



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης,
Σχολή Θετικών Επιστημών

Διαπανεπιστημιακό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Βασική και Εφαρμοσμένη Γνωσιακή Επιστήμη»

Συνδεδειστική Μοντελοποίηση Ελλειμμάτων της Γλωσσικής
Ανάπτυξης σε Βρέφη και Νήπια με Διαταραχή Αυτιστικού Φάσματος

Μιχάλης Βίνος

Διπλωματική Εργασία

A.M.: 13M03

Συμβουλευτική Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Μουτούσης

Αθανάσιος Πρωτόπαπας

Χριστίνα Παπαηλιού

Αθήνα

Φεβρουάριος 2018



HELLENIC REPUBLIC
National and Kapodistrian
University of Athens

Department of History and Philosophy of Science,
School of Science

Interinstitutional – Interdepartmental Postgraduate Programme

«**Basic and Applied Cognitive Science**»

Connectionist Modeling of Language Developmental Impairments
in Infants and Toddlers with Autism Spectrum Disorder

Michael Vinos

Master of Science Thesis

S.N.: 13M03

Supervisory Committee:

Constantinos Moutoussis

Athanassios Protopapas

Christina Papaeliou

Athens

February 2018

Συμβουλευτική Επιτροπή

Κωνσταντίνος Μουτούσης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αθανάσιος Πρωτόπαπας

Καθηγητής

University of Oslo

Χριστίνα Παπαηλιού

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Ευχαριστίες

Ο ολοκληρωμένος κατάλογος των ευχαριστιών θα έπρεπε (αν συμπεριλαμβάνονταν αυτούσιος εδώ) να εκτείνεται κατά πολύ, από τους βασικούς συντελεστές του, μοναδικού για τα ελληνικά δεδομένα, μεταπτυχιακού προγράμματος και φυτώριου ερευνητών της Γνωσιακής Επιστήμης, τους αληθινούς δάσκαλους που έχω συναντήσει εκεί, μέχρι τους συνεργάτες, τους συμφοιτητές και φίλους μου, μέχρι τη σύντροφό μου. Θα περιοριστώ όμως εδώ στο να ευχαριστήσω ολόψυχα τον Θανάση Πρωτόπαπα, ο οποίος με εισήγαγε στον θαυμάσιο κόσμο της γνωσιακής μοντελοποίησης (αν και η συμβολή του στην κατάρτισή μου ως γνωσιακό επιστήμονα δεν περιορίζεται φυσικά στο συγκεκριμένο πεδίο), με έριξε και με καθοδήγησε στα βαθιά της έρευνας με συνέπεια να εφοδιαστώ με πολύτιμες εμπειρίες και γνώσεις και, πιθανώς το σημαντικότερο, πίστεψε σε μένα.

Acknowledgments

The earlier parts of this research (prior to 2017) have been co-financed by the European Union (European Social Fund) and Greek national funds through the Operational Program “Education and Lifelong Learning” of the National Strategic Reference Framework – Research Funding Programs: THALIS-UOA-375737 and ARISTEIA-BabyAffect-GSRT-3610.

Αφιερωμένη στην αγαπημένη μου Κετζάλ που μου κράτησε συντροφιά – 28/1/2018

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|-----------|
| Περίληψη | 8 |
| Abstract | 10 |
| Εισαγωγή | 12 |
| Πρώιμη Γλωσσική Απόκτηση | 14 |
| Συσχετιστική Μάθηση | 19 |
| Θεωρία Περιορισμών | 20 |
| Θεωρίες που Βασίζονται στη Χρήση | 22 |
| Κοινωνική-Πραγματολογική Θεωρία για την Λεξική Μάθηση | 23 |
| <i>Ο Ρόλος της Διαμοιραζόμενης Προσοχής</i> | 24 |
| Γλωσσολογικό Bootstrapping | 26 |
| Η Διαφοροποίηση στη Μάθηση Ουσιαστικών-Ρημάτων | 30 |
| Κατηγορική Ασυμμετρία και Διαμοιραζόμενη Προσοχή..... | 35 |
| ASD, SLI και Λεξική Μάθηση | 35 |
| Κατηγορική Ασυμμετρία και Ελλείμματα Γλωσσικής Απόκτησης..... | 39 |
| Συσχετιστική Λεξική Μάθηση | 42 |
| Διαμοιραζόμενη Προσοχή | 43 |
| Μοντελοποίηση – Πειράματα | 44 |
| Σχετικά Μοντέλα | 44 |
| Σκοπός - Υποθέσεις | 48 |
| Μέθοδος | 50 |
| Πλατφόρμα Μοντελοποίησης | 51 |
| Υλικό – Εξοπλισμός | 54 |
| Συνδεδειγμένο Μοντέλο..... | 55 |
| Διαδικασία | 61 |
| Συλλογή, Επεξεργασία, Αναλύσεις Δεδομένων | 73 |
| Προσομοιώσεις I – Ενδογενές Κριτήριο Μάθησης | 75 |
| Αποτελέσματα - Συζήτηση | 76 |
| Προσομοιώσεις II – Εξωγενές Κριτήριο Μάθησης | 81 |

| | |
|---|------------|
| Αποτελέσματα- Συζήτηση | 82 |
| Προσομοιώσεις ΙΙΙ – Καθυστερημένη Εξασθένηση Συσχετιστικής Μάθησης | 86 |
| Αποτελέσματα- Συζήτηση | 88 |
| Γενικά Συμπεράσματα – Συζήτηση..... | 116 |
| Μελλοντικές Προεκτάσεις – Ερευνητικές Προτάσεις | 118 |
| Επίλογος..... | 121 |
| Βιβλιογραφία - References | 123 |
| Παραρτήματα - Appendices..... | 132 |
| Appendix I: Addendum on earlier work..... | 132 |
| Results - Discussion | 133 |
| General Conclusions – Discussion..... | 157 |
| <i>Future Extensions – Research Proposals</i> | <i>159</i> |
| <i>Epilogue</i> | <i>161</i> |
| Appendix II: Supplemental Material - On-line repository | 162 |

Περίληψη

Η παρουσιαζόμενη έρευνα αφορά στην υλοποίηση ενός συνδεδετιστικού μοντέλου της κοινωνικής-πραγματολογική προσέγγισης στη λεξική μάθηση (Caza & Knott, 2012) έτσι ώστε να ελεγχθεί η βασική υπόθεση ότι με την ελάττωση των επιτυχών επεισοδίων διαμοιραζόμενης προσοχής μεταξύ μητέρας και νηπίου θα αυξηθεί η διαφορά των αποκτημένων λέξεων μεταξύ ουσιαστικών και ρημάτων, όπως παρατηρείται στη Διαταραχή Αυτιστικού Φάσματος (ΔΑΦ). Η αναλογία των αντικειμένων προς δράσεις στην υπό παρατήρηση ροή συμβάντων ήταν δομημένη κατάλληλα ώστε να δημιουργηθεί η βασική ασυμμετρία ουσιαστικών-ρημάτων που αφορά στην τυπική λεξική αναπτυξιακή πορεία. Η έρευνα αποτελείται από δύο φάσεις και τρεις τύπους πειραμάτων. Για το ενδογενές κριτήριο επιτυχούς λεξικής μάθησης, στην αρχική φάση διενεργήθηκαν δέκα προσομοιώσεις για κάθε έναν από τους συνδυασμούς των τριών επιπέδων της επικοινωνιακής αξιοπιστίας με τα δύο επίπεδα της –μη-ελεγχόμενης από το φίλτρο ανίχνευσης των επικοινωνιακών προθέσεων του μοντέλου– τυχαίας συσχετιστικής μάθησης, η οποία θεωρείται από κάποιους ερευνητές του χώρου ως ο κυρίαρχος μηχανισμός της γλωσσικής μάθησης στα παιδιά με ΔΑΦ. Οι αρχικές προσομοιώσεις έδειξαν προς το ότι η ελάττωση της αξιοπιστίας των επικοινωνιακών ενεργημάτων δεν οδηγεί σε αυξημένη κατηγορική ασυμμετρία, εντός του αρχικά σχεδιασμένου αριθμού εποχών εκπαίδευσης. Όμως, μία σχετική τάση προς την προβλεπόμενη κατεύθυνση εμφανίστηκε προς το τέλος της εκπαίδευσης, προτείνοντας το ότι περαιτέρω προσομοιώσεις μπορεί να οδηγήσουν στο ξεκαθάρισμα του ζητήματος. Το ίδιο υπέδειξαν και οι πιλοτικές προσομοιώσεις με ρύθμιση του μοντέλου στο να εφαρμόζει μία καθυστερημένη εξασθένηση της υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης. Στα πλαίσια της δεύτερης φάσης των πειραμάτων, και υπό το πνεύμα της εξερευνητικής και κατευθυνόμενης-από-τα-δεδομένα προσέγγισης, διενεργήθηκε, επιπρόσθετα, ένα μεγάλο σύνολο από περισσότερο παρατεταμένες προσομοιώσεις, είκοσι για καθεμία από τις δώδεκα –πλέον–

συνθήκες, των οποίων τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την βασική ερευνητική υπόθεση και προσφέρουν σημαντικές διαισθήσεις για τους τρόπους που λειτουργεί η πρώιμη απόκτηση λεξιλογίου στις αναπτυξιακές γλωσσικές διαταραχές.

Λέξεις/Φράσεις Κλειδιά: Γλωσσική Ανάπτυξη, Λεξική Απόκτηση, Συνδεδιστικό Μοντέλο, Κοινωνική-Πραγματολογική Θεωρία, Διαμοιραζόμενη Προσοχή, Γλωσσικό Bootstrapping, Διαταραχή Φάσματος Αυτισμού, Ειδική Γλωσσική Διαταραχή, Ασυμμετρία Ουσιαστικών-Ρημάτων, Κατηγορική Ασυμμετρία, Συσχετιστική Μάθηση, Αναπτυξιακή Ψυχολογολογία

Abstract

The presented research relates to the implementation of a connectionist model of the social-pragmatic approach for word learning (Caza & Knott, 2012) in order to test the main hypothesis that reduced numbers of successful joint attention episodes between infant/toddler and mother would increase the difference in acquisition between nouns and verbs as observed in Autistic Spectrum Disorder (ASD). The ratio of objects to actions in the observed event stream was properly manipulated to create the original noun-verb asymmetry which is observed in typical lexical developmental course. The research consists of two phases and three types of experiments. Regarding the endogenous criterion for correct word learning, ten simulations were run during the first phase for each of the combinations of three levels of communicative reliability and two levels of –not controlled from the model’s communicative intention detection filter– random associative learning, which is regarded by some researchers of the field as the primary mechanism of language learning in children with ASD. The initial simulations indicated that the reduction in the reliability of communicative actions does not lead to increased noun-verb asymmetry within the originally planned training epochs. Nevertheless, a relevant trend in the predicted direction appeared toward the end of training, suggesting that further simulations may help to resolve the issue. Pilot simulations with the model configured to implement a delayed decay of the residual associative learning indicated the same research strategy. In the frame of the second experimental phase and under the spirit of exploratory and data-driven research approach, an additional large set of protracted simulations, twenty for each of the now twelve conditions were carried out. The new results support the main research hypothesis and offer significant intuitions regarding the ways in which the early vocabulary acquisition is operated in developmental language disorders.

Keywords/Keyphrases: Language Development, Lexical Acquirement, Connectionist Model, Social-Pragmatic Theory, Joint Attention, Linguistic Bootstrapping, Autism Spectrum Disorder, ASD, Specific Language Disorder, SLI, Developmental Language Disorder, DLD, Nouns-Verbs Asymmetry, Categorical Asymmetry, Associative Learning, Developmental Psycholinguistics

“Word learning is a ‘chicken and egg’ problem. If a child could understand speakers’ utterances, it would be easy to learn the meanings of individual words, and once a child knows what many words mean, it is easy to infer speakers’ intended meanings.”

– (Frank, Goodman, & Tenenbaum, 2009)

“Without pragmatics and communicative intentions, it's all just noise.”

– (Tomasello, 2000)

Εισαγωγή

Ένα από τα πλέον σημαντικά προβλήματα στην διερεύνηση της γλωσσικής σημασιολογίας είναι το αίνιγμα σχετικά με την αναφορικότητα των λέξεων, δηλαδή το πώς, καταρχάς στην παιδική ηλικία, συνδέονται οι λέξεις που ακούγονται από το παιδί με τις σημασίες που πράγματι αντιστοιχούν σ’ αυτές. Η εξειδίκευση στην πρόιμη εκμάθηση είναι ένα τμήμα της ευρύτερης συζήτησης, η οποία έγινε ιδιαίτερα γνωστή από τον φιλόσοφο της γλώσσας W.V.O. Quine (1960) με τον όρο *αναφορική αδιαπερατότητα* (*referential inscrutability*) και που μπορεί να περιγραφεί σύντομα ως η ουσιαστική αδυναμία μας να είμαστε σίγουροι στο τι πραγματικά αναφέρεται μία λέξη. Ο Quine δε, συνοψισε αυτή τη θέση, η οποία συχνότερα τελικά αναφέρεται ως *αναφορική αβεβαιότητα*, με το νοητικό πείραμα όπου ένα ιθαγενής εκφέρει τον ήχο «γκαβαγκάι» (“gavagai”) δείχνοντας ένα κουνέλι σε κάποια απόσταση από αυτόν (Quine, 1960). Δεδομένου του τεράστιου αριθμού των πιθανών ζευγών αντικειμένου-λέξης (αλλά και συμβάντος-λέξης) που μπορεί να δημιουργηθούν στην εκάστοτε στιγμή μέσα από τις πολλαπλές επιλογές αντικειμένων και συμβάντων/δράσεων στον χώρο που διαδραματίζεται το γεγονός, το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορεί ένας τρίτος ερμηνευτής (ή κάποιος που προσπαθεί να μάθει τη γλώσσα αυτή) στο τι αναφέρεται τελικά η λέξη γκαβαγκάι: στο ίδιο το κουνέλι, σε κάποιο μέλος του σώματός του, σε κάτι που κάνει το κουνέλι, κ.ο.κ.

Όπως, εύγλωττα, εκθέτουν οι Yu Ballard (2007), τα μικρά παιδιά κατά τα αρχικά στάδια της μάθησης της γλώσσας, αντιμετωπίζουν ένα ακόμα δυσκολότερο πρόβλημα από αυτό του υποθετικού ερμηνευτή του παραπάνω νοητικού πειράματος: θα πρέπει κάθε φορά να διαχωρίσουν μέσα από μία συνεχόμενη ροή λέξεων –οι οποίες στην ηχητική τους μορφή δεν διαχωρίζονται βέβαια από τα κενά με τα οποία χωρίζονται συνήθως στις γραπτές γλώσσες– και να απομονώσουν μία λέξη και μετά να την αντιστοιχήσουν με μία από τις πιθανές σημασίες (οι οποίες επίσης θα πρέπει να βρεθεί τρόπος να αναπαρασταθούν νοητικά). Αν μάλιστα συνυπολογίσει κάποιος και το γεγονός ότι οι γονείς δεν δείχνουν πάντα προς την κατάλληλη κατεύθυνση (στην οποία υπάρχει το αναφερόμενο αντικείμενο ή όπου διαδραματίζεται η δράση) έτσι ώστε να «περιορίσουν το εύρος των θεμιτών σημασιών μέσα από εύρος των σχετικών αντιληπτικών πληροφοριών» του περιβάλλοντος (Yu & Ballard, 2007) ή μπορεί ακόμα και να μην αναφέρονται σε κάποιο αντικείμενο ή δράση που να ανήκει στον παρόντα χρόνο, τότε εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το έργο που καλείται να φέρει εις πέρας το παιδί φαίνεται ακόμα και αδύνατο.

Για το πρόβλημα της αναφορικότητας ο φιλόσοφος του νου και της γλώσσας Donald Davidson έχει προτείνει τη δική του λύση, την θεωρία του περί *τριγωνισμού* (*triangulation*), δηλώνοντας καταρχάς ότι το ζήτημα αυτό είναι εγγενώς ασαφές και δεν είναι δυνατόν να εκφραστεί –τουλάχιστον υπό το φως κάποιας θεωρίας σημασιολογίας (όπως αναφέρεται στο: Reimer & Michaelson, 2017). Σύμφωνα με τη θέση του Davidson (1987, 1997) αυτό το οποίο προσδίδει σημασία στις λέξεις είναι μία τριγωνική δομή, η οποία απαιτείται καταρχάς να υφίσταται μέσα σε μία γλωσσική κοινότητα, και σε μία μορφή της συνίσταται σε μία αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ή περισσότερων έλλογων όντων κατά την οποία υπάρχουν αμοιβαίες, συγχρονικές αποκρίσεις προς κάποιο ερέθισμα του περιβάλλοντος και αποκρίσεις του καθενός προς αυτές του άλλου. Μία άλλη έκφραση του τριγωνισμού μπορεί να είναι η σχέση ανάμεσα σε ομιλητές μίας γλώσσας, στην ίδια τη λέξη και στο αναφερόμενο

αντικείμενο (Reimer & Michaelson, 2017). Όπως και αν διατυπωθεί όμως αυτή η τριγωνική σχέση, γίνεται εμφανές ότι απαιτείται η συγχρονική σχέση μεταξύ δύο έλλογων όντων και μίας αναφερόμενης οντότητας (αντικειμένου ή δράσης) η οποία μπορεί να είναι παρούσα ή όχι κατά τη διάρκεια του συμβάντος. Η φιλοσοφική αυτή έννοια έχει πολλές αντιστοιχίες με την έννοια της διαμοιραζόμενης προσοχής και ακόμα περισσότερο με την κοινωνική-πραγματολογική θεωρία του Michael Tomasello για την μάθηση των λέξεων (η οποία ενσωματώνει την διαμοιραζόμενη προσοχή), η οποία υποστηρίζει ότι οι αλληλεπιδράσεις της μητέρας με το παιδί είναι απαραίτητες (εκτός από τους μηχανισμούς της συσχετιστικής μάθησης) για την αντιστοίχιση λέξεων σε σημασίες. Ειδικότερα προτείνει ότι το μικρό παιδί καταφέρνει και φέρνει εις πέρας το έργο της λεξικής μάθησης καθώς είναι εξοπλισμένο με «ισχυρές και ευέλικτες κοινωνικές-πραγματολογικές δεξιότητες που του επιτρέπουν να κατανοεί τις επικοινωνιακές προθέσεις των άλλων» (Tomasello, 2000).

Με όποιους τρόπους και αν υλοποιείται, το πολύπλοκο αυτό επίτευγμα της μάθησης των λέξεων είναι οπωσδήποτε ένα από τα πλέον δύσκολα που καταφέρνει το ανθρώπινο ον κατά την παιδική του ηλικία. Σίγουρα υπάρχουν επιπλέον δυσκολίες στις περιπτώσεις όπου υφίστανται κάποιες δυσλειτουργίες στους υποκείμενους μηχανισμούς, όπως συμβαίνει σε αναπτυξιακές διαταραχές που επηρεάζουν την γλώσσα και με τις οποίες ασχολείται η παρούσα έρευνα.

Πρώιμη Γλωσσική Απόκτηση

Η απόκτηση των λέξεων από το αναπτυσσόμενο ανθρώπινο ον είναι οπωσδήποτε μία πορεία εντυπωσιακών επιτευγμάτων, αφού μόνο από αριθμητικής άποψης, το μικρό παιδί φτάνει από τον αριθμό των 50 λέξεων στην ηλικία των 18 μηνών, να διαθέτει ένα εντυπωσιακό λεξιλόγιο περίπου 14000 λέξεων στην ηλικία των 6 ετών και ένας μέσος απόφοιτος λυκείου να γνωρίζει περίπου 60000 λέξεις στην ηλικία των 18 ετών (Ganger &

Brent, 2004; O'Grady, 2005). Όπως αναφέρει ο O'Grady (2005), για την κατανόηση του μεγέθους του κατορθώματος, αρκεί κάποιος να προσπαθήσει να συγκρίνει αυτό που καταφέρει ένα παιδί, μαθαίνοντας κατά μέσο όρο έως και 20 λέξεις την ημέρα, με την προσπάθεια εκμάθησης μίας ξένης γλώσσας. Στο γενικότερο πλαίσιο της γλωσσικής ανάπτυξης, αποτελεί ένα αξιόλογο κατόρθωμα το ότι χωρίς φυσικά να διδάχτεί ρητά τους ίδιους τους κανόνες της γλώσσας, το παιδί, από τη στιγμή που ξεκινάει την λεξική απόκτηση περίπου στην ηλικία των 8-14 μηνών (Ganger & Brent, 2004), φτάνει στην ηλικία των 4 ετών να έχει καταφέρει να μάθει –εκτός από έναν σημαντικό αριθμό λέξεων– να χειρίζεται σχεδόν το σύνολο της «φωνολογίας, συντακτικού και μορφολογίας που θα χρειαστεί ποτέ στη ζωή του» (Bloom, 2000) απλά και μόνο επειδή βρίσκεται εμπυθισμένο σε μία γλωσσική κοινότητα. Και τα εντυπωσιακότερα των επιτευγμάτων σε αυτήν την πορεία μάθησης γίνονται σίγουρα κατά τα πρώτα στάδιά της.

Σχετικά με την λεξική απόκτηση, ο αυξημένος ρυθμός της απόκτησης λεξιλογίου κατά τον δεύτερο χρόνο της ζωής, συνιστά ένα από τα κορυφαία ορόσημα στην πορεία της γνωσιακής ανάπτυξης του ανθρώπου (Ganger & Brent, 2004). Η επονομαζόμενη *έκρηξη* (ή *ανάβλυση*) του λεξιλογίου (*vocabulary burst* ή *spurt*), παρότι συναντώνται διάφορες διχογνωμίες στην βιβλιογραφία σχετικά με τον καθορισμό του χρονικού σημείου της έναρξής της, το μέγεθος του λεξιλογίου όταν η *έκρηξη* εμφανίζεται, ακόμη και με το αν υφίσταται το φαινόμενο καθαυτό, αποτελεί έναν από τους χαρακτηριστικά εντυπωσιακούς σταθμούς στην διαδρομή της γλωσσικής απόκτησης –πρώτα απ' όλα εξαιτίας ακριβώς του «εκρηκτικού» του χαρακτήρα (Ganger & Brent, 2004; O'Grady, 2005). Πιο συγκεκριμένα, η λεξιλογική *έκρηξη* ή αλλιώς *ονοματολογική έκρηξη* (*naming explosion*; Ganger & Brent, 2004) αναφέρεται σε μία ραγδαία μετάβαση στον ρυθμό μάθησης καινούργιων λέξεων που συμβαίνει όταν το λεξιλόγιο του παιδιού έχει φτάσει σε ένα μέγεθος γύρω στις 50 λέξεις ή ανάμεσα στις 50 και 100 λέξεις και στην ηλικία περίπου των 18 μηνών (Ganger & Brent,

2004; O'Grady, 2005). Μέχρι εκείνο το σημείο το παιδί μαθαίνει καινούργιες λέξεις με έναν αργό ρυθμό, της τάξης των 1-3 λέξεων την εβδομάδα. Όταν η έκρηξη λαμβάνει χώρα, πολλά παιδιά φτάνουν να προσθέτουν στο λεξιλόγιό τους 10-20 λέξεις την εβδομάδα (Ganger & Brent, 2004) ή 1-2 λέξεις την ημέρα (O'Grady, 2005), φτάνοντας στην ηλικία των 24 μηνών να διαθέτουν λεξιλόγιο μεγέθους περίπου 300 λέξεων (Ganger & Brent, 2004). Έχει προταθεί ότι για την έκρηξη μπορεί να ευθύνονται αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο ο εγκέφαλος φτιάχνει τις αναπαραστάσεις των λέξεων και έτσι το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί με την ύπαρξη ενός κατωφλίου στο οποίο το παιδί αρχίζει να καταλαβαίνει ότι οι ηχητικές μορφές των λέξεων αναφέρονται σε οντότητες/αντικείμενα ή αλλιώς ότι «τα αντικείμενα έχουν ονόματα» και έτσι η έκρηξη συμβαδίζει με αυτό που λέγεται *ονοματολογική ενόραση* (*naming insight*; Mayor & Plunkett, 2010). Μία σχετική εξήγηση που αναφέρουν οι συγγραφείς αφορά στο στάδιο όπου οι έννοιες των αντικειμένων αρχίζουν να γίνονται «λεπτομερέστερες και περισσότερο εκλεπτυσμένες». Επίσης από μία καθαρά μαθηματική/στατιστική σκοπιά, αν θεωρηθεί ότι «η δυσκολία της λεξικής μάθησης υπακούει στην κανονική κατανομή και οι λέξεις μαθαίνονται σε παραλληλία», οι σχετικές υπολογιστικές προσομοιώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το φαινόμενο είναι ξεκάθαρα αναπόφευκτο (Dandurand & Shultz, 2011). Βέβαια οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν και άλλες έρευνες με υπολογιστικά μοντέλα, οι οποίες εκκινώντας από το αποδεκτό γεγονός ότι η κατανομή των συχνοτήτων των λέξεων υπακούει στον νόμο του Zipf, τότε η απόκτησή τους δεν μπορεί παρά να είναι γραμμική και να μην χαρακτηρίζεται από εξάρσεις. Εξηγούν δε την επιμονή πάνω στην λεξιλογική έκρηξη που υπάρχει στην ψυχολογική βιβλιογραφία απλά με το φαινόμενο της συχνής επανάληψης της υπόθεσης, σε βαθμό που καθοδηγεί τους αναπτυξιακούς ψυχολόγους να την αποδεχτούν αβίαστα και έτσι να δημιουργείται η φαινομενική συμφωνία της κοινότητας. Εντέλει στην συζήτηση του αν το φαινόμενο είναι ένας μύθος ή όχι, παρότι οι περισσότεροι γλωσσολόγοι φαίνεται ότι ακόμη το αποδέχονται

ως υπαρκτό, υπάρχουν δεδομένα τα οποία υποστηρίζουν ότι τουλάχιστον δεν πρόκειται για ένα καθολικό φαινόμενο, αφού περίπου το 1/3 των παιδιών έχουν έναν σταθερό ρυθμό απόκτησης λέξεων που διακόπτεται από κάποιες μικρές «εκρήξεις» αλλά όχι από απότομες αλλαγές (O'Grady, 2005).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, βασικό στοιχείο του πρώτου σταδίου της μάθησης της γλώσσας από τον άνθρωπο είναι η αντιστοίχιση των λέξεων με το νόημά τους. Αυτό, ανεξάρτητα με το πώς ακριβώς επιτυγχάνεται, οπωσδήποτε πρέπει να ακολουθήσει μία σταδιακή πορεία. Οι Yu και Ballard (2007) παραθέτουν τα τρία (τουλάχιστον προβλήματα) τα οποία το παιδί θα πρέπει να επιλύσει για να το καταφέρει: πρώτα χρειάζεται να μάθει να κατατέμνει τη συνεχόμενη ομιλία σε απομονωμένες λέξεις. Στη συνέχεια θα πρέπει να ανακαλύψει/εξάγει «τις πιθανές σημασίες γι' αυτές τις λέξεις μέσα από εξωγλωσσικά πλαίσια», δημιουργώντας πιθανότατα πρώτα στον νου/εγκέφαλο, *προγλωσσικές έννοιες* ως κωδικοποίηση των αισθησιοκινητικών ερεθισμάτων. Τέλος, φυσικά, θα χρειαστεί να αντιστοιχήσει αυτές τις έννοιες με «γλωσσικές ετικέτες».

Οι Hollich και συν. (2000) πρότειναν ένα ενοποιημένο πλαίσιο για την εξήγηση της διαδικασίας της λεξικής απόκτησης από τα παιδιά, ένα μοντέλο με την περιεκτική ονομασία *Αναδυτιστικό Μοντέλο Συμφωνίας (ΑΜΣ) (Emergentist Coalition Model, ECM)*, ένα περιγραφικό περίγραμμα του οποίου αναπαρίσταται στο διάγραμμα της Εικόνας 1 αμέσως παρακάτω.



Εικόνα 1. Στο διάγραμμα φαίνονται οι διαφορετικοί τύποι επιδράσεων, ανάλογα με την ηλικία των παιδιών, οι οποίες καθοδηγούν την αντιστοίχιση των λέξεων με τις οντότητες στις οποίες αναφέρονται. Στην πρώιμη φάση της λεξικής μάθησης κυριαρχεί η «ακατέργαστη δύναμη» των αντιληπτικών ενδείξεων ενώ οι γλωσσικές και οι κοινωνικές ενδείξεις αναδύονται ως παράγοντες στη 2^η φάση.

Σημείωση: προσαρμογή και μετάφραση στα ελληνικά του αντίστοιχου διαγράμματος από το (Hollich et al., 2000) (σ. 24).

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη υβριδική προσέγγιση τα παιδιά στηρίζονται σε πολλαπλές στρατηγικές κατά τη διάρκεια της λεξικής τους αναπτυξιακής πορείας, βάσει των ενδείξεων από την εισροή (όπως προσοχής, κοινωνικές ή γλωσσικές), έτσι ώστε να μπορέσουν να αντιστοιχήσουν τις λέξεις, ουσιαστικά ή ρήματα, στα αναφερόμενα τους. Αυτό μάλιστα το κάνουν με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το στάδιο. Στην αρχή, τα νήπια είναι ευαίσθητα σε αντιληπτικές ενδείξεις και αντιστοιχούν τις λέξεις στις οντότητες οι οποίες τους είναι περισσότερο ενδιαφέρουσες ή είναι περισσότερο εμφανείς. Στη συνέχεια της πορείας χρησιμοποιούν τις κοινωνικές προθέσεις των ομιλητών σε συνδυασμό με γλωσσολογικές

ενδείξεις, ώστε να οδηγηθούν να εστιάσουν στα αναφερόμενα των λέξεων. Οι Hollich και συν. (2000) αναγνωρίζουν την αναγκαιότητα –εξαιτίας της πολυπλοκότητας της διαδικασίας της λεξικής απόκτησης– διαμόρφωσης ενός τέτοιου μοντέλου που μπορεί να συγκεράσει τα ευρήματα από διάφορες οπτικές: συσχετιστική, στρατηγικές περιορισμών/αρχών, κοινωνική-πραγματολογική, τις διαφορετικές στρατηγικές/λύσεις οι οποίες έχουν προταθεί για την επίλυση του προβλήματος της «αντιστοίχισης λέξης-προς-κόσμο» (Yu & Smith, 2008), ένα μοντέλο δηλαδή που να αντανάκλα τη θέση του επονομαζόμενου «ριζοσπαστικού μέσου» (Hollich et al., 2000). Κάποιες από τις σημαντικότερες σχετικές θεωρίες παρουσιάζονται στη συνέχεια της εργασίας.

Συσχετιστική Μάθηση

Η αναφορική αβεβαιότητα είναι πολύ δύσκολο να επιλυθεί αν κάποιος αναλογιστεί ότι οι γονείς, κατά μέσο όρο, απευθύνουν προς τα παιδιά τους 300 έως 400 εκφορές την ώρα (όπως αναφέρουν οι Smith και Yu, 2008) και ακόμα και με την χρήση «κοινωνικών, γλωσσολογικών και εννοιολογικών περιορισμών» είναι βέβαιο ότι αυτή η πολύ γρήγορη τροφοδότηση με πολλές λέξεις σε κάθε χρονική στιγμή είναι ικανή να προκαλεί μεγάλη αμφισημία σε σχέση με τα αναφερόμενα των λέξεων. Μία λύση που έχει προταθεί είναι η χρήση της *διαπεριστασιακής στατιστικής μάθησης (statistical cross-situational learning)* σύμφωνα με την οποία τα παιδιά μπορούν να χρησιμοποιούν πληροφορίες από διαφορετικές περιστάσεις με δύο τρόπους (Yu & Smith, 2008):

1) Τον *έλεγχο υποθέσεων*. Σύμφωνα με αυτή την στρατηγική οι επανεμφανίσεις αντικειμένων και λέξεων σε διαφορετικές περιστάσεις βοηθούν στο να αξιολογηθούν (και πιθανώς να διορθωθούν) υποθέσεις που έχουν γίνει σε άλλες περιστάσεις σχετικά με αντιστοιχίσεις εννοιών-λέξεων.

2) Τη *συσχετιστική μάθηση*. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο, καθώς το παιδί συναντά ίδια αντικείμενα και λέξεις σε διάφορες περιστάσεις επιλύει τις πιθανές αμφισημίες ή εσφαλμένες συσχετίσεις που έχουν γίνει, ενδυναμώνοντας και εξασθενώντας συσχετιστικούς συνδέσμους μεταξύ εμπειρικών οντοτήτων και λέξεων/ετικετών ανάλογα με τις συνεμφανίσεις τους (Yu & Smith, 2008).

Η απλή, κοινότοπη, συσχετιστική μάθηση, αυτό που οι Yu και Ballard (2007) ονομάζουν μηχανισμό του *συσχετισμού* (*associationism*), μπορεί να οδηγήσει τα παιδιά να φτάσουν στη σωστή σημασία της λέξης μόνον μέσω των στατιστικών κανονικοτήτων της εμπειρίας, δηλαδή των συνεμφανίσεων λέξεων με αναφερόμενα σε πολλαπλές περιστάσεις. Προφανώς η προσέγγιση αυτή έχει πολλά κοινά στοιχεία με τους βασικούς μηχανισμούς που προτείνει ο συνδετισμός (και γενικά τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα) και έχει δειχτεί με την διενέργεια αρκετών μελετών μοντελοποίησης ότι διάφορα στατιστικά, μαθηματικά ή υπολογιστικά μοντέλα όπως στο (Siskind, 1996) μπορούν με την απλή αρχή του συσχετισμού να μάθουν ένα λεξιλόγιο μέσω μίας εισροής με πολλές λέξεις και θόρυβο και να επιλύουν την αναφορική αβεβαιότητα χωρίς καμία πρότερη γλωσσική γνώση, δηλαδή να αντιμετωπίσουν με επιτυχημένη μάθηση καταστάσεις με πολλά προβλήματα απόκτησης λέξεων όπως αυτά που αντιμετωπίζουν σε φυσικές περιστάσεις τα μικρά παιδιά.

Θεωρία Περιορισμών

Στην προσπάθεια εξήγησης ειδικά της περιόδου γρήγορης αύξησης του λεξιλογίου κατά το δεύτερο έτος της ζωής, έχει προταθεί η θεωρία των περιορισμών η οποία θεωρεί ότι τα μικρά παιδιά χρησιμοποιούν ορισμένους τύπους προκαταλήψεων ή περιορισμούς αναφορικά στην υποθέσεις τις οποίες θεωρούν πιθανές σχετικά με την απόδοση νοήματος σε καινούργιες λέξεις (Markman, 1994). Η Markman, θεωρεί ότι τα παιδιά καταφεύγουν στην χρήση των περιορισμών στην ηλικία του 1½ έτους καθώς τότε αρχίζουν συνήθως να

αποκτούν πολύ γρήγορα καινούργιες λέξεις (η ηλικία αυτή αποτελεί τη συνήθη έναρξη της έκρηξης του λεξιλογίου) παρότι διαθέτουν ακόμα περιορισμένες ικανότητες επεξεργασίας της πληροφορίας όπως ο έλεγχος υποθέσεων, ο επαγωγικός συλλογισμός κ.λπ. Οι περιορισμοί, είτε είναι έμφυτοι είτε αποκτούνται, οδηγούν στην μεγάλη συρρίκνωση του χώρου υποθέσεων, διευκολύνοντας έτσι το μικρό παιδί να επιλέξει την ορθή αντιστοίχιση. Η Markman (1994) δεν υποστηρίζει ότι οι περιορισμοί είναι ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο εξελίσσεται η λεξική μάθηση, καθώς αναφέρει ότι αποκαλύπτονται από την έρευνα «πολύπλοκοι και λεπτοί τρόποι με τους οποίους οι προκαταλήψεις της λεξικής μάθησης αλληλεπιδρούν με άλλες πηγές πληροφορίας». Προσθέτει μάλιστα ότι και μεταξύ τους οι περιορισμοί αλληλεπιδρούν και υπάρχουν περιπτώσεις όπου συμφωνούν, συνεπώς διευκολύνουν την υιοθέτηση της υπόθεσης προς την οποία συγκλίνουν, ενώ σε άλλες περιπτώσεις συγκρούονται μεταξύ τους, οπότε θα πρέπει ο ένας να υπερισχύσει πάνω στους άλλους.

Βασικοί τύποι περιορισμών είναι (Markman, 1994):

1) Η *προκατάληψη του ολόκληρου αντικειμένου*. Σύμφωνα με αυτή την αρχή το παιδί συμπεραίνει ότι όταν ένας ενήλικας προσπαθεί να του τραβήξει την προσοχή προς ένα αντικείμενο, π.χ. δείχνοντας προς αυτό, δεν αναφέρεται σε κάποιο επιμέρους γνώρισμα του αντικειμένου, αλλά σε ολόκληρο το αντικείμενο.

2) Η *ταξινομική υπόθεση*. Σύμφωνα με αυτήν την υπόθεση τα παιδιά όταν έρχονται σε επαφή με μία καινούργια λέξη για μία οντότητα χρησιμοποιούν ταξινομικές σχέσεις για να κατευθυνθούν προς οντότητες (αντικείμενα, δράσεις) που ανήκουν στο ίδιο είδος έτσι ώστε να αντιστοιχήσουν την λέξη με ένα νόημα. Αυτή η στρατηγική υπερισχύει από μία φάση και μετά έναντι της πιο προφανούς που αφορά θεματικές σχέσεις. Έτσι το παιδί για την αντιστοίχιση της λέξης «αυτοκίνητο» με την έννοια του αυτοκινήτου θα κατευθυνθεί προς

παρόμοια αντικείμενα, π.χ. φορτηγά κ.ο.κ. παρά σε έννοιες όπως αυτή του οδηγού (που θεματικά σχετίζεται πιο άμεσα, π.χ. χωρικά).

3) Η αρχή του αμοιβαίου αποκλεισμού. Αυτή η αρχή αποκλείει την χρήση δύο ετικετών για το ίδιο αντικείμενο και οδηγεί τα παιδιά να προτιμούν μόνον μία λέξη για ένα κάθε αντικείμενο. Έτσι όταν το παιδί ακούει μία καινούργια λέξη, ψάχνει να την αντιστοιχίσει με ένα καινούργιο αντικείμενο και όχι με κάποιο το οποίο βρίσκεται σε άμεση πρόσβαση και για το οποίο γνωρίζει ήδη την αντιστοίχιση. Χαρακτηριστικά η Markman (1994) αναφέρει ότι υπάρχουν σίγουρα περιπτώσεις όπου αυτή η αρχή έρχεται σε σύγκρουση με κάποια άλλη όπως για παράδειγμα οι ετικέτες φορτηγό και όχημα καθώς η πρώτη είναι υποκατηγορία της δεύτερης και θα μπορούσαν να αποδοθούν στο ίδιο αντικείμενο, παρ' όλα αυτά τα μικρά παιδιά οδηγούνται από την αρχή του αμοιβαίου αποκλεισμού να αποφύγουν την διπλή αντιστοίχιση.

Θεωρίες που Βασίζονται στη Χρήση

Ο Tomasello (2009) αναφέρει ότι η συγκεκριμένη οικογένεια προσεγγίσεων μπορεί να συνοψιστεί με τους εξής δύο αφορισμούς:

«Το νόημα είναι η χρήση»

«Η δομή αναδύεται από την χρήση»

Συμπληρώνει δε, ότι η πρώτη διάσταση αντιπροσωπεύει μία προσέγγιση στη σημασιολογία της γλωσσικής επικοινωνίας η οποία πηγάζει από την εργασία διαφόρων φιλοσόφων της γλώσσας που ήταν προσανατολισμένοι στην πραγματολογία της γλώσσας (με βασικό τον Ludwig Wittgenstein). Η βασική ιδέα πίσω από την φράση είναι ότι τα νοήματα δεν είναι «πράγματα» και ότι χρησιμοποιούμε «γλωσσικές συμβάσεις για να επιτύχουμε κοινωνικούς στόχους» (Tomasello, 2009). Αναφορικά στις σχετικές με το ζήτημα ιδέες του

Wittgenstein, μπορούν να παρατεθούν τα παρακάτω αποσπάσματα, σταχυολογημένα από το, πολλές φορές αινιγματικό, έργο του:

«Για μία μεγάλη κατηγορία καταστάσεων –αν και όχι για όλες– στις οποίες χρησιμοποιούμε τον όρο νόημα, αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: το νόημα μίας λέξης είναι η χρήση της στην γλώσσα» – (Wittgenstein, 1953)

Και περισσότερο ίσως προς τον οντολογικό πυρήνα του θέματος:

«Ο κόσμος είναι ο δικός μου κόσμος: αυτό είναι μία εκδήλωση του γεγονότος ότι τα όρια της γλώσσας (της γλώσσας δηλαδή που μόνον εγώ καταλαβαίνω) σηματοδοτούν τα όρια του κόσμου μου» – (Wittgenstein, 1922)

Ο δεύτερος αφορισμός του Tomasello (2009) απλά συνοψίζει την ιδέα ότι οι διάφορες γραμματολογικές δομές της γλώσσας οι οποίες είναι φορτισμένες με σημασία αναδύονται στην πραγματικότητα από τις «μεμονωμένες δράσεις της χρήσης της γλώσσας».

Κοινωνική-Πραγματολογική Θεωρία για την Λεξική Μάθηση. Εξειδικεύοντας τις γενικές αρχές της χρηστικής προσέγγισης για τη γλωσσική μάθηση, ο Tomasello (2000a, 2000b, 2009) στην κοινωνική-πραγματολογική θεωρία του, προτείνει ότι τα μικρά παιδιά ξεκινούν να αποκτούν την γλώσσα (μέσα στο πρώτο έτος της ζωής τους) μέσω δύο νοητικών δεξιοτήτων: 1) την ικανότητα να «διαβάζουν» την πρόθεση των άλλων –η οποία ανήκει στην λειτουργική διάσταση της γλωσσικής επικοινωνίας– και 2) την ικανότητα ανεύρεσης προτύπων στην γλωσσική εκφορά –η οποία ανήκει στην γραμματολογική διάσταση της γλώσσας (Tomasello, 2009). Η δεύτερη γενικά συνοψίζει όρους όπως «η κατηγοριοποίηση, η αναλογία, η ανάλυση κατανομής» κ.ο.κ. και αφορά στην πορεία από της μεμονωμένες εκφορές που ακούγονται στο περιβάλλον προς την κατανόηση των αφηρημένων γλωσσικών δομών. Το διάβασμα των προθέσεων (που συμπεριλαμβάνει και την διαμοιραζόμενη

προσοχή) είναι αυτό «που τα παιδιά πρέπει να κάνουν ώστε να διακρίνουν τις σκοπιμότητες των ώριμων ομιλητών όταν αυτοί μεταχειρίζονται γλωσσικές συμβάσεις για να επιτύχουν κοινωνικούς στόχους».

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι και οι δύο ικανότητες προέρχονται από άλλες πιο γενικές λειτουργίες, εξελιγμένες πριν το στάδιο που τα ανθρώπινα είδη ανέπτυξαν γλωσσική ικανότητα, ότι η πραγματολογικές αυτές δεξιότητες είναι πρωταρχικές στην γλωσσική επικοινωνία και συνεπώς οι «συμβατικές» γλώσσες μπορούν να κατανοηθούν μόνο ξεκινώντας από την μελέτη τέτοιων, πιο ευρέων, διαδικασιών (Tomasello, 2009).

Ο Ρόλος της Διαμοιραζόμενης Προσοχής. Ο Tomasello συνδέει τα γλωσσικά ενεργήματα με την διαμοιραζόμενη προσοχή, θεωρώντας ότι μία επικοινωνιακή πρόθεση μέσω της εκφοράς του λόγου (Tomasello, 2000a) είναι ουσιαστικά η πρόθεση ενός ατόμου προς ένα άλλο για να διαμοιραστούν μαζί την προσοχή τους προς μία τρίτη οντότητα (Tomasello, 1998) (π.χ. αντικείμενο ή διαδραματιζόμενη δράση). Η ικανότητα να αντιλαμβάνεται το παιδί τις προθέσεις των άλλων ανθρώπων αναπτύσσεται προς το τέλος του πρώτου έτους της ζωής και φαίνεται να συνιστά μία από τις κρίσιμες προϋποθέσεις για την γλωσσική ανάπτυξη (Michael Tomasello & Carpenter, 2007; Trevarthen, 1994).

Στις συμπεριφορές οι οποίες συναπαρτίζουν το σύστημα της διαμοιραζόμενης προσοχής, ανήκει η παρακολούθηση του βλέμματος (*gaze monitoring*), καθώς και οι λεγόμενες πρωτοδηλωτικές χειρονομίες δείξης, όπως το δείξιμο με το δάκτυλο προς κάτι που τραβάει το ενδιαφέρον ή η επίδειξη αντικειμένων (Baron-Cohen, Baldwin, & Crowson, 1997). Όπως αναφέρουν οι συγγραφείς, όλες αυτές αναδύονται αυθόρμητα ανάμεσα στους 9 και 14 πρώτους μήνες της ζωής και φαίνεται ότι διαθέτουν έμφυτα συστατικά, πράγμα που υποστηρίζεται από διάφορες ενδείξεις όπως η καθολικότητα στον χρόνο εμφάνισής τους. Για παράδειγμα, και ειδικότερα σχετικά με την παρακολούθηση του βλέμματος των ενήλικων που αποτελεί την βάση της στρατηγικής της (παρακολούθησης της) κατεύθυνσης του

βλέμματος του ομιλητή (Speaker's Direction of Gaze, SDG) για την επίλυση του προβλήματος της αναφορικότητας, αυτή πιθανώς έχει αναπτυχθεί πολύ νωρίτερα από την εξέλιξη της γλώσσας και έχει –σε εξωγλωσσικά πλαίσια– μεγάλη «αξία επιβίωσης». Μπορεί να καθοδηγήσει το ζώο στην ανεύρεση πηγών τροφής που πιθανώς το ίδιο δεν έχει εντοπίσει, να ειδοποιήσει για την ύπαρξη θηρευτών ή πιθανών εχθρικών διαθέσεων, να ενημερώσει για την επιθυμία προ-κοινωνικών επικοινωνιακών συμπεριφορών προς αυτό ή να αποτελέσει έναν «δείκτη κοινωνικού status» (Baron-Cohen et al., 1997).

Ο Trevarthen (2015) τοποθετεί, όπως φαίνεται, την φάση της ανάδυσης της διαμοιραζόμενης προσοχής στο στάδιο της *δευτερογενούς διυποκειμενικότητας* που αποτελεί μία εξέλιξη πάνω στη βάση της *έμφυτης διυποκειμενικότητας*, δηλαδή του γνωρίσματος του βρέφους να διαθέτει από τη γέννησή του την ικανότητα να αναγνωρίζει την «επίγνωση του δευτέρου προσώπου» εκ μέρους των άλλων νοημόνων οντοτήτων, ειδικά των τροφών του, προσδίδοντάς του την έμφυτη τάση για «αμοιβαία επικοινωνία» και αποτελώντας ουσιαστικά το θεμέλιο για την δημιουργία μίας γλωσσικής και πολιτισμικής κοινότητας. Αυτή η δευτερογενής διυποκειμενικότητα αναπτύσσεται περίπου από την περίοδο των 40 εβδομάδων της ζωής και ύστερα, οπότε το βρέφος φαίνεται να αρχίζει να αντιλαμβάνεται την πρόθεση της μητέρας με διαφορετικό τρόπο απ' ότι στο προηγούμενο στάδιο, δηλαδή προσπαθώντας να καταλάβει τι ακριβώς σηματοδοτούν οι χειρονομίες και ομιλιακά ενεργήματα που υποδηλώνουν αυτήν την πρόθεση, παράλληλα «αναζητώντας την επιβεβαίωση της μητέρας για τις δικές του ενέργειες». Προχωρώντας στην ανάπτυξη αυτών των νέων τρόπων διεπαφής, το βρέφος αρχίζει να διαμοιράζεται με τη μητέρα, δραστηριότητες στα πλαίσια ενός τριγώνου «συνεργασίας προσώπου-προσώπου-αντικειμένου», φτάνοντας έως το τέλος του πρώτου χρόνου ζωής να εκφράζει μέσω της *πρωτο-γλώσσας* (φωνοποιήσεων και χειρονομιών) τις εσωτερικές «διαπροσωπικές νοητικές καταστάσεις» που υλοποιούνται ως ενδιαφέρον καθώς και αίσθηση χρησιμότητας για την πρακτική αναφορικότητα των λέξεων

και –αντιστρόφως– για την ονομασία των αντικειμένων (Trevarthen, 2015). Αυτές οι δεξιότητες της «συνεργατικής επίγνωσης», ο Trevarthen θεωρεί ότι αποτελούν κάτι περισσότερο απ’ ότι απλώς η «διαμοιραζόμενη προσοχή προς ένα αντικείμενο συγκλίνοντος ενδιαφέροντος» και ότι η συνεργατική επίγνωση χαρακτηρίζεται από την εκδήλωση «συναισθημάτων αμοιβαίας εκτίμησης» καθώς η εξελιγμένη *αλλο-αντίληψη (alteroception)* του βρέφους –η οποία είναι η άμεση αντίληψη της θέσης και των κινήσεων του σώματος των άλλων– αλλάζει και την *άλλο-αντίληψη* της μητέρας.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι πρώιμες επικοινωνιακές ικανότητες των παιδιών, γλωσσικές αλλά και με άλλους τρόπους –π.χ. με χειρονομίες– μπορούν να προβλεφθούν από τα γνωρίσματα της παρουσίας παραγόντων σχετικών με την κοινωνική αλληλεπίδραση. Χαρακτηριστικά οι Carpenter, Nagell, Tomasello, Butterworth, και Moore (1998) έδειξαν με τις αναλύσεις τους ότι πάνω από το 50% της διακύμανσης στην πρόβλεψη της λεξικής κατανόησης καθώς και της παραγωγής των λέξεων μπορεί να αποδοθεί κυρίως σε δύο μέτρα της κοινωνικού τύπου δραστηριότητας του νηπίου: 1) στην ικανότητα του ζεύγους μητέρας-παιδιού να εισέρχονται σε επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής και της ποσότητας του χρόνου που αφιερώνεται σε αυτά, και 2) στον βαθμό στον οποίο οι μητέρες χρησιμοποιούν γλωσσική επικοινωνία που ακολουθεί την εστίαση της προσοχής του νηπίου¹.

Γλωσσολογικό Bootstrapping

Ο όρος, που θα χρησιμοποιηθεί από αυτό το σημείο και μετά στο κείμενο αμετάφραστος, κυριολεκτικά σημαίνει «να σηκώσει κάποιος τον εαυτό του από τις λωρίδες

¹ Αυτή η μορφή αλληλεπίδρασης –ανταπόκριση από την μητέρα σε πιθανώς επιτυχείς αντιστοιχίσεις ηχητικών ερεθισμάτων σε αντικείμενα ή δράσεις από το παιδί– μπορεί να συσχετιστεί με το σύστημα ανταμοιβής που ενσωματώνεται στο συνδυαστικό μοντέλο της παρούσας έρευνας (αναπτύσσεται παρακάτω στο κείμενο, στο τμήμα που αναφέρεται στη μεθοδολογία).

στην πίσω μεριά των μποτών του (*bootstraps*)». Μπορεί δε, να ερμηνευτεί ως η επιτυχία κάποιου που βασίζεται μόνο στις δικές του προσπάθειες (“World Wide Words: Boot” n.d.) και να δοθεί η σύντομη περιγραφική μετάφραση «εκκίνηση με ελάχιστους πόρους».

Σύμφωνα με την αναφερόμενη περιεκτική πηγή, η δημοφιλής αφήγηση είναι ότι η αρχική ιδέα πηγαιίνει έως το 1785, στο βιβλίο φαντασίας του Rudolph Raspe, όπου ο ευφάνταστος Munchausen, σε μία περιπέτειά του, καταφέρνει να σωθεί σηκώνοντας τον εαυτό του από το έδαφος με αυτόν τον τρόπο (αν και εντέλει φαίνεται πως ο βαρόνος σηκώνει τον εαυτό του και το άλογό του από έναν βάλτο τραβώντας την κοτσίδα του [Freeman, 2009]). Η πρώτη ολοκληρωμένη πάντως και επίσημη εμφάνιση του όρου πιθανώς ήταν στη σύντομη ιστορία επιστημονικής φαντασίας του Robert Heinlein, από το 1941, “By His Bootstraps”.

Στους υπολογιστές ο όρος bootstrapping ο οποίος χρησιμοποιείται συντομευμένος ως booting, υποδεικνύει τη διαδικασία κατά την εκκίνηση ενός υπολογιστή όπου ένα μικρό πρόγραμμα, μονίμως εγγεγραμμένο στα ολοκληρωμένα κυκλώματά του (chips), φορτώνεται στην μνήμη του υπολογιστή και χρησιμεύει για τη φόρτωση άλλων περισσότερο πολύπλοκων προγραμμάτων και εντέλει του ίδιου του λειτουργικού συστήματος.

Τον όρο εισήγαγε στον χώρο της γλωσσολογίας ο Pinker (1987, 2009) ο οποίος επισημαίνει ότι η «συζήτηση», στον χώρο της έρευνας για την γλωσσική κατάκτηση, ανάμεσα στις υποθέσεις που βασίζονται στην ανάλυση της κατανομής της γλωσσικής εισροής (την οποία αντιλαμβάνεται το παιδί) και σε αυτές που υποθέτουν την ύπαρξη κάποιου εγγενούς συστήματος περιορισμών για την διάκριση των γλωσσικών κατηγοριών, δεν έχει καταφέρει να ρίξει φως στο πώς ακριβώς λειτουργεί αυτή η διαδικασία της απόκτησης (Pinker, 1987). Ο Pinker συνοψίζει τις πτυχές του «θεμελιώδους προβλήματος» για το πώς το παιδί ξεκινά τη διαδικασία μάθησης των καθαυτό κανόνων της ενήλικης γλώσσας, στον όρο “bootstrapping problem”, το πρώτο, κατά την γνώμη του, πρόβλημα που κάποιος οφείλει να επιλύσει κατά την διαμόρφωση μοντέλων γλωσσικής απόκτησης (Pinker,

1987).

