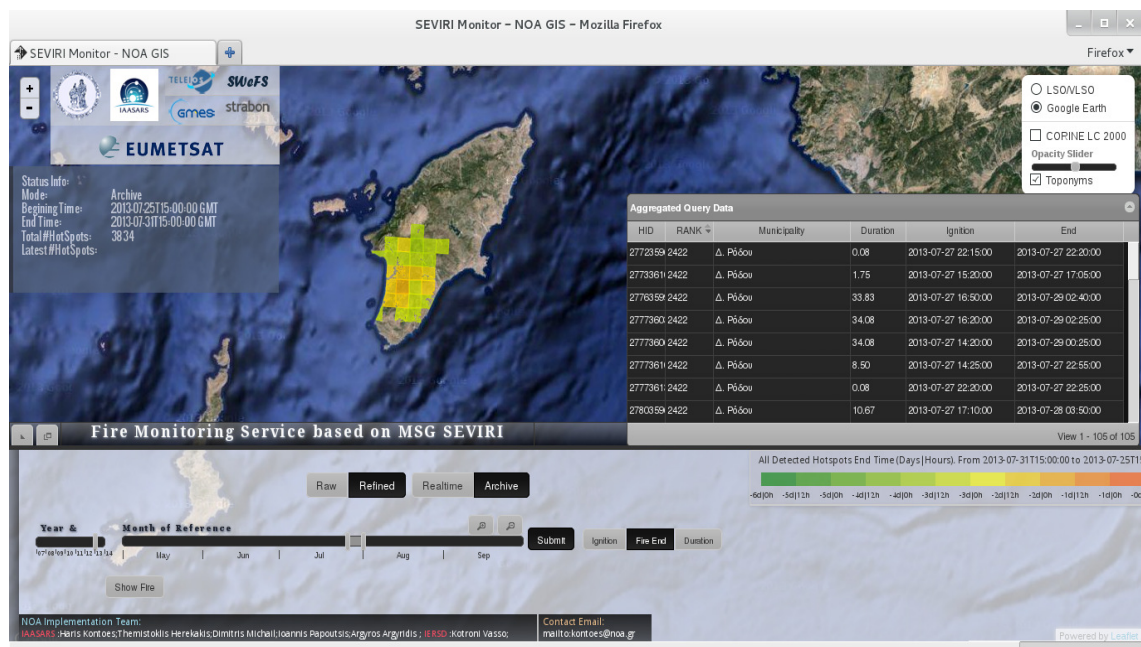
Σχήμα 2.10: Screenshot της υπηρεσίας Google Maps.

SEVIRI Monitor - NOA GIS

Το SEVIRI Monitor - NOA GIS ¹⁴ είναι ένα WebGIS σύστημα για την παρακολούθηση πυρκαγιών στον Ελλαδικό χώρο σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Αναπτύχθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών για την κάλυψη ενός μεγάλου εύρους εφαρμογών στο πεδίο της έκτακτης αντίδρασης και υποστήριξης κατά τη διάρκεια και μετά από μεγάλες φωτιές. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση πυρκαγιών, την παρακολούθησή και τη χαρτογράφηση τους καθώς και για την εκτίμηση της καταστροφής στις πληγείσες περιοχές. Η λειτουργία του βασίζεται στη συστηματική επεξεργασία και εξαγωγή πληροφοριών από δορυφορικές εικόνες διαφορετικής φασματικής και χωρικής ανάλυσης. Παρακάτω ακολουθεί ένα στιγμιότυπο (screenshot) της υπηρεσίας SEVIRI Monitor - NOA GIS.

¹³maps.google.com

¹⁴ocean.space.noa.gr/seviri/fend_new/

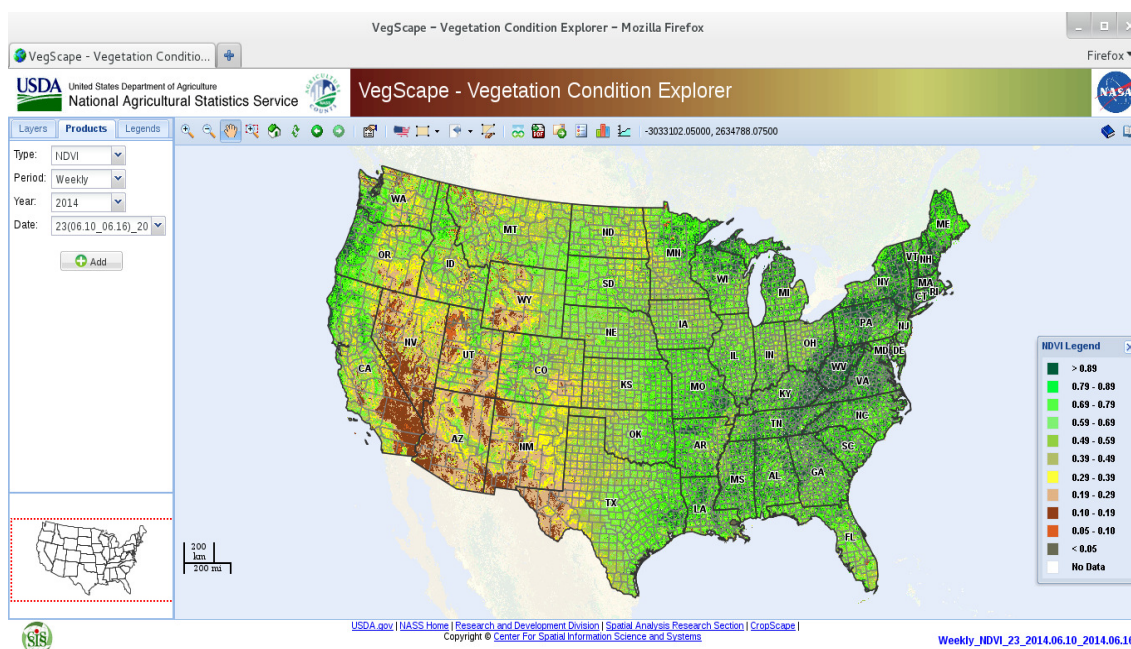


Σχήμα 2.11: Screenshot της υπηρεσίας NOA GIS.

VegScape - Vegetation Condition Explorer

Το VegScape¹⁵ είναι ένα WebGIS σύστημα για την παρακολούθηση της κατάστασης των καλλιεργειών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Η.Π.Α). Έχει αναπτυχθεί από τον οργανισμό NASS (National Agricultural Statistics Service) για την βελτίωση της παρακολούθησης της βλάστησης και την εκτίμηση της κατάστασής της στην επικράτεια των Η.Π.Α. Παρέχει εργαλεία για την online απεικόνιση και εξερεύνηση των διαθέσιμων γεωχωρικών δεδομένων και υποστηρίζει την ανοιχτή και ελεύθερη πρόσβαση σε αυτά. Επίσης χρησιμοποιεί για τη λειτουργία του ανοιχτά πρότυπα γεωχωρικών δεδομένων και υποστηρίζει διαφανείς και συνεργατικές πρωτοβουλίες μεταξύ κυβερνήσεων. Παρακάτω ακολουθεί ένα στιγμιότυπο (screenshot) της υπηρεσίας VegScape.

¹⁵nassgeodata.gmu.edu/VegScape/



Σχήμα 2.12: Screenshot της υπηρεσίας VegScape.

2.4.3 PlanetServer

Το WebGIS σύστημα (RemoteAgri), το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, για την online ανάλυση και απεικόνιση ανοικτών τηλεπισκοπικών δεδομένων για αγροτικές εφαρμογές, άντλησε έμπνευση κυρίως από το σύστημα PlanetServer [43]. Το σύστημα PlanetServer, το οποίο αποτελεί βασική συνιστώσα υπηρεσίας του EarthServer, ενός έργου χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση, στοχεύει στην online εξυπηρέτηση και ανάλυση πλανητικών δεδομένων.

Το έργο EarthServer¹⁶ δημιουργεί online, ανοικτή, κατ' απαίτηση πρόσβαση και υποδομή για ad-hoc ανάλυση μαζικών (100+ TB) δεδομένων επιστημών της γης (Earth Science), βασιζόμενο σε μια καινοτόμα πλατφόρμα βάσης δεδομένων (Array DBMS) και στο πρότυπο WCPS του OGC. Το έργο EarthServer θεσπίζει ένα σημαντικό αριθμό από τις λεγόμενες εφαρμογές φάρους (lighthouse applications), κάθε μια από τις οποίες θέτει διαφορετικές προκλήσεις στην ανάλυση δεδομένων της γης (Earth Data). Οι Earth Sciences για τις οποίες έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές ανάλυσης στο πλαίσιο του έργου EarthServer είναι η Κρυοσφαιρική επιστήμη (Cryospheric Science), η Εναέρια επιστήμη (Airborne Science), η Ατμοσφαιρική επιστήμη (Atmospheric Science), η Γεωλογία, η Ωκεανογραφία και η Πλανητική επιστήμη (Planetary Science). Ειδικότερα, για την Πλανητική επιστήμη, αναπτύσσεται η εφαρμογή PlanetServer.

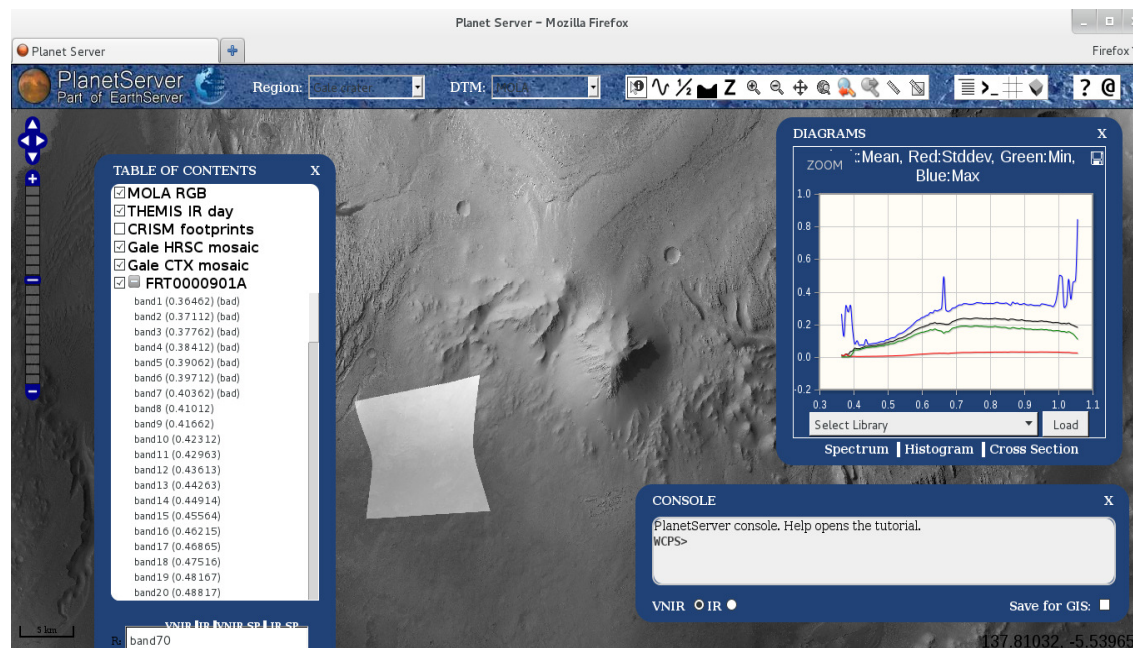
Το σύστημα PlanetServer¹⁷, είναι μια online υπηρεσία απεικόνισης και ανάλυσης πλα-

¹⁶ www.earthserver.eu

¹⁷ www.planetserver.eu

νητικών δεδομένων, η οποία επιδεικνύει πως διάφορες τεχνολογίες, εργαλεία και διαδικτυακά πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να είναι δυνατή η παροχή υπηρεσιών ανάλυσης μεγάλων δεδομένων σε ένα online περιβάλλον. Βασίζεται στο Array DBMS rasdaman ως την πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων και στο πρότυπο διεπαφής του OGC, το WCPS, το οποίο επιτρέπει την κατ' απαίτηση υποβολή ερωτημάτων επεξεργασίας και φιλτραρίσματος σε μια γλώσσα της μορφής της SQL (SQL-like), κάτι το οποίο σημαίνει ότι είναι μια υψηλού επιπέδου, δηλωτική γλώσσα ερωτημάτων η οποία μοιάζει στην γλώσσα SQL των βάσεων δεδομένων και βρίσκει εφαρμογή σε ερωτήματα πάνω σε πολυδιάστατους πίνακες. Το σύστημα PlanetServer εστιάζει στην απεικόνιση και ανάλυση υπερφασματικών δορυφορικών εικόνων και τοπογραφικών δεδομένων, κυρίως για ορυκτολογικές εφαρμογές. Εκτός από την ανάλυση big data, το PlanetServer μπορεί να συνεισφέρει και στη συνεργατική ανάλυση δεδομένων, καθώς έχει τη δυνατότητα να διαμοιράζει τα πλανητικά δεδομένα τα οποία και φιλοξενεί στον εξυπηρετητή της βάσης δεδομένων του, ώστε αυτά να είναι επεξεργάσιμα είτε από οποιοδήποτε διαδικτυακό πελάτη (web client) δια μέσου οποιουδήποτε υποστηριζόμενου φυλλομετρητή ιστού (web browser) είτε από οποιαδήποτε online υπηρεσία επεξεργασίας η οποία υπακούει στις διεπαφές προτύπων του OGC.

Ακολουθεί ένα στιγμιότυπο (screenshot) της εφαρμογής PlanetServer :



Σχήμα 2.13: Screenshot της εφαρμογής PlanetServer.

Κεφάλαιο 3

Παρακολούθηση Αγροτικής Παραγωγής

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στην παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής. Στην εισαγωγή θα εξηγήσουμε τον όρο "παρακολούθηση αγροτικής παραγωγής" και θα παρουσιάσουμε την επιστήμη της τηλεπισκόπησης η οποία καθιστά δυνατό το όλο εγχείρημα. Έπειτα θα αναφερθούμε στα οφέλη που αποκομίζουμε από τη δραστηριότητα αυτή και τέλος θα μιλήσουμε για παραδείγματα χρήσης τα οποία καταδεικνύουν όχι μόνο τη σημασία των προαναφερθέντων μεθόδων αλλά και δείχνουν το δρόμο για την τεχνολογική εξέλιξη και την ανάγκη για νέα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων σε - σχεδόν - πραγματικό χρόνο.

3.1 Εισαγωγή

Η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής (Agriculture Monitoring) είναι μια δραστηριότητα που ανήκει στον ευρύτερο τομέα της **Γεωργίας Ακριβείας (Precision Farming)** γνωστής και σαν **Δορυφορική Γεωργία (Satellite Farming)**. Η Δορυφορική Γεωργία είναι μια τεχνική διαχείρισης της αγροτικής παραγωγής από απόσταση, βασισμένη στην παρατήρηση, τις μετρήσεις και την αντιμετώπιση των διαφοροποιήσεων στην ίδια την καλλιέργεια, μέσα στην κάθε γεωργική έκταση. Οι διαφοροποιήσεις μέσα στην ίδια καλλιέργεια έχουν συνήθως τόσο χωρική και χρονική διάσταση και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εμπλοκή στατιστικών και υπολογιστικών τεχνικών για την εξαγωγή γνώσης και συμπερασμάτων για την κατάσταση της καλλιέργειας. Οι σκοποί της Δορυφορικής Γεωργίας είναι οι ακόλουθοι:

- Να οδηγήσει σε καλύτερη επιλογή των γεωργικών πρακτικών σε συνάρτηση με τις ανάγκες των καλλιεργειών. Ένα παράδειγμα αποτελεί η προσαρμοσμένη εφαρμογή λιπασμάτων, δηλαδή η χρήση διαφορετικών ποσοτήτων λιπάσματος σε διαφορετικά σημεία ενός αγρού ανάλογα με τις ανάγκες κάθε σημείου.
- Να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας. Να μειώσει δηλαδή την υπερβολική χρήση χημικών και την υπέρμετρη χρήση γεωργικών μηχανημάτων.

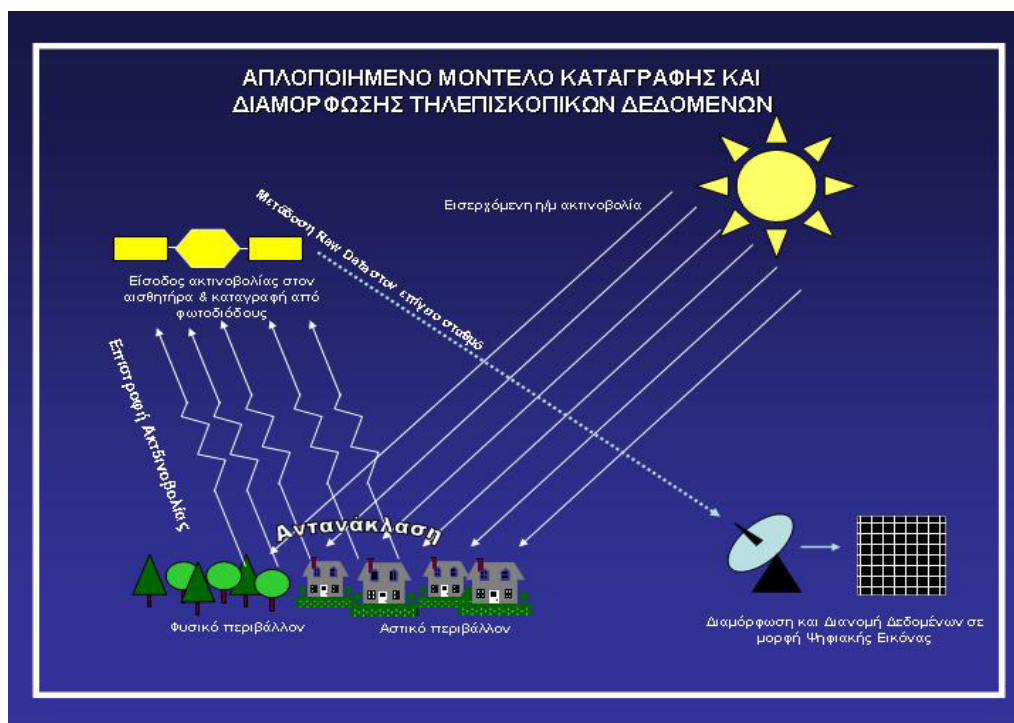
- Να μπορέσει να δώσει, τελικά, αυξημένη παραγωγή καλύτερης ποιότητας και ποσότητας με μικρότερο κόστος, αυξάνοντας το εισόδημα του καλλιεργητή.

Επίσης βασικός στόχος της Δορυφορικής Γεωργίας αποτελεί η παροχή επαρκής πληροφόρησης στους αγρότες για:

- τη δημιουργία ψηφιακού αρχείου που θα περιέχει όλες τις πληροφορίες για τη φάρμα τους για κάθε έτος.
- τη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων όσον αναφορά στις επεμβάσεις που πρέπει να γίνουν σε έναν αγρό κατά τη διάρκεια του έτους.
- την προώθηση της ιχνηλασιμότητας.
- την ποιοτική βελτίωση των αγροτικών προϊόντων.
- την ενίσχυση της προώθησης των αγροτικών προϊόντων.
- τη βελτίωση των σχέσεων μίσθωσης μεταξύ καλλιεργητών και ιδιοκτητών.

Η Δορυφορική Γεωργία βασίζεται εξ' ολοκλήρου στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης και στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Η τηλεπισκόπηση [49],[48] είναι η επιστήμη της απόκτησης πληροφορίας για ένα αντικείμενο ή φαινόμενο χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή με κάποιο από αυτά και συνεπώς έρχεται σε αντίθεση με την επί τόπου παρατήρηση. Ο όρος τηλεπισκόπηση αναφέρεται γενικά στη χρήση τεχνολογιών εναέριων αισθητήρων με σκοπό την ανίχνευση και την ταξινόμηση αντικειμένων στη Γη - και πάνω στην επιφάνειά της αλλά και στην ατμόσφαιρα και στους ωκεανούς - μέσω διαδιδόμενων σημάτων όπως είναι για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία (**σχήμα 3.1**). Μπορεί να διαχωριστεί στην ενεργή τηλεπισκόπηση, κάτι που συμβαίνει όταν ένα σήμα εκπέμπεται από ένα αεροσκάφος ή ένα δορυφόρο (π.χ. ραντάρ) και στην παθητική τηλεπισκόπηση κάτι που συμβαίνει όταν η πληροφορία απλά καταγράφεται (φωτογραφικός αισθητήρας) [36].

Η τηλεπισκόπηση για την παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής [16] μπορεί να οριστεί απλά ως "ως η διαδικασία παρατήρησης μια καλλιεργήσιμης έκτασης χωρίς να υπάρχει φυσική επαφή με αυτή". Η τηλεπισκόπηση, σήμερα, ενσωματώνει νέες τεχνολογίες οι οποίες προσφέρουν ολοένα και αυξανόμενης αποτελεσματικότητας και ακρίβειας ολοκληρωμένη πληροφορία έγκαιρα, για την παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής. Αυτές οι νέες τεχνολογίες, μαζί με ιστορικές φωτογραφίες, παρέχουν την πληροφοριακή βάση για τη δημιουργία ενός πρακτικού εργαλείου διαχείρισης, για την προσαρμοσμένη διαχείριση των καλλιεργειών. Οι τηλεπισκοπικές τεχνολογίες παρέχουν ένα διαγνωστικό εργαλείο το οποίο έχει δύο σημαντικές λειτουργικότητες ανάμεσα σε πολλές άλλες χρήσεις στην προσαρμοσμένη διαχείριση καλλιεργειών. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει την ανακλαστικότητα της ενέργειας του ηλιακού φωτός από την κόμη φυλλώματος (η χωρική έκταση του εξωτερικού στρώματος - στρώμα το οποίο βλέπουν οι ακτίνες του ήλιου και συνεισφέρει τα μέγιστα στη φωτοσύνθεση - των φύλλων ενός φυτού ή μιας ομάδας φυτών) των καλλιεργειών κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά χρήσιμο ώστε να ανιχνευθεί πιθανή καταπόνηση των φυτών



Σχήμα 3.1: Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων. (Πηγή: <http://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>)

ενώ υπάρχει ακόμα χρόνος για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Οι εικόνες ή οι χάρτες οι οποίοι αποτελούν προϊόντα της τηλεπισκόπησης, παρέχουν επίσης μια γρήγορη μέθοδο για τον υπολογισμό της έκτασης σημαντικών χαρακτηριστικών των καλλιεργειών ή την τοποθεσία περιοχών σε έναν αγρό οι οποίες φαίνεται να έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Αυτές οι εικόνες ή οι χάρτες είναι χρήσιμοι για την ανάπτυξη πλάνων ανίχνευσης για την απευθείας εξέταση του εδάφους ή της κατάστασης των φυτών, καθώς και για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων πλάνων διαχείρισης.

Όπως συμβαίνει και με τους χάρτες απόδοσης, οι τηλεπισκοπικές εικόνες ενθαρρύνουν τη δημιουργική διερεύνηση μακροπρόθεσμων πρακτικών διαχείρισης των καλλιεργειών. Οι τηλεπισκοπικές εικόνες παρέχουν μια οπτική μέθοδο για την κατανόηση των επιδράσεων των ενεργειών εκείνων που είναι διαχειρίσιμες από τους καλλιεργητές, όπως η χρήση λιπασμάτων και το όργωμα. Είναι επίσης χρήσιμες για την κατανόηση των επιδράσεων διάφορων περιβαλλοντολογικών παραγόντων όπως είναι η ξηρασία ή η προσβολή από παράσιτα. Σε αντίθεση με τους χάρτες απόδοσης, οι οποίοι επηρεάζουν μόνο τις μελλοντικές αποφάσεις, οι τηλεπισκοπικές εικόνες μπορούν να συλλεχθούν πολλές φορές κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των καλλιεργειών και συνεπώς να επιτρέψουν την έγκαιρη λήψη αποφάσεων για τη διόρθωση προβλημάτων ή ελλείψεων στην τρέχουσα σοδειά. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης προσθέτει μια σημαντική διάσταση στην προσαρμοσμένη διαχείριση καλλιεργειών.

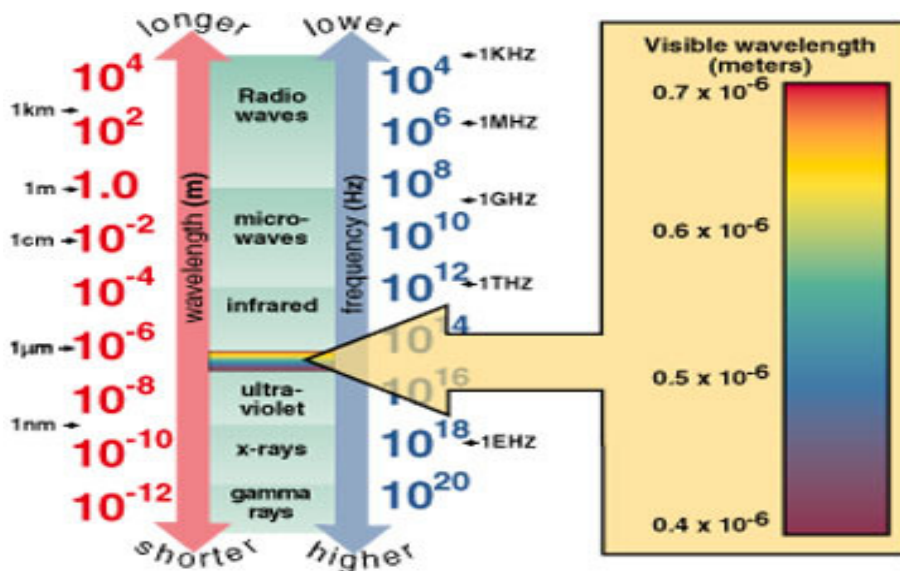
Τα αρχεία των αεροφωτογραφιών είναι χρήσιμα για την ανίχνευση πιθανών επιδράσεων των ιστορικών πρακτικών της διαχείρισης καλλιεργειών. Οι σύγχρονες αεροφωτογραφίες της τρέχουσας εσοδείας μπορούν να βοηθήσουν στην ανίχνευση μεταβολών εξαιτίας πιο πρόσφατων πρακτικών διαχείρισης και προβλημάτων στα οποία περιλαμβάνονται η φτωχή άρδευση, τα ζιζάνια, τα έντομα, τα σκουλήκια και οι διάφορες ασθένειες.

Η ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων πραγματοποιείται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω των ψηφιακών φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες αυτές μπορούν να αποκτηθούν είτε από την ψηφιοποίηση φωτογραφιών από κάποιο φωτογραφικό φιλμ είτε απευθείας από ψηφιακές κάμερες και άλλα εξειδικευμένα ηλεκτρονικά όργανα. Μια ψηφιακή φωτογραφία αναπαρίσταται από εκατοντάδες χιλιάδες ή και εκατομμύρια κουκίδων οι οποίες καλούνται pixels (picture elements - εικονοστοιχεία) και αποθηκεύεται ηλεκτρονικά. Οι ψηφιακές κάμερες καταγράφουν την ανακλαστικότητα των επιφανειών μέσω συστοιχιών μικρών αισθητήρων και αποθηκεύουν τις φωτογραφίες απευθείας χωρίς τη χρήση φωτογραφικού φιλμ. Φίλτρα του ηλιακού φωτός, προηγμένοι ηλεκτρονικοί αισθητήρες και ειδικού σκοπού φιλμ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας η οποία είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι καθώς και από συγκεκριμένες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Δια μέσου αυτών των τεχνολογιών, η τηλεπισκόπηση με τις ψηφιακές εικόνες είναι σε θέση να παρέχει σημαντικά περισσότερη και ποικιλόμορφη πληροφορία από ότι μπορούν να παρέχουν οι ασπρόμαυρες φωτογραφίες. Είναι σημαντική μια βασική κατανόηση των ιδιοτήτων του φωτός ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν οι διάφορες τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση.

Το ορατό φως είναι ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία διαδίδεται με τη μορφή κύματος. Η διαφορά στα χρώματα τα οποία αντιλαμβανόμαστε οφείλεται σε διαφορές στη συχνότητα ή το μήκος κύματος αυτής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα χρώματα ενός ουράνιου τόξου είναι ένα εμφανές παράδειγμα ακτινοβολίας από την ορατή, για το ανθρώπινο μάτι, περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα χρώματα αυτά είναι το κόκκινο, το πορτοκαλί, το κίτρινο, το πράσινο, το μπλέ και το ιώδες. Η κόκκινη ακτινοβολία έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος από κάθε άλλη ορατή ακτινοβολία. Τα μήκη κύματος μετριούνται σε νανόμετρα ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$). Η ορατή περιοχή του φάσματος κυμαίνεται από τα 700 nm (η κόκκινη "άκρη" της περιοχής του ορατού μέρους του φάσματος) έως τα 400 nm (η ιώδης "άκρη" της περιοχής του ορατού μέρους του φάσματος).

Το ορατό φως είναι μόνο μια μικρή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (σχήμα 3.2), η οποία μπορεί να φανεί χρήσιμη στην ανάλυση του εδάφους και των καλλιεργειών. Η υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία χαρακτηρίζεται από μήκη κύματος μεγαλύτερα από αυτά της ορατής περιοχής του φάσματος, κυμαίνεται από τα 700 nm έως τα 100.000 nm. Ειδικότερα, η ανακλώμενη υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία κυμαίνεται από τα 700 nm έως τα 3.000 nm, είναι χρήσιμη στην τηλεπισκόπηση για την ανίχνευση της καταπόνησης στα αναπτυσσόμενα φυτά. Κάποιες παρακείμενες περιοχές του φάσματος έχουν επίσης μεγάλη σημασία στην τηλεπισκόπηση. Αυτές περιλαμβάνουν τα μεγαλύτερα μήκη κύματος της μικροκυματικής περιοχής (από το 1 mm έως το 1 m) καθώς και τα μικρότερα μήκη κύματος της υπεριώδους περιοχής, με μήκη κύματος μικρότερα από την ιώδη άκρη της ορατής περιοχής του φάσματος (400 nm). Οι

μικρότερες ακόμα περιοχές αποτελούν τις ακτίνες X καθώς και άλλες μορφές ακτινοβολίας. Μήκη κύματος μεγαλύτερα από αυτά της μικροκυματικής περιοχής χρησιμοποιούνται για τις ραδιοφωνικές εκπομπές.



Σχήμα 3.2: Το ορατό φως είναι μία σχετικά στενή ζώνη στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η τηλεπισκόπηση μετράει την ανακλαστικότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μέσα αλλά και έξω από την ορατή περιοχή του φάσματος. (Πηγή: <http://extension.missouri.edu/p/EQ453>)

Για τις περισσότερες εφαρμογές, οι κάμερες και τα παρόμοια όργανα καταγραφής, βασίζονται στην ηλιακή ενέργεια ώστε να φωτίσει τις επιφάνειες οι οποίες θα φωτογραφηθούν. Η ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπεται και στη απορροφάται ή αντανακλάται ανάλογα με τις ιδιότητες των υλικών στα οποία προσπίπτει. Η ακτινοβολία η οποία απορροφάται μετατρέπεται σε θερμότητα ενώ η ανακλώμενη ακτινοβολία μπορεί να καταγραφεί είτε από ένα φωτογραφικό φιλμ, είτε από ηλεκτρονικούς αισθητήρες.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια, η ποσότητα και ο τύπος της ανάκλασης εξαρτάται από τη σύνθεση της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει καθώς και στη γωνία της πρόσπτωσης. Για παράδειγμα, το ανοιχτόχρωμο έδαφος αντανακλά περισσότερη ακτινοβολία από ότι το σκουρόχρωμο έδαφος. Αντίστροφα, το σκουρόχρωμο έδαφος απορροφά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία με συνέπεια να ζεσταίνεται πιο γρήγορα. Οι φορείς του νερού έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας από ότι το γυμνό έδαφος και η ποιότητα τη ανάκλασης μεταβάλλεται με το βάθος και τη υολότητα του νερού.

Η συνολική ανάκλαση από τις φυτικές επιφάνειες μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους καθώς και κατά τη διάρκεια της μέρας καθώς η ένταση της ηλιακής ενέργειας αλλάζει. Ωστόσο, η πιο χρήσιμη πληροφορία παρέχεται από τις διαφορές στην ανακλαστικότητα ανάμεσα στις

διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτές οι διαφορές στην ανακλαστικότητα κατά μήκος ολόκληρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το διαχωρισμό της υγιούς βλάστησης από την καταπονημένη ή τη νεκρή βλάστηση. Διάφοροι παράγοντες όπως είναι η λειψυδρία, η έλλειψη σε θρεπτικά συστατικά, οι ασθένειες, τα ζιζάνια καθώς και η υπερβολική χρήση ζιζανιοκτόνων μπορούν να μειώσουν ή να αλλάξουν την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης και άλλων συστατικών τα οποία επηρεάζουν την ανακλαστικότητα της βλάστησης.

Η χλωροφύλλη απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας η οποία προέρχεται από την κόκκινη και τη μπλε περιοχή του ορατού μέρους του φάσματος αλλά αντανακλά τα πράσινα μήκη κύματος. Συνεπώς τα φύλλα εμφανίζονται με πράσινο χρώμα όταν η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη είναι υψηλή. Όταν τα φύλλα χάνουν χλωροφύλλη, υπάρχει μικρότερη απορρόφηση και αναλογικά μεγαλύτερη ανάκλαση των κόκκινων μηκών κύματος, κάτι που κάνει τα φύλλα να φαίνονται κόκκινα ή κίτρινα (το κίτρινο είναι ένας συνδυασμός των κόκκινων και των πράσινων μηκών κύματος). Η εσωτερική δομή των υγιών φύλλων αντανακλά επίσης την ακτινοβολία στην εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος και συνεπώς η ανακλαστικότητα στην εγγύς υπέρυθη περιοχή είναι ένα άριστο μέτρο της υγείας της βλάστησης.

Οι τεχνολογίες φιλτραρίσματος της ακτινοβολίας, μερικές φορές χρησιμοποιούνται για να αιχμαλωτίσουν την ανακλώμενη ακτινοβολία από μία ή περισσότερες συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση με σημαντικά χαρακτηριστικά των φυτών. Οι λόγοι της ανάκλασης ανάμεσα σε αυτούς τους συγκεκριμένους τύπους ακτινοβολίας μπορούν να λειτουργήσουν ως "αποτυπώματα" ή "υπογραφές" για την ανίχνευση χαρακτηριστικών του εδάφους, του νερού και των καλλιεργειών σημαντικά στη διαχείριση των καλλιεργειών. Συνεπώς, τα χρώματα ή οι σκιές σε ένα χάρτη ο οποίος έχει δημιουργηθεί από τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορεί να αναπαριστά είτε πραγματικά χρώματα είτε τεχνητά χρώματα. Τα τεχνητά χρώματα παρέχουν είτε μια οπτική αναπαράσταση συγκεκριμένων, απευθείας μετρούμενων ιδιοτήτων της ανάκλασης, είτε συγκεκριμένους συνδυασμούς ιδιοτήτων της ανάκλασης οι οποίοι υποδεικνύουν την υψηλή πιθανότητα εμφάνισης μιας συγκεκριμένης κατάστασης όπως είναι η καταπόνηση της βλάστησης εξαιτίας της έλλειψης θρεπτικών συστατικών, ασθενειών ή λειψυδρίας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η διαδικασία της συλλογής και της επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων γίνεται από εμπορικούς οργανισμούς ή ειδικούς οι οποίοι μπορούν να επενδύσουν τον απαιτούμενο χρόνο καθώς και οικονομικούς πόρους αναγκαίους για την ανάπτυξη αξιόπιστων τεχνικών για τη συλλογή δεδομένων. Μέσω του διαμοιρασμού του κόστους σε μια μεγάλη περιοχή ή σε ένα μεγάλο αριθμό από φάρμες, οι εμπορικές επιχειρήσεις είναι δυνατόν να προσφέρουν εικόνες χρησιμοποιώντας την πιο προηγμένη τεχνολογία.

Ποικίλες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται με σκοπό την ηλεκτρονική συλλογή δεδομένων ανάκλασης. Η ορολογία η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτές τις τεχνολογίες συχνά περιλαμβάνει προθέματα όπως πολυ- (multi-) και υπερ- (hyper-) με σκοπό να δείξει περίπου πόσες ξεχωριστές ζώνες (κανάλια) ανακλαστικότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετριοούνται. Ο όρος "πολυφασματικός" (multispectral) τυπικά υπονοεί ότι περίπου 4, σχετικά ευρείς, ζώνες ανακλαστικότητας καταγράφονται, ενώ συνήθως ο όρος "υπερφασματικός"

υπονοεί ότι ένα μέγεθος της τάξεως των 100, σχετικά στενών, ζωνών ανακλαστικότητας καταγράφεται.

Τα εμπορικά διαθέσιμα δεδομένα ανακλαστικότητας συλλέγονται χρησιμοποιώντας είτε αεροσκάφη είτε δορυφόρους οι οποίοι παρέχουν μια πλατφόρμα για τον εξοπλισμό τηλεπισκόπησης. Τα δεδομένα κατατάσσονται με χωρικά ευρετήρια ώστε να είναι δυνατόν να προκύψουν γεωαναφερμένες εικόνες των πεδίων που φωτογραφίζονται. Η ποιότητα ή η αξία των τηλεπισκοπικών δεδομένων σχετίζεται με τη φασματική, τη χωρική και τη χρονική τους ανάλυση.

Η φασματική ανάλυση είναι ο βαθμός στον οποίο τα μήκη κύματος της ακτινοβολίας του φάσματος διαχωρίζονται. Διάφοροι τύποι αισθητήρων χρησιμοποιούνται για τη συλλογή της ανακλώμενης ακτινοβολίας από διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μια ασπρόμαυρη (gray scale) εικόνα έχει χαμηλή φασματική ανάλυση γιατί αποτελείται από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία προέρχεται από όλη την περιοχή του ορατού φάσματος αλλά τα χρώματα δεν είναι ευδιάκριτα. Σε αντίθεση, μία έγχρωμη εικόνα έχει υψηλότερη φασματική ανάλυση. Στην πράξη, φίλτρα και πολλαπλοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή της ακτινοβολίας από πολλές στενές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για την παροχή εικόνων με υψηλή φασματική ανάλυση.

Η χωρική ανάλυση είναι η ποσότητα της λεπτομέρειας σε μια εικόνα. Η διαφορά μεταξύ καλής και φτωχής χωρικής ανάλυσης μπορεί διαισθητικά να καθοριστεί από την ικανότητα να ξεχωρίζουμε μικρά αντικείμενα σε μία εικόνα. Για παράδειγμα, ένας παρατηρητής μιας εικόνας που έχει μικρή χωρική ανάλυση μπορεί να είναι σε θέση να ανιχνεύσει την παρουσία ενός οχήματος σε ένα τοπίο αλλά δεν θα είναι σε θέση να ξεχωρίσει αν πρόκειται για αυτοκίνητο ή λεωφορείο. Ο ίδιος παρατηρητής χρησιμοποιώντας μια εικόνα με υψηλή χωρική ανάλυση θα είναι σε θέση να διαχωρίσει μικρά χαρακτηριστικά τα οποία θα του επιτρέπουν να κάνει το διαχωρισμό ανάμεσα στα δύο αντικείμενα. Η χωρική ανάλυση μιας εικόνας μπορεί να κυμαίνεται από τα 0.5 m / pixel αν τις εικόνες τις λαμβάνει ένα αεροσκάφος το οποίο πετάει σε χαμηλό ύψος ή ακόμα και 200 m / pixel αν πρόκειται για εικόνα από κάποιο δορυφόρο ο οποίος δίνει εικόνες όχι μεγάλης χωρικής ανάλυσης.

Η χρονική ανάλυση είναι η διαφορά στο χρόνο που μεσολαβεί για τη λήψη δύο διαδοχικών εικόνων. Οι εικόνες που συλλέγονται με μερικές μέρες διαφορά παρέχουν τη δυνατότητα για την ανίχνευση αλλαγών στην ανακλαστικότητα, που μπορεί να υποδείξει την έναρξη καταπόνησης σε μία καλλιεργήσιμη έκταση. Η χρονική ανάλυση οριοθετείται από τον προκαθορισμένο αριθμό περασμάτων που ένα αεροσκάφος ή δορυφόρος θα κάνει πάνω από μία περιοχή.

