

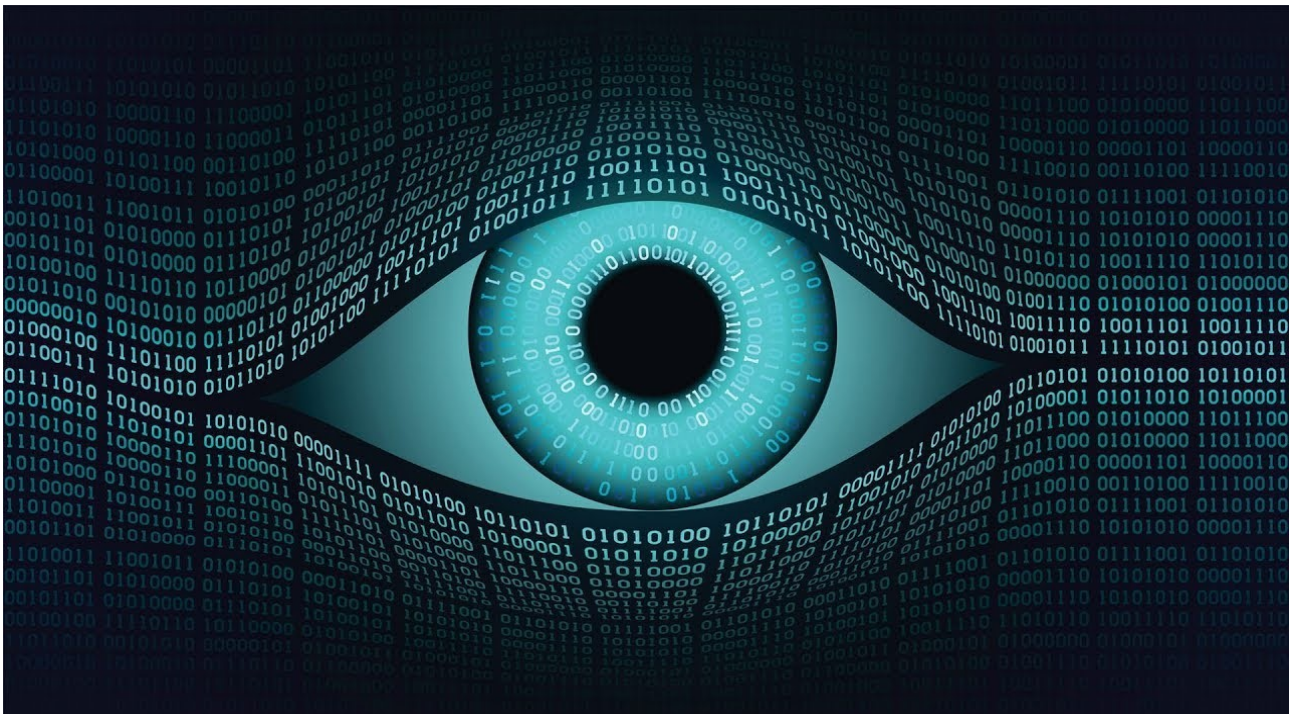


ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη Εικονικού Οικοσυστήματος



Του φοιτητή

Γκατζήμα Θεόδωρου

Αρ. Μητρώου: 103620

Επιβλέπων καθηγητής

Αδαμίδης Παναγιώτης

Θεσσαλονίκη 2018

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	9
Εισαγωγή στην Τεχνητή Ζωή.....	9
2. 1. Ορισμός της Τεχνητής Ζωής.....	9
2. 2. Τι είναι Ζωή.....	10
2. 3. Βασικές προσεγγίσεις τεχνητής ζωής	11
2. 3. 1. Τεχνητά κύτταρα.....	12
2. 3. 2. Αυτόνομοι πράκτορες	13
2. 3. 3. Ψηφιακή εξέλιξη.....	13
2.4 Αλληλεξάρτηση μεταξύ διαφορετικών οργανισμών.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	16
Εφαρμογές προσομοίωσης τεχνητής ζωής	16
3.1. Avida	17
3.2 Polyworld.....	19
3.3 Neurokernel.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	22
Τεχνολογίες ανάπτυξης εφαρμογών προσομοίωσης τεχνητής ζωής	22
4.1. Δημιουργία περιβάλλοντος.....	23
4.1.1 Godot Engine.....	23
4.1.2 Unity.....	24
4.1.3 Box2D.....	25
4.1.4 SFML	26
4.2 Ανάπτυξη των οργανισμών και των Νευρωνικών τους Δικτύων.....	27
4.2.1 FANN.....	27
4.3 Ανάπτυξη Εξελικτικών Αλγορίθμων.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	29
Περιγραφή της εφαρμογής.....	29
5.1 Εξελικτικοί Αλγόριθμοι	29
5.1.1 Γενετικοί αλγόριθμοι.....	30
5.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.....	31
5.2.1 Αρχιτεκτονική των ΤΝΔ.....	31
5.2.2 Μάθηση και εκπαίδευση.....	32
5.2.3 Μάθηση μέσω εξέλιξης.....	33
5.2.4 Γονιδιώματα Συναπτικών Βαρών.....	33
5.3 Το οικοσύστημα.....	34
5.4 Το περιβάλλον.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	36
Ανάλυση και Σχεδίαση εφαρμογής.....	36
6.1 Παρουσίαση της Διεπαφής Χρήστη.....	36
6.2 Ανάλυση του περιβάλλοντος.....	39
6.2.1 Φυσικό Περιβάλλον.....	40
6.2.2 Γραφικό περιβάλλον.....	41
6.3 Οργανισμοί.....	42
6.3.1 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.....	42
6.3.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ των ειδών.....	43

6.3.3 Είσοδοι – Έξοδοι Νευρωνικών Δικτύων.....	44
6.4 Υλοποίηση εξελκτικών αλγορίθμων.....	45