Σχετικά με τις δύο κύριες θεωρητικές κατευθύνσεις αυτής της συζήτησης, η στρατηγική της ανάλυσης της κατανομής της εισροής ουσιαστικά στηρίζεται στο γεγονός ότι λέξεις οι οποίες εμφανίζονται/παρουσιάζονται εντός των ίδιων περιστάσεων ή «συγκείμενων» τείνουν να ανήκουν στην ίδια γραμματική κατηγορία, δηλαδή εκμεταλλεύεται τις «συστηματικότητες της κατανομής» (Cartwright & Brent, 1997). Παρ' όλα αυτά υπάρχουν οπωσδήποτε δυσκολίες στην αποδοχή μίας τέτοιας στρατηγικής ως την κύρια διαδικασία μέσω της οποίας το παιδί μπορεί να προχωρήσει στην απόκτηση του πρώιμου λεξιλογίου, όπως για παράδειγμα υποδεικνύει ο Pinker (1987) ο οποίος εστιάζει στο ότι παρότι μία τέτοια «ανάλυση» είναι δυνατή, και πάλι το παιδί θα πρέπει να διαθέτει ή να έχει εκ των προτέρων μάθει ποιες είναι οι διάφορες κλάσεις συγκείμενων έτσι ώστε να ξεκινήσει να βρίσκει εντός τους τα δείγματα/λέξεις των γραμματικών κατηγοριών. Για να υπερκεράσουν αυτή τη δυσκολία, οι ερευνητές που υποστηρίζουν τις σχετικές προσεγγίσεις, παρότι θεωρούν ως βάση της λεξικής μάθησης αυτή την «στατιστική» οδό, παράλληλα υποθέτουν την επιβοήθηση από άλλες ενδείξεις όπως σημασιολογικές ή φωνολογικές (Cartwright & Brent, 1997). Από την πλευρά της ύπαρξης εγγενών μηχανισμών, της προσέγγισης του “innatism” (Chomsky, 2006), ο Chomsky έχει προτείνει την ύπαρξη μίας γενετικά προκαθορισμένης γνωσιακής συσκευής η οποία προκαθορίζει στον νου του παιδιού μία κλάση από «ανθρωπίνως προσβάσιμες γραμματικές». Με τον όρο *γραμματική* ο Chomsky θεωρεί ένα σύστημα, το οποίο αναπαρίσταται στον νου, το οποίο προσδιορίζει τα γνωρίσματα των δυνατών φράσεων της γλώσσας: συντακτικά, φωνητικά, σημασιολογικά. Βάσει μίας γενικά αποστερημένης ενδείξεων γλωσσικής εισροής, το φαινόμενο που ονόμασε «φτώχεια του ερεθίσματος» (Chomsky, 2006; Dąbrowska, 2015), το παιδί καταφέρνει να οδηγηθεί από το γενετικά προκαθορισμένο αρχικό στάδιο στην τελική «σταθερή κατάσταση» όπου πλέον επουσιώδεις αλλαγές είναι μόνο παρατηρήσιμες στην ανάπτυξη της «ανθρώπινης θεωρίας

μάθησης στο γλωσσικό πεδίο» (Chomsky, 2006). Εντέλει αυτή η υπόθεση της «καθολικής γραμματικής» (“Universal Grammar”), των κοινών δηλαδή γνωρισμάτων όλων των ανθρώπινων γλωσσών, τα οποία αντιστοιχούν σε εγγενείς αρχές με τις οποίες όλα τα παιδιά είναι εκ γενετής προικισμένα, παρότι έχει κατά την διάρκεια των δεκαετιών ιστορίας της τραβήξει τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον από όλους τους σχετικούς επιστημονικούς κλάδους (Dąbrowska, 2015) έχει δεχτεί ισχυρότατες κριτικές (και ίσως αυξανόμενες) από διάφορες κατευθύνσεις. Μία γενική θέαση θα μπορούσε να συνοψιστεί στο ότι παρότι το παιδί μπορεί μέσω των εγγενών περιορισμών να καθορίσει ότι υπάρχουν γραμματικές κατηγορίες και πάλι θα πρέπει να ανακαλύψει στην εισροή τα κατάλληλα δείγματά τους έτσι ώστε τελικά πάνω τους να εφαρμόσει τις καθολικές αρχές και να τα χρησιμοποιήσει για να βαθμονομήσει τις σχετικές παραμέτρους (Pinker, 1987) και να αναπτύξει έτσι ορθά την θεωρία του για την γλωσσική μάθηση.

Γι’ αυτούς τους τύπους προβλημάτων των βασικών προσεγγίσεων για την γλωσσική μάθηση μία γενική οδός επίλυσης είναι η ύπαρξη των μηχανισμών bootstrapping οι οποίοι κατευθύνουν την επεξεργασία της εισροής θέτοντας περιορισμούς στις διεργασίες μάθησης του παιδιού με έναν «γλωσσικά σχετικό τρόπο» (Höhle, 2009). Πιο απλά συγκεκριμένες κατηγορίες ενδείξεων (και η δυνατότητα εκμετάλλευσής τους) δίνουν στο παιδί τη δυνατότητα να καταταμίσει την γλωσσική εισροή σε μέρη τα οποία υφίστανται την επεξεργασία πιο γενικών μηχανισμών μάθησης (εγγενών ή όχι). Έτσι, για παράδειγμα ο Pinker προτείνει ως μηχανισμό bootstrapping τον σημασιολογικό, την ικανότητα δηλαδή του παιδιού να φτιάχνει σημασιολογικές αναπαραστάσεις της εισροής μέσω των πληροφοριών του πλαισίου και αυτές να συνδυάζει μέσω των εγγενών κανόνων σύνδεσης (καθολικής γραμματικής) με τις αντίστοιχες συντακτικές κατηγορίες (Höhle, 2009). Η Höhle αναφέρει και άλλους τύπους bootstrapping, όπως το προσωδιακό κατά το οποίο το παιδί χρησιμοποιεί ενδείξεις από την προσωδία της εισροής, όπως τον ρυθμό ή τον επιτονισμό, για να την

κατατμήσει και μετά να κατηγοριοποιήσει αυτά τα μέρη σε συντακτικές μονάδες, το συντακτικό ή το τυπολογικό bootstrapping κ.ο.κ.

Στα πλαίσια της κοινωνικής-πραγματολογικής θεωρίας του, ο Tomasello υποστήριξε το ότι το παιδί χρησιμοποιεί τέτοιες, κοινωνικές-πραγματολογικές ενδείξεις για να καθορίσει το ποια είναι τα αναφερόμενα των αντικειμένων ή των δράσεων που οι ενήλικες υποδεικνύουν κατά την αλληλεπίδραση μαζί του και μάλιστα τεκμηριώνει πειραματικά με τους συνεργάτες του αυτή την στρατηγική (Tomasello & Akhtar, 1995) κατά την πρώιμη λεξική απόκτηση. Αυτή την βασική υπόθεση αξιοποιούν στην διαμόρφωση της υπόθεσής του πραγματολογικού bootstrapping και στην διάρθρωση του υπολογιστικού μοντέλου βασισμένου σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα οι Caza και Knott (Caza & Knott, 2012; Caza, 2009). Μία μικρή διαφοροποίηση στην προσέγγισή τους είναι ότι στην έναρξη της λεξικής μάθησης προϋποθέτουν δύο εν μέρει λειτουργικούς μηχανισμούς, αυτόν που ευθύνεται για την εμπλοκή σε επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής και έναν μηχανισμό τυχαίας (αρχικά) συσχετιστικής μάθησης, οι οποίοι λειτουργούν ως διαδικασίες bootstrapping ο ένας για τον άλλον καθώς το συνολικό σύστημα λεξικής εκμάθησης αναπτύσσεται (Caza & Knott, 2012).

Η Διαφοροποίηση στη Μάθηση Ουσιαστικών-Ρημάτων

«(...) η ιδέα ότι 'η μάθηση της σημασίας των λέξεων από τα παιδιά βασίζεται σε ότι τους τραβάει το ενδιαφέρον' είναι σε σοβαρό βαθμό ατελής. Δεν λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι η γλώσσα είναι ένα *σύστημα* από τρόπους κωδικοποίησης της εμπειρίας και το ότι τα παιδιά μαθαίνουν αυτό το σύστημα» – (Gentner & Boroditsky, 2001)

Η παραπάνω φράση αντανακλά τον χαρακτήρα της πολυπλοκότητας που αφορά την μάθηση λέξεων από τις δύο βασικές κατηγορίες των ουσιαστικών και ρημάτων κατά τα πρώιμα στάδια της γλωσσικής μάθησης και τις παραδοξότητες που τη συνοδεύουν, κυρίως

αυτή της διαφοροποιημένης μάθησης αυτών των κατηγοριών. Το αντιδισθητικό του ζητήματος αυτού έγκειται στο ότι, παρόλο που τα μικρά παιδιά «θα έπρεπε να ήθελαν να μιλήσουν» για πράγματα που αφορούν κίνηση, δυναμικές αλλαγές κ.ο.κ., δηλαδή πράγματα των οποίων η σημασία μεταφέρεται κυρίως από τα ρήματα, εντούτοις στην πρώιμη ομιλία κυριαρχούν τα ουσιαστικά και αυτό σχετίζεται με ότι είναι κατανοητό από το γνωσιακό τους σύστημα (Gentner & Boroditsky, 2001).

Έχει δειχθεί τόσο από εργαστηριακές έρευνες όσο και μέσω δια-γλωσσικής μελέτης της φυσιολογικής απόκτησης του λεξιλογίου ότι συχνά τα ρήματα υστερούν έναντι των ουσιαστικών σχετικά με το πόσο γρήγορα και εύκολα μαθαίνονται από τα μικρά παιδιά κατά τα πρώιμα στάδια της γλωσσικής ανάπτυξης (Bornstein et al., 2004; Childers & Tomasello, 2006; Gentner, 2006) και ότι αυτή η υστέρηση αντιστοιχεί μάλλον σε ένα καθολικό (αφορά τις περισσότερες γλώσσες) φαινόμενο (Gentner, 1982). Σε αντίφαση με την ύπαρξη αυτού του συνόλου ενδείξεων, η θέση των ρημάτων θεωρείται ότι βρίσκεται στον «πυρήνα της πρότασης» (Gentner & Boroditsky, 2001), καθώς λειτουργεί ώστε να παρέχει τις βασικές σχέσεις και συμβάντα στα οποία συμμετέχουν τα ουσιαστικά. Η αντιδιαστολή αυτή ανάμεσα στον ρόλο των ρημάτων και στην δυσκολία στην μάθησή τους αναφέρεται ως το «παράδοξο της κεντρικότητας των ρημάτων» (Gentner & Boroditsky, 2001). Υφίστανται διάφορες θεωρίες για την εξήγηση της υστέρησης. Έτσι, αυτή η διαφοροποίηση στον ρυθμό μάθησης μπορεί, καταρχάς, να αποδοθεί στις εννοιολογικές και αντιληπτικές διαφορές μεταξύ των δύο κλάσεων λέξεων, καθώς καταρχάς, οι έννοιες των ουσιαστικών είναι περισσότερο σταθερές σε αυτές τις δύο διαστάσεις (για παράδειγμα σε μία περίπτωση δράσης, μία οντότητα/αντικείμενο μπορεί να συνεχίσει να είναι παρούσα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της δράσης) –επομένως περισσότερο προσβάσιμες στην απόκτηση από αυτές των ρημάτων (Waxman et al., 2013). Ένα ακόμη στοιχείο διαφοροποίησης είναι ότι η σημασία των ρημάτων εξαρτάται από τα ουσιαστικά και έτσι η μάθηση των δευτέρων είναι ένα

προαπαιτούμενο για τη μάθηση των πρώτων. Όπως υποδεικνύουν οι Waxman και συν. (2013), δεν είναι επαρκές για τα νήπια απλά να αναγνωρίσουν το υποκείμενο και το αντικείμενο μίας δράσης έτσι ώστε να ανακαλύψουν την σημασία του αντίστοιχου ρήματος. Χρειάζεται να μπορούν να αναγνωρίσουν τις ειδικές σχέσεις δρώντος και αντικείμενου δράσης και γι' αυτό είναι αναγκαίο το να έχουν αναπτύξει ένα ρεπερτόριο ουσιαστικών (αντιστοίχιση αντικειμένου-σημασίας) πριν αρχίσουν να μαθαίνουν τα ρήματα. Εκτός από τη διαφοροποίηση στην απόκτηση, κάποιες άλλες, φαινομενολογικού τύπου, γενικές διαφορές ανάμεσα στις δύο κατηγορίες λέξεων –οι οποίες έχουν τεκμηριωθεί και πειραματικά– είναι, σύμφωνα με την Gentner (1981), η καλύτερη επίδοση στην μνημονική συγκράτηση και ανάκληση για τα ουσιαστικά σε σύγκριση με τα ρήματα, το μεγαλύτερο σημασιολογικό εύρος των ρημάτων σε σχέση με αυτό των ουσιαστικών, η μεγαλύτερη ευελιξία των ρημάτων στις τροποποιήσεις της σημασίας τους ώστε να διορθωθούν τυχόν εννοιολογικές αναντιστοιχίες μεταξύ ουσιαστικών και ρημάτων σε περιπτώσεις όπως οι παραφράσεις, η μεγαλύτερη σταθερότητα των ουσιαστικών έναντι των ρημάτων στις διαγλωσσικές μεταφράσεις από δίγλωσσους ομιλητές κ.ά.

Μία εναλλακτική εξήγηση για τους διαφορετικούς ρυθμούς απόκτησης των λεξικών κατηγοριών αφορά στην κατανομή των λέξεων στην ροή του λόγου, καθώς είναι τυπικό στον λόγο ο οποίος απευθύνεται προς τα παιδιά –βασικά από τους γονείς τους– τα ουσιαστικά να κυριαρχούν έναντι των ρημάτων, τουλάχιστον για δυτικές γλώσσες όπως τα αγγλικά ή τα ιταλικά (Sandhofer, Smith, & Luo, 2000). Οι ίδιοι συγγραφείς, με την έρευνά τους, δείχνουν χαρακτηριστικά ότι τα παιδιά που ζουν στο γλωσσικό περιβάλλον της κινεζικής μανδαρινικής, όπου αναφορικά στις κλάσεις των λέξεων που συνιστούν την εισροή προς αυτά, τα ρήματα υπερσχύουν των ουσιαστικών, τόσο σε *τύπους (types)* όσο και σε *δείγματα (tokens)*, παράγουν περισσότερα ρήματα παρά ουσιαστικά, γεγονός που, γι' αυτούς, αντανακλά την κατανομή της εισροής. Παρ' όλα αυτά, αναφέρουν ότι, για να κατανοήσουμε

καλύτερα τους μηχανισμούς της μάθησης των λεξικών κατηγοριών, θα πρέπει να κατευθύνουμε την έρευνα προς ερωτήματα που σχετίζονται με την καθαυτό ευκολία ή δυσκολία της σύλληψης των σημασιών των λέξεων, καθώς τόσο τα κινεζόφωνα όσο και τα αγγλόφωνα παιδιά μάλλον αντιμετωπίζουν τις ίδιες δυσκολίες στην κατανόηση των ρημάτων (έναντι στα ουσιαστικά). Παρόμοιες σχέσεις ανάμεσα στις αναλογίες της εισροής και στο παραγόμενο λεξιλόγιο βρήκαν και οι Tardif, Gelman και Xu (1999) –επίσης συγκρίνοντας τα μανδαρινικά με τα αγγλικά– οι οποίοι αναφέρουν επικράτηση των ρημάτων έναντι των ουσιαστικών στην γλωσσική παραγωγή στα κινεζόφωνα παιδιά και παράλληλα στις μητρικές εκφορές απέναντί τους, παρ’ όλα αυτά αναδεικνύουν και την επίδραση του πλαισίου καθώς και στις δύο γλώσσες υπάρχει μία επικράτηση των ουσιαστικών όσον αφορά τις μητρικές εκφορές και την εμπλοκή των παιδιών σε επεισόδια ανάγνωσης βιβλίων (αλλά στα μανδαρινικά η επικράτηση είναι απλά οριακή ενώ στα αγγλικά είναι εμφανέστατη) ενώ υπάρχει επικράτηση των ρηματικών τύπων σε επεισόδια παιχνιδιού και στις δύο γλώσσες (κι εδώ αρκετά μεγαλύτερη στα μανδαρινικά).

Τέλος, και χωρίς να εξαντλείται με αυτό ο κατάλογος των αιτιολογιών που έχουν προταθεί, μία ακόμα πηγή της διαφοράς μεταξύ των βασικών κλάσεων, αποτελούν οι δύο διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους τα στοιχεία της εμπειρίας συσσωματώνονται σε ενιαίες οντότητες και ατομικοποιούνται (*individualized*) (Gentner, 1981, 1982; Gentner & Boroditsky, 2001). Οι Gentner και Boroditsky (2001) εξηγούν ότι αυτή η διαδικασία ατομικοποίησης βρίσκεται είτε υπό την επίδραση της *γνωσιακής κυριαρχίας* είτε της *γλωσσικής κυριαρχίας*. Αυτές οι επιδράσεις υφίστανται σε διαφορετικές αναλογίες στις διαφορετικές κατηγορίες λέξεων και γενικά η ατομικοποίηση επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι το σχήμα, το πόσο ευφάνταστη είναι η έννοια, ο βαθμός συγκεκριμενοποίησης. Η γνωσιακή κυριαρχία αναφέρεται στο ότι τα τμήματα που συγκροτούν μία έννοια συγχωνεύονται ήδη στην αντιληπτική και γνωσιακή σφαίρα πριν παρουσιαστούν ως

ενοποιημένη οντότητα στο γλωσσικό σύστημα για να ονομαστούν. Η γλωσσική κυριαρχία από την άλλη πλευρά, σημαίνει ότι η γλώσσα παίζει τον κυρίαρχο ρόλο στη τελική συγχώνευση των αντιληπτικών-εννοιολογικών κομματιών που της παρουσιάζει η εμπειρία. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2 παρακάτω, η γνωσιακή κυριαρχία λειτουργεί περισσότερο στις περιπτώσεις της ανοικτής κατηγορίας λέξεων, στην οποία παραδοσιακά ανήκουν τα συγκεκριμένα ουσιαστικά, δηλαδή στην κατηγορία λέξεων που εύκολα αποδέχεται καινούργια μέλη, ενώ η γλωσσική κυριαρχία επικρατεί στην περίπτωση της κλειστής κατηγορίας λέξεων που τυπικά περιλαμβάνει κλάσεις λέξεων όπως οι σύνδεσμοι ή οι αντωνυμίες, στις οποίες καινούργια μέλη σπανίως προστίθενται. Τα ρήματα βρίσκονται κάπου ενδιάμεσα στις δύο κατηγορίες –και επομένως υπόκεινται και στις δύο κυριαρχικές επιδράσεις– καθώς, έχουν αναφορικό περιεχόμενο όπως τα ουσιαστικά αλλά παράλληλα δρουν και συζευκτικά όπως οι σύνδεσμοι.

Διαχωρισμός της Κυριαρχίας



Εικόνα 2. Ένα περίγραμμα της διαφοροποιημένης επίδρασης των δύο τύπων κυριαρχίας πάνω στην μάθηση και την ατομικοποίηση των διαφορετικών λεξικών κατηγοριών. Στο κάτω μέρος του διαγράμματος παρατίθενται κάποια παραδείγματα λέξεων.

Σημείωση: προσαρμογή για τις ελληνικές λεξικές κατηγορίες από το αντίστοιχο διάγραμμα του (Gentner & Boroditsky, 2001) (σ. 216).

Κατηγορική Ασυμμετρία και Διαμοιραζόμενη Προσοχή. Αναφορικά στις επιδράσεις της διαμοιραζόμενης προσοχής στη διαφοροποιημένη απόκτηση των δύο λεξικών κατηγοριών, ουσιαστικών και ρημάτων, στο (Childers, Vaughan, & Burquest, 2007) δείχνεται ότι διαφορετικές διαδικασίες εμπλέκονται στην απόκτηση των ουσιαστικών και των ρημάτων και ειδικότερα σε διαφορετικές ηλικιακές στιγμές, με τα επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής να επηρεάζουν στην απόκτηση των ουσιαστικών νωρίτερα απ' ό,τι στην απόκτηση των ρημάτων (τουλάχιστον για τον συγκεκριμένο πολιτισμό –Νιγηρία– όπου τα ρήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα στη λεξική μάθηση). Ακόμα έχει βρεθεί ότι στα επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής τα ουσιαστικά μαθαίνονται καλύτερα όταν τα αναφερόμενα αντικείμενα είναι παρόντα κατά τη διάρκεια του συμβάντος, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τα ρήματα, δηλαδή τα δεύτερα μαθαίνονται καλύτερα όταν η λέξη ακούγεται πριν ή μετά το επεισόδιο (M. Tomasello & Kruger, 1992).

ASD, SLI και Λεξική Μάθηση

Το ίδιο σχήμα της διαφοροποιημένης λεξικής απόκτησης αναφορικά στις κλάσεις των λέξεων παρατηρείται σε γενικές γραμμές επίσης σε παιδιά με *Διαταραχή του Φάσματος του Αυτισμού (ΔΑΦ) (Autism Spectrum Disorder, ASD)* καθώς και σε παιδιά που εμφανίζουν *Ειδική Γλωσσική Διαταραχή (ΕΓΔ) (Specific Language Impairment, SLI)*. Και οι δύο ανήκουν στις αναπτυξιακές διαταραχές που επηρεάζουν, ανάμεσα στ' άλλα, την γλωσσική μάθηση και χρήση, με τη ΔΑΦ να είναι βέβαια μία πολύ ευρύτερη κατάσταση απ' ό,τι η ΕΓΔ, η οποία αφορά κυριότερα την γλωσσική ανάπτυξη.

Η κατηγοριοποίηση των διαταραχών που ανήκουν στην ΔΑΦ όπως και τα διαφοροδιαγνωστικά της κριτήρια φαίνεται ότι βρίσκονται υπό μία διαρκή ζύμωση κατά τη

διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Η διάγνωση για τη ΔΑΦ στις αρχές της δεκαετίας του '90, στηρίζονταν σε μία τριάδα σημειολογίας που αποτελούταν από διαταραχές στην κοινωνική αλληλεπίδραση, βλάβες που αφορούν την επικοινωνία και βλάβες στην δημιουργικότητα, στην ευελιξία της σκέψης και στην ικανότητα γενίκευσης (Botting & Conti-Ramsden, 2003). Ακόμα, υπό την ομπρέλα του όρου *αυτισμός* συγκαταλέγονταν παλιότερα κάποιες υποκατηγορίες νευροαναπτυξιακών διαταραχών και ακόμη υπήρχαν διάφορες άλλες ξεχωριστές διαταραχές που συνδέονταν με αυτόν, όπως το *σύνδρομο Asperger*, η *διάχυτη αναπτυξιακή διαταραχή μη-προσδιοριζόμενη αλλιώς* κ.ά. (Matson, 2016; Patel, Preedy, & Martin, 2014). Όπως αναφέρεται σε αυτές τις πηγές, πλέον υπάρχει μία μονοδιάστατη οντότητα/κατηγορία, η ΔΑΦ, η οποία είναι συνεχής και χαρακτηρίζεται, βάσει του βαθμού σοβαρότητας των κριτηρίων, ως ήπια μέχρι σοβαρή. Έτσι, προηγούμενες κατηγοριοποιήσεις ενσωματώνονται σε αυτό το συνεχές, όπως το σύνδρομο Asperger που πλέον τοποθετείται στο «ήπιο ή υψηλά-λειτουργικό άκρο του αυτιστικού φάσματος» (Patel et al., 2014). Αυτή η αλλαγή που συνέβη την τελευταία δεκαετία, σηματοδοτείται από την πιο πρόσφατη, 5^η έκδοση του διαγνωστικού και στατιστικού εγχειριδίου της Αμερικανικής Ψυχιατρικής Εταιρίας για τις διανοητικές διαταραχές (American Psychiatric Association, 2013) η οποία περιλαμβάνει επίσης την μείωση των διαγνωστικών κριτηρίων από τρία σε δύο –τα οποία πρέπει να πληρούνται συνολικά. Η πρώτη κατηγορία κριτηρίων, όπως καταγράφονται στο αναφερόμενο εγχειρίδιο, είναι εν συντομία: 1) επιμέμοντα ελλείμματα στην κοινωνική επικοινωνία και αλληλεπίδραση σε πολλαπλούς, ταυτόχρονα, τομείς, δηλαδή, α) στην συναισθηματική αμοιβαιότητα, μειωμένη ικανότητα συγκινησιακού διαμοιρασμού, β) ελλείμματα στις μη-λεκτικές επικοινωνιακές συμπεριφορές που είναι αναγκαίες για την κοινωνική αλληλεπίδραση, ανωμαλίες στην ικανότητα για βλεμματική επαφή ή στην γλώσσα του σώματος, ελλιπής συνεργασία γλωσσικής και μη-γλωσσικής επικοινωνίας, και γ) ελλείμματα στην ανάπτυξη, διατήρηση και κατανόηση των σχέσεων,

όπως δυσκολίες στην προσαρμογή της συμπεριφοράς σε διαφορετικά πλαίσια, έλλειψη ενδιαφέροντος για τους συνομήλικους. Η δεύτερη κατηγορία διαγνωστικών κριτηρίων που επίσης πρέπει να εκφράζεται (είτε στην τρέχουσα έκφραση της διαταραχής είτε στην παρελθούσα κλινική της πορεία) είναι: 2) «περιορισμένα ή επαναλαμβανόμενα μοτίβα συμπεριφοράς, ενδιαφέροντα ή δραστηριότητες», που έχουν τουλάχιστον δύο από τις ακόλουθες εκφράσεις, όπως α) στερεοτυπικές, επαναληπτικές κινήσεις ή στερεοτυπικός λόγος (π.χ. ηχολαλία ή χρήση ιδιοσυγκρασιακών φράσεων), β) προσκόλληση σε ρουτίνες ή «τελετουργικά» σχήματα λεκτικής και μη-λεκτικής συμπεριφοράς (π.χ. «ακραία δυσφορία σε μικρές αλλαγές», η υιοθέτηση της ίδιας διαδρομής καθημερινά), γ) πολύ περιορισμένα και με μεγάλη ένταση εστίασης ενδιαφέροντα (π.χ. «ισχυρή προσκόλληση σε ασυνήθιστα αντικείμενα»), ή δ) υπο- ή υπερ-ενεργοποίηση από αισθητηριακά ερεθίσματα (π.χ. «φαινομενική αδιαφορία στον πόνο ή στην θερμότητα», «επίμονο μύρισμα ή άγγιγμα αντικειμένων») (American Psychiatric Association, 2013). Έτσι βάσει αυτών των κριτηρίων, το επίπεδο βαρύτητας της ΔΑΦ μπορεί να είναι *Επιπέδου 3* –το οποίο απαιτεί μεγάλη υποστήριξη– και αφορά σοβαρά ελλείμματα στις γλωσσικές και μη-γλωσσικές κοινωνικές δεξιότητες, όπως, για παράδειγμα, στην περίπτωση ατόμων που χρησιμοποιούν ένα πολύ περιορισμένο και ακατάληπτο λεξιλόγιο και που κάνουν σπάνιες επαφές με άλλους ανθρώπους και όταν το κάνουν αυτό γίνεται με πολύ ασυνήθιστο τρόπο, παράλληλα εμφανίζοντας ακαμψία στην συμπεριφορά, μεγάλη δυσχέρεια ή και δυσφορία στην αλλαγή εστίασης στη δραστηριότητά τους. Ηπιότερα ελλείμματα κατατάσσουν την περίπτωση στο *Επίπεδο 1*, το οποίο απλά χρειάζεται κάποια υποστήριξη. Άτομα με ΔΑΦ επιπέδου 1 μπορεί να μπορούν να μιλούν με πλήρεις προτάσεις και να εμπλέκονται σε επικοινωνία με άλλους, αλλά γενικά εμφανίζουν δυσκολίες, ανωμαλίες ή αποτυχίες στις απόπειρές τους να κάνουν φίλους ή να διατηρήσουν μία συζήτηση (American Psychiatric Association, 2013). Στον τομέα της χρήσης των λέξεων, τα άτομα με ΔΑΦ, συχνά χρησιμοποιούν ιδιοσυγκρασιακές

εκφράσεις, όπως είναι η μη-τυπική χρήση μίας γνωστής λέξης ή φράσης για να αναφερθούν σε κάτι διαφορετικό από το κανονικό αντικείμενο της αναφοράς της. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιούν νεολογισμούς ή κατασκευασμένες από τα ίδια λέξεις, οι οποίοι δεν αποτελούν τμήμα του λεξιλογίου της γλωσσικής τους κοινότητας (Volkmar, 2012). Πολύ συχνά, η πραγματολογική όψη της γλώσσας είναι αυτή που είναι επηρεασμένη στη ΔΑΦ, όπως ή «υπερακριβής ή σχολαστική χρήση λέξεων για την περίσταση» ή η αντιστοίχιση μιας λέξης αντί με το όντως αναφερόμενό της αντικείμενο, με ένα στοιχείο του πλαισίου που ήταν παρόν όταν η λέξη πρωτοακούστηκε (Volkmar, 2012).

Η ΔΑΦ πολύ συχνά συγγέεται με την ΕΓΔ καθώς οι δύο διαταραχές μπορεί να εμφανίζουν παρόμοιου τύπου δυσχέρειες στην επικοινωνία ή αλληλεπικαλυπτόμενες και μάλιστα συμβαίνει το να λαμβάνουν διαφορετικές διαγνώσεις, ανάλογα με την ειδικότητα του διαγνώστη (π.χ. ψυχίατρος, λογο-θεραπευτής), άτομα που δεν αποτελούν «ξεκάθαρα» παραδείγματα της μίας ή της άλλης κατηγορίας (Botting & Conti-Ramsden, 2003). Πάντως, η ΕΓΔ, διαγιγνώσκεται βάσει αποκλεισμού, δηλαδή όταν υπάρχει διαταραχή στην γλωσσική ικανότητα όταν οι υπόλοιπες γνωστικές λειτουργίες είναι σε φυσιολογικά επίπεδα και επίσης απουσιάζουν άλλες, μείζονες, νευρολογικές ή σωματικές διαταραχές στις οποίες αυτή μπορεί να αποδοθεί, συμπεριλαμβανομένου του αυτισμού (Botting & Conti-Ramsden, 2003). Πιο συγκεκριμένα, τα παιδιά με ΕΓΔ δεν πάσχουν από αισθητηριακά ελλείμματα (όπως κώφωση ή ελλειμματική όραση), παρουσιάζουν μη-γλωσσικές γνωστικές ικανότητες σε επίπεδο συγκρίσιμο με αυτό των ΤΑ παιδιών ίδιας ηλικίας και επίσης παρουσιάζουν φυσιολογικά ανεπτυγμένο κίνητρο για κοινωνική αλληλεπίδραση, εκτός αν τέτοιες συμπεριφορές έχουν δευτερογενώς επηρεαστεί από την γλωσσική δυσκολία (Papakalodouka, 2014). Όπως αναφέρεται στο (Papakalodouka, 2014), στο μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων με αυτή την αρκετά συχνή διαταραχή (της τάξης του 7.4% σε παιδιά ηλικίας 5 ετών), γλωσσικές δυσχέρειες παραμένουν και μετά την παιδική ηλικία και συνεχίζονται και κατά την ενήλικη

ακόμα ζωή, παρ' όλα αυτά υπάρχει ένα ποσοστό 25% ατόμων που εμφανίζουν μόνο ήπια προβλήματα έκφρασης, τα οποία καταφέρνουν να ξεπεράσουν κατά την παιδική τους ηλικία. Αυτά τα παιδιά ανήκουν μάλλον στην υποομάδα της ΕΓΔ που εμφανίζουν απλά δυσκολίες ομιλίας, ενώ υπάρχει και μία δεύτερη ομάδα που εμφανίζει πιο εκτεταμένες δυσλειτουργίες στη γλώσσα που εκτείνονται από φωνολογικές διαταραχές και ελλείμματα στην γλωσσική κατανόηση έως και δυσχέρειες στην κοινωνική προσαρμογή που σχετίζονται συχνά με πραγματολογικές δυσκολίες, «όπως η ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων σε μία συζήτηση ή η κατανόηση της προοπτικής του άλλου και η κατανόηση του χιούμορ» (Papakalodouka, 2014). Γενικά, και σχετικά με την παιδική ηλικία κυρίως και όχι την μετέπειτα ανάπτυξη, η ΕΓΔ εμφανίζεται ως μία καθυστέρηση στην απόκτηση των πρώτων λέξεων. Στο (Leonard, 2014) αναφέρεται ότι αυτό το εύρημα, παρότι θεωρείται δεδομένο, διαθέτει μία μικρή βάση δεδομένων να το υποστηρίξει και πολλά από αυτά προέρχονται από πρώιμες έρευνες. Η ίδια πηγή παραθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα από τη σχετική βιβλιογραφία, όπως περιπτώσεις όπου οι πρώτες λέξεις αποκτήθηκαν από την ηλικία 1 έτους και 6 μηνών έως και την ηλικία των 5 ετών ή άλλες όπου στην ηλικία των 3 ετών, το παιδί δεν είχε ακόμα αποκτήσει λεξιλόγιο 50 λέξεων, ενώ μία σχετικά πρόσφατη έρευνα (Trauner, Wulfek, Tallal, & Hesselink, 2000, όπως αναφέρεται στο: Leonard, 2014) βρήκε την μέση ηλικία της απόκτησης των πρώτων λέξεων στους σχεδόν 23 μήνες, που αποτελεί μεγάλη διαφοροποίηση από τους λίγο παραπάνω από 10 μήνες που αναφέρθηκαν από τους γονείς για τα ΤΑ παιδιά της έρευνας.

Κατηγορική Ασυμμετρία και Ελλείμματα Γλωσσικής Απόκτησης

Σχετικά με την κατηγορική ασυμμετρία και τη σύγκριση μεταξύ των παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές με *τυπικώς αναπτυσσόμενα (ΤΑ) παιδιά (Typically Developing children, TD children)*, αυτή έχει βρεθεί σε έρευνες, παρότι λίγες αριθμητικά, να είναι σημαντικά αυξημένη στη ΔΑΦ. Για παράδειγμα η έρευνα περίπτωσης του Williams (1993)

έδειξε ότι το συγκεκριμένο παιδί στο φάσμα του αυτισμού, παρουσίαζε ένα λεξικό σχήμα στο οποίο κυριαρχούσαν οι αναφορικές λέξεις και βασικά τα ουσιαστικά και διάθετε επίσης λιγότερες λέξεις δράσης (ρήματα) από ότι τα ΤΑ παιδιά. Μία περισσότερο πρόσφατη έρευνα συσχετισμού συμπεριφορικών με νευροαπεικονιστικά δεδομένα σε παιδιά με ΔΑΦ, έδειξε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των ευρημάτων ελαττωμένης δραστηριότητας στον κινητικό φλοιό (κατώτερο-μετωπιαίο και προ-κινητικό φλοιό) κατά την ανάγνωση λέξεων που σχετίζονται με δράση (ένδειξη της αντανάκλασης στην ενεργοποίηση του κινητικού φλοιού των «σωματοτοπικών όψεων της σημασίας των λέξεων») και του αυξημένου χρόνου απόκρισης κατά την επεξεργασία τέτοιων λέξεων (Moseley et al., 2013). Μία άλλη έρευνα που εστιάστηκε στη επαρκή χρήση της γραμματικής μορφολογίας ουσιαστικών και ρημάτων σε δύο κατηγορίες παιδιών με ΔΑΦ, αυτή που παρουσίαζε συγκρίσιμη με τα ΤΑ παιδιά γλωσσική ανάπτυξη και αυτή που εμφάνιζε γλωσσικές δυσκολίες, έδειξε φυσιολογική επίδοση για τα ουσιαστικά αλλά επηρεασμένη ειδικά για τα ρήματα του ενεστώτα στο τρίτο πρόσωπο για τα παιδιά του 2^{ου} υποτύπου σε σύγκριση με τα ΤΑ παιδιά, αλλά όχι ουσιαστικές διαφορές με τα παιδιά με ΕΓΔ –αν και τα δεύτερα παρουσίαζαν κορυφαία επίδοση για τα ρήματα στον αόριστο (Tager-Flusberg, 2006).

Η κατάσταση για την ΕΓΔ δεν είναι αρκετά ξεκάθαρη και αυτό οφείλεται και στο ότι υπάρχουν σχετικά λίγες μελέτες που συγκρίνουν τον πληθυσμό αυτών των παιδιών με τα παιδιά με ΔΑΦ ή τα ΤΑ παιδιά. Υπάρχουν, παρ' όλα αυτά ισχυρές ενδείξεις για το ότι στα παιδιά με ΕΓΔ η μάθηση των ρημάτων είναι ιδιαίτερα επηρεασμένη. Για παράδειγμα οι Rice, Oetting, Marquis, Bode και Pae (1994) βρήκαν ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην ανάκληση των καινούργιων ρημάτων από τα παιδιά αυτά σε σχέση με ΤΑ παιδιά ειδικά στη συνθήκη του πειράματός τους που αφορούσε τον έλεγχο κατανόησης, κάποιες ημέρες μετά την έκθεση. Αυτή η δυσκολία για τα παιδιά με ΕΓΔ αποδόθηκε τόσο στην επίδραση της συχνότητας (κατανομής των λέξεων) στην εισροή όσο και στην δυσχέρεια

των παιδιών αυτών στην μνημονική συγκράτηση. Οι (Windfuhr, Faragher, & Conti-Ramsden, 2002) κράτησαν εξισορροπημένες τις κατανομές και βρήκαν επίσης επηρεασμένα τόσο την παραγωγή καινούργιων ρημάτων σε σχέση με τα ΤΑ παιδιά, όσο και γενικά τον ρυθμό μάθησης των καινούργιων ρημάτων, καθώς τα παιδιά στην πρώτη ομάδα χρειάστηκαν διπλάσιο αριθμό εκθέσεων στα πειράματά για να καταφέρουν να μάθουν αλλά και να παράγουν καινούργια ρήματα, αυθόρμητα. Στατιστικώς σημαντικούς περιορισμούς στην χρήση των ρημάτων (σε σύγκριση με τα ουσιαστικά) από παιδιά με ΕΓΔ, που υπερβαίνει τη γενική τους δυσκολία στην γλωσσική απόκτηση, βρήκαν και οι Black και Chiat (2003), παρότι καταλήγουν ότι δεν βρέθηκε ένα μοναδικό σχήμα επίδρασης (από σημασιολογικούς ή φωνολογικούς παράγοντες). Μία όχι ενιαία εικόνα βρήκαν για τα παιδιά με ΕΓΔ και οι Watkins, Rice και Moltz (1993) οι οποίοι αναφέρουν ένα ρεπερτόριο ρημάτων με μικρότερη ποικιλία απ' ότι τα ΤΑ αναπτυσσόμενα παιδιά ίδιας ηλικίας ή παρόμοιας γλωσσικής ανάπτυξης παρότι τα σύνολο των υψηλής συχνότητας ρημάτων ήταν παρόμοιο με αυτά. Τέλος, χαρακτηριστικές δυσκολίες με τα ρήματα σε παιδιά με ΕΓΔ παρότι όχι ενιαία εικόνα για όλους τους υποτύπους διαταραχών αναφέρει και η Marshall (2003). Όσον αφορά τώρα στη σύγκριση μεταξύ παιδιών με ΔΑΦ και ΕΓΔ, οι (Ellis Weismer et al., 2011) δεν βρήκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ παιδιών με ΔΑΦ και παιδιών με καθυστέρηση ομιλίας όσον αφορά τις αναλογίες των σημασιολογικών κατηγοριών λέξεων (συνεπώς και των λέξεων που σχετίζονται με δράση) όταν το μέγεθος του λεξιλογίου ανάμεσα στις δύο ομάδες ήταν εξισορροπημένο. Οι Ziatas, Durkin και Pratt (1998) αντιθέτως, βρήκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε παιδιά με ΔΑΦ και παιδιά με ΕΓΔ στη χρήση ρημάτων που περιγράφουν γνωσιακές καταστάσεις, δηλαδή στη χρήση των λεγόμενων *όρων πεποίθησης* (*belief terms*) όπως οι: *σκέπτομαι, γνωρίζω, μαντεύω*. Δηλαδή, τα παιδιά με ΕΓΔ δεν είχαν διαφορές σε σχέση με ΤΑ παιδιά στην κατανόηση και έκφραση όρων πεποίθησης, ενώ είχαν διαφορές με τα παιδιά με ΔΑΦ, γεγονός που αποκαλύπτει σημαντικές ποιοτικές

διαφορές στις ικανότητες σημασιολογικής και πραγματολογικής διάκρισης και τη μεγαλύτερη δυσχέρεια στην ανάπτυξη της *θεωρίας του νου* στα παιδιά με ΔΑΦ. Η σχετική κατάσταση σε σχέση με τα ρήματα τέτοιου τύπου περιπλέκεται από διάφορα αντικρουόμενα ερευνητικά αποτελέσματα καθώς (και σε αντίθεση με την παραπάνω έρευνα) η μελέτη της αλληλεπίδρασης μητέρας-παιδιού από τις Lee και Rescorla (2002) σε παιδιά με καθυστέρηση ομιλίας και σε παιδιά ΤΑ, έδειξε ότι τα πρώτα χρησιμοποιούσαν λιγότερα ρήματα που αναφέρονταν σε ψυχολογικές καταστάσεις από τα δεύτερα. Ο Spanoudes (2004) επίσης στην έρευνα της διδακτορικής του διατριβής βρήκε ότι τα παιδιά με ΕΓΔ υστερούσαν σε σημαντικό βαθμό από τα ΤΑ παιδιά στην κατανόηση και παραγωγή «νοητικών ρημάτων».

Συσχετιστική Λεξική Μάθηση

Στο πλαίσιο της ΔΑΦ, έχει θεωρηθεί από κάποιους ερευνητές ότι τα παιδιά με ΔΑΦ όχι μόνο έχουν δυστοκία στην αντίληψη/έλεγχο των προθέσεων των ομιλητών και στη χρήση πραγματολογικών ενδείξεων για να αντιστοιχούν λέξεις σε αντικείμενα, αλλά έχουν έναν ολωσδιόλου διαφορετικό μηχανισμό γλωσσικής μάθησης. Η συνήθης πρόταση είναι ότι αυτή βασίζεται κυρίως στην μιμητική ή στη συσχετιστική μάθηση (Luyster & Lord, 2009) και τα παιδιά με ΔΑΦ επιτυγχάνουν πιο αποτελεσματικές αντιστοιχίσεις λέξεων με αντικείμενα όταν, για παράδειγμα, ο γονέας ακολουθεί την προσοχή του παιδιού και δίνει μία νέα ετικέτα στο τυχόν νέο αντικείμενο αφαιρώντας από το παιδί το «φορτίο» της απόφασης για την αντιστοίχιση (McDuffie, Yoder, & Stone, 2006; Preissler & Carey, 2005). Σε αυτές τις περιπτώσεις, είτε ακολουθείται είτε όχι μία εγγενής περιοριστική αρχή –όπως του αμοιβαίου αποκλεισμού– η μεγαλύτερη πιθανότητα που έχουν τα παιδιά με ΔΑΦ να κάνουν σωστές αντιστοιχίσεις όταν η διαδοχή των συμβάντων είναι τέτοιου τύπου, είναι συμβατή με την ύπαρξη μίας συσχετιστικής υποδομής η οποία «υποστηρίζει ή καθοδηγεί την αντιστοίχιση» (Preissler & Carey, 2005).

Διαμοιραζόμενη Προσοχή

Η διαμοιραζόμενη προσοχή εμπλέκεται στις διαταραχές οι οποίες παρουσιάζουν ποικίλης έκτασης καθυστέρηση στην γλωσσική ανάπτυξη ή ακόμα και ποιοτικές παρεκκλίσεις, όπως είναι η ΔΑΦ και η ΕΓΔ. Στη βιβλιογραφία της ΔΑΦ έχει σαφώς συνδεθεί η δυσχέρεια στη διαμοιραζόμενη προσοχή με τις γλωσσικές αδυναμίες, και έτσι, για παράδειγμα, έχειδειχτεί ότι τα παιδιά με ΔΑΦ στηρίζονται, για την αντιστοίχιση καινούργιων λέξεων σε καινούργια αντικείμενα, στη στρατηγική της *κατεύθυνσης του βλέμματος του ακροατή (Listener's Direction of Gaze, LDG)*, δηλ. εστιάζονται σε αυτό που τα ίδια πρόσεχαν, υιοθετώντας ένα εγωκεντρικό πλαίσιο αναφοράς και έτσι οδηγούνται σε σφάλματα αντιστοίχισης (Baron-Cohen et al., 1997). Αντ' αυτού τα ΤΑ νήπια, ακόμη και τα παιδιά με νοητική υστέρηση (χωρίς ΔΑΦ), ακολουθούν κυρίως τη στρατηγική της *κατεύθυνσης του βλέμματος του ομιλητή (SDG)* και έτσι οδηγούνται σε ορθές αντιστοιχίσεις. Σημειώνεται ότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρακολούθηση του βλέμματος αποτελεί μία από τις όψεις της διαμοιραζόμενης προσοχής (Baron-Cohen et al., 1997).

Αναφορικά στην ΔΑΦ οι Loveland και Landry (1986) στην έρευνά τους βρήκαν ότι τα παιδιά με ΔΑΦ παρουσιάζουν πράγματι ελλείμματα στην ικανότητά τους για διαμοιραζόμενη προσοχή (όπως αυτή αξιολογείται από τον αριθμό των επεισοδίων αυθόρμητης έναρξης), στοιχείο που συμβαδίζει με την υπόθεσή τους ότι «οι διαταραχές που σχετίζονται με την γλώσσα σχετίζονται αναπτυξιακά με την αποτυχία στους μηχανισμούς διαμοιραζόμενης προσοχής κατά τη διάρκεια της νηπιακής ηλικίας και την πρώιμης παιδικής ηλικίας». Παρ' όλα αυτά, οι διαταραχές της διαμοιραζόμενης προσοχής μπορεί να είναι έκδηλες ακόμα και στις περιπτώσεις όπου η γλώσσα δεν είναι ελλιπής στη ΔΑΦ. Αντιθέτως, στην ΕΓΔ οι Loveland και Landry (1986) βρήκαν ότι ακόμα και σε καθυστερημένη γλωσσική ανάπτυξη οι ικανότητες διαμοιραζόμενης προσοχής δεν είναι επηρεασμένες. Ειδικά για την ΔΑΦ, οι Dawson και συν. (2004) αναφέρουν ότι έχειδειχτεί πως η

διαμοιραζόμενη προσοχή αποτελεί το πλέον ευαίσθητο μέτρο διάκρισης ανάμεσα στα ΓΑ παιδιά και στα παιδιά που ανήκουν στην ΔΑΦ και ακόμα βρήκαν ότι ήταν «το καλύτερο μέτρο πρόβλεψης για την σύγχρονη γλωσσική ικανότητα».

Σίγουρα η εμπλοκή της διαμοιραζόμενης προσοχής στην γλωσσική ανάπτυξη είναι σαφώς πιο ξεκάθαρη στην ΔΑΦ παρά στην ΕΓΔ, παρ' όλα αυτά οι κοινωνικού τύπου δεξιότητες στα παιδιά της δεύτερης κατηγορίας –οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με τη διαμοιραζόμενη προσοχή– αναφέρεται πολύ συχνά ότι βρίσκονται επηρεασμένες στη σχετική ερευνητική βιβλιογραφία. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των κοινωνικών πραγματολογικού τύπου δεξιοτήτων με τις γλωσσικές ικανότητες στα παιδιά με ΕΓΔ στο (Marton, Abramoff, & Rosenzweig, 2005), όπου βρέθηκε ότι τα δύο προβλήματα δεν συσχετίζονται αιτιακά αλλά συνεμφανίζονται. Η Papakalodouka (2014) κάνει μία εκτενή ανασκόπηση των ποιοτικών –κατά κύριο λόγο– διαφορών στις κοινωνικές πραγματολογικές δεξιότητες των παιδιών με ΕΓΔ σε σχέση με τα ΓΑ παιδιά και εκθέτει την άποψη που υποστηρίζει ότι αυτές οι δυσλειτουργίες είναι δευτερογενή επακόλουθα των γλωσσικών δυσκολιών, οι οποίες επηρεάζουν τόσο πολύ τις άλλες πλευρές της ανάπτυξης ώστε τα παιδιά αυτά να παρουσιάζουν, για παράδειγμα, συμπεριφορές αποφυγής και απόσυρσης. Η γενική εικόνα που αναπτύσσεται, δείχνει ότι οι δύο τομείς ανάπτυξης πιθανώς τελικά να αλληλοεπηρεάζονται διαρκώς και να παρέχουν ο ένας στον άλλον αρνητική ανάδραση. Σε συνέχεια της προηγούμενης μελέτης, πιο πρόσφατες δουλειές προτείνουν ότι, τουλάχιστον μερικά, τα προβλήματα γλώσσας στην ΕΓΔ μπορεί να εξηγούνται από τα παρατηρούμενα ελλείμματα στη διαμοιραζόμενη προσοχή (Papakalodouka & Papaeliou, 2016).

Μοντελοποίηση – Πειράματα

Σχετικά Μοντέλα

Έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες να δημιουργηθούν μοντέλα ποικίλων τύπων για την λεξική μάθηση, τα οποία να ενσωματώνουν στοιχεία της κοινωνικής αλληλεπίδρασης του παιδιού και ειδικά τα στοιχεία που ενδιαφέρουν την παρούσα έρευνα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το στατιστικό-υπολογιστικό μοντέλο των Yu και Ballard (2007), στο οποίο οι ερευνητές ανέμιξαν πάνω σε ένα υπόβαθρο μηχανισμού μάθησης μέσω *δια-περιστασιακών* παρατηρήσεων (το οποίο είναι και το πιο «κλασικό» τμήμα του μοντέλου –αυτό της στατιστικής μάθησης) τις ικανότητες του γνωσιακού μηχανισμού του παιδιού που εκμεταλλεύονται κοινωνικές ενδείξεις από το άμεσο περιβάλλον, όπως τις τάσεις για εμπλοκή σε διαμοιραζόμενη προσοχή και την προσωδία της μητρικής ομιλίας.

Υποστηρίζοντας την κοινωνική-πραγματολογική θέση, οι ερευνητές ουσιαστικά προτείνουν ότι οι στατιστικές και κοινωνικές ενδείξεις μπορούν να συνεργαστούν αλληλοδιαπλεκόμενες διευκολύνοντας την πρώιμη λεξική μάθηση και προφανώς από αυτή τη θέση προέρχεται και ο όρος «ενοποιημένο μοντέλο». Στη δουλειά τους εστιάστηκαν στο τμήμα του κεντρικού προβλήματος της λεξικής μάθησης, το οποίο αναφέρεται στην αντιστοίχιση λέξεων στα αναφερόμενα αντικείμενα και θεώρησαν ότι ο προσομοιωμένος μαθητής της γλώσσας ήταν ήδη ικανός να κατατέμνει την ροή του λόγου σε μεμονωμένες λέξεις και επίσης να αναπαριστά στο νοητικό επίπεδο τα ξεχωριστά αντικείμενα που εισέρχονται από το περιβάλλον μέσω της οπτικής οδού. Έτσι χρησιμοποίησαν τμήματα βιντεοσκοπημένων αλληλεπιδράσεων μητέρας-παιδιού από μία εξειδικευμένη βάση δεδομένων, στα οποία η μητέρα γνώριζε στο παιδί διάφορα παιχνίδια, το ένα μετά το άλλο και από τις οποίες βιντεοσκοπήσεις τροφοδότησαν στο μοντέλο τις δικές τους περιγραφές με τις λίστες των παιχνιδιών όταν ακούγονταν οι αντίστοιχες λέξεις. Πράγματι, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεών τους δείχνουν ότι το ενοποιημένο τους σύστημα είχε σημαντικά καλύτερη

απόδοση από την απλή συσχετιστική μάθηση μόνη της. Σημειώνεται ότι προσεγγίσεις παρόμοιου τύπου ανήκουν στο πεδίο των ονομαζόμενων *ρεαλιστικών* εξηγητικών πλαισίων για την γλωσσική ανάπτυξη, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψη τους ούτε τις δεξιότητες τύπου *θεωρίας του νου*, ούτε κάποια πρότερη γνώση των χαρακτηριστικών της γλώσσας η οποία υποβάλλεται σε μάθηση.

Σε παρόμοιο σκεπτικό και στο ίδιο πεδίο όπως το παραπάνω μοντέλο κινήθηκε και η δουλειά των Frank και συν. (2009). Και στην περίπτωση αυτή οι ερευνητές επεδίωξαν να προσομοιώσουν επιτυχώς τη μάθηση της σημασίας των μεμονωμένων λέξεων και ταυτόχρονα τον συμπερασμό για τις επικοινωνιακές προθέσεις των ομιλητών και ουσιαστικά να επιλύσουν το πρόβλημα της «κότας και του αυγού» για την πρόιμη απόκτηση του λεξιλογίου από τα παιδιά². Το *προθετικό τους μοντέλο*, είναι μία υπολογιστική δομή από μεταβλητές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα τμήματα του έργου της λεξικής μάθησης (Λεξικό, Αντικείμενα, Αναφορική Προθετικότητα, Λέξεις, Συμβάντα/Καταστάσεις), οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους από ένα σύνολο πιθανοκρατικών εξαρτήσεων μπαϊεσιανού (bayesian) τύπου, οι οποίες με τη σειρά τους αντιστοιχούν στις υποθέσεις των ερευνητών για το έργο. Το μοντέλο αυτό, επίσης ενοποιεί δια-περιστασιακές στατιστικές προσεγγίσεις με αυτές που σχετίζονται με τις προθέσεις των ομιλητών στη διαδικασία της λεξικής μάθησης και όπως λένε οι ερευνητές, το μοντέλο τους διαφέρει από προηγούμενα στο ότι εστιάζεται τόσο στην μάθηση του λεξιλογίου όσο και σε συμπεριφορές οι οποίες παράγονται από τα νήπια κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όπως: στην μάθηση με την μία δοκιμή, στην στρατηγική του αμοιβαίου αποκλεισμού των αναφερομένων, στον ρόλο των λέξεων στην ατομικοποίηση των αντικειμένων και στην χρήση των προθέσεων, που το παιδί συνάγει για τον ομιλητή, στο να επιλύει τις αμφισημίες σχετικά με τα αναφερόμενα. Τελικά τα

² [Σχετική παράθεση](#) υπάρχει στην εισαγωγή του παρόντος κειμένου.

αποτελέσματα δείχνουν ότι το συγκεκριμένο μοντέλο καταφέρνει να υπερισχύσει σε απόδοση τόσο διάφορα μοντέλα λεξικής μάθησης δια-περιστασιακής προσέγγισης όσο και συνδυαστικά μοντέλα όπως το (Yu & Ballard, 2007) που ήδη αναφέρθηκε και αυτό και στις δύο όψεις την διαδικασίας της απόκτησης του λεξιλογίου.