Η νεφοκάλυψη είναι ένας σημαντικός περιορισμός στη λήψη φωτογραφιών τόσο για τα αεροσκάφη όσο και για τους δορυφόρους. Τα σύννεφα πάνω από τις φωτογραφιζόμενες περιοχές σκιάζουν την επιφάνεια που παρακολουθούμε αλλάζοντας τόσο τα χαρακτηριστικά της προσπίπτουσας όσο και της ανακλώμενης ακτινοβολίας, αλλά και εμποδίζοντας μια καθαρή θέα της περιοχής ενδιαφέροντος. Συνεπώς, η χρονική ανάλυση μειώνεται περαιτέρω αν δεν είναι δυνατόν να ληφθούν καλές εικόνες εξαιτίας κακών καιρικών συνθηκών.

Συμπερασματικά, οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης παρέχουν ένα σημαντικό εργαλείο το οποίο είναι ικανό να βοηθήσει στην προσαρμοσμένη διαχείριση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η τηλεπισκόπηση έχει τις δυνατότητες να προσφέρει ανάλυση πραγματικού χρόνου των

χαρακτηριστικών μιας καλλιέργειας, η οποία μπορεί να βοηθήσει στη λήψη έγκαιρων διαχειριστικών αποφάσεων, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην έκβαση της τρέχουσας παραγωγής.

3.2 Οφέλη

Η εφαρμογή τηλεπισκοπικών τεχνικών για τη διαχείριση των καλλιεργειών έχει πάρα πολλά σημαντικά και κυρίως άμεσα οφέλη. Τα οφέλη αυτά καλύπτουν σημαντικές πτυχές των αγροτικών δραστηριοτήτων και οι επιδράσεις τους απλώνονται από τις ίδιες τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τους καλλιεργητές και τους επιστήμονες έως τη διαμόρφωση πολιτικών από κράτη και οργανισμούς. Στην ενότητα αυτή γίνεται μια εκτενής αναφορά και περιγράφονται τα σημαντικότερα από αυτά ώστε να γίνει αντιληπτή από τον αναγνώστη η σημασία της παρακολούθησης της αγροτικής παραγωγής με τηλεπισκοπικές μεθόδους.

Ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη είναι η δυνατότητα παρακολούθησης των αλλαγών της κατάστασης ενός αγρού με πολύ μικρή χρονική διαφορά από παρατήρηση σε παρατήρηση. Οι σύγχρονες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης παρέχουν δεδομένα πολύ υψηλής χρονικής ανάλυσης και αυτό συνεισφέρει στη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων οι οποίες θα επηρεάσουν την έκβαση της παραγωγής άμεσα και κυρίως έγκαιρα, ώστε να μπορεί να διορθωθεί κάποιο πρόβλημα πριν να είναι μη αναστρέψιμη η επίδραση του.

Βασικό όφελος αποτελεί επίσης η δυνατότητα που προσφέρει η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής με τηλεπισκοπικές μεθόδους για την γρήγορη ανάλυση και εξαγωγή γνώσης και συμπερασμάτων, για μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης ταυτόχρονα. Από τη στιγμή που έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα το οποίο υλοποιεί μια τέτοια εφαρμογή παρακολούθησης είναι πολύ εύκολο να αναλύσουμε μια περιοχή οσοδήποτε μεγάλη και αν είναι αυτή. Παλαιότερα κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατο καθώς θα έπρεπε να μαζεύονται πληροφορίες για κάθε περιοχή ξεχωριστά. Επιπλέον, έχουμε πλέον τη δυνατότητα για την γρήγορη και εύκολη μελέτη καλλιεργειών οι οποίες βρίσκονται σε δύσβατα, απομακρυσμένα και συνεπώς δύσκολα προσβάσιμα σημεία, χωρίς να χρειάζεται να στέλνουμε ανθρώπινο δυναμικό για το σκοπό αυτό.

Το γεγονός ότι μπορούμε να αναλύσουμε γρήγορα και αποτελεσματικά μεγάλες εκτάσεις ταυτόχρονα, οπουδήποτε και αν βρίσκονται, όσο απομακρυσμένες και αν είναι, καθιστά την παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής με τηλεπισκοπικές μεθόδους μια οικονομικά αποτελεσματική διαδικασία η οποία είναι σε θέση να μειώσει το τρέχον κόστος της διαχείρισης καλλιεργειών. Η παροχή ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων (Open Data), έχει ανοίξει το δρόμο για την ανάπτυξη ανοιχτών εφαρμογών γεωχωρικών δεδομένων (open geospatial data applications). Οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν δεδομένα τα οποία διατίθενται χωρίς καθόλου ή με μικρή χρέωση, με συνέπεια να μπορούν κεντρικά να παρέχουν οικονομικά αποτελεσματικές υπηρεσίες παρακολούθησης, ανάλυσης και διαχείρισης καλλιεργειών.

Επιπροσθέτως, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα πλέον χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη χρονική ανάλυση, η οποία και θα γίνεται μεγαλύτερη με τον ολοένα και αυξανόμενο αριθμό αποστολών επιφορτισμένων με τη συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων. Αυτό καθιστά δυνατή

την λεπτομερή παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής, καθώς όλες οι παράμετροι οι οποίες σχετίζονται με την υγεία και την ανάπτυξη των καλλιεργειών είναι δυνατόν πλέον να καταγράφονται πάρα πολλές φορές κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη δυνατότητα δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων στην οποία θα καταγράφονται αναλυτικά όλες οι σχετικές παράμετροι για κάθε καλλιέργεια κάθε περιοχής. Αυτή η βάση θα μπορεί να λειτουργεί ως η ταυτότητα της κάθε καλλιέργειας στην οποία θα μπορεί κανείς να δει το ιστορικό της και να είναι σε θέση οι αγρότες και οι επιστήμονες να ανατρέξουν στο παρελθόν ώστε να πάρουν καλύτερες διαχειριστικές αποφάσεις για το μέλλον ή για να αντιμετωπίσουν προβλήματα που προκύπτουν όπως είναι οι ασθένειες. Η καταγραφή όλων αυτών των δεδομένων θα δώσει επιπλέον και τη δυνατότητα για την πραγματοποίηση συσχετισμών μεταξύ διάφορων καλλιεργειών που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές για την αντιμετώπιση κοινών προβλημάτων. Η δυνατότητα αυτή της ύπαρξης τέτοιων βάσεων δεδομένων, θα δώσει ώθηση για την υιοθέτηση ενιαίων μεθόδων μέτρησης της αγροτικής παραγωγής από όλες τις χώρες και γενικά θα βοηθήσει στην ενιαία αντιμετώπιση κοινών προβλημάτων, καθώς και στη διάδοση της γνώσης σχετικά με θέματα καλλιεργητικών πρακτικών.

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί ζήτημα εξέχουσας σημασίας ιδίως σε περιοχές που αντιμετωπίζουν ζητήματα λειψυδρίας. Μέσω της παρακολούθησης της αγροτικής παραγωγής θα μπορούσε να διαπιστωθεί που και πότε γίνεται αλόγιστη χρήση του νερού και να ληφθούν αποφάσεις για τον επαναπροσδιορισμό της κατανομής των αποθεμάτων ώστε να χρησιμοποιείται το νερό όποτε είναι απαραίτητο και να μην σπαταλάται. Επίσης, καθίσταται δυνατή η διαμόρφωση νέων πλάνων άρδευσης τα οποία θα μεγιστοποιούν τη χρήση μιας υπάρχουσας ποσότητας νερού και θα ελαχιστοποιούν τις διαρροές.

Επίσης, όλη αυτή η λεπτομερής ανάλυση και παρακολούθηση θα οδηγήσει στη γενίκευση και τη διαθεσιμότητα ακριβών προβλέψεων απόδοσης της παραγωγής αρκετό καιρό πριν την εσοδεία και όχι μόνο στο τέλος της. Μια τέτοια δυνατότητα παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς θα βοηθήσει στην αξιολόγηση και εκτίμηση των γεωργικών εργασιών και θα δώσει τα αναγκαία χρονικά περιθώρια στους καλλιεργητές για να διαμορφώσουν και να προσαρμόσουν κατάλληλα τις δραστηριότητές τους.

Τέλος, μία σημαντική παράμετρος η οποία αφορά τα κράτη και τους οργανισμούς είναι ότι μέσω της παρακολούθησης της αγροτικής παραγωγής καθίσταται δυνατός ο αντικειμενικός έλεγχος της κατάστασης των καλλιεργειών και η απόκτηση κεντρικά μιας εικόνας για θέματα που ισχυρίζονται οι καλλιεργητές αλλά είναι δύσκολο να επαληθευτούν. Τέτοια θέματα εγείρονται κυρίως σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, για την επίλυση των οποίων συνήθως υπάρχει διαδικασία για τον καθορισμό αποζημιώσεων, όπως επίσης και για περιπτώσεις επιδοτήσεων των αγροτικών δραστηριοτήτων. Η συμβολή, επομένως, της παρακολούθησης της αγροτικής παραγωγής σε θέματα διαχείρισης κρίσεων μπορεί να είναι καταλυτική για την αντιμετώπιση και τελικά την επίλυσή τους.

Συμπερασματικά, η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής συνεισφέρει ή έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει καιρία και αποτελεσματικά σε μια σειρά από σημαντικά ζητήματα και για το λόγο αυτό η ανάπτυξη συστημάτων προς αυτήν την κατεύθυνση είναι θέμα κορυφαίας προτεραιότητας.

3.3 Παραδείγματα Χρήσης

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ άλλοτε πρέπει να γίνει ότι είναι δυνατόν και να εκμεταλλευθούμε όλα τα εργαλεία τα οποία έχουμε στη διάθεσή μας ώστε να καταφέρουμε να διαχειριστούμε, να διατηρήσουμε και να αποκαταστήσουμε όπου χρειάζεται τους φυσικούς πόρους. Όλοι εκείνοι οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων οι οποίες επηρεάζουν την κατάσταση των φυσικών πόρων, είτε πρόκειται για οργανισμούς είτε πρόκειται για μεμονωμένα άτομα, χρειάζονται ολοκληρωμένη εικόνα των ζητημάτων τα οποία πρέπει να επιλυθούν. Η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής με τηλεπισκοπικές μεθόδους βοηθάει στην απόκτηση μιας βαθύτερης κατανόησης των ζητημάτων και των προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν παρέχοντας ακριβείς πληροφορίες για τη βλάστηση και τις καλλιέργειες, καθώς επίσης και μειώνοντας το ποσοστό αβεβαιότητας στη λήψη αποφάσεων. Η εξισορρόπηση του κόστους της παραγωγικής διαδικασίας και της απόδοσης μιας φάρμας είναι θεμελιώδους σημασίας στην επιτυχία και την κερδοφορία της. Η δυνατότητα που προσφέρει η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής για την ανάλυση και την απεικόνιση του αγροτικού περιβάλλοντος και των ροών εργασιών του, έχει αποδειχθεί εξαιρετικά ωφέλιμη για την αγροτική βιομηχανία καθώς βοηθάει στην αύξηση της παραγωγής, στη μείωση του κόστους και στην αποδοτικότερη διαχείριση της γης.

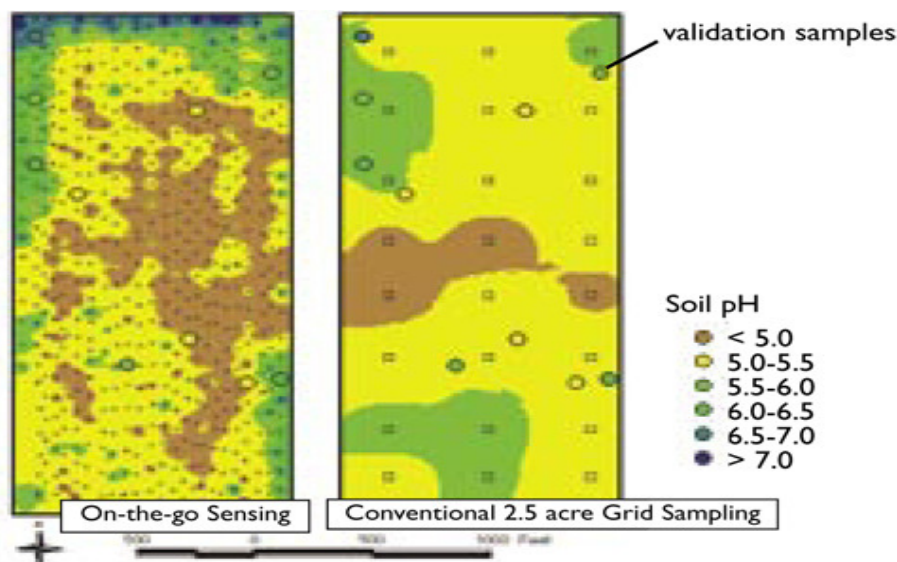
Μετά τη γενική εισαγωγή και την παρουσίαση όλων των πλεονεκτημάτων που ενέχει η παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής με τηλεπισκοπικές μεθόδους, στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε διάφορα παραδείγματα χρήσης της εν λόγω τεχνολογίας. Τα παραδείγματα χρήσης αυτά, αφορούν είτε υπάρχουσες λειτουργικές υπηρεσίες τις οποίες διαχειρίζονται εταιρείες ή οργανισμοί, είτε πιθανές λειτουργικότητες οι οποίες θα υλοποιηθούν στο κοντινό μέλλον.

Οι τύποι των εμπορικά διαθέσιμων προϊόντων της τηλεπισκόπησης ποικίλουν σημαντικά από χάρτες ακατέργαστων (raw) δεδομένων (τα δεδομένα όπως αποκτήθηκαν από τον αισθητήρα χωρίς προ-επεξεργασία), μέχρι χάρτες οι οποίοι αναπαριστούν εξειδικευμένη πληροφορία. Για παράδειγμα, κάποιες εταιρείες προσφέρουν προϊόντα στα οποία περιλαμβάνεται η online πρόσβαση σε raw εικόνες και ξεχωρά παρέχουν διαθέσιμα εργαλεία για τη διεξαγωγή μετρήσεων και ανάλυση. Τα μεγέθη των εικόνων ποικίλουν όπως και η χωρική ανάλυση τους, ανάλογα το προϊόν και τον αισθητήρα που το συνέλεξε. Οι τύποι εικόνων των προϊόντων περιλαμβάνουν gray scale εικόνες καθώς και έγχρωμες εικόνες. Μερικές εταιρείες προσφέρουν προϊόντα τα οποία παρέχουν εξειδικευμένη πληροφορία για μία καλλιέργεια ή ένα αγρό. Κάποια από αυτά τα προϊόντα βασίζονται σε μετρήσεις ανακλαστικότητας στις οποίες έχει εφαρμοστεί μικρή ή και καθόλου προ-επεξεργασία. Σε άλλες περιπτώσεις τα προϊόντα είναι υπολογισμοί συγκεκριμένων συνθηκών, οι οποίοι έχουν προκύψει από την εφαρμογή εξισώσεων σε επιλεγμένες μετρήσεις ανακλαστικότητας με σκοπό τον υπολογισμό αυτών των συνθηκών. Παρακάτω αναφέρουμε κάποια από αυτά τα προϊόντα καθώς και προτεινόμενες χρήσεις τους.

3.3.1 Εδαφικοί Χάρτες

Ένα από τα τηλεπισκοπικά προϊόντα είναι οι μετρήσεις της φωτεινότητας του εδάφους. Κάνοντας χρήση αυτών των μετρήσεων είναι δυνατόν να κατασκευάσουμε λεπτομερείς εδαφικούς χάρτες και να πετύχουμε την απευθείας ταξινόμηση του εδάφους. Οι χάρτες αυτοί βοηθούν σημαντικά στη μείωση του κόστους παραγωγής καθώς γνωρίζοντας λεπτομερώς τον τύπο του εδάφους κάθε περιοχής, έχουμε τη δυνατότητα να προσαρμόσουμε τη χρήση λιπασμάτων, να καταλείψουμε καλύτερα τη διαδικασία της σποράς όπως επίσης και να διαχειριστούμε καλύτερα το ανθρώπινο δυναμικό που έχουμε στη διάθεσή μας, τα καύσιμα και τα μεταφορικά μέσα.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο εδαφικός χάρτης ενός αγροτεμαχίου, ο οποίος παρουσιάζει την ταξινόμηση του εδάφους η οποία έχει προέλθει με τηλεπισκοπικές μεθόδους (κριτήριο ταξινόμησης, η ενεργός οξύτητα (το pH) του εδάφους).



Σχήμα 3.3: Εδαφικός Χάρτης.

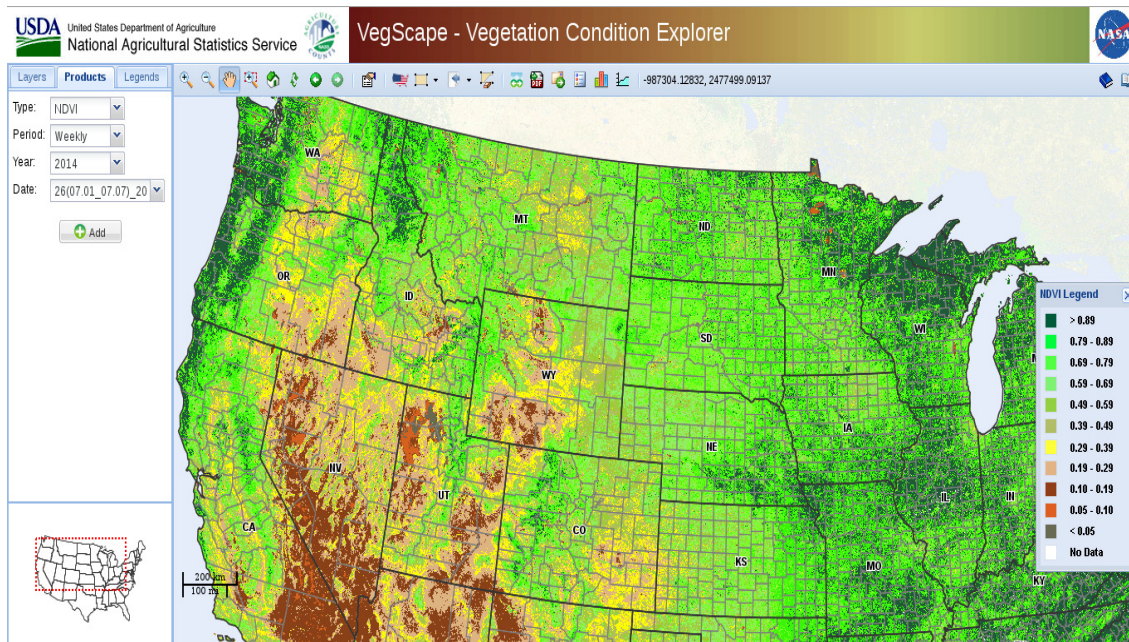
3.3.2 Σθένος ή Υγεία των Καλλιεργειών

Από τις μετρούμενες τιμές ανακλαστικότητας του εδάφους, με κατάλληλη επεξεργασία και υπολογισμούς, μπορούμε να κατασκευάσουμε λεπτομερείς χάρτες οι οποίο υποδεικνύουν το σθένος ή την υγεία των καλλιεργειών. Οι χάρτες αυτοί στην ουσία υπολογίζουν την κατάσταση της βλάστησης σε σχέση με κάποιο ευρέως χρησιμοποιούμενο δείκτη και ανάλογα ταξινομούν τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Οι συγκεκριμένοι χάρτες σθένους ή υγείας των καλλιεργειών έχουν πολλαπλές χρήσεις. Βοηθούν στην προσαρμοσμένη διαχείριση των καλλιεργειών (γεωργία ακριβείας) καθώς μπορούμε για παράδειγμα να κάνουμε την εφαρμογή λιπασμάτων βασιζόμενοι σε αυτούς τους χάρτες, δηλαδή να κάνουμε εκτεταμένη χρήση λι-

πασμάτων μόνο σε περιοχές οι οποίες δεν είναι υγιείς. Επίσης μέσω αυτών των χαρτών (σε συνδυασμό και με χάρτες θερμοκρασίας του εδάφους) μπορούμε να δούμε την καταπόνηση της βλάστησης η οποία οφείλεται σε έλλειψη νερού και συνεπώς να αλλάξουμε τα πλάνα άρδευσης για την καλλιεργήσιμη έκταση η οποία αντιμετωπίζει πρόβλημα.

Επιπλέον μέσω του υπολογισμού χαρτών σθένους είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη της κόμης φυλλώματος καθώς η υγεία της βλάστησης και η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη είναι μεγέθη ανάλογα. Η γνώση της περιεκτικότητας της κόμης φυλλώματος σε χλωροφύλλη βοηθάει στη διαχείριση της περιεκτικότητας των φυτών σε άζωτο καθώς η περιεκτικότητα σε άζωτο και η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη σχετίζονται στενά μεταξύ τους.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα στιγμιότυπο ενός WebGIS συστήματος για την παρακολούθηση καλλιεργειών το οποίο έχει υπολογίσει το χάρτη σθένους της βλάστησης των Η.Π.Α. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί δεδομένα από το δορυφόρο MODIS και παρέχει τη δυνατότητα της δημιουργίας χαρτών σθένους σε καθημερινή βάση, οπότε και είναι δυνατή η λεπτομερής παρακολούθηση και ανάλυση της πορείας της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Η υγεία της βλάστησης παρουσιάζεται με βάση το υπόμνημα που υπάρχει στην εικόνα. Όσο πιο πράσινο και σκούρο είναι το χρώμα τόσο πιο υγιής είναι η βλάστηση.

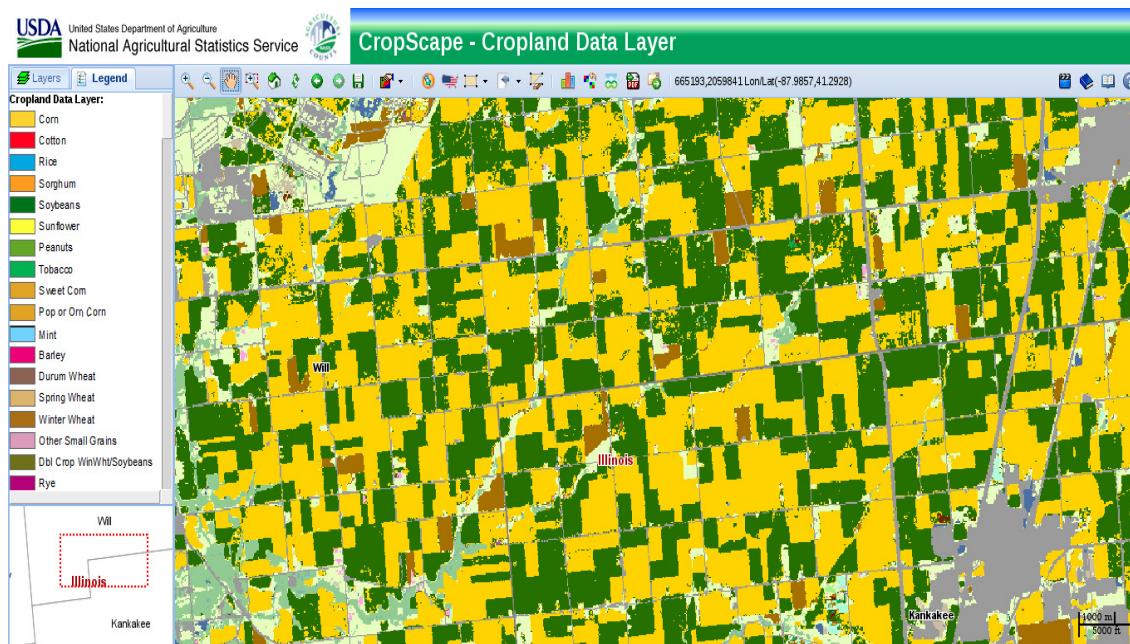


Σχήμα 3.4: Χάρτης Σθένους. (Πηγή: nassgeodata.gmu.edu/VegScape/)

3.3.3 Κάλυψη Βλάστησης

Άλλη μία χρήση των τηλεπισκοπικών προϊόντων αφορά την κατάλληλη επεξεργασία τους για τη δημιουργία λεπτομερών χαρτών κάλυψης της βλάστησης. Με τον όρο κάλυψη βλάστησης εννοούμε τη χαρτογράφηση των ειδών της βλάστησης που ευδοκιμούν (καλύπτουν) σε κάθε περιοχή. Οι χάρτες κάλυψης μας δίνουν την απαραίτητη γνώση που χρειαζόμαστε ώστε σε συσχέτιση με πληροφορία από άλλες περιοχές και χάρτες (για παράδειγμα χάρτες εδάφους) να πάρουμε αποφάσεις σχετικά με πλάνα αναδιάταξης της φύτευσης. Δηλαδή αν σε μια περιοχή δούμε ότι υπάρχει ένα είδος φυτού αλλά με βάση τη σύσταση του εδάφους κάποιον άλλο φυτό θα ευδοκίμυσε καλύτερα, μπορούμε να πάρουμε την απόφαση την επόμενη χρονιά να καλλιεργήσουμε το φυτό που θα έχει τη μεγαλύτερη απόδοση.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα στιγμιότυπο ενός WebGIS συστήματος για την παρακολούθηση καλλιεργειών το οποίο έχει υπολογίσει το χάρτη κάλυψης της βλάστησης της πολιτείας Ιλινόις των Η.Π.Α. χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα από το δορυφόρο MODIS. Παρατηρούμε ότι κυριαρχούν τα ηλιοτρόπια με το κίτρινο χρώμα και η σόγια με το πράσινο χρώμα.

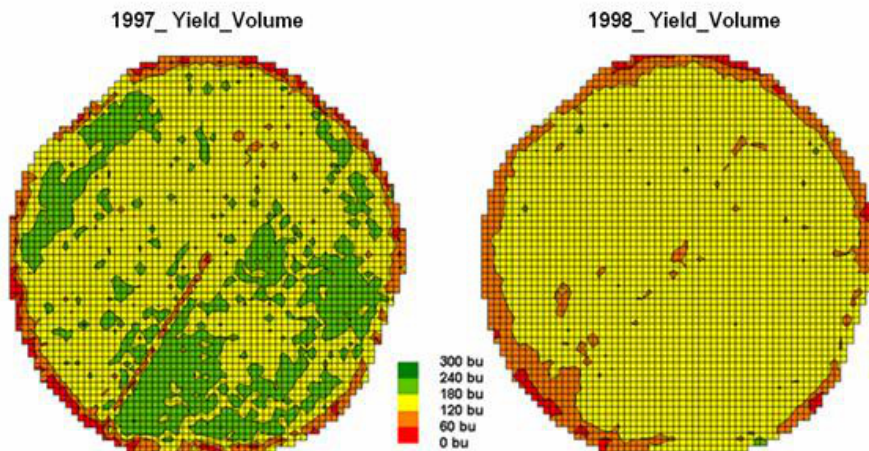


Σχήμα 3.5: Χάρτης Κάλυψης Βλάστησης. (Πηγή: nassgeodata.gmu.edu/CropScape/)

3.3.4 Προβλέψεις Απόδοσης

Η δημιουργία χαρτών απόδοσης της παραγωγής είναι μια από τις κύριες περιπτώσεις χρήσης των τηλεπισκοπικών προϊόντων. Οι χάρτες απόδοσης βοηθούν σε γενικά θέματα διαχείρισης των καλλιεργειών καθώς με τη βοήθειά τους είναι δυνατή η διενέργεια προσομοιώσεων σχετικά με την εξέλιξη της παραγωγής με συνέπεια να μειώνεται η αβεβαιότητα που υπάρχει σχετικά με τα επίπεδα της παραγωγής και τελικά τη διανομή στους καταναλωτές. Επιπλέον, οι χάρτες απόδοσης βοηθούν στην εκτίμηση του κινδύνου που σχετίζεται όχι μόνο με την παραγωγή αλλά και την παραγωγική διαδικασία γενικότερα. Εξαιτίας των εγγενών οικονομικών ρίσκων τα οποία εμπλέκονται στην αγροτική παραγωγή, είναι συνήθης πρακτική οι καλλιεργητές να ασφαλίζουν τις καλλιέργειες τους ενάντια σε πιθανούς φυσικούς κινδύνους όπως είναι το χαλάζι, ο πάγος, η ξηρασία και οι ασθένειες. Οι ασφαλιστικές εταιρείες οι οποίες εγγυώνται αυτούς τους κινδύνους υπολογίζουν το κόστος αγοράς της ασφάλειας βασιζόμενες σε πίνακες αξιολόγησης του ρίσκου. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη δημιουργία αυτών των πινάκων είναι τόσο οι φυσικοί κίνδυνοι όσο και το ιστορικό μιας έκτασης γης καθώς και η τρέχουσα διαχείρισή της, όπως προκύπτει από τους χάρτες πρόβλεψης απόδοσης της παραγωγής, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι χρησιμοποιούνται οι καλύτερες πρακτικές και ότι ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για την ασφαλιστική εταιρεία.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας χάρτης πρόβλεψης της απόδοσης της παραγωγής, για δύο διαφορετικά έτη, για ένα αγροτεμάχιο. Όσο πιο πράσινο είναι το χρώμα στο χάρτη τόσο μεγαλύτερη σημαίνει ότι θα είναι η απόδοση της συγκεκριμένης περιοχής.



Σχήμα 3.6: Χάρτης Πρόβλεψης Απόδοσης. (Πηγή: <http://www.innovativegis.com>)

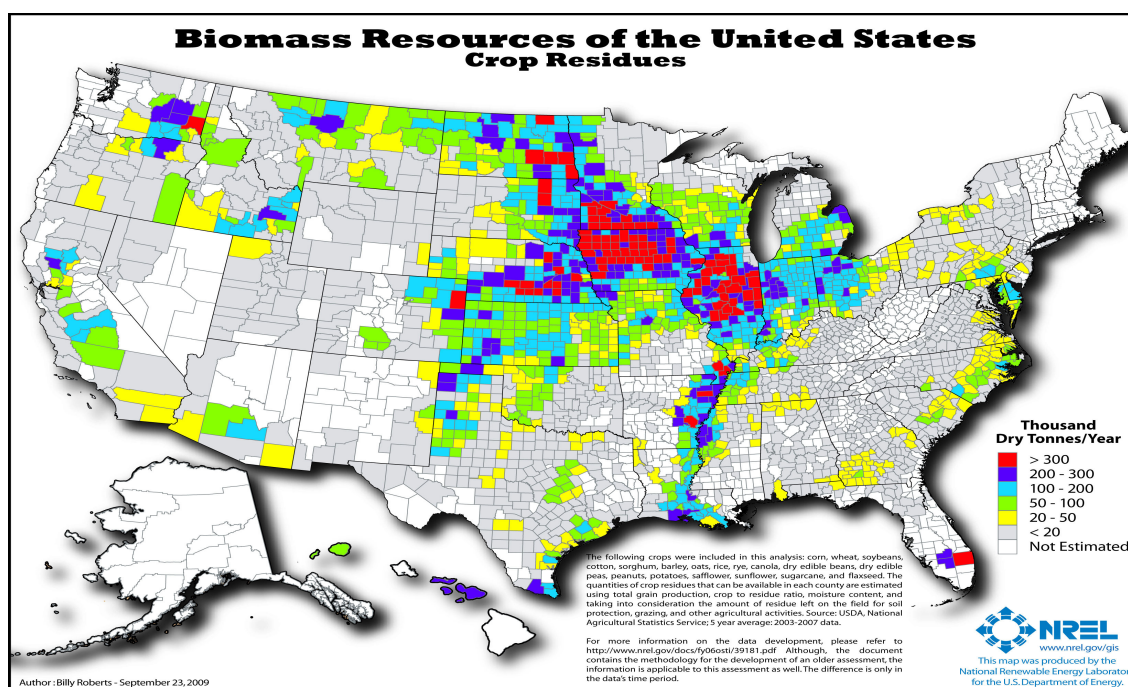
3.3.5 Έλεγχος Ζιζανίων

Σημαντική χρήση έχουν επίσης και οι χάρτες που παρουσιάζουν τη θέση και την πυκνότητα των ζιζανίων. Τα ζιζάνια είναι αγριόχορτα τα οποία φυτρώνουν ανάμεσα στα καλλιεργούμενα φυτά και μεγαλώνουν πολύ γρήγορα εις βάρος τους. Είναι από τις πιο σημαντικές εργασίες σε ένα αγροτεμάχιο ο συχνός καθαρισμός του από τα ζιζάνια ώστε η καλλιέργεια να αναπτύσσεται σωστά. Με τους χάρτες αυτούς θα μπορούμε να ελέγχουμε ακριβώς την κατάσταση στην καλλιέργεια και να επεμβαίνουμε με αμεσότητα και έγκαιρα όπου χρειάζεται.

3.3.6 Υπολείμματα Καλλιεργειών

Οι χάρτες υπολειμμάτων των καλλιεργειών, δηλαδή οι χάρτες που δείχνουν τι μένει σε ένα χωράφι μετά την εσοδεία, αποτελούν σημαντική απόδειξη σχετικά με τη σωστή διαχείριση του εδάφους όσον αναφορά στις κατευθυντήριες γραμμές για την πρόληψη της διάβρωσης. Επίσης μέσω της γνώσης που προσφέρουν είμαστε σε θέση να βελτιώσουμε τη βιωσιμότητα της καλλιέργειας καθώς μπορούμε να ελέγξουμε τα παράγωγα σε βιομάζα ενώ ταυτόχρονα η καλλιέργεια παραμένει κερδοφόρα στα πλαίσια των παραδοσιακών παραγώγων της γεωργίας.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα υπολείμματα καλλιεργειών στις Η.Π.Α. σε τόνους ανά χρόνο ανά περιοχή.



Σχήμα 3.7: Χάρτης υπολειμμάτων καλλιεργειών στις Η.Π.Α. (Πηγή: www.nrel.gov/gis/biomass.html)

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση και Σχεδίαση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μελέτη που έγινε για την υλοποίηση ενός συστήματος για την παρακολούθηση καλλιεργειών στο πλαίσιο εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά αφιερώνεται μία ενότητα ώστε να περιγραφούν οι επιστημονικές προκλήσεις οι οποίες αποτέλεσαν κίνητρο για την ανάπτυξη του συστήματος μας. Στη συνέχεια περιγράφεται η αρχιτεκτονική του συστήματος και γίνεται ο διαχωρισμός του στα επιμέρους υποσυστήματα από τα οποία αυτό συνίσταται. Τέλος, περιγράφονται οι βασικές εφαρμογές του συστήματος στην τρέχουσα μορφή του.

4.1 Επιστημονικές Προκλήσεις

Προς την κατεύθυνση της εκμετάλλευσης του ολοένα και αυξανόμενου όγκου των γεωχωρικών δεδομένων (big data), ο οποίος είναι της τάξεως πολλών petabyte, υπάρχει μια τρέχουσα ανάγκη για εντατική έρευνα και ανάπτυξη καθώς και για αποτελεσματικές τεχνολογικές λύσεις. Σε συνδυασμό με τον ολοένα και αυξανόμενο αριθμό καθώς και την αξιοπιστία των δορυφορικών, εναέριων και UAV αισθητήρων καθώς και των αισθητήρων εγγύτητας παρατήρησης της γης, η ανάγκη για υψηλής επίδοσης συστήματα άμεσης επεξεργασίας και ανάλυσης μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων, τα οποία θα είναι σε θέση να μοντελοποιήσουν και να προσομοιάσουν γεωχωρικό περιεχόμενο, είναι μεγαλύτερη από ποτέ.

Η απελευθέρωση του αρχείου δεδομένων των αποστολών Landsat [55] του οργανισμού United States Geological Survey (USGS), η πρόσφατη έναρξη της αποστολής Landsat Data Continuity Mission [46], η αποστολή EU Sentinel [39] καθώς και η πολιτική σε σχέση με τα ανοιχτά δεδομένα της Ευρωπαϊκής Ένωσης [1] έδωσαν τη δυνατότητα για την εύκολη πρόσβαση σε ένα πρωτοφανή όγκο δεδομένων και σχετικών μελετών πάνω στην παρακολούθηση αλλαγών στην κάλυψη και χρήση της γης. Βοήθησαν επίσης στην ενημέρωση των εθνικών χαρτών κάλυψης γης, στην ανίχνευση χωρο-χρονικών δυναμικών καθώς επίσης και στην εξέλιξη των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών στην επιφάνεια της γης.

Εξαιτίας αυτής της τεράστιας διαθεσιμότητας δεδομένων, σε συνδυασμό με τις πολιτικές ανοιχτών δεδομένων για την πρόσβαση και χρήση αυτών των δεδομένων και στις Η.Π.Α αλλά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης θα πρέπει να αν-

τανακλούν τις τρέχουσες απαιτήσεις για τη βελτίωση των υπάρχουσών δυνατοτήτων για την άμεση επεξεργασία big data, καθώς και να διαμορφώσουν το πλαίσιο για την αποτελεσματική χωροχρονική μοντελοποίησή τους. Συνεπώς, η ανάπτυξη αποτελεσματικών τεχνολογιών για τον άμεσο χειρισμό και την επεξεργασία big data στην πλευρά των εξυπηρετητών δεδομένων (server-side) είναι θεμελιώδους σημασίας. Ειδικότερα, οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις στα πεδία της υπολογιστικής δύναμης, των υπολογιστικών πόρων και της ταχύτητας του διαδικτύου (Internet) έχουν ανοίξει το δρόμο για την online ανάλυση και επεξεργασία μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων παρέχοντας τη βάση πάνω στην οποία είναι δυνατή η ανάπτυξη εφαρμογών με σημαντικό επιστημονικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον [31].

Για το σκοπό αυτό παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία το ανεπτυγμένο WebGIS σύστημα, *RemoteAgri*, το οποίο σχεδιάστηκε προς την κατεύθυνση της online ανάλυσης ανοιχτών τηλεπισκοπικών δεδομένων καθώς και για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας (precision agriculture). Ειδικότερα, η βασική λειτουργικότητα συνίσταται από το rasdaman Array Database Management System (DBMS) για την αποθήκευση των δεδομένων και το πρότυπο Web Coverage Processing Service (WCPS) του Open Geospatial Consortium (OGC) για την εκτέλεση ερωτημάτων πάνω σε αυτά. Διάφορα ερωτήματα γραμμένα στην WCPS σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν για την πρόσβαση και την επεξεργασία πολυφασματικών (multispectral) δορυφορικών εικόνων. Το πρόγραμμα πελάτη του WebGIS συστήματος βασίζεται στις βιβλιοθήκες OpenLayers και GeoExt οι οποίες είναι γραμμένες στην γλώσσα προγραμματισμού javascript. Το ανεπτυγμένο σύστημα στην τρέχουσα μορφή του καλύπτει πλήρως τον Ελλαδικό χώρο με πολυφασματικά δεδομένα τα οποία προέρχονται από το δορυφόρο Landsat 8, τα οποία αποθηκεύονται και προ-επεξεργάζονται αυτόματα στο υλικό το οποίο έχουμε στη διάθεσή μας, για σκοπούς επίδειξης. Τα ανεπτυγμένα ερωτήματα επεξεργασίας των δεδομένων τα οποία και εστιάζουν σε αγροτικές εφαρμογές είναι σε θέση να υπολογίσουν αποτελεσματικά την κάλυψη της βλάστησης, την κόμη φυλλώματος (canopy) και το στρες της βλάστησης σε σχέση με το νερό σε αγροτικές και δασώδεις εκτάσεις.

4.2 Ανάλυση - Περιγραφή Αρχιτεκτονικής

Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας αυτής ήταν ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός πλαισίου για την online ανάλυση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων για αγροτικές εφαρμογές. Ποικίλες συνιστώσες και υπολογιστικά βήματα εμπλέκονται στη ρύθμιση, στη λειτουργία και στη χρησιμοποίηση του ανεπτυγμένου WebGIS συστήματος, *RemoteAgri*.

Όπως αναφέρθηκε, η βασική λειτουργικότητα του ανεπτυγμένου πλαισίου συνίσταται από το rasdaman Array DBMS για την αποθήκευση των τηλεπισκοπικών δεδομένων και το πρότυπο διεπαφής του OGC, την γλώσσα WCPS, για την online εκτέλεση ερωτημάτων πάνω σε αυτά. Το rasdaman επιλέχθηκε ως το βασικό σύστημα της υλοποίησής μας εξαιτίας της αποδεδειγμένης ευρωστίας του, των καινοτομιών που έχει εισάγει καθώς και της αποδοτικότητας του στο χειρισμό μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων.

Την τρέχουσα χρονική περίοδο, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα στη βάση δεδομένων μας για επεξεργασία από το *RemoteAgri* WebGIS σύστημα, προέρχονται

από την αποστολή Landsat Data Continuity Mission (LDCM)¹. Οι αισθητήρες του δορυφόρου Landsat 8, OLI και TIRS, καταγράφουν πολυχρονικά (multitemporal), πολυφασματικά (multispectral) δεδομένα αρκετά καλής χωρικής ανάλυσης. Τα ακατέργαστα (raw) δεδομένα του δορυφόρου Landsat 8 λαμβάνονται, αποθηκεύονται και προ-επεξεργάζονται αυτόματα από το σύστημα μας, σε μια διαδικασία η οποία θα περιγραφεί αναλυτικά παρακάτω.

Η ανίχνευση της βλάστησης, ο υπολογισμός της κόμης φυλλώματος καθώς και ο υπολογισμός του στρες της βλάστησης σε σχέση με το νερό είναι οι λειτουργικότητες κλειδιά του συστήματος *RemoteAgri* στην τωρινή έκδοσή του. Αυτές οι λειτουργικότητες, οι οποίες έχουν τη μορφή ερωτημάτων γραμμένων στη γλώσσα WCPS, χρησιμοποιούν το σύνολο δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8 και το πρότυπο διεπαφής του OGC τη WCPS, ώστε να αντλήσουν πληροφορία με τηλεπισκοπικές μεθόδους και να παράξουν τους αντίστοιχους χρωματικούς χάρτες (color maps), οι οποίοι και περιέχουν την αποκτηθείσα πληροφορία.

Το τωρινό υλικό (hardware) το οποίο υποστηρίζει το σύστημα *RemoteAgri* είναι ένας υπολογιστής με 8 διαθέσιμους πυρήνες επεξεργασίας και 32 GB RAM, στον οποίο είναι εγκατεστημένα το λειτουργικό σύστημα Debian GNU/Linux (Release 7.5), ο servlet container Apache Tomcat 6 και το σύστημα rasdaman community έκδοσης 8.5. Σε αυτό το περιβάλλον επίδειξης, τα αποθηκευμένα και προ-επεξεργασμένα τηλεπισκοπικά δεδομένα, καλύπτουν πλήρως την Ελληνική επικράτεια παρέχοντας κάθε -περίπου- 16 μέρες δορυφορικές εικόνες από το ξεκίνημα της αποστολής του δορυφόρου Landsat 8 (Φεβρουάριος 2013). Η μεταφορά του συστήματος σε περιβάλλον παραγωγής έχει ήδη δρομολογηθεί.

Οι βασικές συνιστώσες του WebGIS συστήματος *RemoteAgri* παρουσιάζονται διαγραμματικά στο **σχήμα 4.1** και περιγράφονται ενδελεχώς στις παρακάτω ενότητες.

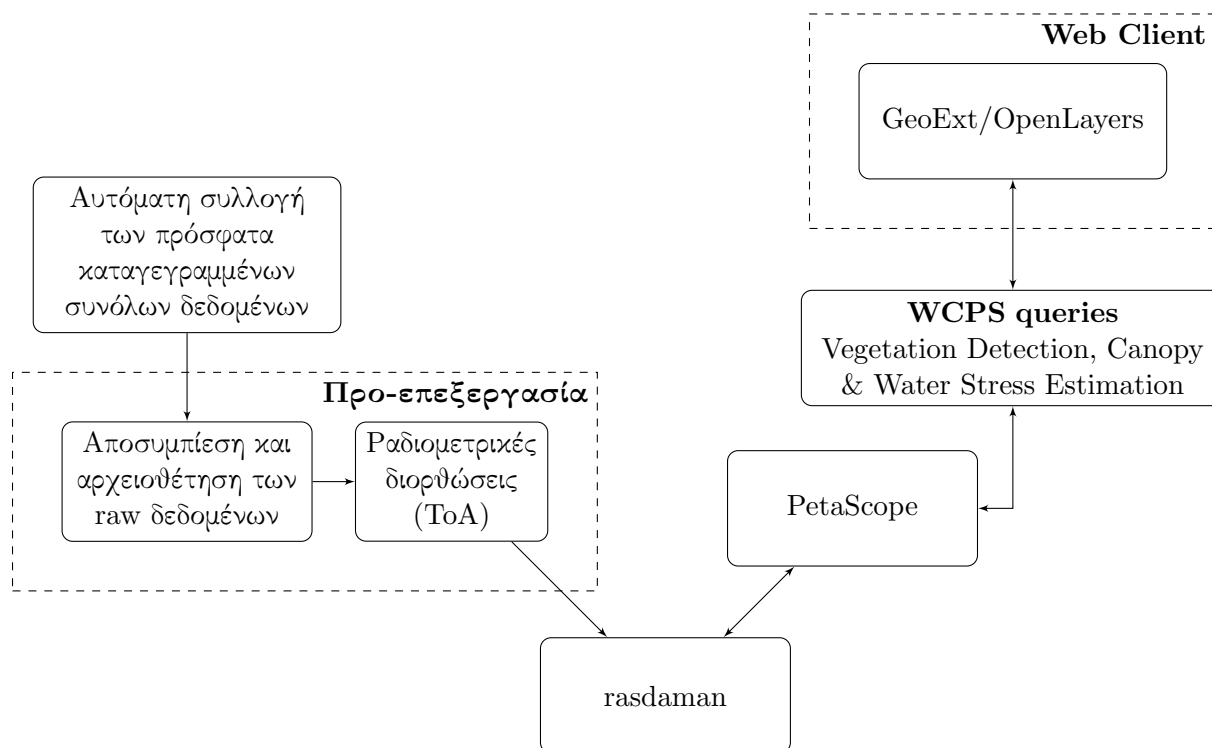
Όσον αναφορά στην αρχιτεκτονική του συστήματος μας, αυτό μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα. Το οπίσθιο τμήμα (back-end ή server-side) και το εμπρόσθιο τμήμα (front-end ή client-side).

Το οπίσθιο τμήμα αποτελείται από τις συνιστώσες της αυτόματης συλλογής των πρόσφατα καταγεγραμμένων συνόλων δεδομένων, της αποσυμπίεσης και αρχειοθέτησης των raw τηλεπισκοπικών δεδομένων, της συνιστώσας που εκτελεί ραδιομετρικές διορθώσεις (ToA) και φυσικά του συστήματος rasdaman, το οποίο αποτελεί τον εξυπηρετητή των δεδομένων και το βασικό σημείο επεξεργασίας τους, σε συνδυασμό με την εφαρμογή PetaScope η οποία έχει το ρόλο να παραλαμβάνει τα ερωτήματα του πελάτη γραμμένα στη γλώσσα WCPS και να τα μεταφέρει προς επεξεργασία στο rasdaman.

Το εμπρόσθιο τμήμα αποτελείται από το πρόγραμμα πελάτη του WebGIS συστήματος (Web Client) το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διεπαφή με το χρήστη, τη δημιουργία των ερωτημάτων επεξεργασίας, την αποστολή τους στον εξυπηρετητή καθώς και για την παραλαβή και προβολή των αποτελεσμάτων.

Το διάγραμμα ροής του σχήματος 4.1 εκτός από τις βασικές συνιστώσες του συστήματος *RemoteAgri* παρουσιάζει σιωπηρά και τον τρόπο συνεργασίας του οπίσθιου με το εμπρόσθιο τμήμα του συστήματος. Οποιαδήποτε στιγμή, το οπίσθιο τμήμα μπορεί να βρίσκεται σε λειτουργία και να ανακτά, να αποθηκεύει, να προ-επεξεργάζεται και να εισάγει στο rasdaman

¹<http://landsat.usgs.gov/>



Σχήμα 4.1: Οι βασικές συνιστώσες (components) του *RemoteAgri* WebGIS συστήματος.

νέα δεδομένα. Με την εισαγωγή τα δεδομένα είναι αμέσως διαθέσιμα στους χρήστες για επεξεργασία. Ταυτόχρονα, το εμπρόσθιο τμήμα μπορεί να υποβάλει ερωτήματα επεξεργασίας στο σύστημα για τα υπάρχοντα δεδομένα και να λαμβάνει τα ζητούμενα αποτελέσματα.

4.2.1 Διαχωρισμός Υποσυστημάτων

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα ροής του **σχήματος 4.1** τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται το WebGIS σύστημα *RemoteAgri* είναι τα ακόλουθα:

- Αυτόματη απόκτηση, αποθήκευση και προ-επεξεργασία δεδομένων
- rasdaman Array DBMS - PetaScope
- Web Client - πρόγραμμα πελάτη WebGIS συστήματος

4.2.2 Περιγραφή Υποσυστημάτων

Παρακάτω δίνεται η λεπτομερής περιγραφή για καθένα από τα υποσυστήματα που παρουσιάστηκαν. Η περιγραφή αυτή γίνεται με βάση το διάγραμμα ροής δεδομένων (σχήμα 4.1) το οποίο και περιγράφει τα βασικά συστατικά του συστήματος *RemoteAgri*.

Αυτόματη συλλογή, αποθήκευση και προ-επεξεργασία των δεδομένων

Όσον αναφορά τα στάδια της αυτόματης συλλογής, αποθήκευσης και προ-επεξεργασίας των τηλεπισκοπικών δεδομένων από το σύστημά μας, ένας σημαντικός αριθμός από προγράμματα γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού Python (Python scripts) αναπτύχθηκαν για τον έλεγχο, τη διευκόλυνση και την αυτοματοποίηση ολόκληρου του εγχειρήματος. Η ανάπτυξη του προαναφερθέντος λογισμικού ήταν απολύτως αναγκαία και καταλυτική για την πρόοδο της εργασίας, καθώς θα ήταν αδύνατη η χειροκίνητη εκτέλεση των παραπάνω εργασιών λόγω της φύσης των δεδομένων (big data). Ακόμα και για την απλή περίπτωση της διαχείρισης μίας μόνο δορυφορικής εικόνας για σκοπούς ανάπτυξης του συστήματος, ο χρόνος και ο κόπος που απαιτούνταν για τη χειροκίνητη εκτέλεση ήταν εκθετικά μεγαλύτερος. Η ανάπτυξη επομένως του εν λόγω υποσυστήματος ήταν κρίσιμης σημασίας.

Εστιάζοντας στον αυτοματισμό της διαδικασίας, αρχικά ένα Python script το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του αρχείου δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8, εξετάζει για το αν υπάρχουν νέα σύνολα δεδομένων και συλλέγει οποιαδήποτε καινούργια σύνολα βρεθούν. Το script αυτό χρησιμοποιεί μια τεχνική με το όνομα Web Scraping, η οποία είναι μια τεχνική λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εξαγωγή πληροφορίας από ιστοσελίδες. Με την τεχνική αυτή προσομοιάζεται από ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, η εξερεύνηση του παγκόσμιου ιστού από έναν άνθρωπο είτε μέσω της υλοποίησης σε χαμηλό επίπεδο του πρωτοκόλλου HTTP, είτε μέσω της ενσωμάτωσης ενός πλήρους περιηγητή ιστού όπως είναι ο Mozilla Firefox. Στο δικό μας σύστημα υλοποιήθηκε η δεύτερη επιλογή. Μέσω της ενσωμάτωσης ενός πλήρους περιηγητή ιστού σε ένα πρόγραμμα Python, κατέστη δυνατόν να εξερευνηθεί το HTML δέντρο της ιστοσελίδας του αρχείου δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8 και να γίνει η αυτόματη συλλογή των συνόλων δεδομένων του.

Από τη στιγμή στην οποία όλα τα νέα σύνολα δεδομένων έχουν γίνει διαθέσιμα, ένα άλλο Python script τα αρχειοθετεί. Αυτό σημαίνει ότι τα βάζει στους κατάλληλους φακέλους στο σύστημα αρχείων του λειτουργικού συστήματος του server και στη συνέχεια τα αποσυμπιέζει, καθώς αυτά παρέχονται σε συμπιεσμένη μορφή από το αρχείο δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8, για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες εφαρμογές. Έπειτα, πραγματοποιούνται όλα τα αναγκαία βήματα ραδιομετρικών και ατμοσφαιρικών διορθώσεων ώστε τα δεδομένα να είναι σε μορφή κατάλληλη για επεξεργασία από αλγόριθμους τηλεπισκόπησης και τα αποτελέσματα των επεξεργασιών να είναι έγκυρα και αξιόπιστα. Για τις ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις έχουν αναπτυχθεί κατάλληλες κλάσεις και συναρτήσεις στη γλώσσα προγραμματισμού Python, οι οποίες τις πραγματοποιούν. Οι μετασχηματισμοί πάνω στους οποίους βασίζονται αυτές οι κλάσεις και οι συναρτήσεις περιγράφονται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 5 που αφορά την υλοποίηση του συστήματος.

Από τη στιγμή που ολοκληρώνονται τα στάδια της προ-επεξεργασίας, τα δεδομένα είναι έτοιμα για την εισαγωγή τους στο rasdaman ώστε να γίνουν διαθέσιμα στους χρήστες. Τότε, ένα τελευταίο Python script εισάγει τα δεδομένα και τα αντίστοιχα μεταδεδομένα τους στο rasdaman με ερωτήματα εισαγωγής στη γλώσσα rasql.

rasdaman Array DBMS - PetaScope

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύστημα rasdaman αποτελεί τη βάση της υλοποίησής μας. Από τη μία πλευρά φιλοξενεί τα τηλεπισκοπικά δεδομένα και από την άλλη πλευρά δέχεται τα ερωτήματα επεξεργασίας των χρηστών, τα εκτελεί και επιστρέφει τα αποτελέσματα σε αυτούς. Η βάση δεδομένων του συστήματός μας, την οποία διαχειρίζεται το σύστημα rasdaman, την τρέχουσα περίοδο περιέχει πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες οι οποίες προέρχονται από το δορυφόρο Landsat 8. Οι εν λόγω εικόνες καλύπτουν ολόκληρη την Ελληνική επικράτεια από την αρχή της αποστολής Landsat 8. Η κάλυψη ολόκληρου του Ελλαδικού χώρου απαιτεί την συλλογή εικόνων από περίπου 45 διαφορετικά path & rows, δηλαδή από 45 διαφορετικές σκηνές, του συγκεκριμένου δορυφόρου.

Πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο rasdaman, ένας κατάλληλος τύπος δεδομένων χρειάζεται να οριστεί ώστε να είναι δυνατόν να περιγραφούν τα δεδομένα στη βάση. Ακολουθεί ο ορισμός :

```
struct Landsat8Pixel {unsigned short  coastal, blue,
                    green, red, nir, swir1, swir2, cirrus,
                    tirs1, tirs2;};
typedef marray <Landsat8Pixel,2> Landsat8Image;
```

Ο παραπάνω ορισμός τύπου αρχικά ορίζει τον τύπο του pixel μιας εικόνας στη βάση δεδομένων μας, μέσω του καθορισμού του αριθμού των φασματικών ζωνών (spectral bands) που έχει η κάθε εικόνα - εδώ 10 ζώνες - και του καθορισμού του τύπου δεδομένων της τιμής της κάθε ζώνης (unsigned short για όλες τις ζώνες). Στη συνέχεια, ένας raster τύπος δεδομένων που ορίζει την εικόνα δημιουργείται χρησιμοποιώντας τη λέξη κλειδί "marray" η οποία αντιπροσωπεύει την ιδιότητα "multi-dimensional array" (δηλαδή πολυδιάστατος πίνακας). Η εικόνα καθορίζεται ότι είναι 2 διαστάσεων με πλήρως ελεύθερα όρια σε όλες τις διαστάσεις. Συνεπώς, ο εξυπηρετητής rasdaman θα επιτρέπει την εισαγωγή εικόνων (coverages) οι οποίες έχουν οποιεσδήποτε συντεταγμένες και δυναμικά αυξανόμενο μέγεθος. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό καθώς δεν έχουν όλες οι εικόνες τις ίδιες διαστάσεις και αν δεν είχαμε τη δυνατότητα να ορίζουμε πίνακες (εικόνες) με ελεύθερα όρια θα έπρεπε στη χειρότερη περίπτωση να ορίζουμε ένα τύπο δεδομένων για κάθε εικόνα. Αντίθετα, τώρα με ένα και μόνο τύπο δεδομένων είμαστε σε θέση να υποστηρίξουμε όλες τις εικόνες που προέρχονται από το δορυφόρο Landsat 8.

Στην ενότητα 4.3 θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο αποκτούμε πληροφορία από τα σύνολα δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8 μέσω των ερωτημάτων επεξεργασίας γραμμένων στη γλώσσα WCPS. Τα WCPS ερωτήματα, εν γένει, χρησιμοποιούν ένα for-όρο για να ορίσουν τα δεδομένα εισόδου και ένα return-όρο για να καθορίσουν ποια πληροφορία θα

επιστραφεί και σε ποια μορφή. Ένα υπόδειγμα ερωτήματος γραμμένου στη γλώσσα WCPS είναι το ακόλουθο:

```
for data in (collection)
return encode(data.band, "form")
```

Στην περίπτωση του *RemoteAgri* WebGIS συστήματος, η μεταβλητή *band* αντικαθίσταται από μία εκ των φασματικών ζωνών του δορυφόρου Landsat 8, όπως αυτές ορίστηκαν παραπάνω, καθώς οι συλλογές των εικόνων είναι πολυφασματικές και η μεταβλητή *form* αντικαθίσταται με τη μορφή "png" καθώς το πρόγραμμα πελάτη του WebGIS συστήματος χειρίζεται τα εικονιστικά αποτελέσματα της επεξεργασίας που επιστρέφει το *rasdaman* ως PNG εικόνες.

Τα WCPS ερωτήματα υποβάλλονται στον εξυπηρετητή *rasdaman* δια μέσου του συστατικού *PetaScope*. Το *PetaScope* είναι ένα πακέτο από *java servlets* τα οποία υλοποιούν τις διεπαφές προτύπων του OGC και συνεπώς επιτρέπουν την κατ' απαίτηση υποβολή ερωτημάτων τα οποία επεξεργάζονται πολυδιάστατους πίνακες. Επιπλέον, προσθέτει υποστήριξη για γεωγραφικά και χρονικά συστήματα συντεταγμένων. Το *PetaScope* παραλαμβάνει τα ερωτήματα των χρηστών γραμμένα στην γλώσσα WCPS, πραγματοποιεί συντακτική και σημασιολογική ανάλυση πάνω σε αυτά ελέγχοντας την ορθότητά τους και στη συνέχεια μεταφράζει τα ερωτήματα από τη γλώσσα WCPS στη γλώσσα του *rasdaman* την *rasql*. Κατόπιν υποβάλλει το μεταφρασμένο ερώτημα για εκτέλεση στο *rasdaman*. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των ερωτημάτων παραλαμβάνεται από το *PetaScope* και επιστρέφεται στους χρήστες είτε σε μορφή κειμένου είτε σε μορφή εικόνας.

Web Client - πρόγραμμα πελάτη WebGIS συστήματος

Το πρόγραμμα πελάτη του *RemoteAgri* WebGIS συστήματος (Web Client), βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στις βιβλιοθήκες *OpenLayers* και *GeoExt* οι οποίες είναι γραμμένες στη γλώσσα προγραμματισμού *javascript*. Βασίζεται στη βιβλιοθήκη *GeoExt* για τη διαχείριση της διεπαφής με το χρήστη, τη διάταξη της ιστοσελίδας καθώς και για τη γραμμή εργαλείων που παρέχει. Στη βιβλιοθήκη *OpenLayers* βασίζεται τη διαχείριση των υποβάθρων των χαρτών που παρουσιάζονται καθώς και για να παρουσιάσει στο χρήστη τα εικονιστικά αποτελέσματα των επεξεργασιών των WCPS ερωτημάτων σαν επιθέματα (*overlays*) πάνω από ένα υπόβαθρο χάρτη.

Για να είναι δυνατόν να τοποθετήσουμε την εικόνα του αποτελέσματος της επεξεργασίας πάνω στο χάρτη (γεωαναφορά εικόνας) ώστε να πέφτει ακριβώς πάνω στην περιοχή που μελετούμε διάφορα μεταδεδομένα πρέπει να προσδιοριστούν από τον Web Client. Αυτά τα μεταδεδομένα είναι **οι γεωγραφικές συντεταγμένες των κόμβων** του πλαισίου οριοθέτησης (*bounding box*) το οποίο καθορίζει μια Περιοχή Ενδιαφέροντος (*Area Of Interest* (AOI)) και προσδιορίζεται από το χρήστη ανάλογα με την περιοχή την οποία θέλει να μελετήσει καθώς επίσης και **το όνομα της συλλογής** μέσα στη βάση δεδομένων του *rasdaman*, η οποία φιλοξενεί την εικόνα η οποία περιέχει τη καθορισμένη AOI.

Αμέσως μόλις ένας χρήστης ολοκληρώσει τον καθορισμό μιας AOI, οι γεωγραφικές συντεταγμένες των κόμβων του *bounding box* που την καθορίζουν καταγράφονται. Στη συνέχεια,

αποστέλλονται από τον Web Client σε ένα server-side script το οποίο τις χρησιμοποιεί ώστε να προσδιορίσει το όνομα της συλλογής η οποία φιλοξενεί την εικόνα η οποία περιέχει τη συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος. Το ζητούμενο όνομα επιστρέφεται πίσω στον Web Client οπότε και εκείνος έχει πλέον όλα τα απαραίτητα μεταδεδομένα ώστε να συνθέσει το WCPS ερώτημα επεξεργασίας. Τα μεταδεδομένα οδηγούνται προς επεξεργασία από τον Web Client και στη συνέχεια κατασκευάζεται το απαιτούμενο WCPS ερώτημα το οποίο και θα αποσταλεί στο PetaScope.

Οι συντεταγμένες οι οποίες προσδιορίζουν τη χωρική έκταση της ΑΟΙ χρησιμοποιούνται εκ νέου όταν το εικονιστικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας ανακτάται από το PetaScope, οπότε και η PNG εικόνα του αποτελέσματος πρέπει να τοποθετηθεί στη σωστή θέση της επάνω στον OpenLayers χάρτη του WebGIS συστήματος. Η δυνατότητα της υπέρθεσης των αποτελεσμάτων πάνω από ένα χάρτη δίνει τη δυνατότητα για τη φασματική ανάλυση των δεδομένων σε ένα περιβάλλον WebGIS συστήματος.

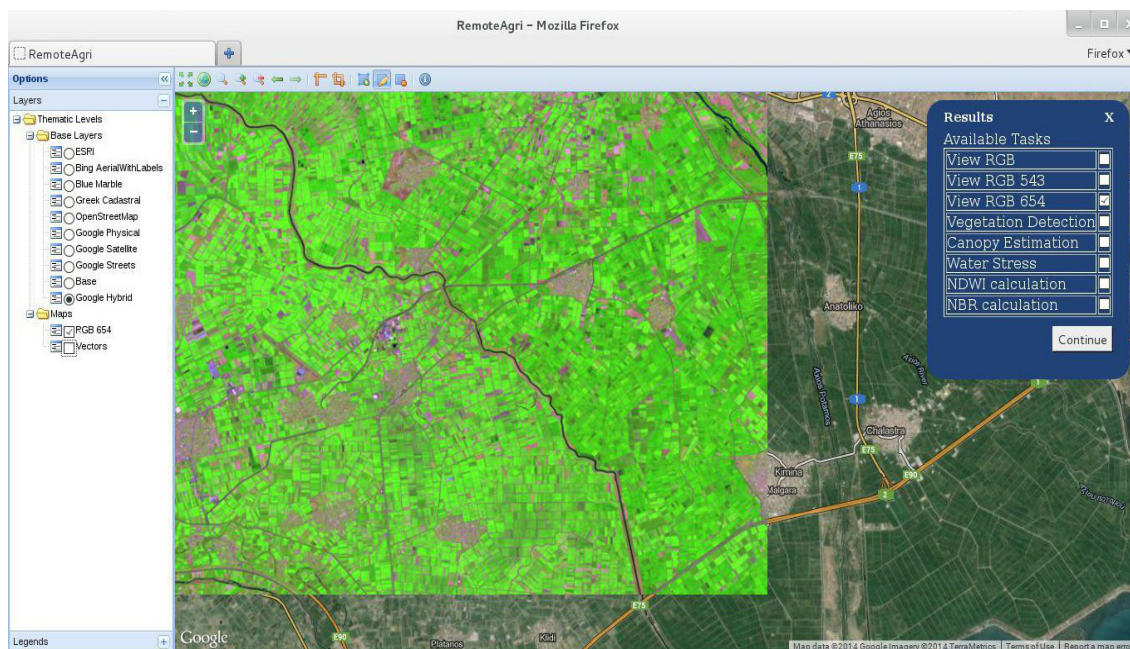
Το σύστημα *RemoteAgri* χρησιμοποιεί το PetaScope και τη δυνατότητα που προσφέρει η βιβλιοθήκη OpenLayers για την προβολή εικόνων ως επιθέματα (overlays) σε ένα χάρτη για προσθέσει τα αποτελέσματα των online WCPS επεξεργασιών των δεδομένων στον κεντρικό OpenLayers χάρτη της διεπαφής του συστήματος. Συνεπώς, τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν με επικαλυπτόμενα οπτικά εικονιστικά δεδομένα από διάφορες πηγές. Στο **σχήμα 4.2** παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο του Web Client του WebGIS συστήματος *RemoteAgri*.

4.3 Απαιτήσεις Χρηστών

Όπως περιγράφηκε και στην προηγούμενη ενότητα, μόλις όλα τα απαραίτητα μεταδεδομένα προσδιοριστούν από το Web Client του *RemoteAgri* WebGIS συστήματος, αυτός κατασκευάζει το WCPS ερώτημα επεξεργασίας του συνόλου δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8 και το αποστέλλει στο server για να εκτελεστεί. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα ερωτήματα επεξεργασίας των τηλεπισκοπικών δεδομένων που υλοποιήθηκαν, γραμμένα στη γλώσσα WCPS, τα οποία και σχετίζονται με συγκεκριμένες αγροτικές εφαρμογές. Σε σχέση με την κάθε εφαρμογή θα παρουσιαστεί και το θεωρητικό υπόβαθρο πίσω από αυτή το οποίο εξηγεί βασικά στοιχεία του κώδικα υλοποίησης του κάθε ερωτήματος.

4.3.1 Ανίχνευση Βλάστησης

Η ανίχνευση της βλάστησης και ο διαχωρισμός της από άλλα αντικείμενα και κατηγορίες του εδάφους είναι η πρωταρχική εργασία. Ωστόσο, δεν είναι πάντα εύκολη υπόθεση η αναγνώρισή της. Η χωρική ανομοιογένεια είναι μια σημαντική ιδιότητα των φυσικών τοπίων, η οποία και περιγράφει τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων της παρατηρούμενης επιφανείας στο χώρο. Οι απλές μέθοδοι ανίχνευσης της βλάστησης οι οποίες βασίζονται σε δείκτες βλάστησης καθώς και σε απλές πράξεις διαίρεσης μεταξύ διαφορετικών φασματικών ζωνών δεν ξεχωρίζουν τους διαφορετικούς τύπους βλάστησης. Το τοπίο των καλλιεργήσιμων εκτάσεων αποτελείται κυρίως από ένα φόντο το οποίο είναι χωμάτινη επιφάνεια και τις ίδιες τις καλλιέργειες.



Σχήμα 4.2: Ο Web Client του *RemoteAgri* WebGIS συστήματος για την online ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων για αγροτικές εφαρμογές. Σε αυτό το συγκεκριμένο στιγμιότυπο, το σύστημα *RemoteAgri* έχει υπολογίσει το έγχρωμο σύνθετο (RGB 654) σε μια περιοχή κοντά στο δέλτα του ποταμού Αξιού και το αποτέλεσμα απεικονίζεται σαν ένα επίθεμα εικόνας. Περιοχές οι οποίες καλύπτονται από οποιοδήποτε τύπο βλάστησης απεικονίζονται σε τόνους πράσινου χρώματος, καθώς η βλάστηση αντανακλά έντονα στην περιοχή του φάσματος της υπέρυθρης ζώνης (NIR band).

Τα χαρακτηριστικά της ανάκλασης του ηλιακού φωτός αυτών των δύο χαρακτηριστικών επιφανειών διαφέρουν τελείως στο κόκκινο και το υπέρυθρο κανάλι [29]. Το φάσμα των χωμάτων επιφανειών κυμαίνεται ανάμεσα σε ένα μεγάλο εύρος εξαιτίας της περιεκτικότητας του εδάφους σε βιογεωχημικά συστατικά (περιεκτικότητα σε οργανική ύλη) και υγρασία καθώς και των διαφορών στην τραχύτητα της επιφάνειας (υψή). Μείωση της υγρασίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή του εδάφους προκαλεί αύξηση της ανακλαστικότητας στο υπέρυθρο κανάλι, για αυτήν την περιοχή. Η σχετικά υψηλή ικανότητα απορρόφησης ακτινοβολίας στο κόκκινο κανάλι της χλωροφύλλης των φυτών, οδηγεί σε μια μείωση ή κορεσμό της ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι μιας καλλιεργήσιμης έκτασης η οποία είναι υγιής. Οι δείκτες βλάστησης είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές λαμπρότητας των εικονοστοιχείων (pixels) μιας εικόνας και σχετίζονται κυρίως με τη βιομάζα ή την κατάσταση της βλάστησης. Με τους δείκτες βλάστησης υπολογίζονται οι τιμές λαμπρότητας των εικονοστοιχείων της βλάστησης και χρησιμοποιούνται ως μέσο παρακολούθησης της παραγωγής και διάκρισης της βλάστησης καθώς και για διαχρονικές συγκρίσεις. Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης βασίζονται στο γεγονός ότι η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανάκλαση στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (NIR) και μικρή στο κόκκινο (Red), αντίθετα με το γυμνό

έδαφος που εμφανίζει κάποια σταθερότητα στις δύο αυτές περιοχές του φάσματος. Επομένως δημιουργώντας την αναλογία NIR/Red η βλάστηση θα εμφανίσει μεγάλες τιμές ενώ το γυμνό έδαφος μικρότερες.

Με ένα παρόμοιο τρόπο με πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες [34], [22] και λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός ότι τα WCPS ερωτήματα επεξεργασίας δεν επιτρέπουν αλγοριθμικές επαναλήψεις, ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) χρησιμοποιήθηκε ώστε να επιτευχθεί η ανίχνευση της βλάστησης, σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ειδικότερα, το WCPS ερώτημα επεξεργασίας επιτυγχάνει την ανίχνευση της βλάστησης μέσω του υπολογισμού του δείκτη NDVI ενάντια σε μια τιμή κατωφλίσωσης (έστω ud).

Οι τιμές του δείκτη NDVI, ο οποίος είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης, κυμαίνονται από -1 έως 1, με την τιμή -1 να υποδεικνύει την πλήρη απουσία βλάστησης και την τιμή 1 να υποδεικνύει την πυκνή παρουσία υγιούς βλάστησης. Η μαθηματική σχέση που οδηγεί στον υπολογισμό του δείκτη NDVI περιλαμβάνει δύο κανάλια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το υπέρυθρο (NIR) και το κόκκινο (Red) και είναι η ακόλουθη:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Με τον υπολογισμό του δείκτη NDVI ενάντια σε μια τιμή κατωφλίσωσης είμαστε σε θέση να ξεχωρίσουμε τη βλάστηση καθώς για μία δεδομένη τιμή κατωφλίσωσης, όλα τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας μιας περιοχής τα οποία έχουν τιμή στο δείκτη NDVI μεγαλύτερη από την τιμή κατωφλίσωσης υποδεικνύουν την παρουσία βλάστησης με πολύ μεγάλη πιθανότητα.

Επομένως για την ανίχνευση της βλάστησης το σύστημα *RemoteAgri*, συντάσσει ένα WCPS ερώτημα επεξεργασίας, το οποίο για κάθε pixel μιας εικόνας μιας εξεταζόμενης περιοχής, υπολογίζει το δείκτη NDVI και ανάλογα το αποτέλεσμα - ένδειξη για παρουσία ή απουσία βλάστησης - δημιουργεί και επιστρέφει στο χρήστη έναν δυαδικό χρωματικό χάρτη της εξεταζόμενης περιοχής, στον οποίο τα pixel εκείνα τα οποία υποδεικνύουν βλάστηση έχουν άσπρο χρώμα ενώ όλα τα υπόλοιπα μαύρο χρώμα. Με αυτόν τον τρόπο είναι πολύ εύκολος ο εποπτικός διαχωρισμός της βλάστησης σε ένα περιβάλλον WebGIS συστήματος.

Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου WCPS ερωτήματος ανίχνευσης της βλάστησης ακολουθεί:

```
// Ερώτημα
```

```
// Ανίχνευση Βλάστησης
```

```
for c in (L8_im_path_row) return encode
(trim( (char)
(((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) > ud )
* 255),
{x(low:high),
y(low:high)}
), "png")
```

4.3.2 Υπολογισμός Κόμης Φυλλώματος

Ο υπολογισμός της κόμης φυλλώματος είναι μια εργασία κλειδί, θεμελιώδους σημασίας για διάφορες αγροτικές εφαρμογές. Όταν γίνεται λόγος για την κόμη φυλλώματος συνήθως αυτό σημαίνει ότι γίνεται αναφορά στη χωρική έκταση του εξωτερικού στρώματος (στρώμα το οποίο βλέπουν οι ακτίνες του ήλιου και συνεισφέρει τα μέγιστα στη φωτοσύνθεση) των φύλλων ενός φυτού ή μιας ομάδας φυτών. Συνεπώς, και δεδομένου του γεγονότος ότι οι διάφορες χρωστικές ουσίες είναι εξαιρετικά σημαντικές για τη λειτουργία των φυτικών οργανισμών, μεγάλες ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί στον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ της ολικής πρωτογενούς παραγωγής (gross primary production (GPP)) και της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (chlorophyll (Chl)) της κόμης φυλλώματος, η οποία είναι και η κύρια χρωστική ουσία που συμμετέχει στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών. Ο δείκτης έκτασης φυλλώματος leaf area index (LAI), είναι ένας σχετικός δείκτης ποσοτικής μέτρησης της κόμης φυλλώματος, ο οποίος σχετίζεται με τον υπολογισμό διάφορων δεικτών βλάστησης.

Ειδικότερα, ο Baret et al. [6], παρατήρησε ότι η περιεκτικότητα της χλωροφύλλης της κόμης φυλλώματος σχετίζεται με τα επίπεδα της περιεκτικότητας σε άζωτο της κόμης φυλλώματος και ισχυρίστηκε ότι η κατάσταση των επιπέδων του αζώτου σε ένα φυτό μπορεί να εκτιμηθεί δια μέσου της περιεκτικότητας του φυτού σε χλωροφύλλη. Επίσης, πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ τις περιεκτικότητας των φύλλων γενικά σε χλωροφύλλη και της περιεκτικότητας σε άζωτο [21]. Κοντινές σχέσεις καταγράφηκαν επιπλέον, μεταξύ της ολικής πρωτογενούς παραγωγής, του δείκτη έκτασης φυλλώματος και της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη της κόμης φυλλώματος [30].

Παρ' όλο που δεν υπάρχει, ακόμη, ένας αλγόριθμος καθολικής αποδοχής ή ένα μοντέλο παλινδρόμησης [42] τα οποία να έχουν επικυρωθεί για όλα τα είδη των καλλιεργειών προς την κατεύθυνση του αποδοτικού υπολογισμού της έκτασης φυλλώματος, στην εργασία αυτή χρησιμοποιήσαμε τον τυπικό δείκτη NDVI για τον υπολογισμό της έκτασης φυλλώματος για όλες τις παρατηρούμενες εκτάσεις. Το WCPS ερώτημα του υπολογισμού της κόμης φυλλώματος βασίζεται στο ερώτημα για την ανίχνευση της βλάστησης και συνεπώς στο δείκτη NDVI τον οποίο παρουσιάσαμε παραπάνω.

Η λειτουργία του ερωτήματος για τον υπολογισμό της κόμης φυλλώματος έχει ως εξής. Για όλες εκείνες τις περιοχές που ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή της μελέτης μας και για τις οποίες έχει ανιχνευθεί ότι περιέχουν βλάστηση, μία περαιτέρω κατάταξη πραγματοποιείται. Η κατάταξη αυτή υποδεικνύει πιθανές συσχετίσεις της ανιχνευμένης βλάστησης με το σθένος των καλλιεργειών που περιέχονται σε αυτή καθώς και με το δείκτη έκτασης φυλλώματος. Για πρακτικούς λόγους αλλά και για είναι δυνατή η εποπτική απεικόνιση του αποτελέσματος του ερωτήματος, το αποτέλεσμα του ερωτήματος προσδιορίζεται μέσω της δημιουργίας ζωνών για τα διαφορετικά επίπεδα της κόμης φυλλώματος. Οι υπολογισμένες τιμές του δείκτη NDVI, για μια συγκεκριμένη περιοχή, οι οποίες και είναι μεγαλύτερες από διάφορες τιμές κατωφλίσωσης (έστω ce1, ce2, κ.ο.κ.) κατανέμονται σε μη επικαλυπτόμενα διαστήματα. Σε κάθε διάστημα αντιστοιχεί ένα διαφορετικό χρώμα. Πιο ανοικτά χρώματα υποδεικνύουν περιοχές μικρότερου

σθένους όσον αναφορά την υγεία των καλλιεργειών. Η εικόνα εξόδου αυτού του ερωτήματος είναι ένας τεχνητός χρωματικός χάρτης ο οποίος περιέχει και απεικονίζει όλη την προαναφερθείσα πληροφορία.

Ακολουθεί ο κώδικας του υλοποιημένου WCPS ερωτήματος για τον υπολογισμό της κόμης φυλλώματος :

```
// Ερώτημα
// Υπολογισμός Κόμης Φυλλώματος

for c in (L8_im_path_row) return encode
(trim(struct{
  red: (char)
  (((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) > ce1) *
  ((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) <= ce2 )
  * 255) +
  (((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) > ce2) *
  ((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) <= ce3 )
  * 255) +
  (((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) > ce3) *
  ((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) <= ce4 )
  * 0) +
  (((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) > ce4) *
  ((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) <= ce5 )
  * 0) +
  (((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) > ce5) *
  ((c.nir - c.red)/(c.nir + c.red )) <= ce6 )
  * 0) ;
green: (char)
..similar..

blue: (char)
..similar..

}, {x(low:high),
y(low:high)}), "png")
```

4.3.3 Υπολογισμός του στρες της βλάστησης σε σχέση με το νερό

Σε συνδυασμό με τον υπολογισμό της απόδοσης μιας καλλιέργειας και τον υπολογισμό της ολικής πρωτογενούς παραγωγής μέσω της απεικόνισης του υπολογισμού της κόμης φυλλώματος και του δείκτη έκτασης φυλλώματος, ο υπολογισμός του στρες (καταπόνηση) της βλάστησης είναι η άλλη συνιστώσα κλειδί για τις περισσότερες αγροτικές εφαρμογές. Οι τεχνικές οπτικής τηλεπισκόπησης έχουν μελετηθεί ενδελεχώς για την ανίχνευση της καταπόνησης της βλάστησης. Διάφορες προσεγγίσεις έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση του στρες της βλάστησης σε σχέση με το νερό από θερμοικά υπέρυθρα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου και του δείκτη CWSI (crop water stress index). Επίσης πολλές μελέτες έχουν καταλήξει ότι η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας της κόμης φυλλώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να ποσοτικοποιήσει το έλλειμμα σε νερό για μικρού και μετρίου επιπέδου καταπονημένες καλλιέργειες [35].