Πιο πρόσφατα προτάθηκε ένα αρκετά περιεκτικό συνδεδεστικό μοντέλο, αρχικά ανεπτυγμένο από τον Gregory Caza (2009) εστιασμένο στην *κοινωνική-πραγματολογική προσέγγιση στην λεξική μάθηση* (Tomasello, 2000) το οποίο έχει το ιδιαίτερο γνώρισμα της υλοποίησης ενός μηχανισμού «πραγματολογικού» bootstrapping ανάμεσα στα δύο κύρια υποσυστήματά του (Caza & Knott, 2012; Knott, 2014). Το ένα υποδίκτυο μαθαίνει να αναγνωρίζει ευνοϊκές ευκαιρίες μάθησης, δηλαδή επικοινωνιακά συμβάντα στα οποία υπάρχουν αξιόπιστες/ορθές αντιστοιχίσεις λέξεων με έννοιες. Το δεύτερο υποδίκτυο μαθαίνει να αντιστοιχεί τις λέξεις με τις αντιλαμβανόμενες (εννοείται από την γνωσιακή συσκευή του παιδιού) έννοιες. Στο μοντέλο εφαρμόζεται η διαίσθηση του ότι παρόλο που η απλή συνεμφάνιση των ηχητικών μορφών των λέξεων και των αντικειμένων ή δράσεων είναι συνήθως σε μη-εργαστηριακές περιστάσεις πολύ θορυβώδης ώστε να μπορεί να επιτρέψει μία διαδικασία επιτυχούς μάθησης, η αξιοπιστία των συνεμφανίσεων³ απέχει κατά πολύ από το να ακολουθεί μία ομοιόμορφη κατανομή κατά την πορεία του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα, εντός του κοινωνικού-πραγματολογικού πλαισίου ανάπτυξης, οι συνεμφανίσεις είναι πιθανότερο να είναι περισσότερο αξιόπιστες όταν σε ένα συμβάν είναι δυνατόν να αναγνωριστεί από το παιδί μία επικοινωνιακή πρόθεση. Όμως, στο μοντέλο αυτό τα συμβάντα δεν είναι εκ των προτέρων χαρακτηρισμένα ως ευνοϊκά για λεξική μάθηση ή μη-ευνοϊκά. Αντ' αυτού, η αξιοπιστία της ίδιας της διαδικασίας της μάθησης χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει το δίκτυο ώστε να ταυτοποιεί τους κατάλληλους τύπους συμβάντων:

³ Αξιοπιστία: ορθότητα των αντιστοιχίσεων λέξεων με έννοιες

καθόσον το σύστημα βαθμιαία μαθαίνει ότι συγκεκριμένες κατηγορίες συμβάντων, δηλαδή τα *επικοινωνιακά ενεργήματα*⁴ της μητέρας αποτελούν ευνοϊκές ευκαιρίες για μάθηση ορθών αντιστοιχίσεων, αυτές οι προθέσεις επικοινωνίας αναγνωρίζονται με αυξανόμενο ρυθμό.

Έτσι εμφανίζεται στην λειτουργία του συστήματος ένας αμοιβαία ευεργετικός και ενισχυτικός κύκλος αλληλεπιδράσεων και κατ' αυτό τον τρόπο η ανάπτυξη της διαμοιραζόμενης προσοχής κάνει εφικτή την αποτελεσματική λεξική μάθηση και ουσιαστικά βρίσκεται στο υπόβαθρό της. Εν ολίγοις, αυτός είναι και ο τρόπος με τον οποίο το μοντέλο αυτό υλοποιεί την κεντρική υπόθεση του Tomasello ότι οι πραγματολογικές δεξιότητες βρίσκονται στη βάση της γλωσσικής επικοινωνίας και της λεξικής μάθησης (Tomasello, 2009).

Σκοπός - Υποθέσεις

Ο διαχωρισμός ανάμεσα σε *λέξεις αντικειμένων* και *λέξεις δράσεων* στο μοντέλο των Caza και Knott (2012) το καθιστά κατάλληλο για τη διερεύνηση της διαφορικής μάθησης ουσιαστικών και ρημάτων. Διευκρινίζεται εδώ ότι οι Caza και Knott δεν εξέτασαν στα πειράματά τους αυτή η πτυχή της λεξικής ανάπτυξης, καθώς εστιάστηκαν κυρίως στα φαινόμενα που σχετίζονται με τον αυτοενισχυόμενο βρόχο ανάδρασης και το πραγματολογικό bootstrapping. Στην παρούσα μελέτη, της οποίας ένα μεγάλο μέρος έγινε στα πλαίσια και υπό την σκέπη του διαπανεπιστημιακού ερευνητικού έργου BabyAffect⁵,

⁴ Επικοινωνιακό Ενεργημα: εκδήλωση πρόθεσης της μητέρας για διαμοιραζόμενη προσοχή. Στο μοντέλο ο συνδυασμός «Μητέρα-Μιλάει»

⁵ Με βασική επιστημονική υπόθεση ότι το εξω-λεξικό και γενικώς εξω-γλωσσικό τμήμα της ροής της επικοινωνίας μεταξύ παιδιού και φροντιστή (συνηθέστερα γονέα) είναι μία βασική πηγή πληροφορίας που επαυξάνει σημαντικά την διαδικασία της πρώιμης λεξικής απόκτησης, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. (διαδικτυακή διεύθυνση έργου: <https://sites.google.com/site/babyaffectproject/>)

μας ενδιέφερε η μελέτη των επιδράσεων της επηρεασμένης ικανότητας διαμοιραζόμενης προσοχής (στις αναπτυξιακές γλωσσικές διαταραχές, ΔΑΦ και ΕΓΔ) στην κατηγορική ασυμμετρία ουσιαστικών-ρημάτων.

Η βασική ερευνητική υπόθεση που εξέτασαν τα πειράματα/προσομοιώσεις που διενεργήθηκαν είναι ότι η ελάττωση στην αξιοπιστία της επικοινωνίας με τη μητέρα θα μεγεθύνει την ασυμμετρία ουσιαστικών-ρημάτων, προσεγγίζοντας ένα προφίλ γλωσσικής ανάπτυξης που μοιάζει σε αυτά τα σημεία με το προφίλ της ΔΑΦ αντί απλά να καθυστερεί την λεξική απόκτηση, το οποίο θα ήταν ένα αποτέλεσμα που πλησιάζει περισσότερο στο προφίλ της ΕΓΔ.

Δεδομένων δε, των ανάμικτων συμπερασμάτων που μπορεί να εξάγει κάποιος από τα αποτελέσματα της επίδρασης της ΕΓΔ στην κατηγορική ασυμμετρία (πάντοτε σε σύγκριση με τα παιδιά με ΔΑΦ και τα ΤΑ παιδιά) μπορεί να θεωρηθεί ότι το προφίλ που πιθανώς σχετίζεται με την ΕΓΔ βρίσκεται σε κάποιο ενδιάμεσο επίπεδο ανάμεσα στα προφίλ ΤΑ και ΔΑΦ και για τις δύο αναλυόμενες στα πειράματα πτυχές της λεξικής μάθησης (από γραμματολογικής απόψεως): την αντιστοίχιση των λέξεων με κατάλληλες έννοιες και την ασυμμετρία στη μάθηση των λεξικών κατηγοριών.

Σχετικά με το εύρος της αξιοπιστίας των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων που οδηγεί και τις επιλογές μας για την αναλογία αξιόπιστων προς μη-αξιόπιστες εκφορές μέσα σε όλη την επικοινωνιακή ροή της μητέρας προς το παιδί (ή αυτή στην οποία το παιδί μπορεί εν δυνάμει να συμμετέχει με την προσοχή του) η βιβλιογραφία δεν είναι ιδιαίτερα σαφής, ώστε να μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια ένα βασικό προφίλ αξιοπιστίας, που θα αφορά στις τυπικές περιπτώσεις (ή αλλιώς αυτές που αντιστοιχούν με ΤΑ παιδιά). Έτσι, οι Caza και Knott (2012), αναφέροντας άλλες πηγές, τοποθετούν το ποσοστό των εκφορών της μητέρας που συμβαίνουν εντός επεισοδίων διαμοιραζόμενης προσοχής στο 66% ως και λίγο κάτω από το 50% –αν μπορεί με τον ίδιο τρόπο να ερμηνευτεί η διατύπωση για το ποσοστό των

«αναφερόμενων από την μητέρα που αντιστοιχούν στην τρέχουσα εστία προσοχής του παιδιού». Ο Tomasello (1995) κάνει σαφές ότι η αναλογία των επεισοδίων διαμοιραζόμενης προσοχής εντός της συνολικής αλληλεπίδρασης παιδιού-μητέρας αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου καθώς το παιδί ηλικίας 2 ετών είναι πιο ικανό (και πιθανό) να εναγκαλιστεί σε τέτοια επεισόδια απ' ό,τι ένα παιδί 9 μηνών οπότε και τα βρέφη αρχίζουν να «ακολουθούν και να κατευθύνουν την προσοχή και τη συμπεριφορά άλλων ανθρώπων». Οι Harris, Jones, Brookes και Grant (1986) αναφέρουν στα επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής που ξεκινούν οι μητέρες με τα παιδιά, το 74% των εκφορών της μητέρας αφορά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται υπό την προσοχή του παιδιού, ενώ από τα επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής, τα 2/3 τα ξεκινούν τα ίδια τα παιδιά και μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι αφορούν κατά βάση οντότητες που βρίσκονται στην εστία προσοχής του. Τέλος οι Morales και συν. (2000) εκτός ότι αναφέρουν ότι το μέγεθος του λεξιλογίου είναι σημαντικά μεγαλύτερο για τα παιδιά στα οποία οι γονείς τους κατευθύνουν τις προθέσεις διαμοιραζόμενης προσοχής προς τις οντότητες τις οποίες έχει υπό την προσοχή του το παιδί, δείχνουν με τα αποτελέσματα της έρευνάς τους ότι τα παιδιά στα 2 πρώτα χρόνια ζωής τους, μεγαλώνοντας αυξάνουν συνεχώς τις δεξιότητες διαμοιραζόμενης προσοχής και κυρίως αυτό που ονομάζεται *responding to joint attention (RJA)* –ανταπόκριση στη διαμοιραζόμενη προσοχή– και η οποία αυξάνεται από μία μέση τιμή 0.19 στην ηλικία των 8 μηνών σε 0.88 στην ηλικία των 24 μηνών. Η RJA θεωρείται ότι συνιστά έναν αξιόπιστο δείκτη του προβλεπόμενου μεγέθους του λεξιλογίου και της σχετικής ικανότητας λεξικής απόκτησης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέχθηκαν δύο συνθήκες που αντιστοιχούν στο ποσοστό των αξιόπιστων μητρικών εκφορών εντός του συνόλου των εκφορών της μητέρας: μία με ποσοστό 50% και μία με 62.5% και διάρθρωση των σχετικών εισροών αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια παρακάτω.

Μέθοδος

Πλατφόρμα Μοντελοποίησης. Η εκδοχή του μοντέλου που χρησιμοποιείται στα πειράματα της παρούσας μελέτης αναπτύχθηκε στην πλατφόρμα προσομοίωσης νευρωνικών δικτύων, Emergent⁶ (Aisa, Mingus, & O'Reilly, 2008) του πανεπιστημίου του Colorado με την χρήση του αλγόριθμου Leabra (*Local, Error-driven and Associative, Biologically Realistic Algorithm*) για την εκπαίδευση των βαρών των συνδέσεων του δικτύου⁷. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι περισσότερο εύλογος βιολογικά απ' ότι κάποιος –περισσότερο κλασικός– αλγόριθμος οπισθοδιάδοσης του σφάλματος (O'Reilly & Munakata, 2000) παρότι στον συνολικό μηχανισμό του Leabra υπάρχει και ένα τμήμα που έχει τέτοια χαρακτηριστικά.

Πολύ συνοπτικά μπορούν να αναφερθούν εδώ κάποια βασικά στοιχεία της πολύπλοκης δομής του Leabra για την έκδοση της πλατφόρμας που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα (οι εκδόσεις του Emergent από την 8.0 και μετά ενσωματώνουν μία πιο απλοποιημένη εκδοχή του αλγόριθμου). Ο Leabra υλοποιεί στη λειτουργία του μία ισορροπία μεταξύ της συσχετιστικής –*χεμπιανής*– μάθησης (*Hebbian*) και της *καθοδηγούμενης από το σφάλμα* μάθησης (*error-driven*). Η συνάρτηση ενεργοποίησης αφορά *σημειακούς νευρώνες* (*point-neurons*), παρότι βιολογικά βασισμένους, οι οποίοι εκτός από τις διεγερτικές εισόδους δέχονται και ανταγωνιστικά ανασταλτικά δυναμικά τα οποία προσομοιώνουν αυτά που παράγονται από τους ανασταλτικούς ενδιάμεσους νευρώνες. Οι δυναμική της ενεργοποίησης των νευρώνων που υιοθετεί ο Leabra, βασίζεται σε τυπικές ηλεκτροφυσιολογικές αρχές των πραγματικών βιολογικών νευρώνων, και έτσι, για παράδειγμα, υπολογίζεται ένα μεμβρανικό

⁶ Έκδοση του Emergent που χρησιμοποιήθηκε: 7.0.1 (7745) 64bit για λειτουργικά MS Windows.

⁷ Σημειώνεται ότι το αρχικό μοντέλο των Caza και Knott (2012; Knott, 2014) ήταν αναπτυγμένο με την γλώσσα προγραμματισμού Java, ενώ η παρούσα υλοποίηση έγινε εξ' ολοκλήρου με την χρήση των περιγραφών που υπάρχουν στα άρθρα.

δυναμικό μέσω μίας συνάρτησης που δέχεται (ανάμεσα στα άλλα) στην είσοδό της, το άθροισμα των ρευμάτων των μεμονωμένων ιονικών καναλιών: διεγερτικών, ανασταλτικών ή διαφυγής καθώς και μία μεταβλητή θορύβου. Υπάρχουν επίσης μηχανισμοί προσομοίωσης της *βραχύχρονης πλαστικότητας (short-term plasticity)* που παράγουν συναπτική ενδυνάμωση και καταστολή.

Η συναπτική διέγερση που δέχεται ο τεχνητός νευρώνας υπολογίζεται σε κάθε κύκλο ως η μέση τιμή (και όχι το άθροισμα) των διεγέρσεων που παρέχονται από τις προσαγωγές συνδέσεις με άλλους νευρώνες. Εκτός από την διέγερση, υπολογίζεται και η αναστολή, το μεμβρανικό δυναμικό και τελικά η *ενεργοποίηση (activation)* του νευρώνα. Κάθε *δοκιμασία (trial)* της μάθησης αποτελείται από την επανάληψη δύο φάσεων, την *minus* και την *plus* που με τη σειρά τους αποτελούνται από 50-75 κύκλους η πρώτη, κατά τη διάρκεια της οποίας δεν λαμβάνονται υπόψη τιμές στόχοι (προσδοκώμενες τιμές) στις εξόδους και από 25 κύκλους η δεύτερη, κατά τη διάρκεια της οποίας είναι παρόντα τα ποικίλα σήματα εκπαίδευσης. Η είσοδος και η έξοδος (επίπεδο ενεργοποίησης) υπολογίζονται στο τέλος κάθε κύκλου. Στο τέλος κάθε φάσης υπολογίζεται το τελικό επίπεδο ενεργοποίησης. Στο τέλος και των δύο φάσεων ανανεώνονται και οι τιμές των βαρών σύνδεσης αφού πρώτα υπολογιστούν ξεχωριστά οι αλλαγές των βαρών που προέρχονται από την χεμπιανή συνιστώσα και από τη συνιστώσα που αφορά την καθοδήγηση από το σφάλμα (σύμφωνα με την διαφορά ανάμεσα στο υπολογιζόμενο επίπεδο ενεργοποίησης και στο προβλεπόμενο). Το ζυγισμένο άθροισμα των δύο συνιστωσών είναι η τελική αλλαγή των βαρών σύμφωνα με την οποία αυτά ανανεώνονται.

Βασισμένες στη γενική μορφή του αλγόριθμου υπάρχουν διάφορες εξειδικεύσεις για να υλοποιούνται εξειδικευμένοι νευρωνικοί μηχανισμοί εγκεφαλικών περιοχών όπως τα βασικά γάγγλια, το σύστημα ντοπαμίνης, ο προμετωπιαίος λοβός, ο ιππόκαμπος κ.ά. Γενικά η πλατφόρμα Emergent στοχεύει στη δημιουργία και ανάλυση (για την οποία παρέχει

ενσωματωμένα εργαλεία) πολύπλοκων μοντέλων του εγκεφάλου σε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον (εμπεριέχει τη δυνατότητα χρήσης ενός βιοφυσικά ρεαλιστικού χεριού καθώς και ρεαλιστικής ενσώματης, δυναμικής όρασης). Παρ' όλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πιο αφαιρετικά, συνδεδιστικά, μοντέλα των νοητικών διεργασιών, ακριβώς όπως χρησιμοποιείται και στην παρούσα έρευνα. Το Emergent είναι γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού C++, έχει γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μέσα από την γραμμή εντολών αποκλειστικά. Αυτό όμως που προσθέτει πολύ στην ισχύ του ως πλατφόρμα προσομοιώσεων είναι η δυνατότητα της χρήσης μίας γλώσσας scripting βασισμένη στην C++ η οποία προσφέρει πλήρη πρόσβαση στα αντικείμενα των μοντέλων και των προγραμμάτων που ορίζει/φτιάχνει ο χρήστης (αλλά και της ίδιας της πλατφόρμας), στις μεταβλητές τους και στις μεθόδους τους. Ο κώδικας της γλώσσας αυτής γραμμένος από τον χρήστη (πάλι με τη δυνατότητα βοήθειας έτοιμων κατασκευαστικών δομών/αρθρωμάτων, εάν αυτή η μέθοδος είναι επιθυμητή, για τις διάφορες παρεχόμενες συναρτήσεις) τροφοδοτείται ως απλό κείμενο στην εφαρμογή και εκτελείται σε πραγματικό χρόνο από το περιβάλλον (*runtime environment*) όταν τρέχει το κάθε πρόγραμμα. Χρησιμεύει δε, για την πρόσβαση σε κάθε πτυχή της προσομοίωσης: τον αυτοματοποιημένο έλεγχο της εκτέλεσης, τον προγραμματισμό και την εκτέλεση υποπρογραμμάτων ανάλογα με τις ανάγκες της προσομοίωσης και την πιθανή κάλυψη διαφόρων προϋποθέσεων/κριτηρίων, την δημιουργία προγραμμάτων δυναμικής παροχής ερεθισμάτων (για συμπεριφορικά πειράματα), ανάλυσης δεδομένων, στατιστικής επεξεργασίας τους κ.λπ. Η πλατφόρμα ως προγραμματιστικό περιβάλλον προσομοιώσεων νευρωνικών δικτύων είναι μάλλον «πανίσχυρη» λόγω κυρίως των πολύ αυξημένων βαθμών ελευθερίας για τον προγραμματισμό της που παρέχει στον χρήστη της αλλά και των παρεχόμενων βοηθημάτων, παρ' όλα αυτά πάσχει από έλλειψη συνεκτικής και πλήρους τεκμηρίωσης (που να πηγαίνει πιο πέρα από την τεχνική παράθεση των λεπτομερειών για τις

κλάσεις του περιβάλλοντος) και την έλλειψη μίας ανοικτής κοινότητας ελεύθερης αλληλεπίδρασης των χρηστών (υπάρχει παρ' όλα αυτά μία –δύσχρηστη λόγω της φύσης της– λίστα αλληλογραφίας για όποιον θέλει να ζητήσει χρηστικές ή θεωρητικές πληροφορίες).

Για τις ανάγκες των πειραμάτων της παρούσας έρευνας έγινε εκτενής χρήση της γλώσσας scripting (με το όνομα *CSS: C Super-Script*) σε διάφορες φάσεις της προσομοίωσης, και κάποιες τέτοιες χρήσεις θα αναπτυχθούν κάπως περισσότερο παρακάτω στο κείμενο. Η λεπτομέρεια της εφαρμογής του αλγορίθμου εκπαίδευσης του δικτύου, Leabra προσέφερε πολλές χρήσιμες διευκολύνσεις για την υλοποίηση διαφόρων όψεων του μοντέλου. Για παράδειγμα οι πρόσβαση μέσω της CSS στις συναρτήσεις υπολογισμού της ενεργοποίησης του κάθε κόμβου κατά την διάρκεια εκτέλεσης της προσομοίωσης, έδωσε τη δυνατότητα του ελέγχου της ώστε να καθοριστεί αν θα πρέπει να σταλεί σήμα ανταμοιβής προς το υποδίκτυο-φίλτρο⁸ του μοντέλου.

Υλικό – Εξοπλισμός. Η εκτέλεση των προσομοιώσεων έγινε κατά κύριο λόγο (και για τις δύο φάσεις της έρευνας) σε υπολογιστές που διέθεταν το λειτουργικό σύστημα (Λ.Σ.) MS Windows 7 (Professional & Ultimate) για αρχιτεκτονική 64bit. Κάποιο μικρό σχετικά υποσύνολο προσομοιώσεων διενεργήθηκε και σε υπολογιστή με Λ.Σ. MS Windows 10 Enterprise 64bit. Σχετικά με τους υπολογιστές, χρησιμοποιήθηκαν 6 συνολικά μηχανήματα, τα 5 εκ των οποίων με επεξεργαστές Intel Core i5 ή i7 4 πυρήνων και με διαθέσιμη μνήμη RAM 8 GB. Τα μηχανήματα αυτά είχαν τη δυνατότητα να τρέχουν 2 προσομοιώσεις ταυτόχρονα καθώς οι προσπάθειες για 4 ταυτόχρονες προσομοιώσεις (μία για κάθε πυρήνα) οδηγούσε με υψηλή πιθανότητα σε απότομη και καταστροφική (με απώλεια δεδομένων) διακοπή όλων των προσομοιώσεων και σε κάποιες δοκιμές σε πλήρες σταμάτημα της λειτουργίας του μηχανήματος, λόγω υπερθέρμανσης του επεξεργαστή ή/και υπερπλήρωση

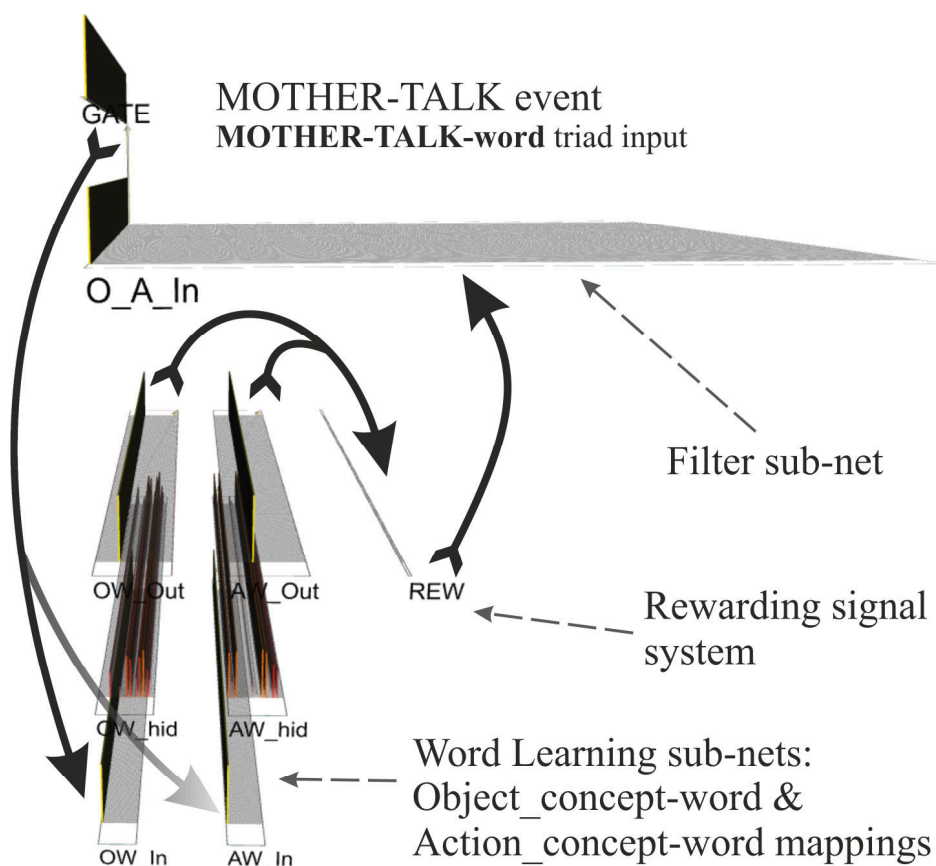
⁸ Θα αναπτυχθεί παρακάτω στο κείμενο

της RAM. Σε μεγάλο τμήμα των προσομοιώσεων της 2^{ης} φάσης χρησιμοποιήθηκε ένας υπολογιστής που διέθετε δύο επεξεργαστές Intel Xeon E5-2620, με 6 πυρήνες ο καθένας, δηλαδή διέθετε 12 πυρήνες και τη δυνατότητα 24 επεξεργαστικών νημάτων συνολικά και 32 GB μνήμης RAM. Το μηχάνημα αυτό μπορούσε χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα να εκτελεί από 12 προσομοιώσεις (υπήρξαν επιτυχείς προσπάθειες έως και για 16) ταυτόχρονα, καθεμία από ένα διαφορετικό *στιγμιότυπο* (*instance*) του προγράμματος Emergent.

Ένα σημαντικό στοιχείο που επέτρεψε τελικά την εκτέλεση μεγάλου αριθμού προσομοιώσεων –και ουσιαστικά την εκτέλεση όλης της πειραματικής διαδικασίας με την πληρότητα που απαιτούνταν– ήταν το ότι έγινε αντιληπτό πώς το Emergent (σε αυτήν τουλάχιστον την έκδοση που χρησιμοποιήθηκε) μείωνε τον χρόνο εκτέλεσης μίας προσομοίωσης στο 1/4 – 1/5, δηλαδή από 8-6 ώρες σε 2-1.5 ώρες περίπου (ανάλογα με τον υπολογιστή που την εκτελούσε) όταν διαγράφονταν πλήρως όλα τα panels της προσομοίωσης που περιείχαν γραφικά στοιχεία και όχι όταν απλώς δίνονταν η εντολή της μη ανανέωσής τους, στοιχείο που παραπέμπει περισσότερο σε κάποιο λάθος σχεδιασμού της πλατφόρμας στη συγκεκριμένη έκδοση. Στην περίπτωση των ταυτόχρονων προσομοιώσεων, εάν διενεργούνταν 2 προσομοιώσεις σε ένα μηχάνημα, ο χρόνος για την ολοκλήρωσή τους μπορεί να ανέρχονταν, για παράδειγμα, στις 2.25-2.5 ώρες (και όχι σε 2x1.5). Στην περίπτωση των 12 ταυτόχρονων προσομοιώσεων, ο συνολικός χρόνος για την ολοκλήρωση όλων των προσομοιώσεων μπορεί να έφτανε τις 16-18 ώρες. Κατά περιπτώσεις μπορούσαν να εκτελούνται προσομοιώσεις σε 2-3 μηχανήματα παράλληλα.

Συνδεδειστικό Μοντέλο. Η αρχιτεκτονική του μοντέλου που απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 3 παρακάτω, αποτελείται από ένα υποδίκτυο *φίλτρο/πύλη*, δύο υποδίκτυα που μαθαίνουν λέξεις και τα οποία λειτουργούν παράλληλα συσχετίζοντας ζεύγη αντιλαμβανόμενων εννοιών αντικειμένων ή δράσεων με σύγχρονες φωνολογικές αναπαραστάσεις μίας λέξης και τέλος από ένα σύστημα ανταμοιβής το οποίο ανανεώνει τις

συνδέσεις του φίλτρου με τα υποδίκτυα λεξικής μάθησης ανάλογα με το αν η αντιστοίχιση έννοιας-λέξης ήταν επιτυχής ή όχι. Το μοντέλο λειτουργεί με την υπόθεση ότι η αξιόπιστη αντίληψη και ταυτοποίηση των αντικειμένων, των δράσεων και των φωνολογικών μορφών των λέξεων έχουν επιτευχθεί πριν την διαδικασία της λεξικής μάθησης, η οποία εντέλει πραγματοποιεί τις συσχετίσεις ανάμεσα σε αυτούς τους τύπους αναπαράστασης και αυτή η τελευταία βρίσκεται στην εστία της παρούσας μοντελοποίησης.



Εικόνα 3. Η δικτυακή αρχιτεκτονική της παρούσας υλοποίησης του μοντέλου των Caza και Knott (2012) στην πλατφόρμα Emergent. Φαίνονται και σημειώνονται με ετικέτες τα διάφορα υποσυστήματα του μοντέλου.

Σημείωση 1: OW_In, OW_hid, OW_out -> Λέξεις Αντικειμένων, επίπεδα εισροής, κρυφό, εκροής (Object Word input, hidden, and output layers). AW_In, AW_hid, AW_out -> Λέξεις Δράσης, επίπεδα εισροής, κρυφό, εκροής (Action Word input, hidden, and output layers).

O_A_In -> Ζεύγη Αντικειμένου-Δράσης, επίπεδο εισροής Φίλτρου/Πύλης (Object-Action pairs Input layer of the Filter/Gate subnetwork).

Σημείωση 2: το γράφημα προέρχεται από το (Vinos, Andrikoroulou, Paraeliou, & Protopapas, 2016).

Τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται κάθε γραμμή/αλληλουχία εκπαίδευσης ανήκουν σε τρεις βασικούς τύπους δεδομένων: α) ετικέτες, β) καθαυτό αλληλουχίες εκπαίδευσης, γ) επιβαλλόμενα σήματα, δ) μηνύματα.

α) Οι ετικέτες είναι απλώς ονομασίες που παραπέμπουν στους συνδυασμούς οντοτήτων οι οποίες στο τρέχον χρονικό βήμα (ή στο αμέσως επόμενο) βρίσκονται στον αντιληπτικό πεδίο του παιδιού. Για την ονοματολογία των συμβάντων δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία αμέσως παρακάτω στην περιγραφή των διανυσμάτων εκπαίδευσης.

β) Οι καθαυτό αλληλουχίες ή πρότυπα εκπαίδευσης είναι οι κωδικοποιήσεις των συμβάντων με την μορφή που απαιτείται να παρουσιαστούν στα επίπεδα εισροής και εκροής των υποδικτύων (εκμάθησης λέξεων και πύλης). Εφόσον έχει ακολουθηθεί η επιλογή εκπαίδευσης με σταθερό αριθμό οντοτήτων, 20 αντικείμενα και 20 δράσεις με τις αντίστοιχες λέξεις, αυτό οδηγεί στο να υπάρχουν σε κάθε γραμμή εκπαίδευσης τα παρακάτω διανύσματα/αλληλουχίες εκπαίδευσης. Ακολουθείται ένα παράδειγμα περίπτωσης όπου η τρέχουσα τριάδα οντοτήτων είναι η O19 – A12 – A06 και η τριάδα του αμέσως επόμενου χρονικού βήματος είναι η O14 – A08 – A14 (το σχήμα ονοματολογίας εξηγείται παρακάτω).

1) Διάνυσμα 20 στοιχείων που αντιστοιχεί στο επίπεδο εισροής της μονάδας μάθησης ουσιαστικών (αυτό το επίπεδο –OW_In– έχει 20 κόμβους/μονάδες σε απόλυτη αντιστοιχία με τη σειρά των στοιχείων του διανύσματος). Ακολουθώντας μία απλουστευμένη ονοματολογία, τα ονόματα που αντιστοιχούν σε έννοιες αντικειμένων είναι το MTR (Mother) και η σειρά ονομάτων O02 έως O20. Η απλουστευμένη ονοματολογία εξυπηρετεί την ευκολότερη παρακολούθηση της ροής της προσομοίωσης, ειδικότερα αν επιλεγεί να

παρακολουθείται μέσω μηνυμάτων (αποσφαλμάτωσης) στο παράθυρο της κονσόλας/τερματικού του Emergent. Το αντίστοιχο στοιχείο του διανύσματος λαμβάνει την τιμή 1 ενώ όλα τα άλλα την τιμή 0 –όπως γενικά συμβαίνει για την κωδικοποίηση όλων των διανυσμάτων εκπαίδευσης που ακολουθεί την *localist* προσέγγιση. Η έννοια αντικειμένου, O19, του παραδείγματος κωδικοποιείται όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4).

2) Διάνυσμα 20 στοιχείων που αντιστοιχεί στο επίπεδο εισροής της μονάδας μάθησης ρημάτων (αυτό το επίπεδο –AW_In– έχει 20 κόμβους/μονάδες σε απόλυτη αντιστοιχία με τη σειρά των στοιχείων του διανύσματος). Ακολουθώντας την ίδια απλουστευμένη ονοματολογία, τα ονόματα που αντιστοιχούν σε έννοιες αντικειμένων είναι το TLK (Talk) και η σειρά ονομάτων A02 έως A20. Το αντίστοιχο στοιχείο του διανύσματος λαμβάνει την τιμή 1 ενώ όλα τα άλλα την τιμή 0. Η έννοια δράσης, A12, του παραδείγματος κωδικοποιείται όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.

3) Διάνυσμα 400 στοιχείων που αντιστοιχεί στο επίπεδο εισροής της μονάδας μάθησης ρημάτων (αυτό το επίπεδο –O_A_In– έχει 400 κόμβους/μονάδες σε απόλυτη αντιστοιχία με τη σειρά των στοιχείων του διανύσματος, ο αριθμός δηλαδή αντανακλά όλους τους συνδυασμούς αντικειμένων με δράσεις). Το ποιο στοιχείο του διανύσματος λαμβάνει την τιμή 1 καθορίζεται από τη σειρά των συνδυασμών. Έτσι, για το ζευγάρι O19 – A12 του παραδείγματος θα πρέπει το 372^ο στοιχείο να έχει την τιμή 1 (όπως φαίνεται στην Εικόνα 4), διότι: $(18 \times 20) + 12 = 372$.

4) Τέλος όσον αφορά στις εξόδους των δύο υποδικτύων μάθησης λέξεων, αυτές τροφοδοτούνται με δύο διανύσματα 40 στοιχείων το καθένα με την ίδια ακριβώς τιμή, τα οποία τροφοδοτούν τα αντίστοιχα επίπεδα εκροής (OW_Out και AW_Out, με 40 κόμβους το καθένα). Τα πρώτα 20 στοιχεία του διανύσματος αντιστοιχούν στα ουσιαστικά και τα υπόλοιπα 20 στα ρήματα. Επομένως λεξική μορφή, A06, του παραδείγματος κωδικοποιείται

λαμβάνοντας τιμή 1 στο 26 στοιχείο (6 στοιχείο του τμήματος των ρημάτων) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.

| OW_In | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| O19 – A12 – A06: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

| AW_In | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| O19 – A12 – A06: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| OW_Out & AW_Out | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | ... | 37 | 38 | 39 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|
| O19 – A12 – A06: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 |

| O_A_In | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... | 369 | 370 | 371 | 372 | 373 | 374 | 375 | ... | 397 | 398 | 399 |
|------------|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| O19 – A12: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 0 | 0 | 0 |

Εικόνα 4. Η κωδικοποίηση των αλληλουχιών εκπαίδευσης για το παράδειγμα του συμβάντος O19 – A12 – A06.

Σημείωση: η αρίθμηση των στοιχείων των διανυσμάτων εκπαίδευσης αρχίζει από το 0.

γ) Τα επιβαλλόμενα σήματα είναι διανύσματα ενός στοιχείου, μπορεί να έχουν την τιμή 1 ή 0 και αφορούν την δομή των τριάδων οντοτήτων που παρουσιάζονται, σχετικά με το αν υπάρχει σωστή ή όχι αντιστοίχιση μίας από τις έννοιες με την παρουσιαζόμενη λεξική μορφή. Χρησιμοποιούνται στην καθαυτό λειτουργία του συστήματος μόνο όταν ο τρόπος λειτουργίας είναι αυτός του Εξωγενούς Κριτηρίου Μάθησης και στο οποίο τα σήματα ανταμοιβής για το προηγούμενο ζευγάρι εννοιών βρίσκονται ήδη εγγεγραμμένα στην εισροή (περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά δίνονται στο [σχετικό τμήμα παρακάτω](#)). Στον τυπικό όμως τρόπο λειτουργίας του μοντέλου (Ενδογενές Κριτήριο Μάθησης) χρησιμεύουν μόνο στο να προσφέρουν άμεσες πληροφορίες για την ροή της προσομοίωσης, οι οποίες μπορούν να παρουσιάζονται στην κονσόλα.

δ) Τέτοιες πληροφορίες παρέχουν, περισσότερο στοχευμένα, τα μηνύματα που συνοδεύουν την κάθε γραμμή εκπαίδευσης και περιλαμβάνονται στα δύο σχετικά

πεδία/στήλες του συνολικού πίνακα εκπαίδευσης (μία στήλη για τις τρέχουσες τριάδες και μία γι' αυτές του αμέσως επόμενου χρονικού βήματος). Μία χαρακτηριστική τέτοια χρονική διαδοχή μηνυμάτων για τις τρέχουσες τριάδες μπορεί να είναι η εξής:

Regular_Wrong_Act → Mother-Talk → MTEvents_t2_Correct_Obj →

Regular_Wrong_Act → Mother-Talk → MTEvents_t2_Wrong_Obj →

Regular_Wrong_Act ,

η οποία αντιστοιχεί στην παρακάτω διαδοχή τριάδων:

O09_TLK_A12 → MTR_TLK_O10 → MTR_A17_MTR →

O08_A03_A14 → MTR_TLK_O17 → O10_A18_O06 →

O17_A02_A19

Οι τύποι συμβάντων τα οποία σηματοδοτούν τα συγκεκριμένα μηνύματα είναι:

σύνηθες(τυχαίο) συμβάν με παρουσιαζόμενη λεξική μορφή δράσης και παρουσιαζόμενη εσφαλμένη αντιστοίχιση (αλλιώς: μη-αξιόπιστη αντιστοίχιση) → 1^η φάση μητρικού ομιλιακού ενεργήματος: το παιδί αντιλαμβάνεται την μητέρα να μιλάει (μπορεί να συνοδεύεται από λεξική μορφή αντικειμένου ή δράσης) → 2^η φάση μητρικού ομιλιακού ενεργήματος: αξιόπιστη αντιστοίχιση της έννοιας αντικειμένου με την λεξική μορφή (στην περίπτωση που εξετάζεται η έννοια αντικειμένου και η αντίστοιχη λέξη είναι «Μητέρα») → τυχαίο συμβάν με παρουσιαζόμενη λεξική μορφή δράσης και μη-αξιόπιστη αντιστοίχιση → 1^η φάση μητρικού ομιλιακού ενεργήματος: το παιδί αντιλαμβάνεται ξανά την μητέρα να μιλάει → 2^η φάση μητρικού ομιλιακού ενεργήματος: μη-αξιόπιστη αντιστοίχιση της έννοιας αντικειμένου με την λεξική μορφή ουσιαστικού → τυχαίο συμβάν με παρουσιαζόμενη λεξική μορφή δράσης και μη-αξιόπιστη αντιστοίχιση .

Επισημαίνεται ότι σε κάθε γραμμή εκπαίδευσης περιλαμβάνονται επιπλέον όλα τα διανύσματα εκπαίδευσης για το επόμενο χρονικό βήμα μαζί με τις αντίστοιχες ονομασίες

συμβάντων και οντοτήτων καθώς και τα αντίστοιχα μηνύματα. Ο βασικός λόγος είναι, κατά την τυπική λειτουργία του μοντέλου, να ελέγχεται στο τρέχον βήμα το αν θα υπάρξει ή όχι ορθή αντιστοίχιση στο επόμενο βήμα, έτσι ώστε αντίστοιχα να αυξηθεί ή να μειωθεί κατάλληλα το βάρος σύνδεσης του τρέχοντος ζεύγους με τον τελικό κόμβο της πύλης. Αυτές οι πληροφορίες δηλαδή, αποτελούν τα δεδομένα που χρειάζεται η δομή υλοποίησης του *προς τα εμπρός βήματος* για την τροποποίηση των βαρών της πύλης.

Διαδικασία. Στο μοντέλο, σε κάθε χρονικό πλαίσιο γίνονται αντιληπτές τρεις οντότητες: μία έννοια δράσης, μία έννοια αντικειμένου και μία λεξική μορφή. Τα υποδίκτυα λεξικής μάθησης προβλέπουν (στις εξόδους τους) λεξικές μορφές βασισμένα στα παρατηρούμενα, αντικείμενο και δράση. Σήματα σφάλματος παράγονται μέσω της σύγκρισης αυτής της πρόβλεψης με την όντως αντιλαμβανόμενη λεξική μορφή. Είναι σημαντικό για την κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος να επισημανθεί ότι αποτελούν διαφορετικά γεγονότα (για την τυπική λειτουργία του μοντέλου με το εξωγενές κριτήριο μάθησης) οι παρεχόμενες έννοιες και λέξη στα υποσυστήματα λεξικής μάθησης και η σωστή ή όχι αντιστοίχιση/πρόβλεψη που κάνουν τα ίδια υποσυστήματα πάλι σε σχέση με τα ερεθίσματα αυτά. Πιο συγκεκριμένα, το αν είναι αξιόπιστες ή μη (δηλαδή αν η μία από τις έννοιες αντιστοιχεί στην λεξική μορφή της τριάδας που παρουσιάζεται ή αν και οι δύο έννοιες είναι αναντίστοιχες) παίζει ρόλο για την ορθή ή όχι εκπαίδευση των υποδικτύων λεξικής μάθησης, αντίστοιχα, όταν φυσικά αυτά είναι ενεργοποιημένα για μάθηση, είτε μέσω σήματος της πύλης που αναγνωρίζει την τρέχουσα ως κατάλληλη περίπτωση για μάθηση, είτε τυχαία ως συμβάν τυχαίας συσχετιστικής μάθησης.

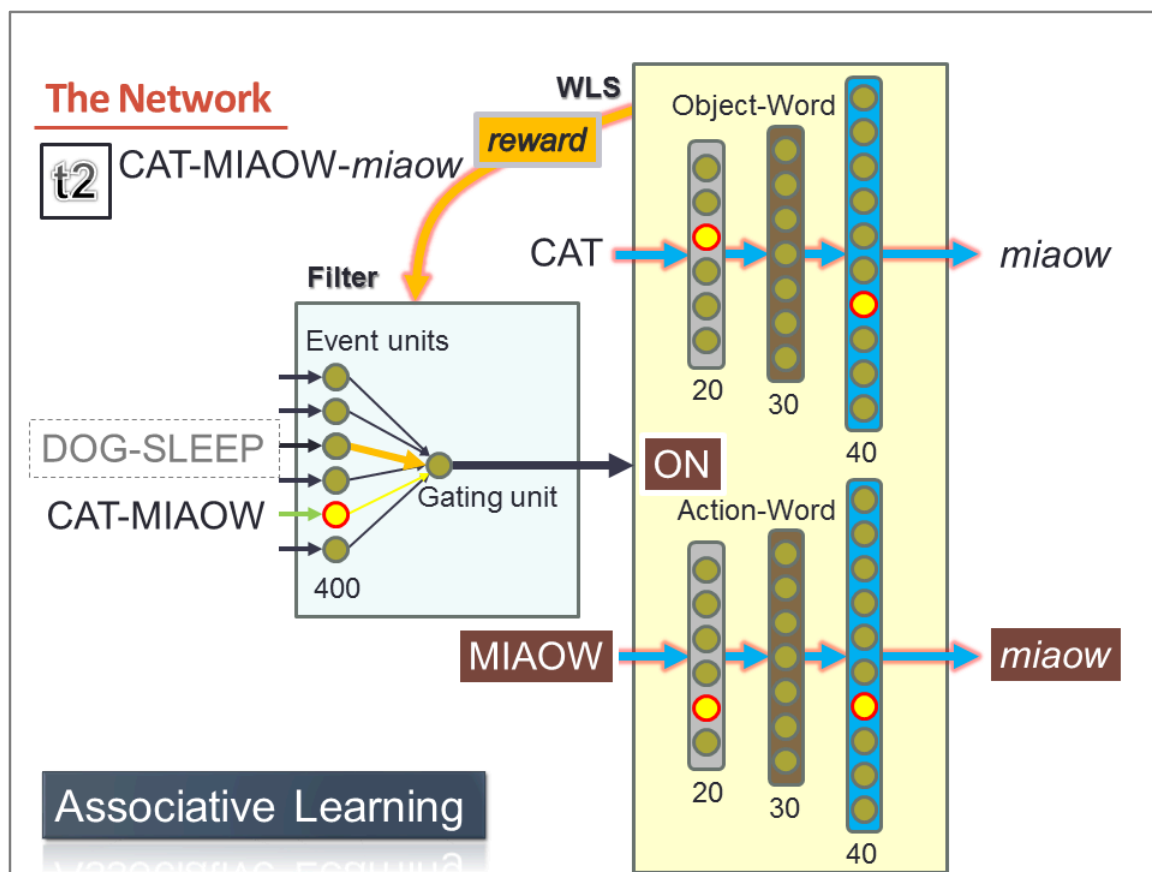
Υπό την άλλη όμως ερμηνεία, όταν σε κάποιο χρονικό βήμα η λεξική μάθηση είναι ενεργοποιημένη για κάποιον λόγο και αυτό που παρουσιάζεται ως ζεύγος έννοιας-λέξης σε ένα από τα δύο σχετικά υποδίκτυα είναι αξιόπιστο, προς το τέλος του κύκλου λειτουργίας του μοντέλου γι' αυτό το βήμα, γίνεται ένας έλεγχος για το αν στη συγκεκριμένη *δοκιμασία*

(*trial*) αυτό το υποδίκτυο έχει μάθει να προβλέπει/αντιστοιχεί σωστά την εισροή με την αναμενόμενη εκροή. Αν ο έλεγχος περάσει το κριτήριο ενεργοποίησης (για το διάλυμα ενεργοποιήσεων του επιπέδου εκροής), τότε δίνεται σήμα επιβράβευσης προς την πύλη. Η λειτουργία αναπτύσσεται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω, όμως υπενθυμίζεται ότι παρότι στην αντιστοίχιση του μοντέλου με τον πραγματικό νου, ο έλεγχος γίνεται στο τρέχον βήμα, στην λειτουργία του μοντέλου στον υπολογιστή, αυτός ο έλεγχος γίνεται στο προηγούμενο βήμα. Σε σύνοψη: σε κάθε χρονικό βήμα γίνεται η εκπαίδευση για τις τρέχουσες αντιστοιχίσεις έννοιας-λέξης ενώ γίνεται ο έλεγχος πρόβλεψης για τις αμέσως επόμενες αντιστοιχίσεις.

Ταυτόχρονα με την παροχή ερεθισμάτων στα λεξικά υποδίκτυα, το ζευγάρι δράση-αντικείμενο συνιστά ένα παρατηρούμενο συμβάν, το οποίο χρησιμοποιείται από το υποδίκτυο του φίλτρου για να καθοριστεί αν αυτό θα ανοίξει ή όχι (από αυτό και η εναλλακτική ονομασία του υποσυστήματος αυτού ως *πύλη*), δηλαδή αν θα στείλει ένα σήμα που θα οδηγεί σε μάθηση στα δύο υποδίκτυα λεξικής μάθησης. Με αυτόν τον τρόπο, η πύλη ελέγχει την έκταση στην οποία κάθε συμβάν οδηγεί σε τροποποίηση των βαρών σύνδεσης στα υποδίκτυα λεξικής μάθησης. Με άλλα λόγια, το φίλτρο/πύλη ρυθμίζει την έκταση στην οποία οι τρέχουσες τριάδες αντικείμενο-δράση-λέξη επιτρέπεται να επηρεάσουν την λεξική γνώση του συστήματος (νου).

Από την αντίθετη κατεύθυνση, η επιτυχής λεξική μάθηση καταλήγει σε ανταμοιβή του φίλτρου, καθοδηγώντας τη μάθηση των συμβάντων τα οποία, με αξιοπιστία, προβλέπουν ορθές αντιστοιχίσεις έννοιας με λέξη. Συγκεκριμένα, όταν ένα ζευγάρι έννοιας-αντικειμένου ή έννοιας-δράσης προβλέπεται σωστά από το μοντέλο (η αντιστοίχιση είναι ορθή), το συμβάν το οποίο έχει προπορευτεί, λαμβάνει έναν χαρακτηρισμό ως αξιόπιστη πηγή πληροφόρησης, ο οποίος ουσιαστικά είναι μία θετική τροποποίηση του βάρους σύνδεσης με τον κόμβο εξόδου της πύλης η οποία (σύνδεση) αντιστοιχεί σε αυτό το συμβάν. Αντιθέτως,

μη-ορθές αντιστοιχίσεις (όταν φυσικά τα λεξικά υποδίκτυα είναι ανοικτά και λειτουργούν) έννοιας-λέξης οδηγούν σε αρνητική τροποποίηση του βάρους σύνδεσης για το πρότερο συμβάν στην πύλη, όμως ο βαθμός αρνητικής τροποποίησης/ποινήs είναι αρκετά μικρότερος απ' ότι ο βαθμός θετικής τροποποίησης/επιβράβευσης. Αυτό γίνεται για διάφορους λόγους, όπως μία θεωρητική δέσμευση στην υπόθεση του πώς λειτουργεί η λεξική μάθηση συνήθως σε συμπεριφορικό επίπεδο αλλά και διότι, λόγω των συμβάντων τυχαίας συσχετιστικής μάθησης (που εκ των πραγμάτων έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι εσφαλμένη) αν οι τροποποιήσεις βαρών γίνονταν στον ίδιο βαθμό και για τους δύο τύπους συμβάντων, αυτό θα δυσχέραινε κατά πολύ την λειτουργία του βρόχου ενίσχυσης. Εντέλει οι παραπάνω λειτουργίες οδηγούν στο να αποκτούν τα συμβάντα (δηλ. τα ζεύγη δράσης-αντικειμένου) που ακολουθούνται από ορθές λεξικές προβλέψεις, σταδιακά όλο και περισσότερη επίδραση στην λεξική μάθηση. Και ουσιαστικά οι δύο διαφορετικοί τύποι συμβάντων –ορθή αντιστοίχιση και εσφαλμένη αντιστοίχιση με τα ανάλογα σήματα προς την πύλη– αντανακλούν την πορεία της σταδιακής δέσμευσης του παιδιού προς περιστάσεις που επιτρέπουν την επαρκέστερη μάθηση, δηλαδή την εμπλοκή του σε επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής, καθώς, για παράδειγμα, η επιβράβευση για ορθή αντιστοίχιση θα μπορούσε απλά να είναι ένα χαμόγελο ή μία αγκαλιά από τη μητέρα (αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη πιθανότητα της πύλης να ανοίξει σε ανάλογα συμβάντα) ενώ η ποινή θα μπορούσε να σχετίζεται με έλλειψη μητρικής αντίδρασης/αδιαφορία (μικρή ελάττωση στην πιθανότητα της πύλης να ανοίξει σε ανάλογα συμβάντα). Στην Εικόνα 5 παρακάτω, απεικονίζεται μία χαρακτηριστική χρονική στιγμή από την λειτουργία του δικτύου, που αποτελεί αποτύπωση ενός επεισοδίου συσχετιστικής μάθησης όπου υπάρχει από το υποσύστημα λεξικής μάθησης μία σωστή πρόβλεψη (η ορθή αντιστοίχιση έννοιας-λέξης έχει ήδη μαθευτεί από το σύστημα). Η εικόνα συνοψίζει τις λειτουργίες που παρατέθηκαν προηγουμένα.



Εικόνα 5. Σχηματική αναπαράσταση ενός χρονικού πλαισίου από την λειτουργία του μοντέλου, όπου φαίνονται όλα τα υποσυστήματα με τον αριθμό των κόμβων των επιπέδων τους καθώς και το τρέχον συμβάν CAT-MIAOW στην είσοδο της πύλης (για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή – δοκιμασία: t2) και το προηγούμενο συμβάν DOG-SLEEP. Για το συμβάν αυτό, της προηγούμενης χρονικής στιγμής, υπάρχει ανταμοιβή και αύξηση του σχετικού βάρους σύνδεσης της πύλης καθώς στην τρέχουσα χρονική στιγμή, όπου το υποσύστημα λεξικής μάθησης έχει ανοίξει λόγω του παράγοντα της συσχετιστικής μάθησης, υπάρχει μία σωστή αντιστοίχιση και πρόβλεψη από το υποσύστημα λεξικής μάθησης.

Το κατώφλι ενεργοποίησης για την πύλη ορίστηκε στο 0.55 για όλες τις ομάδες προσομοιώσεων που περιγράφονται στη συνέχεια –μετά από ένα στάδιο εκτενών δοκιμών όπου εξετάστηκε και η συγκεκριμένη παράμετρος του μοντέλου ώστε η συμπεριφορά του μοντέλου να είναι επαρκώς βαθμιαία και ομαλή χωρίς να γίνεται δύστοκη. Οι συντονισμένες

έτσι δράσεις αυτών των υποσυστημάτων οδηγούν το μοντέλο να μαθαίνει να αναγνωρίζει σταδιακά τα μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα ως τα ιδανικώς υποψήφια συμβάντα για επιτυχείς αντιστοιχίσεις εννοιών με λέξεις. Σημειώνεται ότι εκτός από αυτό το *απόλυτο κατώφλι ενεργοποίησης* της πύλης υπάρχει και ένα *βασικό (ή κατώτερο) κατώφλι ενεργοποίησης* της πύλης, το οποίο είναι ουσιαστικά η κατώτερη τιμή της ενεργοποίησης του κόμβου εξόδου της πύλης που απαιτείται για να εφαρμοστεί η ελάχιστη πιθανότητα να μπορέσει να δώσει σήμα ανοίγματος των υποδικτύων λεξικής μάθησης. Η πιθανότητα αυτή αυξάνεται βαθμιαία έως ότου φτάσει στο 100% όταν η τιμή ενεργοποίησης του κόμβου της Πύλης για έναν τύπο συμβάντος γίνει ίση με το απόλυτο κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης. Οι επιλογές για το κατώτερο κατώφλι αναφέρονται στη συνέχεια, στη συζήτηση για τους διαφορετικούς υποτύπους του μοντέλου ([Ενδογενές Κριτήριο Μάθησης](#), [Εξωγενές Κριτήριο Μάθησης](#)).

Τα δύο υποδίκτυα λεξικής μάθησης, για ουσιαστικά και ρήματα, λειτουργούν ταυτόχρονα, στοιχείο που σημαίνει ότι όταν ανοίγει τη σύστημα λεξικής μάθησης για να μάθει, ουσιαστικά δύο ζευγάρια αντιστοιχίσεων (έννοια αντικειμένου – ουσιαστικό, έννοια δράσης – ρήματος) μπορεί η μία μόνο αντιστοίχιση να είναι ορθή ή και οι δύο να είναι λανθασμένες, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι ήδη δημιουργημένες αναπαραστάσεις στο κρυφό επίπεδο για τις λέξεις. Υφίσταται η δυνατότητα ανεξάρτητης λειτουργίας του ενός υποδικτύου από το άλλο (είναι ήδη προγραμματιστικά ενσωματωμένη στο μοντέλο), το οποίο θα σήμαινε ότι εξαρτώμενων των τύπων των ερεθισμάτων θα μπορεί να ανοίγει το ένα ή το άλλο υποδίκτυο, ανάλογα με το αν το ζευγάρι έννοιας-λέξης υπό μάθηση αφορά σε ουσιαστικό ή ρήμα.