Επιπροσθέτως, είναι κρίσιμης σημασίας η ακριβής και ταυτόχρονα οικονομικά αποτελεσματική παρακολούθηση της χρήσης των υδάτινων πόρων για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών [5]. Εκτός από την ποσοτικοποίηση της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται για την άρδευση καλλιεργειών, η ποσοτικοποίηση της εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration) - η διαδικασία με την οποία το νερό μεταφέρεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης από το έδαφος και άλλες επιφάνειες και της διαπνοής των φυτών - από τις αρδούμενες καλλιέργειες είναι ζωτικής σημασίας στην διαχείριση των υδάτινων πόρων σε περιοχές που αντιμετωπίζουν λειψυδρία. Η δημιουργία χαρτών που ποσοτικοποιούν τα παραπάνω φαινόμενα, θα δώσει τη δυνατότητα στους διαχειριστές των υδάτινων πόρων (εταιρείες ύδρευσης) να κατανέμουν φρονιμότερα τα διαθέσιμα αποθέματα νερού ανάμεσα σε αγροτικές, αστικές και περιβαλλοντικές χρήσεις. Ο πραγματικός ρυθμός κατανάλωσης νερού από τη βλάστηση μπορεί να αποκλίνει σημαντικά από τους ρυθμούς της εξατμισοδιαπνοής (όπως αυτή ρυθμίζεται από τις ατμοσφαιρικές απαιτήσεις σε υδρατμούς), εξαιτίας επιδράσεων από την ξηρασία, τις ασθένειες, τα έντομα, του κύκλου ζωής των καλλιεργειών, καθώς και από την υφή του εδάφους.

Εστιάζοντας σε μια απλή δομή ερωτήματος επεξεργασίας για τον υπολογισμό των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης της βλάστησης σε σχέση με το νερό, χρησιμοποιούμε τις παρατηρήσεις θερμοκρασίας της κόμης φυλλώματος, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ποσοτικοποιήσουν την έλλειψη νερού σε μικρού και μετρίου επιπέδου καταπονημένες καλλιέργειες. Παρόμοια με τα προηγούμενα ερωτήματα επικεντρώναστε εκ νέου στις περιοχές στις οποίες έχει ανιχνευθεί βλάστηση. Για τις περιοχές αυτές χρησιμοποιούμε την πληροφορία που παρέχει ο θερμικός αισθητήρας TIRS του δορυφόρου Landsat 8. Για πρακτικούς λόγους αλλά και για είναι δυνατή η εποπτική απεικόνιση του αποτελέσματος του ερωτήματος, μετά την μετατροπή των καταγεγραμμένων από τον αισθητήρα θερμοκρασιών (at-satellite brightness temperature) σε βαθμούς της κλίμακας Κελσίου, οι τιμές της θερμοκρασίας ανά pixel κατανέμονται σε μη επικαλυπτόμενα διαστήματα ανάλογα με την τιμή τους σε σχέση με τις τιμές κατωφλίσωσης (έστω ws_1 , ws_2 , κ.ο.κ) που έχουν επιλεγεί για το σκοπό αυτό. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία μιας αρδούμενης καλλιεργήσιμης έκτασης τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα η έκταση αυτή να είναι καταπονημένη σε σχέση με το νερό. Παρόμοια με τα προηγούμενα

ερωτήματα, το αποτέλεσμα είναι ένας τεχνητός χρωματικός χάρτης ο οποίος απεικονίζει την πληροφορία που αφορά τη θερμοκρασία της κόμης φυλλώματος και τη σχετιζόμενη με αυτή καταπόνηση της βλάστησης σε σχέση με το νερό.

Ακολουθεί ο κώδικας του υλοποιημένου WCPS ερωτήματος για τον υπολογισμό της καταπόνησης της βλάστησης σε σχέση με το νερό:

```
// Ερώτημα
// Υπολογισμός του στρες της βλάστησης σε σχέση με το νερό

for c in (L8_im_path_row_thermal), d in (L8_im_path_row) return encode
(trim(struct {
red : (char)
(((d.nir - d.red)/(d.nir + d.red )) <= 0.7) * 1) +
(((d.nir - d.red)/(d.nir + d.red )) > 0.7) *
(((c.tirs1 - 273.15) < ws1) * 54) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws1) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws2) * 78) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws2) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws3) * 111) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws3) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws4) * 76) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws4) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws5) * 125) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws5) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws6) * 114) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws6) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws7) * 38) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws7) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws8) * 38) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws8) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws9) * 3) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws9) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws10) * 1) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws10) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws11) * 179) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws11) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws12) * 255) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws12) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws13) * 242) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws13) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws14) * 250) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws14) * ((c.tirs1 - 273.15) < ws15) * 247) +
(((c.tirs1 - 273.15) >= ws15) * 255));
green : (char)
    ..similar..

blue : (char)
    ..similar..

}, x(low:high), y(low:high)), "png")
```

Κεφάλαιο 5

Υλοποίηση

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος, με βάση τη μελέτη που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά παρουσιάζονται τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν. Έπειτα, παρουσιάζονται πληροφορίες που αφορούν τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία από το δορυφόρο Landsat 8. Τέλος, δίνονται οι λεπτομέρειες υλοποίησης για τους βασικούς αλγορίθμους του Web Client του RemoteAgri WebGIS συστήματος καθώς και η δομή του κώδικα.

5.1 Πλατφόρμες και Προγραμματιστικά Εργαλεία

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι πλατφόρμες και τα διάφορα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη του *RemoteAgri* WebGIS συστήματος. Μαζί με τις πληροφορίες που αφορούν το κάθε εργαλείο παρέχεται και μια σύντομη αναφορά για το που χρησιμοποιήθηκε και τι ρόλο έχει η κάθε συνιστώσα στη ρύθμιση και τη λειτουργία του συστήματος.

5.1.1 PostgreSQL

Η PostgreSQL ¹ αποτελεί ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων που μπορεί να διαχειριστεί τόσο αντικείμενα όσο και σχεσιακά δεδομένα (ORDBMS). Διανέμεται υπό την άδεια BSD και αποτελεί ελεύθερο λογισμικό το οποίο αναπτύσσεται από μία παγκόσμια κοινότητα προγραμματιστών και εταιριών. Έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού C, ενώ μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιαδήποτε πλατφόρμα λειτουργικού συστήματος. Παρέχει επίσης τη δυνατότητα συγγραφής προγραμμάτων όχι μόνο στη γλώσσα ερωτημάτων SQL αλλά και στη γλώσσα PL/pgSQL η οποία αποτελεί μία διαδικαστική γλώσσα και προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας προγραμμάτων με επαναληπτικούς βρόχους και άλλες δομές ελέγχου ροής, δυνατότητες που δεν υπάρχουν στη γλώσσα SQL. Η PostgreSQL διαθέτει προγραμματιστικές διεπαφές για γλώσσες όπως είναι οι C/C++, Java, .Net, Perl, Python, Ruby, Tcl, PHP, κ.α. Η διαχείριση της βάσης δεδομένων γίνεται είτε μέσω του εργαλείου

¹www.postgresql.org

pgAdmin, είτε με την χρήση εφαρμογών τρίτων όπως είναι οι PgAccess, PhpPgAdmin, είτε μέσω τερματικού από πιο έμπειρους χρήστες.

Στο σύστημα *RemoteAgri*, το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων PostgreSQL χρησιμοποιείται σε δύο βασικά σημεία. Το πρώτο σημείο αφορά το Array DBMS που χρησιμοποιήθηκε για τη διαχείριση των τηλεπισκοπικών δεδομένων από την εφαρμογή μας, δηλαδή το σύστημα rasdaman. Το rasdaman λειτουργεί πάνω από την PostgreSQL. Ότι απαιτείται για τη λειτουργία του rasdaman, τελικά αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων για την οποία είναι υπεύθυνο το λογισμικό PostgreSQL. Καθώς η εν λόγω ιδιαιτερότητα αφορά την εσωτερική λειτουργία του συστήματος rasdaman, εμείς δεν ασχοληθήκαμε περισσότερο με αυτό το σημείο πέρα από το να αρχικοποιήσουμε την απαιτούμενη από το rasdaman βάση δεδομένων.

Το δεύτερο σημείο στο οποίο χρειάστηκε η PostgreSQL αφορά τη λειτουργία του συστήματος PetaScope. Το PetaScope απαιτεί για τη λειτουργία του μια βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονται όλα τα απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος μεταδεδομένα των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Εδώ είμαστε οι κύριοι υπεύθυνοι τόσο για τη δημιουργία, όσο και το χειρισμό, την ενημέρωση και τη γενικότερη λειτουργία της βάσης δεδομένων. Το υποσύστημα αυτόματης συλλογής, αποθήκευσης και προ-επεξεργασίας των δεδομένων το οποίο περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι επιφορτισμένο με την εκτέλεση ερωτημάτων ενημέρωσης της βάσης δεδομένων PostgreSQL του συστήματος PetaScope ώστε αυτό να μπορεί να παρέχει τις υπηρεσίες του στους χρήστες.

5.1.2 Rasdaman

Το rasdaman² είναι μια υλοποίηση πινακοποιημένου μοντέλου βάσης δεδομένων που επεκτείνει τις κλασικές σχεσιακές βάσεις δεδομένων, όπως η PostgreSQL, ώστε να αποθηκεύουν και να βοηθούν στην ανάκτηση πολυδιάστατων πινακοποιημένων δεδομένων χωρίς περιορισμό στις διαστάσεις. Τα δεδομένα αποθηκεύονται και ανακτώνται με τη χρήση μιας γλώσσας ερωτημάτων τύπου SQL, με ισχυρή βελτιστοποίηση στην μεριά του εξυπηρετητή. Μέσω της διεπαφής PetaScope υποστηρίζονται τα πρότυπα του OGC WCS, WCPS και WPS. Υπάρχουν επίσης προγραμματιστικές διεπαφές για τις γλώσσες προγραμματισμού C++ και Java, επιπρόσθετα από την εγγενή γλώσσα ερωτημάτων του rasdaman. Το rasdaman παρέχει μια ευέλικτη, γρήγορη και κλιμακωτή βάση εικονιστικών δεδομένων που επιτρέπει την πλοήγηση, εξαγωγή, ομαδοποίηση και χωροχρονική ανάλυση δεδομένων από δέκτες, εικόνες και στατιστικά στοιχεία. Τα βασικά χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

- Υποστήριξη πολυδιάστατης τεχνολογίας - από 1-D έως 2-D, 3-D, 4-D και περισσότερες διαστάσεις.
- Ισχυρή, ευέλικτη γλώσσα ερωτημάτων τύπου SQL, που επιτρέπει πράξεις ταξινόμησης, συνέλιξης, συσχέτισης και πολλές ακόμα χωρικές λειτουργίες.
- Χωρικά ευρετήρια για γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα.

²www.rasdaman.org

- Μετάδοση τετραγωνιδίων για κλιμακωτές και βελτιστοποιημένες επιδόσεις σε μέτρια υπολογιστικά συστήματα από πλευράς υλικού.
- Υποστήριξη πολλών χρηστών μέσω διασύνδεσης εξυπηρετητών.
- Πλήρης ολοκλήρωση πληροφοριών των εικονιστικών δεδομένων με άλλα γεωγραφικά δεδομένα στην βάση δεδομένων PostgreSQL.
- Πρόσβαση σε επίπεδα εικονιστικής πληροφορίας μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών συμβατών με τα πρότυπα του OGC.

Όπως έχει παρουσιασθεί αναλυτικά σε προηγούμενα κεφάλαια, το *rasdaman* αποτελεί τον πυρήνα της υλοποίησης μας και χρησιμοποιείται για την αποτελεσματική αποθήκευση, διαχείριση και online επεξεργασία μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων για αγροτικές εφαρμογές.

5.1.3 OpenLayers

Το OpenLayers³ είναι μία βιβλιοθήκη της γλώσσας προγραμματισμού JavaScript, η οποία διευκολύνει τους προγραμματιστές διαδικτυακών εφαρμογών να ενσωματώσουν στις σελίδες τους δυναμικούς χάρτες, από μια πληθώρα πηγών δεδομένων. Το OpenLayers παρέχει ένα επεκτάσιμο σύνολο χαρτογραφικών εργαλείων και παραθύρων, παρόμοια με το Google Maps API. Όλη η λειτουργικότητα εκτελείται στον περιηγητή, κάτι το οποίο καθιστά το OpenLayers πολύ εύκολο στην εγκατάσταση, χωρίς καθόλου εξάρτηση από τον εξυπηρετητή. Είναι εύκολο στη χρήση μέσω προγραμματιστικών διεπαφών Javascript, σχεδιασμένο να κάνει τον προγραμματισμό εύκολο, ενώ υποστηρίζει διαδεδομένα και καθιερωμένα πρωτόκολλα για επικοινωνία με εξυπηρετητές. Περιλαμβάνει εργαλεία για τη δημιουργία γραφικών διεπαφών με ευκολία και προσφέρει υποστήριξη εμφάνισης δεδομένων στον περιηγητή (με τη χρήση προτύπων SVG, VML ή τεχνολογιών Canvas), υποστηρίζοντας την ανάπτυξη σύνθετων χαρτών μέσα στον περιηγητή. Σημαντική είναι επίσης η δυνατότητα φόρτωσης επίπεδων χαρτών από οποιαδήποτε πηγή όπως OpenStreetMap, Google, Bing, Yahoo και μέσω προτύπων του OGC όπως WMS, WMTS, WFS-T, GeoRS, GML. Έχει τη δυνατότητα να προσπελάσει διανυσματικά δεδομένα και μεταδεδομένα σε οποιοδήποτε πρότυπο, όπως GeoJSON, KML, SLD, GeoRSS. Τέλος, υπάρχει υποστήριξη για φορητές συσκευές με έμφαση στις συσκευές αφής. Παρακάτω (σχήμα 5.1) παρουσιάζεται ένα screenshot μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία χρησιμοποιεί το OpenLayers για την προβολή του κεντρικού χάρτη και των διάφορων επιθεμάτων.

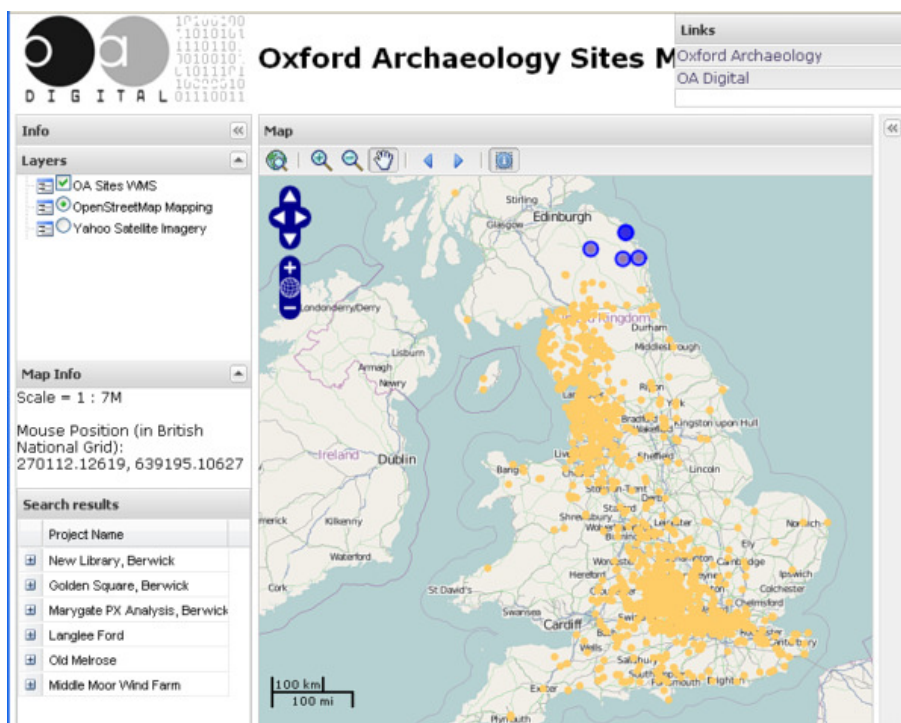
Όσον αναφορά στο σύστημα RemoteAgri, το OpenLayers χρησιμοποιείται για τον ορισμό των διάφορων υποβάθρων χαρτών, το χειρισμό των διάφορων συμβάντων (event handling) με τα οποία καθορίζεται η αλληλεπίδραση με το χρήστη, όπως επίσης και για την προβολή των αποτελεσμάτων μέσω της ιδιότητας που προσφέρει το OpenLayers για την προβολή γεωαναφερμένων εικόνων ως επιθέματα πάνω από ένα βασικό υπόβαθρο χάρτη.

³<http://openlayers.org>

5.1.4 GeoExt

Το GeoExt ⁴, είναι μία βιβλιοθήκη της γλώσσας προγραμματισμού JavaScript, η οποία συνδυάζει τη λειτουργικότητα του OpenLayers και της βιβλιοθήκης ExtJs. Έχει δημιουργηθεί έτσι ώστε να προσφέρει ένα φιλικό και εύχρηστο περιβάλλον διεπαφής προς τον τελικό χρήστη, για το χειρισμό διαδικτυακών γεωχωρικών εφαρμογών. Χαρακτηρίζεται επίσης και ως "εργαλειοθήκη" για ισχυρές γεωχωρικές εφαρμογές.

Με τη βοήθεια του GeoExt δημιουργήθηκε ολόκληρη η γραφική διεπιφάνεια του Web Client του συστήματος RemoteAgri. Από τα αναδιπλούμενα μενού επιλογής υποβάθρων χαρτών, των χαρτών των αποτελεσμάτων και των υπομνημάτων έως τη γραμμή εργαλείων. Όλα αυτά δημιουργήθηκαν σχετικά εύκολα, με λίγες γραμμές καθαρού και ευανάγνωστου κώδικα χάριν των ιδιοτήτων του GeoExt. Αυτό είναι ένα πάρα πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο βοηθάει στην ευκολία συντήρησης και επέκτασης του συστήματος. Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ένα screenshot μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία χρησιμοποιεί το GeoExt για τη δημιουργία των μενού και τη διαχείριση της διεπαφής με το χρήστη.



Σχήμα 5.1: Screenshot Web εφαρμογής η οποία χρησιμοποιεί το OpenLayers και το GeoExt.

5.1.5 Apache HTTP Server

Ο Apache HTTP Server ⁵ γνωστός και απλά σαν Apache είναι ένας εξυπηρετητής του παγκόσμιου ιστού (web). Όποτε ένας χρήστης επισκέπτεται ένα ιστότοπο το πρόγραμμα πλο-

⁴<http://geoext.org>

⁵<http://d.apache.org>

ήγησης (browser) επικοινωνεί με έναν διακομιστή (server) μέσω του πρωτοκόλλου HTTP, ο οποίος παράγει τις ιστοσελίδες και τις αποστέλλει στο πρόγραμμα πλοήγησης. Ο Apache είναι ένας από τους δημοφιλέστερους εξυπηρετητές ιστού, εν μέρει γιατί λειτουργεί σε διάφορες πλατφόρμες όπως τα Windows, το Linux, το Unix και το Mac OS X. Κυκλοφόρησε υπό την άδεια λογισμικού Apache και είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Συντηρείται από μια κοινότητα ανοιχτού κώδικα με επιτήρηση από το Ίδρυμα Λογισμικού Apache (Apache Software Foundation).

Ο Apache χρησιμοποιείται και σε τοπικά δίκτυα σαν διακομιστής συνεργαζόμενος με συστήματα διαχείρισης Βάσης Δεδομένων π.χ. Oracle, MySQL.

Η πρώτη του έκδοση βασίστηκε στον NCSA HTTPd server, δημιουργήθηκε από τον Robert McCool και κυκλοφόρησε το 1993. Θεωρείται ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αρχική επέκταση του παγκόσμιου ιστού. Ήταν η πρώτη βιώσιμη εναλλακτική επιλογή που παρουσιάστηκε απέναντι στον εξυπηρετητή http της εταιρείας Netscape και από τότε έχει εξελιχθεί στο σημείο να ανταγωνίζεται άλλους εξυπηρετητές βασισμένους στο Unix σε λειτουργικότητα και απόδοση. Από τον Ιούνιο του 2013 έχει υπολογιστεί ότι Apache εξυπηρετεί το 54.2% όλων των ενεργών ιστοσελίδων και το 53.3% των κορυφαίων server κατά μήκος όλων των domain του συστήματος ονοματοδοσίας DNS.

Ο Apache υποστηρίζει μια ποικιλία χαρακτηριστικών (features), πολλά από τα οποία έχουν υλοποιηθεί σαν μεταγλωττισμένα τμήματα λογισμικού (compiled modules) τα οποία και επεκτείνουν τη βασική του λειτουργικότητα. Οι επεκτάσεις απλώνονται από την υποστήριξη server-side γλωσσών προγραμματισμού έως την υποστήριξη συστημάτων ελέγχου ταυτότητας. Μερικές κοινές διεπαφές για γλώσσες προγραμματισμού υποστηρίζουν τις γλώσσες Perl, Python, Tcl και PHP. Η υλοποίηση της εικονικής φιλοξενίας (Virtual hosting) επιτρέπει σε μία εγκατάσταση του λογισμικού Apache σε ένα μόνο server, την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών διαφορετικών ιστοσελίδων.

Ο Apache ήταν ο Web Server που χρησιμοποιήθηκε για την εξυπηρέτηση του Web Client του συστήματος RemoteAgri. Η εύκολη εγκατάσταση, ρύθμιση και τελικά δημοσίευση της ιστοσελίδας μας αποτελέσαν συνέπειες των ιδιοτήτων του Apache, ο οποίος απροβλημάτιστα εξυπηρετεί την ιστοσελίδα του συστήματος από την αρχή της ανάπτυξής της έως και σήμερα.

5.1.6 Apache Tomcat

Ο Apache Tomcat ⁶, γνωστός απλά και σαν Tomcat είναι ένας ανοιχτού κώδικα web server και servlet container ο οποίος έχει αναπτυχθεί από το Ίδρυμα Λογισμικού Apache (Apache Software Foundation). Ο Tomcat υλοποιεί τις προδιαγραφές της εταιρείας Sun Microsystems για τα Java servlets και τις σελίδες Java Server Pages (JSP) με συνέπεια να παρέχει ένα "αγνό" (pure) Java HTTP web server περιβάλλον στο οποίο ο κώδικας των Java εφαρμογών μπορεί να τρέξει. Στην πιο απλή ρύθμισή του, ο Tomcat τρέχει σαν μια μεμονωμένη διεργασία λειτουργικού συστήματος. Η διεργασία τρέχει σε μια εικονική μηχανή Java (Java virtual machine (JVM)). Κάθε μεμονωμένο HTTP αίτημα από ένα περιηγητή

⁶tomcat.apache.org

ιστού προς ένα server Tomcat, γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από μία διεργασία του server Tomcat σε ένα ξεχωριστό νήμα επεξεργασίας (thread). Ο Apache Tomcat περιέχει εργαλεία για τη ρύθμιση και τη διαχείρισή του, αλλά είναι επίσης δυνατόν να ρυθμιστεί και μέσω της επεξεργασίας XML αρχείων τα οποία έχουν γραφτεί ειδικά για αυτό το σκοπό.

Στο σύστημά μας, ο servlet container Apache Tomcat χρησιμοποιείται για τη φιλοξενία (hosting) του πακέτου Java servlets, του PetaScope, το οποίο είναι υπεύθυνο για την παραλαβή των WCPS ερωτημάτων επεξεργασίας των χρηστών και τη μεταβίβασή τους στο rasdaman.

5.1.7 GDAL/OGR

Η GDAL/OGR ⁷ είναι μία βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα, η οποία παρέχει εργαλεία για την μετατροπή και επεξεργασία μεγάλης ποικιλίας διανυσματικών και πινακοποιημένων (raster) τυποποιήσεων αρχείων γεωχωρικών δεδομένων (format). Είναι η πλέον διαδεδομένη βιβλιοθήκη διαχείρισης γεωχωρικών δεδομένων και λειτουργεί σαν μηχανή πρόσβασης στα δεδομένα σε πολλά γνωστά λογισμικά όπως το MapServer, το GRASS ή το QGIS. Παρέχει εργαλεία γραμμής εντολών για την μετατροπή, τον γεωμετρικό μετασχηματισμό, την τεμαχιοποίηση και πολλές άλλες εργασίες. Υποστηρίζει εξαιρετικά μεγάλα αρχεία μεγαλύτερα των 4GB ενώ παρέχει προγραμματιστικές διεπαφές για τις γλώσσες Python, Java, C#, Ruby, VB6 και Perl. Τέλος περιέχει την μηχανή γεωγραφικού γεωδαιτικού συστήματος PROJ.4 και OGC με υποστήριξη σε πολλά συστήματα. Η GDAL υποστηρίζει περισσότερες από 50 πινακοποιημένες τυποποιήσεις όπως GeoTIFF, Erdas Imagine, SDTS, ESRI Grids και η OGR περισσότερες από 20 διανυσματικές όπως Mapinfo, ESRI Shapefile, ESRI Coverages. Διανέμεται υπό την άδεια X/MIT.

Χρησιμοποιήσαμε την βιβλιοθήκη GDAL μέσω των διεπαφών της για τη γλώσσα προγραμματισμού Python στο υποσύστημα προ-επεξεργασίας των δεδομένων. Με τη βοήθεια της διαβάζουμε σε ελάχιστες γραμμές κώδικα, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που προέρχονται από το δορυφόρο Landsat8 και έχουν τη μορφή GeoTIFF, τα επεξεργαζόμαστε και τα αποθηκεύουμε σε νέα GeoTIFF αρχεία κατάλληλα για αποθήκευση στο σύστημα rasdaman και για επεξεργασία από τους χρήστες.

5.1.8 PHP

Η PHP ⁸ είναι μια server-side scripting γλώσσα προγραμματισμού σχεδιασμένη για την ανάπτυξη web εφαρμογών, αλλά που χρησιμοποιείται και όπως μια γενικού σκοπού (general-purpose) γλώσσα προγραμματισμού. Η PHP αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται από τις περισσότερες ιστοσελίδες και είναι εγκατεστημένη στους περισσότερους web servers. Ο κώδικας των προγραμμάτων που είναι γραμμένα στην PHP μπορεί να ενσωματωθεί στον κώδικα HTML των ιστοσελίδων ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με διάφορες μηχανές προτυποποίησης (templating engines) και διαδικτυακά πλαίσια (web frameworks). Ο κώδικας PHP

⁷ www.gdal.org

⁸ www.php.net

συνήθως γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από έναν διερμηνευτή της γλώσσας PHP, ο οποίος υλοποιείται είτε σαν ένα τμήμα λογισμικού (module) του εκάστοτε web server είτε σαν ένα εκτελέσιμο της μορφής CGI (Common Gateway Interface). Αφού ο PHP κώδικας μιας ιστοσελίδας διερμηνευτεί και εκτελεστεί, ο web server στέλνει την έξοδο του προγράμματος στον πελάτη, συνήθως ως ένα μέρος της παραγόμενης ιστοσελίδας. Η PHP έχει επίσης εξελιχθεί ώστε να δίνει τη δυνατότητα μιας διεπαφής γραμμής εντολών (command-line interface (CLI)) με συνέπεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα σε διάφορες εφαρμογές γραφικών. Η PHP είναι ελεύθερο λογισμικό/λογισμικό ανοιχτού κώδικα το οποίο και διανέμεται υπό την άδεια PHP License. Η PHP είναι πλήρως μεταφέρσιμη και μπορεί να εγκατασταθεί σχεδόν σε όλους τους web servers και σε οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα.

Στο Web Client του συστήματος RemoteAgri, η PHP χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη ενός server side script το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο στα μεταδεδομένα των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Όταν ένας χρήστης καθορίσει μια περιοχή ενδιαφέροντος, οι συντεταγμένες που την καθορίζουν στέλνονται ασύγχρονα σε ένα PHP script ώστε αυτό να ελέγξει μέσω μιας αναζήτησης στα μεταδεδομένα των δεδομένων τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων, αν η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτεται από τα αποθηκευμένα στο σύστημα τηλεπισκοπικά δεδομένα και στη συνέχεια να επιστρέψει στον πελάτη το αποτέλεσμα. Αν η περιοχή καλύπτεται από τα αποθηκευμένα δεδομένα επιστρέφονται στον πελάτη όλες οι εικόνες που καλύπτουν την περιοχή. Σε αντίθετη περίπτωση ο πελάτης ενημερώνεται για την αδυναμία κάλυψης.

5.1.9 HTML/CSS

Η HTML (HyperText Markup Language) είναι η κύρια γλώσσα σήμανσης για τις ιστοσελίδες και τα στοιχεία της, είναι τα βασικά δομικά μέρη των ιστοσελίδων. Γράφεται υπό μορφή στοιχείων, τα οποία αποτελούνται από ετικέτες (tags), οι οποίες περιλαμβάνονται μέσα σε σύμβολα "μεγαλύτερο από" και "μικρότερο από" (<html>), στο περιεχόμενο της ιστοσελίδας. Οι ετικέτες HTML συνήθως λειτουργούν ανά ζεύγη (<h1> και </h1>), με την πρώτη να ονομάζεται ετικέτα έναρξης και τη δεύτερη ετικέτα λήξης. Ανάμεσα στις ετικέτες, οι σχεδιαστές ιστοσελίδων μπορούν να τοποθετήσουν κείμενο, πίνακες, εικόνες κλπ. Ο σκοπός ενός περιηγητή, είναι να διαβάσει τα έγγραφα HTML και τα συνθέτει σελίδες που μπορεί κανείς να διαβάσει ή να ακούσει. Ο περιηγητής, δεν εμφανίζει τις ετικέτες HTML, αλλά τις χρησιμοποιεί για να ερμηνεύσει το περιεχόμενο της σελίδας. Η HTML επιτρέπει την ενσωμάτωση εικόνων και άλλων αντικειμένων μέσα στη σελίδα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εμφανίσει διαδραστικές φόρμες. Παρέχει μεθόδους δημιουργίας δομημένων εγγράφων, καθορίζοντας, σημαντικά στοιχεία για το κείμενο, όπως επικεφαλίδες, παραγράφους, λίστες, συνδέσμους, παραθέσεις και άλλα. Μπορούν επίσης να ενσωματώνονται σενάρια εντολών, σε γλώσσες όπως η JavaScript, τα οποία επηρεάζουν τη συμπεριφορά των ιστοσελίδων HTML.

Η CSS (Cascading Style Sheets) είναι μια γλώσσα που ανήκει στην κατηγορία των γλωσσών φύλλων στυλ και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της εμφάνισης ενός εγγράφου που έχει γραφτεί με μια γλώσσα σήμανσης. Χρησιμοποιείται δηλαδή για τον έλεγχο της εμφάνισης

ενός εγγράφου που γράφτηκε στην γλώσσα HTML. Η CSS προορίζεται για να αναπτύσσει το στυλ μιας ιστοσελίδας, διαμορφώνοντας χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, η στοίχιση δίνοντας περισσότερες δυνατότητες σε σχέση με την HTML. Για μια όμορφη και καλοσχεδιασμένη ιστοσελίδα η χρήση της CSS κρίνεται απαραίτητη. Ο οργανισμός W3C, ο οποίος δημιουργεί και συντηρεί τα πρότυπα για την HTML και τα CSS, ενθαρρύνει τη χρήση των CSS αντί για τα αντίστοιχα στοιχεία της HTML, για σκοπούς παρουσίασης του περιεχομένου.

Ο Web Client του συστήματος RemoteAgri χρησιμοποιεί για το σχεδιασμό και τη λειτουργία του και τις δύο αυτές γλώσσες. Είτε με απευθείας προγραμματισμό σε HTML/CSS, είτε μέσω του κώδικα Javascript ο οποίος δημιουργεί στοιχεία HTML για προβολή διάφορων χαρακτηριστικών στους χρήστες, είτε μέσω της βιβλιοθήκης GeoExt η οποία χρησιμοποιεί τις HTML/CSS για να ρυθμίσει τα χαρακτηριστικά της βασικής διεπαφής της ιστοσελίδας με το χρήστη.

5.1.10 Javascript

Η JavaScript, είναι η διερμηνευμένη γλώσσα προγραμματισμού που "τρέχουν" οι περιηγητές ιστού. Τα σενάρια που προκύπτουν από τη γλώσσα λειτουργούν στην πλευρά του πελάτη και μπορούν να επικοινωνούν με το χρήστη, να ανταλλάσσουν δεδομένα ασύγχρονα και να αλλάξουν δυναμικά το περιεχόμενο του εγγράφου που εμφανίζεται. Ο κώδικας JavaScript μιας σελίδας, περιλαμβάνεται στον αντίστοιχο κώδικα της HTML, είτε σαν σύνδεσμος με τη διεύθυνση του αρχείου του κώδικα της JavaScript, είτε με τη συγγραφή του κώδικα μέσα στο HTML αρχείο.

Για την ασύγχρονη επικοινωνία του πελάτη με κάποιο χρήστη χρησιμοποιείται μια τεχνολογία που είναι γνωστή με το όνομα Ajax. Η τεχνολογία αυτή συνήθως γίνεται διαθέσιμη μέσω σεναρίων γραμμένων στη γλώσσα προγραμματισμού JavaScript. Το Ajax (Asynchronous JavaScript and XML), είναι μία ομάδα αλληλένδετων τεχνικών ανάπτυξης ιστού, που χρησιμοποιούνται από τη πλευρά του πελάτη, για να δημιουργηθούν ασύγχρονες διαδικτυακές εφαρμογές. Με το Ajax ο πελάτης σε μια εφαρμογή, μπορεί να στείλει και να λάβει δεδομένα από ένα εξυπηρετητή ασύγχρονα, χωρίς δηλαδή την ανανέωση (reload) της σελίδας ή οποιαδήποτε άλλη παρέμβαση στην εμφάνιση της. Το Ajax δεν είναι μια απλή τεχνολογία, αλλά μία ομάδα τεχνολογιών, δίνοντας διαδραστικές δυνατότητες σε μία δυναμική ιστοσελίδα, μετατρέποντας την από μία απλή ιστοσελίδα σε μια ισχυρή διαδικτυακή εφαρμογή.

Όλη η λειτουργικότητα του Web Client του συστήματος RemoteAgri βασίζεται σε κώδικα γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Javascript. Η διαχείριση, η αντιμετώπιση και η εξυπηρέτηση των ενεργειών του χρήστη, η επικοινωνία του πελάτη με το server καθώς και η παραλαβή των αποτελεσμάτων από το server επιτυγχάνονται μέσω της Javascript και των εγγενών αντικειμένων της τα οποία έχουν σχεδιαστεί και αξιοποιούνται για τη διαχείριση της ιστοσελίδας. Ειδικότερα, βασικό ρόλο παίζει η υλοποίηση της τεχνολογίας Ajax μέσω του Javascript αντικειμένου XMLHttpRequest() για την αποστολή παραμέτρων και ερωτημάτων στο server και την ασύγχρονη παραλαβή των αποτελεσμάτων.

5.1.11 JQuery

Η JQuery ⁹ είναι μια Javascript βιβλιοθήκη ανεξάρτητη πλατφόρμας (cross-platform) σχεδιασμένη να απλοποιήσει την συγγραφή client-side σεναρίων (scripts). Είναι η πιο δημοφιλής Javascript βιβλιοθήκη αυτή τη στιγμή. Η JQuery είναι ελεύθερο λογισμικό/λογισμικό ανοιχτού κώδικα το οποίο διανέμεται υπό την άδεια MIT. Η σύνταξη των σεναρίων με χρήση της JQuery καθιστά εύκολη την πλοήγηση μέσα σε ένα HTML αρχείο, την επιλογή στοιχείων του δέντρου DOM μιας ιστοσελίδας, τη δημιουργία animation, το χειρισμό συμβάντων όπως επίσης και την ανάπτυξη εφαρμογών Ajax. Η τμηματοποιημένη και αφαιρετική προσέγγιση της βιβλιοθήκης JQuery επιτρέπει τη δημιουργία πολύ ισχυρών και δυναμικών web σελίδων και εφαρμογών.

Η βιβλιοθήκη JQuery χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη διάφορων συναρτήσεων οι οποίες προσθέτουν χρήσιμη λειτουργικότητα στο περιβάλλον του Web Client του συστήματος RemoteAgri. Η δημιουργία συρόμενων (draggable) παραθύρων αποτελεσμάτων για την επικοινωνία με το χρήστη είναι ένα μόνο παράδειγμα της χρήσης της βιβλιοθήκης αυτής.

5.1.12 Python

Η Python ¹⁰ είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη, υψηλού επιπέδου, γενικού σκοπού γλώσσα προγραμματισμού. Η σχεδιαστική της φιλοσοφία δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα του κώδικα και η σύνταξή της επιτρέπει στους προγραμματιστές να εκφράσουν έννοιες με λιγότερες γραμμές κώδικα από ότι θα ήταν δυνατόν σε γλώσσες σαν τη C για παράδειγμα. Η Python προσφέρει κατασκευαστές οι οποίοι αποσκοπούν στη δημιουργία προγραμμάτων με καθαρό και ευανάγνωστο κώδικα είτε αυτά είναι προγράμματα μικρής κλίμακας είτε είναι προγράμματα μεγάλης κλίμακας. Υποστηρίζει πολλά προγραμματιστικά μοντέλα συμπεριλαμβανομένου του αντικειμενοστραφούς, του προστατικού και του συναρτησιακού προγραμματισμού. Παρέχει ένα δυναμικό σύστημα τύπων, αυτόματη διαχείριση μνήμης καθώς και μια μεγάλη και περιεκτική standard βιβλιοθήκη. Όπως συμβαίνει και με άλλες δυναμικές γλώσσες, η Python χρησιμοποιείται συχνά και ως γλώσσα γραφής σεναρίων (scripting language). Διερμηνευτές της Python είναι διαθέσιμοι για τα περισσότερα λειτουργικά συστήματα. Η CPython, η υλοποίηση αναφοράς της Python είναι ελεύθερο λογισμικό/λογισμικό ανοιχτού κώδικα και έχει ένα μοντέλο ανάπτυξης το οποίο βασίζεται σε μία κοινότητα προγραμματιστών. Την CPython διαχειρίζεται ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός Python Software Foundation και διανέμεται υπό την άδεια Python Software Foundation License.

Το μεγαλύτερο μέρος του οπίσθιου τμήματος του συστήματος RemoteAgri έχει γραφτεί στη γλώσσα προγραμματισμού Python με τη μορφή σεναρίων (Python scripts). Το υποσύστημα της αυτόματης συλλογής, αποθήκευσης και προ-επεξεργασίας των δεδομένων, όπως επίσης και το τμήμα προγράμματος που εισάγει τα δεδομένα στο rasdaman και το PetaScope είναι όλα συναρτήσεις και κλάσεις της γλώσσας Python. Οι λόγοι που επιλέχθηκε η γλώσσα Python για την υλοποίηση των παραπάνω λειτουργιών είναι η αναγνωσιμότητα του κώδικα

⁹jquery.com

¹⁰<https://www.python.org>

καθώς και το ότι απαιτούνται λίγες γραμμές κώδικα ακόμα και για την έκφραση πολύπλοκων πράξεων. Επίσης, η ύπαρξη ισχυρών και καλώς τεκμηριωμένων βιβλιοθηκών της γλώσσας αυτής διευκόλυνε σημαντικά το έργο μας. Επιπλέον, η υποστήριξη δυνατοτήτων για την εύκολη επικοινωνία με το λειτουργικό σύστημα και το σύστημα αρχείων καθώς και η εύκολη επικοινωνία και εκτέλεση ερωτημάτων σε βάσεις δεδομένων ήταν βασικοί παράγοντες οι οποίοι συνέβαλαν στην απόφασή μας να υλοποιήσουμε μεγάλο μέρος του συστήματος RemoteAgri στη γλώσσα αυτή.

5.1.13 Debian GNU/Linux

Το Debian ¹¹ είναι ένα λειτουργικό σύστημα το οποίο αποτελείται εξολοκλήρου από ελεύθερο λογισμικό/λογισμικό ανοιχτού κώδικα, διανέμεται υπό την άδεια GNU General Public License και αναπτύσσεται από τη συνεργασία εθελοντών μέσω του διαδικτύου οι οποίοι είναι ευθυγραμμισμένοι με το έργο "The Debian Project". Το Debian είναι από τις πιο δημοφιλείς διανομές που χρησιμοποιούν τον πυρήνα λειτουργικού συστήματος Linux, είτε για χρήση σε προσωπικούς υπολογιστές είτε για χρήση σε μεγάλους servers. Επίσης έχει αποτελέσει τη βάση για πολλές άλλες διανομές Linux. Το Debian δίνει τη δυνατότητα για πρόσβαση σε αποθετήρια λογισμικού (software repositories) ώστε να είναι δυνατόν κάθε χρήστης να χρησιμοποιήσει όποιο λογισμικό εφαρμογών χρειάζεται και καλύπτει τις ανάγκες του. Υποστηρίζει τις περισσότερες από τις γνωστές αρχιτεκτονικές υλικού και τρέχει και σε μηχανήματα 32 και σε μηχανήματα 64 bit.

Το λειτουργικό σύστημα Debian επιλέχθηκε ως το λειτουργικό σύστημα το οποίο εγκαταστάθηκε στο server ο οποίος εξυπηρετεί το σύστημα RemoteAgri. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί το λειτουργικό Debian πέρα από τις πολλές δυνατότητες που προσφέρει είναι πολύ εύκολο να εγκατασταθεί και να ρυθμιστεί. Επίσης, όχι μόνο υποστηρίζει όλα εκείνα τα πακέτα λογισμικού τα οποία ήταν αναγκαία να χρησιμοποιηθούν τόσο για την ανάπτυξη όσο και για τη λειτουργία του συστήματος RemoteAgri, αλλά στο Debian η εγκατάσταση, ρύθμιση και διαχείριση των απαιτούμενων πακέτων λογισμικού είναι μια εύκολη και καλώς τεκμηριωμένη διαδικασία κάτι το οποίο δεν ισχύει για άλλα λειτουργικά συστήματα. Επιπροσθέτως, λόγω του γεγονότος ότι το Debian είναι από τα πιο δημοφιλή συστήματα λογισμικού καθίσταται εύκολη η αντιμετώπιση διάφορων προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη λειτουργία ενός server καθώς υπάρχει μια πολύ μεγάλη κοινότητα στο διαδίκτυο έτοιμη ανά πάσα στιγμή να βοηθήσει στην επίλυσή τους και να συνεισφέρει με τις γνώσεις της. Επομένως για τους λόγους της απόδοσης, της αποτελεσματικότητας, της ευκολίας στην εγκατάσταση, τη ρύθμιση και τη διαχείριση, όπως επίσης και για τη δυνατότητα υποστήριξης και επίλυσης προβλημάτων, το Debian λογικά αποτέλεσε το λειτουργικό σύστημα της επιλογής μας.

¹¹ www.debian.org

5.2 Δεδομένα και μεταδεδομένα

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στα τηλεπισκοπικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήσαμε για την πλήρωση της βάσης του συστήματος RemoteAgri. Αρχικά, θα αναφερθούμε στις πηγές των ακατέργαστων (raw) δεδομένων, τα οποία το υποσύστημα αυτόματης συλλογής συλλέγει και στη συνέχεια θα περιγράψουμε τους αλγορίθμους εκείνους που δομούν την προ-επεξεργασία των δεδομένων ώστε αυτά να αποκτήσουν μορφή κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία και εκτέλεση ερωτημάτων παρακολούθησης καλλιεργειών πάνω σε αυτά.

5.2.1 Πηγές δεδομένων

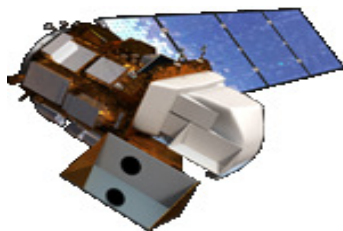
Οι πηγές για τα δεδομένα του συστήματος RemoteAgri μπορούν να είναι οποιασδήποτε μορφής. Μπορούν δηλαδή να προέρχονται από αισθητήρες σε αεροπλάνα, σε δορυφόρους και σε μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (UAV). Η βασική προϋπόθεση για την επιλογή τους είναι να διανέμονται ελεύθερα -δηλαδή να είναι ανοικτά δεδομένα- ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία ανοικτών εφαρμογών γεωχωρικών δεδομένων. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι και η χωρική ανάλυση των δεδομένων. Χρειαζόμαστε ελεύθερα δεδομένα καλής χωρικής ανάλυσης ώστε τα αποτελέσματά μας να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβή και να έχουν πρακτική αξία σε επιστήμονες, γεωπόνους και καλλιεργητές. Την τρέχουσα χρονική περίοδο τις παραπάνω απαιτήσεις πληρούν τα δεδομένα που συλλέγει ο δορυφόρος Landsat 8 και για το λόγο αυτό επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε δεδομένα από αυτό το δορυφόρο για την υλοποίηση του συστήματος RemoteAgri. Σύντομα, η Ευρωπαϊκή αποστολή δορυφόρων EU Sentinel θα ξεκινήσει και αυτή τη συλλογή δεδομένων οπότε και θα εξετάσουμε την ενσωμάτωσή τους στο σύστημα RemoteAgri.

Ιστορικά, το πρόγραμμα Landsat αποτελεί τη, μέχρι στιγμής, μακροβιότερη επιχείρηση απόκτησης δορυφορικών εικόνων. Πρόκειται για μία σειρά δορυφόρων κινούμενων σε τροχιά γύρω από τη γη και των οποίων η λειτουργία βρίσκεται υπό την διαχείριση της NASA και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α (U.S. Geological Survey). Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 1972, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, ωστόσο η έναρξη της σχεδίασης και της κατασκευής των τριών πρώτων πολυφασματικών σαρωτών (scanners), που αργότερα θα τοποθετούνταν στους δορυφόρους, έγινε το 1969.

Μέχρι στιγμής οι δορυφόροι του προγράμματος που έχουν εκτοξευτεί είναι οι: Landsat 1 (1972-1978), Landsat 2 (1975-1981), Landsat 3 (1978-1983), Landsat 4 (1982-1993), Landsat 5 (1984-2013), Landsat 6 (1993, απέτυχε να τεθεί σε τροχιά), Landsat 7 (1999, είναι ακόμα λειτουργικός ωστόσο παρουσιάζει προβλήματα στη διόρθωση γραμμής σάρωσης (scan line corrector)), Landsat 8 - Landsat Data Continuity Mission (2013, -). Μέσω του προγράμματος αυτού, οι επιστήμονες είναι σε θέση να μελετήσουν πολλές πτυχές του πλανήτη και να αξιολογήσουν τις δυναμικές αλλαγές που προκαλούνται τόσο από φυσικά όσο και από ανθρωπογενή αίτια.

Όσον αναφορά στο πρόγραμμα Landsat 8, ο ομώνυμος δορυφόρος εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 και το προσδόκιμο ζωής του είναι τουλάχιστον τα 5 χρόνια. Όπως και στη περίπτωση του Landsat 7, η τροχιά του είναι γεωσύγχρονη, κινείται δηλαδή με την ταχύτητα

περιστροφής της γης, βρίσκεται σε ύψος περίπου 705 km, καλύπτει ολόκληρη την υδρόγειο κάθε 16 μέρες ενώ το σύστημα αναφοράς στο οποίο αποδίδονται τα δεδομένα είναι το World-wide Reference System-2 (WRS-2). Διαθέτει 2 αισθητήρες (σχήμα 5.2), τον Operation Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Scanner (TIRS). Τα προϊόντα του Landsat 8 αποτελούνται από κβαντισμένους και βαθμονομημένους ψηφιακούς αριθμούς (Digital Numbers-DN) οι οποίοι αντιπροσωπεύουν πολυφασματικά δεδομένα εικόνας τα οποία αποκτήθηκαν από τους αισθητήρες. Όπως αναφέρεται και στην ιστοσελίδα της υπηρεσίας USGS, τα προϊόντα παραδίδονται ηλεκτρονικά σε μορφή θετικών ακεραίων 16δικών ψηφίων (16bit unsigned integer). Μέσω των συντελεστών που δίνονται στο αρχείο με τα μεταδεδομένα, είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία των DN προκειμένου να δώσουν την ανακλαστικότητα (reflectance) και την ακτινοβολία (radiance) στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Top of Atmosphere-ToA), την ανακλαστικότητα στην επιφάνεια του εδάφους, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, και τέλος, τη θερμοκρασία.



Σχήμα 5.2: Ο Landsat 8 με ευδιάκριτους τους δύο αισθητήρες. (Πηγή: landsat.usgs.gov)

Ο αισθητήρας OLI περιέχει 9 φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και του παγχρωματικού, διακριτικής ικανότητας 30 και 15 μέτρων αντίστοιχα. Ο αισθητήρας TIRS αποτελείται από 2 θερμικά φασματικά κανάλια και ένα "τυφλό" το οποίο δεν λαμβάνει εικόνες της γης αλλά χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση. Τα δεδομένα του θερμικού αισθητήρα συλλέγονται στα 100m ωστόσο ανασυντίθενται στα 30m για να ταιριάζουν με τα δεδομένα του αισθητήρα OLI. Ακολουθεί πίνακας ο οποίος παρουσιάζει όλα τα κανάλια του αισθητήρα OLI:

Κανάλι	Θέση στο φάσμα (μm)	Διακριτική ικανότητα (m)
1	Coastal aerosol (0.43-0.45)	30
2	Ορατό (0.45-0.51)	30
3	Ορατό (0.53-0.59)	30
4	Ορατό (0.64-0.67)	30
5	Εγγύς Υπέρυθρο (0.85-0.88)	30
6	Μικρού μήκους κύματος υπέρυθρο 1 (1.57-1.65)	30
7	Μικρού μήκους κύματος υπέρυθρο 2 (2.11-2.29)	30
8	Παγχρωματικό PAN (0.50-0.68)	15
9	Cirrus (1.36-1.38)	30

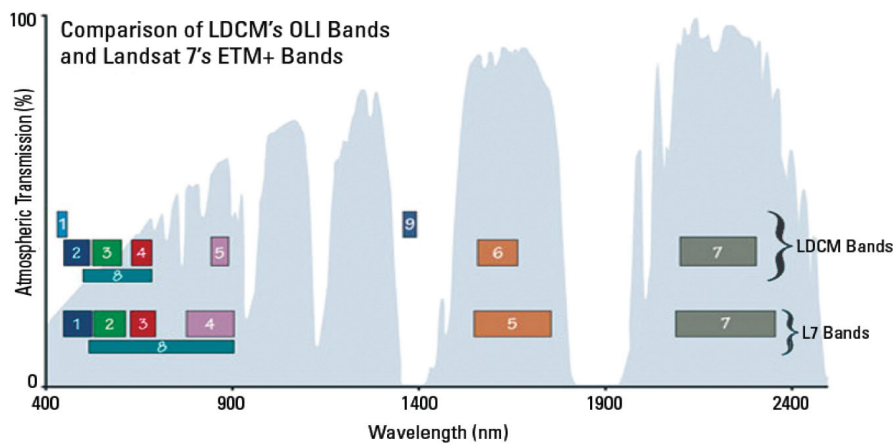
Πίνακας 5.1: Τα κανάλια του αισθητήρα OLI. (Πηγή: NASA)

Ακολουθεί πίνακας ο οποίος παρουσιάζει όλα τα κανάλια του αισθητήρα TIRS:

Κανάλι	Θέση στο φάσμα (μm)	Διακριτική ικανότητα (m)
10	Θερμικό Υπέρυθρο 1 (10.6-11.19)	100 (resampled 30m)
11	Θερμικό Υπέρυθρο 2 (11.5-12.51)	100 (resampled 30m)

Πίνακας 5.2: Τα κανάλια του αισθητήρα TIRS. (Πηγή: NASA)

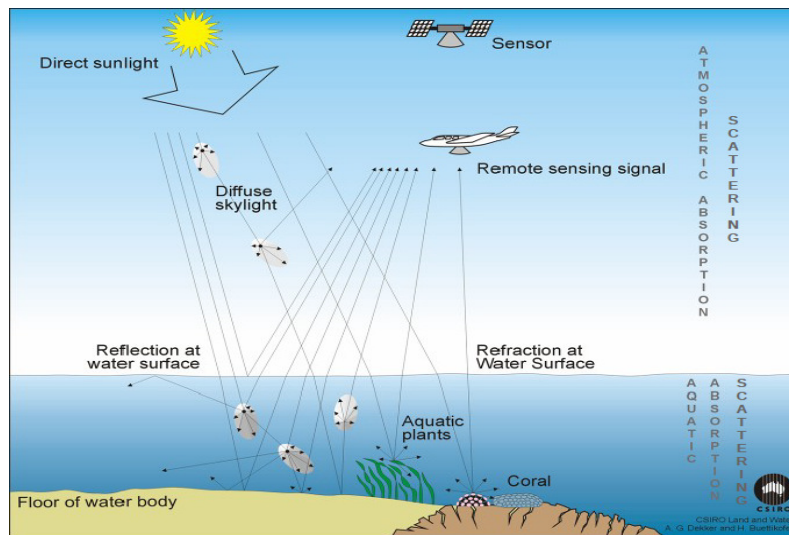
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αντιστοιχία ανάμεσα στα κανάλια των δορυφόρων Landsat 7 και 8.



Σχήμα 5.3: Αντιστοιχία ανάμεσα στα κανάλια των δορυφόρων Landsat 7 και 8. (Πηγή: NASA)

5.2.2 Επεξεργασία

Τα ακατέργαστα (raw) τηλεπισκοπικά δεδομένα τα οποία καταγράφονται από τους αισθητήρες OLI και TIRS πρέπει να περάσουν από τις διαδικασίες της ατμοσφαιρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης προκειμένου να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν από τους τελικούς χρήστες. Οι διαδικασίες αυτές έχουν εξέχουσα σημασία για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των τελικών αποτελεσμάτων, καθώς οι τιμές οι οποίες καταγράφονται στο δορυφορικό δέκτη δεν αποτελούν τις πραγματικές τιμές που εκπέμπονται από το επίγειο αντικείμενο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ανάμεσα στη γη και στο δορυφορικό δέκτη παρεμβάλλονται τα στρώματα της ατμόσφαιρας τα οποία επηρεάζουν τόσο την πορεία της ακτινοβολίας, όσο και την ενέργεια που καταγράφεται από αυτόν. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται γραφικά η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας για να γίνει πιο κατανοητή η ανάγκη για την ατμοσφαιρική και τη ραδιομετρική διόρθωση των καταγεγραμμένων δεδομένων.

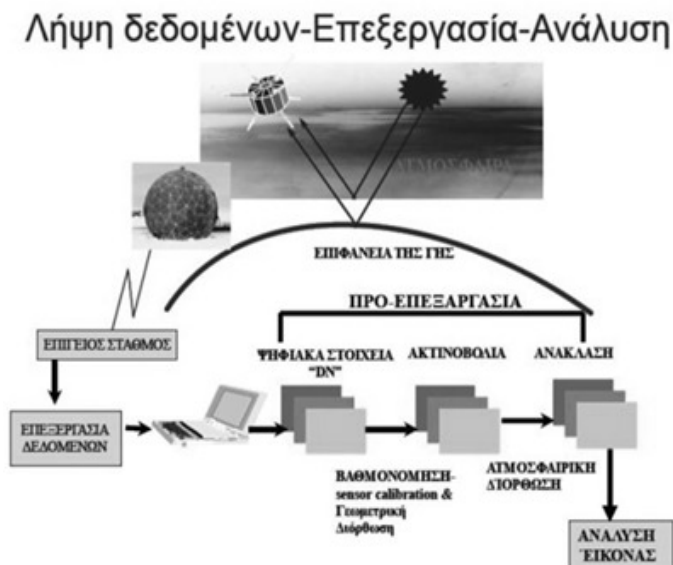


Σχήμα 5.4: Γραφική παρουσίαση της πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας. (Πηγή: SeaHARRE-5 Workshop 13-16 April 2010, Hobart, Tasmania)

Στη συνέχεια (σχήμα 5.5) παρουσιάζεται ένα γενικό διάγραμμα ροής που προέρχεται από την επιστήμη της τηλεπισκόπησης και παρουσιάζει τα βήματα από τη λήψη των τηλεπισκοπικών δεδομένων έως την επεξεργασία και τελικά την ανάλυσή τους.

Όσον αναφορά στο σύστημα RemoteAgri, για τις διαδικασίες της ατμοσφαιρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης οι οδηγίες του οργανισμού USGS (United States Geological Survey) ακολουθήθηκαν σχετικά με τη χρήση των προϊόντων¹² του δορυφόρου Landsat 8. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υποενότητα, τα προϊόντα του Landsat 8, τα οποία παρέχονται από το κέντρο EROS του οργανισμού USGS αποτελούνται από χβαντισμένους και

¹²<http://landsat.usgs.gov/Landsat8 Using Product.php>



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα Ροής Τηλεπισκόπησης. (Πηγή: Hadjimitsis, 2011)

βαθμονομημένους ψηφιακούς αριθμούς (Digital Numbers-DN) οι οποίοι αντιπροσωπεύουν πολυφασματικά δεδομένα εικόνας τα οποία αποκτήθηκαν από τους αισθητήρες OLI και TIRS. Τα προϊόντα παραδίδονται ηλεκτρονικά σε μορφή θετικών ακεραίων 16δικών ψηφίων (16bit unsigned integer). Μέσω των συντελεστών ραδιομετρικής ανασύνθεσης (radiometric rescaling coefficients) που δίνονται στο αρχείο με τα μεταδεδομένα (MTL), είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία των DN προκειμένου να δώσουν την ανακλαστικότητα (reflectance) και την ακτινοβολία (radiance) στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Top of Atmosphere-ToA) καθώς και την ανακλαστικότητα στην επιφάνεια του εδάφους, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία. Το αρχείο MTL περιέχει επίσης και τις θερμικές σταθερές οι οποίες χρειάζονται για τη μετατροπή των δεδομένων του αισθητήρα TIRS σε τιμές θερμοκρασίας.

Για την μετατροπή των δεδομένων των αισθητήρων OLI και TIRS, ανά κανάλι, στην ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$Ll = Ml \cdot Qcal + Al \quad (5.1)$$

όπου:

Ll = ΤοA φασματική ακτινοβολία (Watts/(m² * srad * μm))

Ml = Πολλαπλασιαστικός συντελεστής ανασύνθεσης από τα μεταδεδομένα εξαρτώμενος από το κανάλι.

$Qcal$ = Κβαντισμένες και βαθμονομημένες ψηφιακές τιμές των pixels του προϊόντος (DN).

Al = Προσθετικός συντελεστής ανασύνθεσης από τα μεταδεδομένα εξαρτώμενος από το κανάλι.

Για την μετατροπή των τιμών DN στην ΤοA ανακλαστικότητα για τα δεδομένα του αισθη-

τήρα OLI, ανά κανάλι, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$rl' = Mr \cdot Qcal + Ar \quad (5.2)$$

όπου:

rl' = ΤοA πλανητική ανακλαστικότητα, χωρίς διόρθωση για τη γωνία του ήλιου.

Mr = Πολλαπλασιαστικός συντελεστής ανασύνθεσης από τα μεταδεδομένα εξαρτώμενος από το κανάλι.

Ar = Προσθετικός συντελεστής ανασύνθεσης από τα μεταδεδομένα εξαρτώμενος από το κανάλι.

$Qcal$ = Κβαντισμένες και βαθμονομημένες ψηφιακές τιμές των pixels του προϊόντος (DN).

Η ΤοA ανακλαστικότητα με διόρθωση για τη γωνία του ήλιου είναι τότε:

$$rl = \frac{rl'}{\sin(fse)} \quad (5.3)$$

όπου:

rl = ΤοA πλανητική ανακλαστικότητα.

fse = Τοπική γωνία ηλιακής ανύψωσης (sun elevation). Η ηλιακή γωνία ανύψωσης στο κέντρο της εικόνας, σε μοίρες, παρέχεται στα μεταδεδομένα.

Για τη μετατροπή από τη φασματική ακτινοβολία του αισθητήρα TIRS σε θερμοκρασία στο δορυφόρο, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{Ll} + 1\right)} \quad (5.4)$$

όπου:

T = Θερμοκρασία λάμψης στο δορυφόρο (K).

Ll = ΤοA φασματική ακτινοβολία (Watts/(m² * srad * μm)).

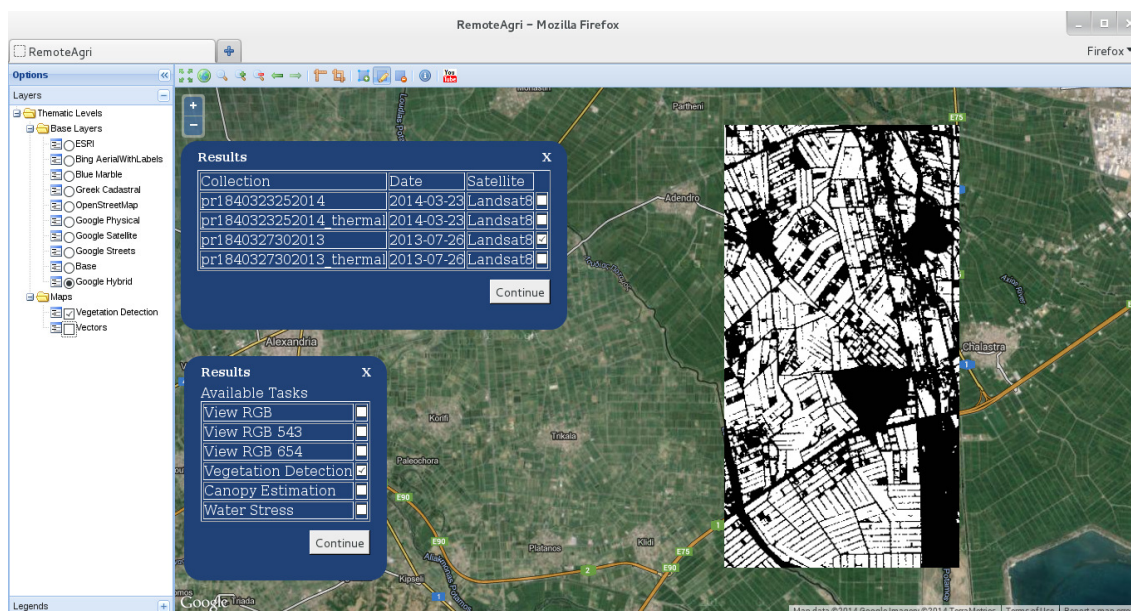
K_1 = Θερμικός συντελεστής μετατροπής από τα μεταδεδομένα εξαρτώμενος από το κανάλι.

K_2 = Θερμικός συντελεστής μετατροπής από τα μεταδεδομένα εξαρτώμενος από το κανάλι.

Οι παραπάνω εξισώσεις για την ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση των τηλεπισκοπικών δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8, τα οποία φιλοξενούνται στο σύστημα RemoteAggr, υλοποιήθηκαν στο υποσύστημα αυτόματης συλλογής, αποθήκευσης και προ-επεξεργασίας των δεδομένων, το οποίο είναι γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Python. Κατάλληλες κλάσεις υλοποιήθηκαν σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις οι οποίες και επιτελούν τους ζητούμενους μετασχηματισμούς. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν επαναληπτικοί βρόχοι, οι οποίοι για κάθε κανάλι κάθε εικόνας διαβάζουν το αρχείο των μεταδεδομένων, επιλέγουν τις αντίστοιχες σταθερές μετατροπής και στη συνέχεια αρχικοποιούν (instantiate) τα αντικείμενα των κλάσεων τα οποία θα κάνουν τη μετατροπή. Μετά το στάδιο αυτό τα δεδομένα έχουν την επιθυμητή μορφή και μπορούν να οδηγηθούν για εισαγωγή στο rasdaman και επεξεργασία από τους χρήστες.

5.3 Διαδυκτιακή εφαρμογή

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε τις λεπτομέρειες υλοποίησης για τους βασικούς αλγορίθμους του Web Client του RemoteAgri WebGIS συστήματος καθώς και τη δομή του κώδικα. Ακολουθεί ένα screenshot του Web Client, στο οποίο φαίνονται όλες οι δυνατότητες του και πάνω σε αυτό θα βασιστούμε για να περιγράψουμε όλα τα στοιχεία του.



Σχήμα 5.6: Screenshot του Web Client του RemoteAgri WebGIS, με ορατές όλες τις δυνατότητές του.

Ζητώντας ένας πελάτης την ιστοσελίδα του συστήματος RemoteAgri, ένας web server (Apache HTTP server) ειδικά αφιερωμένος για το σκοπό αυτό επιστρέφει την κεντρική HTML σελίδα του συστήματος (εδώ index.html) για προβολή από τον περιηγητή ιστού (browser). Όλη η λειτουργικότητα του Web Client εξαρτάται από κώδικα γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Javascript, ο οποίος ενσωματώνεται στην κεντρική HTML σελίδα του συστήματος που επιστρέφει ο web server. Ακολουθεί ένα απόσπασμα του κώδικα από τη σελίδα index.html :

```
// index.html

<html>
  <head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>RemoteAgri</title>
```

```

<!-- Openlayers -->
<script src='js/OpenLayers-2.13.1/OpenLayers.js'
        type='text/javascript'>
</script>
<link rel='stylesheet' type='text/css'
        href='js/OpenLayers-2.13.1/style.css' />
<!-- GeoExt -->
<script src="js/GeoExt/script/GeoExt.js"
        type="text/javascript"></script>
<link rel="stylesheet" type="text/css"
        href="js/GeoExt/resources/css/geoext-all-debug.css"/>
.
.
<!-- Global variable declaration -->
<script src='scripts/globalvar.js' type='text/javascript'></script>

<!--Main Javascript-->
<script src='scripts/general.js' type='text/javascript'></script>
<script src='scripts/def_base_layers.js'
        type='text/javascript'></script>
.
.

</head>
<body>
    
    <div id="indatabase" style="display:none">
        .
        .
    </div>
    .
    .

</body>
</html>

```

Με δηλώσεις (statements) της μορφής

```
<script src='scripts/script_name.js' type='text/javascript'></script>
```

ενσωματώνεται ο ανεπτυγμένος κώδικας Javascript καθώς και η λειτουργικότητα των Javascript βιβλιοθηκών, GeoExt και OpenLayers, που προσφέρουν όλα τα αναγκαία χαρακτηριστικά για

τη δημιουργία και τη λειτουργία της web εφαρμογής μας.

Όπως παρατηρούμε στο **σχήμα 5.6**, η διεπαφή με το χρήστη έχει 3 βασικές περιοχές. Η πρώτη περιοχή είναι η περιοχή αριστερά στην οθόνη η οποία περιέχει τις διάφορες "Επιλογές" (Options) του χρήστη. Η δεύτερη περιοχή είναι η περιοχή του χάρτη και η τρίτη περιοχή είναι η περιοχή της γραμμής εργαλείων. Η κύρια μορφή της διεπαφής, καθώς και ο καθορισμός της διάταξής της γίνεται στο αρχείο **main_window.js**, μέσω της **κλάσης Ext.Viewport** της βιβλιοθήκης Ext, η οποία είναι ένα ειδικό container για την αναπαράσταση της ορατής περιοχής της εφαρμογής. Ο κώδικας που καθορίζει τα στοιχεία που θα περιέχει η διεπαφή καθώς και τη διάταξή τους παρουσιάζεται παρακάτω:

```
// main_window.js

Ext.onReady(function() {

    new Ext.Viewport({
        layout: "fit",
        hideBorders: true,
        items: {
            layout: "border",
            deferredRender: false,
            items: [mapPanel,
                {
                    xtype: 'panel',
                    border: true,
                    region: 'west',
                    id: 'map_panel',
                    title: 'Options',
                    width: 200,
                    layout: 'accordion',
                    collapsible: true,
                    collapseMode: "mini",
                    resizable: true,
                    activeItem: 0,
                    layoutConfig: {
                        animate: true,
                        sequence: true
                    },
                    items: [layers_tree, legend_panel]
                },
                {
                    contentEl: "desc",
```

```

        region: "east",
        bodyStyle: {"padding": "5px"},
        collapsible: true,
        collapseMode: "mini",
        split: true,
        width: 200,
        collapsed: true,
        title: "Basic Info"
    }
}
});

```

Στην περιοχή Options, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ διάφορων βασικών υποβάθρων χαρτών (Base Layers) και των διάφορων αποτελεσμάτων που έχει ζητήσει τα οποία βρίσκονται κάτω από την ετικέτα Maps. Ότι ανήκει στην ετικέτα Maps παρουσιάζεται σαν επίθεμα (Overlay) πάνω από ένα βασικό υποβάθρο χάρτη. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια δενδρική οργάνωση στα διάφορα layers. Αυτή η οργάνωση ορίζεται στο αρχείο **def_layers_tree.js** το οποίο με χρήση της κλάσης **Ext.tree.TreePanel** της βιβλιοθήκης Ext, παρέχει μια γραφική αναπαράσταση διεπαφής δενδρικής δομής των διάφορων layers. Όλα τα βασικά υποβάθρα ανήκουν σε ένα υποδένδρο του βασικού δέντρου, το οποίο ορίζεται με χρήση της κλάσης **GeoExt.tree.BaseLayerContainer** της βιβλιοθήκης GeoExt. Ομοίως όλα τα overlays ανήκουν σε ένα υποδένδρο του βασικού δέντρου, το οποίο ορίζεται με χρήση της κλάσης **GeoExt.tree.OverlayLayerContainer** της βιβλιοθήκης GeoExt. Όλα τα layers πρέπει να αναφέρονται σε κάποια δομή χάρτη του OpenLayers και αυτό ορίζεται κατά την αρχικοποίηση των υποδένδρων των Base Layers και των Overlays όπου δηλώνεται μέσω της κλάσης **GeoExt.data.LayerStore** σε ποιο χάρτη θα αναφέρονται. Παρακάτω ακολουθεί ένα απόσπασμα από τον κώδικα του αρχείου **def_layers_tree.js** ώστε να παρουσιαστούν τα προαναφερθέντα στοιχεία:

```

// def_layers_tree.js

//ορισμός ρίζας του δένδρου Base Layers και Overlays
var layer_root = new Ext.tree.TreeNode({
    text: 'Thematic Levels',
    expanded: true
});

//ορισμός υποδένδρου βασικών υποβάθρων
var base_root = new GeoExt.tree.BaseLayerContainer({
    text: 'Base Layers',

```

```
        expanded: true,
        layerStore: new GeoExt.data.LayerStore({
            map: map
        })
    });

//προσθήκη υποδένδρου στο δένδρο
layer_root.appendChild(base_root);

//ορισμός γραφικής αναπαράστασης διεπαφής του δένδρου layer_root
layers_tree = new Ext.tree.TreePanel({
    title: "Layers",
    region: 'west',
    width: 200,
    split: true,
    collapsible: true,
    collapseMode: "mini",
    autoScroll: true,
    root: layer_root,
});
```

Τα βασικά υποβάθρα χάρτη ορίζονται στο αρχείο **def_base_layers.js** με διαδοχικές κλήσεις της κλάσης **OpenLayers.Layer.some_class**, της βιβλιοθήκης OpenLayers. Όπου **some_class** το είδος της κλάσης που σχετίζεται με το υπόβαθρο. Τα Overlays ορίζονται σε άλλο αρχείο και θα περιγραφούν στη συνέχεια. Η χρησιμότητα της βιβλιοθήκης GeoExt γίνεται φανερή στο σημείο αυτό. Έχοντας ορίσει παραπάνω το υποδένδρο βασικών υποβάθρων μέσω της κλάσης GeoExt.tree.BaseLayerContainer και ορίζοντας και τα βασικά υποβάθρα, η κλάση της GeoExt καταλαβαίνει ποια είναι τα βασικά υποβάθρα χωρίς εμείς να κάνουμε τίποτε παραπάνω από να τα ορίσουμε και τα παίρνει και τα προβάλλει απευθείας στο κεντρικό μενού επιλογών. Ένα παράδειγμα ορισμού βασικού υποβάθρου από το αρχείο def_base_layers.js ακολουθεί στη συνέχεια. Ορίζεται το όνομα του, το οποίο και θα φαίνεται στο μενού, ο τύπος του και τα δυνατά επίπεδα zoom σε αυτό.

```
// def_base_layers.js

//ορισμός βασικού υποβάθρου
var gsat = new OpenLayers.Layer.Google(
    "Google Satellite",
    {type: google.maps.MapTypeId.SATELLITE, numZoomLevels: 22}
);
```

Επιπλέον από το μενού επιλογών μπορούμε να επιλέξουμε να δούμε τα διαθέσιμα υπομνήματα. Τα διαθέσιμα υπομνήματα ορίζονται στο αρχείο **legendpanel.js**. Εδώ γίνεται χρήση της **κλάσης GeoExt.LegendPanel** για την ρύθμιση των επιλογών των υπομνημάτων. Εδώ ορίζουμε ότι το υπόμνημα είναι μια εικόνα του τύπου png. Το αντικείμενο του υπομνήματος συμπεριλαμβάνεται στο κεντρικό μενού μέσω του αρχείου `main_window.js` στο οποίο ρητά καθορίζεται σε ποιο σημείο της διεπαφής θα εμφανίζεται και με ποιο τρόπο. Ακολουθεί ένα απόσπασμα του αρχείου `legendpanel.js`:

```
// legendpanel.js

//ορισμός υπομνήματος
layerRec = mapPanel.layers.getAt(1);
layerRec.set("legendURL", "images/newlegends.png");

var legend_panel = new GeoExt.LegendPanel({
    map: map,
    title: 'Legends',
    autoScroll: true,
    padding: 5,
    defaults: {
        style: 'padding:5px',
        baseParams: {
            format: 'image/png',
        }
    }
});
```

Στη συνέχεια έχουμε την περιοχή του χάρτη. Στο αρχείο **def_map.js** καθορίζονται οι ιδιότητες αυτής της περιοχής. Στην περιοχή αυτή θα προβάλλονται τα ορισμένα Base Layers και Overlays. Γίνεται χρήση της **κλάσης OpenLayers.Map**, καθώς και χρήση διάφορων άλλων κλάσεων του OpenLayers, οι οποίες αφορούν στον έλεγχο του χάρτη, όπως το σε ποια περιοχή θα γίνεται εστίαση με τη φόρτωση της ιστοσελίδας του συστήματος RemoteAgri, η καταγραφή των συντεταγμένων ανάλογα με τη θέση του ποντικιού πάνω στο χάρτη καθώς και άλλες λειτουργίες. Επίσης στο συγκεκριμένο αρχείο με χρήση της **κλάσης OpenLayers.Layer.Vector** γίνεται ορισμός ενός διανυσματικού overlay, το οποίο θα βοηθήσει στην επιλογή μιας περιοχής ενδιαφέροντος από το χρήστη καθώς επίσης και ορίζεται μια συνάρτηση η οποία διαγράφει οποιαδήποτε γεωμετρία έχει σχεδιαστεί στο χάρτη με τη βοήθεια του προαναφερθέντος διανυσματικού overlay. Ο κώδικας του αρχείου `def_map.js` ακολουθεί:

```
// def_map.js
```

```
//ορισμός περιοχής χάρτη και ιδιοτήτων αυτής
map = new OpenLayers.Map(
  {
    allOverlays: false,
    displayProjection: new OpenLayers.Projection("EPSG:900913"),
  });

var center = new OpenLayers.LonLat(24.3,38.4).transform(
  new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"),
  new OpenLayers.Projection("EPSG:900913"));

var map_mousePosCtr = new OpenLayers.Control.MousePosition();
map.addControl(map_mousePosCtr);

var vector = new OpenLayers.Layer.Vector("Vectors");

function clearVector()
{
  vector.destroyFeatures(); //erase drawn geometry
}
```

Αφού έχουν καθοριστεί οι ιδιότητες της περιοχής του χάρτη καθορίζεται στη συνέχεια στο αρχείο `def_map_panel.js`, η γραφική διεπαφή του χάρτη. Χρησιμοποιώντας την **κλάση** `GeoExt.MapPanel` καθορίζονται οι ιδιότητες της προβολής του, το προβολικό σύστημα συντεταγμένων, τα στοιχεία της γραμμής εργαλείων που θα έχουν έλεγχο πάνω στο χάρτη και θα μπορούν να εκτελούν διάφορες πράξεις είτε πάνω σε αυτόν, είτε παίρνοντας δεδομένα από αυτόν καθώς και δηλώνονται τα βασικά υπόβαθρα τα οποία θα μπορούν να απεικονίζονται σε αυτόν. Ο κώδικας του αρχείου `def_map_panel.js` ακολουθεί:

```
// def_map_panel.js

//ορισμός γραφικής διεπαφής του χάρτη
mapPanel = new GeoExt.MapPanel({
  border: true,
  region: "center",
  map: map,
  center: center,
  projection: "EPSG:900913",
  zoom: 6,
  tbar: toolbarItems,
```

```

layers: [ghyb,empty_base,gmap,gsat,gphy,osm,ktima,bluemarble,
         bing,esri,vector]
});

```

Τέλος, έχουμε την περιοχή της γραμμής εργαλείων. Για την περιοχή της γραμμής εργαλείων έχουμε μία global μεταβλητή, την `toolbarItems` στην οποία αποθηκεύουμε κάθε στοιχείο της γραμμής εργαλείων. Η ίδια η γραμμή εργαλείων έχει οριστεί στο αρχείο `def_map_panel.js` στην επιλογή

```
tbar: toolbarItems
```

ότι θα αποτελείται από τα στοιχεία της μεταβλητής `toolbarItems`. Στο αρχείο `geoext_toolbar.js` ορίζονται με τη βοήθεια της κλάσης `GeoExt.Action` όλα τα εργαλεία της γραμμής εργαλείων. Η κλάση αυτή χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των συναρτήσεων ελέγχου ενός χάρτη του `OpenLayers` σε μια γραμμή εργαλείων σαν ξεχωριστά κουμπιά. Μπορούμε να ορίσουμε όλες τις ιδιότητες ενός εργαλείου όπως το σκοπό του, τις συναρτήσεις που θα καλούνται με το πάτημα του καθώς και το εικονίδιο που θα το αντιπροσωπεύει στη γραμμή εργαλείων. Ακολουθεί το παράδειγμα ορισμού του εργαλείου "Επεξεργασία Γεωμετρίας" από το αρχείο `geoext_toolbar.js`. Το παράδειγμα αυτό υποδεικνύει και τους ορισμούς για τα υπόλοιπα εργαλεία:

```

// geoext_toolbar.js

//ορισμός εργαλείου της γραμμής εργαλείων
action = new GeoExt.Action({
    //ορισμός κλάσης εικονιδίου
    iconCls: 'controls_map_editfeature',
    control: editControl,
    map: map,
    // button options
    toggleGroup: "draw",
    allowDepress: false,
    //όνομα εργαλείου
    tooltip: "Process geometry",
    // check item options
    group: "draw",
    //ορισμός συνάρτησης που καλείται με το πάτημα του κουμπιού
    handler: function(){
        tophp();
    }
});

```

```
actions["edit_features"] = action;

//προσθήκη του εργαλείου στη γραμμή εργαλείων
toolbarItems.push(action);
```

Αυτή ήταν η περιγραφή των βασικών σημείων της αρχιτεκτονικής της οθόνης του συστήματος. Όσον αφορά στην επικοινωνία με το χρήστη τώρα παρατηρούμε ότι στο **σχήμα 5.6** υπάρχουν 2 οθόνες αποτελεσμάτων, ένα overlay αποτελέσματος στο χάρτη του OpenLayers, καθώς και το όνομα του overlay αυτού κάτω από την ετικέτα Maps του μενού επιλογών. Στη συνέχεια, θα περιγραφούν οι συναρτήσεις δημιουργίας και χειρισμού των παραπάνω χαρακτηριστικών του συστήματος.