Οι ανανεώσεις των βαρών στο υποδίκτυο της πύλης/φίλτρου, αποσυνδέονται σταδιακά από την τυχαία συμβαίνουσα συσχετιστική μάθηση. Η εκδοχή του μοντέλου που υλοποιήθηκε για τα πειράματα της έρευνας είναι κάπως απομακρυσμένη από το αρχικό

μοντέλο (Caza & Knott, 2012) στο οποίο η πιθανότητα για μη ελεγχόμενη από το φίλτρο συσχετιστική μάθηση ελαττώνονταν με την πάροδο της προσομοίωσης έως το μηδενικό επίπεδο και συγκεκριμένα ελαττώνονταν όσο η ικανότητα του συστήματος για αναγνώριση των μητρικών επικοινωνιακών προθέσεων αυξάνονταν, καθώς ήταν συνδεδεμένη με την απόδοση του φίλτρου. Εδώ, διατηρούταν σε μία ελάχιστη λειτουργικότητα, αφότου μειώνονταν σταδιακά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης σύμφωνα με δεδομένο ρυθμό. Αυτή η επιλογή θεωρήθηκε ως περισσότερο εύλογη προσέγγιση τόσο για την τυπική όσο και για την ελλειμματική λεξική απόκτηση. Είναι δε, συνεπής με την σχετική βιβλιογραφία που, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, υποδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που παίζει η συσχετιστική μάθηση στην μάθηση των λέξεων –συνδράμοντας τη βασισμένη στα πραγματολογικά στοιχεία– τόσο στα ΓΑ παιδιά όσο και στα παιδιά με ΔΑΦ (Preissler, 2008; Preissler & Carey, 2005). Το συγκεκριμένο γνώρισμα του μοντέλου, επέτρεψε να εξεταστεί η επίδραση αυτής της ελάχιστης υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης (*residual associative learning, RAL*). Δύο εναλλακτικές ρυθμίσεις χρησιμοποιήθηκαν για την υπολειμματική συσχετιστική μάθηση: μία με πιθανότητα 0.001 (low RAL) να ενεργοποιηθεί η λεξική μάθηση σε κάθε δοκιμασία για την τρέχουσα τριάδα (αντικείμενο/δράση-λέξη) και μία με πιθανότητα 0.005 (high RAL), ορίζοντας έτσι τα παραπάνω δύο επίπεδα για τη συγκεκριμένη μεταβλητή. Στην αρχή της εκπαίδευσης του συστήματος η τιμή έναρξης της πιθανότητας για τη συσχετιστική μάθηση είναι ρυθμισμένη για όλες τις προσομοιώσεις σε 0.5 και στη συνέχεια ελαττώνεται σταδιακά έως τις αντίστοιχες τιμές για τις low RAL και high RAL συνθήκες όπου και παραμένει σταθερή έως ότου ολοκληρωθούν όλες οι εποχές της προσομοίωσης. Για την πλειονότητα των πειραμάτων της αρχικής φάσης της έρευνας –όπως αναφέρεται στο (Vinos et al., 2016)– η τιμή της RAL φτάνεται από το σύστημα στις 5000 περίπου δοκιμασίες (δηλαδή προς το τέλος της 2^{ης} εποχής εκπαίδευσης) και συγκεκριμένα στις 4950 δοκιμασίες για την high RAL και στις 4990 δοκιμασίες για την low RAL (η διαφοροποίηση ανάμεσα

στις δύο συνθήκες οφείλεται σε ιδιαιτερότητα της μεθόδου η οποία επιλέχτηκε αρχικά για να ρυθμίζει σε κάθε δοκιμασία αυτή την πιθανότητα). Στις μετέπειτα προσομοιώσεις διαχωρίστηκε αυτός ο αριθμός των δοκιμασιών τον οποίον χρειάζεται το σύστημα για να φτάσει την RAL, σε δύο επίπεδα: στο ένα παρέμεινε όπως στις παλαιότερες προσομοιώσεις και όπως περιγράφεται αμέσως παραπάνω, το οποίο ονομάστηκε *γρήγορη εξασθένηση συσχετιστικής μάθησης* ή αλλιώς *Fast Decay to RAL*, και στη δεύτερη συνθήκη υιοθετήθηκε μία πολύ πιο αργή πτώση –η *καθυστερημένη εξασθένηση συσχετιστικής μάθησης* ή *Delayed Decay to RAL*– στην οποία χρειάζονται περίπου 50000 (ο δεκαπλάσιος αριθμός) για να φτάσει το σύστημα στη RAL.

Γίνεται φανερό από τα παραπάνω ότι οι προσομοιώσεις ξεκινούν με υψηλή πιθανότητα συσχετιστικής μάθησης (σε μία στις δύο δοκιμασίες τα υποδίκτυα λεξικής μάθησης ενεργοποιούνται) και στην εκδοχή της παρούσας έρευνας το σύστημα πάντα διατηρεί μία μικρή τέτοια συμπεριφορά και μάλιστα, για τις συνθήκες *Delayed Decay* οι υψηλές τιμές συσχετιστικής μάθησης παραμένουν για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα της εκπαίδευσης. Γενικά ο χειρισμός που αφορά την RAL πηγαιίνει το εύρος της προσδοκώμενης συμπεριφοράς του μοντέλου προς αρκετά διαφορετικές οδούς απ' ότι οι προσομοιώσεις των Caza και Knott (2012), οι οποίες εξέτασαν βασικά το αν το bootstrapping είναι αποτελεσματικό στο να κάνει την πύλη να είναι αποτελεσματική στην επιλογή και των κατάλληλων συμβάντων για να δώσει σήματα εκπαίδευσης στα υποδίκτυα λεξικής μάθησης. Με την εισαγωγή της RAL ένας από τους στόχους των πειραμάτων ήταν και ο έλεγχος του βαθμού στον οποίο η μη ελεγχόμενη από το φίλτρο μάθηση, που κατά πάσα πιθανότητα θα συμπεριλαμβάνει μία μεγάλη αναλογία εσφαλμένων αντιστοιχίσεων έννοιας-λέξης, υποστηρίζει ή διαταράσσει τη συνολική διαδικασία της λεξικής μάθησης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα παιδιά με ΔΑΦ η συσχετιστικού τύπου μάθηση θεωρείται από κάποιους ερευνητές ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, αν όχι τον κυριότερο, στη

γλωσσική τους μάθηση (Luyster & Lord, 2009) και ότι αυτή δεν καθοδηγείται σε αυτά τα παιδιά από την ανίχνευση των επικοινωνιακών προθέσεων. Όταν λοιπόν, όπως συμβαίνει στη ΔΑΦ, ένας συνολικά ελαττωμένος ρυθμός ανίχνευσης επικοινωνιακών συμβάντων συνδυαστεί με έναν αφύσικα υψηλό ρυθμό συσχετιστικής μάθησης –υψηλότερο από τις τιμές που συνάγονται για το αρχικό μοντέλο των Caza και Knott (2012)– θα ήταν αναμενόμενο η λεξική μάθηση να αποτυπώνει πιο πιστά την καθαυτό αλληλουχία των κατηγοριών λέξεων της εισροής προς το μοντέλο. Συνεπώς ο μηχανισμός συσχετιστικής μάθησης πιθανώς να αλληλεπιδρά κατά την διάρκεια των πειραμάτων με τις συχνότητες των κατηγοριών με τρόπους τέτοιους που μπορεί να προμηθεύσουν χρήσιμες ενδείξεις για την κατανόηση της λεξικής ανάπτυξης κάτω από τέτοιες μη-φυσιολογικές περιστάσεις.

Το ρεύμα αλληλουχιών εισροής και εκροής του μοντέλου αποτελεί, σε κάθε πείραμα, ένα διαφορετικό μίγμα προτύπων εκπαίδευσης αποτελούμενο από 2800 γραμμές, το οποίο κατασκευάζεται στην αρχή κάθε πειράματος από ένα πρόγραμμα σε CSS, ειδικά δομημένου ώστε να εφαρμόζει επαρκείς ρουτίνες τυχαιοποίησης και να συνδυάζει κατάλληλα τα κωδικοποιημένα ερεθίσματα για τις έννοιες και τη λέξη που αποτελούν την κάθε γραμμή (καθώς και των διαδοχών τους), ώστε να ακολουθούνται τα κριτήρια/περιορισμοί συνολικά του μοντέλου και εξειδικευμένα κάθε συνθήκης. Εκτός από έννοιες και λέξεις στα πρότυπα εκπαίδευσης κωδικοποιούνται και άλλα σήματα που χρησιμεύουν στην προσομοίωση. Το σύνολο των 2800 γραμμών αρχειοθετείται μαζί με τις υπόλοιπες ρυθμίσεις κάθε προσομοίωσης και τα δεδομένα. Επίσης καταγράφονται σε ειδικά αρχεία καταγραφής τα βάρη των συνδέσεων ολόκληρου του συστήματος στο τέλος κάθε εποχής, τα οποία μπορούν να φορτωθούν ξανά από την πλατφόρμα οδηγώντας στην ίδια κατάσταση συνδεσιμότητας που χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη εποχή. Συνολικά αυτά τα αποθηκευμένα δεδομένα, επιτρέπουν εκτός από μία μεγάλη δυνατή έκταση αναλύσεων και την διενέργεια καινούργιων πειραμάτων βασισμένων στις ίδιες ρυθμίσεις εκκίνησης της κάθε προσομοίωσης ή ακόμα και

σε αλλαγή (σε νέα πειράματα) της συμπεριφοράς ή των ρυθμίσεων του μοντέλου, πρακτικά από οποιοδήποτε σημείο της διαδικασίας εκπαίδευσης είναι επιθυμητό.

Μία βασική διαφοροποίηση στη μάθηση ουσιαστικών-ρημάτων εισάγεται στο μοντέλο – σε κάθε περίπτωση πειράματος– με τη ρύθμιση της αναλογίας ουσιαστικών-ρημάτων στα συμβάντα όπου υπάρχει αξιόπιστη αντιστοίχιση έννοιας με λέξη στο 4:3 για όλες τις προσομοιώσεις. Τα επιτυχή επεισόδια διαμοιραζόμενης προσοχής, στο μοντέλο της έρευνας αντιστοιχούν στις περιπτώσεις όπου υπάρχει σωστή ταυτοποίηση των ζευγών που βρίσκονται υπό την προσοχή της μητέρας (και τα οποία είναι αξιόπιστα). Σε ένα επικοινωνιακό πλαίσιο, για τους σκοπούς της έρευνας, γίνεται η υπόθεση ότι η μητέρα κατά κύριο λόγο μιλά κάθε στιγμή για το συμβάν το οποίο βρίσκεται υπό την προσοχή της. Ακολουθώντας τους Caza και Knott (2012), ένα επικοινωνιακό ενέργημα της μητέρας αναπαρίσταται, στις αλληλουχίες της εισροής, από ένα συμβάν (ζεύγος αντικειμένου-δράσης) που αποτελείται από το MOTHER (αντικείμενο) και το TALK (δράση). Η διαμοιραζόμενη προσοχή μοντελοποιείται με το ποσοστό των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων που είναι αξιόπιστα, δηλαδή που ακολουθούνται (στην αμέσως επόμενη δοκιμασία) από ένα έγκυρο ζεύγος λέξης-έννοιας. Με αυτόν τον τρόπο, η επιτυχής διαμοιραζόμενη προσοχή οδηγεί με φυσικό τρόπο σε περισσότερο επιτυχείς ευκαιρίες μάθησης.

Χρησιμοποιήθηκαν τρία επίπεδα για την διαμοιραζόμενη προσοχή, υλοποιημένα ως η αναλογία των αξιόπιστων προς τα μη-αξιόπιστα μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα: υψηλή αξιοπιστία με λόγο 500:300 (σε κάθε 800 μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα υπάρχουν 500 αξιόπιστα και 300 μη-αξιόπιστα), μέτρια αξιοπιστία (λόγος 400:400) και χαμηλή αξιοπιστία (λόγος 300:500). Έτσι, στο σύνολο των 2800 γραμμών της εισροής, υπάρχουν (σε όλες τις προσομοιώσεις) 800 συμβάντα MOTHER-TALK, τυχαία τοποθετημένα σε ολόκληρη την ροή, που ακολουθούνται από 800 συμβάντα που συνδέονται με αυτά, δημιουργώντας ουσιαστικά 800 ζεύγη από διαδοχικές γραμμές που μπορεί να αντιπροσωπεύουν αξιόπιστες

περιστάσεις διαμοιραζόμενης προσοχής ή μη-αξιόπιστες. Για την πρώτη συνθήκη (Rel/Un(rel) -> 500:300), τα 500 αξιόπιστα συμβάντα αποτελούνται από 286 που αφορούν αντικείμενα και 214 που αφορούν δράσεις, ώστε να καλύπτεται το κριτήριο 4:3 της εισαγόμενης από την εισροή κατηγορικής ασυμμετρίας. Υπάρχουν επίσης 300 μη-αξιόπιστα μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα για τα οποία η αναλογία αντικείμενα/δράσεις είναι τυχαιοποιημένη. Εκτός από τις 1600 γραμμές που αφορούν τα μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα, υπάρχουν άλλα 1200 τυχαία συμβάντα, από τα οποία τα 1170 είναι μη-αξιόπιστα και τα 30 αξιόπιστα (η παραδοχή πίσω από αυτή την αναλογία είναι ότι στις περιπτώσεις τυχαίας μάθησης είναι πολύ πιθανότερο οι αντιστοιχίσεις να είναι εσφαλμένες). Στη συνθήκη ενδιάμεσης αξιοπιστίας η συγκεκριμένη αναλογία αντικείμενα/δράσεις εντός των 400 αξιόπιστων αντιστοιχίσεων είναι 229/171, ενώ στην συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας εντός των 300 αξιόπιστων αντιστοιχίσεων η σχετική αναλογία είναι 171/129.

Η τελευταία αυτή συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας αντιπροσωπεύει την ακατάλληλη ή ανεπιτυχή ανίχνευση της επικοινωνιακής πρόθεσης της μητέρας από τον νου του παιδιού: θα μπορούσε να γίνει η αναλογία –και αυτό αποτελεί ένα μόνο από τα δυνατά παραδείγματα– με τις περιπτώσεις όπου παρότι υφίσταται εκφρασμένη πρόθεση της μητέρας για διαμοιραζόμενη προσοχή, το παιδί είτε συνεχίζει να ασχολείται με αυτό που έκανε και πριν είτε παρακολουθεί άλλα ερεθίσματα του περιβάλλοντος (καθώς η τριάδα της εισροής για κάθε δοκιμασία, αποτελεί ένα μόνο τμήμα των ερεθισμάτων –ήχοι, αντικείμενα, δράσεις– που υφίστανται ταυτόχρονα). Τα δύο επίπεδα της RAL (low και high) μοντελοποιούνται ως η πιθανότητα να επιδράσουν τα παρατηρούμενα στην εκάστοτε στιγμή ζεύγη αντικειμένου/δράσης-λέξης στα υποδίκτυα λεξικής μάθησης (να τα ενεργοποιήσουν αποτελώντας πρότυπα στις εισόδους τους) ανεξάρτητα από την κατάσταση της πύλης/φίλτρου.

Εκτός από το πρόγραμμα σύνθεσης των αλληλουχιών εκπαίδευσης, άλλα αυτόνομα προγράμματα και μεμονωμένες ρουτίνες εντός του βασικού μηχανισμού εκπαίδευσης δημιουργήθηκαν στο Emergent για να ελέγχουν (ακόμα και για να τροποποιούν σε πραγματικό χρόνο) την εκπαίδευση, να δείχνουν στην κονσόλα της προσομοίωσης πληροφορίες γι' αυτήν (και για διάφορα κρίσιμα σημεία της), να δημιουργούν τους απαραίτητους πίνακες δεδομένων και να καταγράφουν σ' αυτούς την πορεία της προσομοίωσης και να συλλέγουν τα δεδομένα τα οποία στη συνέχεια θα υποστούν την διαδικασία ανάλυσης. Παρότι καταβλήθηκαν προσπάθειες για την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου βαθμού αυτοματοποίησης των διεργασιών, η πλήρης αυτοματοποίηση δεν ήταν εφικτή στο δεδομένο χρονικό διάστημα, συνεπώς ο χρήστης είναι απαραίτητο να ακολουθήσει μία σειρά ενεργειών για την απρόσκοπτη διενέργεια της κάθε προσομοίωσης. Εν συντομία αυτές είναι:

- 1) Αρχικοποίηση των παραμέτρων της συγκεκριμένης προσομοίωσης από τον κεντρικό πίνακα ελέγχου του μοντέλου που δημιουργήθηκε ακριβώς για τον έλεγχο παραμέτρων και μεταβλητών. Τα σημαντικά στοιχεία που χρειάζεται να επιλεγούν/τροποποιηθούν σε αυτό το στάδιο είναι: το κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης (ήταν ίδιο για όλη την μελέτη), το βασικό κατώφλι έναρξης ενεργοποίησης της πύλης, ο βαθμός της υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης και κυριότερα ο ρυθμός εξασθένησής της κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Ακόμη: το επίπεδο αξιοπιστίας, ο αριθμός των εποχών εκπαίδευσης και τέλος το επίπεδο παροχής μηνυμάτων (αποσφαλμάτωσης) στην κονσόλα. Το τελευταίο έχει τουλάχιστον 4 διαβαθμίσεις, από την μηδενική παροχή πληροφοριών έως την πλέον πλήρη, στην οποία για παράδειγμα εμφανίζονται στην κονσόλα το επίπεδο ενεργοποίησης του τελικού κόμβου της πύλης, η τρέχουσα πιθανότητα για ενεργοποίηση της πύλης, το αν τυχόν ενεργοποιήθηκε τυχαία συσχετιστική μάθηση από την προσομοίωση, τα αποτελέσματα των ελέγχων πρόβλεψης

για τα υποδίκτυα λεξικής μάθησης κ.ά. Στον πίνακα ελέγχου υπάρχουν και άλλες επιλογές και πεδία που σε συνήθεις συνθήκες δεν χρησιμοποιούνται.

2) Εκτέλεση του προγράμματος σύνθεσης των αλληλουχιών εκπαίδευσης (εντός του μοντέλου Emergent). Από την επιλογή του επιπέδου αξιοπιστίας που έγινε στο προηγούμενο στάδιο το πρόγραμμα αυτό φτιάχνει τις κατάλληλες αναλογίες συμβάντων. Στο τέλος της εκτέλεσης αυτού του προγράμματος ο χρήστης αποθηκεύει, στον φάκελο της συγκεκριμένης προσομοίωσης, τον παραγόμενο πίνακα των αλληλουχιών (για τυχόν χρήση σε μελλοντικές προσομοιώσεις) καθώς και τους αριθμούς για τους διάφορους τύπους συμβάντων που έχουν αποτυπωθεί στην κονσόλα.

3) Αρχικοποίηση του κυρίως προγράμματος της εκπαίδευσης του μοντέλου. Σε αυτό το στάδιο αρχικοποιούνται όλα τα βάρη σύνδεσης των υποδικτύων: τυχαία βάρη για τα υποδίκτυα λεξικής μάθησης και μηδενικά βάρη για τις 400 συνδέσεις των δύο επιπέδων της πύλης.

4) Εκτέλεση του προγράμματος εκπαίδευσης του μοντέλου για το σύνολο του προκαθορισμένου αριθμού εποχών. Στο τέλος κάθε εποχής γίνεται ένας πλήρης έλεγχος για όλες τις λέξεις. Οι ενεργοποιήσεις των κόμβων εξόδου των υποδικτύων μάθησης καταγράφονται σε σχετικό πίνακα (ο οποίος στο τέλος της προσομοίωσης επίσης αποθηκεύεται).

5) Στο τέλος της πορείας εκπαίδευσης εκτελείται το τελικό πρόγραμμα αξιολόγησης της επίδοσης του μοντέλου, το οποίο βάσει του πίνακα των ενεργοποιήσεων (από το προηγούμενο στάδιο) υπολογίζει τις επιδόσεις του μοντέλου ανά εποχή, ανά λεξική κατηγορία κ.ο.κ. Τα στοιχεία αποτυπώνονται στην κονσόλα και αποθηκεύονται μαζί με τα υπόλοιπα αρχεία (και άλλα δεδομένα όπως τα βάρη συνδέσεων κάθε εποχής) της προσομοίωσης. Βάσει αυτών των στοιχείων γίνονται οι στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων των προσομοιώσεων, όπως περιγράφεται πιο αναλυτικά παρακάτω.

Συλλογή, Επεξεργασία, Αναλύσεις Δεδομένων. Τα δεδομένα αντιμετωπίστηκαν γενικά ως χρονοσειρές. Με την χρήση των υπο-προγραμμάτων που δημιουργήθηκαν στο Emergent, συλλέγονται σε ακατέργαστη μορφή (παρ' όλα αυτά με έναν μορφότυπο διαχωρισμένου με κόμματα κειμένου, κατάλληλου για προβολή πίνακα) οι τιμές ενεργοποίησης των κόμβων εξόδου των υποδικτύων λεξικής μάθησης για το σύνολο των 40 λέξεων, οι οποίες καταγράφονται μέσω της ρουτίνας δοκιμασίας που εκτελείται στο τέλος κάθε εποχής εκπαίδευσης και φυλάσσονται σε ειδική μορφή αρχείου για κάθε πιθανή μελλοντική χρήση. Σύμφωνα με αυτόν τον πίνακα των ενεργοποιήσεων εξόδου, δομείται από ένα άλλο πρόγραμμα και προβάλλεται στην κονσόλα του Emergent, ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, αφότου αυτή ολοκληρωθεί, ο οποίος και αποτελεί την βασική πηγή δεδομένων για τις αναλύσεις. Ήδη ο πίνακας αυτός περιέχει για κάθε εποχή, τις πληροφορίες για τον συνολικό αριθμό των σωστά μαθημένων λέξεων, ξεχωριστά των ουσιαστικών και των ρημάτων, τον αριθμό σφαλμάτων και τα ποσοστά ορθής μάθησης για όλες τις λέξεις και για κάθε κατηγορία.

Οι πίνακες αυτοί μετασχηματίζονται σε πιο κατάλληλη μορφή με τη συνδυασμένη χρήση του MS Excel, του περιβάλλοντος ανάλυσης δεδομένων R και άλλων λογισμικών επεξεργασίας δεδομένων τύπου πίνακα (*tabular data*) και ενοποιούνται ανά ομάδα προσομοιώσεων έτσι ώστε να μπορούν να εισαχθούν στο Excel ή στο R για περαιτέρω περισσότερο περίπλοκη επεξεργασία ή εργασίες ανάλυσης.

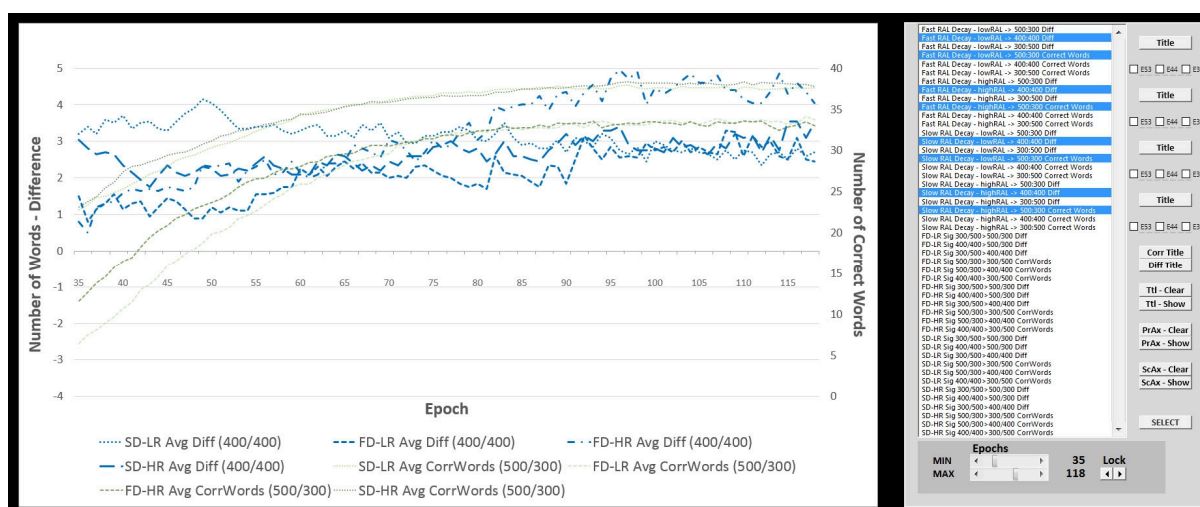
Από πλευράς ανάλυσης, τα περιγραφικά στατιστικά έχουν παραχθεί στο Excel. Για την πρώτη φάση της έρευνας, τα γραφήματα με τις καμπύλες εξέλιξης της λεξικής μάθησης για ξεχωριστά τις κατηγορίες λέξεων και για την εξέλιξη της ασυμμετρίας έχουν παραχθεί μέσω του R με κατάλληλα προγραμματισμένα scripts.

Στην δεύτερη φάση της έρευνας προτιμήθηκε η σχεδόν αποκλειστική χρήση του Excel για την πιο εύκολη συγκέντρωση όλων των διαφορετικών δεδομένων σε ενιαία αρχεία και

για τις δυνατότητες δυναμικού χειρισμού των δεδομένων και της απεικόνισής τους. Για να καθοριστεί αν όντως υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις καμπύλες εξέλιξης του κάθε μεγέθους ανάμεσα στις συνθήκες που ενδιαφέρουν τα ερωτήματα της έρευνας, ανά δύο, υιοθετήθηκε μία προσέγγιση σύγκρισης των διαφορών των μέσων τιμών για κάθε εποχή μέσω ξεχωριστών δοκιμασιών Student's t μίας κατεύθυνσης με την χρήση της ειδικής συνάρτησης του Excel. Για τον έλεγχο της ομοσκεδασιμότητας, δηλαδή της ομοιόμορφης διακύμανσης ανάμεσα στα εκάστοτε δύο δείγματα, πριν το κάθε t-test διενεργούνταν ένα F-test για τη σύγκριση των δύο διακυμάνσεων. Ανάλογα με το αποτέλεσμα του F-test επιλέγονταν ο τύπος του t-test (για ομοιόμορφες ή μη διακυμάνσεις) που απαιτείται. Η όλη διαδικασία, συμπεριλάμβανε αρκετές χιλιάδες δοκιμασιών για το σύνολο των συγκρίσεων καμπυλών εξέλιξης μέσων τιμών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Ως εκ τούτου αυτοματοποιήθηκε με κώδικα VBA (Visual Basic for Applications) ο οποίος καθοδηγεί και την καταγραφή των αποτελεσμάτων (π.χ. του αν το t-test κατέληξε σε στατιστικώς σημαντικό αποτέλεσμα ή όχι) σε πίνακες για την περαιτέρω επεξεργασία και απεικόνισή τους.

Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε η δημιουργία στο Excel –πάλι με την χρήση VBA– ενός δυναμικού περιβάλλοντος παραγωγής γραφημάτων με δυνατότητα ελεύθερης επιλογής των συνθηκών και των μεγεθών από το σύνολο όλων των σχετικών δεδομένων σε όποιον συνδυασμό είναι επιθυμητός. Αυτό διασφαλίζει την ομοιομορφία των γραφημάτων καθώς και την χρήση του ίδιου περιβάλλοντος για ανάγκες παρουσίασης των αποτελεσμάτων ή εύκολης γραφικής διερεύνησής τους από κάποιον χρήστη που χειρίζεται το συγκεκριμένο αρχείο Excel (αφότου το παραλάβει από το ειδικό αποθετήριο) χωρίς να χρειάζεται να υπεισέλθει σε τεχνικά απαιτητικούς χειρισμούς ή να περιδιαβεί σε ένα πλήθος διαφορετικών φύλλων ή οθονών. Στις ευκολίες γραφικής διαχείρισης των δεδομένων προσθέτει και η ειδική λειτουργία επιλογής χρονικού εύρους η οποία ενσωματώθηκε προγραμματιστικά και η οποία επιτρέπει την επιλογή αρχικού και τελικού σημείου της

διαδικασίας εκπαίδευσης που ο χρήστης επιλέγει να εστιάσει καθώς και την σε πραγματικό χρόνο μετακίνηση του εύρους τόσο για τα δύο ακραία σημεία όσο και για το σύνολό του, δημιουργώντας έτσι ένα μετακινούμενο χρονικό πλαίσιο παρακολούθησης της εξέλιξης της προσομοίωσης για τα χαρακτηριστικά που έχουν επιλεγεί. Στην Εικόνα 6 παρακάτω, υπάρχει μία αποτύπωση αυτού του δυναμικού περιβάλλοντος, παραγωγής και διαχείρισης γραφημάτων, με την επιφάνεια απεικόνισης και τον πίνακα ελέγχου με τα χειριστήρια.



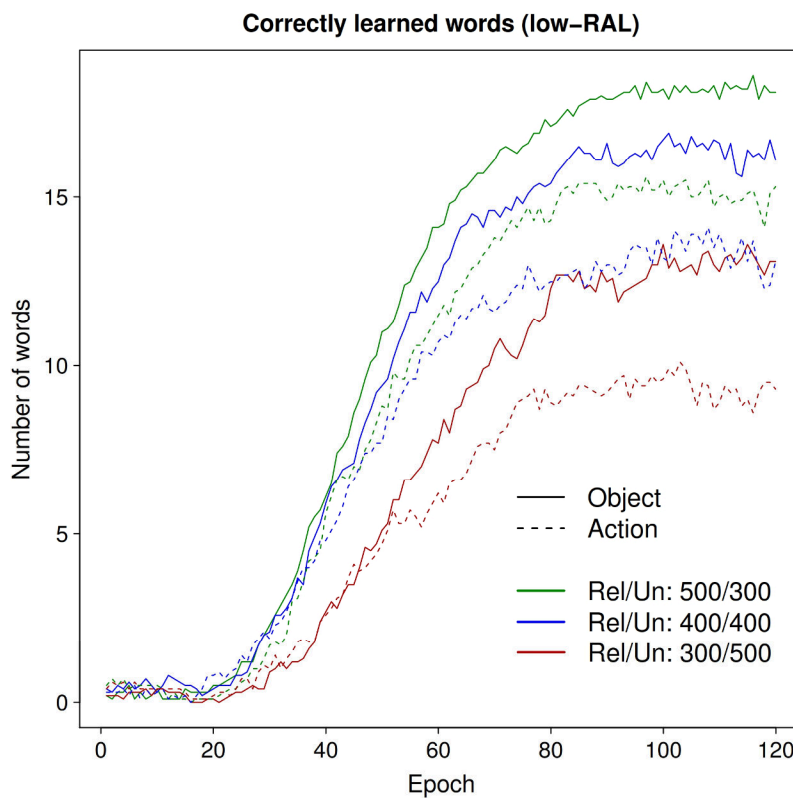
Εικόνα 6. Το περιβάλλον δυναμικής δημιουργίας και διαχείρισης γραφημάτων δημιουργημένο στο Excel με VBA.

Προσομοιώσεις I – Ενδογενές Κριτήριο Μάθησης

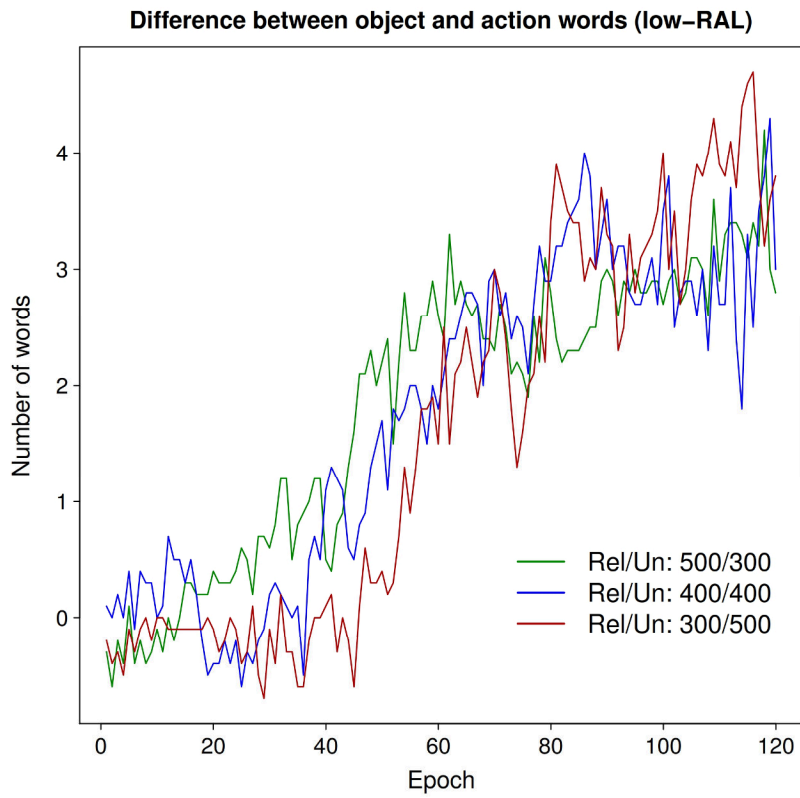
Για την ομάδα αυτή των πειραμάτων, υιοθετήθηκε το ενδογενές κριτήριο μάθησης, το οποίο αξιολογεί, σε πραγματικό χρόνο, σε κάθε δοκιμασία, την πρόβλεψη λέξης που κάνει το υποσύστημα λεξικής μάθησης, οδηγώντας στην παραγωγή ενός σήματος ανταμοιβής ή τιμωρίας προς το υποσύστημα του φίλτρου/πύλης για το προηγούμενο συμβάν, σύμφωνα με τον τυπικό τρόπο λειτουργίας του μοντέλου όπως περιγράφηκε παραπάνω. Διενεργήθηκαν 10 προσομοιώσεις από 120 εποχές για καθεμιά από τις 6 συνθήκες, δηλαδή για κάθε συνδυασμό των 2 επιπέδων διαμοιραζόμενης προσοχής με τα 3 επίπεδα υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης. Σημειώνεται ότι στην πρώτη φάση της έρευνας υιοθετήθηκε μόνο η

τυπική εκδοχή για την εξασθένηση της συσχετιστικής μάθησης, δηλαδή η τιμή των περίπου 5000 δοκιμασιών για την επίτευξη της RAL ή αλλιώς η γρήγορη εξασθένηση. Συνεπώς, διενεργήθηκαν 60 συνολικά προσομοιώσεις με τις παραπάνω ρυθμίσεις.

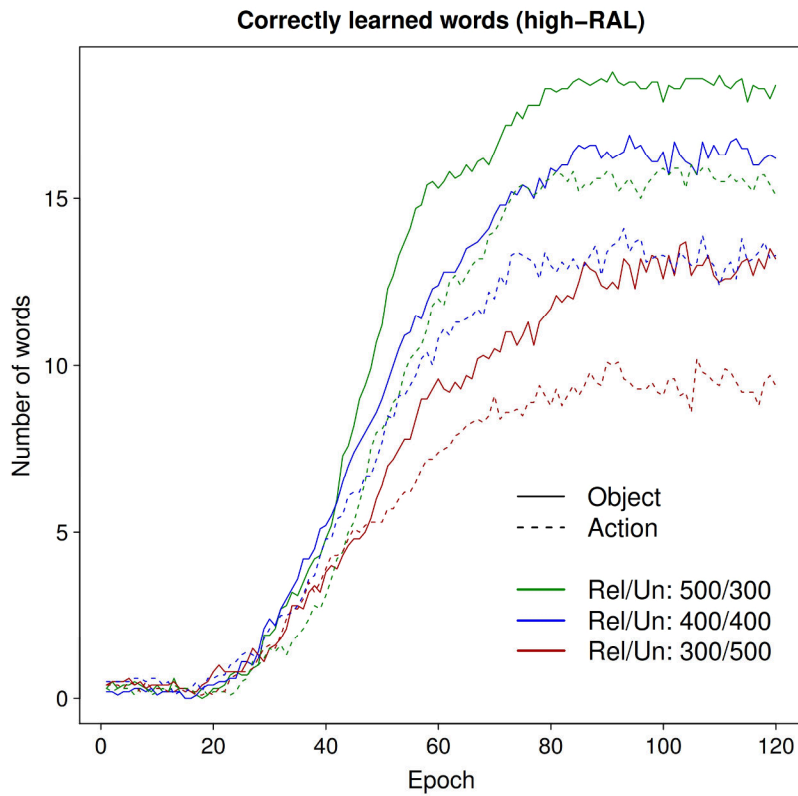
Αποτελέσματα - Συζήτηση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω, στην Εικόνα 7 (για τη συνθήκη low RAL) για τον αριθμό των ορθά μαθημένων αντικειμένων/ουσιαστικών και δράσεων/ρημάτων ανά εποχή και στην Εικόνα 8 για το μέγεθος της διαφοράς ανάμεσα στα ορθά μαθημένα ουσιαστικά και στα ορθά μαθημένα ρήματα ανά εποχή και στις Εικόνες 9 και 10 τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τη συνθήκη high RAL.



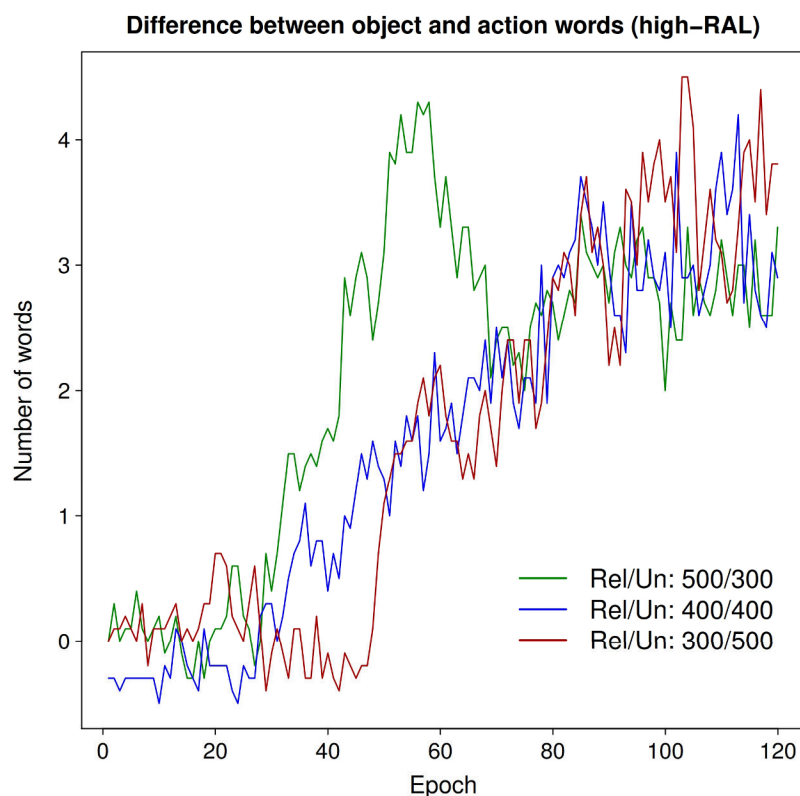
Εικόνα 7. Απεικονίζονται οι καμπύλες λεξικής μάθησης για ουσιαστικά και ρήματα για τις τρεις συνθήκες αξιοπιστίας του επιπέδου low RAL.



Εικόνα 8. Το γράφημα απεικονίζει τις καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις τρεις συνθήκες αξιοπιστίας του επιπέδου low RAL.



Εικόνα 9. Στο γράφημα απεικονίζονται οι καμπύλες λεξικής μάθησης για ουσιαστικά και ρήματα για τις τρεις συνθήκες αξιοπιστίας του επιπέδου high RAL. Είναι εμφανές ότι για τη συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας η κλίση της καμπύλης μάθησης για τα ουσιαστικά συνεχίζει να είναι θετική και στο τέλος της εκπαίδευσης ενώ η καμπύλη μάθησης για τα ρήματα έχει επιπεδωθεί.



Εικόνα 10. Το γράφημα απεικονίζει τις καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις τρεις συνθήκες αξιοπιστίας του επιπέδου high RAL.

Είναι φανερό ότι και στις δύο συνθήκες RAL, η ελάττωση στην αξιοπιστία των επικοινωνιακών ενεργημάτων της μητέρας (όπως μοντελοποιείται κυρίως από τη συνθήκη Rel/Un -> 300:500 και λιγότερο από τη συνθήκη Rel/Un -> 400:400 σε σύγκριση με την «τυπική» συνθήκη με λόγο Rel/Un -> 500:300) δεν δείχνει να αυξάνει αξιοσημείωτα τη διαφορά ανάμεσα στα ουσιαστικά και στα ρήματα. Επομένως: η αποτυχία της διαμοιραζόμενης προσοχής δεν παράγει ένα προφίλ συμβατό με ΔΑΦ. Παρ' όλα αυτά παρατηρείται μία τάση για μία αυξημένη απόκλιση ανάμεσα στις μαθημένες λέξεις αντικειμένων και στις λέξεις δράσεων προς το τέλος της εκπαίδευσης, όμως η κατάσταση απέχει πολύ από το να είναι ξεκάθαρη για τον αριθμό των διενεργηθέντων εποχών εκπαίδευσης. Καθώς αυτό το πρότυπο ελαφρώς διαφοροποιημένης ασυμμετρίας συμβαίνει αρκετά μακριά από την οροφή της συμπεριφοράς του συστήματος (μπορεί να παρατηρηθεί

ότι τουλάχιστον για την ασυμμετρία η κλίση της καμπύλης παραμένει θετική έως και τις τελευταίες εποχές εκπαίδευσης), ίσως υποδεικνύει το εύλογο της περαιτέρω μελέτης του φαινομένου με την εφαρμογή ενός περισσότερο παρατεταμένου σχήματος εκπαίδευσης (και πιθανώς με μεγαλύτερο αριθμό προσομοιώσεων), κατεύθυνση προς την οποία συγκλίνει και η υψηλή διακύμανση η οποία παρατηρείται στα δεδομένα.

Ένα ακόμη φαινόμενο το οποίο εμφανίστηκε κυρίως στη συνθήκη high RAL είναι μία διόγκωση της ασυμμετρίας ουσιαστικών-ρημάτων στην συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας (η οποία αντιστοιχεί στα TA παιδιά σύμφωνα με τις παραδοχές της μοντελοποίησης) προς το μέσο της διαδικασίας εκπαίδευσης. Δεν είναι ξεκάθαρο αν μπορεί να ερμηνευτεί σύμφωνα με αναπτυξιακούς όρους ή αν οφείλεται σε κάποιο φαινόμενο οροφής (ceiling effect).

Επιπρόσθετα, και στις δύο συνθήκες RAL, παρατηρείται μία πολύ ελαττωμένη διαφορά (ακόμα και συμμετρία) ανάμεσα στα μαθημένα ουσιαστικά και στα μαθημένα ρήματα κατά τη διάρκεια του 1/3 περίπου του χρόνου εκπαίδευσης, στις συνθήκες χαμηλής και μέτριας αξιοπιστίας, παρόλη την ασυμμετρία που χαρακτηρίζει την εισροή. Πιθανώς αυτό παραπέμπει στο ότι ο μηχανισμός συσχετιστικής μάθησης, ο οποίος είναι περισσότερο ενεργός (μεγαλύτερες τιμές πιθανότητας) στην έναρξη της εκπαίδευσης, ουσιαστικά εξισορροπεί αυτή τη διαφορά συχνοτήτων στην εισροή των ερεθισμάτων.

Τελικά θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο σύνολο των 60 προσομοιώσεων έχει υιοθετηθεί μία χαμηλή τιμή για το βασικό κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης, δηλαδή για την κατώτερη τιμή της ενεργοποίησης του κόμβου εξόδου της πύλης για την ελάχιστη πιθανότητα για σήμα ανοίγματος των υποδικτύων λεξικής μάθησης. Η πιθανότητα αυτή, όπως ήδη έχει αναφερθεί, αυξάνεται βαθμιαία έως ότου φτάσει στο 100%, στην τιμή ενεργοποίησης πύλης, για έναν τύπο συμβάντος, ίσης με 0.55 (το απόλυτο κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης). Αυτό οδήγησε σε έναν μεγαλύτερο αριθμό από συμβάντα, εκτός των MOTHER-TALK, που μπόρεσαν να ενεργοποιήσουν το σύστημα λεξικής μάθησης καθ' όλη τη διάρκεια της

εκπαιδευτικής διαδικασίας, κάτι που αποτελεί έναν συνεχή μηχανισμό δημιουργίας θορύβου, πιθανότατα καθιστώντας τη συμπεριφορά του μοντέλου περισσότερο αμφίσημη με τις ατομικές διαφορές (ανάμεσα στις διαφορετικές προσομοιώσεις) να είναι μεγάλες. Η έννοια της «χαμηλής» τιμής αναφέρεται στη σύγκριση με την τιμή 0.46 που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις με το εξωγενές κριτήριο μάθησης. Στην περίπτωση του ενδογενούς κριτηρίου μάθησης, οι αρχικές δοκιμαστικές προσομοιώσεις υπέδειξαν μία μεγάλη δυσκολία να επιτευχθεί το bootstrapping –όπως μπορεί να αξιολογηθεί από την επίτευξη της πλήρους αναγνώρισης των μητρικών ομιλιακών ενεργημάτων ως κατάλληλες ευκαιρίες μάθησης. Έτσι επιλέχθηκε η ελάττωση αυτού του κατωφλιού στο 0.45, η οποία δίνει την ελάχιστη πιθανότητα ανοίγματος του συστήματος λεξικής μάθησης, ενδεχομένως σε όλα τα συμβάντα που αποτελούν είσοδο για την πύλη, καθώς για όλα ισχύει μία αρχική ενεργοποίηση ανάμεσα στις τιμές 0.45 και 0.46.

Αναφορικά στην απόδοση του μηχανισμού της πύλης, αυτή έφτασε στο 100%, για τη ρύθμιση low-RAL, σε έναν μέσο αριθμό 147k δοκιμασιών ($SD = 23k$) στη συνθήκη 300:500, σε 113k δοκιμασίες ($SD = 19k$) στη συνθήκη 400:400 και σε 114k δοκιμασίες ($SD = 20k$) στη συνθήκη 500:300. Για τη ρύθμιση high-RAL, το 100% της απόδοσης του φίλτρου κατορθώθηκε σε μέσο αριθμό 130k ($SD = 21k$), 121k ($SD = 26k$) και 120k ($SD = 18k$) δοκιμασιών στις τρεις συνθήκες αντίστοιχα. Παρόλη την υψηλή διακύμανση, το μοντέλο φαίνεται ότι δυσκολεύεται περισσότερο να υπερισχύσει πάνω στο φορτίο της χαμηλής αξιοπιστίας (λόγος 300:500) με συνθήκες low-RAL παρά με συνθήκες high-RAL, και αυτό υποδεικνύει τη συνεισφορά του μηχανισμού συσχετιστικής μάθησης στο να ξεπεραστεί η χαμηλή αξιοπιστία των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων και να μπορέσουν αυτά να ανιχνευτούν σωστά ως επικοινωνιακές προθέσεις.

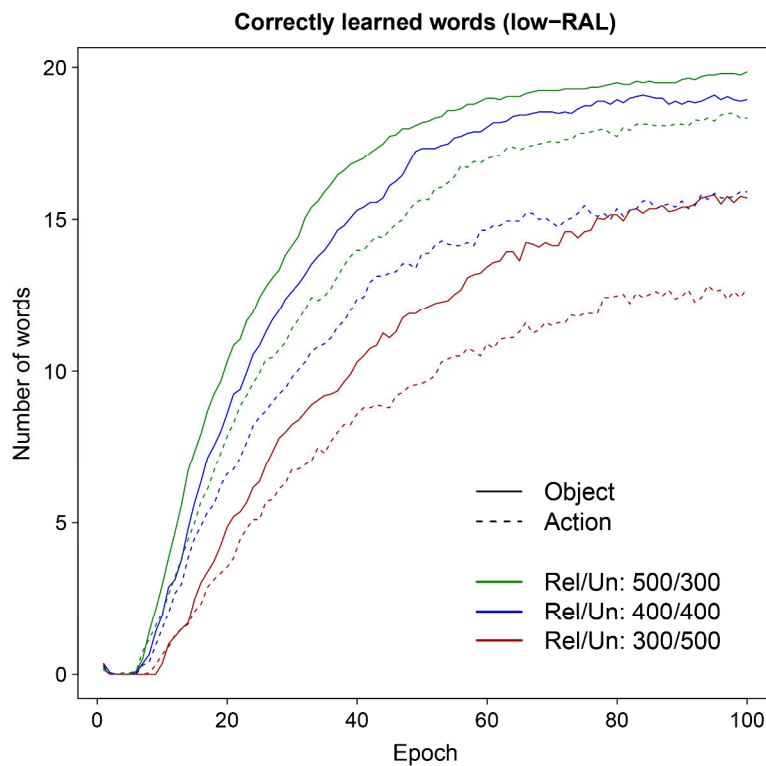
Προσομοιώσεις II – Εξωγενές Κριτήριο Μάθησης

Μία επιπλέον ομάδα προσομοιώσεων έδωσε τη δυνατότητα διερεύνησης ακόμα μεγαλύτερου τμήματος του πλήρους εύρους των συμπεριφορών του μοντέλου. Σε αυτές υιοθετήθηκε ένα *εξωγενές κριτήριο* μάθησης, στο οποίο το σήμα ανταμοιβής (για τις ορθές αντιστοιχίσεις) έρχεται ήδη εγγεγραμμένο (hardcoded) στις γραμμές της εισροής, έτσι ώστε περισσότερο να ιχνηλατείται η καθαυτή επικοινωνιακή αξιοπιστία παρά η ικανότητα ορθής πρόβλεψης των λέξεων (που είναι το μέτρο της απόδοσης της μάθησης) από το λεξικό υποσύστημα. Πρόκειται για μία προσέγγιση που σίγουρα γεννά προβληματισμούς σχετικά με την οικολογική της εγκυρότητα, όμως επαυξάνει την κατανόηση για την λειτουργία και την συμπεριφορά του συστήματος.

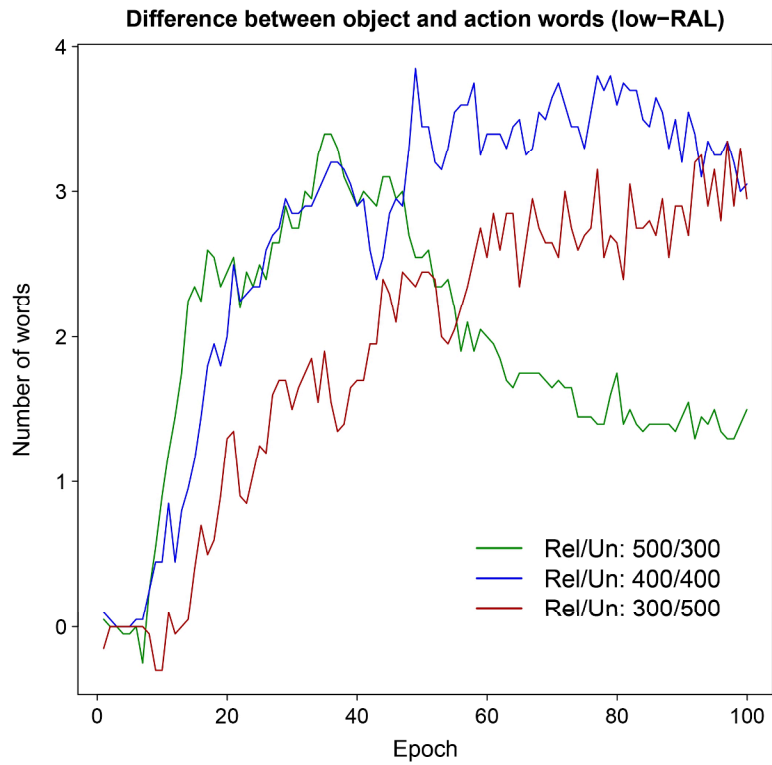
Διενεργήθηκαν 20 προσομοιώσεις από 100 εποχές για καθεμιά από τις 6 συνθήκες (οι ίδιες με την προηγούμενη ομάδα προσομοιώσεων). Η τιμή για το βασικό κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης ήταν 0.46.

Αποτελέσματα- Συζήτηση. Όπως φαίνεται στις Εικόνες 11 και 13 παρακάτω, η λεξική μάθηση για το επίπεδο 300:500 δεν φτάνει στο υψηλότερο επίπεδο με το πέρας των 100 εποχών, καθόσον για τις δύο άλλες συνθήκες (400:400 και 500:300) η απόκτηση καινούργιων λέξεων έχει ήδη φτάσει σε οροφή. Αυτό το μοτίβο είναι ιδιαίτερα παρατηρήσιμο στη συνθήκη high RAL. Ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να παρατηρηθεί στα γραφήματα της εξέλιξης της ασυμμετρίας (Εικόνες 12 και 14 παρακάτω) είναι ότι για τη συνθήκη 500:300 η ασυμμετρία ελαττώνεται περίπου από το ένα τρίτο των εποχών εκπαίδευσης και ύστερα παρότι ο ρυθμός λεξικής απόκτησης για τα ουσιαστικά δεν έχει ακόμα επιπεδωθεί (μηδενιστεί). Η καμπύλη εξέλιξης της ασυμμετρίας για τη συνθήκη 400:400, για το ίδιο διάστημα των δύο τελευταίων τρίτων της εκπαίδευσης και ειδικά για τη συνθήκη high RAL (Εικόνα 14) ακολουθεί μία περισσότερο παράδοξη πορεία, αυξανόμενη μέχρι ενός σημείου και μετά πέφτοντας απότομα. Εντέλει, για τη συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας, και για τα δύο επίπεδα RAL, για το 1/3 στην αρχή της εκπαίδευσης η

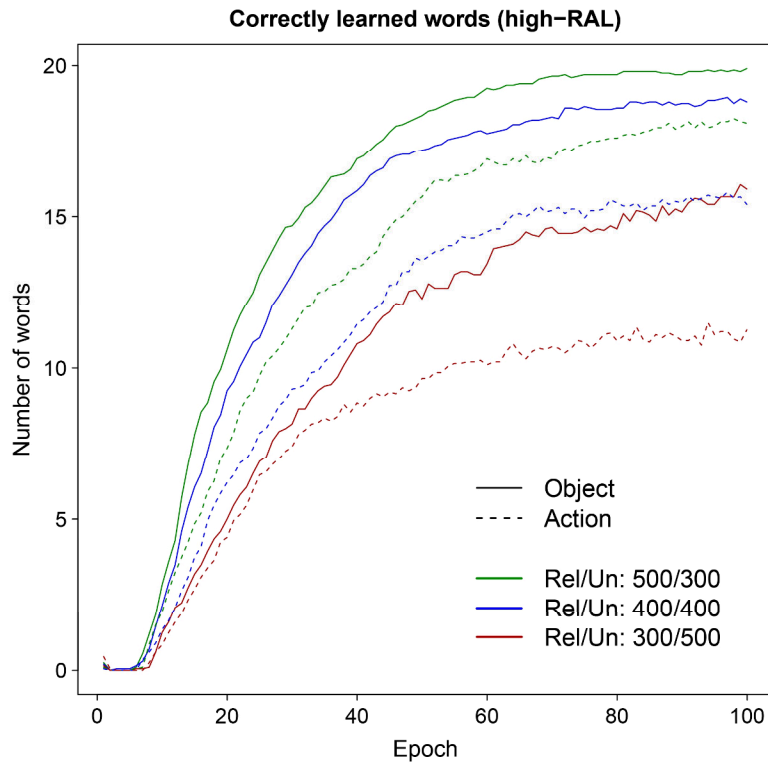
ασυμμετρία είναι μικρότερη τόσο από την συνθήκη ενδιάμεσης αξιοπιστίας όσο και για τη συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας. Παρ' όλα αυτά, προς το τέλος της εκπαίδευσης (στα τελευταία 2/3 περίπου), στο επίπεδο low RAL η ασυμμετρία για τη χαμηλή αξιοπιστία είναι μεγαλύτερη από αυτή της συνθήκης υψηλής αξιοπιστίας για την low RAL, ενώ για την high RAL η ασυμμετρία της χαμηλής αξιοπιστίας είναι μεγαλύτερη (αυξανόμενη) και από τις δύο άλλες συνθήκες, κάτι που παραπέμπει σε ένα προφίλ ΔΑΦ.