Στο χρήστη μέσω του εργαλείου "Σχεδιασμός Πολυγώνου" (Draw Polygon) δίνεται η δυνατότητα σχεδιασμού ενός πολυγώνου πάνω στο χάρτη του OpenLayers για τον καθορισμό μιας περιοχής ενδιαφέροντος. Στο εργαλείο αυτό έχει εγκατασταθεί ένας χειριστής του συμβάντος (event handler) "προσθήκη χαρακτηριστικού" (featureadded), ο οποίος, με το που ολοκληρωθεί ο ορισμός ενός πολυγώνου ενεργοποιείται και μεταφέρει τον έλεγχο του χειρισμού του συμβάντος στη συνάρτηση **newPolygonAdded(event)** του αρχείου **gui.js**. Η συνάρτηση αυτή είναι υπεύθυνη για την αποθήκευση των συντεταγμένων που προσδιορίζουν το πολύγωνο που όρισε ο χρήστης, καθώς και για τη διακοπή της δυνατότητας σχεδιασμού επιπλέον πολυγώνων μέχρι την ολοκλήρωση της επεξεργασίας του πολυγώνου αυτού. Η αποθήκευσή τους είναι αναγκαία για την περαιτέρω επεξεργασία της περιοχής ενδιαφέροντος από το σύστημα RemoteAgri. Ο κώδικας της συνάρτησης **newPolygonAdded(event)** του αρχείου **gui.js** είναι ο ακόλουθος:

```
// gui.js

//αποθήκευση συντεταγμένων περιοχής ενδιαφέροντος
function newPolygonAdded (evt)
{
    alert('Polygon completed.
           Hit Process geometry to continue or
           Remove Vectors to abort.');
```

```
    var temp = vector.features[0].geometry;
    polVert = assort(temp.getVertices());
    temp = vector.features[0].geometry.transform(
        map.getProjectionObject(),
        new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"));
    polygonVertices = assort(temp.getVertices());
    editControl.deactivate(); //stops the drawing
}
```

Από τη στιγμή που έχει οριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα είτε να τη διαγράψει και να επιλέξει κάποια άλλη, είτε να την επεξεργαστεί. Για να την επεξεργαστεί πρέπει να επιλέξει το εργαλείο "Επεξεργασία Γεωμετρίας" (Process geometry). Το εργαλείο αυτό έχει οριστεί έτσι ώστε με το που επιλεγεί, ο έλεγχος χειρισμού της εργασίας να μεταφερθεί στη συνάρτηση `tphp()` του αρχείου `pass_js_to_php.js`. Η συνάρτηση αυτή είναι ορισμένη έτσι ώστε να αποστέλλει ασύγχρονα - μέσω Ajax - τις αποθηκευμένες συντεταγμένες που προσδιορίζουν την περιοχή ενδιαφέροντος σε ένα php server-side script, το οποίο ελέγχει αν η περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχει σε κάποια φωτογραφία της βάσης δεδομένων του συστήματος RemoteAgri. Αν υπάρχει αποστέλλονται τα ονόματα των διαθέσιμων συλλογών του rasdaman που τη φιλοξενούν, αν δεν υπάρχει ενημερώνεται ο χρήστης κατάλληλα. Στο σχήμα 5.6 φαίνεται η οθόνη αποτελεσμάτων με τα ονόματα των αποθηκευμένων συλλογών. Η ασύγχρονη επικοινωνία με το server επιτυγχάνεται μέσω του αντικειμένου XMLHttpRequest() της Javascript. Μέσω του αντικειμένου αυτού επιτυγχάνεται και ο χειρισμός της απάντησης του server και η προβολή των ονομάτων των συλλογών στην κατάλληλη οθόνη. Ο κώδικας της συνάρτησης `tphp` ακολουθεί:

```
// pass_js_to_php.js

//send an ajax post request to process.php
//in order to process polygon vertices
function tphp()
{
    var xmlhttp = new XMLHttpRequest();

    var PageToSendTo = "process.php";
    var params = "var=";

    for (var i=0; i<polygonVertices.length; i++) {
        var lon = polygonVertices[i].x;
        var lat = polygonVertices[i].y;
        params += lon + '*' + lat + '*';
    }

    params = params.substr(0, (params.length - 2)); //strip the last *

    xmlhttp.onreadystatechange = function()
    {
        if (xmlhttp.readyState==4 && xmlhttp.status==200)
        {
            document.getElementById("indatabase").style.visibility = "visible";
            document.getElementById("indatabase").style.display = "";
        }
    }
}
```



```

        document.getElementById("response1").innerHTML+xmlhttp.responseText;
    }
}
xmlhttp.open("POST", PageToSendTo, true);
xmlhttp.setRequestHeader("Content-type",
    "application/x-www-form-urlencoded");
xmlhttp.send(params);
}

```

Η οθόνη προβολής των ονομάτων των διαθέσιμων από το σύστημα συλλογών, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει κάποια/κάποιες συλλογές για επεξεργασία. Αφού την/τις επιλέξει, κλικάρει το κουμπί "δντινυε" (συνέχεια). Ο έλεγχος της ενέργειας του χρήστη τότε μεταφέρεται στη συνάρτηση **check1(element_class)** του αρχείου `gui.js`. Η συνάρτηση αυτή αποθηκεύει τα ονόματα των επιλεγέντων για επεξεργασία συλλογών και μεταφέρει τον έλεγχο χειρισμού στη συνάρτηση **available_tasks(e)** του αρχείου `pass.js_to_php.js`. Η συνάρτηση `available_tasks(e)` είναι υπεύθυνη για την προβολή της οθόνης με τις διαθέσιμες επεξεργασίες γεωχωρικών δεδομένων που προσφέρει το σύστημα `RemoteAgri`. Με την επιστροφή από την κλήση της έχει εμφανιστεί στην οθόνη του χρήστη η οθόνη με τις διαθέσιμες από το σύστημα επεξεργασίες. Ο χρήστης στη συνέχεια επιλέγει μία από αυτές τις επεξεργασίες και κλικάρει το κουμπί "δντινυε" (συνέχεια). Ο έλεγχος χειρισμού της ενέργειας του χρήστη μεταφέρεται πάλι στη συνάρτηση `check1(element_class)` του αρχείου `gui.js`, η οποία ελέγχει αν έχει επιλεγεί μία μόνο επεξεργασία και αν έχει οδηγήσει τον έλεγχο στην συνάρτηση **topetascope(id)** του αρχείου `pass.js_to_php.js`.

Η συνάρτηση `topetascope(id)` αρχικά καλεί τη συνάρτηση **construct_query(collection1, collection2, satellite, task)** του αρχείου `construct_weps_query.js` για το σχηματισμό του απαιτούμενου WCPS ερωτήματος επεξεργασίας των δεδομένων. Στη συνέχεια επιφορτίζεται με την επικοινωνία με το σύστημα `PetaScope` για την αποστολή του WCPS ερωτήματος. Πιο συγκεκριμένα, μέσω ενός αντικειμένου της κλάσης `XMLHttpRequest()` στέλνει ασύγχρονα το ερώτημα για επεξεργασία από το `PetaScope` και ταυτόχρονα προετοιμάζει το χειρισμό της παραλαβής του αποτελέσματος. Για το χειρισμό της παραλαβής του αποτελέσματος ορίζεται μία συνάρτηση χειρισμού μέσω του αντικειμένου `XMLHttpRequest()`, η οποία παραλαμβάνει το εικονιστικό αποτέλεσμα και δημιουργεί ένα νέο `layer` εικόνας πάνω στο χάρτη `OpenLayers` του συστήματος για την προβολή του. Για τη δημιουργία του `layer` του αποτελέσματος χρησιμοποιείται η κλάση **OpenLayers.Layer.Image** μέσω της οποίας καθορίζεται το όνομα του `layer`, η εικόνα που θα περιέχει, οι συντεταγμένες του (χρησιμοποιούνται για τη γεωαναφορά της εικόνας στο χάρτη), τα επίπεδα `zoom` σε αυτό καθώς και άλλες παράμετροι. Η χρησιμότητα της βιβλιοθήκης `GeoExt` για τη διαχείριση της γραφικής διεπαφής γίνεται φανερό και εδώ καθώς με τον ορισμό του νέου `Image layer` ως μη βασικό υπόβαθρο, οι κλάσεις χειρισμού των υποβάθρων που περιγράψαμε στην αρχή αντιλαμβάνονται ποια θα πρέπει να είναι η θέση του νέου αυτού `layer` και το τοποθετούν απευθείας κάτω από την ετικέτα `Maps`. Πλέον ο χρήστης μπορεί να βλέπει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας που ζήτησε ως μια γεωαναφερμένη

εικόνα και να ζητήσει νέες επεξεργασίες από το σύστημα ή να ορίσει άλλη περιοχή ενδιαφέροντος. Ένα απόσπασμα του κώδικα της συνάρτησης `topetascope(id)` ακολουθεί για μια πιο διαισθητική κατανόηση των όσων περιγράφηκαν παραπάνω:

```
// pass_js_to_php.js

function topetascope(id)
{
    var col = document.getElementById("col").innerHTML;
    var colarray = col.split(" ");
    var sattype = document.getElementById("sat").innerHTML;
    var dates_temp = document.getElementById("dates").innerHTML;
    var dates = dates_temp.split(" ");

    var wcpsquery;
    .
    .
    wcpsquery = construct_query(colarray[0], null, sattype, id);
    var image_layer_name = create_image_layer_name(id);

    var xmlhttp = new XMLHttpRequest();

    var params = "query=";
    params += encodeURIComponent(wcpsquery);

    xmlhttp.onreadystatechange = function()
    {
        if (xmlhttp.readyState==4 && xmlhttp.status==200)
        {
            var i = PNGimages.length;

            /* Code to retrieve a png image from a remote server
             * as an ajax response
             */
            var uInt8Array = new Uint8Array(xmlhttp.response);
            var j = uInt8Array.length;
            var binaryString = new Array(j);
            while (j--)
            {
                binaryString[j] = String.fromCharCode(uInt8Array[j]);
            }
        }
    }
}
```

```
var data = binaryString.join('');

var base64 = window.btoa(data);
/*
 *
 */

/* Some corrections when georeferencing the result */
var bounds = new OpenLayers.Bounds(polVert[0].x-1990.3549870,
    polVert[0].y + 1524.00000, polVert[1].x -1988.3549870,
    polVert[1].y + 1526.00000);
PNGImages[i] = new OpenLayers.Layer.Image(
    image_layer_name,
    'data:image/png;base64,' + base64,
    bounds,
    new OpenLayers.Size(200, 100),
    {
        isBaseLayer: false,
        visibility: true,
        numZoomLevels: 10
    }
);
}
}
xmlhttp.open("POST", petascope, true);
xmlhttp.responseType = 'arraybuffer';
xmlhttp.setRequestHeader("Content-type",
    "application/x-www-form-urlencoded");
xmlhttp.send(params);
}
```

Συμπερασματικά, όλη η λειτουργικότητα της διαδικτυακής εφαρμογής προκύπτει από τις συναρτήσεις και τις κλάσεις της γλώσσας προγραμματισμού Javascript που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Υπάρχουν και κάποια άλλα στοιχεία τα οποία δεν παρουσιάστηκαν καθώς έχουν συμπληρωματικό ρόλο και δεν είναι συνιστώσες της βασικής αρχιτεκτονικής του Web Client. Η παραπάνω παρουσίαση καλύπτει εμμέσως και όλες τις περιπτώσεις χρήσεις της εφαρμογής, καθώς δείχνει τις αντιδράσεις του συστήματος όχι μόνο σε επιτυχημένες αλλά και αποτυχημένες ενέργειες του χρήστη.

Κεφάλαιο 6

Οδηγός Εγκατάστασης και Χρήσης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αρχικά ένας συνοπτικός αλλά πλήρης οδηγός εγκατάστασης του συστήματος RemoteAgri και στη συνέχεια ένας οδηγός χρήσης τόσο για το πίσθιο τμήμα όσο και για τον Web Client του συστήματος, ο οποίος περιγράφει με λεπτομέρεια όλες τις λειτουργίες τις οποίες έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει ένας χρήστης. Τέλος, γίνεται ο έλεγχος της καλής λειτουργίας του συστήματος (επίδειξη εφαρμογής) με βάση ένα συγκεκριμένο σενάριο χρήσης.

6.1 Οδηγός Εγκατάστασης

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί ένας συνοπτικός αλλά πλήρης οδηγός εγκατάστασης του συστήματος RemoteAgri. Θα περιγραφεί η εγκατάσταση του συστήματος σε έναν server βήμα προς βήμα, από την αρχική εγκατάσταση των βιβλιοθηκών και των προγραμμάτων που χρειάζονται, έως τη δημοσίευση του συστήματος στο διαδίκτυο. Αυτή η ενότητα μπορεί να προσπεραστεί από τους αναγνώστες οι οποίοι θα χρησιμοποιήσουν μόνο το Web Client του συστήματος, καθώς αυτοί δεν χρειάζεται να εγκαταστήσουν τίποτα απολύτως για να χρησιμοποιήσουν το σύστημα. Αυτή η ενότητα στοχεύει σε αναγνώστες οι οποίοι θα ήθελαν να εγκαταστήσουν σε δικό τους server το σύστημα RemoteAgri είτε για σκοπούς ανάπτυξης του συστήματος, είτε για επιπλέον πειραματισμό είτε για την ανάπτυξη δικών τους εφαρμογών διαχείρισης μεγάλων δεδομένων καθώς και διαδικτυακών εφαρμογών.

Ο οδηγός εγκατάστασης προϋποθέτει την χρήση ελεύθερου λογισμικού/λογισμικού ανοιχτού κώδικα. Η εγκατάσταση του συστήματος σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν ιδιωτικό λογισμικό είναι εφικτή αλλά δεν είναι κάτι το οποίο θα μας απασχολήσει. Ειδικότερα ο οδηγός έχει ελεγχθεί ότι ανταποκρίνεται πλήρως σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν τα λειτουργικά συστήματα Debian GNU/Linux και Ubuntu. Με μικρές διαφοροποιήσεις μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά κατατοπιστικός για τα περισσότερα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν κάποιο λειτουργικό σύστημα ανοιχτού κώδικα σε συνδυασμό με τον πυρήνα λειτουργικού συστήματος Linux.

Έστω ότι βρισκόμαστε σε κάποιο σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί το λειτουργικό σύστημα Debian GNU/Linux. Η επιλογή του συγκεκριμένου λειτουργικού δεν είναι τυχαία καθώς υποστηρίζει με μεγάλη ευκολία την εγκατάσταση του συστήματος RemoteAgri. Επιπλέον, οι default ρυθμίσεις κατά την εγκατάσταση των διάφορων απαιτούμενων προγραμμάτων και εργαλείων αρκούν για τη σωστή εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος κάτι το οποίο σημαίνει ότι και χρήστες με μικρή εμπειρία στη διαχείριση λειτουργικών συστημάτων δεν θα δυσκολευτούν να θέσουν σε λειτουργία το σύστημα.

Όλη η εγκατάσταση θα πραγματοποιηθεί μέσω μιας διεπαφής γραμμής εντολών. Για το σκοπό αυτό μόλις συνδεθούμε στο σύστημα ως κάποιος χρήστης ανοίγουμε κατευθείαν ένα τερματικό. Από εκεί και πέρα πληκτρολογούμε όλες τις εντολές οι οποίες θα παρουσιαστούν σε αυτόν τον οδηγό στο τερματικό και περιμένουμε για την εκτέλεσή τους. Με την ολοκλήρωση του οδηγού και αν έχουν εκτελεστεί σωστά όλες οι εντολές, το σύστημα RemoteAgri θα λειτουργεί πλήρως στο σύστημα στο οποίο εγκαταστάθηκε. Για την εγκατάσταση είναι απαραίτητο ο χρήστης να έχει ένα κωδικό διαχειριστή του λειτουργικού συστήματος καθώς αυτός θα ζητείται σχεδόν σε κάθε εκτέλεση εντολής. Υποθέτουμε επίσης ότι ο χρήστης έχει διαθέσιμο και αποθηκευμένο τον πηγαίο κώδικα του συστήματος RemoteAgri κάτω από ένα φάκελο με το όνομα **project**. Μέσα στον φάκελο project βρίσκονται οι δύο κύριοι φάκελοι που περιέχουν τον κώδικα του συστήματος, με όνομα **scripts** για το φάκελο ο οποίος περιέχει τον κώδικα του οπίσθιου τμήματος του συστήματος και με όνομα **remoteagri** για τον φάκελο ο οποίος περιέχει τον κώδικα του Web Client του συστήματος. Ξεκινάμε λοιπόν!!

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω στιγμιότυπο για να ανοίξουμε ένα τερματικό σε περιβάλλον του λειτουργικού συστήματος Debian πρέπει να κάνουμε κλικ στην επιλογή **Applications > System Tools > Terminal** της γραμμής εργαλείων (**σχήμα 6.1**).

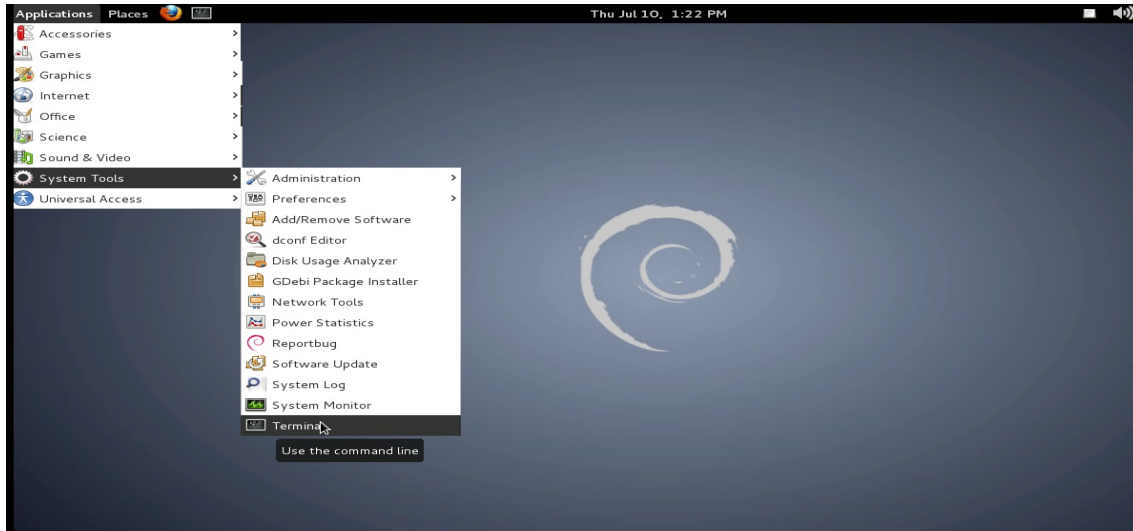
Αφού επιλέξουμε την επιλογή Terminal θα εμφανιστεί στην οθόνη μας ένα τερματικό το οποίο θα είναι ότι θα χρειαστούμε (**σχήμα 6.2**).

Οι εντολές οι οποίες θα παρουσιασθούν θα εισάγονται στο τερματικό αμέσως μετά το σύμβολο " \$ ".

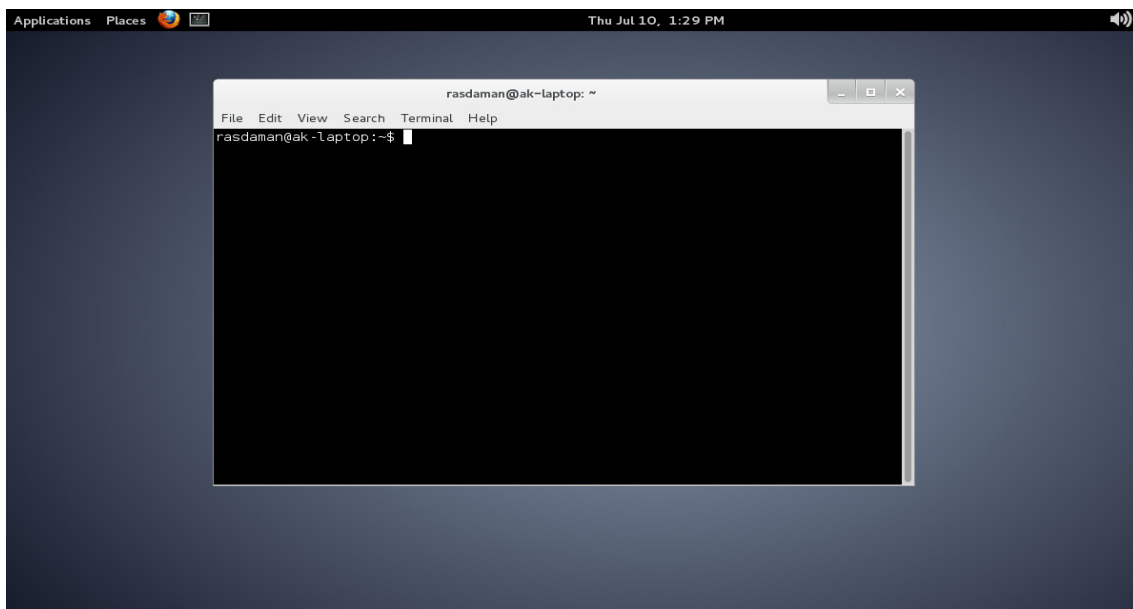
Το οπίσθιο τμήμα του συστήματος RemoteAgri είναι γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Python και συνεπώς χρειάζεται ένα διερμηνευτή Python για να λειτουργήσει. Το λειτουργικό Debian έχει προεγκατεστημένη τη γλώσσα προγραμματισμού Python, το διερμηνευτή της καθώς και ένα πλήθος από βιβλιοθήκες υποστήριξης. Σε περίπτωση που η Python δεν είναι εγκατεστημένη πληκτρολογούμε στο τερματικό την παρακάτω εντολή :

```
// Εγκατάσταση Python
```

```
sudo apt-get install python
```



Σχήμα 6.1: Άνοιγμα τερματικού.



Σχήμα 6.2: Τερματικό.

Κάθε φορά που θα χρησιμοποιούμε την εντολή "sudo" θα μας ζητείται ο κωδικός διαχειριστή του συστήματος τον οποίο και θα πρέπει να πληκτρολογούμε ακολουθούμενο από το πλήκτρο **Enter**. Είναι επίσης πιθανό να ερωτηθούμε κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης αν θέλουμε να πραγματοποιηθεί και τότε πληκτρολογούμε "Y". Μετά την εκτέλεση της

παραπάνω εντολής η Python έχει εγκατασταθεί επιτυχώς.

Στη συνέχεια εγκαθιστούμε το βοηθητικό εργαλείο `pip` το οποίο είναι εξαιρετικά χρήσιμο για τη γρήγορη εγκατάσταση βιβλιοθηκών της Python.

```
// Εγκατάσταση Python pip
```

```
sudo apt-get install python-pip
```

Τώρα είμαστε έτοιμοι να εγκαταστήσουμε τις Python βιβλιοθήκες οι οποίες απαιτούνται για τη λειτουργία του οπίσθιου τμήματος.

```
// Εγκατάσταση selenium
```

```
sudo pip install selenium
```

```
// Εγκατάσταση BeautifulSoup
```

```
sudo pip install beautifulsoup
```

```
// Εγκατάσταση gdal
```

```
sudo apt-get install python-gdal
```

```
// Εγκατάσταση numpy
```

```
sudo pip install numpy
```

Με την εγκατάσταση των βιβλιοθηκών αυτών το οπίσθιο τμήμα του συστήματος RemoteAgri, το οποίο είναι επιφορτισμένο με την αυτόματη συλλογή, αποθήκευση και προεπεξεργασία των δεδομένων είναι έτοιμο να λειτουργήσει. Δηλαδή πλέον είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν όλα τα προγράμματα τα οποία βρίσκονται κάτω από το φάκελο `scripts` του συστήματος RemoteAgri.

Σειρά έχει η εγκατάσταση του Array DBMS **rasdaman**. Θα περιγραφούν αναλυτικά τα βήματα εγκατάστασης του λογισμικού αυτού. Για οποιοδήποτε πρόβλημα αντιμετωπίσει ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στην επίσημη σελίδα ¹ του **rasdaman**, η οποία περιέχει λεπτομερείς πληροφορίες για την εγκατάστασή και τη χρήση του.

Η εγκατάσταση του **rasdaman** υποθέτει την ύπαρξη ενός χρήστη του λειτουργικού συστήματος με το όνομα **rasdaman** κάτω από τον οποίο όλη η εγκατάσταση θα πραγματοποιηθεί. Αυτό συμβαίνει για να κρατηθεί σε απομόνωση το λογισμικό αυτό από το υπόλοιπο σύστημα για λόγους ασφαλείας. Αφού λοιπόν συνδεθούμε με το λειτουργικό σύστημα Debian ως χρήστης **rasdaman** πλέον, ανοίγουμε εκ νέου ένα τερματικό κατά τα γνωστά.

¹<http://www.rasdaman.org/wiki/Install>

Στη συνέχεια, επιλέγουμε το φάκελο εγκατάστασης του `rasdaman` καθώς και άλλες ρυθμίσεις, μέσω της επεξεργασίας του αρχείου κειμένου `"/home/rasdaman/.bashrc"` με έναν επεξεργαστή κειμένου. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε το συγκεκριμένο αρχείο είναι γιατί έτσι επιτυγχάνουμε την αυτόματη φόρτωση των επιλεγμένων ρυθμίσεων με τη σύνδεση στο λειτουργικό σύστημα. Αφού ανοίξουμε το αρχείο αυτό με έναν επεξεργαστή κειμένου, στο τέλος του προσθέτουμε τις παρακάτω γραμμές και το σώζουμε:

```
#set up rasdaman environmental variables

export RMANHOME=/home/rasdaman/install
export JAVA_HOME=/usr/lib/jvm/java-6-openjdk-amd64
export JRE_HOME=$JAVA_HOME/jre
export CATALINA_HOME=/var/lib/tomcat6
export PATH=$PATH:$RMANHOME/bin:/usr/lib/postgresql/9.1/bin
```

Δεν πρέπει να ξεχάσουμε να ανανεώσουμε το περιεχόμενο του αρχείου αυτού την πρώτη φορά χρήσης δίνοντας στο τερματικό την εντολή:

```
source ~/.bashrc
```

Στη συνέχεια, **εγκαθιστούμε όλα εκείνα τα πακέτα τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του `rasdaman`**. Μέσα στα πακέτα αυτά περιλαμβάνεται το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων PostgreSQL, ο servlet container Apache Tomcat καθώς και διάφορα εργαλεία απαραίτητα για τη μεταγλώττιση του `rasdaman`. Για την εγκατάσταση πληκτρολογούμε σε ένα τερματικό την παρακάτω εντολή :

```
// Εγκατάσταση απαραίτητων πακέτων

sudo apt-get install make automake autotools-dev bison flex git-core \
    g++ comerr-dev libecpg-dev libtiff4-dev libgdal-dev \
    gawk libncurses5-dev libnetpbm10-dev libffi-dev \
    libreadline-dev libtool m4 postgresql openjdk-6-jdk \
    tomcat6 libsigsegv-dev libedit-dev gdal-bin ant
```

Έπειτα ανακτούμε τον πηγαίο κώδικα του συστήματος `rasdaman` και τον μεταγλωττίζουμε. Το `rasdaman` έχει ρυθμιστεί ότι θα έχει **φάκελο εγκατάστασης τον `"/home/rasdaman/`**

`install`” και όταν στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο `configure` για τη ρύθμιση της εγκατάστασης, αυτός ο φάκελος θα χρησιμοποιηθεί.

Ανακτούμε τον πηγαίο κώδικα του `rasdaman` με την παρακάτω εντολή:

```
// Ανάκτηση πηγαίου κώδικα
```

```
git clone git://kahlua.eecs.jacobs-university.de/rasdaman.git
```

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω εντολής έχει δημιουργηθεί στο `home directory` ένας φάκελος με το όνομα `rasdaman`, ο οποίος περιέχει τον πηγαίο κώδικα. Το επόμενο βήμα θα χτίσει το `rasdaman` στο σύστημα και αυτή είναι μία διαδικασία η οποία θα πάρει λίγη ώρα ανάλογα και τις δυνατότητες του συστήματος. Στη συνέχεια πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

```
// Προετοιμασία εγκατάστασης
```

```
cd rasdaman
autoreconf -fi
./configure --prefix=$RMANHOME --with-wardir=$CATALINA_HOME/webapps/
sudo make
```

Έπειτα εγκαθιστούμε το σύστημα:

```
// Εγκατάσταση
```

```
mkdir ../install
sudo make install
```

Η εγκατάσταση του συστήματος έχει ολοκληρωθεί και το μόνο που μένει είναι να **ρυθμίσουμε το σύστημα διαχείρισης PostgreSQL**.

Προσθέτουμε ένα διαχειριστή στην βάση `postgres` με το ίδιο όνομα όπως αυτό του χρήστη του λειτουργικού συστήματος (εδώ `rasdaman`). Μετά την πληκτρολόγηση της παρακάτω εντολής πατάμε `Enter` όσες φορές χρειαστεί για την ολοκλήρωσή της:

```
// Προσθήκη διαχειριστή στην PostgreSQL
```

```
sudo -u postgres createuser -s rasdaman -P
```

Στη συνέχεια ρυθμίζουμε τη βάση δεδομένων για το rasdaman τρέχοντας κάποια scripts τα οποία διανέμονται μαζί με το rasdaman. Πληκτρολογούμε στο τερματικό τις παρακάτω εντολές:

```
//Ρύθμιση της βάσης δεδομένων για το rasdaman
```

```
cd /home/rasdaman/install/bin
```

```
create_db.sh
```

```
update_db.sh
```

Έπειτα το rasdaman είναι έτοιμο για χρήση. **Εκκινάμε το rasdaman server με την παρακάτω εντολή:**

```
start_rasdaman.sh
```

Εισάγουμε κάποια demo δεδομένα για να βεβαιωθούμε ότι όλα λειτουργούν σωστά μέσω της παρακάτω εντολής:

```
rasdaman_insertdemo.sh localhost 7001 $RMANHOME/share/rasdaman/examples/ \  
/images/ rasadmin rasadmin
```

Και τέλος ελέγχουμε τη σωστή λειτουργία του συστήματος ζητώντας να μας δείξει τα περιεχόμενά του, με την εντολή:

```
rasql -q 'select c from RAS_COLLECTIONNAMES as c' --out string
```

Αν βλέπουμε μία λίστα με τα ονόματα των συλλογών τις οποίες εισάγαμε με το demo, τότε όλα λειτουργούν σωστά και το rasdaman **έχει εγκατασταθεί επιτυχώς**. Είναι χρήσιμο να αλλάξουμε τα permissions του φακέλου "/home/rasdaman/install/log" ώστε να μπορεί το rasdaman να γράφει τα μηνύματα σφαλμάτων του. Κάτι τέτοιο βοηθάει πολύ στην αποσφαλμάτωση αν κάτι δεν λειτουργήσει σωστά. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε την εντολή:

```
chmod -R 777 /home/rasdaman/install/log
```

Μετά το βήμα αυτό το `rasdaman` έχει εγκατασταθεί επιτυχώς. Σειρά έχει η **εγκατάσταση του συστήματος PetaScope**. Πρώτα προετοιμάζουμε την PostgreSQL με την παρακάτω εντολή. Πατάμε Enter όσες φορές χρειαστεί για την ολοκλήρωσή της.

```
sudo -u postgres createuser -s petouser -P
```

Στη συνέχεια πρέπει να επιτρέψουμε την trust-based πρόσβαση στην PostgreSQL. Για το λόγο αυτό πρέπει να επεξεργαστούμε το αρχείο ρυθμίσεων `pg_hba.conf` της PostgreSQL. Αυτό είναι δυνατόν με τις παρακάτω εντολές:

```
//πρέπει να αποκτήσουμε δικαιώματα διαχειριστή
```

```
sudo su
```

```
//άνοιγμα του αρχείου σε έναν editor κειμένου
```

```
editor /etc/postgresql/9.1/main/pg_hba.conf
```

```
//προσθήκη των παρακάτω στο αρχείο pg_hba.conf
```

```
//(πριν τις γραμμές στηλοθέτησης):
```

```
^-----
^ "local" is for Unix domain socket connections only
local  all          all                      trust
^ IPv4 local connections:
host   all          all          127.0.0.1/32      trust
^ IPv6 local connections:
host   all          all          ::1/128           trust
^-----
```

Έπειτα πρέπει να **ανανεώσουμε το περιβάλλον της PostgreSQL** ώστε να λειτουργήσει με τις νέες ρυθμίσεις:

```
sudo /etc/init.d/postgresql reload
```

Έπειτα **ρυθμίζουμε τη βάση δεδομένων του PetaScope** και τη γεμίζουμε με κάποια demo δεδομένα για να βεβαιωθούμε ότι όλα λειτουργούν σωστά. Χρησιμοποιούμε τις παρακάτω εντολές:

```
$RMANHOME/bin/update_petascopedb.sh  
$RMANHOME/bin/petascope_insertdemo.sh
```

Αν όλα έχουν εκτελεστεί σωστά, το **PetaScope** είναι τυπικά διαθέσιμο στη διεύθυνση:

```
localhost:8080/petascope
```

Σε περίπτωση προβλημάτων με το PetaScope είναι εξαιρετικά χρήσιμο να ελέγχουμε το log αρχείο του server Tomcat το οποίο βρίσκεται στο αρχείο `"/var/log/tomcat6/catalina.out"`.

Μετά την επιτυχή εγκατάσταση του rasdaman και του PetaScope **ενημερώνουμε τη βάση του PetaScope με ένα νέο πίνακα τον οποίο φτιάξαμε εμείς για να κρατάει επιπλέον πληροφορίες για τα μεταδεδομένα**. Η ενημέρωση γίνεται από το αρχείο `update_petascopedb.sql` το οποίο βρίσκεται στο φάκελο `project/scripts/` του συστήματος RemoteAgri. Για να το χρησιμοποιήσουμε πληκτρολογούμε σε ένα τερματικό τις παρακάτω εντολές:

```
cd path/to/project/scripts/  
psql -d petascopedb -f update_petascopedb.sql
```

Στο σημείο αυτό το **οπίσθιο τμήμα του συστήματος έχει εγκατασταθεί επιτυχώς**. Τώρα θα περιγράψουμε την εγκατάσταση του εμπρόσθιου τμήματος και τη δημοσιοποίηση του συστήματος RemoteAgri στο διαδίκτυο.

Αρχικά θα περιγράψουμε την **εγκατάσταση και τη ρύθμιση του Apache HTTP Server** ο οποίος θα είναι υπεύθυνος για την εξυπηρέτηση των πελατών του συστήματος RemoteAgri. Για την **εγκατάσταση του Apache**, σε ένα τερματικό εισάγουμε την εντολή:

```
sudo apt-get install apache2
```

Η παραπάνω εντολή θα εγκαταστήσει τον Apache. Αν σε έναν περιηγητή ιστού πληκτρολογήσουμε τη διεύθυνση

```
localhost
```

θα δούμε το μήνυμα `"It works!"` γραμμένο, κάτι το οποίο σημαίνει ότι ο Apache έχει εγκατασταθεί με επιτυχία. Για την **δημοσίευση του συστήματος RemoteAgri** τώρα ακολουθήσουμε την παρακάτω διαδικασία. Αρχικά θα εκτελέσουμε σε ένα τερματικό την εντολή:

```
sudo cp /etc/apache2/sites-available/default
/etc/apache2/sites-available/remoteagri
```

Έπειτα με έναν επεξεργαστή κειμένου θα **επεξεργαστούμε το αρχείο που μόλις δημιουργήσαμε (το /etc/apache2/sites-available/remoteagri)** και θα αλλάξουμε τη γραμμή DocumentRoot από αυτή που είναι γραμμένη στην ακόλουθη:

```
DocumentRoot /var/www/remoteagri/
```

Αφού σώσουμε το αρχείο, **θα δημιουργήσουμε ένα symbolic link** από τα αρχεία του Web Client του συστήματος RemoteAgri τα οποία βρίσκονται στο φάκελο "project/remoteagri" με το φάκελο /var/www/remoteagri/, στον οποίο παραπάνω δηλώσαμε ότι θα περιέχει τα αρχεία του συστήματος. Δημιουργούμε το σύνδεσμο με την παρακάτω εντολή:

```
sudo ln -s path/to/project/remoteagri /var/www/remoteagri/
```

Ο ανεπτυγμένος κώδικας του Web Client είναι τώρα διαθέσιμος από τον Apache για δημοσίευση στο διαδίκτυο. Στο φάκελο "project/remoteagri/js" έχουμε συμπεριλάβει τον πηγαίο κώδικα των βιβλιοθηκών OpenLayers, GeoExt και JQuery επομένως δεν χρειάζεται να γίνει κάτι για την περαιτέρω εγκατάσταση αυτών καθώς θα διανέμονται στο χρήστη μαζί με την υπόλοιπη σελίδα. Με τις παρακάτω εντολές ολοκληρώνουμε την εγκατάσταση του Apache.

```
sudo a2ensite remoteagri
sudo /etc/init.d/apache2 restart
```

Στη συνέχεια με τις παρακάτω εντολές **εγκαθιστούμε τη γλώσσα php** και όλα τα απαιτούμενα πακέτα της.

```
sudo apt-get install php5
sudo apt-get install php5-json
sudo apt-get install php5-pgsql
sudo apt-get install php5-gd
sudo apt-get install php5-curl
sudo apt-get install php5-common
sudo apt-get install libapache2-mod-php5
```

Το εμπρόσθιο μέρος του συστήματος RemoteAgri έχει εγκατασταθεί με επιτυχία και μπορούμε να το επιβεβαιώσουμε αν σε ένα περιηγητή ιστού πληκτρολογήσουμε τη διεύθυνση:

localhost/remoteagri

Το σύστημα RemoteAgri είναι τώρα έτοιμο για χρήση με σκοπό τη διαχείριση, αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλων δεδομένων.

6.2 Οδηγός Χρήσης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο οδηγός χρήσης του συστήματος RemoteAgri. Αρχικά θα παρουσιαστεί ο οδηγός χρήσης του οπίσθιου μέρους του συστήματος και στη συνέχεια ο οδηγός χρήσης του Web Client του συστήματος.

6.2.1 Οπίσθιο Τμήμα

Όπως έχει παρουσιασθεί αναλυτικά, το οπίσθιο τμήμα του συστήματος RemoteAgri είναι υπεύθυνο για την αυτόματη συλλογή, αποθήκευση και προ-επεξεργασία των διαχειριζόμενων από το σύστημα τηλεπισκοπικών δεδομένων. Προγραμματιστικά σενάρια (scripts) γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού Python έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό. Τα σενάρια αυτά, βρίσκονται στο φάκελο "project/scripts" της διανομής του συστήματος RemoteAgri. Από όλα τα σενάρια που υπάρχουν σε αυτό το φάκελο, δύο είναι τα κύρια, η χρήση των οποίων θα περιγραφεί σε αυτόν τον οδηγό. Τα υπόλοιπα καλούνται μέσα από τα δύο κύρια σενάρια και για αυτό η χρήση τους δεν θα περιγραφεί εδώ.

Το πρώτο σενάριο είναι το "**download.py**". Η λειτουργία που επιτελεί είναι η αυτόματη συλλογή των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Συνδέεται με μία υπηρεσία η οποία διανέμει τα τηλεπισκοπικά προϊόντα του δορυφόρου Landsat 8 και μέσω της τεχνικής web scraping, η οποία περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4, ελέγχει μέσω της ημερομηνίας για νέα δεδομένα και κατεβάζει στο σύστημα μας όποια καινούργια δεδομένα βρεθούν. Για τη χρήση του εν λόγω σεναρίου πρέπει να τροποποιηθούν κάποια σημεία στον κώδικα από τον εκάστοτε χρήστη. Για την ακρίβεια πρέπει να συμπληρωθούν στον κώδικα 3 σημεία ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις επιθυμίες του κάθε χρήστη. Το πρώτο σημείο αποτελεί το γεγονός ότι για τη σύνδεση με την υπηρεσία απαιτείται ένας λογαριασμός χρήστη στην υπηρεσία gmail². Για το λόγο αυτό πρέπει να τεθεί στο σενάριο download.py, το username και το password ενός ενεργού λογαριασμού στην υπηρεσία gmail. Το δεύτερο σημείο έχει να κάνει με την τρέχουσα τοποθεσία στο σύστημα αρχείων του σεναρίου download.py και για το λόγο αυτό πρέπει να τεθεί και αυτή η μεταβλητή. Το τρίτο και τελευταίο σημείο αφορά την προτίμηση του χρήστη για την τοποθεσία στην οποία θα αποθηκευτούν τα δεδομένα. Ακολουθεί ένα απόσπασμα του σεναρίου download.py στο οποίο φαίνονται οι μεταβλητές που πρέπει να συμπληρωθούν:

```
//download.py
```

```
username = "your_username"  
password = "your_password"
```

²mail.google.com

```
#keep most recent download of a path_row image so as to know what
#to download next time
date_path = "path/to/download.py"
date_file = "recent_downloads.txt"

#list what we downloaded so as to create the necessary folders
download_path = "path/to/data_location"
download_list = "list.txt"
```

Αφού συμπληρωθούν οι μεταβλητές σώζουμε το αρχείο. Το σενάριο `download.py` είναι έτοιμο για χρήση ώστε να ξεκινήσει να συλλέγει δεδομένα. Το σενάριο έχει δύο τρόπους λειτουργίας. Ο πρώτος τρόπος λειτουργίας, "all" συλλέγει όλα τα νέα δεδομένα από όλες τις διαδρομές του δορυφόρου Landsat 8 (paths & rows) οι οποίες καλύπτουν τον Ελλαδικό χώρο. Ο δεύτερος τρόπος λειτουργίας, "path row" συλλέγει όλα τα νέα δεδομένα για μία μόνο διαδρομή η οποία καλύπτει ένα μέρος του Ελλαδικού χώρου. Ανάλογα τις ανάγκες μας και τις δυνατότητές μας σε αποθηκευτικό χώρο επιλέγουμε τον τρόπο λειτουργίας. Ακολουθούν παρακάτω οι εντολές οι οποίες πρέπει να εισαχθούν στο τερματικό και οι οποίες **επιδεικνύουν τη σωστή χρήση του σεναρίου `download.py`**:

```
//Χρήση του σεναρίου download.py

//μετάβαση στο φάκελο που περιέχει το σενάριο
cd path/to/project/scripts/

//τρόπος λειτουργίας 1 : all
python download.py all

//τρόπος λειτουργίας 2 : path row
python download.py 180 034
```

Το δεύτερο σενάριο είναι το "**move_downloads.py**". Η λειτουργία του είναι η αρχειοθέτηση των πρόσφατα συλλεγμένων δεδομένων, η αποσυμπίεση τους, η εκτέλεση ραδιομετρικών και ατμοσφαιρικών διορθώσεων σε αυτά και τελικά η εισαγωγή δεδομένων και μεταδεδομένων στο `rasdaman` και το `PetaScope`. Το `move_downloads.py` είναι ουσιαστικά ένα σενάριο οδηγός μέσα από το οποίο καλούνται τα σενάρια τα οποία εκτελούν όλες τις υπόλοιπες εργασίες. Για να λειτουργήσει το σενάριο `move_downloads.py` πρέπει να τροποποιηθεί το σημείο στον κώδικά του το οποίο ορίζει σε πιο φάκελο θα "βρει" το σενάριο τα πρόσφατα συλλεγμένα δεδομένα. Το σημείο αυτό πρέπει να είναι το ίδιο με την τοποθεσία που ορίστηκε στο προηγούμενο σενάριο (`download.py`) για την θέση αποθήκευσης των δεδομένων. Ακολουθεί ένα

απόσπασμα του σεναρίου `move_downloads.py` στο οποίο φαίνεται η μεταβλητή που πρέπει να τροποποιηθεί:

```
//move_downloads.py

download_path = "path/to/data_location"
download_list = "list.txt"
```

Αφού τροποποιηθεί η μεταβλητή σώζουμε το αρχείο. Το σενάριο `move_downloads.py` είναι τώρα έτοιμο για χρήση. Η χρήση του σεναρίου αυτού είναι εξαιρετικά απλή. Απλά το καλούμε για εκτέλεση από ένα τερματικό. Ακολουθεί η εντολή η οποία **επιδεικνύει πως πρέπει να χρησιμοποιείται το σενάριο `move_downloads.py`** :

```
//Χρήση του σεναρίου move_downloads.py

//μετάβαση στο φάκελο που περιέχει το σενάριο
cd path/to/project/scripts/

//εκτέλεση του σεναρίου
python move_downloads.py
```

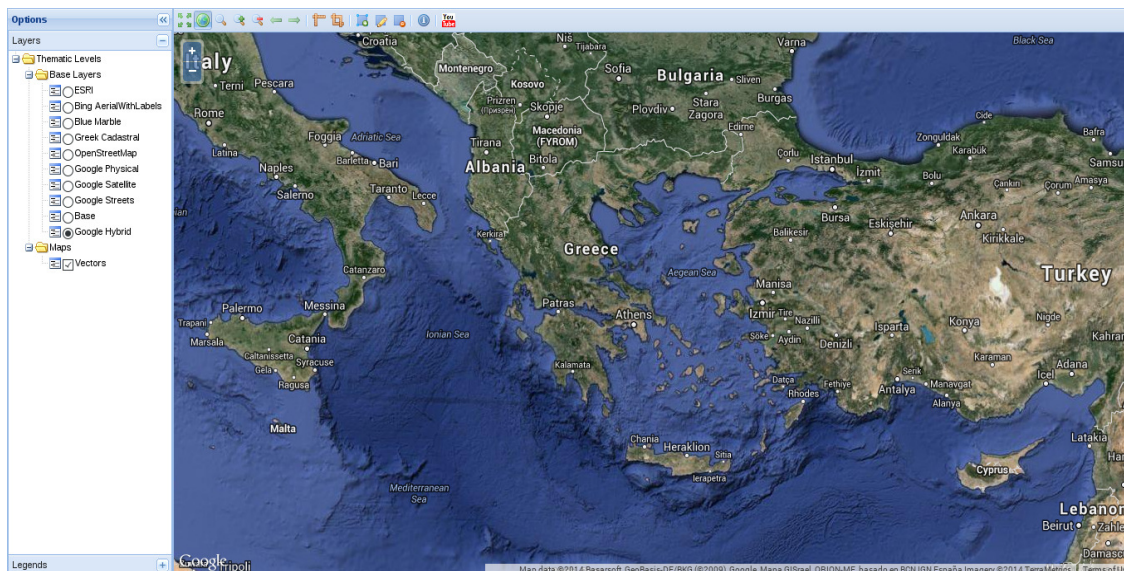
Με την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της παραπάνω εντολής όλα τα συλλεγμένα δεδομένα έχουν εισαχθεί στο `rasdaman` και είναι αμέσως έτοιμα και διαθέσιμα για επεξεργασία από τον Web Client του συστήματος `RemoteAgri`. Η χρήση του Web Client του συστήματος `RemoteAgri` για την επεξεργασία και την απεικόνιση των δεδομένων περιγράφεται στην επόμενη υποενότητα.

6.2.2 Web Client

Μέσω του Web Client έχουμε τη δυνατότητα να απεικονίζουμε τα διαθέσιμα δεδομένα και να υποβάλουμε ερωτήματα επεξεργασίας σε αυτά. Στην υποενότητα αυτή θα περιγραφούν οι ενέργειες οι οποίες πρέπει να εκτελέσει ένας χρήστης προς αυτήν την κατεύθυνση.

Στο **σχήμα 6.3** είναι ορατή η οθόνη που βλέπουν οι χρήστες του συστήματος `RemoteAgri` κατά τη σύνδεσή τους με την υπηρεσία. Από την οθόνη αυτή παρατηρούμε τα βασικά τμήματα του Web Client. Αριστερά βρίσκεται το **μενού με τις επιλογές**, "Options", πάνω βρίσκεται η **γραμμή εργαλείων** και κεντρικά είναι η **περιοχή προβολής του χάρτη** και των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας.




Από το **μενού επιλογών (σχήμα 6.4 a)**, ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί στα **βασικά υπόβαθρα** (Base Layers) κλικάροντας το κουμπί αριστερά από το όνομα του κάθε υποβάθρου. Το κουμπί το οποίο θα είναι σημαδεμένο με μαύρο χρώμα υποδεικνύει και το

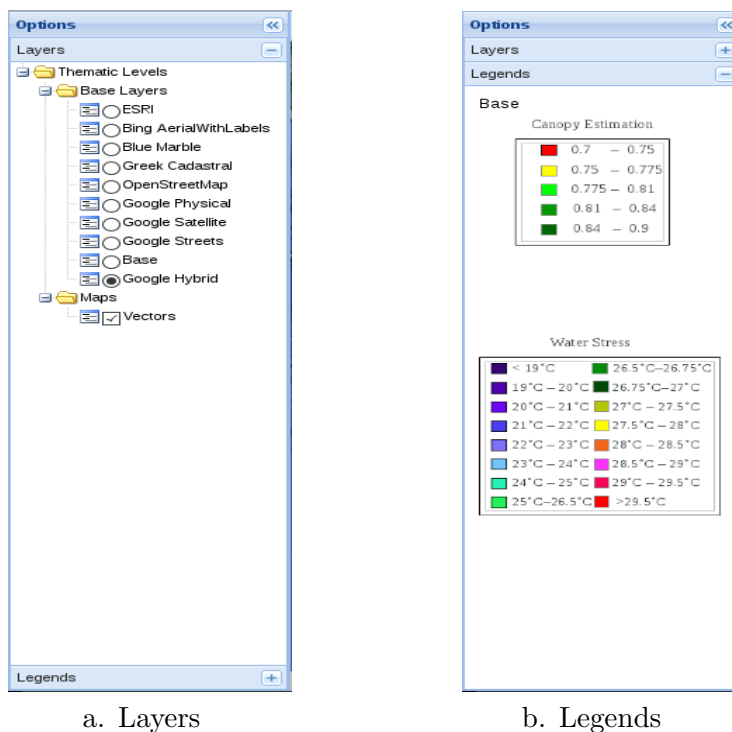


Σχήμα 6.3: Οθόνη σύνδεσης.

υπόβαθρο το οποίο προβάλλεται εκείνη τη στιγμή στο χάρτη. Ένα βασικό υπόβαθρο μπορεί να είναι επιλεγμένο κάθε φορά (στο σχήμα το Google Hybrid). Κάτω από την ετικέτα Maps προβάλλονται τα αποτελέσματα των επεξεργασιών. Αυτή τη στιγμή δεν έχει επιλεγεί κάποια επεξεργασία και για το λόγο αυτό φαίνονται μόνο τα βοηθητικά διανύσματα (Vectors). Όπως παρατηρούμε οι κύριες επιλογές που έχουμε είναι η επιλογή Layers και η επιλογή Legends. Δίπλα σε κάθε επιλογή υπάρχει το σύμβολο ” + ” ή ” – “. Κλικάροντας το σύμβολο ” + ” επιλέγουμε πια από τις επιλογές θα είναι πλήρως ορατή. Στο **σχήμα 6.4 a** το ” + ” έχει επιλεγεί για την επιλογή Layers και για το λόγο αυτό βλέπουμε τις επιλογές των υποβάθρων. Στο **σχήμα 6.4 b** έχει επιλεγεί το ” + ” για την επιλογή Legends και για το λόγο αυτό βλέπουμε τα **διαθέσιμα υπομνήματα**. Τα διαθέσιμα υπομνήματα είναι δύο. Ένα για το ερώτημα επεξεργασίας Canopy Estimation και ένα για το ερώτημα επεξεργασίας Water Stress Estimation. Για το Canopy Estimation όσο πιο πράσινο και σκούρο είναι το χρώμα τόσο πιο υγιής είναι η ανιχνευθείσα βλάστηση. Για το Water Stress Estimation τα χρώματα καθορίζουν διαστήματα θερμοκρασίας στην κλίμακα Κελσίου. Με χρήση του συμβόλου ” – ” αποκρύπτουμε αντίστοιχα τις επιλογές που θέλουμε.

Στο πάνω σημείο της οθόνης (σχήμα 6.3) βρίσκεται η γραμμή εργαλείων (σχήμα 6.5). Από τη γραμμή εργαλείων επιλέγονται όλες οι λειτουργικότητες του συστήματος RemoteAgri.

Με το κλικ στο κουμπί  γίνεται **zoom out** και βλέπουμε στο χάρτη όλο τον κόσμο. Με κλικ στο κουμπί  μπορούμε να **πλοηγηθούμε οπουδήποτε στο χάρτη** και να εστιάζουμε όπου θέλουμε. Με κλικ στο κουμπί  μπορούμε να επιλέξουμε μια **συγκεκριμένη περιοχή στην οποία θα γίνει εστίαση** μέσω του σχεδιασμού ενός ορθογωνίου



a. Layers






b. Legends


Σχήμα 6.4: Μενού επιλογών.

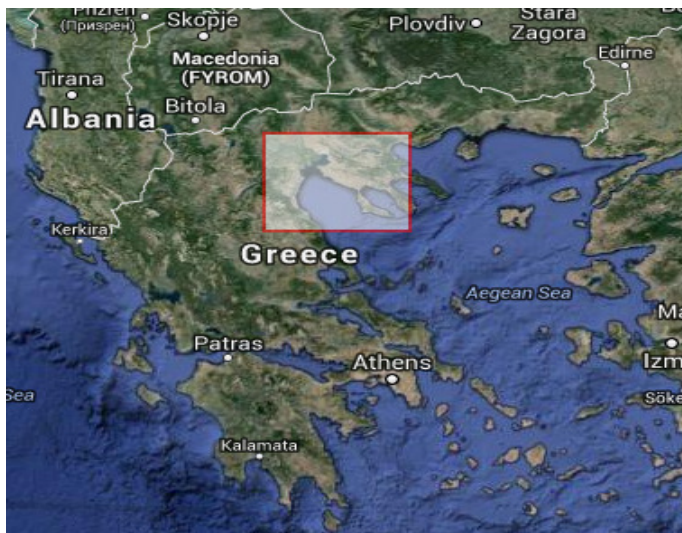


Σχήμα 6.5: Γραμμή εργαλείων.

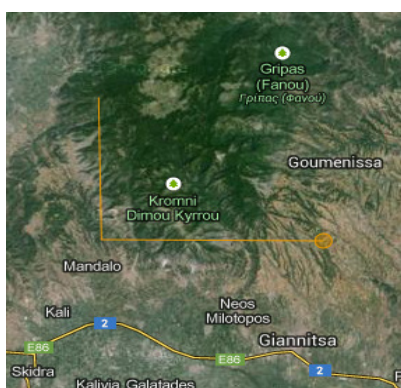
στο χάρτη (σχήμα 6.6).

Με κλικ στο κουμπί  πάμε σε ένα **επίπεδο εστίασης μεγαλύτερο** από αυτό το οποίο είμαστε τώρα σε όλο το χάρτη. Με κλικ στο κουμπί  πάμε σε ένα **επίπεδο εστίασης μικρότερο** από το τρέχον σε όλο το χάρτη. Με κλικ στο κουμπί  πάμε στην **αμέσως προηγούμενη κατάσταση εστίασης** όποια και αν ήταν αυτή. Με κλικ στο κουμπί  πάμε **μπροστά στην εστίαση**. Τα δύο προαναφερθέντα κουμπιά είναι κουμπιά ιστορικού εστίασης. Στη συνέχεια με κλικ στο κουμπί  είμαστε σε θέση να **σχεδιάσουμε μια γραμμή** πάνω στο χάρτη ώστε αυτόματα να μετρηθεί το μήκος της. Με μονό κλικ σημαδεύουμε τα σημεία τα οποία καθορίζουν τα τμήματα της γραμμής και με διπλό κλικ ολοκληρώνουμε τη σχεδιάσή της (σχήμα 6.7).

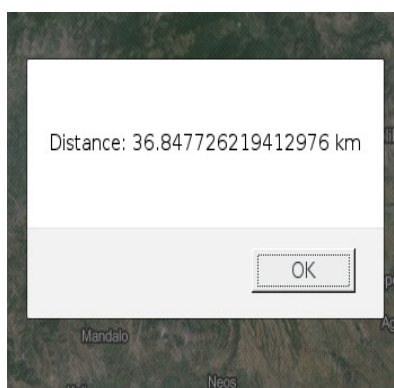
Με κλικ στο κουμπί  είμαστε σε θέση να **σχεδιάσουμε μια περιοχή** πάνω στο χάρτη ώστε αυτόματα να μετρηθεί το εμβαδόν της. Με μονό κλικ σημαδεύουμε τα σημεία τα οποία καθορίζουν τις κορυφές της περιοχής και με διπλό κλικ ολοκληρώνουμε τη σχεδιάσή



Σχήμα 6.6: Επιλογή εστίασης σε συγκεκριμένη περιοχή.




a. Σχεδίαση γραμμής




b. Ολοκλήρωση σχεδίασης

Σχήμα 6.7: Μέτρηση μήκους γραμμής.

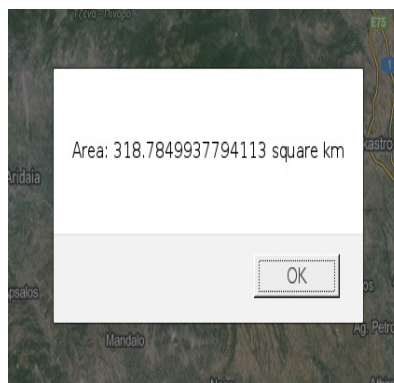
της (σχήμα 6.8).

Με κλικ στο κουμπί  μεταφερόμαστε σε ένα βίντεο επίδειξης της λειτουργίας του συστήματος RemoteAgri.

Στο σημείο αυτό θα περιγράψουμε τα 3 εναπομείναντα κουμπιά τα οποία συνιστούν και την κύρια λειτουργικότητα του Web Client του συστήματος. Με κλικ στο κουμπί  δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να **ορίσει μια περιοχή ενδιαφέροντος** της επιλογής του μέσω του σχεδιασμού ενός ορθογώνιου ή τετραγώνου πάνω στο χάρτη. Με μονό κλικ ο χρήστης σημαδεύει τις κορυφές του πολυγώνου και με διπλό κλικ ολοκληρώνει τη σχεδίαση (σχήμα 6.9).



a. Σχεδίαση περιοχής



b. Ολοκλήρωση σχεδίασης

Σχήμα 6.8: Μέτρηση εμβαδού περιοχής.





a. Σχεδίαση περιοχής

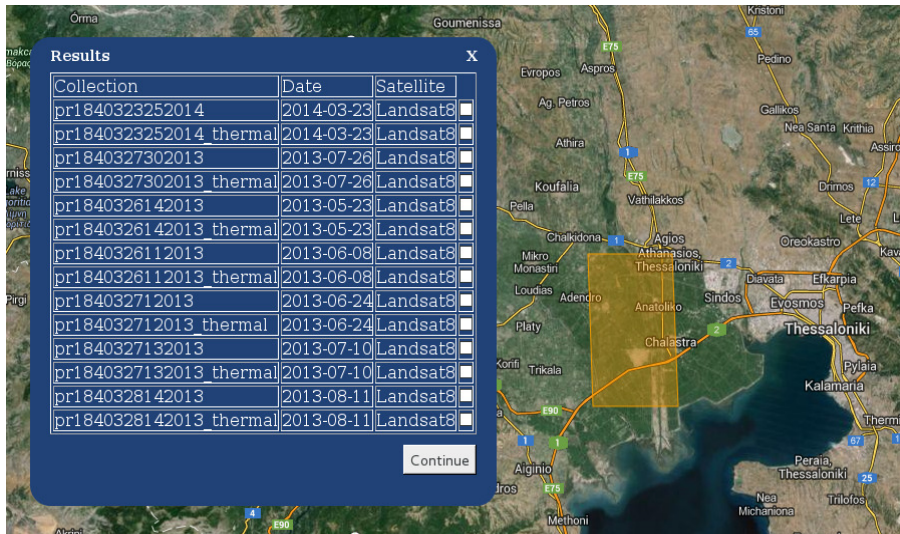


b. Ολοκλήρωση σχεδίασης

Σχήμα 6.9: Ορισμός περιοχής ενδιαφέροντος.

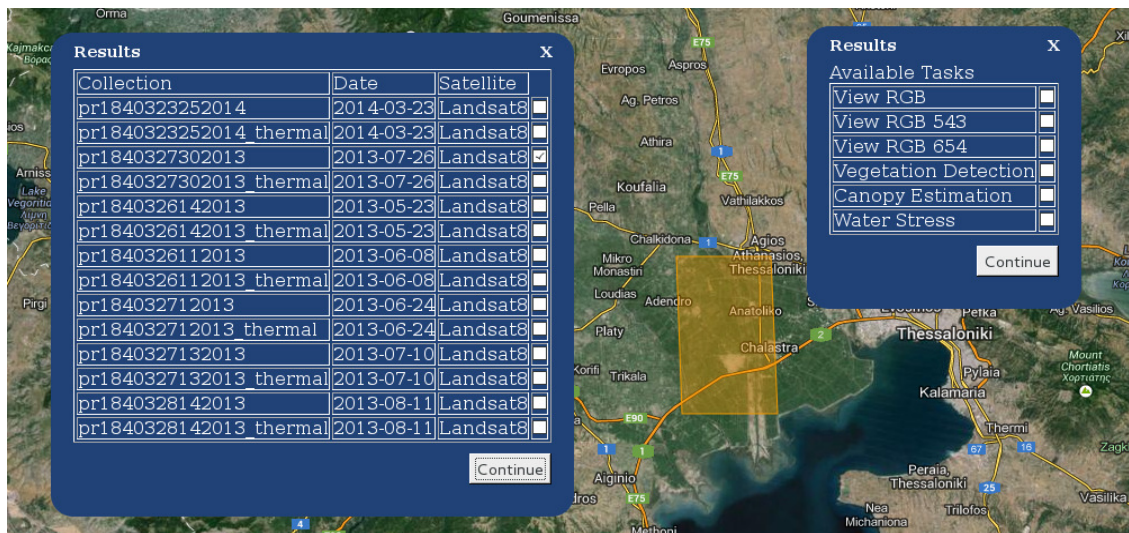
Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα είτε να **διαγράψει την επιλεγμένη περιοχή** και να επιλέξει κάποια άλλη με κλικ στο κουμπί , είτε να την επεξεργαστεί με κλικ στο κουμπί . Αν ο χρήστης επιλέξει να επεξεργαστεί την περιοχή ενδιαφέροντος, τότε με το που κάνει κλικ στο κουμπί για την επεξεργασία της θα εμφανιστεί στην οθόνη του συστήματος ένα παράθυρο το οποίο θα περιέχει όλες τις δορυφορικές εικόνες οι οποίες θα περιέχουν τη συγκεκριμένη περιοχή (σχήμα 6.10).

Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί αν θέλει να κλείσει το παράθυρο και να κάνει κάποια άλλη ενέργεια. Αν όμως θέλει να συνεχίσει με την επεξεργασία της περιοχής, πρέπει να επιλέξει μια εικόνα που τον ενδιαφέρει (βάση της ημερομηνίας λήψης), επιλέγοντας το κουτάκι (checkbox) το οποίο εμφανίζεται στο τέλος κάθε γραμμής και στη συνέχεια να επιλέξει το κουμπί "Continue" το οποίο βρίσκεται στο κάτω δεξί μέρος του αναδυόμενου παραθύρου. Αμέσως θα εμφανιστεί άλλο αναδυόμενο παράθυρο στο οποίο φαίνονται οι διαθέσιμες επεξεργασίες



Σχήμα 6.10: Διαθέσιμες εικόνες κάλυψης περιοχής ενδιαφέροντος.

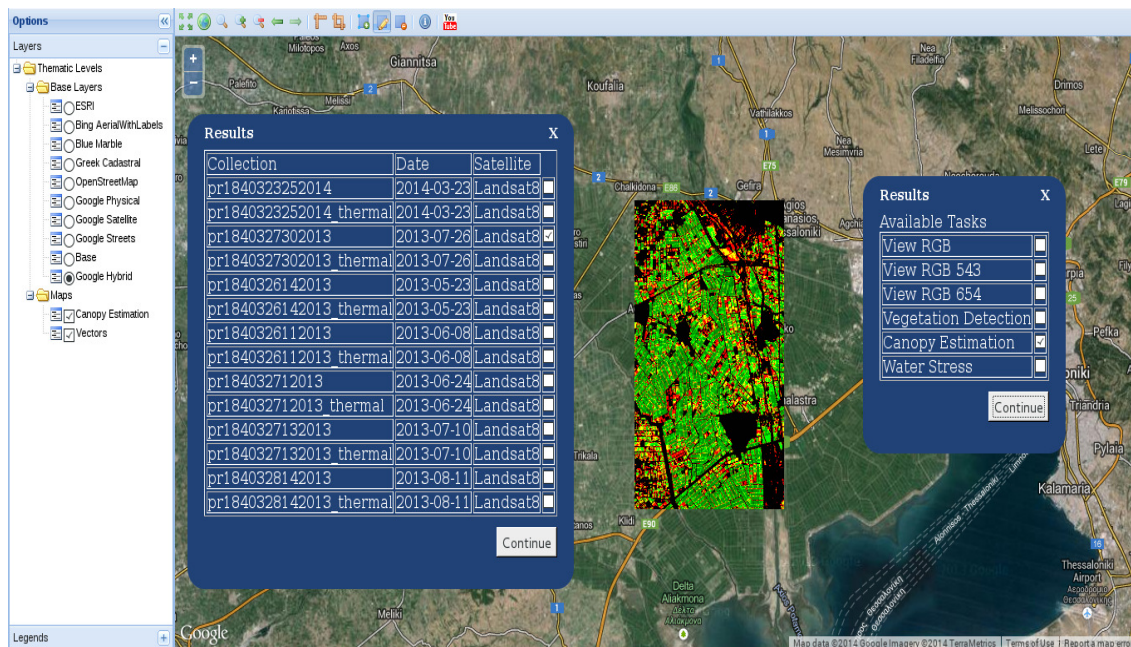
από το σύστημα RemoteAgri (σχήμα 6.11).



Σχήμα 6.11: Αναδυόμενα παράθυρα εικόνων και διαθέσιμων επεξεργασιών.

Ο χρήστης μπορεί τότε να επιλέξει μία διαθέσιμη επεξεργασία, επιλέγοντας το checkbox δίπλα στο όνομα της επεξεργασίας που επιθυμεί να εκτελεστεί πάνω στην εικόνα. Στη συνέχεια με κλικ στο κουμπί "Continue" του αναδυόμενου παραθύρου των επεξεργασιών ζητάει να εκτελεστεί η επιθυμητή επεξεργασία. Στη συνέχεια περιμένει λίγα δευτερόλεπτα και το αποτέλεσμα γίνεται ορατό σαν επίθεμα πάνω στο χάρτη αλλά και κάτω από την ετικέτα Maps

του μενού επιλογών (σχήμα 6.12). Ο χρήστης τότε μπορεί να πλοηγηθεί πάνω στο επίθεμα, να εστιάσει σε κάποια περιοχή καθώς και να προβάλει το σχετικό υπόμνημα για να ερμηνεύσει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας. Στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε, μπορεί να ζητήσει επιπλέον επεξεργασίες για την περιοχή που τον ενδιαφέρει ή να ορίσει άλλες περιοχές ενδιαφέροντος.



Σχήμα 6.12: Προβολή αποτελέσματος.

Στο σημείο αυτό κλείνει η παρουσίαση του οδηγού χρήσης του συστήματος RemoteAgri. Το σύστημα είναι με τέτοιο τρόπο φτιαγμένο, ώστε με μελέτη του συγκεκριμένου οδηγού και λίγη εξάσκηση στην πράξη, οποιοσδήποτε χρήστης να μπορεί να απολαμβάνει τα αποτελέσματα των επεξεργασιών του συστήματος.

6.3 Επίδειξη Εφαρμογής

Το σύστημα RemoteAgri δίνει τη δυνατότητα για το χειρισμό και την αποθήκευση μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων και την αξιοποίησή τους σε online ερωτήματα απεικόνισης και ανάλυσης για αγροτικές εφαρμογές. Στις προηγούμενες ενότητες μελετήθηκε ενδελεχώς η αρχιτεκτονική και η φιλοσοφία του συστήματος όπως επίσης και έγινε η παρουσίαση της εγκατάστασης και της χρήσης του. Πως όμως στην πράξη αποδεικνύεται, όχι μόνο χρήσιμο, αλλά και αναγκαίο ένα τέτοιο σύστημα; Στην ενότητα αυτή θα γίνει η παρουσίαση των δυνατοτήτων του συστήματος RemoteAgri μέσα από ένα πραγματικό σενάριο χρήσης στο οποίο το σύστημα παίζει καταλυτικό ρόλο και δίνει τη δυνατότητα για την αξιολόγηση και την εκτίμηση της παραγωγής μιας καλλιεργήσιμης έκτασης αλλά και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων.

Το σενάριο χρήσης περιλαμβάνει ένα γεωργικό συνεταιρισμό στην περιοχή του δέλτα του Αξιού ποταμού στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας. Ο συνεταιρισμός ιδανικά θέλει να γνωρίζει την κατάσταση του συνόλου των καλλιεργειών οι οποίες ανήκουν σε αυτόν, αλλά επίσης θέλει να μπορεί να προσφέρει πληροφορίες ξεχωριστά σε κάθε καλλιεργητή – μέλος για την συγκεκριμένη καλλιεργήσιμη έκταση για την οποία αυτός είναι υπεύθυνος ώστε να είναι δυνατή η λήψη κατάλληλων διαχειριστικών αποφάσεων για την προσαρμοσμένη καλλιέργεια. Οι καλοκαιρινές σοδειές ρυζιού κυριαρχούν στην περιοχή του δέλτα του Αξιού ποταμού (καλύπτουν γύρω στο 70% της περιοχής) με τις σοδειές σε βαμβάκι και καλαμπόκι να ακολουθούν. Η περιοχή του δέλτα του Αξιού είναι πολύ πρόσφορη για την καλλιέργεια ρυζιού καθώς υπάρχει αφθονία νερού στην περιοχή εξαιτίας τόσο του Αξιού ποταμού όσο και άλλων μεγάλων ποταμών στην περιοχή όπως είναι ο Λουδίας και ο Αλιάκμονας. Επίσης, η περιοχή αυτή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για το γεωργικό συνεταιρισμό καθώς το έτος 2012 παρουσιάστηκε μεγάλη απώλεια στην απόδοση του βαμβακιού στην περιοχή, με συνέπεια να είναι μείζονος σημασίας ένας οικονομικά αποτελεσματικός υπολογισμός της ευρωστίας των φυτών και της καταπόνησης της βλάστησης, για να είναι δυνατόν ο συνεταιρισμός να πάρει αποφάσεις σχετικά με τα πλάνα αντιμετώπισης της μείωσης της απόδοσης.

Σε όλα αυτά τα ζητήματα μπορεί να βοηθήσει καίρια και αποτελεσματικά το ανεπτυγμένο WebGIS σύστημα RemoteAgri. Τα δεδομένα του καλύπτουν την περιοχή σε βάθος σχεδόν 2 χρόνων (από το Μάρτιο του 2013) και είναι ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά διορθωμένα. Αυτό σημαίνει ότι είναι έγκυρα και αξιόπιστα και μπορεί να δοθεί βάση στα αποτελέσματα τα οποία θα εξαχθούν από την ανάλυση η οποία θα πραγματοποιηθεί στα δεδομένα. Επίσης, σε περίπτωση που το επιτρέπει η νεφοκάλυψη, νέα δεδομένα της περιοχής είναι διαθέσιμα κάθε 16 μέρες με συνέπεια να μπορούμε να ελέγχουμε λεπτομερώς την κατάσταση των καλλιεργειών. Επιπλέον, τα νέα δεδομένα γίνονται διαθέσιμα περίπου 3 μέρες την καταγραφή τους από το δορυφόρο με συνέπεια να έχουμε τη δυνατότητα να αντιδράσουμε έγκαιρα σε περίπτωση που διαπιστωθεί κάποιο πρόβλημα.

Για την περιοχή του δέλτα του Αξιού ποταμού πραγματοποιήθηκε ανάλυση των καλλιεργειών μέσω του συστήματος RemoteAgri για να διαπιστωθεί η υγεία τους και η πορεία της ανάπτυξής τους ώστε να είναι δυνατόν να ληφθούν κατάλληλες διαχειριστικές αποφάσεις. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η πορεία των καλλιεργειών μιας περιοχής για ένα διάστημα 1 μήνα

και 15 ημερών από 24/6/2013 έως και 11/8/2013. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του συστήματος ακολουθούν στα παρακάτω σχήματα (**σχήματα 6.13 – 6.16**). Παρουσιάζονται οι RGB εικόνες της περιοχής καθώς και τα 3 βασικά ερωτήματα ανάλυσης του συστήματος RemoteAgri, δηλαδή η ανίχνευση της βλάστησης (Vegetation Detection), ο υπολογισμός της κόμης φυλλώματος (Canopy Estimation) και η καταπόνηση της βλάστησης σε σχέση με το νερό (Water Stress Estimation).

Στο **σχήμα 6.13** παρουσιάζονται οι RGB εικόνες της περιοχής. Οπτικά, αντιλαμβανόμαστε διαφορές από ημερομηνία σε ημερομηνία, μπορούμε να ξεχωρίσουμε περιοχές καλλιεργειών ακόμα και περιοχές οι οποίες έχουν ανεπτυγμένη βλάστηση αλλά οι ισχυρισμοί μας δεν είναι καθόλου ασφαλείς.

Έτσι, στο **σχήμα 6.14**, έχουμε την απεικόνιση του ερωτήματος το οποίο πραγματοποιεί Vegetation Detection για τις προαναφερθείσες ημερομηνίες στην παραπάνω περιοχή. Το συγκεκριμένο σχήμα βοηθάει σε πολύ μεγάλο βαθμό να εντοπίσουμε τη βλάστηση και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η ανίχνευση της βλάστησης πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας πολύ υψηλή τιμή κατωφλίσωσης για το δείκτη NDVI ο οποίος βοηθάει στην ανίχνευση της βλάστησης με συνέπεια να είμαστε σίγουροι πως όποια περιοχή έχει άσπρο χρώμα περιέχει σίγουρα σχετικά πυκνή και υγιή βλάστηση.

Στο **σχήμα 6.15** έχουμε τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του ερωτήματος Canopy Estimation. Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου ερωτήματος μας επιτρέπουν να έχουμε μια καλύτερη και πιο λεπτομερή εικόνα για την κατάσταση των αγροτεμαχίων. Μας επιτρέπουν να βρούμε για παράδειγμα περιοχές στον ίδιο ορυζώνα που δεν είναι τόσο εύρωστες όσο άλλες και να μπούμε στη διαδικασία να βρούμε τους παράγοντες που το προκαλούν αυτό. Τα αποτελέσματα του ερωτήματος αυτού μπορούν να μας ωθήσουν στη λήψη της απόφασης να εφαρμόσουμε περισσότερο ή διαφορετικό λίπασμα στις περιοχές που δεν είναι τόσο εύρωστες. Επίσης, μπορεί να χρειαστεί να στείλουμε κάποιους γεωπόνους και να τους υποδείξουμε συγκεκριμένα σημεία στα οποία οι φυτικοί οργανισμοί δεν συμπεριφέρονται όπως θα περιμέναμε βάση της γενικής εικόνας των υπόλοιπων αγροτεμαχίων ώστε αυτοί να τους εξετάσουν και να προσπαθήσουν να βρουν τα αίτια του προβλήματος. Επιπλέον, μπορεί να πάρουμε την απόφαση να πραγματοποιήσουμε χημικές αναλύσεις στις περιοχές που δεν συμπεριφέρονται όπως θα περιμέναμε.

Πιο συγκεκριμένα τώρα για το σχήμα 6.15 παρατηρούμε τον κύκλο ζωής των συγκεκριμένων αγροτεμαχίων. Από την εικόνα 6.15 a στην οποία παρουσιάζεται η αρχή της ανάπτυξης μέχρι την εικόνα 6.15 c στην οποία παρουσιάζεται η κορύφωση της ανάπτυξης (πολύ έντονες οι πράσινες περιοχές) και την εικόνα 6.15 d στην οποία φαίνεται η αρχή της ωρίμανσης και πιθανόν της συγκομιδής σε κάποιες περιοχές.

Στο **σχήμα 6.16** έχουμε τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του ερωτήματος Water Stress Estimation. Τα αποτελέσματα του εν λόγω ερωτήματος παρουσιάζουν τις τιμές θερμοκρασιών του εδάφους σε βαθμούς Κελσίου όπως τις αντιλαμβάνεται και τις καταγράφει ο θερμοκρασιομητράς του δορυφόρου. Τα αποτελέσματα του ερωτήματος αυτού έρχονται να συμπληρώσουν την ανάλυση του ερωτήματος Canopy Estimation προσθέτοντας και τον παράγοντα της θερμοκρασίας. Αν για παράδειγμα δούμε ότι μια περιοχή δεν έχει τόσο εύρωστη βλάστηση

και ταυτόχρονα η θερμοκρασία της είναι υψηλή σε σχέση με τις γειτονικές της μπορούμε να υποθέσουμε και να ελέγξουμε αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την ποτιστική διαδικασία για την περιοχή αυτή. Αυτό το ερώτημα είναι πολύ σημαντικό για τις αρδεύσιμες εκτάσεις καθώς μας επιτρέπει να πάρουμε αποφάσεις για τη διαχείριση της ποτιστικής διαδικασίας, να εντοπίσουμε περιοχές στις οποίες η άρδευση αποτυγχάνει, να εντοπίσουμε διαρροές καθώς και να πάρουμε αποφάσεις για αλλαγές στα ποτιστικά συστήματα. Αν εξετάσουμε το πρόβλημα και δούμε ότι δεν υπεύθυνη η έλλειψη νερού για την ασυνήθιστα υψηλή θερμοκρασία την οποία μπορεί να παρουσιάζει μια περιοχή ενός αγροτεμαχίου, τότε μπορούμε να μπούμε στη διαδικασία να εξετάσουμε άλλους παράγοντες που μπορεί να ευθύνονται για αυτό. Η αύξηση της θερμοκρασίας του φυτού σημαίνει μείωση των υγρών του. Μπορεί το φυτό να έχει προσβληθεί από κάποιο μύκητα ή κάποια ασθένεια και η αύξηση της θερμοκρασίας του να είναι σύμπτωμα για την περίπτωση αυτή.

Τα αποτελέσματα του ερωτήματος Water Stress Estimation πρέπει να ερμηνεύονται πάντα με μεγάλη προσοχή καθώς μπορεί να λαμβάνουν χώρα διάφοροι παράγοντες οι οποίοι να αλλοιώνουν την πραγματική εικόνα των καλλιεργειών. Για παράδειγμα στο σχήμα 6.16 b το σύνολο των καλλιεργειών παρουσιάζει υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία κάτι που μάλλον δείχνει ότι οι καλλιέργειες μόλις ποτίστηκαν παρά προσφέρει κάποια χρήσιμη πληροφορία σχετικά με την υγεία των φυτικών οργανισμών.

Συμπερασματικά, από όλη την παραπάνω ανάλυση γίνεται κατανοητή η χρησιμότητα του συστήματος RemoteAgri για την αποδοτική διαχείριση των καλλιεργειών και η δυνατότητα που έχει να προσφέρει στο γεωργικό συνεταιρισμό της περιοχής του δέλτα του Αξιού, ένα σημαντικό αριθμό από πληροφορίες οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες του. Το σύστημα RemoteAgri χρησιμοποιεί επιστημονικές μεθόδους οι οποίες μας δίνουν τη δυνατότητα να εξετάσουμε ταυτόχρονα και από πολλές σκοπιές την πορεία των καλλιεργειών ώστε να διασφαλίσουμε ότι οι καλύτερες γεωργικές πρακτικές χρησιμοποιούνται για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής και την ελαχιστοποίηση του κόστους της.