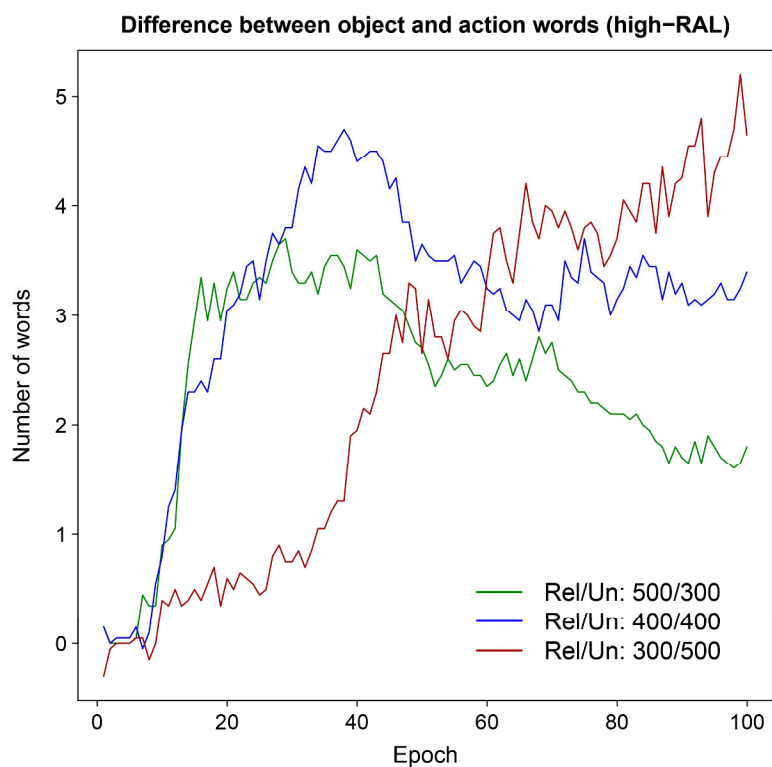
Εικόνα 11. Απεικονίζονται οι καμπύλες λεξικής μάθησης, ξεχωριστά για ουσιαστικά και ρήματα για την προσέγγιση της εξωγενούς ανταμοιβής, στις 3 συνθήκες low RAL.



Εικόνα 12. Το γράφημα απεικονίζει τις καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για την ομάδα προσομοιώσεων της εξωγενούς ανταμοιβής στις 3 συνθήκες low RAL.



Εικόνα 13. Απεικονίζονται οι καμπύλες λεξικής μάθησης, ξεχωριστά για ουσιαστικά και ρήματα για την προσέγγιση της εξωγενούς ανταμοιβής, στις 3 συνθήκες high RAL.

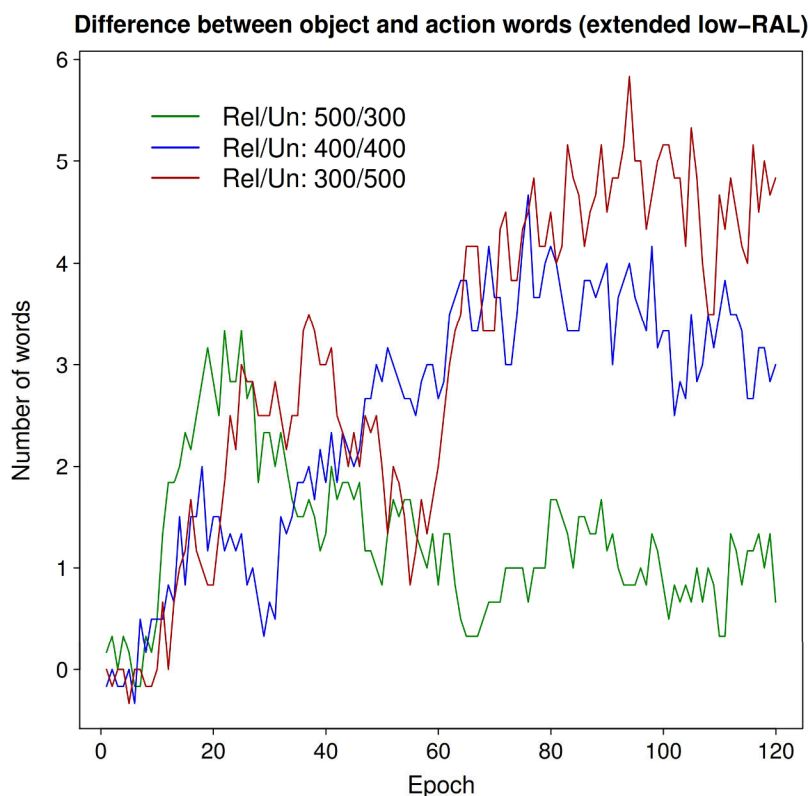


Εικόνα 14. Το γράφημα απεικονίζει τις καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για την ομάδα προσομοιώσεων της εξωγενούς ανταμοιβής στις 3 συνθήκες high RAL. Η μεγαλύτερη ασυμμετρία της συνθήκης χαμηλής αξιοπιστίας (300:500) σε σύγκριση με τις άλλες δύο, παραπέμπει σε ένα προφίλ λεξικής μάθησης τύπου ΔΑΦ.

Προσομοιώσεις ΙΙΙ – Καθυστερημένη Εξασθένηση Συσχετιστικής Μάθησης

Διερευνώντας τον ρόλο του χρόνου που απαιτείται για να φτάσει η υπολειμματική συσχετιστική μάθηση στο κατώτερο σημείο της, ήδη στο (Vinos et al., 2016) που αφορά στην πρώτη φάση της έρευνας έχει αναφερθεί η διενέργεια κάποιων πιλοτικών προσομοιώσεων με καθυστερημένη εξασθένηση της RAL, οι οποίες έδωσαν ενδείξεις για προσέγγιση του προφίλ της ΔΑΦ, όταν ο χρόνος εξασθένησης αυξηθεί στη δεκαπλάσια τιμή από τις προηγούμενες προσομοιώσεις, δηλαδή γίνει ίσος με 50000 δοκιμασίες, μία επιλογή που συνάδει με τον μεγαλύτερο ρόλο που παίζει η συσχετιστική μάθηση σε αυτά τα παιδιά όπως υποστηρίζεται από τμήμα της σχετικής βιβλιογραφίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί

(Luyster & Lord, 2009). Με αυτήν την δοκιμαστική ρύθμιση έγιναν 6 πιλοτικές προσομοιώσεις για κάθε συνθήκη, μόνο για την low RAL, με αριθμό εποχών εκπαίδευσης ίσο με 120 και με τιμή για το κατώτερο κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης ίσο με 0.46. Οι καμπύλες ασυμμετρίας για αυτές τις προσομοιώσεις φαίνονται στην Εικόνα 15 παρακάτω, όπου μπορεί να παρατηρηθεί το μεγαλύτερο μέγεθος της ασυμμετρίας της συνθήκης χαμηλής αξιοπιστίας σε σχέση με τα άλλα δύο επίπεδα.



Εικόνα 15. Το γράφημα απεικονίζει την καμπύλη της διαφοράς ουσιαστικών-ρημάτων για την πιλοτική σειρά προσομοιώσεων με επέκταση του χρόνου εξασθένησης της υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης στις 50000 δοκιμασίες.

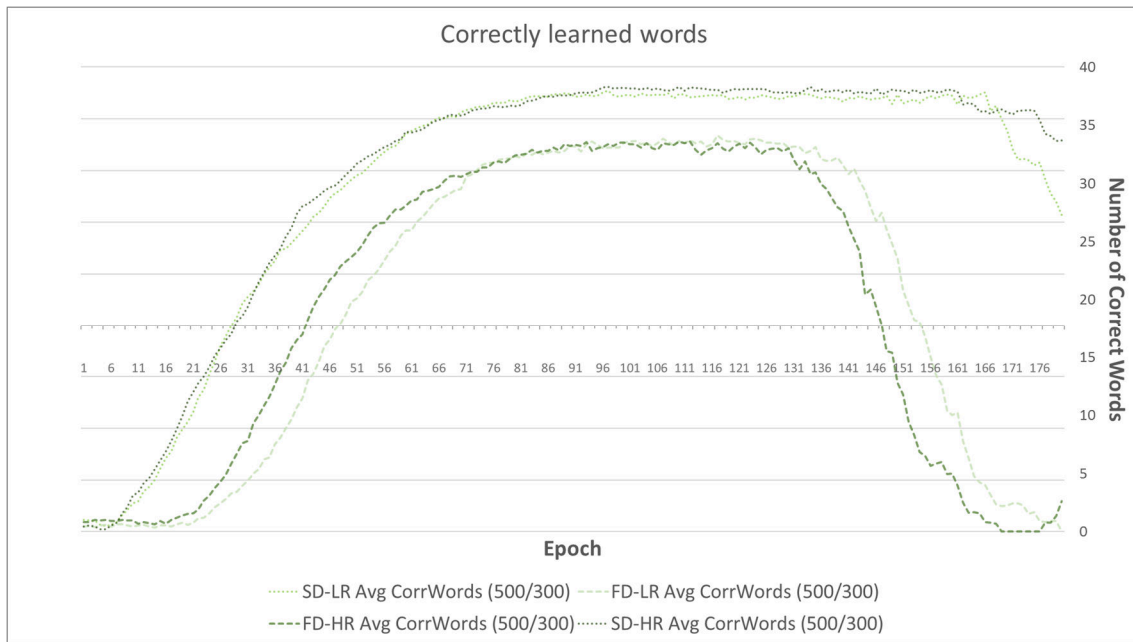
Για την περαιτέρω διερεύνηση αυτής της κατεύθυνσης επιλέχθηκε η διενέργεια μίας σειράς πλήρων προσομοιώσεων που θα βοηθούσε στην απόκτηση μίας ολοκληρωμένης εικόνας για όλες τις συνθήκες, σε παρατεταμένο χρόνο εκπαίδευσης ώστε να δοθεί η ευκαιρία αποτύπωσης όλων των συμπεριφορών του συστήματος καθώς και η δυνατότητα

αξιόπιστης σύγκρισης μεταξύ όλων των διαφορετικών συνθηκών. Διενεργήθηκαν 20 προσομοιώσεις για καθεμία από τις 12 συνθήκες: 2 [γρήγορη και καθυστερημένη εξασθένηση] x 2 [low RAL και high RAL] x 3 [αναλογία 300:500, 400:400 και 500:300 για τα επίπεδα αξιοπιστίας]. Η τιμή για το κατώτερο κατώφλι ενεργοποίησης της πύλης ήταν 0.46 (το απόλυτο κατώφλι εξακολούθησε να είναι στο 0.55). Για την καθεμία από τις 240 καινούργιες προσομοιώσεις, ο αριθμός των εποχών εκπαίδευσης ήταν 180.

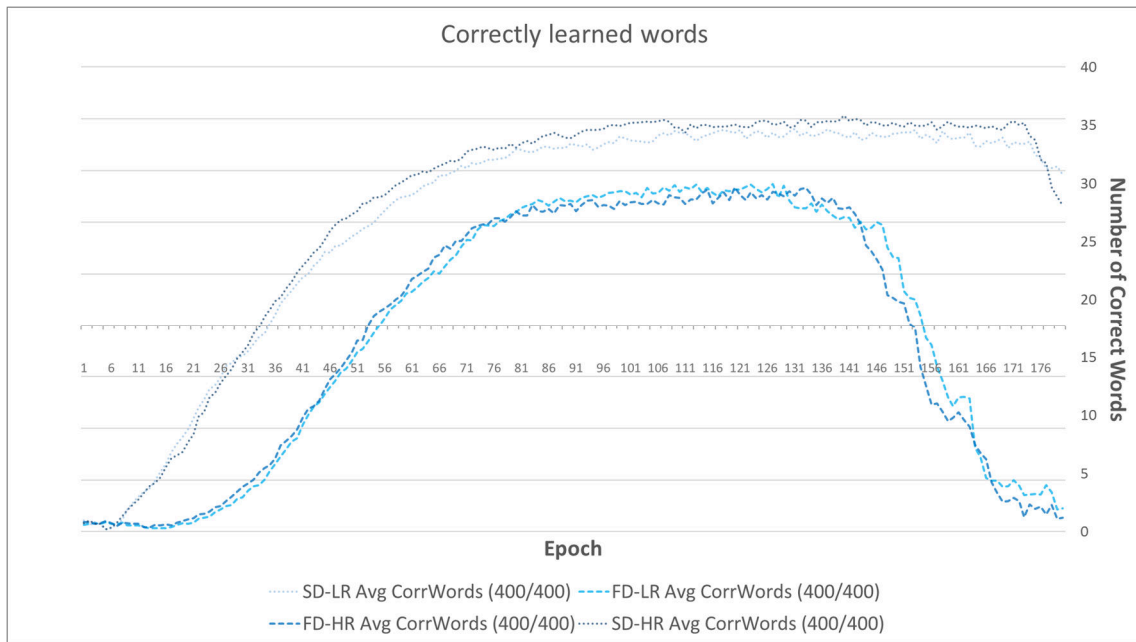
Αποτελέσματα- Συζήτηση. Καταρχάς θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει σαφώς διαφορά στη συμπεριφορά του μοντέλου ανάμεσα στις δύο ομάδες προσομοιώσεων που διακρίνονται από τον χρόνο εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης. Οι διαφορές αυτές σημειώνονται σε ποικίλους τομείς: την απόδοση του λεξικού υποσυστήματος, την εξέλιξη της ασυμμετρίας, την απόδοση και γενικότερη συμπεριφορά του φίλτρου/πύλης –όπως μπορούν να αξιολογηθούν τόσο από το σημείο της εκπαίδευσης όπου το σύστημα φτάνει στην ολοκληρωτική αναγνώριση των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων ως βέλτιστες ευκαιρίες μάθησης, όσο και από το κατά πόσο αναγνωρίζονται και άλλα συμβάντα ως σήματα αξιοπιστίας. Ειδικά για το τελευταίο, είναι χαρακτηριστικό ότι καθώς η εκπαίδευση προχωράει ξεπερνώντας συνήθως τις 150 εποχές, παρατηρείται ότι αναγνωρίζονται από την πύλη επιπλέον συμβάντα από το MOTHER-TALK (άλλοι συνδυασμοί εννοιών αντικειμένου-δράσης) και ο τελικός κόμβος της δίνει για όλα αυτά τα συμβάντα, σε όλες τις περιστάσεις, σήμα ανοίγματος του υποσυστήματος λεξικής μάθησης. Ο αριθμός των συμβάντων αυτών μπορεί να φτάσει και τα 15. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνεται η προμοδότηση μη αξιόπιστων περιστάσεων και ότι το σύστημα θα απο-εκπαιδεύεται για κάποιες λέξεις. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται με μεγαλύτερη συχνότητα στις συνθήκες μεγάλης αξιοπιστίας (500:300) απ' ό,τι σ' αυτές με ενδιάμεση ή χαμηλή αξιοπιστία και περισσότερο στη γρήγορη εξασθένηση της συσχετιστικής μάθησης παρά στην καθυστερημένη. Περαιτέρω

ανάλυση αυτής της συμπεριφοράς μπορεί να ρίξει περισσότερο φως σε αυτήν την αλληλεπίδραση συσχετιστικής μάθησης, απόδοσης πύλης και απόδοσης λεξικής μάθησης.

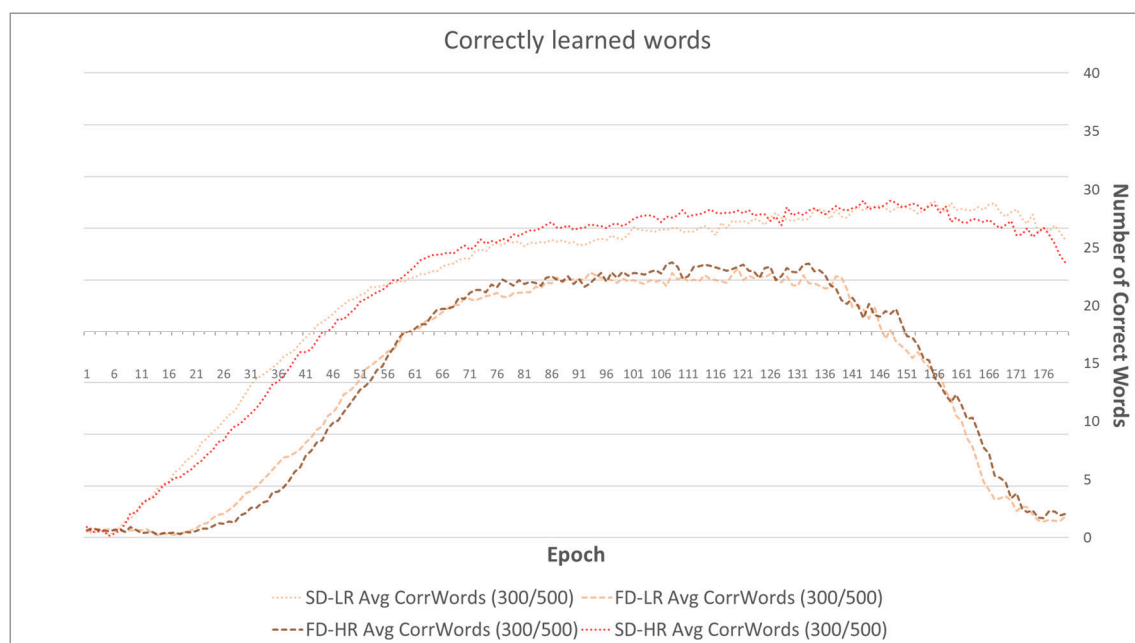
Αναφορικά στην απόδοση της λεξικής μάθησης, φαίνεται σαφώς ότι η καθυστέρηση της εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης βελτιστοποιεί την σωστή μάθηση των λέξεων και έτσι ενώ στην γρήγορη εξασθένηση το υποσύστημα μάθησης λέξεων αρχίζει και χάνει τις λέξεις που έχει μάθει περίπου στις 125-130 εποχές εκπαίδευσης, κατά την καθυστερημένη εξασθένηση το σύστημα συνεχίζει να διατηρεί τις ήδη μαθημένες λέξεις έως και τις 160 με 170 εποχές εκπαίδευσης και μάλιστα στη συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας η κλίση της καμπύλης μάθησης των λέξεων συνεχίζει να είναι ελαφρώς θετική έως περίπου το ίδιο σημείο (Εικόνα 18 παρακάτω). Βέβαια, μάλλον το σημαντικότερο στοιχείο είναι ότι καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαίδευσης ο συνολικός αριθμός μαθημένων λέξεων σε όλες τις συνθήκες της καθυστερημένης εξασθένησης είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτόν στις αντίστοιχες συνθήκες της γρήγορης εξασθένησης. Για παράδειγμα, και όπως φαίνεται στην Εικόνα 16 παρακάτω, ενώ το σύνολο των μαθημένων λέξεων στη συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας + low RAL με γρήγορη εξασθένηση φτάνει σε μέση τιμή λίγο παραπάνω από τις 34 λέξεις, στη συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας + high RAL με καθυστερημένη εξασθένηση, ξεπερνάει τις 38 λέξεις. Οι παρακάτω Εικόνες, 16, 17 και 18, απεικονίζουν η καθεμία, συγκριτικά τις 4 συνθήκες για το ίδιο επίπεδο αξιοπιστίας. Γενικά παρατηρείται ότι ανά δύο οι συνθήκες για το ίδιο επίπεδο καθυστέρησης της εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, εκτός ίσως από τις δύο συνθήκες, low και high RAL της υψηλής αξιοπιστίας 500:300 για την γρήγορη καθυστέρηση, όπου η low RAL παρουσιάζει κάποια καθυστέρηση τόσο για την άνοδο όσο και για την καθοδική της φάση σε σχέση με την high RAL (Εικόνα 16).



Εικόνα 16. Οι τέσσερις καμπύλες των σωστά μαθημένων λέξεων, για το επίπεδο υψηλής αξιοπιστίας –500:300– για τις δύο συνθήκες γρήγορης εξασθένησης και τις δύο συνθήκες καθυστερημένης εξασθένησης. (SD: Slow [Delayed] Decay, FD: Fast Decay, LR: low RAL, HR: high RAL)

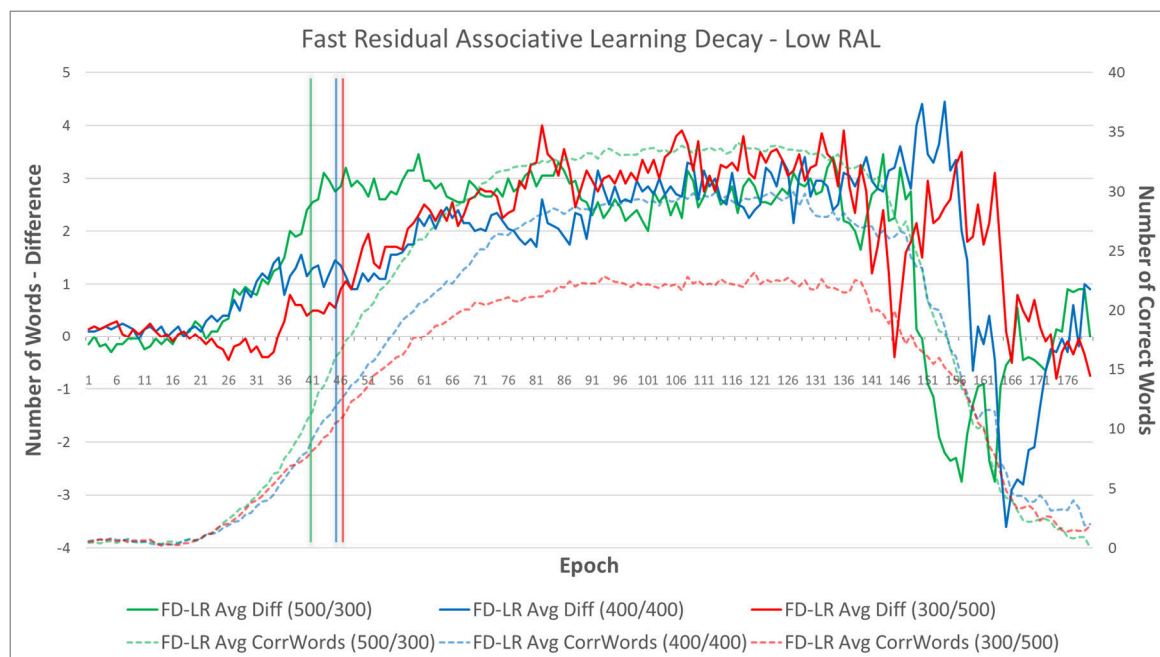


Εικόνα 17. Οι τέσσερις καμπύλες των σωστά μαθημένων λέξεων, για το επίπεδο ενδιάμεσης αξιοπιστίας –400:400– για τις δύο συνθήκες γρήγορης εξασθένησης και τις δύο συνθήκες καθυστερημένης εξασθένησης. (SD: Slow Decay, FD: Fast Decay, LR: low RAL, HR: high RAL)

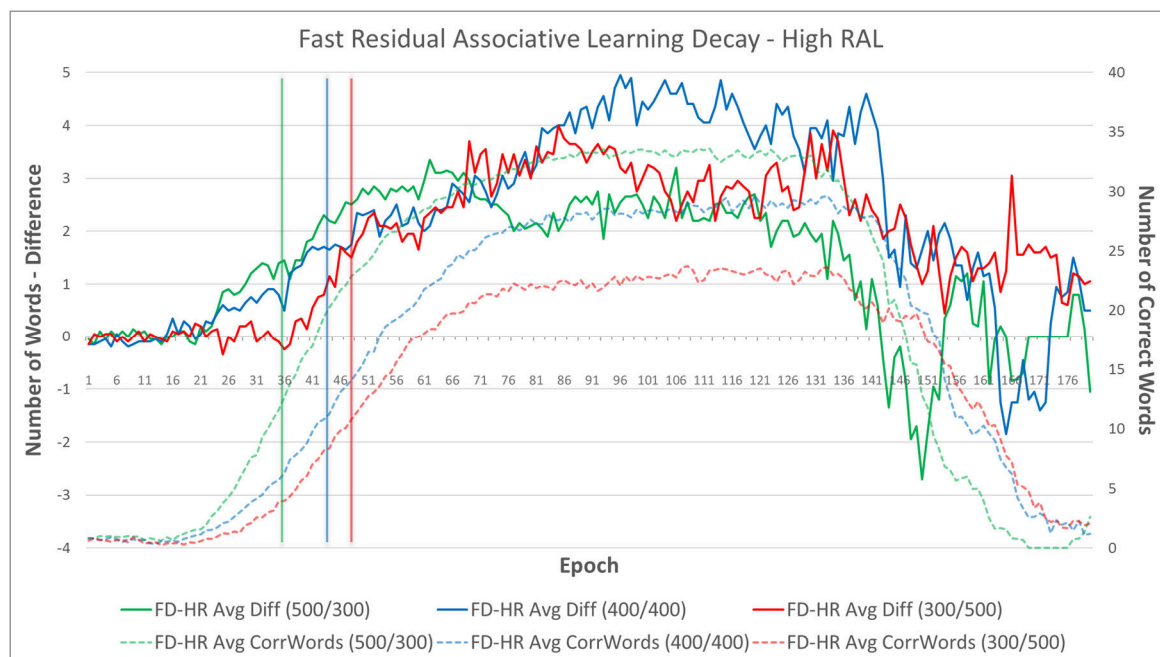


Εικόνα 18. Οι τέσσερις καμπύλες των σωστά μαθημένων λέξεων, για το επίπεδο χαμηλής αξιοπιστίας –300:500– για τις δύο συνθήκες γρήγορης εξασθένησης και τις δύο συνθήκες καθυστερημένης εξασθένησης. (SD: Slow Decay, FD: Fast Decay, LR: low RAL, HR: high RAL)

Στις δύο Εικόνες, 19 και 20, παρακάτω απεικονίζονται οι καμπύλες για την εξέλιξη της ασυμμετρίας μαζί με τις καμπύλες των σωστά μαθημένων λέξεων (για όλες τις λέξεις, ανεξαρτήτως κατηγορίας) για τη συνθήκη γρήγορης εξασθένησης σ.μ. (συσχετιστικής μάθησης) + low RAL και για τη συνθήκη γρήγορης εξασθένησης σ.μ. + high RAL αντίστοιχα, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει άμεση εποπτεία των κρίσιμων σημείων για την διαφορά ουσιαστικών-ρημάτων σε σχέση με την απόδοση της λεξικής μάθησης συνολικά. Ακόμη στα γραφήματα επισημαίνονται τα χρονικά σημεία όπου επιτυγχάνεται, κατά μ.ό., το 100% της απόδοσης του φίλτρου για την αναγνώριση των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων, MOTHER-TALK, για το κάθε διαφορετικό επίπεδο αξιοπιστίας.



Εικόνα 19. Το γράφημα απεικονίζει τις καμπύλες μάθησης των λέξεων (οι αριθμοί των σωστά μαθημένων λέξεων αντιστοιχούν στον δεξί κάθετο άξονα) μαζί με τις καμπύλες ασυμμετρίας για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας της συνθήκης γρήγορης εξασθένησης σ.μ. + low RAL. Ακόμη με τα αντίστοιχα χρώματα με τις καμπύλες: υψηλή αξιοπιστία -> πράσινο, ενδιάμεση αξιοπιστία -> μπλε, χαμηλή αξιοπιστία -> κόκκινο, σημειώνονται με κάθετες γραμμές τα χρονικά σημεία της κορύφωσης της απόδοσης του φίλτρου για τα συμβάντα MOTHER-TALK. (FD: Fast Decay, LR: low RAL)



Εικόνα 20. Το γράφημα απεικονίζει τις καμπύλες μάθησης των λέξεων μαζί με τις καμπύλες ασυμμετρίας για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας της συνθήκης γρήγορης εξασθένησης σ.μ. + high RAL και τα χρονικά σημεία του 100% της απόδοσης του φίλτρου. (FD: Fast Decay, HR: high RAL)

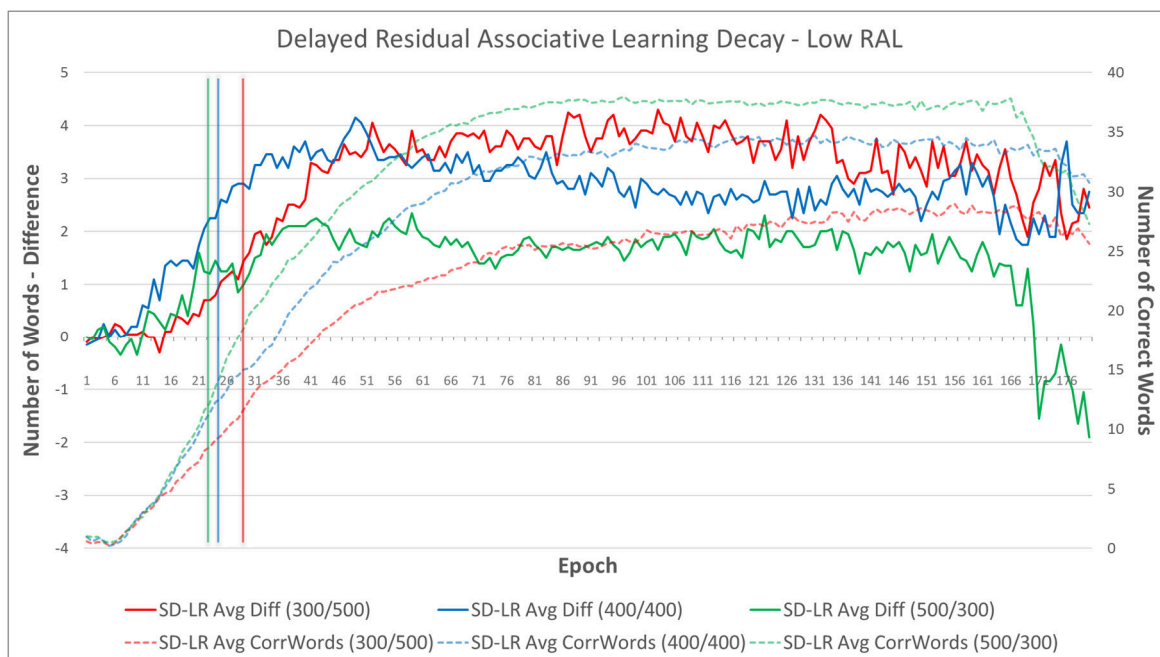
Ένα εμφανές στοιχείο είναι ότι για την ομάδα γρήγορης εξασθένησης + low RAL η εξέλιξη του συστήματος όσον αφορά στην ασυμμετρία είναι περισσότερο ασαφής σε σύγκριση με την ομάδα γρήγορης εξασθένησης + high RAL, τουλάχιστον για την χρονική περίοδο της εκπαίδευσης όπου πλέον η κλίση της καμπύλης μάθησης των λέξεων γίνεται μηδενική και διατηρείται σε μηδενικά επίπεδα. Εν ολίγοις, στην ομάδα γρήγορης εξασθένησης + low RAL δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις 3 συνθήκες αξιοπιστίας γι' αυτήν την περίοδο (όπως αξιολογούνται από τα δοκιμασίες t οι οποίες διενεργήθηκαν ανά εποχή), ενώ στην ομάδα γρήγορης εξασθένησης + high RAL, περίπου από την εποχή 80 έως το τέλος της περιόδου η συνθήκη 400:400 εμφανίζει στατιστικώς σημαντική διαφορά από τη συνθήκη 500:300. Και στις δύο αυτές ομάδες, παρατηρείται μία στατιστικώς σημαντική υπεροχή της συνθήκης υψηλής αξιοπιστίας έναντι

κυρίως της συνθήκης χαμηλής αξιοπιστίας αναφορικά στην κατηγορική ασυμμετρία. Στην ομάδα γρήγορης εξασθένησης + low RAL υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στη μέση τιμή της χρονικής στιγμής για την απόλυτη ενεργοποίηση της πύλης ανάμεσα στις δύο ακραίες συνθήκες αξιοπιστίας, ενώ στην ομάδα γρήγορης εξασθένησης + high RAL υπάρχει στατιστικώς σημαντική καθυστέρηση αυτού του σημείου και των δύο συνθηκών χαμηλής και ενδιάμεσης αξιοπιστίας σε σύγκριση με τη συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας (500:300). Ουσιαστικά αυτό που διακρίνει την συνθήκη αυτή είναι ότι φαίνεται ότι η υψηλότερη τιμή υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης οδηγεί στο να συμβαίνει αρκετά νωρίτερα –κατά περίπου 5 εποχές– στην πορεία της εκπαίδευσης αυτό το γεγονός.

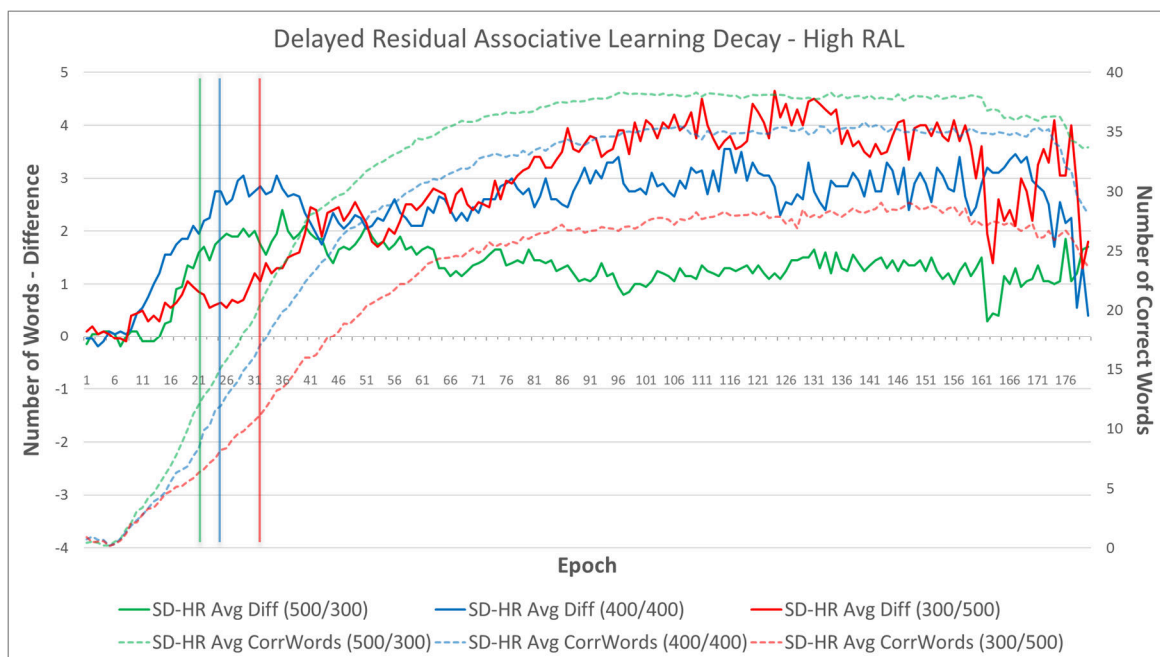
Σχετικά με αυτήν την πτυχή της συμπεριφοράς του μοντέλου, η σύγκριση μεταξύ των δύο προηγούμενων ομάδων προσομοιώσεων με αυτές της καθυστερημένης εξασθένησης + low RAL και της καθυστερημένης εξασθένησης + high RAL, για τις οποίες τα αντίστοιχα γραφήματα παρουσιάζονται παρακάτω στις Εικόνες 21 και 22 παρακάτω, δείχνει μία πολύ μεγάλη συντόμευση του χρόνου γι' αυτή την κορύφωση που συμβαίνει λόγω των υψηλών τιμών RAL. Μάλιστα αυτή η διαφορά στους χρόνους φτάνει να είναι 17-20 εποχές περίπου για τις συνθήκες χαμηλής αξιοπιστίας (300:500). Συγκεκριμένα το υποσύστημα του φίλτρου φτάνει στο 100% της αναγνώρισης των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων για τις ομάδες συνθηκών γρήγορης εξασθένησης + low RAL και γρήγορης εξασθένησης + high RAL, σε μέσους αριθμούς δοκιμασιών 130K ($SD = 33K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 300:500], 127K ($SD = 29K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 400:400], 114K ($SD = 20K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 500:300] και 134K ($SD = 21K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 300:500], 122K ($SD = 26K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 400:400], 100K ($SD = 19K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 500:300] αντίστοιχα. Για τις συνθήκες καθυστερημένης εξασθένησης + low RAL και καθυστερημένης εξασθένησης + high RAL οι μέσοι αριθμοί δοκιμασιών για την κορύφωση της απόδοσης του φίλτρου είναι: 81K ($SD = 34K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 300:500], 69K ($SD = 23K$) [συνθήκη αξιοπιστίας

400:400], 63K ($SD = 13K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 500:300] και 89K ($SD = 27K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 300:500], 69K ($SD = 16K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 400:400], 59K ($SD = 14K$) [συνθήκη αξιοπιστίας 500:300] αντίστοιχα.

Θα πρέπει να σημειωθεί δε, ότι η χρονική στιγμή στην οποία η συσχετιστική μάθηση φτάνει στην τελική τιμή της RAL τοποθετείται σχεδόν στο τέλος της 18^{ης} εποχής της εκπαίδευσης, δηλαδή αρκετά νωρίτερα από τη στιγμή της κορύφωσης της απόδοσης του φίλτρου, η οποία για την συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας στο επίπεδο high RAL στην καθυστερημένη εξασθένηση (που είναι και η πιο σύντομη περίοδος επίτευξης αυτού το ορόσημου για το φαινόμενο bootstrapping) ήταν λίγο μετά την ολοκλήρωση της 21^{ης} εποχής της εκπαίδευσης. Επίσης, το γεγονός αυτό συμβαίνει κατά την διάρκεια της ανοδικού τμήματος τόσο των καμπυλών μάθησης όσο και των καμπυλών ασυμμετρίας και χαρακτηριστικά αρκετά νωρίτερα από την περίοδο της επιπέδωσης της καμπύλης ασυμμετρίας η οποία προφανώς συμβαίνει υπό καθεστώς ελάχιστης τιμής σ.μ. (RAL).



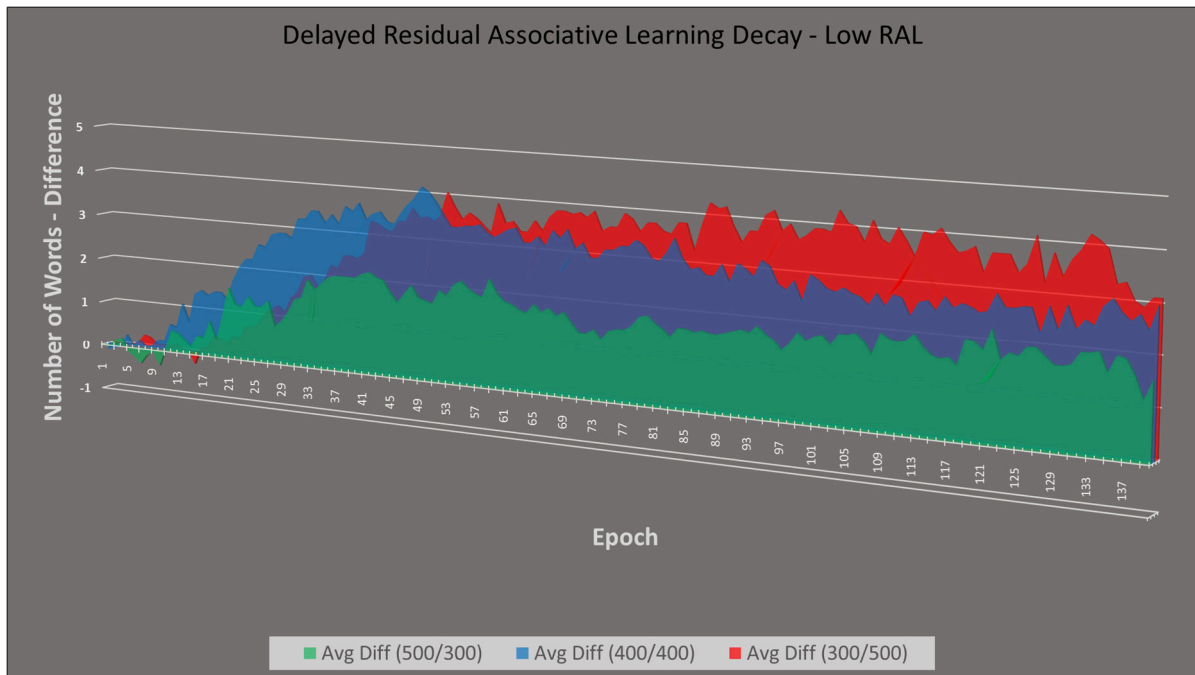
Εικόνα 21. Οι καμπύλες μάθησης των λέξεων μαζί με τις καμπύλες ασυμμετρίας για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας της συνθήκης καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. + low RAL και τα χρονικά σημεία του 100% της απόδοσης του φίλτρου. (SD: Slow Decay, LR: low RAL)



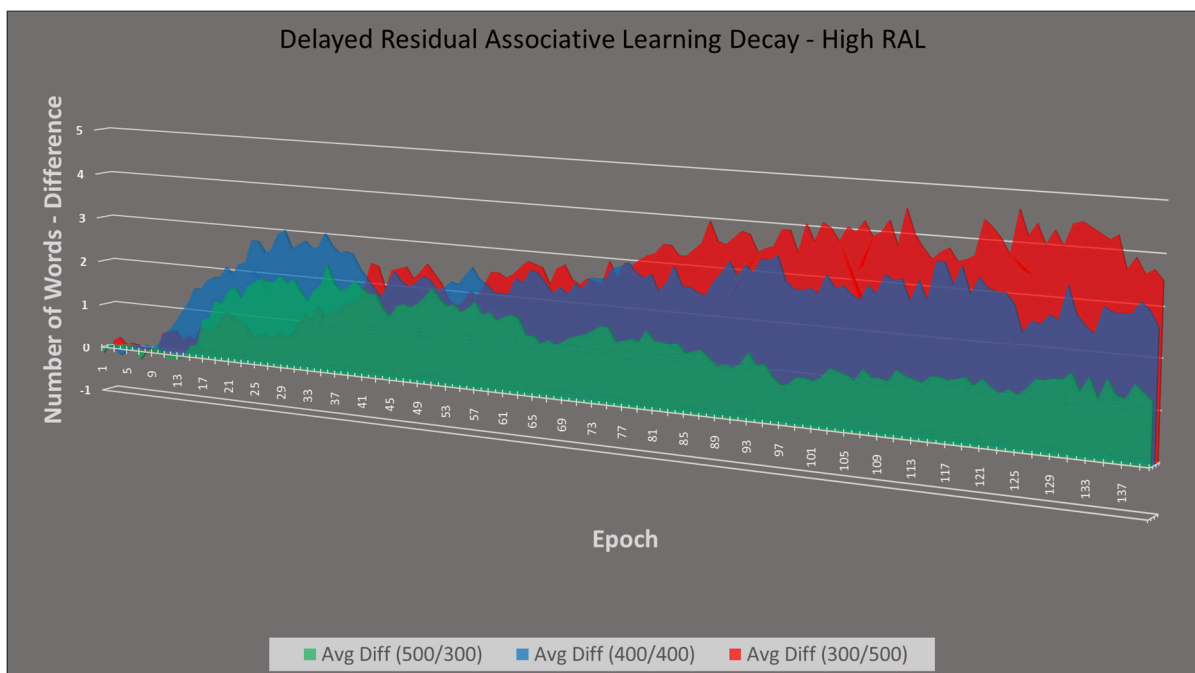
Εικόνα 22. Οι καμπύλες μάθησης των λέξεων μαζί με τις καμπύλες ασυμμετρίας για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας της συνθήκης καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. + high RAL και τα χρονικά σημεία του 100% της απόδοσης του φίλτρου. (SD: Slow Decay, HR: high RAL)

Αυτό που παρατηρείται εύκολα, είναι ότι συνολικά στις συνθήκες με καθυστερημένη εξασθένηση της σ.μ. υπάρχει μία σταθεροποίηση στις καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας, η οποία ακολουθεί χρονικά την αντίστοιχη σταθεροποίηση που παρατηρείται και στις καμπύλες της λεξικής μάθησης. Ειδικά για τη μεγάλη πλέον περίοδο που υπάρχει σταθερός ή σχεδόν σταθερός αριθμός μαθημένων λέξεων, η συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας εμφανίζει σταθερά στατιστικώς σημαντική διαφορά κυρίως από την συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας (τόσο υπό low RAL όσο και υπό high RAL). Για την ίδια περίοδο, η συνθήκη ενδιάμεσης αξιοπιστίας εμφανίζει επίσης στατιστικώς σημαντική διαφορά από την συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας. Ενδεικτικά γραφήματα όπου γίνονται εμφανείς οι χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες οι, ανά ζεύγη συνθηκών και σε κάθε εποχή, δοκιμασίες t έδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές υπάρχουν στις Εικόνες 25 – 36 παρακάτω. Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο είναι ότι εμφανίζονται σταθερά, στατιστικώς σημαντικά υψηλότερα μεγέθη ασυμμετρίας ανάμεσα στη συνθήκη ενδιάμεσης αξιοπιστίας και στις συνθήκες υψηλής και χαμηλής αξιοπιστίας κατά την αυξητική περίοδο της λεξικής μάθησης και στις δύο ομάδες της καθυστερημένης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης.

Στις αμέσως παρακάτω Εικόνες 23 και 24, παρουσιάζεται απομονωμένα η εξέλιξη της ασυμμετρίας για τις δύο ομάδες των προσομοιώσεων με καθυστερημένη εξασθένηση της RAL. Στα γραφήματα φαίνεται, για ευκρινέστερη εποπτεία της περιόδου που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, μόνο το εύρος των 1-140 εποχών, καθώς από εκεί και ύστερα είναι πιο εμφανείς οι επιδράσεις οροφής όσο και αυτές που οφείλονται στην έναρξη της αναγνώρισης και διαφορετικών συμβάντων από αυτά που αφορούν τα μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα ως κατάλληλες ευκαιρίες μάθησης.



Εικόνα 23. Οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας της συνθήκης καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. + low RAL για το εύρος εποχών 1-140.

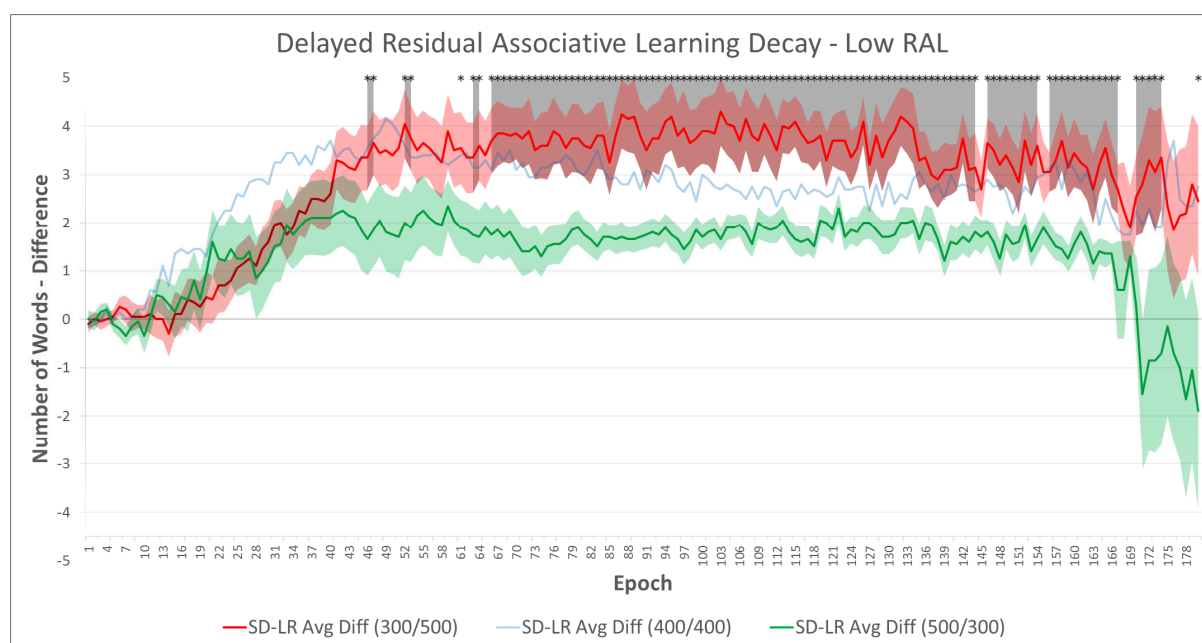


Εικόνα 24. Οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας της συνθήκης καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. + high RAL για το εύρος εποχών 1-140.

Προκειμένου να αξιολογηθούν και να αναδειχθούν καλύτερα οι διαφορές της εξέλιξης της ασυμμετρίας μεταξύ των συνθηκών που ενδιαφέρουν πιο συγκεκριμένα το ερευνητικό ερώτημα, διενεργήθηκαν ανά ζεύγη συνθηκών και ανά εποχή συγκρίσεις των μέσων τιμών μέσω t-tests μίας κατεύθυνσης (όπως ήδη έχει αναφερθεί παραπάνω στο τμήμα που σχετίζεται με την Ανάλυση των Δεδομένων). Τα γραφήματα γι' αυτές τις αναλύσεις συμπεριλαμβάνονται παρακάτω. Αναδεικνύονται με εντονότερα σημασμένες καμπύλες οι υπό σύγκριση συνθήκες και όπου υπάρχουν συνεχόμενες περιόδους στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ των καμπυλών, αυτό επισημαίνεται με σκιασμένες κάθετες ζώνες οι οποίες φτάνουν έως την καμπύλη που παρουσιάζει την υψηλότερη ασυμμετρία, ενώ, αν στη συγκεκριμένη σύγκριση, υπάρχουν εναλλαγές στο πρόσημο της διαφοράς μεταξύ των ασυμμετριών, οι σκιασμένες ζώνες διαπερνούν ολόκληρο το ύψος του γραφήματος. Οι αστερίσκοι στην κορυφή του γραφήματος σηματοδοτούν επίσης τη στατιστική σημαντικότητα ($p < 0.05$) της διαφοράς των μέσων τιμών και εκτός των συνεχόμενων εποχών επισημαίνουν και τις απομονωμένες εποχές. Για τις υπό σύγκριση συνθήκες υπάρχει σε κάθε καμπύλη εξέλιξης της ασυμμετρίας και η ζώνη τυπικού σφάλματος της μέσης τιμής. Τα χρώματα των καμπυλών και των αντίστοιχων ζωνών σφάλματος είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται γενικώς στα γραφήματα της μελέτης σχετικά με τα επίπεδα αξιοπιστίας: πράσινο – υψηλή αξιοπιστία (500:300), μπλε – ενδιάμεση αξιοπιστία (400:400), κόκκινο – χαμηλή αξιοπιστία (300:500).

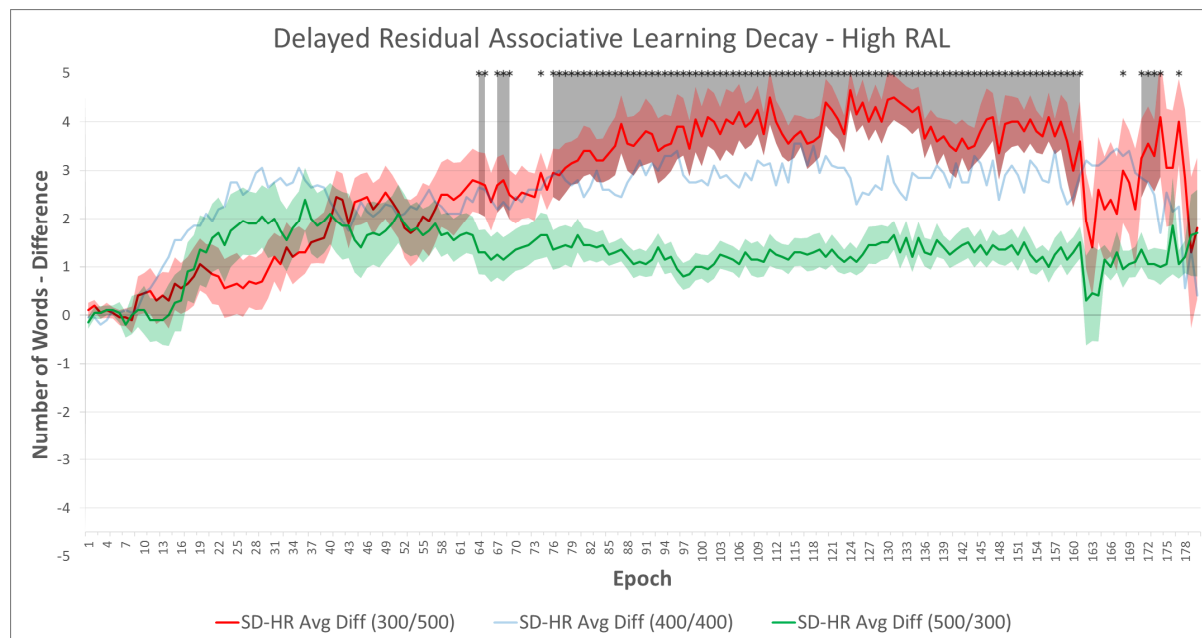
Στις Εικόνες 25 και 26 παρακάτω, υπάρχουν οι συγκρίσεις μεταξύ των συνθηκών χαμηλής και υψηλής αξιοπιστίας για τις δύο ομάδες προσομοιώσεων της καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ασυμμετρία για την χαμηλή αξιοπιστία είναι υψηλότερη στο μεγαλύτερο διάστημα της περιόδου 60-160 εποχών εκπαίδευσης, γεγονός που υποστηρίζει την βασική ερευνητική υπόθεση. Ενδεικτικά, οι συγκεντρωτικές μέσες τιμές ασυμμετρίας γι' αυτά τα δύο επίπεδα αξιοπιστίας και για επιλεγμένες περιόδους

της εκπαίδευσης, είναι για την ομάδα καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και low RAL: περίοδος 41-160 epochs -> $M = 3.61$, $SD = 0.33$ (300:500), $M = 1.77$, $SD = 0.22$ (500:300), περίοδος 81-140 epochs -> $M = 3.75$, $SD = 0.33$ (300:500), $M = 1.78$, $SD = 0.18$ (500:300). Οι αντίστοιχες συγκεντρωτικές μέσες τιμές ασυμμετρίας για την ομάδα καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και high RAL είναι: περίοδος 41-160 epochs -> $M = 3.38$, $SD = 0.73$ (300:500), $M = 1.37$, $SD = 0.25$ (500:300), περίοδος 81-140 epochs -> $M = 3.87$, $SD = 0.35$ (300:500), $M = 1.25$, $SD = 0.18$ (500:300). Παρατηρείται δηλαδή στην ομάδα καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και high RAL η ασυμμετρία για το υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας να είναι μικρότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη της καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και low RAL, ενώ η ασυμμετρία για το χαμηλό επίπεδο αξιοπιστίας φτάνει σε κάπως υψηλότερα επίπεδα στην πρώτη ομάδα (μεγαλύτερη διαφοροποίηση της ασυμμετρίας στην ομάδα καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και high RAL σε σύγκριση με την ομάδα καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και low RAL).



Εικόνα 25. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες υψηλής και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων

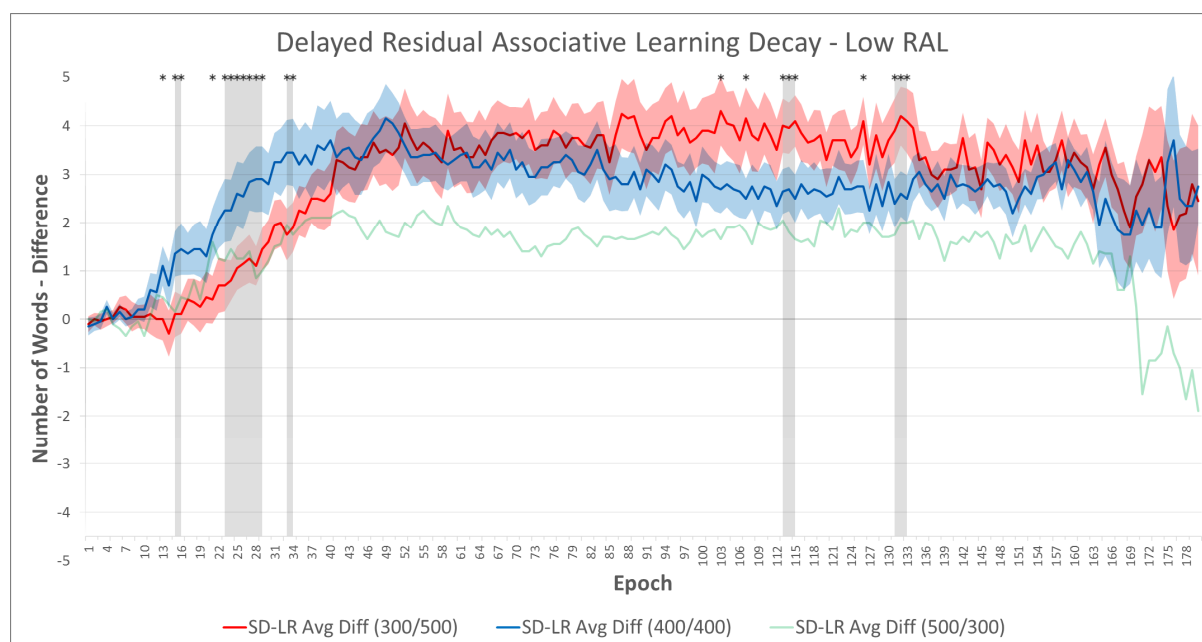
καθυστερημένης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) για το μεγαλύτερο μέρος της εκπαίδευσης μετά το ανοδικό τμήμα της καμπύλης.



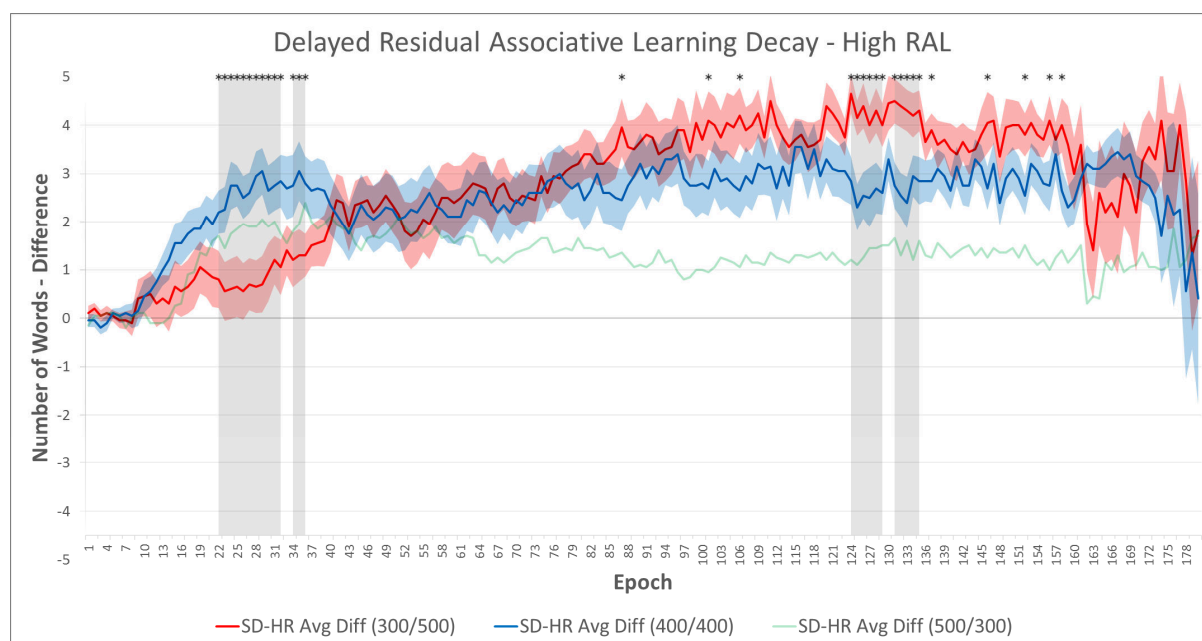
Εικόνα 26. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες υψηλής και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Όπως και στο προηγούμενο γράφημα υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) για το μεγαλύτερο μέρος της εκπαίδευσης μετά το ανοδικό τμήμα της καμπύλης.

Στις παρακάτω Εικόνες, 27 και 28, παρουσιάζονται τα γραφήματα για τις συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων χαμηλής και ενδιάμεσης αξιοπιστίας για τις δύο ομάδες προσομοιώσεων της καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις η μείωση της αξιοπιστίας για τα μητρικά επικοινωνιακά ενεργήματα δεν οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ασυμμετρίας ουσιαστικών-ρημάτων. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η συνθήκη ενδιάμεσης αξιοπιστίας υπερισχύει σε ασυμμετρία έναντι στη συνθήκη χαμηλής

αξιοπιστίας σε κάποια τμήματα της ανοδικής πορείας τόσο των καμπυλών ασυμμετρίας όσο και των καμπυλών μάθησης (και πριν την κορύφωση της απόδοσης του φίλτρου) ενώ συμβαίνει το αντίθετο σε κάποια από τα τελικά τμήματα της περιόδου όπου οι καμπύλες ασυμμετρίας και μάθησης παρουσιάζουν μηδενική κλίση (μάλιστα στα συγκεκριμένα τμήματα για τη συνθήκη low RAL η καμπύλη ασυμμετρίας για το ενδιάμεσο επίπεδο αξιοπιστίας εμφανίζει ελαφρώς αρνητική κλίση).



Εικόνα 27. Στο γράφημα απεικονίζονται οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ. και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Κατά τη διάρκεια του ανοδικού τμήματος η ασυμμετρία για την ενδιάμεση αξιοπιστία είναι μεγαλύτερη ενώ συμβαίνει το αντίστροφο όταν πλέον το συνολικό σύστημα έχει ισορροπήσει και αυτή η υπερίσχυση είναι στατιστικώς σημαντική μόνο για ελάχιστα από τα τελικά τμήματα αυτής της περιόδου.

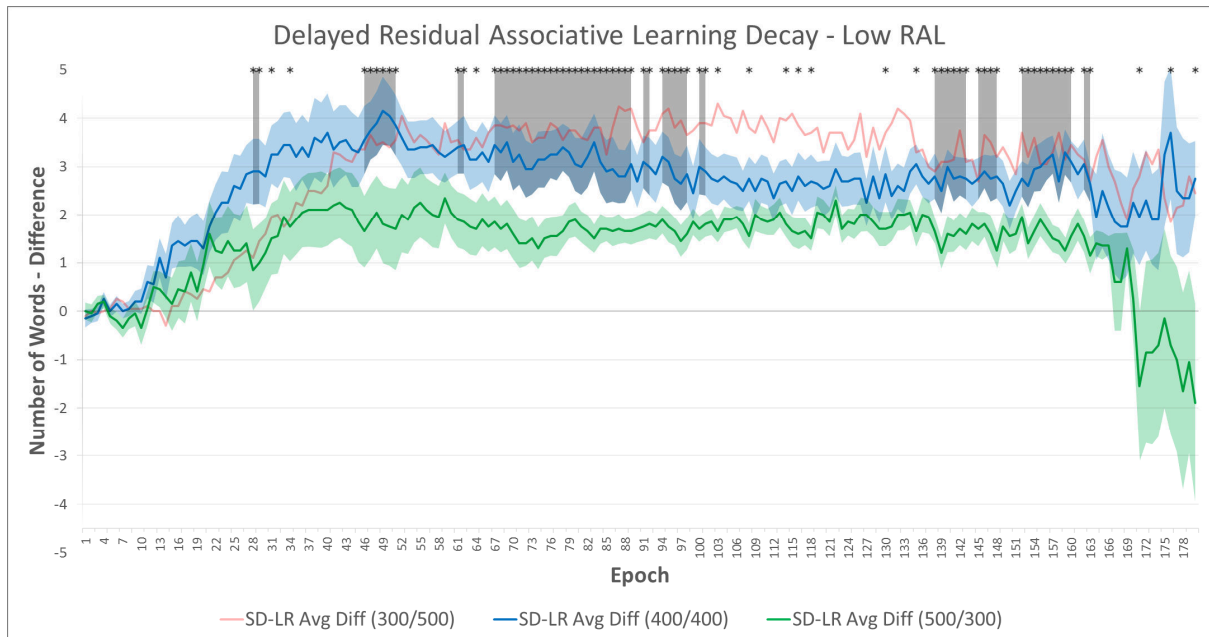


Εικόνα 28. Στο γράφημα απεικονίζονται οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ. και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Παρατηρείται η ίδια εικόνα εναλλαγής στην κατεύθυνση της διαφοράς ανάμεσα στις δύο καμπύλες όπως και στις αντίστοιχες συνθήκες Low RAL της προηγούμενης ομάδας προσομοιώσεων.

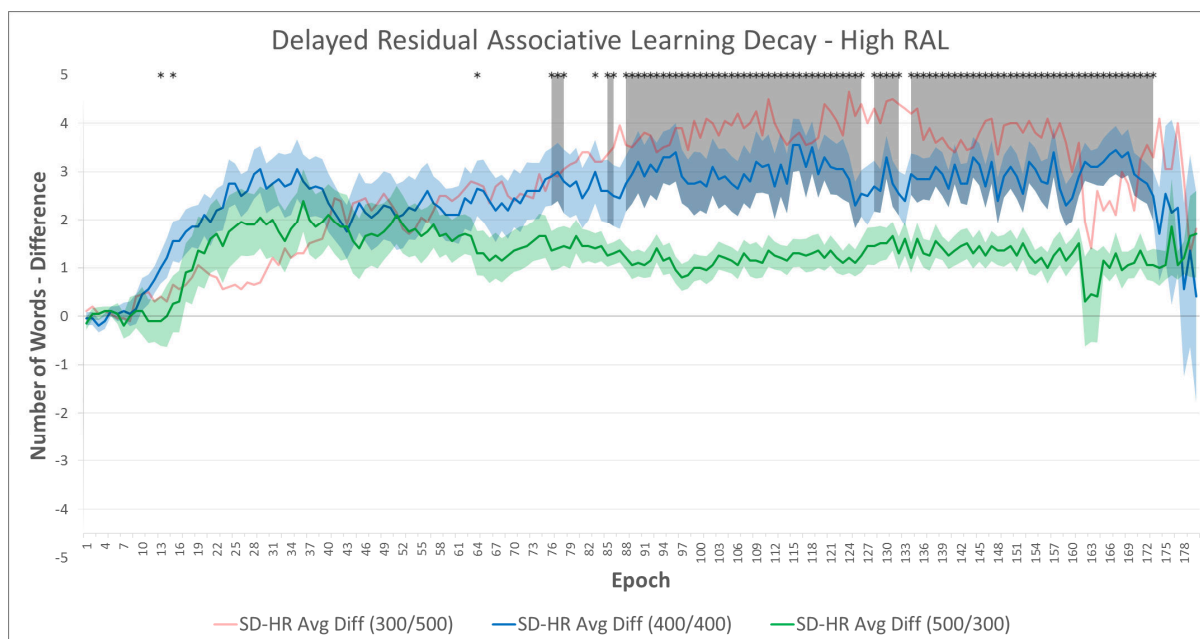
Τελειώνοντας την αναφορά στις δύο ομάδες προσομοιώσεων της καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ., παρατίθενται στις Εικόνες 29 και 30 παρακάτω, τα γραφήματα για τις συγκρίσεις μεταξύ των επιπέδων ενδιάμεσης και υψηλής αξιοπιστίας. Παρατηρείται σε αυτή την περίπτωση ότι η μείωση της αξιοπιστίας ανάμεσα στα δύο επίπεδα οδηγεί σε αύξηση της ασυμμετρίας σε στατιστικώς σημαντικό βαθμό για αρκετά τμήματα της πορείας της εκπαίδευσης του συστήματος, ειδικότερα για την ομάδα της καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και high RAL. Για την τελευταία, κάποιες ενδεικτικές συγκεντρωτικές μέσες τιμές ασυμμετρίας είναι: περίοδος 81-160 epochs -> $M = 2.89$, $SD = 0.30$ (400:400), $M = 1.26$, SD

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΛΩΣΣΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΕ ASD

= 0.17 (500:300), περίοδος 101-140 epochs -> $M = 2.92$, $SD = 0.30$ (400:400), $M = 1.28$, $SD = 0.16$ (500:300).



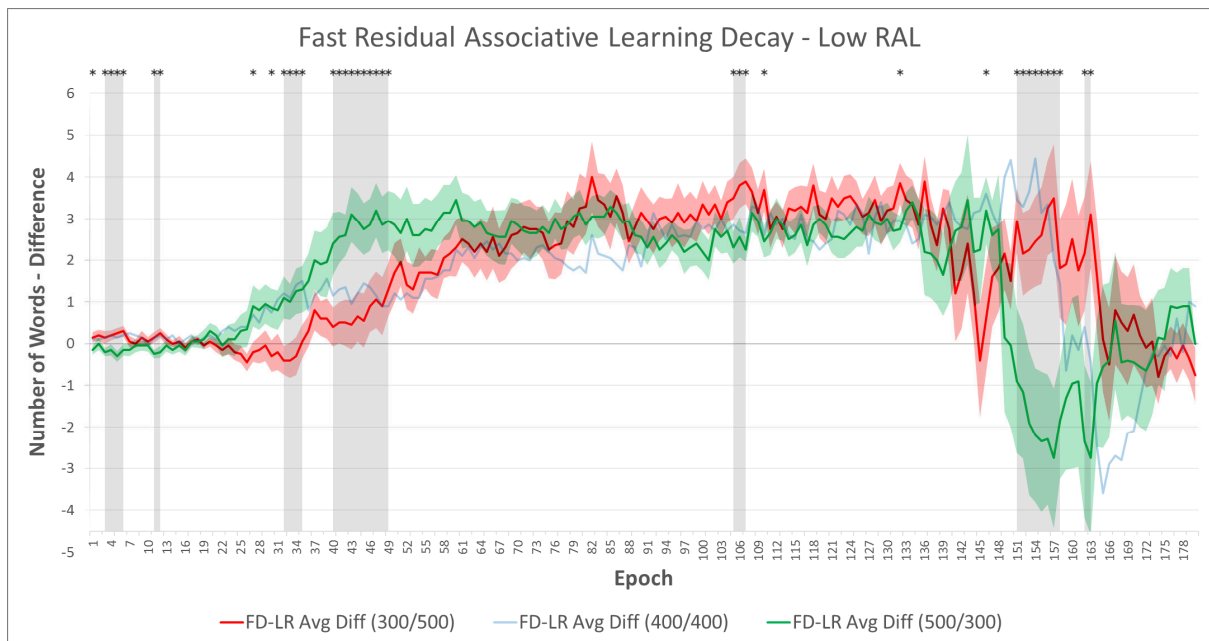
Εικόνα 29. Στο γράφημα απεικονίζονται οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και υψηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ. και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε ορισμένα τμήματα της πορείας της εκπαίδευσης.



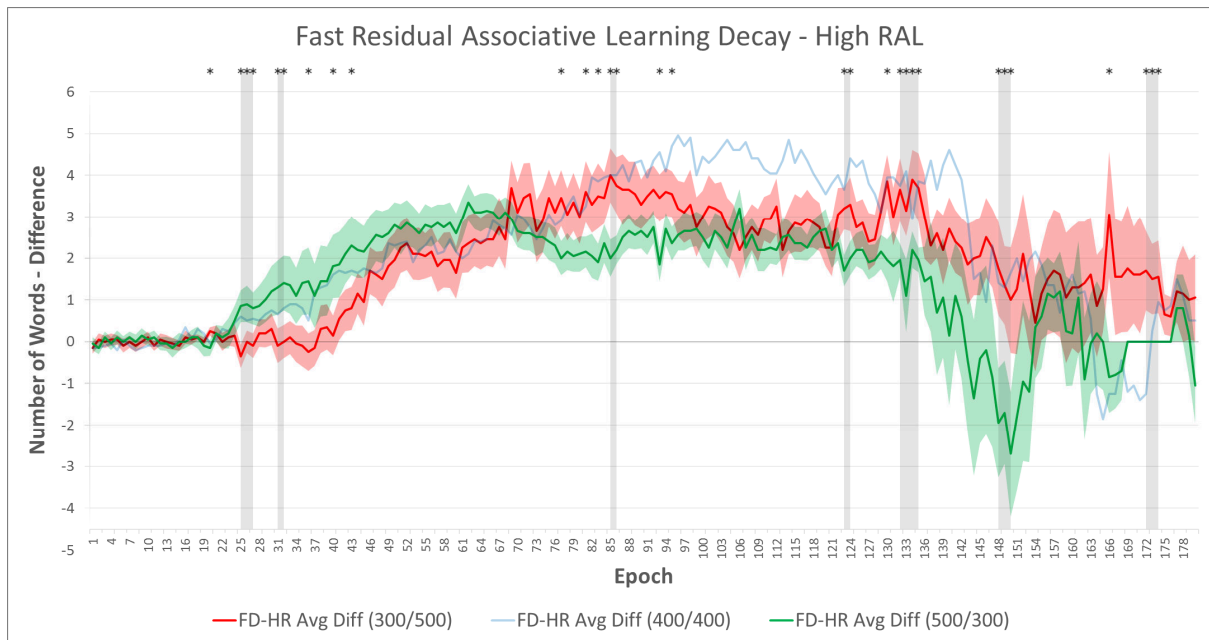
Εικόνα 30. Στο γράφημα απεικονίζονται οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και υψηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης της σ.μ. και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές αφορούν μεγαλύτερα τμήματα της πορείας της εκπαίδευσης κυρίως από το μέσο της και ύστερα.

Για τις δύο ομάδες προσομοιώσεων της γρήγορης εξασθένησης της σ.μ., γενικά δεν εμφανίζονται συνεχείς και ίδιας κατεύθυνσης στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην ασυμμετρία καθώς η αξιοπιστία μειώνεται ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα, εκτός μόνο από την περίπτωση της σύγκρισης μεταξύ ενδιάμεσης και υψηλής αξιοπιστίας στην ομάδα της υψηλής υπολειμματικής σ.μ. Παρουσιάζονται αρχικά τα γραφήματα της σύγκρισης των καμπυλών ασυμμετρίας μεταξύ των επιπέδων της χαμηλής και υψηλής αξιοπιστίας, στις Εικόνες 31 και 32 παρακάτω, και αμέσως μετά, στις Εικόνες 33 και 34, τα γραφήματα της σύγκρισης των καμπυλών ασυμμετρίας μεταξύ των επιπέδων χαμηλής και ενδιάμεσης αξιοπιστίας. Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο παρατηρείται στο γράφημα της Εικόνας 34, για τη σύγκριση στην ομάδα γρήγορης εξασθένησης σ.μ. και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής

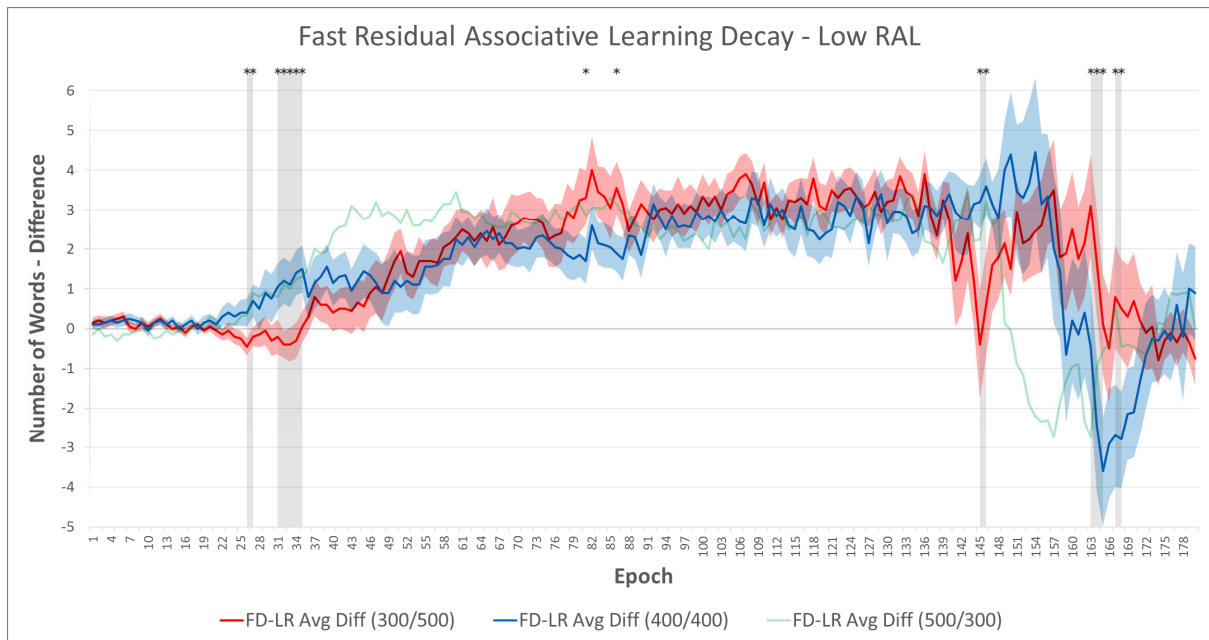
σ.μ., όπου υπάρχουν αρκετές βραχείες περιόδους, προς το τέλος της περιόδου ισορροπίας (80-140 epochs), όπου στην ασυμμετρία υπερισχύει το ενδιάμεσο επίπεδο αξιοπιστίας απέναντι στο επίπεδο χαμηλής αξιοπιστίας, παρατηρείται δηλαδή διαφορετικής κατεύθυνσης φαινόμενο από αυτό που υποστηρίζει η βασική ερευνητική υπόθεση. Ενδεικτικές συγκεντρωτικές μέσες τιμές ασυμμετρίας είναι: περίοδος 81-140 epochs $\rightarrow M = 4.16, SD = 0.43$ (400:400), $M = 3.06, SD = 0.48$ (300:500).



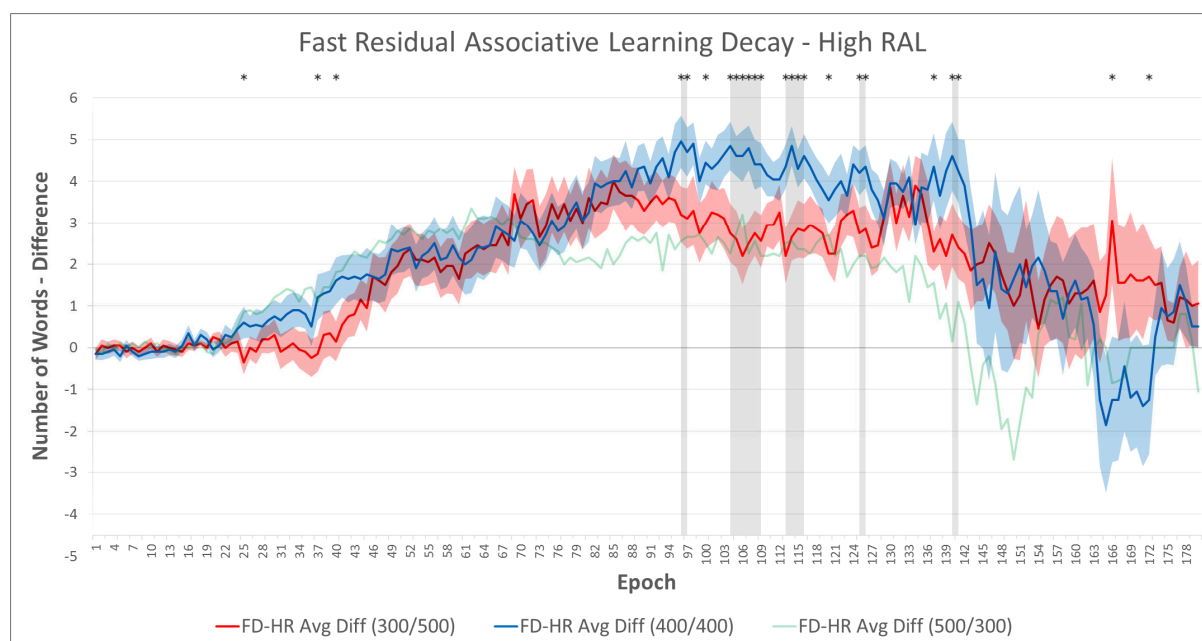
Εικόνα 31. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες υψηλής και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Παρατηρούνται εναλλαγές στην κατεύθυνση της διαφοράς και βραχείες περιόδους όπου αυτή είναι στατιστικώς σημαντική.



Εικόνα 32. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες υψηλής και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Όπως και στην ομάδα χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ., παρατηρούνται εναλλαγές στην κατεύθυνση της διαφοράς και ακόμα βραχύτερες περιόδους όπου αυτή είναι στατιστικώς σημαντική.



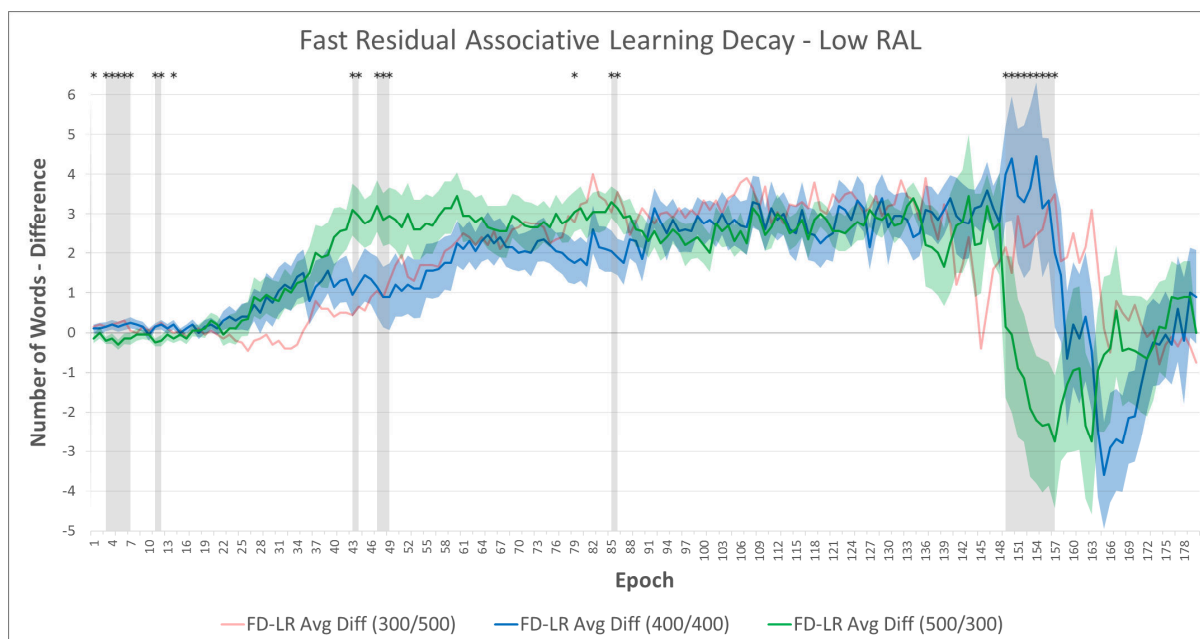
Εικόνα 33. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Παρατηρούνται εναλλαγές στην κατεύθυνση της διαφοράς και βραχείες περιόδους όπου αυτή είναι στατιστικώς σημαντική.



Εικόνα 34. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και χαμηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ.

Παρατηρούνται αρκετές βραχείες περιόδους, προς το τέλος της περιόδου ισορροπίας του συστήματος, όπου υπάρχει στατιστικώς σημαντική αύξηση της ασυμμετρίας που συνοδεύει την αύξηση της αξιοπιστίας.

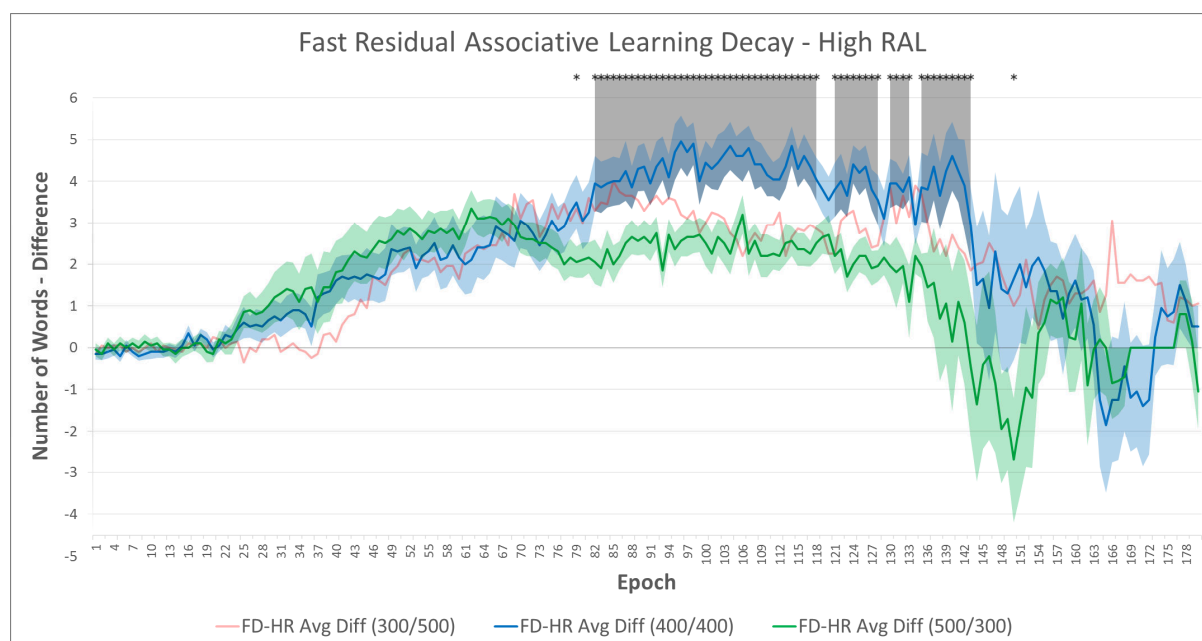
Τέλος, σχετικά με τη σύγκριση των καμπυλών ασυμμετρίας μεταξύ ενδιάμεσου και υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας, τα γραφήματα για τις δύο ομάδες της γρήγορης εξασθένησης της σ.μ. παρατίθενται στις Εικόνες 35 και 36 παρακάτω. Ειδικά για την ομάδα του υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. (Εικόνα 36), υπάρχει στατιστικώς σημαντική αύξηση της ασυμμετρίας με την ελάττωση του επιπέδου αξιοπιστίας σε μεγάλο τμήμα της περιόδου ισορροπίας της πορείας εκπαίδευσης. Κάποιες ενδεικτικές συγκεντρωτικές μέσες τιμές ασυμμετρίας είναι: περίοδος 81-140 epochs -> $M = 4.16$, $SD = 0.43$ (400:400), $M = 2.2$, $SD = 0.52$ (500:300), περίοδος 81-160 epochs -> $M = 3.59$, $SD = 1.15$ (400:400), $M = 1.56$, $SD = 1.33$ (500:300).



Εικόνα 35. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και υψηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης της συσχετιστικής μάθησης και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ.

Παρατηρούνται εναλλαγές στην κατεύθυνση της διαφοράς και βραχείες περιόδους όπου αυτή είναι στατιστικώς σημαντική. Κάποια ελαφρώς μεγαλύτερη περίοδος όπου η ασυμμετρία για το ενδιάμεσο επίπεδο αξιοπιστίας είναι μεγαλύτερη, παρατηρείται προς το τέλος της εκπαίδευσης, όπου περισσότερο υπάρχει μία μεγάλη πτώση της ασυμμετρίας για το υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας παρά αύξηση της ασυμμετρίας για το ενδιάμεσο επίπεδο αξιοπιστίας.

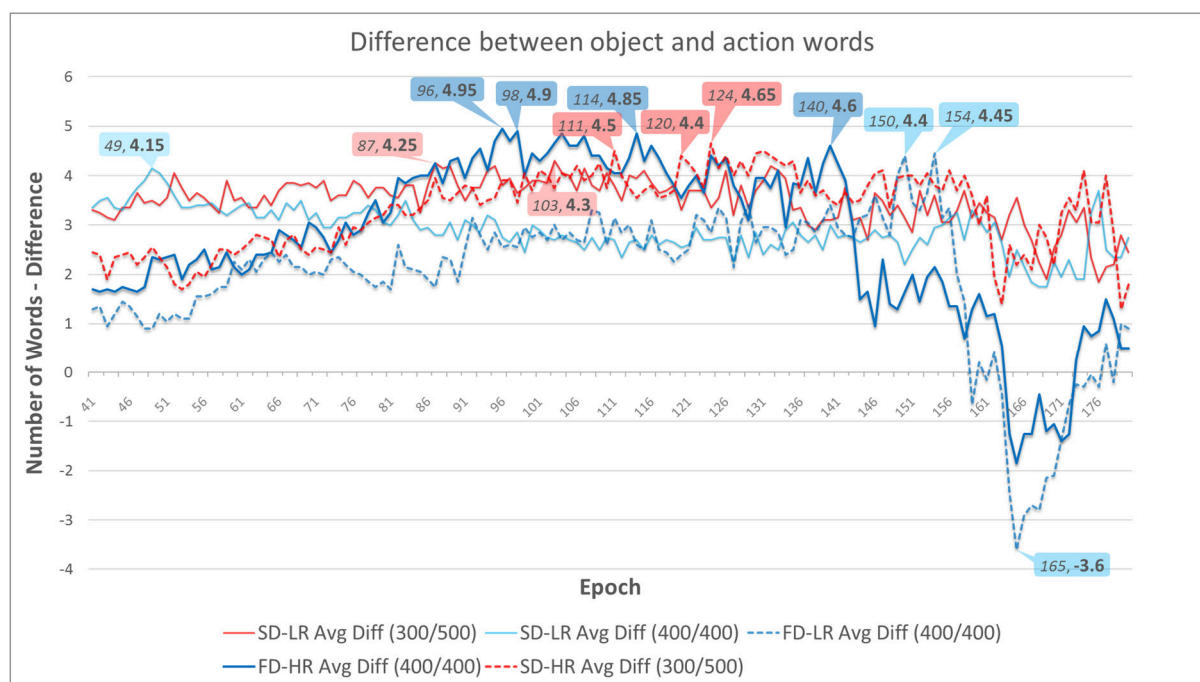
Ενδεικτικά για το υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας (500:300), οι συγκεντρωτικές (μετακινούμενες) μέσες τιμές ασυμμετρίας για τις περιόδους 141-160 epochs και 161-180 epochs είναι: $M = 0.22$, $SD = 2.24$ και $M = -0.32$, $SD = 0.98$ αντίστοιχα.



Εικόνα 36. Στο γράφημα παρατίθενται συγκριτικά οι καμπύλες εξέλιξης της ασυμμετρίας για τις συνθήκες ενδιάμεσης και υψηλής αξιοπιστίας, για την ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης της συσχρηστικής μάθησης και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. Παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά της ασυμμετρίας μεταξύ των δύο συνθηκών σε μεγάλο τμήμα της περιόδου ισορροπίας της πορείας εκπαίδευσης (60-140 epochs).

Όπως είναι εμφανές στο αμέσως παραπάνω γράφημα, στην ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης σ.μ. και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ., η μείωση της αξιοπιστίας σε ενδιάμεσο επίπεδο (η συνθήκη 400:400 δηλαδή), οδηγεί σε μεγάλα επίπεδα ασυμμετρίας, εφόσον δεν έχουν προηγηθεί υψηλά επίπεδα συσχρηστικής μάθησης στα αρχικά στάδια της εκπαίδευσης αλλά η εκπαίδευση γίνεται υπό συνθήκες σχετικά υψηλού υπολειμματικού επιπέδου (high RAL). Πρόκειται δε, για τα μεγαλύτερα μέσα επίπεδα ασυμμετρίας που συναντώνται σε όλες τις προσομοιώσεις. Το συγκεκριμένο εύρημα παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον και πιθανώς θα βοηθούσαν στη συγκεκριμένη περίπτωση κάποιες κατάλληλες επιπλέον αναλύσεις για την ερμηνεία του. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στο γράφημα της Εικόνας 37 παρακάτω, σε παράθεση, οι καμπύλες ασυμμετρίας για τις

συνθήκες (απ' όλες τις ομάδες προσομοιώσεων) στις οποίες εμφανίζονται οι υψηλότερες κορυφές μέσω των τιμών ασυμμετρίας.



Εικόνα 37. Στο γράφημα παρατίθενται οι πέντε καμπύλες ασυμμετρίας οι οποίες παρουσιάζουν τις υψηλότερες (και περισσότερες) κορυφές μέσω των τιμών, μέσα στο διάστημα 41-180 εποχών εκπαίδευσης στο οποίο παρουσιάζονται αυτές οι κορυφές. Με τις ετικέτες σημαίνονται χαρακτηριστικές τέτοιες κορυφές για καθεμία καμπύλη (ετικέτες και αντίστοιχη καμπύλη βρίσκονται στην ίδια χρωματική περιοχή) και περιλαμβάνεται η εποχή και η τιμή. Για την καμπύλη ασυμμετρίας ενδιάμεσου επιπέδου αξιοπιστίας (400:400) της συνθήκης γρήγορης εξασθένησης σ.μ. και χαμηλού επιπέδου υπολειμματική σ.μ. σημειώνεται ακόμη η χαρακτηριστική αρνητική καταβύθιση που συμβαίνει απότομα μετά την κορυφή στην 154^η εποχή εκπαίδευσης.

Οι πέντε συνθήκες που απεικονίζονται στο αμέσως παραπάνω γράφημα και οι οποίες παρουσιάζουν τις υψηλότερες κορυφές μέσω των τιμών ασυμμετρίας είναι (με ιεραρχική σειρά από τις υψηλότερες στις χαμηλότερες τιμές): επίπεδο ενδιάμεσης αξιοπιστίας στην ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης σ.μ. και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. (FD-

HR 400:400), επίπεδο χαμηλής αξιοπιστίας στην ομάδα καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και υψηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. (SD-HR 300:500), επίπεδο ενδιάμεσης αξιοπιστίας στην ομάδα προσομοιώσεων γρήγορης εξασθένησης σ.μ. και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. (FD-LR 400:400), επίπεδο χαμηλής αξιοπιστίας στην ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. (SD-LR 300:500), επίπεδο ενδιάμεσης αξιοπιστίας στην ομάδα προσομοιώσεων καθυστερημένης εξασθένησης σ.μ. και χαμηλού επιπέδου υπολειμματικής σ.μ. (SD-LR 400:400)⁹. Ως κριτήριο επιλέχθηκε το επίπεδο μέσης τιμής ασυμμετρίας πάνω από 4, παρ' όλα αυτά υπάρχουν άλλες δύο συνθήκες οι οποίες εμφανίζουν μία μεμονωμένη κορυφή μέσης τιμής ασυμμετρίας ακριβώς στο 4, η FD-LR 300:500 και η FD-HR 300:500.

Οι εμφανίσεις αυτών των κορυφών ασυμμετρίας στις συγκεκριμένες συνθήκες, εν μέρει –και όχι ολοκληρωτικά– ακολουθούν την γενική τάση της εκάστοτε εξέλιξης της ασυμμετρίας στις περιοχές της πορείας της εκπαίδευσης όπου ανακύπτουν ή την ακόμα ευρύτερη συγκεντρωτική συμπεριφορά της κάθε καμπύλης. Για παράδειγμα η συνθήκη που εμφανίζει τις υψηλότερες κορυφές μ.τ. (μέσων τιμών) ασυμμετρίας, η FD-HR 400:400, βρίσκεται επίσης στην πρώτη θέση μεταξύ όλων των 12 συνθηκών όταν ταξινομούνται με βάση τις συγκεντρωτικές μ.τ. ασυμμετρίας για την περίοδο 81-140 της εκπαίδευσης ($M = 4.16$, $SD = 0.43$), η SD-HR 300:500 που εμφανίζει τις αμέσως χαμηλότερες κορυφές μ.τ. ασυμμετρίας, ταξινομείται επίσης στη δεύτερη θέση ανάμεσα σε όλες τις συνθήκες για την ίδια περίοδο, 81-140 ($M = 3.87$, $SD = 0.35$), ενώ η FD-LR 400:400 που εμφανίζει τις τρίτες κατά σειρά υψηλότερες κορυφές μ.τ. ασυμμετρίας, ταξινομείται μόλις στην 8^η θέση για την

⁹ Η κωδικοποίηση της ονοματολογίας των συνθηκών ακολουθεί τους εξής κανόνες: SD-> Slow Decay of Associative Learning, FD-> Fast Decay of Associative Learning, LR-> low RAL, HR-> high RAL.

περίοδο 81-140 της εκπαίδευσης ($M = 2.70$, $SD = 0.41$). Για την ίδια περίοδο εκπαίδευσης 81-140, η τρίτη στην ταξινόμηση συνθήκη είναι η SD-LR 300:500 ($M = 3.75$, $SD = 0.33$), η οποία παρουσιάζει τις τέταρτες υψηλότερες κορυφές μ.τ. ασυμμετρίας. Η SD-LR 400:400 που εμφανίζει τις πέμπτες υψηλότερες κορυφές μ.τ. ασυμμετρίας, βρίσκεται στην 7^η θέση της ταξινόμησης για την ίδια περίοδο 81-140 ($M = 2.77$, $SD = 0.23$). Ακολουθώντας έναν διαφορετικό τρόπο ανάλυσης, αν ταξινομηθούν οι 12 συνθήκες βάσει της μέσης τιμή του 5% ανώτερου των (ατομικών) τιμών ασυμμετρίας από όλες τις προσομοιώσεις της κάθε συνθήκης (180 μεμονωμένες τιμές ασυμμετρίας), η FD-HR 400:400 βρίσκεται και σε αυτήν την ταξινόμηση στην πρώτη θέση ($M = 10.98$, $SD = 3.84$, range: 20-8), ενώ η δεύτερη στην εμφάνιση υψηλότερων μ.τ. ασυμμετρίας, SD-HR 300:500, ταξινομείται βάσει των 5% υψηλότερων μεμονωμένων τιμών των 20 προσομοιώσεων, μόλις στην 10^η θέση ($M = 8.07$, $SD = 1.95$, range: 18-7). Η τρίτη στην εμφάνιση υψηλότερων μ.τ. ασυμμετρίας, FD-LR 400:400, βρίσκεται και στην ταξινόμηση βάσει των 5% υψηλότερων μεμονωμένων τιμών, επίσης στην τρίτη θέση ($M = 10.24$, $SD = 3.72$, range: 19-7), στην δεύτερη θέση της ίδιας ταξινόμησης βρίσκεται η FD-HR 300:500 ($M = 10.88$, $SD = 2.28$, range: 17-8), ενώ στην τέταρτη θέση βρίσκεται μία συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας, η FD-LR 500:300 ($M = 9.93$, $SD = 4.24$, range: 19-7) η οποία εμφανίζει μόλις τις ένατες υψηλότερες κορυφές μ.τ. ασυμμετρίας στο διάστημα εκπαίδευσης ($M = 2.65$, $SD = 0.36$)¹⁰. Ένα συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από αυτά τα στοιχεία των αναλύσεων είναι ότι σε κάποιες περιπτώσεις συνθηκών η εξέλιξη της ασυμμετρίας φτάνει σε γενικώς υψηλά επίπεδα τιμών για συνεχείς περιόδους της εκπαιδευτικής πορείας, μέσα στις οποίες εμφανίζονται και ιδιαίτερα υψηλές κορυφές μ.τ. ενώ σε άλλες περιπτώσεις συνθηκών υπάρχει μία περισσότερο μεμονωμένη συμπεριφορά

¹⁰ Το σύνολο των δεδομένων των αναφερόμενων ταξινομήσεων (καθώς και άλλων)

συμπεριλαμβάνονται στο συνοδευτικό υλικό στο on-line αποθετήριο, όπως περιγράφεται στο σχετικό παράρτημα.

όπου είτε κάποιες από τις προσομοιώσεις που ανήκουν στη συγκεκριμένη συνθήκη παρουσιάζουν αρκετές υψηλές τιμές ασυμμετρίας ενώ συνολικά αυτή παρουσιάζει μέτριες μέσες τιμές είτε υπάρχουν στενές χρονικές περιοχές μέσα στην πορεία εκπαίδευσης όπου η συνθήκη εμφανίζει κορυφές στις μέσες τιμές ασυμμετρίας ενώ πριν και μετά οι τιμές είναι αρκετά χαμηλότερες ή ακόμα και παρουσιάζονται μεγάλες καταβυθίσεις στις μέσες τιμές, όπως συμβαίνει με την FD-LR 400:400 (στην ίδια περίοδο της εκπαίδευσης μεγάλη καταβύθιση εμφανίζει και η FD-HR 400:400)

Γενικά Συμπεράσματα – Συζήτηση

Ύστερα από την ολοκλήρωση της περιληπτικής αυτής έκθεσης των σημαντικότερων αποτελεσμάτων και από τις δύο φάσεις των πειραμάτων με το μοντέλο, μπορούν να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα, προερχόμενα από τις συμπεριφορές του μοντέλου που αναφέρθηκαν, σχετικά με τα βασικά ερωτήματα που απασχόλησαν την παρούσα έρευνα. Καταρχάς, φαίνεται ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των κοινωνικών-πραγματολογικών παραγόντων με κυριότερο την διαμοιραζόμενη προσοχή (όπως αυτή μοντελοποιήθηκε στο υποσύστημα αναγνώρισης προθέσεων του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε) και της «κοινότοπης», συσχετιστικού τύπου μάθησης είναι απαραίτητη τόσο για την ομαλή και βελτιστοποιημένη εξέλιξη της απόκτησης λέξεων όσο και για την ανάπτυξη της κατηγορικής ασυμμετρίας ουσιαστικών-ρημάτων, απαραίτητη ίσως και αυτή για την ομαλή γλωσσική ανάπτυξη. Οι βλάβες δε, αυτών των δύο στοιχείων, δείχτηκε από τις διαφορετικές ομάδες προσομοιώσεων που διενεργήθηκαν, ότι μπορούν να οδηγήσουν στη διατάραξη της κατηγορικής διαφοράς, συμβατής με το προφίλ της ΔΑΦ.

Συγκεκριμένα, φάνηκε από τις επιμέρους συγκρίσεις σε καθεμία από τις τέσσερις ομάδες των προσομοιώσεων της 2^{ης} φάσης των πειραμάτων, ότι η μείωση της αξιοπιστίας της μητρικής επικοινωνιακής ροής, ήτοι των προσπαθειών για διαμοιραζόμενη προσοχή που

απευθύνονται προς ή που μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το παιδί, προκαλεί, από μόνη της, ελάττωση του μ.ό. του αριθμού των λέξεων ανεξαρτήτως κατηγορίας που μαθαίνονται σωστά από το παιδί σε κάθε χρονική περίοδο. Αυτό είναι ένα πολύ σταθερό εύρημα στα πειράματα που έγιναν, δηλ. σε κάθε ομάδα προσομοιώσεων η συνθήκη 500:300 οδηγεί πάντα σε περισσότερες ορθά μαθημένες λέξεις από τις άλλες δύο συνθήκες και η συνθήκη 400:400 σε περισσότερες ορθά μαθημένες λέξεις από τη συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας, δηλαδή αυτή με αναλογία 300:500.

Επίσης, η αύξηση του ρόλου της συσχετιστικής μάθησης (όπως μοντελοποιήθηκε με την αυξημένη τιμή καθυστέρησης για την εξασθένησή της), φαίνεται να έχει τρεις επιδράσεις στον αριθμό των μαθημένων λέξεων: 1) αυξάνει, σε κάθε επίπεδο αξιοπιστίας, τον αριθμό των σωστά μαθημένων λέξεων, 2) σταθεροποιεί αυτόν τον αριθμό, μετά την αυξητική περίοδο, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (αριθμό εποχών εκπαίδευσης) και, 3) οδηγεί σε μεγάλη επιτάχυνση της κορύφωσης της αναγνώρισης των μητρικών επικοινωνιακών ενεργημάτων (100% απόδοση του φίλτρου/πύλης).

Εντέλει, μπορεί να συναχθεί το εξής συμπέρασμα για τη συνδυαστική αλληλεπίδραση του επιπέδου αξιοπιστίας μαζί με τον βαθμό της παράλληλης συσχετιστικής μάθησης: η επιμονή της αναλογίας της συσχετιστικής μάθησης σε υψηλά επίπεδα για μεγαλύτερο τμήμα της εκπαίδευσης οδηγεί σε σημαντικά καλύτερο διαχωρισμό ανάμεσα στις τρεις συνθήκες αξιοπιστίας για την ασυμμετρία μάθησης ουσιαστικών-ρημάτων, ειδικά σε όλη την περίοδο της σταθεροποίησης των μαθημένων λέξεων. Η μείωση της αξιοπιστίας στη μητρική επικοινωνία, κάτω από περιβάλλον μεγαλύτερου ρόλου της συσχετιστικής μάθησης, οδηγεί σε προφίλ κατηγορικής ασυμμετρίας συμβατό με ΔΑΦ, και αυτή η αύξηση στην ασυμμετρία είναι σημαντικότερη ανάμεσα στη συνθήκη χαμηλής αξιοπιστίας και στη συνθήκη υψηλής αξιοπιστίας.

Συγκριτικά, η μείωση της αξιοπιστίας της μητρικής επικοινωνίας σε περιβάλλον όπου η συσχετιστική μάθηση παίζει μικρότερο ρόλο (ή σε άλλη ίσως ερμηνεία: με μικρότερο πληροφοριακό θόρυβο) οδηγεί σε ένα προφίλ κατηγορικής ασυμμετρίας συμβατό με ΕΓΔ, όπου όμως η λεξική μάθηση γενικότερα είναι περισσότερο επηρεασμένη.

Η υπόθεση του Michael Tomasello για την παράλληλη αναγκαιότητα της διαμοιραζόμενης προσοχής (ως αναγνώριση των προθέσεων του ομιλητή) μαζί με τη συσχετιστική μάθηση για την βέλτιστη ανάπτυξη της λεξικής μάθησης, βρίσκει υποστήριξη στην αλληλεπίδραση των αντίστοιχων παραμέτρων του μοντέλου στη συμπεριφορά του, όπως ερμηνεύτηκε παραπάνω.

Μελλοντικές Προεκτάσεις – Ερευνητικές Προτάσεις

Είναι μάλλον φανερό ότι το μοντέλο που υλοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα δεν μπορεί να οδηγήσει σε μία εντελώς ακριβή προσομοίωση (πάντα υπό την αφαιρετική οπτική της συνδυαστικής μοντελοποίησης) της πρώιμης λεξικής μάθησης για διάφορους λόγους. Σημαντικότερος ίσως από αυτούς είναι ότι ο αριθμός των υπό μάθηση λέξεων είναι μικρός και σταθερός. Μία πιθανή αναθεώρηση του μοντέλου θα ήταν η ουσιαστική αύξηση του αριθμού των τύπων ουσιαστικών και ρημάτων της εισροής του. Αυτό θα επέτρεπε την ακριβέστερη και κυρίως την πιο μακροχρόνια παρατήρηση των σχετικών τους ρυθμών μάθησης, μακριά από περιοριστικές επιδράσεις οροφής. Στην τωρινή εκδοχή του μοντέλου, ο μικρός αριθμός των λέξεων πιθανώς συσκοτίζει μοτίβα διαφορικής απόκτησης, διότι το μοντέλο φτάνει σε οροφή πριν η ασυμμετρία μπορέσει να αναπτυχθεί στο πλήρες εύρος της. Εκτός από την ομοιόμορφη αύξηση των τύπων των λέξεων, μία άλλη εκδοχή θα μπορούσε να είναι η μεγαλύτερη αύξηση του αριθμού των τύπων των ουσιαστικών σε σχέση με τα ρήματα.

Μία οικολογικά εγκυρότερη προσέγγιση θα ήταν κάποιος σχεδιασμός του μηχανισμού που θα μπορούσε να δεχθεί στην εισροή την προσθήκη συνεχώς καινούργιων λέξεων, πιθανώς με έναν τρόπο που όσο το σύστημα μαθαίνει σε επαρκή βαθμό λέξεις που του δίνονται ως εισροή, να του παρέχονται καινούργιες προς μάθηση. Η υλοποίηση αυτή οπωσδήποτε παρουσιάζει μεγάλες (αν όχι ανυπέρβλητες) τεχνικές δυσκολίες, παρ' όλα αυτά μία προσέγγιση θα ήταν να υπήρχε εξ' αρχής πλεόνασμα κόμβων στα επίπεδα εισόδου και εξόδου (αλλά και στα κρυφά επίπεδα) για να υποδεχτούν αυτές τις καινούργιες κωδικοποιήσεις/αναπαραστάσεις λέξεων. Παράλληλα, καθώς σε κάθε εποχή αξιολογείται η απόδοση της λεξικής μάθησης, θα επαναλειτουργεί ο μηχανισμός με τις ρουτίνες κατασκευής της εισροής για να ενσωματώνει αυτές τις καινούργιες λέξεις στο μέγεθος που οι ανάγκες της προσομοίωσης το επιβάλλουν.