Ακολουθούν στιγμιότυπα, **στα σχήματα από 6.17 έως και 6.22**, για κάθε ένα από τα ερωτήματα επεξεργασίας τα οποία προσφέρει το σύστημα RemoteAgri, από τη μελέτη της περιοχής ενδιαφέροντος στον Αξιό ποταμό για τις 26/7/2013.



a. 24/6/2013



b. 10/7/2013

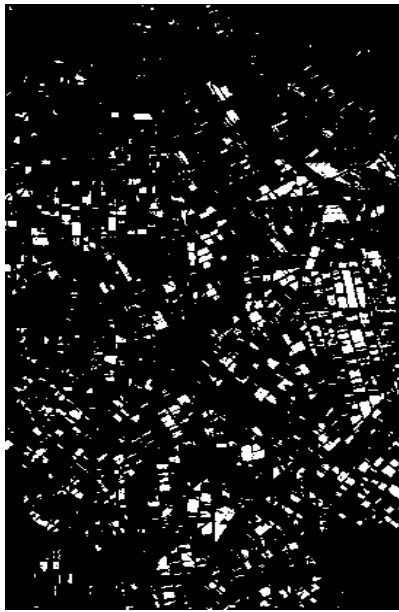


c. 26/7/2013

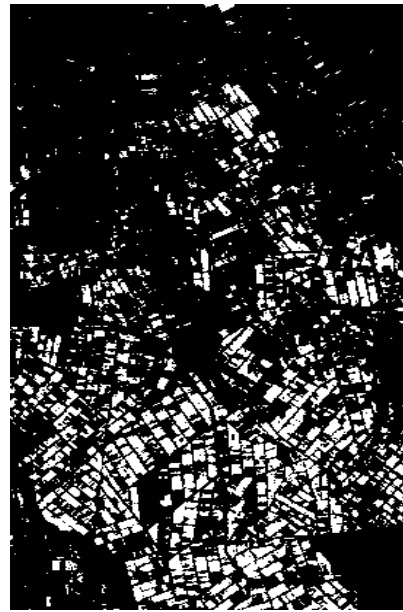


d. 11/8/2013

Σχήμα 6.13: Παρακολούθηση περιοχής στον Αξιό ποταμό – RGB εικόνες.



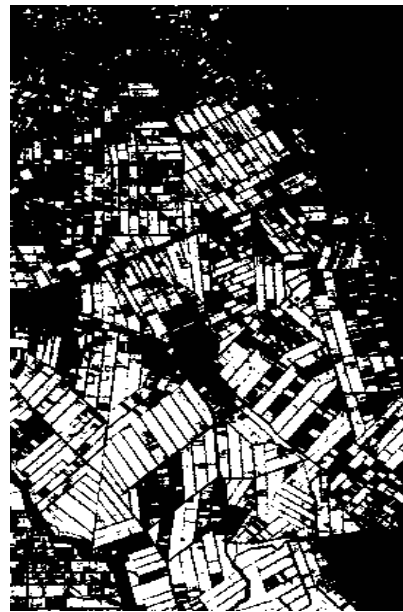
a. 24/6/2013



b. 10/7/2013

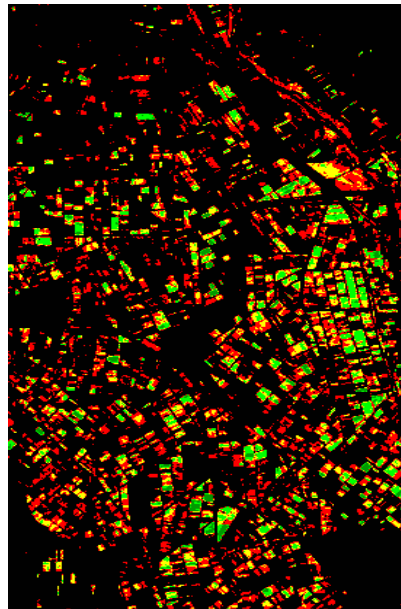


c. 26/7/2013

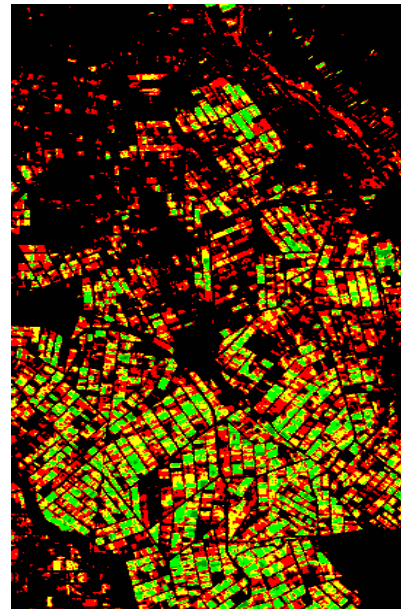


d. 11/8/2013

Σχήμα 6.14: Παρακολούθηση περιοχής στον Αξίο ποταμό – Vegetation Detection.



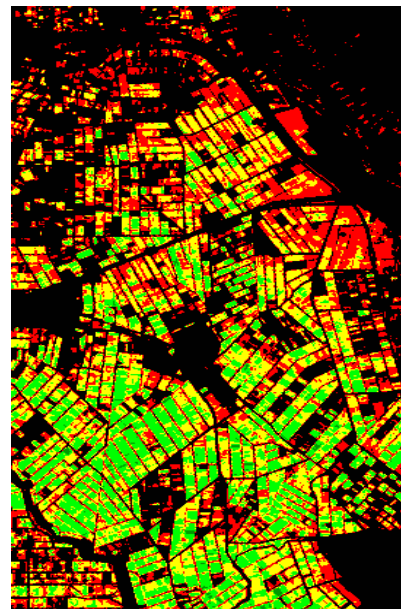
a. 24/6/2013



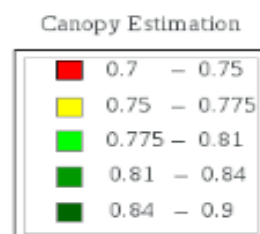
b. 10/7/2013



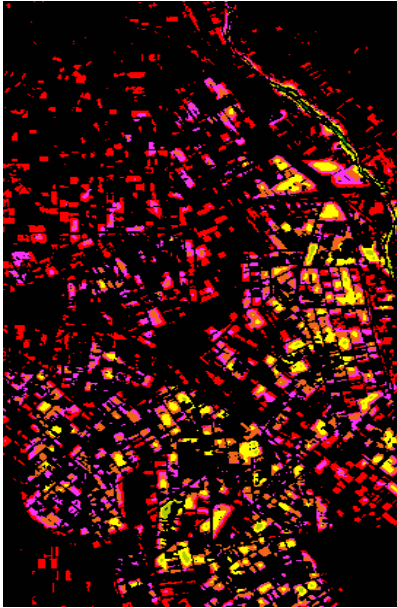
c. 26/7/2013



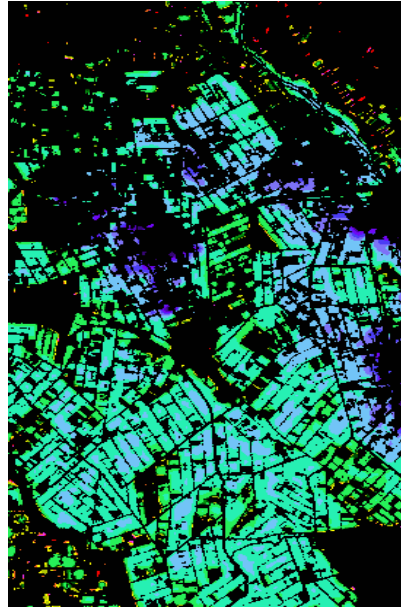
d. 11/8/2013



Σχήμα 6.15: Παρακολούθηση περιοχής στον Αζιό ποταμό – Canopy Estimation.



a. 24/6/2013



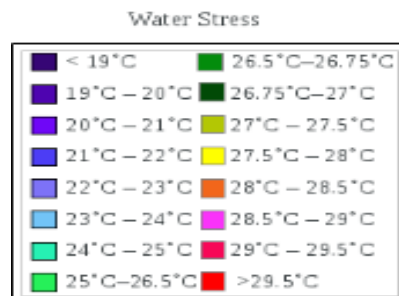
b. 10/7/2013



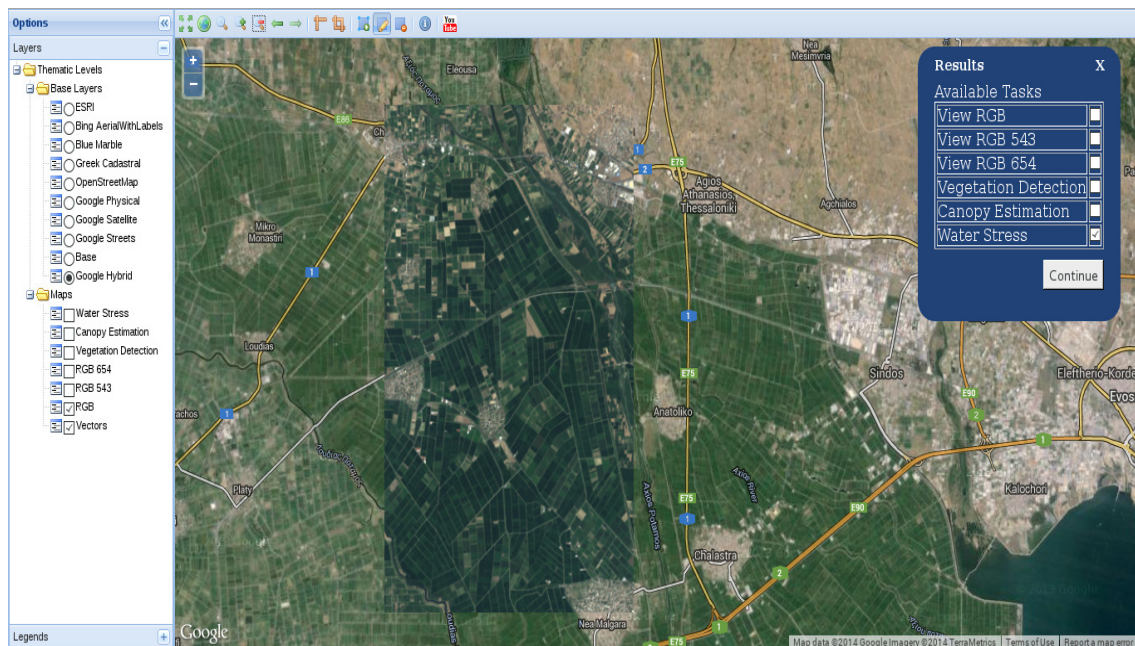
c. 26/7/2013



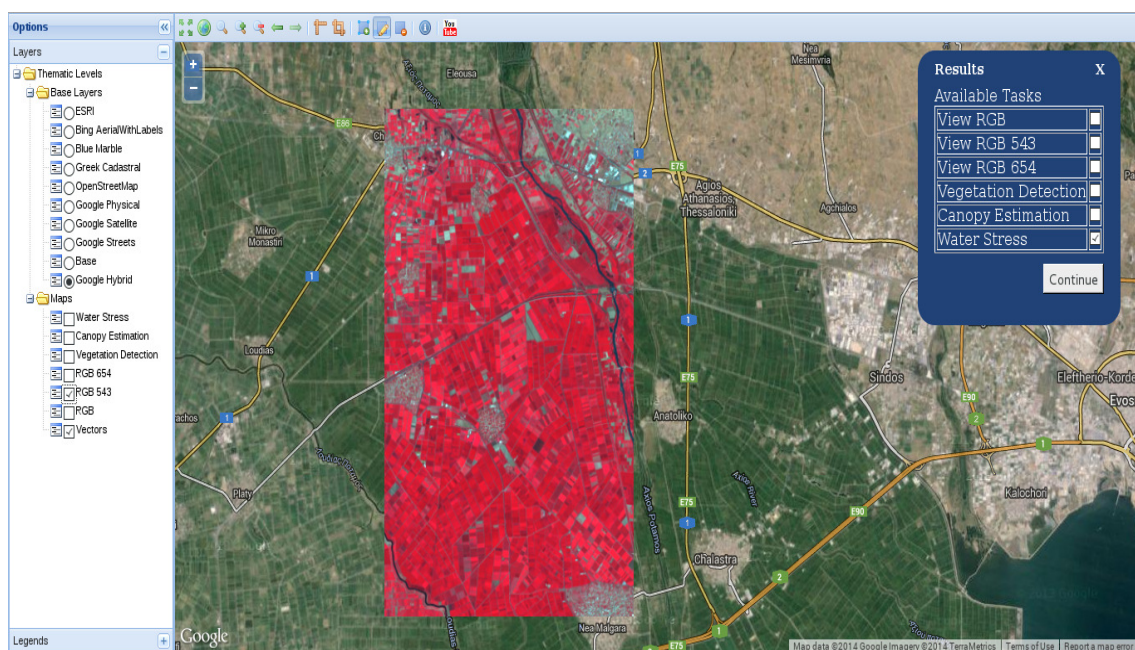
d. 11/8/2013



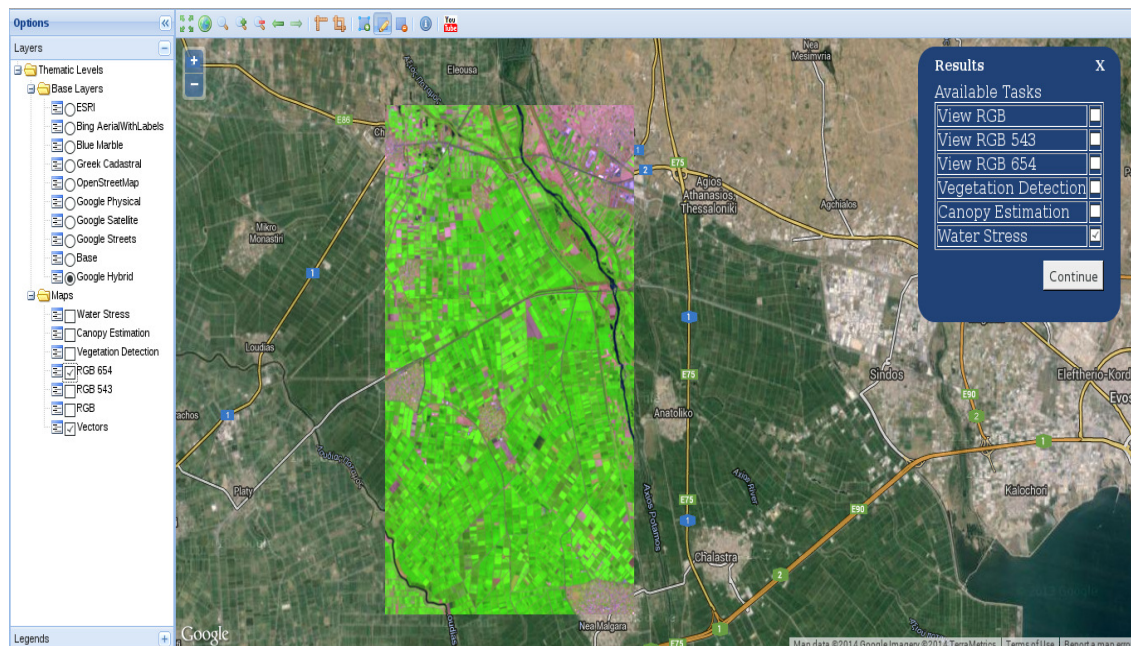
Σχήμα 6.16: Παρακολούθηση περιοχής στον Αξιό ποταμό – Water Stress Estimation.



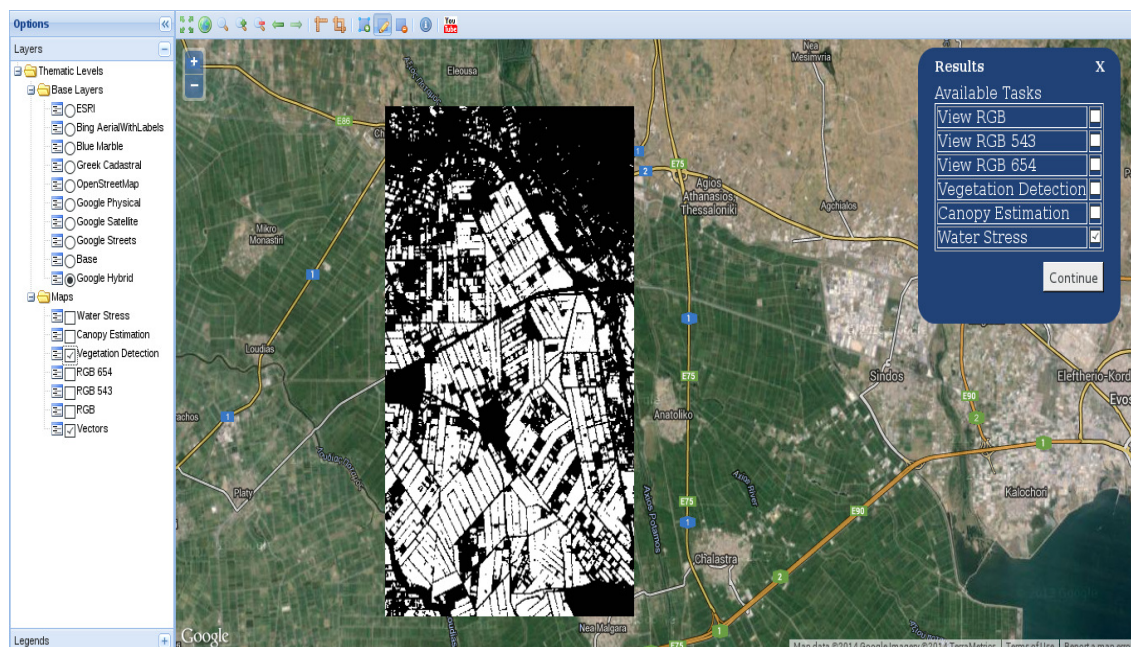
Σχήμα 6.17: Στιγμιότυπο προβολής της RGB εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.



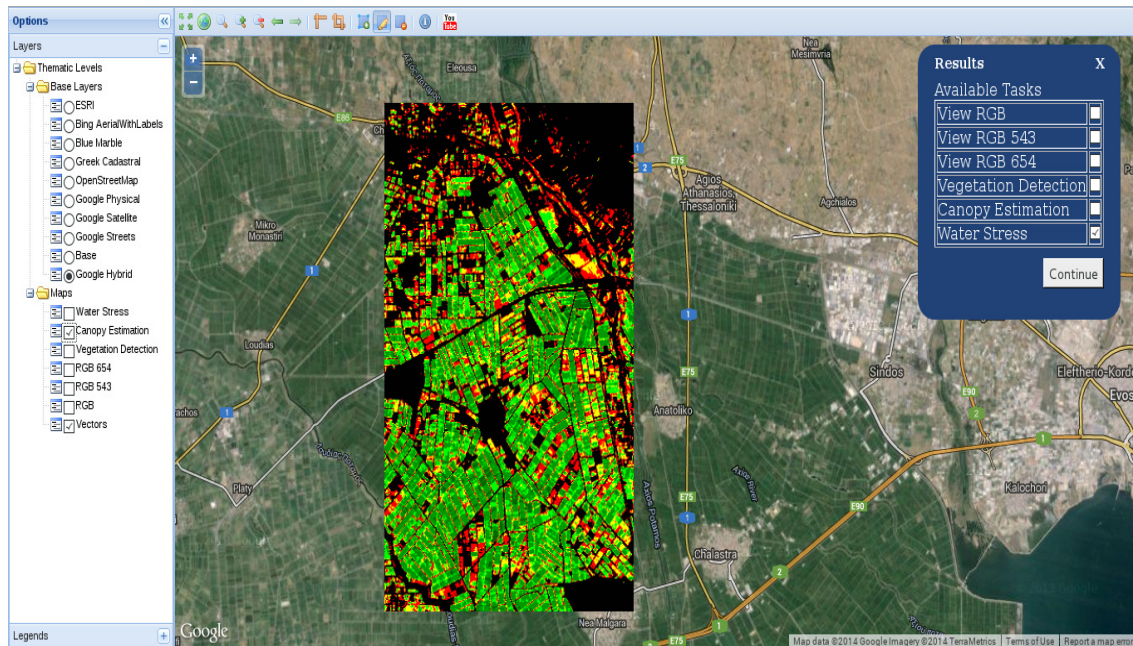
Σχήμα 6.18: Στιγμιότυπο προβολής της RGB 543 εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.



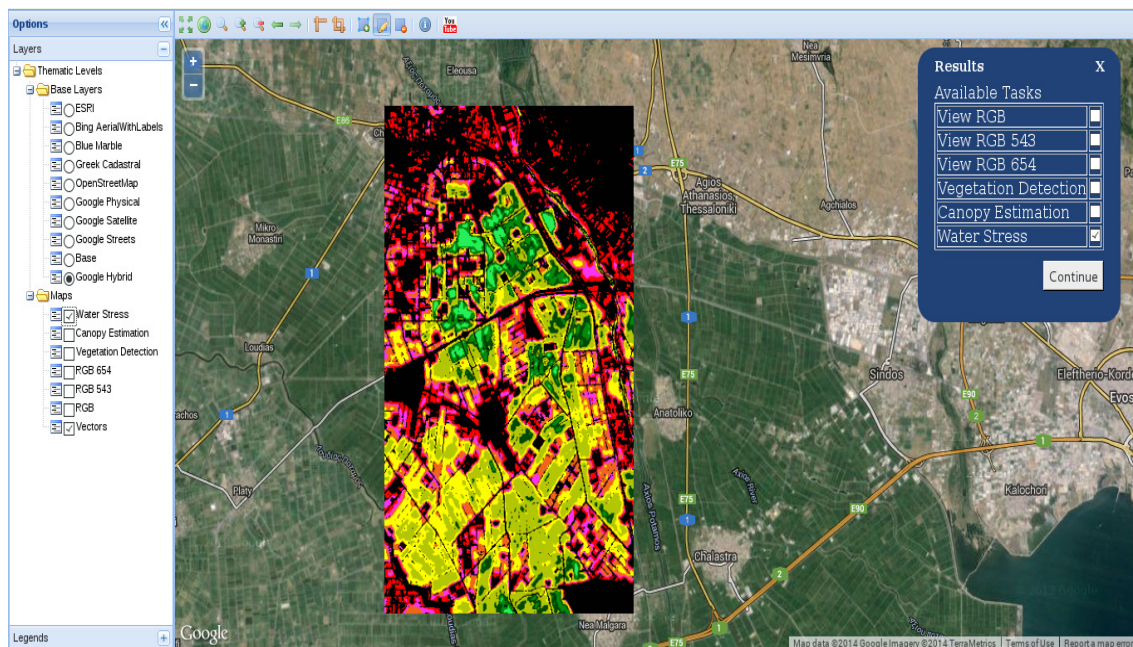
Σχήμα 6.19: Στιγμιότυπο προβολής της RGB 654 εικόνας της περιοχής ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.



Σχήμα 6.20: Στιγμιότυπο εκτέλεσης της επεξεργασίας Vegetation Detection για την περιοχή ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.



Σχήμα 6.21: Στιγμιότυπο εκτέλεσης της επεξεργασίας Canopy Estimation για την περιοχή ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.



Σχήμα 6.22: Στιγμιότυπο εκτέλεσης της επεξεργασίας Water Stress Estimation για την περιοχή ενδιαφέροντος στις 26/7/2013.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για θέματα μελλοντικής έρευνας και περαιτέρω μελέτης.

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός πλήρους Web GIS συστήματος, με δυνατότητες χειρισμού και online ανάλυσης μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων για αγροτικές εφαρμογές. Καταδείχθηκε, σε επίπεδο επίδειξης, με ποιο τρόπο μπορεί να δημιουργηθεί ένα Web GIS σύστημα, με το εργαλείο *rasdaman* να δεσπόζει στο οπίσθιο τμήμα του, με το πρότυπο WCPS του OGC που δίνει τη δυνατότητα για επικοινωνία ανάμεσα στον εξυπηρετητή και τον πελάτη και ένα Web Client, ο οποίος χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες Javascript και OpenLayers, ως το εμπρόσθιο τμήμα του. Το ανεπτυγμένο σύστημα *RemoteAgri* είναι μια εύρωστη και αποδοτική Web GIS πλατφόρμα με δυνατότητες να εξελιχθεί σε ένα σύστημα παρακολούθησης της αγροτικής παραγωγής - σχεδόν - πραγματικού χρόνου. Πολλά πειραματικά αποτελέσματα, τα οποία προήλθαν από τα online παραγόμενα τηλεπισκοπικά προϊόντα του συστήματος *RemoteAgri*, αξιολογήθηκαν, συγκρίθηκαν και επικυρώθηκαν με βάση παρόμοιες εργασίες εκτελεσμένες σε τυπικό λογισμικό προσωπικών υπολογιστών και τυπικά GIS συστήματα.

7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται προτάσεις για θέματα μελλοντικής έρευνας και περαιτέρω μελέτης, όπως αυτά προκύπτουν από τις σύγχρονες τεχνολογικές προκλήσεις και ανάγκες και έγιναν φανερά στο πλαίσιο εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

7.2.1 Βελτίωση και επέκταση της διαδικτυακής εφαρμογής

Οι κύριοι μελλοντικοί στόχοι είναι η βελτίωση και η επέκταση της διαδικτυακής εφαρμογής. Πρώτα από όλα κύριο μέλημα είναι η μαζική εισαγωγή νέων γεωχωρικών δεδομένων στη βάση δεδομένων του συστήματός μας την οποία και διαχειρίζεται το σύστημα *rasdaman*. Η μαζική εισαγωγή θα αποτελείται από δεδομένα τα οποία θα προέρχονται από ετερογενείς τεχνολογίες αισθητήρων και διάφορες πηγές ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων, ώστε να έχουμε τη δυνατότητα να εξετάσουμε την επίδοση του συστήματος *RemoteAgri* όσον αναφορά στη διαχείριση και την online ανάλυση μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων σε πραγματικές συνθήκες ενός περιβάλλοντος παραγωγής. Η συνεχής ενημέρωση και ενσωμάτωση στο σύστημα, των πιο πρόσφατων επικυρωμένων πρακτικών ραδιομετρικής και ατμοσφαιρικής διόρθωσης των δεδομένων, αποτελεί κυρίαρχη προτεραιότητα για τις μελλοντικές εργασίες ανάπτυξης του συστήματος σχετικά με τα της στάδια προ-επεξεργασίας των δεδομένων και τα ερωτήματα επεξεργασίας πάνω στα δεδομένα. Επιπλέον, επιπρόσθετα από το πρότυπο *WCPS* σχεδιάζουμε την ενσωμάτωση και άλλων προτύπων του *OGC*, όπως είναι το *WPS* (*Web Processing Service*), το *WCS* (*Web Coverage Service*) και το *WMS* (*Web Map Service*) ώστε να έχουμε τη δυνατότητα να υλοποιήσουμε ισχυρούς αλγόριθμους τηλεπισκόπησης και ανάλυσης των δεδομένων με στόχο να παρέχουμε ποικίλες λειτουργικότητες τηλεπισκόπησης και *GIS* συστημάτων μέσω του διαδικτύου.

7.2.2 Αξιοποίηση υποδομών νέφους

Ένας σημαντικός στόχος αφορά την αξιοποίηση υποδομών νέφους (*cloud computing*) από το σύστημα *RemoteAgri*. Αυτό σημαίνει την εγκατάσταση του συστήματος σε ένα υπολογιστικό νέφος με *multi terabyte* αποθηκευτικό χώρο και ένα μεγάλο αριθμό υπολογιστικών κόμβων (*computing nodes*), τη διαχείριση των οποίων θα αναθέσουμε στο σύστημα *rasdaman*. Θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε ποιες θα ήταν στην πράξη οι απαιτήσεις μιας τέτοιας διαχείρισης ενός υπολογιστικού νέφους και ποιες θα ήταν οι δυνατότητές του. Θα μπορούσαμε να μελετήσουμε ενδελεχώς και να εξακριβώσουμε τις δυνατότητες του *rasdaman* όσον αναφορά στη διαχείριση υπολογιστικών νεφών καθώς και να μελετήσουμε τα *bottlenecks* ενός τέτοιου συστήματος.

Ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα θα ήταν επίσης, η χρήση ενός συστήματος διαχείρισης υπολογιστικού νέφους με διαφορετική φιλοσοφία αρχιτεκτονικής καθώς και διαφορετική φιλοσοφία μοντέλου επεξεργασίας από το *rasdaman*, όπως είναι το *Apache Hadoop*. Το *Hadoop* είναι ένα πλαίσιο ελεύθερου λογισμικού/λογισμικού ανοιχτού κώδικα για την αποθήκευση και την επεξεργασία μεγάλης κλίμακας μεγάλων συνόλων δεδομένων σε συμπλέγματα υπολογιστών (*computer clusters*). Το *Hadoop* λειτουργεί με το προγραμματιστικό μοντέλο *MapReduce* και θα ήταν μεγάλη πρόκληση να δοκιμάσουμε να κάνουμε με το *Hadoop* ότι κάναμε και με το *rasdaman* και να δούμε ποιο σύστημα συμπεριφέρεται και κλιμακώνει καλύτερα, ποιο σύστημα είναι πιο γρήγορο και για ποιες εργασίες.

7.2.3 Ανάπτυξη εφαρμογής Android

Σημαντική προτεραιότητα αποτελεί επίσης η ανάπτυξη μιας εφαρμογής Android ως πρόγραμμα πελάτη του συστήματος RemoteAgri, με σκοπό να είναι δυνατή η πρόσβαση από οποιαδήποτε συσκευή στις υπηρεσίες του συστήματος. Ένας ακόμη σημαντικός λόγος για τον οποίο είναι αναγκαία η ανάπτυξη μιας εφαρμογής Android είναι ότι με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατή η παροχή υπηρεσιών βασισμένες στη θέση location based services στους χρήστες καθώς και η παροχή προσωποποιημένων υπηρεσιών (personalized services) για ακόμα καλύτερη εξυπηρέτηση.

7.2.4 Βελτιώσεις στο rasdaman

Το σύστημα rasdaman βρίσκεται συνεχώς σε έντονη διαδικασία ανάπτυξης, βελτίωσης και εισαγωγής νέων χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων. Βασική επιδίωξη αποτελεί η παρακολούθηση των εξελίξεων σε σχέση με το σύστημα αυτό και η συνεχής ενημέρωση και αναβάθμιση του εγκατεστημένου συστήματος ώστε αυτό να ανταποκρίνεται στις σύγχρονες εξελίξεις με σκοπό την παροχή υπηρεσιών στην αιχμή της τεχνολογίας.

Βιβλιογραφία

- [1] COMMISSION DECISION of 12 december 2011 on the reuse of Commission documents (2011/833/eu). *Official Journal of the European Union*, χ.χ.
- [2] United States Environmental Protection Agency. National geospatial data policy. <http://www.epa.gov/irmpoli8/policies/21310.pdf>, 2005.
- [3] Andrei Aiordachioaie και Peter Baumann. Petascope: An open-source implementation of the ogc wcs geo service standards suite. Στο *Scientific and Statistical Database Management* Michael Gertz και Bertram Ludascher, επιμελητές, τόμος 6187 στο *Lecture Notes in Computer Science*, σελίδες 160–168. Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [4] Rajendra Akerkar. *Big Data Computing*. Chapman and Hall/CRC Press, 2013.
- [5] Martha C. Anderson, Richard G. Allen, Anthony Morse και William P. Kustas. Use of landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*, 122:50–65, 2012.
- [6] F. Baret, V. Houles και M. Guerif. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: The case of nitrogen management. *Journal of Experimental Botany*, 58(4):869–880, 2007.
- [7] P. Baumann. Large-scale raster services: A case for databases (invited keynote). Στο *In 3rd Proc. Intl Workshop on Conceptual Modeling for Geographic Information Systems (Co-MoGIS)*, σελίδες 75–84. Springer, 2006.
- [8] P. Baumann. OGC WCS 2.0 Interface Standard-Core: Corrigendum. (OGC 09-110r4), 2012.
- [9] P. Baumann, A. Dehmel, P. Furtado, R. Ritsch και N. Widmann. The multidimensional database system rasdaman. Στο *In Proceedings of the 1998 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, σελίδες 575–577. ACM Press, 1998.
- [10] Peter Baumann. Management of multidimensional discrete data. *The VLDB Journal*, 4(3):401–444, 1994.
- [11] Peter Baumann. A database array algebra for spatio-temporal data and beyond. Στο *In Next Generation Information Technologies and Systems*, σελίδες 76–93. Springer, 1999.

- [12] Peter Baumann. Array databases and raster data management. Στο *In: T. Ozsu, L. Liu (eds.), Encyclopedia of Database Systems*. Springer, 2009.
- [13] Peter Baumann. The OGC web coverage processing service (WCPS) standard. *GeoInformatica*, 14(4):447–479, 2010.
- [14] Peter Baumann. Big earth data analytics. <http://www.earthserver.eu/Resources/2012-06-10big-data-whitepaper.pdf>, 2012.
- [15] Peter Baumann και Stefano Nativi. Adding big earth data analytics to geoss. 2012.
- [16] William W. Casady και Harlan Lee Palm. *Precision Agriculture: Remote Sensing and Ground Truthing*. University of Missouri Office of Extension, 2002.
- [17] R.G.G. Cattell και Douglas K. Barry. *The Object Data Standard: ODMG 3.0*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 2000.
- [18] E.F. Codd. A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the ACM archive*, 13:377–387, 1970.
- [19] Rasdaman Community. Query language guide,rasdaman version 8.4, 2012.
- [20] Jeff de la Beaujardiere. OpenGIS Web Map Server Implementation Specification. (OGC 06-042), 2006.
- [21] Lindsay N. Deel, Brenden E. McNeil, Philip G. Curtis, Shawn P. Serbin, Aditya Singh, Keith N. Eshleman και Philip A. Townsend. Relationship of a landsat cumulative disturbance index to canopy nitrogen and forest structure. *Remote Sensing of Environment*, 118:40–49, 2012.
- [22] Yanling Ding, Kai Zhao, Xingming Zheng και Tao Jiang. Temporal dynamics of spatial heterogeneity over cropland quantified by time-series ndvi, near infrared and red reflectance of landsat 8 OLI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30:139–145, 2014.
- [23] Ramez Elmasri και Shamkant B. Navathe. *Fundamentals of Database Systems, fifth edition*. Pearson / Addison Wesley, 2006.
- [24] GISfor educators series. <http://elgeo.nottingham.ac.uk/xmlui/handle/url/109>. χ.χ.
- [25] Pinde Fu και Jiulin Sun. *Web GIS: Principles and Applications*. ESRI Press, 2010.
- [26] P. Furtado. Storage management of multidimensional arrays in database management systems. Phd thesis, Technische Universitat Munchen, 1999.
- [27] Paula Furtado και Peter Baumann. Storage of multidimensional arrays based on arbitrary tiling. Στο *In Proc. of the 15th International Conference on Data Engineering, ICDE99*, σελίδες 480–489, 1999.

- [28] Alejandra Garcia-Rojas, Spiros Athanasiou, Jens Lehmann και Daniel Hladky. Geoknow: Leveraging geospatial data in the web of data. Στο *Open Data on the Web Workshop*, 2013.
- [29] A.A. Gitelson, Y.J. Kaufman, R. Stark και D. Rundquist. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80:76–87, 2002.
- [30] Anatoly A. Gitelson, Yi Peng, Timothy J. Arkebauer και James Schepers. Relationships between gross primary production, green LAI, and canopy chlorophyll content in maize: Implications for remote sensing of primary production. *Remote Sensing of Environment*, 144:65–72, 2014.
- [31] Karthikand Kambatla, Giorgos Kollias, Vipin Kumar και Ananth Grama. Trends in big data analytics. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2013.
- [32] Raymond F. Kokaly, Don G. Despain, Roger N. Clark και K. Eric Livo. Spectral Analysis of Absorption Features for Mapping Vegetation Cover and Microbial Communities in Yellowstone National Park Using AVIRIS Data. Στο *Integrated Geoscience Studies in the Greater Yellowstone Area? Volcanic, Tectonic, and Hydrothermal Processes in the Yellowstone Geocosystem*, σελίδες 463–487, 2007.
- [33] Douglas Laney. 3d data management: Controlling data volume, velocity and variety. Gartner, Retrieved 6 February 2001.
- [34] Peng Li, Luguang Jiang και Zhiming Feng. Cross-comparison of vegetation indices derived from landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and landsat-8 operational land imager (OLI) sensors. *Remote Sensing*, 6(1):310–329, 2013.
- [35] Elizabeth Liu, aJiangui nd Pattey, John R. Miller, Heather McNairn, Anne Smith και Baoxin Hu. Estimating crop stresses, aboveground dry biomass and yield of corn using multi-temporal optical data combined with a radiation use efficiency model. *Remote Sensing of Environment*, 114:1167–1177, 2010.
- [36] Jian Guo Liu και Philippa J. Mason. *Essential Image Processing for GIS and Remote Sensing*. Wiley-Blackwell, 2009.
- [37] Zhiguang Han Qian Liu. A database approach for raster data management in geographic information system. ESRI, χ.χ.
- [38] Paulo Jorge Pimenta Marques. Arbitrary tiling of multidimensional discrete data cubes in the rasdaman system, 1998.
- [39] Susanne Mecklenburg. GMES Sentinel Data Policy - An overview. Στο *GENESI-DR (Ground European Network for Earth Science Interoperations - Digital Repositories) workshop, ESAC, Villafranca, Spain*, 2009.

- [40] Zeiler M. *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. ESRI Press, 1999.
- [41] S. Nebiker. Grids - an architecture for managing very large orthoimage mosaics in a database framework. *International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 32:428–435, 1998.
- [42] Anthony L. Nguy-Robertson, Yi Peng, Anatoly A. Gitelson, Timothy J. Arkebauer, Agustin Pimstein, Ittai Herrmann, Arnon Karnieli, Donald C. Rundquist και David J. Bonfil. Estimating green LAI in four crops: Potential of determining optimal spectral bands for a universal algorithm. *Agricultural and Forest Meteorology*, 192-193:140–148, 2014.
- [43] J.H.P. Oosthoek, J. Flahaut, A.P. Rossi, P. Baumann, D. Misev, P. Campalani και V. Unnithan. Planetserver: Innovative approaches for the online analysis of hyperspectral satellite data from Mars. *Advances in Space Research*, σελίδες 219–244, 2013.
- [44] Jignesh Patel, Jiebing Yu, Navin Kabra, Kristin Tufte, Biswadeep Nag, Josef Burger, Nancy Hall, Karthikeyan Ramasamy, Roger Lueder, Curt Ellmann, Jim Kupsch, Shelly Guo, Johan Larson, David Dewitt και Jeffrey Naughton. Building a scalable geo-spatial dbms: Technology, implementation, and evaluation. Στο *In Proceedings of the ACM SIGMOD Conference*, σελίδες 336–347, 1997.
- [45] Philippe Rigaux, Michel Scholl και Agnes Voisard. *Spatial Databases with Application to GIS*. Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [46] D.P. Roy, M.A. Wulder, T.R. Loveland, C.E. Woodcock, R.G. Allen, M.C. Anderson, D. Helder, J.R. Irons, D.M. Johnson, R. Kennedy, T.A. Scambos, C.B. Schaaf, J.R. Schott, Y. Sheng, E.F. Vermote, A.S. Belward, R. Bindschadler, W.B. Cohen, F. Gao, J.D. Hipple, P. Hostert, J. Huntington, C.O. Justice, A. Kilic, V. Kovalskyy, Z.P. Lee, L. Lyburner, J.G. Masek, J. McCorkel, Y. Shuai, R. Trezza, J. Vogelmann, R.H. Wynne και Z. Zhu. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145:154–172, 2014.
- [47] Sunita Sarawagi και Michael Stonebraker. Efficient organization of large multidimensional arrays. Στο *IN PROC, ELEVENTH INT. CONF. ON DATA ENGINEERING*, σελίδες 328–336, 1994.
- [48] John Robert Schott. *Remote sensing: the image chain approach*. Oxford University Press, 2007.
- [49] Robert A. Schowengerdt. *Remote sensing: models and methods for image processing*. Academic Press, 2007.
- [50] Peter Schut. OpenGIS Web Processing Service. (OGC 05-007r7), 2007.

-
- [51] Abraham Silberschatz, Henry F. Korth και S. Sudarshan. *Database System Concepts, sixth edition*. The McGraw-Hill Companies, 2011.
- [52] L. Vinhas, R. Souza και G. Camara. Image data handling in spatial databases. Στο *In Proceedings of the Simposio Brasileiro de Geoinformatica*, 2003.
- [53] Panagiotis (Peter) A. Vretanos. OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard. (OGC 09-025r1 and ISO/DIS 19142), 2010.
- [54] N. Widmann και P. Baumann. Efficient execution of operations in a dbms for multidimensional arrays. Στο *Proc. 10th Statistical and Scientific Database Management (SSDBM)*, σελίδες 155–165, 1998.
- [55] Michael A. Wulder, Jeffrey G. Masek, Warren B. Cohen, Thomas R. Loveland και Curtis E. Woodcock. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122:2–10, 2012.