Στην ίδια γραμμή σκέψης περί οικολογικής εγκυρότητας, αλλά και για την ορθότερη αξιολόγηση της λεξικής μάθησης, με μέτρο τόσο την απόκτηση λέξεων καθαυτή όσο και την κατηγορική ασυμμετρία, θα ήταν προτιμότερο να καταμετρώνται οι μαθημένες λέξεις ανά δοκιμασία παρά στο τέλος κάθε εποχής. Ο μηχανισμός είναι έτοιμος να υποδεχτεί μία τέτοια λειτουργική προσθήκη καθώς ήδη στην παρούσα λειτουργία αξιολογείται η απόδοση του λεξικού υποσυστήματος σε κάθε δοκιμασία για τον υπολογισμό των σημάτων ανταμοιβής-τιμωρίας προς το υποσύστημα αναγνώρισης των επικοινωνιακών προθέσεων.

Θα ήταν ίσως χρήσιμη, για την πλουσιότερη διερεύνηση των ερευνητικών υποθέσεων, η λεπτομερής παρακολούθηση της εξέλιξης της απόδοσης του φίλτρου με την πρόοδο του χρόνου (όπως κάνουν οι Caza και Knott, 2012) και της αλληλεπίδρασής της με την εξέλιξη των άλλων χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς του μοντέλου, καθώς στην παρούσα υλοποίηση παρακολουθείται μόνον η επίτευξη της κορύφωσής της, δηλαδή του 100% της αναγνώρισης επικοινωνιακών ενεργημάτων ως κατάλληλες ευκαιρίες λεξικής μάθησης.

Το σύστημα έχει ήδη ενσωματωμένη τη δυνατότητα για ξεχωριστή λειτουργία των δύο υποδικτύων αντιστοίχισης εννοιών με ηχητικές μορφές των λέξεων για τα ουσιαστικά και τα ρήματα (και μάλιστα η επιλογή για αυτή την ανεξάρτητη λειτουργία είναι ήδη εν μέρει λειτουργική και ενσωματωμένη στο κεντρικό πίνακα ελέγχου της προσομοίωσης). Θα μπορούσε να υλοποιηθεί ένας τρόπος λειτουργίας του, συμβατός με την παιδική λεξική μάθηση, όπου θα επιτυγχάνονταν μία *πραγματική* αναγνώριση των διαφορετικών κατηγοριών, και ανάλογη ενεργοποίηση/απενεργοποίηση ή καλύτερα βαθμιδωτή ενεργοποίηση των αντίστοιχων υποσυστημάτων με την πρόοδο της εκπαίδευσης. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας θα μπορούσε να χρησιμεύσει, για παράδειγμα, στον έλεγχο υποθέσεων για την ουσιώδη αναγκαιότητα της προπόρευσης της μάθησης των ουσιαστικών απέναντι στα ρήματα.

Προς την κατεύθυνση του ελέγχου υποθέσεων σε σχέση με παρεμβάσεις για την επιβοήθηση της γλωσσικής ανάπτυξης στη ΔΑΦ, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν επιπρόσθετοι τύποι επικοινωνιακών συμβάντων στις αλληλουχίες εκπαίδευσης όπως και κατάλληλα προετοιμασμένες σειρές διαδοχής συμβάντων, σύμφωνα με συγκεκριμένους περιορισμούς ώστε να μπορέσουν διερευνηθούν οι προοπτικές διαφόρων μεθόδων παρέμβασης για την ελλειμματική λεξική μάθηση, έχοντας ως μέτρα αξιολόγησης την εξέλιξη των συμπεριφορών του μοντέλου: απόδοση του φίλτρου (αναγνώριση επικοινωνιακών προθέσεων), απόδοση της λεξικής μάθησης, κατηγορική ασυμμετρία. Για παράδειγμα θα ήταν πιθανώς εφικτό να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της γονικής «σύγχρονης, μη απαιτητικής ομιλίας» (“synchronous undemanding talking”) προς το παιδί, η οποία βασικά αφορά στην πρόθεση από πλευράς του γονέα, έναρξης επεισοδίων διαμοιραζόμενης προσοχής τα οποία σχετίζονται με τις οντότητες τις οποίες έχει το παιδί υπό την προσοχή του (Yoder & McDuffie, 2006). Αυτή η μορφή παρέμβασης βρίσκεται σε αντιδιαστολή με προσπάθειες έναρξης επεισοδίων διαμοιραζόμενης προσοχής όπου ο γονέας

προσπαθεί να επιβάλλει ένα θέμα εστίασης, π.χ. κάποιο αντικείμενο που το παιδί δεν έχει εκείνη τη στιγμή υπό την προσοχή του.

Επίλογος

Από την παραπάνω έκθεση της δόμησης ενός μοντέλου των σημαντικών πτυχών της κοινωνικής-πραγματολογική προσέγγισης για την πρόωμη λεξική μάθηση και των προσομοιώσεων/πειραμάτων για τον έλεγχο υποθέσεων σε σχέση με τη σημασία τους στην ελλειμματική γλωσσική ανάπτυξη γίνεται εμφανές ότι, υπό προϋποθέσεις, η συμπεριφορά του μπορεί να χαρακτηρίζεται από έναν επαρκή πλούτο γεγονότων και γνωρισμάτων ώστε να χρησιμεύσει ουσιαστικά στη διερεύνηση θεωρητικών πλαισίων. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην έρευνα χαρακτηρίζεται από τον συνδυασμό ενός πυρήνα καθοδηγούμενης-από-τις-υποθέσεις ανάλυσης μαζί με την εξερευνητική και κατευθυνόμενη-από-τα-δεδομένα (Cohen, 2014), η οποία είναι και ένα κύριο γνώρισμα των μελετών μοντελοποίησης γενικά. Έτσι οι ενδείξεις για την επίδραση της υπολειμματικής συσχετιστικής μάθησης στην λεξική μάθηση και την κατηγορική ασυμμετρία, οι οποίες προέκυψαν από τις προσομοιώσεις και αναλύσεις της πρώτης φάσης της έρευνας, οδήγησαν στην τροποποίηση σχετικών παραμέτρων του μοντέλου, η οποία εκτός από το ότι προσέγγισε με καταλληλότερο τρόπο την βασική ερευνητική υπόθεση, αποκάλυψε επιπλέον τη δυνατότητα του μοντέλου να εκφράσει στη συμπεριφορά του ένα από τα προτάγματα της κοινωνικής-πραγματολογικής υπόθεσης το οποίο χρησίμευσε με τη σειρά του στον εμπλουτισμό των υποθέσεων της έρευνας και στην διερεύνησή τους.

Παρότι λοιπόν και ο ίδιος ο Tomasello, γι' αυτήν ακριβώς την θεωρία της λεξικής απόκτησης, διαβεβαιώνει ότι οι συνδεδετιστικές προσεγγίσεις, που «βασίζονται περισσότερο στην ανάλυση κατανομών», δεν μπορούν να μοντελοποιήσουν τις επικοινωνιακές λειτουργίες και έτσι δεν μπορεί να είναι επαρκείς για την μελέτη της γλωσσικής απόκτησης

(Tomasello, 2003, 2009), η έρευνα γνωσιακής μοντελοποίησης που εκτίθεται εδώ, υποδεικνύει προς την αντίθετη οπτική: οι συνδεδετιστικές προσεγγίσεις πιθανότατα διαθέτουν τον επαρκή πλούτο δυναμικής, πολύπλοκης συμπεριφοράς, ο οποίος μπορεί να αποτυπώσει ακόμα και λεπτές εκφάνσεις της νοητικής λειτουργίας, της ανάπτυξης και των ελλειμμάτων της ακόμα και σε τομείς τόσο πυκνούς σε χαρακτηριστικά και δυποκειμενικές αλληλεπιδράσεις όπως η γλωσσική ανάπτυξη.

Βιβλιογραφία - References

- Aisa, B., Mingus, B., & O'Reilly, R. (2008). The emergent neural modeling system. *Neural Networks*, 21(8), 1146–1152.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. Washington, DC: American Psychiatric Publishing.
- Baron-Cohen, S., Baldwin, D. A., & Crowson, M. (1997). Do children with autism use the speaker's direction of gaze strategy to crack the code of language? *Child Development*, 68(1), 48–57.
- Black, M., & Chiat, S. (2003). Noun–verb dissociations: A multi-faceted phenomenon. *Journal of Neurolinguistics*, 16(2), 231–250.
- Bloom, P. (2000). *How children learn the meanings of words* (Vol. 377). The MIT Press.
- Bornstein, M. H., Cote, L. R., Maital, S., Painter, K., Park, S.-Y., Pascual, L., ... Vyt, A. (2004). Cross-linguistic analysis of vocabulary in young children: spanish, dutch, French, hebrew, italian, korean, and american english. *Child Development*, 75(4), 1115–1139. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00729.x>
- Botting, N., & Conti-Ramsden, G. (2003). Autism, primary pragmatic difficulties, and specific language impairment: can we distinguish them using psycholinguistic markers? *Developmental Medicine & Child Neurology*, 45(8), 515–524.
- Carpenter, M., Nagell, K., Tomasello, M., Butterworth, G., & Moore, C. (1998). Social cognition, joint attention, and communicative competence from 9 to 15 months of age. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, i–174.
- Cartwright, T. A., & Brent, M. R. (1997). Syntactic categorization in early language acquisition: Formalizing the role of distributional analysis. *Cognition*, 63(2), 121–170.

- Caza, Gregory A., & Knott, A. (2012). Pragmatic bootstrapping: A neural network model of vocabulary acquisition. *Language Learning and Development*, 8(2), 113–135.
- Caza, Gregory Andrew. (2009). *The role of social-pragmatic cues in word learning: a neural network model* (Thesis). University of Otago. Retrieved from <https://ourarchive.otago.ac.nz/handle/10523/1645>
- Childers, J. B., & Tomasello, M. (2006). Are Nouns Easier to Learn Than Verbs? Three Experimental Studies. In K. Hirsh-Pasek & R. M. Golinkoff (Eds.), *Action meets word: How children learn verbs* (pp. 311–335). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Childers, J. B., Vaughan, J., & Burquest, D. A. (2007). Joint attention and word learning in Ngas-speaking toddlers in Nigeria. *Journal of Child Language*, 34(2), 199–225.
- Chomsky, N. (2006). On cognitive structures and their development: A reply to Piaget. In *Philosophy of mind: Classical problems/contemporary issues* (2nd ed., pp. 751–755).
- Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: theory and practice*. MIT press.
- Dąbrowska, E. (2015). What exactly is Universal Grammar, and has anyone seen it? *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00852>
- Dandurand, F., & Shultz, T. (2011). A fresh look at vocabulary spurts. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 33).
- Davidson, D. (1987). Knowing One's Own Mind. *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 60(3), 441–458.
- Davidson, D. (1997). Indeterminism and Antirealism. In C. B. Kulp (Ed.), *Realism/Antirealism and Epistemology* (pp. 109–122). Rowman & Littlefield.
- Dawson, G., Toth, K., Abbott, R., Osterling, J., Munson, J., Estes, A., & Liaw, J. (2004). Early social attention impairments in autism: social orienting, joint attention, and attention to distress. *Developmental Psychology*, 40(2), 271.

- Ellis Weismer, S., Gernsbacher, M. A., Stronach, S., Karasinski, C., Eernisse, E. R., Venker, C. E., & Sindberg, H. (2011). Lexical and Grammatical Skills in Toddlers on the Autism Spectrum Compared to Late Talking Toddlers. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *41*(8), 1065–1075. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1134-4>
- Frank, M. C., Goodman, N. D., & Tenenbaum, J. B. (2009). Using speakers' referential intentions to model early cross-situational word learning. *Psychological Science*, *20*(5), 578–585.
- Freeman, J. (2009). Bootstraps and Baron Munchausen. *Boston Globe, The Word Blog*. Retrieved from http://archive.boston.com/bostonglobe/ideas/theword/2009/01/bootstraps_and.html
- Ganger, J., & Brent, M. R. (2004). Reexamining the vocabulary spurt. *Developmental Psychology*, *40*(4), 621.
- Gentner, D. (1981). Some interesting differences between verbs and nouns. *Cognition and Brain Theory*, *4*(2), 161–178.
- Gentner, D. (1982). Why nouns are learned before verbs: Linguistic relativity versus natural partitioning. *Center for the Study of Reading Technical Report; No. 257*.
- Gentner, D. (2006). Why Verbs Are Hard to Learn. In K. Hirsh-Pasek & R. M. Golinkoff (Eds.), *Action meets word: How children learn verbs* (pp. 544–564). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Gentner, D., & Boroditsky, L. (2001). Individuation, relativity, and early word learning. In M. Bowerman & S. Levinson (Eds.), *Language acquisition and conceptual development*. Cambridge University Press. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511620669.010>

- Harris, M., Jones, D., Brookes, S., & Grant, J. (1986). Relations between the non-verbal context of maternal speech and rate of language development. *British Journal of Developmental Psychology*, 4(3), 261–268.
- Höhle, B. (2009). Bootstrapping mechanisms in first language acquisition. *Linguistics*, 47(2), 359–382.
- Hollich, G. J., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., Brand, R. J., Brown, E., Chung, H. L., ... Rocroi, C. (2000). Breaking the language barrier: an emergentist coalition model for the origins of word learning. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 65(3), i–vi, 1–123.
- Knott, A. (2014). How infants learn word meanings and propositional attitudes: a neural network model. In *Communicative Action* (pp. 107–124). Springer. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-4585-84-2_7
- Lee, E. C., & Rescorla, L. (2002). The use of psychological state terms by late talkers at age 3. *Applied Psycholinguistics*, 23(04). <https://doi.org/10.1017/S014271640200406X>
- Leonard, L. B. (2014). *Children with Specific Language Impairment*. MIT Press.
- Loveland, K. A., & Landry, S. H. (1986). Joint attention and language in autism and developmental language delay. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 16(3), 335–349.
- Luyster, R., & Lord, C. (2009). Word learning in children with autism spectrum disorders. *Developmental Psychology*, 45(6), 1774.
- Markman, E. M. (1994). Constraints on word meaning in early language acquisition. *Lingua*, 92, 199–227. [https://doi.org/10.1016/0024-3841\(94\)90342-5](https://doi.org/10.1016/0024-3841(94)90342-5)
- Marshall, J. (2003). Noun–verb dissociations—evidence from acquisition and developmental and acquired impairments. *Journal of Neurolinguistics*, 16(2), 67–84.

- Marton, K., Abramoff, B., & Rosenzweig, S. (2005). Social cognition and language in children with specific language impairment (SLI). *Journal of Communication Disorders, 38*(2), 143–162.
- Matson, J. L. (2016). *Handbook of assessment and diagnosis of autism spectrum disorder*. Springer.
- Mayor, J., & Plunkett, K. (2010). Vocabulary Spurt; Are Infants full of Zipf? In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 32).
- McDuffie, A. S., Yoder, P. J., & Stone, W. L. (2006). Labels increase attention to novel objects in children with autism and comprehension-matched children with typical development. *Autism: The International Journal of Research and Practice, 10*(3), 288–301. <https://doi.org/10.1177/1362361306063287>
- Morales, M., Mundy, P., Delgado, C. E., Yale, M., Messinger, D., Neal, R., & Schwartz, H. K. (2000). Responding to joint attention across the 6-through 24-month age period and early language acquisition. *Journal of Applied Developmental Psychology, 21*(3), 283–298.
- Moseley, R. L., Mohr, B., Lombardo, M. V., Baron-Cohen, S., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2013). Brain and behavioral correlates of action semantic deficits in autism. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00725>
- O’Grady, W. (2005). *How children learn language*. Cambridge University Press.
- O’Reilly, R. C., & Munakata, Y. (2000). *Computational explorations in cognitive neuroscience: Understanding the mind by simulating the brain*. MIT press.
- Papakalodouka, P. (2014). *Non - verbal communication in children with specific language impairment*. University of the Aegean, Rhodes. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10442/hedi/35635>

- Papakalodouka, P., & Papaeliou, C. F. (2016). The Theory of Intersubjectivity may explain aspects of Specific Language Impairment. *Eleftherna*, 7. [https://doi.org/University of Crete](https://doi.org/University%20of%20Crete)
- Patel, V. B., Preedy, V. R., & Martin, C. R. (2014). *Comprehensive guide to autism*. Springer.
- Pinker, S. (1987). The bootstrapping problem in language acquisition. In *Mechanisms of language acquisition* (pp. 399–441).
- Pinker, S. (2009). *Language learnability and language development, with new commentary by the author* (Vol. 7). Harvard University Press.
- Preissler, M. A. (2008). Associative learning of pictures and words by low-functioning children with autism. *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 12(3), 231–248. <https://doi.org/10.1177/1362361307088753>
- Preissler, M. A., & Carey, S. (2005). The role of inferences about referential intent in word learning: Evidence from autism. *Cognition*, 97(1), B13–B23.
- Quine, W. V. O. (1960). *Word and Object*. The MIT Press.
- Reimer, M., & Michaelson, E. (2017). Reference. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017). Metaphysics Research Lab, Stanford University. Retrieved from <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/reference/>
- Rice, M. L., Oetting, J. B., Marquis, J., Bode, J., & Pae, S. (1994). Frequency of input effects on word comprehension of children with specific language impairment. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(1), 106–122.
- Sandhofer, C. M., Smith, L. B., & Luo, J. (2000). Counting nouns and verbs in the input: differential frequencies, different kinds of learning? *Journal of Child Language*, 27(03), 561–585.

- Siskind, J. M. (1996). A computational study of cross-situational techniques for learning word-to-meaning mappings. *Cognition*, *61*(1–2), 39–91.
- Smith, L., & Yu, C. (2008). Infants rapidly learn word-referent mappings via cross-situational statistics. *Cognition*, *106*(3), 1558–1568.
- Spanoudes, G. (2004). *Mental verbs and memory function in school-aged children with specific language impairment and typically developing children* (PhD in Psychology). Cyprus University. Retrieved from <http://www.openarchives.gr/view/635380>
- Tager-Flusberg, H. (2006). Defining language phenotypes in autism. *Clinical Neuroscience Research*, *6*(3–4), 219–224.
- Tardif, T., Gelman, S. A., & Xu, F. (1999). Putting the “noun bias” in context: A comparison of English and Mandarin. *Child Development*, *70*(3), 620–635.
- Tomasello, M., & Kruger, A. C. (1992). Joint attention on actions: acquiring verbs in ostensive and non-ostensive contexts. *Journal of Child Language*, *19*(2), 311–333.
- Tomasello, Michael. (1995). Joint attention as social cognition. In *Joint attention: Its origins and role in development* (Vol. 103130).
- Tomasello, Michael. (1998). Reference: Intending that others jointly attend. *Pragmatics & Cognition*, *6*(1), 229–243.
- Tomasello, Michael. (2000a). First steps toward a usage-based theory of language acquisition. *Cognitive Linguistics*, *11*(1/2), 61–82.
- Tomasello, Michael. (2000b). The social-pragmatic theory of word learning. *Pragmatics*, *10*(4), 401–414.
- Tomasello, Michael. (2003). *Constructing a language*. Cambridge, Massachusetts: Harvard university press.

- Tomasello, Michael. (2009). The usage-based theory of language acquisition. In *The Cambridge handbook of child language* (pp. 69–87). Cambridge Univ. Press.
- Tomasello, Michael, & Akhtar, N. (1995). Two-year-olds use pragmatic cues to differentiate reference to objects and actions. *Cognitive Development, 10*(2), 201–224.
[https://doi.org/10.1016/0885-2014\(95\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0885-2014(95)90009-8)
- Tomasello, Michael, & Carpenter, M. (2007). Shared intentionality. *Developmental Science, 10*(1), 121–125. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00573.x>
- Trauner, D., Wulfeck, B., Tallal, P., & Hesselink, J. (2000). Neurological and MRI profiles of children with developmental language impairment. *Developmental Medicine and Child Neurology, 42*(7), 470–475.
- Trevarthen, C. (1994). Infant semiosis. In W. Nöth (Ed.), *Origins of Semiosis: Sign Evolution in Nature and Culture*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Trevarthen, C. (2015). Infant Semiosis: The psycho-biology of action and shared experience from birth. *Cognitive Development, 36*, 130–141.
- Vinos, M., Andrikopoulou, A., Papaeliou, C. F., & Protopapas, A. (2016). Modeling Impairments in Lexical Development. In *Proceedings of the 38th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Volkmar, F. R. (2012). *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*. Springer New York.
- Watkins, R. V., Rice, M. L., & Moltz, C. C. (1993). Verb use by language-impaired and normally developing children. *First Language, 13*(37), 133–143.
- Waxman, S., Fu, X., Arunachalam, S., Leddon, E., Geraghty, K., & Song, H. (2013). Are Nouns Learned Before Verbs? Infants Provide Insight Into a Long-Standing Debate. *Child Development Perspectives, 7*(3), 155–159.
- Williams, T. I. (1993). Brief report: Vocabulary development in an autistic boy. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 23*(1), 185–191.

- Windfuhr, K. L., Faragher, B., & Conti-Ramsden, G. (2002). Lexical learning skills in young children with specific language impairment (SLI). *International Journal of Language & Communication Disorders*, 37(4), 415–432.
- Wittgenstein, L. (1922). *Tractatus logico-philosophicus with an introduction by Bertrand Russell*.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations. Philosophische Untersuchungen*.
- World Wide Words: Boot. (n.d.). Retrieved January 26, 2018, from <http://www.worldwidewords.org/qa/qa-boo2.htm>
- Yoder, P., & McDuffie, A. (2006). Teaching young children with autism to talk. In *Seminars in speech and language* (Vol. 27, p. 161). Thieme Medical Publishers, Inc. Retrieved from <http://vkc.mc.vanderbilt.edu/yoder/yoder-p-j--mcduffie-a-2006.pdf>
- Yu, C., & Ballard, D. H. (2007). A unified model of early word learning: Integrating statistical and social cues. *Neurocomputing*, 70(13), 2149–2165.
- Yu, C., & Smith, L. B. (2008). Statistical cross-situational learning in adults and infants. In *Proceedings of the 32th Annual Boston University Conference on Language Development* (pp. 562–573). Cascadilla Press Somerville, MA.
- Ziatas, K., Durkin, K., & Pratt, C. (1998). Belief term development in children with autism, Asperger syndrome, specific language impairment, and normal development: Links to theory of mind development. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39(05), 755–763.

Παραρτήματα - Appendices

Appendix I: Addendum on earlier work

This Appendix is intended to serve as a follow-up to the report of the first phase of the experimental work, presented in (Vinos et al., 2016). The procedures, results and conclusions of the second part of the research are summarized hereunder.

During the first phase of the research a small set of pilot simulations had been carried out with the model configured to exhibit a delayed decay of Residual Associative Learning (RAL), which gave some indications for the possible attainment of the ASD profile, when the decay time is increased to a tenfold level from the one of the previous attempts, i.e. to reach 50,000 trials. This choice is consistent with the greater role of associative learning to these children's language acquisition, as posited by part of the relevant domain literature (Luyster & Lord, 2009). Six pilot simulations had been run with this tentative configuration for each condition of the low RAL level, with basic threshold of gate activation set to 0.46 and for 120 epochs. The asymmetry curves for these simulations are shown in the Figure 1 below, where the larger magnitude of the asymmetry in the low reliability condition over the other two levels can be observed.

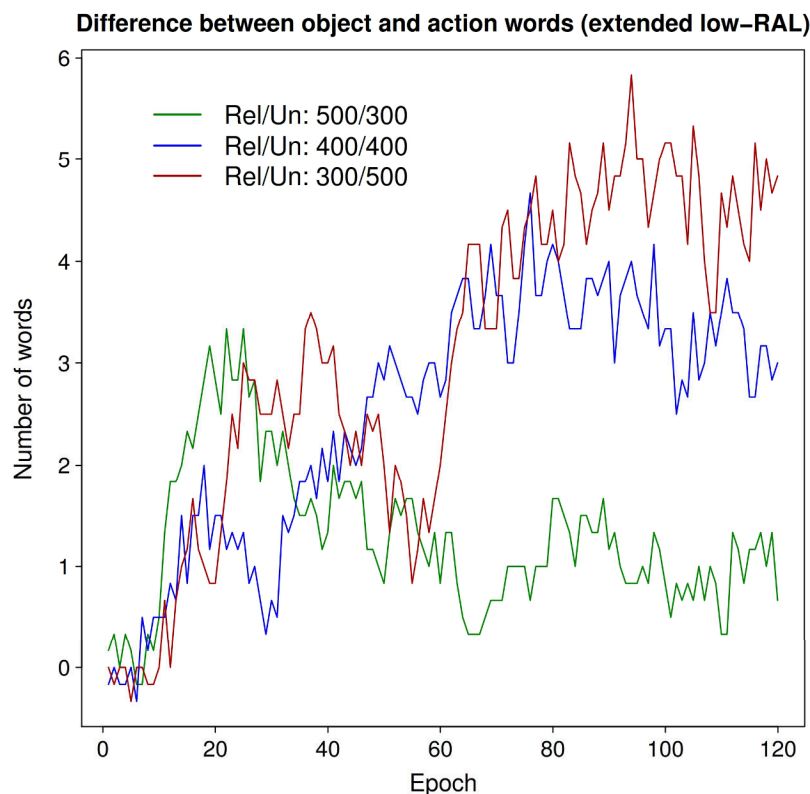


Figure 1. The graph depicts the curve of nouns-verbs difference for the pilot series of simulations, done with extension of the decay time for the residual associative learning to 50,000 trials.

To further investigate this direction, a series of complete simulations over extended training time was decided to be carried out in order to help provide a comprehensive picture for all conditions. This could give the opportunity to capture all system behaviors and the possibility of reliable comparison between all the different conditions. Twenty simulations were done, for each of the 12 conditions: 2 [fast and delayed decay] x 2 [low RAL and high RAL] x 3 [ratio of 300:500, 400:400 and 500:300 for the reliability levels]. The value for the lower activation threshold of the gate was 0.46 (the absolute threshold remained at 0.55). For each of the 240 new simulations the number of training epochs was 180.

Results - Discussion. First of all it must be noted that a clear difference in the model’s behavior was exhibited between the two groups of the simulations as distinguished by the

decay time of associative learning. These differences are present in several areas: the performance of the lexical subsystem, the evolution of asymmetry in time, the performance and general behavior of the filter/gate. The latter can be assessed by both the training point when the system reaches full recognition of the maternal communicative actions as optimal learning opportunities and also by the level of the recognition of different kinds of events too as reliability signals. Especially for the last point, it is characteristic that as training progresses usually beyond 150 epochs, it is observed that the gate starts to identify additional events from the MOTHER-TALK event (other combinations of object-action concepts), and in this way the filter's final unit is providing signals for the lexical subsystem opening on all these occasions. The number of that kind of events can reach the value of 15. This means that the promotion of not reliable circumstances is increased and as a consequence the system is somehow de-trained for some words. This phenomenon is more frequently evident in conditions of high reliability (500:300) than in these of medium or low reliability and also more frequently in fast decay conditions than delayed ones. Further analysis of this behavior could shed more light on this interaction of associative learning, gate's performance and lexical learning competence.

With respect to the lexical learning competence, it clearly shows that the delayed decay of associative learning leads to an optimization of the correct word learning. So, while in the fast decay conditions the word learning subsystem starts losing the already learned words at the point of the 125-130 epoch of training, on the other hand, in the delayed decay conditions the system continues to retain the learned words up to the point of 160-170 epoch of training. Moreover, in the low reliability condition the slope of the words learning curve continues to be slightly positive up to almost the same point (Figure 4 below). Of course, probably the most notable element is that throughout the whole training, the total number of correctly learned words in all conditions of delayed decay level is significantly greater than the one in

the corresponding conditions of the delayed decay level. For example, and as it is depicted in Figure 2 below, while the correctly learned words numbers in the high reliability condition + low RAL + fast decay, reach, in average, a value slightly above 34, in the high reliability condition + high RAL + delayed decay, they exceed 38. The following Figures, 2, 3, and 4, each one depicts, the 4 conditions in the same reliability level, in comparison. In general, it can be observed that, taken in pairs, the conditions in the same level of associative learning delay, don't exhibit significant differences, possible excluding the two conditions, low and high RAL of high reliability level (500:300) for fast decay, where the low RAL condition is lagging behind high RAL condition for both the ascending and descending phases (Figure 2).

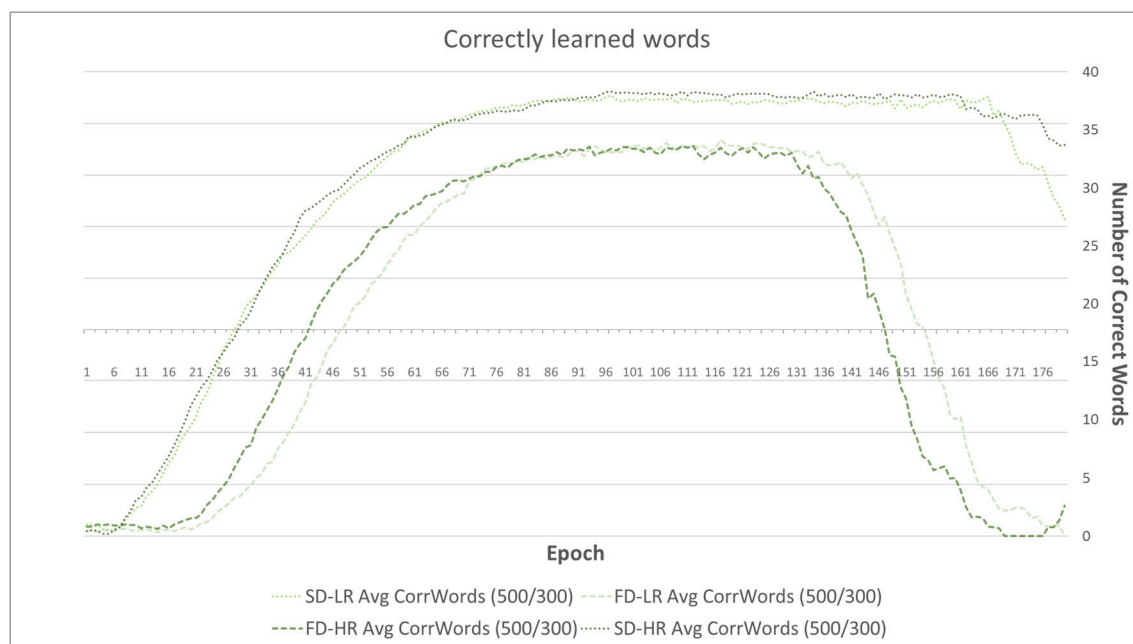


Figure 2. The four curves for correctly learned words, for the high reliability level –500:300– of the two fast decay levels and the two delayed decay levels. (SD: Slow [Delayed] Decay, FD: Fast Decay, LR: low RAL, HR: high RAL)

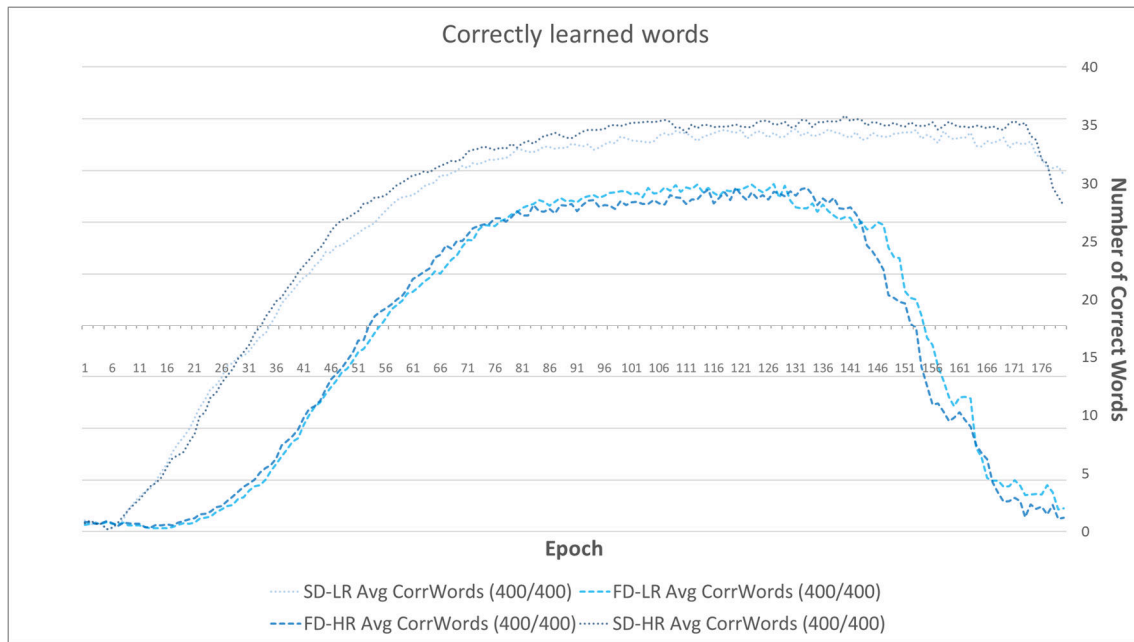


Figure 3. The four curves for correctly learned words, for the medium reliability level – 400:400– of the two fast decay levels and the two delayed decay levels. (SD: Slow Decay, FD: Fast Decay, LR: low RAL, HR: high RAL)

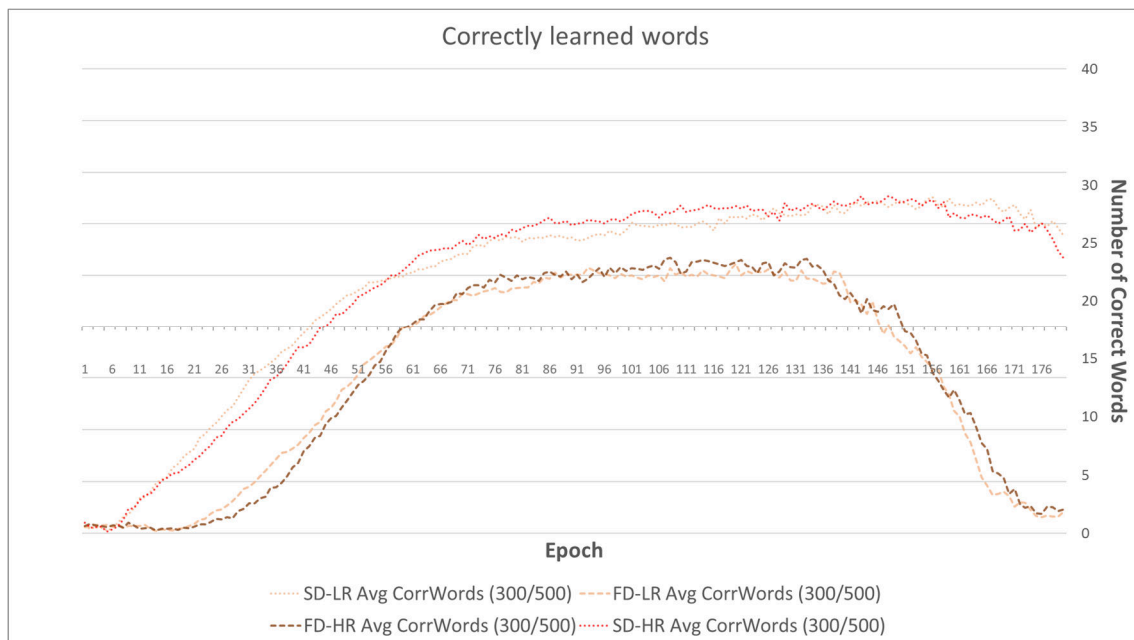


Figure 4. The four curves for correctly learned words, for the low reliability level –300:500– of the two fast decay levels and the two delayed decay levels. (SD: Slow Decay, FD: Fast Decay, LR: low RAL, HR: high RAL)

The two following graphs, Figure 5 and Figure 6, depict the curves for the evolution of asymmetry along with the correctly learned words curves (for the whole number of words, irrespective of category) for the condition of fast a.l. (associative learning) decay + low RAL and for the condition of fast a.l. decay + high RAL correspondingly, so that there can be direct observation of the critical points for the nouns-verbs difference relative to the performance of the lexical learning in total. In addition the graphs indicate the time points when the 100% (in average) of the gate's performance is achieved for the identification of the maternal communicative actions, MOTHER-TALK, for each different level of reliability.

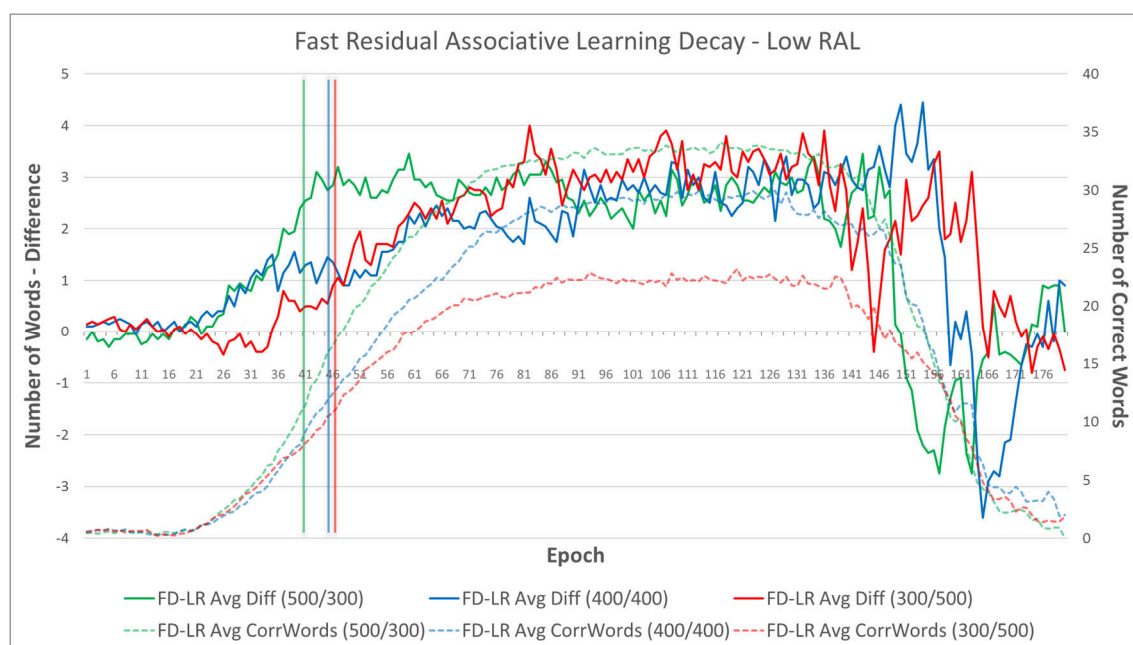


Figure 5. The graph displays the words learning curves (number of the correctly learned words correspond to the right vertical axis) together with the asymmetry curves for the three reliability levels of the fast a.l. decay condition + low RAL. In addition the graph depicts through the vertical lines with the colors matching the curves: high reliability -> green, medium reliability -> blue, low reliability -> red, the time points of the peak performance of the gate for the MOTHER-TALK events. (FD: Fast Decay, LR: low RAL)

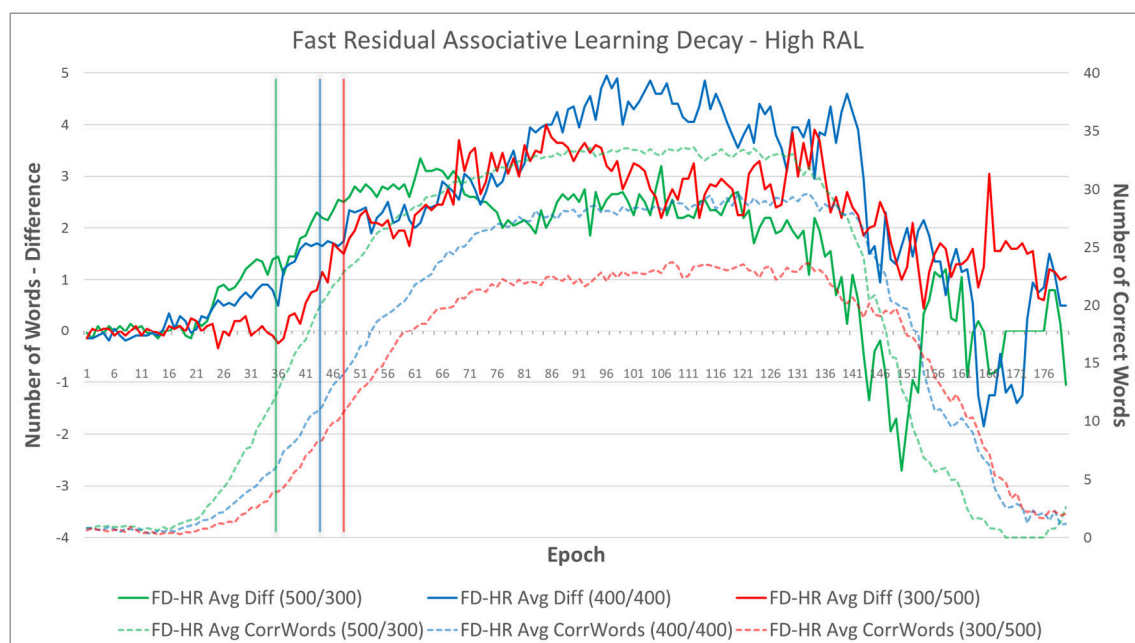


Figure 6. The graph depicts the words learning curves together with the asymmetry curves for the three reliability levels of the fast a.l. decay condition + high RAL and also the time points of the 100% of the gate's performance. (FD: Fast Decay, HR: high RAL)

An obvious point is that for the group of fast decay + low RAL, the system evolution, regarding the asymmetry, is more ambiguous in comparison to the group of fast decay + high RAL, at least for the specific time period of the training when the slope of words learning curve has reached zero value and is maintained at zero levels. In short, in the fast decay + low RAL group, no statistically significant differences between the 3 reliability conditions are exhibited for this period (as they can be assessed through t-tests done per epoch). On the other hand, in the fast decay + high RAL, approximately from the 80th epoch to the end of the period, the 400:400 condition displays a statistically significant difference compared to the 500:300 condition. In both these groups, a statistically significant prevalence of the high reliability condition over, mainly, the high reliability condition, is observed, regarding the categorical asymmetry. In the group of fast decay + low RAL there is a statistically significant difference between the average value of the time point of the absolute gate

activation between the two extreme conditions of reliability while in the fast decay + high RAL group there is a statistically significant delay of this point, for both conditions, low and medium reliability, in comparison with the high reliability (500:300) condition. In essence it seems that the distinguishing factor for that condition over the others, is the higher value of residual associative learning, which leads this particular event to happen quite earlier – approximately 5 epochs earlier– in the process of training.

Regarding this aspect of the model’s behavior, the comparison among the aforementioned simulations groups and these of delayed decay + low RAL and delayed decay + high RAL (for which the corresponding graphs are displayed in the Figures 7 and 8 below) shows a very large shortening of the time needed for this peak, which is due to the high values of RAL. Moreover, this difference in times reaches the scale of 17-20 epochs approximately for the low reliability (300:500) conditions. Specifically, the filter subsystem manage to reach the absolute (100%) of the maternal communicative actions’ identification for the two fast decay simulation groups, low and high RAL, in mean trial counts of 130K ($SD = 33K$) [reliability condition 300:500], 127K ($SD = 29K$) [reliability condition 400:400], 114K ($SD = 20K$) [reliability condition 500:300] and 134K ($SD = 21K$) [reliability condition 300:500], 122K ($SD = 26K$) [reliability condition 400:400], 100K ($SD = 19K$) [reliability condition 500:300] correspondingly. For the groups of delayed decay simulations, low and high RAL, the mean trial counts for the peak of filter performance are: 81K ($SD = 34K$) [reliability condition 300:500], 69K ($SD = 23K$) [reliability condition 400:400], 63K ($SD = 13K$) [reliability condition 500:300] and 89K ($SD = 27K$) [reliability condition 300:500], 69K ($SD = 16K$) [reliability condition 400:400], 59K ($SD = 14K$) [reliability condition 500:300] correspondingly.

It must be additionally noted that the time point at which the associative learning reaches the final RAL value is located almost at the end of the 18th epoch of training that is quite

earlier than the point of the filter’s performance peak. The latter, especially for the high reliability condition of the high RAL level in delayed decay (which is the earliest this landmark of the bootstrapping effect is been achieved) comes a little after the 21st epoch of training has been completed. Also, this event happens during the ascending section of both the learning curves as also of the asymmetry curves and characteristically quite earlier than the period of the asymmetry curve leveling, which is obviously happening under the influence of a minimal rate of associative learning (RAL).

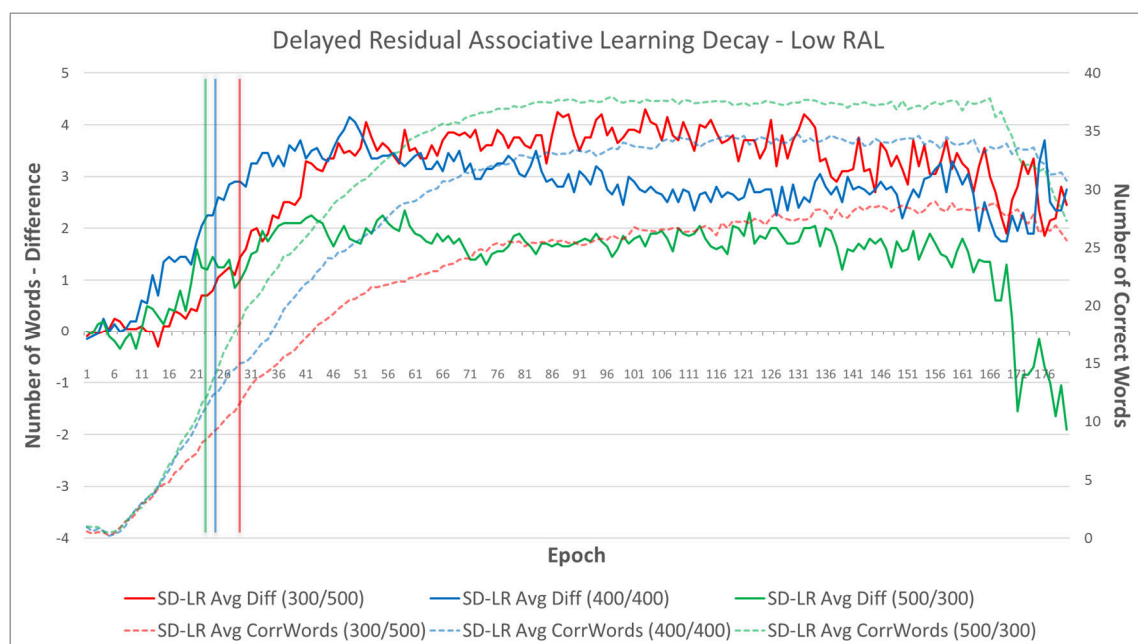


Figure 7. The words learning curves together with the asymmetry curves for the three reliability levels of the delayed a.l. decay condition + low RAL and also the time points of the 100% of the gate’s performance. (SD: Slow Decay, LR: low RAL)

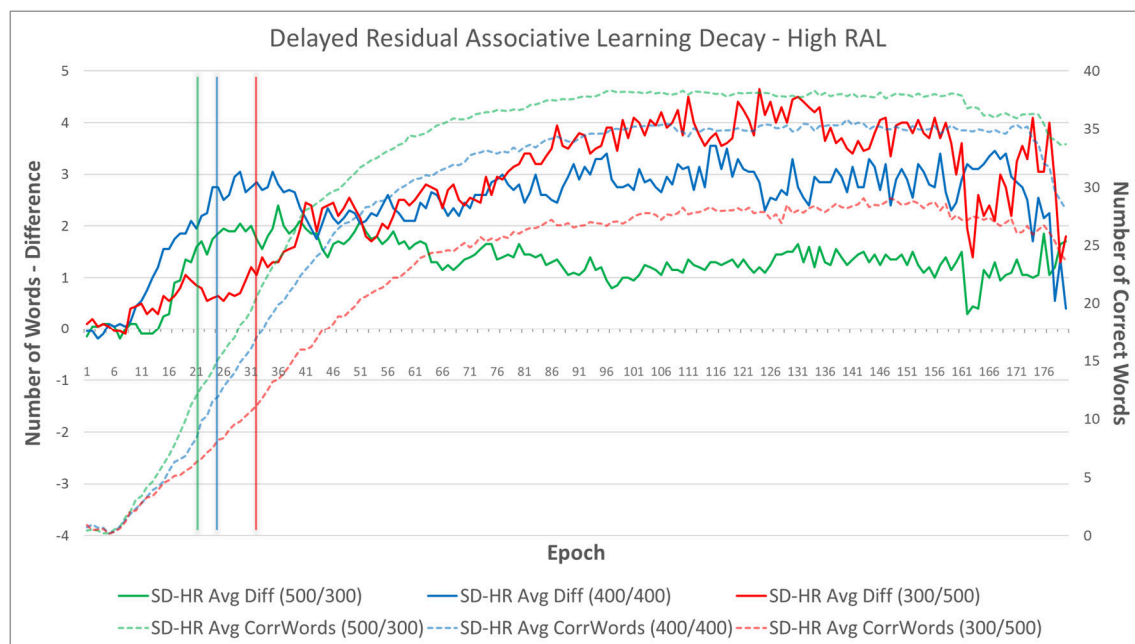


Figure 8. The words learning curves together with the asymmetry curves for the three reliability levels of the delayed a.l. decay condition + high RAL and also the time points of the 100% of the gate’s performance. (SD: Slow Decay, HR: high RAL)

What is readily observed is that in the conditions with delayed decay of a.l., in total, there is a stabilization of the asymmetry evolution curves, which follows the corresponding stabilization, evident in the lexical learning curves. Especially for the now large period of stable or almost stable number of learned words, the low reliability condition exhibits a statistically significant difference over the high reliability condition mainly (under the low RAL as also the high RAL configurations). For the same period, the medium reliability condition also exhibits a statistical significant difference in comparison to the high reliability condition. The Figures 11–22 below display indicative graphs, in which time periods for which the t-tests, done for pairs of conditions per epoch, showed statistically significant differences, become apparent. Another characteristic element is that statistically significant differences in asymmetry averages are exhibited between the medium reliability condition (which reaches higher magnitudes) and the high and low reliability conditions during the

ascending period of lexical learning for both groups of delayed decay of the associative learning.

The following Figures 9 and 10 depict the evolution of the categorical asymmetry alone, for the two simulations groups with delayed RAL decay. The graphs show only the range of 1-140 epochs to produce a more clear view of the more interesting period. It moreover occurs that from the end of this period onwards, the various ceiling effects are evident, which are due to the beginning of the system’s identification of different events than the ones of maternal communicative actions as appropriate learning opportunities.

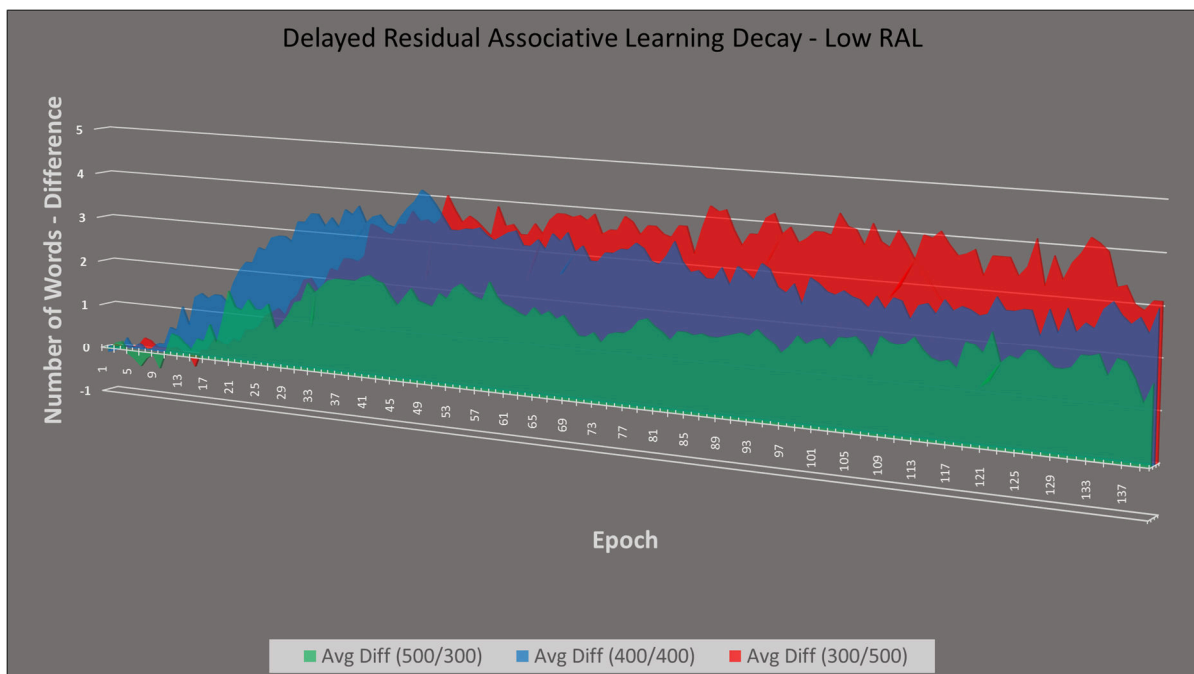


Figure 9. The asymmetry evolution curves for the three reliability levels of the delayed decay of the a.l. + low RAL condition for the epoch range 1-140.

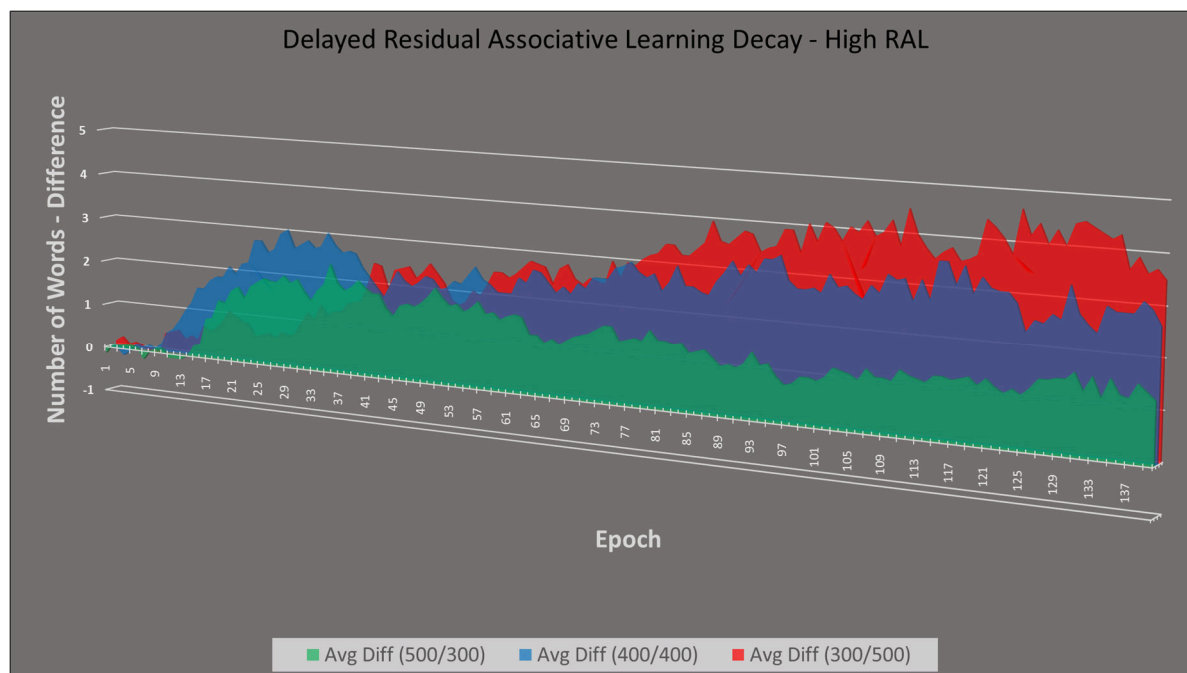


Figure 10. The asymmetry evolution curves for the three reliability levels of the delayed decay of the a.l. + high RAL condition for the epoch range 1-140.

In order to better assess and demonstrate the between conditions differences in the asymmetry evolution which interest the research hypothesis more specifically, paired sample one-tailed t-tests have been carried out (as has already mentioned in the text part referring to data analysis). Graphs for these analyses are included below. In each plot, the two conditions in comparison are shown with more intense lines and in the parts of the curve where exist contiguous periods of statistically significant difference, these are marked with vertical shadowed zones which reach up to the curve which exhibits the larger asymmetry. If, in the particular comparison, there exist alternations of the difference signs between asymmetries, the shadowed zones extend throughout the whole plot height. Asterisks on the top of the plots area also mark the statistical significance ($p < 0.05$) of the difference of mean values and they also mark it for isolated epochs –outside the bounds of contiguous periods. For the compared conditions the standard error bands of the two curves are also plotted. The colors of the curves and of the corresponding error bands are the ones used in general for this study graphs

for the reliability levels: green – high reliability (500:300), blue – medium reliability (400:400), red – low reliability (300:500).

In Figures 11 and 12 below, the comparisons among the conditions of low and high reliability of the two simulations groups for delayed decay of a.l. are shown. For these cases the asymmetry for low reliability is higher during the larger part of 60-160 epochs' period of training, a fact that supports the main research hypothesis. It's indicative that the aggregated mean values of asymmetry for these two levels of reliability, and for selected training periods, regarding the group of delayed decay of a.l. low RAL, are: 41-160 epochs period -> $M = 3.61$, $SD = 0.33$ (300:500), $M = 1.77$, $SD = 0.22$ (500:300), 81-140 epochs period -> $M = 3.75$, $SD = 0.33$ (300:500), $M = 1.78$, $SD = 0.18$ (500:300). The corresponding aggregated mean asymmetry values for the group of delayed decay of a.l. and high RAL, are: 41-160 epochs period -> $M = 3.38$, $SD = 0.73$ (300:500), $M = 1.37$, $SD = 0.25$ (500:300), 81-140 epochs period -> $M = 3.87$, $SD = 0.35$ (300:500), $M = 1.25$, $SD = 0.18$ (500:300). The above findings therefore mean that the asymmetry for the high level of reliability in the group of delayed decay of a.l. with high RAL is smaller than this of the group of delayed decay of a.l. with low RAL. For the same two groups the asymmetry magnitude for the low level of reliability is rather larger in the first of them: larger differentiation of asymmetry in the group of delayed decay of a.l. with high RAL in comparison to the group of delayed decay of a.l. with low RAL.

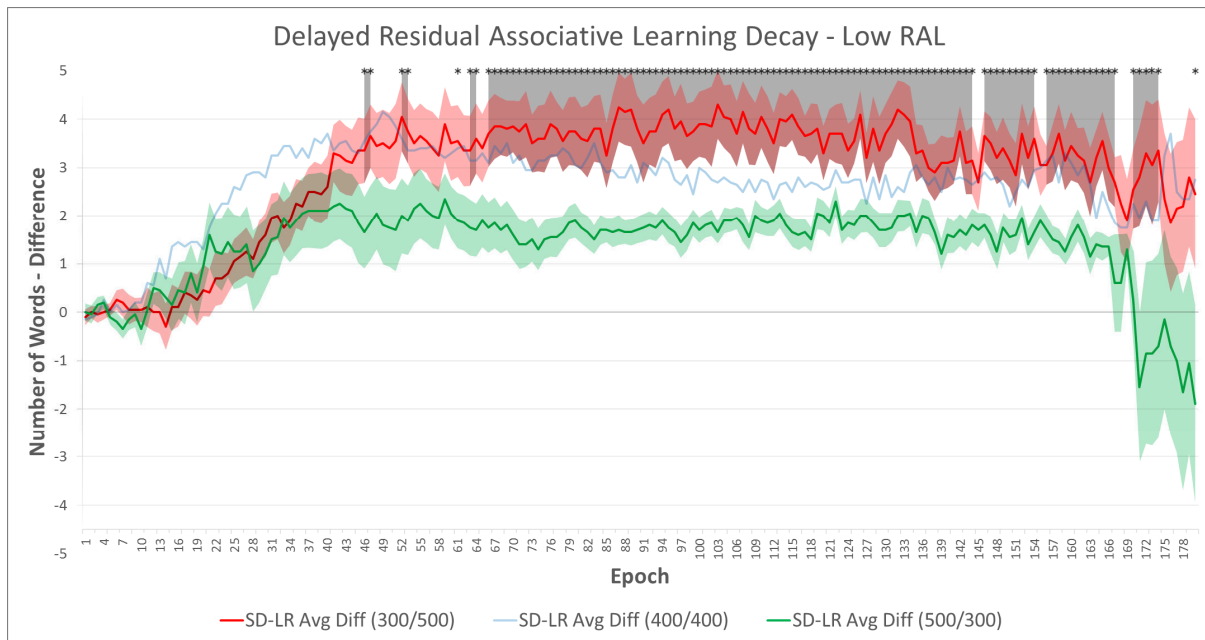


Figure 11. The curves for the development of asymmetry are plotted in the graph, both for the conditions of high and low reliability of the simulations group of delayed decay of a.l. and low level of RAL. There exists a statistically significant difference ($p < 0.05$) for the larger part of training after the ascending segment of the curve.

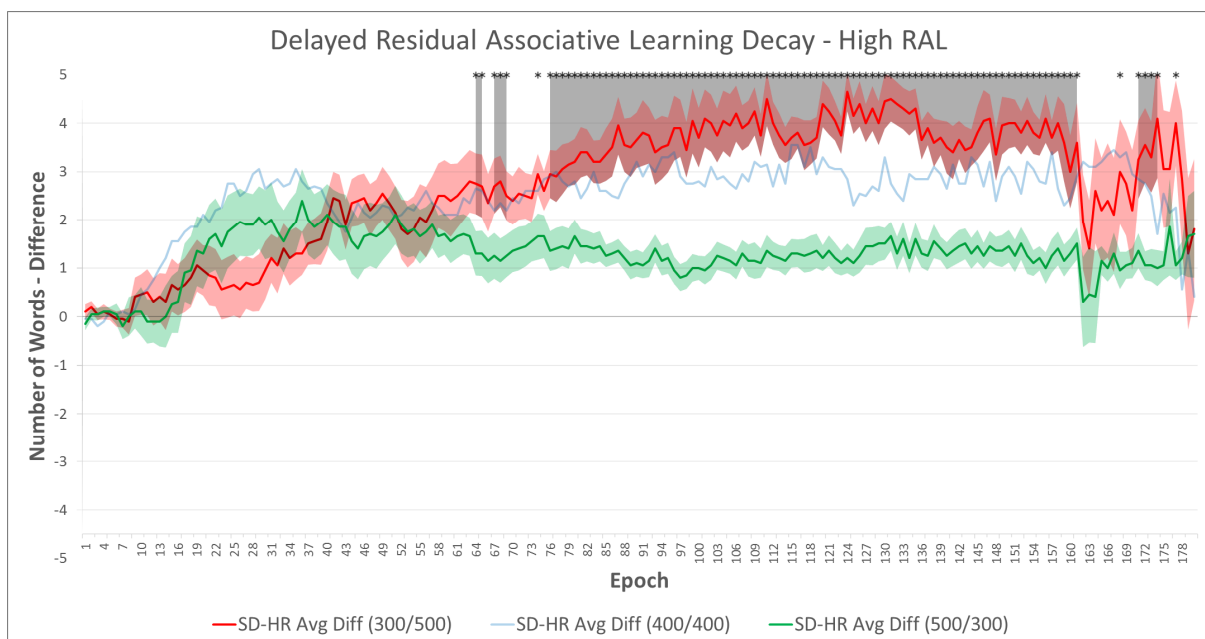


Figure 12. The graph displays the asymmetry curves in comparison for the conditions of high and low reliability of the simulations group of delayed decay of a.l. and high level of RAL.

As in the former graph, there also exists a statistically significant difference ($p < 0.05$) for the larger part of training after the ascending segment of the curve.

In the following Figures 13 and 14, the plots for the comparisons between levels of low and medium reliability for the two simulations groups of delayed decay of a.l. are displayed. In both of these cases the reduction of reliability for maternal communicative actions doesn't lead to a significant increase of noun-verbs asymmetry. It can be observed that the medium reliability condition prevails the low reliability condition at some segments of the ascending course of the asymmetry curves as also of the learning curves (before the peak of the filter's performance) whereas the opposite happens for some of the final segments of the zero slope course of the curves (a slightly negative slope of the medium reliability asymmetry curve is observed for the same period).

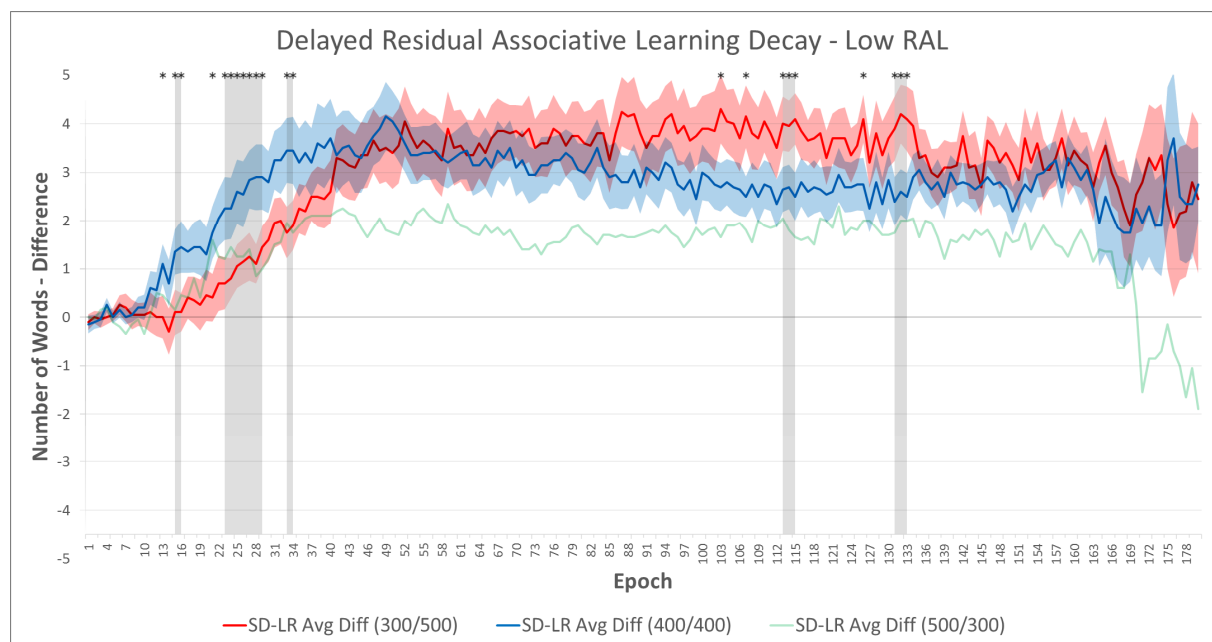


Figure 13. The curves of the evolution of asymmetry levels for the conditions of medium and low reliability of the simulations group of delayed decay of a.l. and Low RAL are displayed on the graph. During the ascending part the asymmetry for medium reliability is larger whereas the opposite is observed when the whole system has reached *equilibrium* and this

preponderance is statistically significant for only a few of the final segments of the particular period.

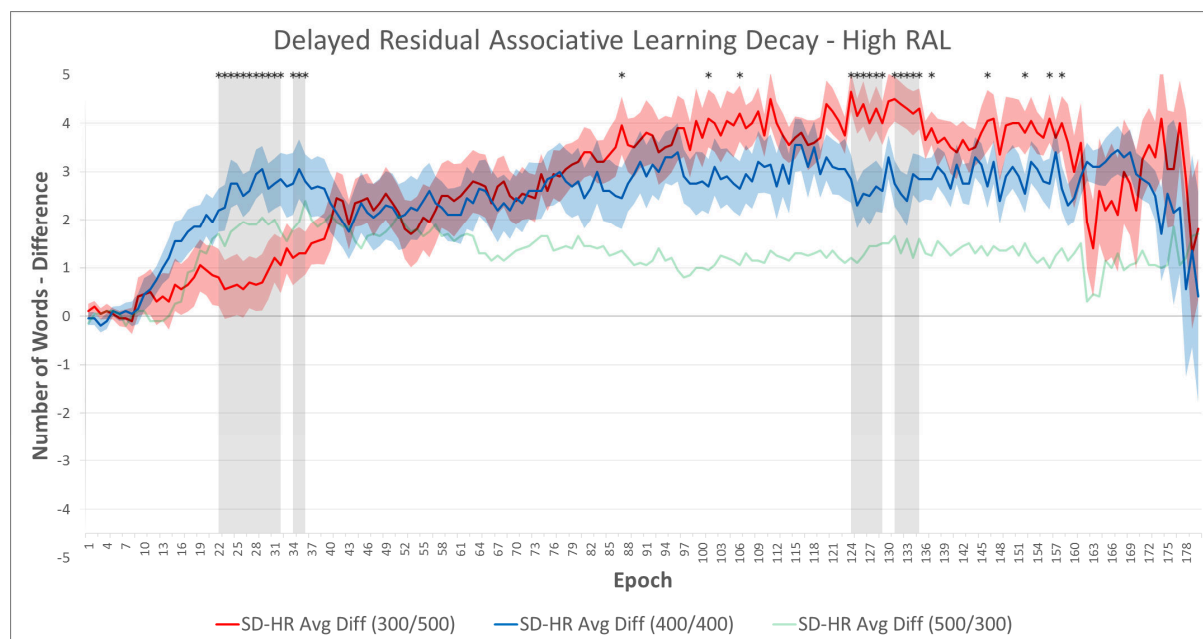


Figure 14. The curves of the evolution of asymmetry levels for the conditions of medium and low reliability of the simulations group of delayed decay of a.l. and High RAL are displayed on the graph. The same pattern of alteration in the sign of the difference between the two curves is being observed, as in the matching conditions of Low RAL for the former group of simulations.

Finishing the reference on the two groups of simulations of the delayed decay of a.l. condition, the graphs for the comparisons between the levels of medium and high reliability are displayed in the Figures 15 and 16 below. In this case it is observed that the reduction of reliability between the two levels leads to a statistically significant increase of categorical asymmetry for many segments of the training course of the system, especially for the group of delayed decay of a.l. with High RAL. For this last condition some indicative aggregation mean values of asymmetry are: 81-160 epochs period $\rightarrow M = 2.89, SD = 0.30$ (400:400), $M =$

1.26, $SD = 0.17$ (500:300), 101-140 epochs period $\rightarrow M = 2.92$, $SD = 0.30$ (400:400), $M = 1.28$, $SD = 0.16$ (500:300).

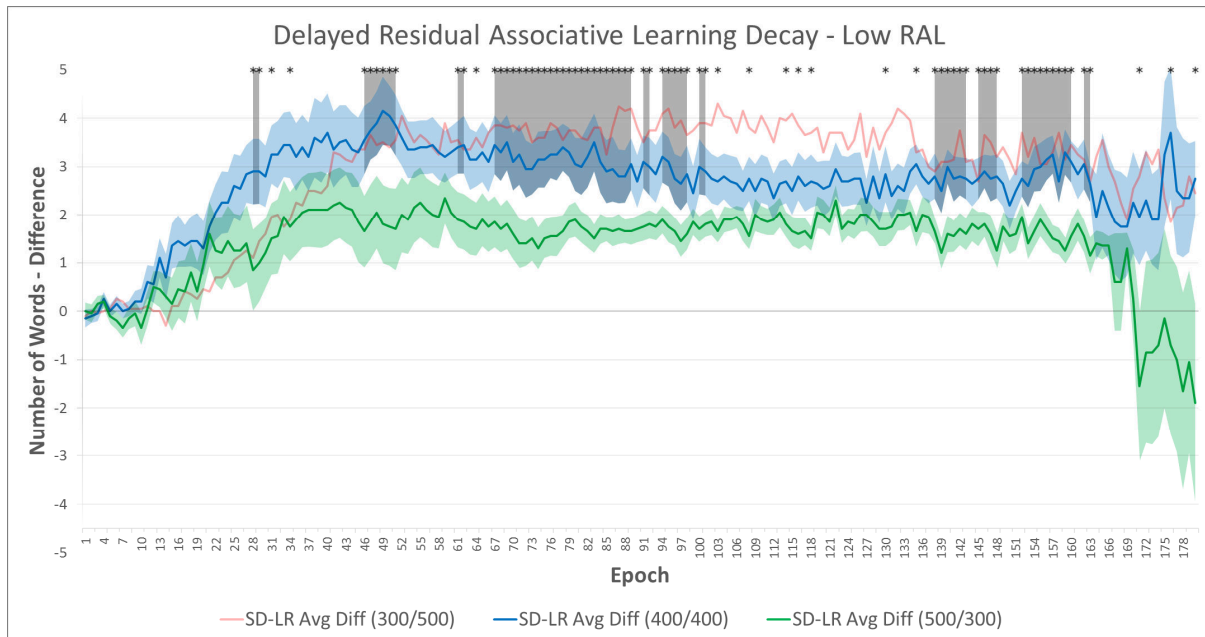


Figure 15. The curves of the asymmetry evolution for the conditions of medium and high reliability of the simulations group of delayed decay of a.l. with Low RAL are displayed on the graph. Statistically significant differences exist for certain segments of the training course.

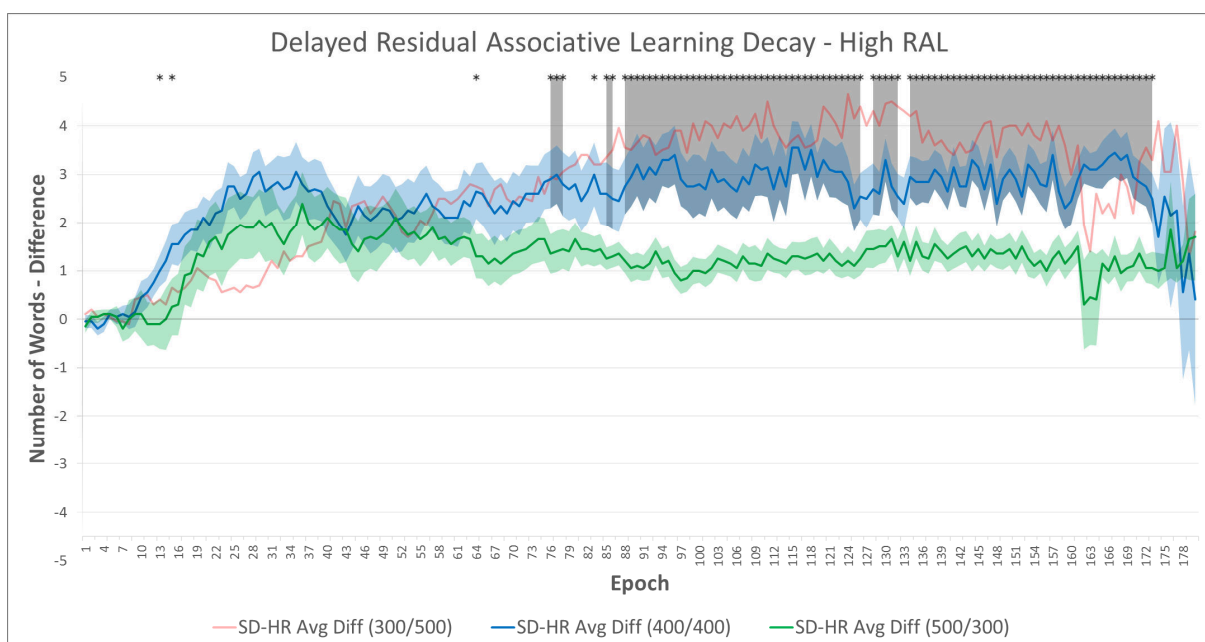


Figure 16. The curves of the asymmetry evolution for the conditions of medium and high reliability of the simulations group of delayed decay of a.l. with High RAL are displayed on the graph. The statistically significant differences regard larger segments of the training course, mainly from its middle point and afterwards.

For the two simulations groups of the fast decay of a.l. level there aren't being observed, in general, continuous and with the same sign statistically significant asymmetry differences while the reliability is reduced among the different levels, apart for the case of the comparison between medium and high reliability in the group of High RAL. In the Figures 17 and 18 below, the graphs of the comparisons of asymmetry curves between the medium and high reliability levels are displayed, and the Figures 19 and 20 display the graphs of the comparisons of asymmetry curves between the low and medium reliability levels. An interesting phenomenon is being observed on the graph in Figure 20, for the comparison of the group of fast decay of a.l. with High RAL, where there exist several short periods, towards the end of the equilibrium period (80-140 epochs) in which the asymmetry of the medium reliability level is larger than this of the high reliability level. This is a phenomenon at the opposite direction than the basic research hypothesis proposes. Indicative aggregative mean values of asymmetry are: 81-140 epochs period -> $M = 4.16$, $SD = 0.43$ (400:400), $M = 3.06$, $SD = 0.48$ (300:500).

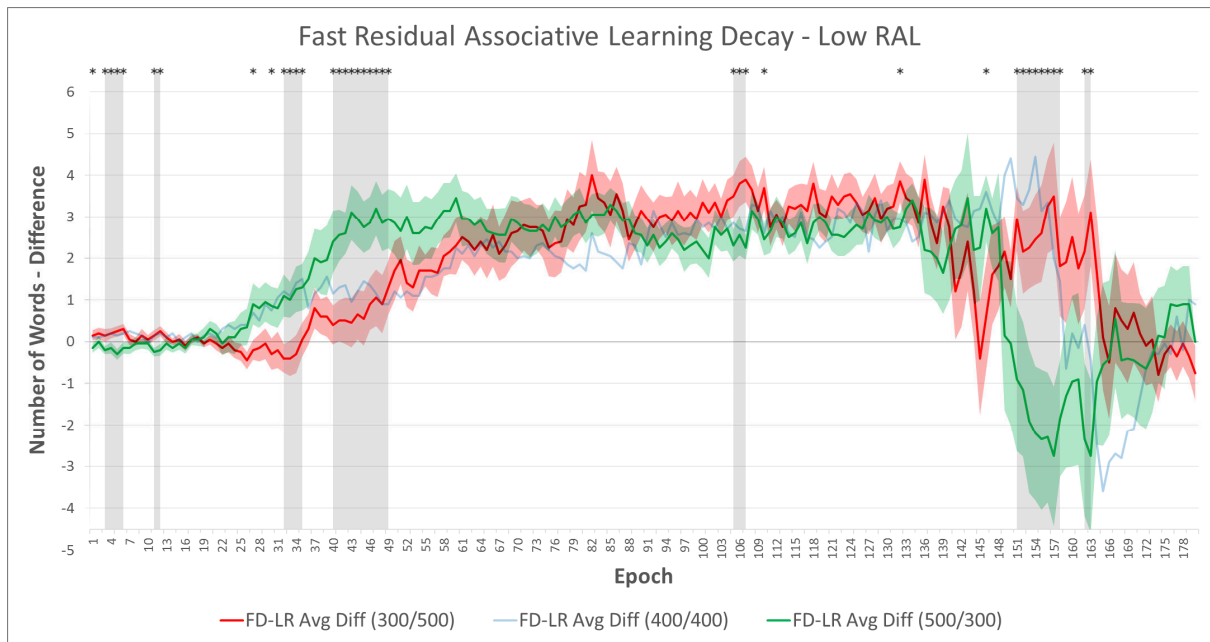


Figure 17. The graph displays the comparison of the asymmetry evolution curves between the conditions of high and low reliability for the simulations group of the fast decay of a.l. with Low RAL. Alterations of the direction of the difference are observed as also short periods when this difference is statistically significant.

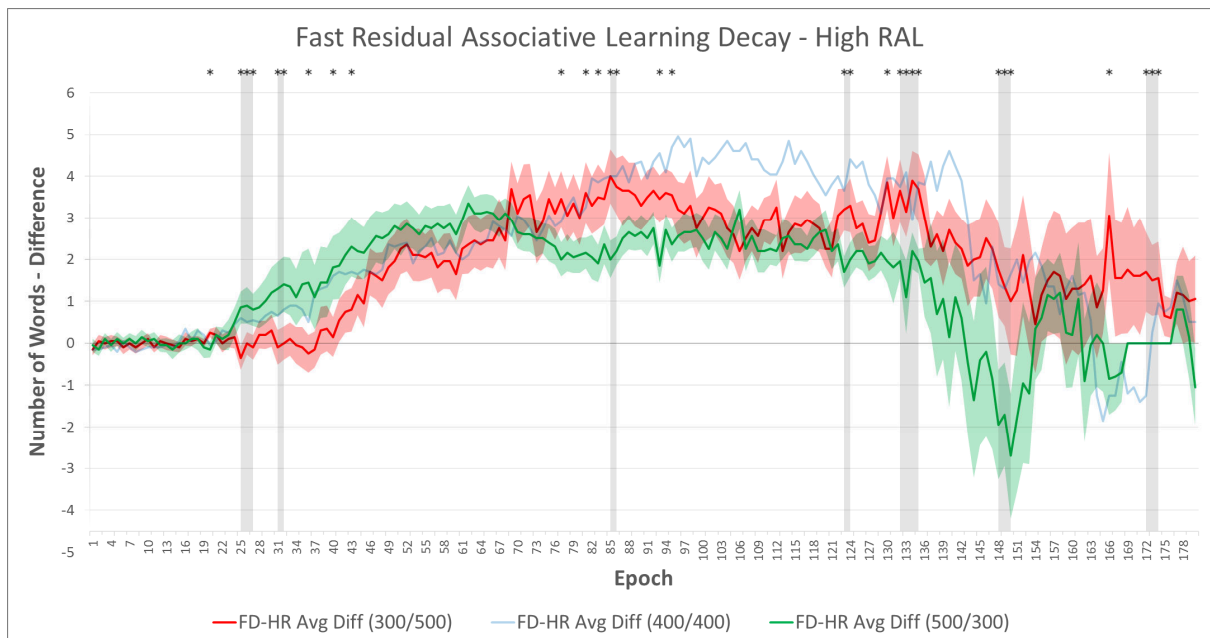


Figure 18. The graph displays the comparison of the asymmetry evolution curves between the conditions of high and low reliability for the simulations group of the fast decay of a.l.

with High RAL. As in the group of Low RAL alterations of the direction of the difference are observed and even shorter periods when this difference is statistically significant.

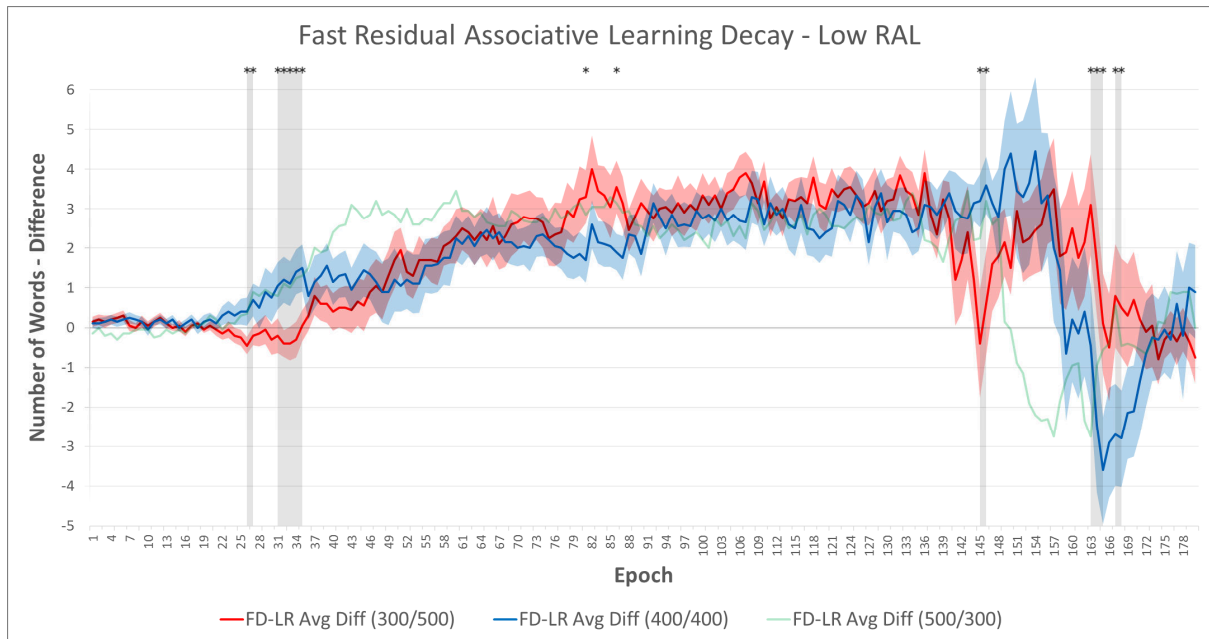


Figure 19. The graph displays the comparison of the asymmetry evolution curves between the conditions of medium and low reliability for the simulations group of the fast decay of a.l. with Low RAL. Alterations of the direction of the difference are observed as also short periods when this difference is statistically significant.

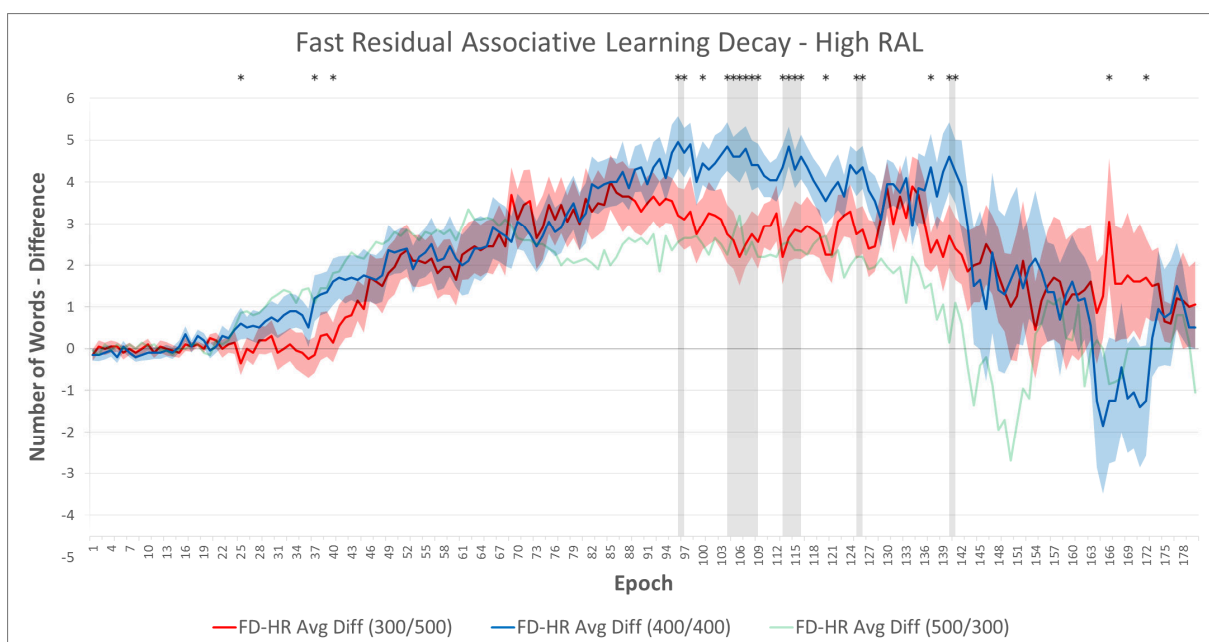


Figure 20. The graph displays the comparison of the asymmetry evolution curves between the conditions of medium and low reliability for the simulations group of the fast decay of a.l. with High RAL. Several short periods towards the end of the system’s equilibrium period when this difference is statistically significant are observed.

Finally, regarding the comparison of the asymmetry curves between medium and high reliability levels, the graphs for the two groups of fast a.l. decay are displayed in the Figures 21 and 22 below. Especially for the group of High residual a.l. level (Figure 22) there exists a statistically significant increase of asymmetry due to the reduction of the reliability values for a large segment of the equilibrium period of the training course. Some indicative aggregated mean values of asymmetry are: 81-140 epochs period -> $M = 4.16$, $SD = 0.43$ (400:400), $M = 2.2$, $SD = 0.52$ (500:300), 81-160 epochs period -> $M = 3.59$, $SD = 1.15$ (400:400), $M = 1.56$, $SD = 1.33$ (500:300).

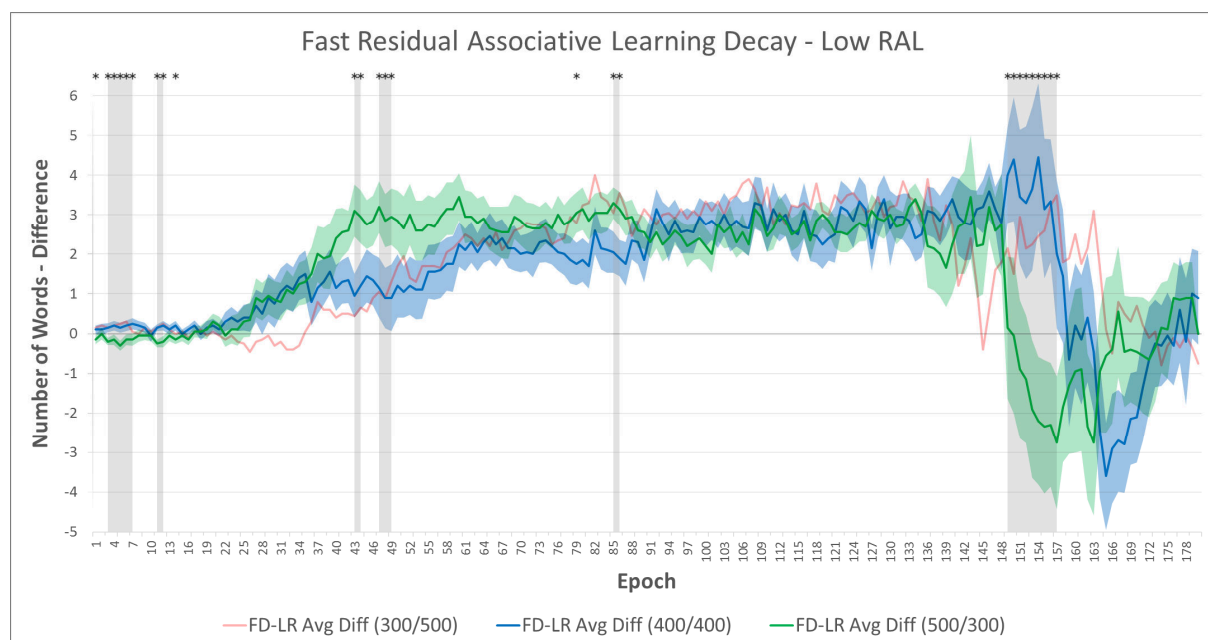


Figure 21. The graph displays the comparison of the asymmetry evolution curves between the conditions of medium and high reliability for the simulations group of the fast decay of a.l. with Low RAL. Alterations of the direction of the difference are observed as also short

periods when this difference is statistically significant. A somewhat larger period when for which the asymmetry for the medium reliability level is higher, is being observed towards the end of the training course. For this period there exists rather a large reduction of the asymmetry for the high reliability level than a corresponding increase of the asymmetry for the medium reliability level. Indicatively, for the high reliability level (500:300), the aggregated (*moving*) average values of asymmetry for the 141-160 epochs period and the 161-180 epochs period are: $M = 0.22$, $SD = 2.24$ and $M = -0.32$, $SD = 0.98$ respectively.

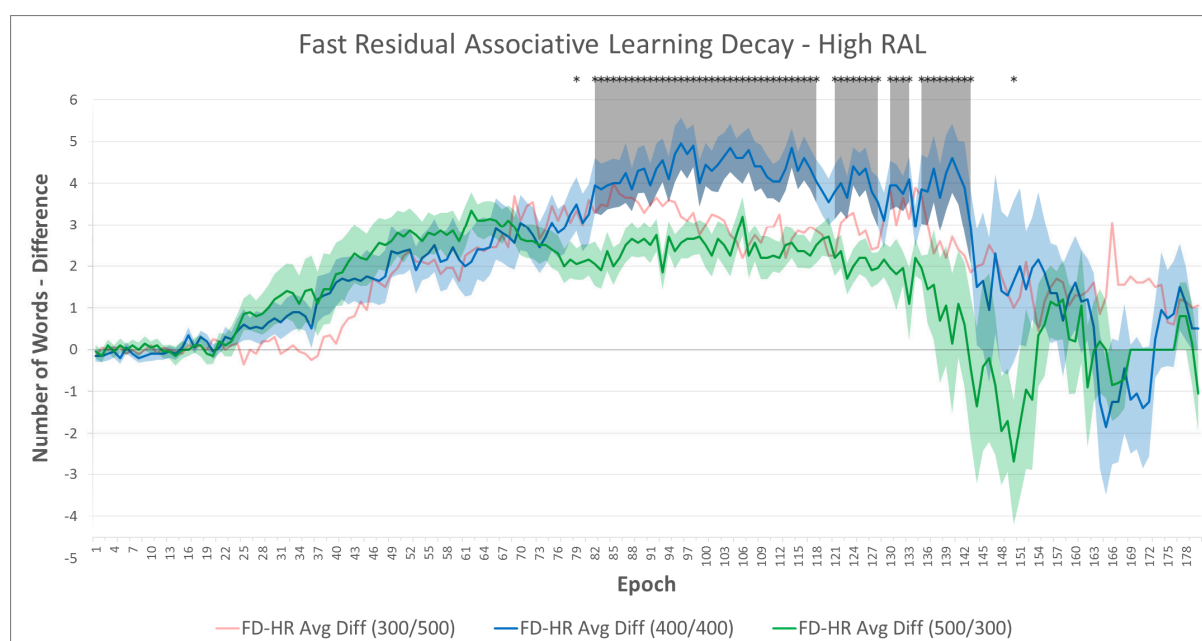


Figure 22. The graph displays the comparison of the asymmetry evolution curves between the conditions of medium and high reliability for the simulations group of the fast decay of a.l. with High RAL. A statistically significant difference in asymmetry values between these two conditions is being observed for a large segment of the equilibrium period of the training course (60-140 epochs).

As it becomes obvious from the graph right above, for the simulations group of fast a.l. decay with High RAL, the reduction of reliability to a medium level (that is the 400:400 condition) leads to large values of asymmetry, when the case is that high levels of associative

learning haven't preceded in the initial states of training, so the training is carried out under conditions of relatively high levels of residual a.l. (High RAL). Moreover, these values are the highest average levels of asymmetry encountered over all simulations. This particular finding is quite interesting and further proper analyses could probably help for the interpretation of the situation. Indicatively, in the graph of Figure 23 below, the curves of asymmetry evolution for the conditions for which the highest peaks of mean asymmetry values are observed, are presented in comparison.

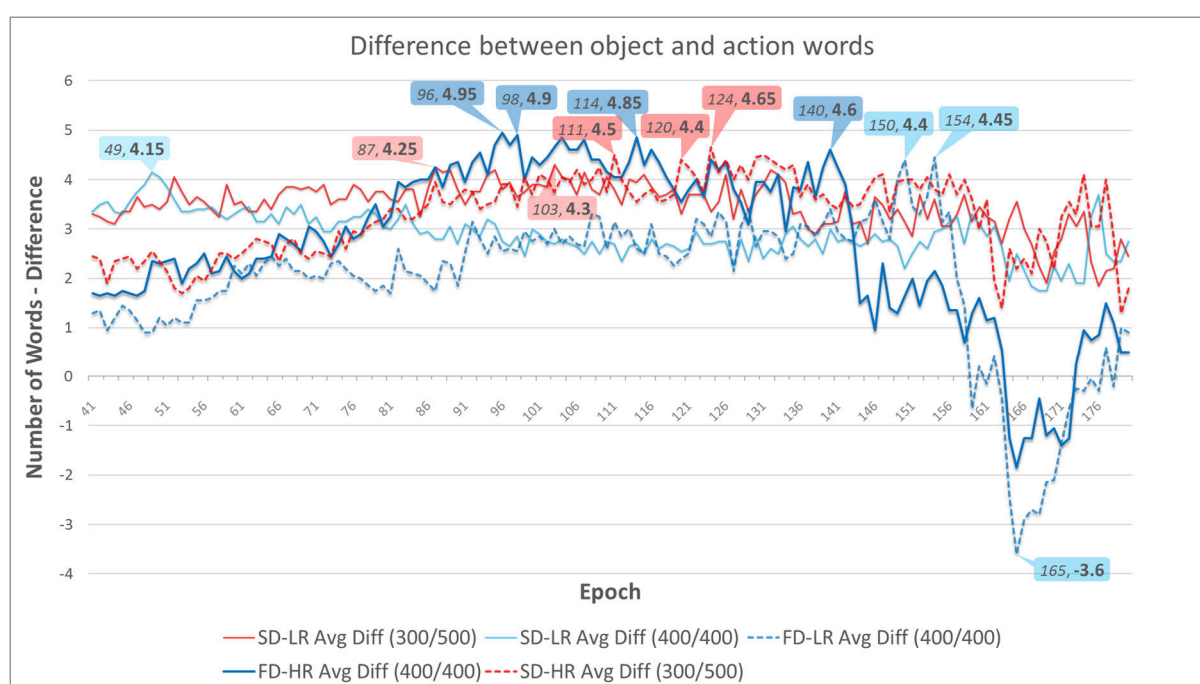


Figure 23. The graph displays the five asymmetry curves which exhibit the highest (and more) peaks of mean values, in the period of 41-180 epochs of training during which these peaks are being observed. The colored tags mark characteristic peaks on each curve (curve and corresponding tags belong to the same color area) and they include the exact epoch and value. For the asymmetry curve of medium reliability level (400:400) of the fast a.l. decay with Low RAL condition, the streaking negative deflection is marked too. This sinking happens abruptly after the positive peak at the 154th training epoch.

The five conditions being displayed in the graph right above, and which exhibit the highest peaks of mean asymmetry values are (sorted in descending order): medium reliability level in the simulations group of fast a.l. decay with High RAL (FD-HR 400:400), low reliability level in the group of delayed a.l. decay with High RAL (SD-HR 300:500), medium reliability level in the simulations group of fast a.l. decay with Low RAL (FD-LR 400:400), low reliability level in the simulations group of delayed a.l. decay with Low RAL (SD-LR 300:500), medium reliability level in the simulations group of delayed a.l. decay with Low RAL (SD-LR 400:400)¹¹. The inclusion criterion chosen was mean asymmetry value over 4. Two more conditions exhibit an isolated peak of mean asymmetry value exactly at 4, FD-LR 300:500 and FD-HR 300:500.

These cases of asymmetry peaks for the particular conditions, follow, only partially, the general tendency of the evolution of asymmetry during the corresponding periods of the training course or even the broader aggregative behavior of each curve. For instance the condition which exhibits the highest peaks in the mean asymmetry values, FD-HR 400:400, holds also the highest position among all 12 conditions when they are sorted based on the aggregative mean asymmetry values for the 81-140 period of training ($M = 4.16$, $SD = 0.43$). The SD-HR 300:500 condition which exhibits the second highest peaks in the mean asymmetry values, is again sorted in the second place among all conditions for the same training period, 81-140 ($M = 3.87$, $SD = 0.35$), while the FD-LR 400:400 condition which exhibits the third highest peaks in the mean asymmetry values holds the 8th place when sorted based on the aggregative mean asymmetry values for the 81-140 period of training ($M = 2.70$, $SD = 0.41$). For the same training period, the 3rd condition in the relevant rating is SD-

¹¹ The encoding of the conditions' naming follows these rules: SD-> Slow Decay of Associative Learning, FD-> Fast Decay of Associative Learning, LR-> low RAL, HR-> high RAL.

LR 300:500 ($M = 3.75$, $SD = 0.33$), which exhibits the fourth highest peaks of mean asymmetry values. The SD-LR 400:400 condition which exhibits the fifth highest peaks of mean asymmetry values, holds the 7th place of the same rating for the 81-140 period ($M = 2.77$, $SD = 0.23$).

Following a different analysis technique, when the 12 conditions are being sorted based on the mean value of the highest 5% of the individual values of asymmetry of all the simulations of each conditions (180 individual values of asymmetry in whole), the FD-HR 400:400 condition holds in this assortment too, the highest place ($M = 10.98$, $SD = 3.84$, range: 20-8) while the 2nd condition regarding the highest mean asymmetry values, the SD-HR 300:500 condition, is sorted only at the 10th place, based on the 5% highest individual values of the 20 simulations ($M = 8.07$, $SD = 1.95$, range: 18-7). The 3rd condition regarding the highest mean asymmetry values, the FD-LR 400:400 condition, is also sorted at the 3rd place of the assortment regarding the 5% highest individual values ($M = 10.24$, $SD = 3.72$, range: 19-7). The 2nd place of the same rating is being hold by the FD-HR 300:500 condition ($M = 10.88$, $SD = 2.28$, range: 17-8), while the 4th place is being hold by the FD-LR 500:300 condition ($M = 9.93$, $SD = 4.24$, range: 19-7) which exhibits only the 9th highest peaks of mean asymmetry values in the training period 81-140 ($M = 2.65$, $SD = 0.36$)¹².

A conclusion which can be drawn from these analyses' findings is that in some conditions the evolution of categorical asymmetry reaches high levels in general for continuous periods of the training course, during which notably high peaks of mean values are being observed, while in other conditions' cases there exists a rather abrupt behavior where either some of the condition's simulations exhibit quite high asymmetry values but the mean values are

¹² The whole set of the data for the mentioned assortments (as also for other analyses too) is included in the supplementary material on the on-line repository, as being described in the relevant appendix.

moderate, or there exist narrow periods of the training course where the condition exhibits high peaks for the mean asymmetry values while the preceding and following values are quite lower or even belong to large negative sinkings of the mean values. This phenomenon, for example, is being observed for the FD-LR 400:400 condition (while a large negative deflection is being exhibited in the same training period by the FD-HR 400:400 condition also).

General Conclusions – Discussion. Completing this succinct report of the most important results of the second phase of the experiments, some useful conclusions can be drawn, regarding the key questions addressed in the present research, coming from the model’s behaviors already mentioned. First of all it seems that the interaction of the social-pragmatic factors, the most important being joint attention (as it has been modeled in the intentions recognition subsystem) together with the trivial, “garden-variety” (Tomasello, 2000b) type of associative learning, is essential both for the smooth and optimal development of word acquisition and for the evolvement of the categorical nouns-verbs asymmetry. The latter is probably necessary too for the normal language development. Damages of these two elements, have been shown through the different simulations groups conducted, that can lead to perturbations of the categorical difference, compatible with the ASD profile.

More specifically, the individual comparisons for each of the four simulations groups of the 2nd phase of the experiments have shown that the decrease of reliability of maternal communicative stream, namely of the efforts for joint attention directed towards the child (or the ones that can be perceived by the child), causes by itself a reduction of the mean number of words that are correctly learned by the child in each time period, independently of category. This is a very stable finding in the experiments carried out, that is, in each set of simulations, the 500:300 condition always leads to more correctly learned words than the two

other conditions and the 400:400 condition to more correctly learned words than the low reliability condition, i.e. the one with 300:500 reliability ratio.

Also, the increased significance of associative learning (as modeled with the increased value of its decay delay) seems to have three effects on the number of the learned words: 1) increases, for each reliability level, the number of correctly learned words, 2) stabilizes this number, after the ascending period, for a longer time period (number of training epochs), and 3) leads to a large acceleration of the peak of the maternal communicative actions' recognition (i.e. the 100% of the filter/gate performance).

Finally, the following conclusion can be drawn for the combined interaction of the reliability level together with the extent of the parallel associative learning: the persistence of associative learning to larger values for a longer period during the training process leads to a substantially better separation between the three reliability conditions for the nouns-verbs learning asymmetry, especially for the period of the stabilization of the learned words. The decrease of maternal communication reliability, under the influence of the larger role of the associative learning, results to a profile of categorical asymmetry compatible with ASD and this increase of the asymmetry is more significant between the condition of low reliability and the condition of high reliability.

In comparison, the decrease of maternal communication reliability in an environment where associative learning has a diminished role (or under another explanatory view: with lower information noise) leads to a profile of categorical asymmetry compatible with SLI, although in that case, lexical learning, in general, is impaired in a larger degree.

Tomasello's hypothesis on the parallel necessity of joint attention (as the recognition of the speaker's intentions) together with associative learning for the optimal development of

lexical learning, finds support in the interaction of the respective parameters of the model's behavior, as interpreted above.

Future Extensions – Research Proposals. It's rather obvious that the model which has been implemented in the current research cannot lead to a perfectly accurate simulation (always under the scope of the abstractness of connectionist modeling) of the early lexical learning for a series of reasons. Perhaps the most important of them is that of the small and steady number of the words to be learned by the system. A possible revision of the model would be to substantially increase the number of the nouns' and verbs' types of its input. This could allow the more precise and, above all, the long-term observation of their relevant rhythms of learning, away from limiting ceiling effects. In its current version, the small number of words possibly obscures the patterns of differential acquisition, because the model reaches a peak before the asymmetry could develop in its full extent. In addition to the uniform increase of words' types, another version could be to increase to a greater degree the number of nouns' types than the verbs' types.

A more valid approach, from the ecological perspective of research design, would be to construct the whole mechanism in such a way that it could accept new words continuously in its input. A possible choice could be to provide new words to be learned in the input, as long as the system manages to learn words in a sufficient degree. The implementation of such a scheme certainly presents large (if not insurmountable) technical difficulties, nevertheless an approach would be to have a redundancy of units from the start in the input and output levels (as also in the hidden levels) of the networks, which could accommodate the new words' encodings/representations. In parallel, and as the lexical learning performance is assessed in every epoch, the mechanism of the training sequence construction would re-operate in order to incorporate in the input these new words to the extent that the simulation's needs impose.

Along the same line of thought regarding ecological validity, but also for the more accurate assessment of lexical learning, with the measures of lexical acquisition itself as of the categorical asymmetry too, it would be preferable to have the learned words counted per trial rather in the end of every epoch. The system's mechanism is ready to accept such a functional addition, as in the current functionality the performance of the lexical subsystem is already evaluated in every trial, in order to calculate the reward-punishment signals to be sent to the subsystem of communicative intentions recognition.

It might be useful, for the richer investigation of the research hypotheses, to monitor in detail of the filter's performance evolution in the progress of time (as Caza and Knott [2012] do) and its interaction with the evolution of the other elements of the model's behavior. It must be noted that in the current implementation only the gate's reach of peak is monitored, i.e. the point of 100% recognition of communicative actions as proper opportunities for world learning.

The ability for independent operation of the two subnetworks which do the matching of concepts with the sound forms of words –for nouns and verbs– is already incorporated in the system (and even the choice for this independence is already partially functional and integrated into the central control panel of the simulation). This functionality could be implemented in a way compatible with the child's lexical learning, in which an *actual* recognition of the different word classes could be achieved, together with an activation/deactivation or better a gradual activation of the corresponding subsystems during the progress of training. This mode of operation could be useful, for instance, for the hypothesis testing regarding the essential necessity of the leading of nouns' learning over the verbs.

Towards the direction of hypothesis testing regarding interventions for the promoting of language development in ASD, additional types of communicative events could be

incorporated into the training sequences as also properly prepared series of events' sequences, according to specific constraints. These could lead to the investigation of the prospects of various intervention methods for the impaired lexical learning, having as assessment measures the evolution of the model's behaviors: the filter's performance (identification of communicative intentions), the lexical learning's performance, the categorical asymmetry. For example, it could probably be feasible to explore the effectiveness of the parental "synchronous undemanding talking" directed to the child, which basically concerns the intention from behalf of the parent, to initiate episodes of joint attention which are relevant to the entities the child has under her current focus of attention (Yoder & McDuffie, 2006). This type of intervention comes in contrast to attempts of joint attention initiations in which the parent tries to impose a subject for the child to focus on, e.g. an object which the child doesn't currently has under her attention.

*Epilogue*¹³. From the report on the construction of a model of the important aspects of the social-pragmatic approach for the early lexical learning presented above and on the simulations/experiments for the hypothesis testing regarding these factors' importance for deficits of language development, it becomes apparent that, under certain conditions, this model's behavior can be characterized by a sufficient wealth of events and traits so it can serve essentially for the exploration of theoretical frameworks. The approach followed in the current research is characterized by the combination of a nucleus of hypothesis-driven analysis together with exploratory and data-driven one (Cohen, 2014), which is a main feature of modeling studies in general. Thus, the evidence for the impact of residual associative learning on lexical learning and on categorical asymmetry, which resulted from the simulations and analyses of the first phase of the research, led to the modification of

¹³ As included in the 2018 MSc Thesis

relevant parameters of the model, which not only approached with a more proper way the basic research hypothesis, but it revealed in addition the ability of the model to exhibit in its behavior one of the premises of the social-pragmatic hypothesis which in turn served for the enrichment of the research hypotheses and their exploration.

Hence, although Tomasello himself asserts, for this very theory of lexical acquisition, that the connectionist accounts, “at least in their current form in which almost everything is based on distributional analysis”, cannot suffice of the study of language acquisition (Tomasello, 2003, 2009), the cognitive modeling study presented here, points to the opposite direction: the connectionist approaches very possibly accommodate an adequate wealth of dynamic, complex behavior, which can even capture subtle aspects of mental operation, its development, and its impairments, even in areas as dense with features and interpersonal interactions such as linguistic development.

Appendix II: Supplemental Material - On-line repository

The web-page at the address: http://82.113.135.229/lexical_development_impairments_modeling_2017/ accommodates a complete set of materials to aid interested readers/researchers to control the model, run simulations, analyze the research data and interpret the results on their own, including:

Data (as raw data and also in excel files) and **Charts** of the results (as graphics files).

Detailed (statistical) analysis results for all experiments of the 2nd phase and for the comparisons between them (as excel spreadsheet data)

The **model in Emergent format** for the 2nd phase of the research.

All the **archived weights files for the simulations** of the 2nd phase of the research.

Installation files of the Emergent platform, for the Windows operating system (version of the application used in the research), needed for loading the model and running simulations.

Dynamic Charts for the presentation of the results in various formats, programmed in Excel (VBA), in macro-enabled workbook format.

A **short guide** for running the simulations, configuring the programs of the model, handling the data and use the dynamic charts of the results (*not finished yet*).

The **Conference Paper on the 1st phase of the Simulations/Experiments** (under the scope of the BabyAffect project):

Vinos, M., Andrikopoulou, A., Papaeliou, C. F., & Protopapas, A. (2016). Modeling Impairments in Lexical Development. In *Proceedings of the 38th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.

A **Poster synopsis of earlier work** (CogSci 2016, Philadelphia, Pennsylvania).