6.4.1 Γονιδιώματα Συναπτικών Βαρών.....	46
6.4.2 Πληθυσμοί γονιδιωμάτων.....	46
6.4.3 Εξέλιξη των πληθυσμών.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	49
Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....	49
7.1 Πιθανά σενάρια και συμπεριφορές.....	49
7.1.1 Συγκέντρωση οργανισμών στα ποτάμια.....	50
7.1.2 Αποφυγή εμποδίων.....	50
7.1.3 Σχέσεις συναγωνισμού αντί ανταγωνισμού.....	51
7.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....	51
7.2.1 Αρχικά στάδια.....	51
7.2.2 Πειράματα σύγκρισης συναρτήσεων ενεργοποίησης.....	52
7.2.3 Παρατηρήσιμες Συμπεριφορές.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	55
Συμπεράσματα, Προτάσεις.....	55
8.1 Παράθυρο προσομοιωτή.....	55
8.2 Παρακολούθηση οικοσυστήματος.....	56
8.3 Οικοσύστημα και οργανισμοί.....	57
Παράρτημα 1.....	59
Εγχειρίδιο Χρήστη.....	59
1. Απαιτήσεις Εκτέλεσης Εφαρμογής.....	59
2. Περιγραφή Διεπαφής Χρήστη.....	59
2.1 Παράθυρο Αρχικής Παραμετροποίησης.....	59
2.1.1 Παράμετροι Οικοσυστήματος.....	61
2.1.2 Παράμετροι Νευρωνικών Δικτύων.....	64
2.1.3 Παράμετροι Εξελκτικών Αλγορίθμων.....	67
2.1.4 Επιλογές Εκκίνησης.....	68
2.2 Παράθυρο Προσομοίωσης.....	68
2.2.1 Γραφική Αναπαράσταση Οικοσυστήματος.....	69
2.2.2 Πάνελ Ικανότερων Οργανισμών.....	69
2.2.3 Πληροφορίες Οικοσυστήματος.....	70
2.2.4 Πάνελ μετρητών θανάτων.....	71
2.2.5 Πάνελ Εξελκτικών Αλγορίθμων.....	72
2.2.6 Πάνελ Νευρωνικών Δικτύων.....	72
2.2.7 Αποθήκευση και έξοδος.....	72
Παράρτημα 2.....	74
Αποτελέσματα Προσομοιώσεων και Ανάλυση Οικοσυστήματος.....	74
1. Ανάλυση Οικοσυστήματος.....	74
1.1 Καθιερωμένα χαρακτηριστικά οικοσυστήματος.....	74
1.2 Παραμετροποιήσιμα Χαρακτηριστικά.....	77
1.2.1 Τροποποίηση αλληλεπιδράσεων.....	77
1.2.2 Τροποποίηση Νευρωνικών Δικτύων.....	79
1.2.3 Παραμετροποίηση εξελκτικών αλγορίθμων.....	79
2. Προβλεπόμενα αποτελέσματα.....	80
2.1 Συγκέντρωση κοντά στα ποτάμια.....	80
2.2 Αποφυγή βράχων.....	80
2.3 Σχέσεις συλλεκτών – προστατών.....	81
2.4 Κυριαρχία ενός είδους.....	82

3. Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....	82
3.1 Αρχικά στάδια προσομοιώσεων.....	83
3.2 Αποτελέσματα πειραμάτων στον τελικό προσομοιωτή.....	84
3.2.1 Σύγκριση συναρτήσεων ενεργοποίησης.....	84
3.2.2 Παρατηρήσιμες συμπεριφορές οργανισμών	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία μίας εφαρμογής προσομοιώσεων τεχνητών οικοσυστημάτων με έμφαση στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών οργανισμών, αλλά και η χρήση της για την έρευνα των σχέσεων ανταγωνισμού και συναγωνισμού που αναπτύσσονται. Αρχικά γίνεται μία εισαγωγή στην τεχνητή ζωή που είναι ο τομέας που ασχολείται με παρόμοιες εφαρμογές και ανάλυση κάποιων από αυτές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από προγραμματιστές για την ανάπτυξη μίας τέτοιας εφαρμογής αλλά και αναφορά στον τρόπο που κάποια από αυτά χρησιμοποιήθηκαν για το πρόγραμμα "ENNTera" το οποίο αναπτύχθηκε. Τέλος, αναλύονται κάποιες συμπεριφορές που παρατηρήθηκαν σε πειράματα που έγιναν στην πρώτη έκδοση του προσομοιωτή οι οποίες δίνουν στον αναγνώστη μία γεύση από τις ικανότητες των εξελικτικών αλγορίθμων ως μέθοδο εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the development of a desktop simulation of artificial ecosystems emphasizing on the interactions between organisms of different species, as well as its use for researching possible scenarios of cooperation and competition between species. The reader is introduced to Artificial Life along with some related applications and some toolkits available to develop one. Then “ENNTera”, the application developed in this thesis, is analyzed in detail in the same way as the tools used for creating it. Finally, results of some experiments are presented and examined thoroughly giving the reader an opportunity to further understand the use and potential of evolutionary algorithms as a training method of neural networks.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή έχει σκοπό την δημιουργία μίας εφαρμογής προσομοίωσης τεχνητών οικοσυστημάτων στην οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ερευνήσει σενάρια αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών ειδών οργανισμών που μάχονται για την επιβίωση. Η κύρια ιδέα προέρχεται από την παρατήρηση πραγματικών οικοσυστημάτων και τις σχέσεις ανταγωνισμού και συναγωνισμού μεταξύ διαφόρων ειδών. Ξεχωριστό χαρακτηριστικό της εφαρμογής αυτής είναι η προσπάθεια δημιουργίας ενός περιβάλλοντος που έχει την δυνατότητα να προάγει τον συναγωνισμό μεταξύ κάποιων ειδών κατ' επιλογή του χρήστη.

Ο προσομοιωτής δημιουργήθηκε ως εφαρμογή υπολογιστή που δεν απαιτεί διαδικτυακή σύνδεση. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι η C++. Οι οργανισμοί που δραστηριοποιούνται στο τεχνητό περιβάλλον του προσομοιωτή χρησιμοποιούν Νευρωνικά Δίκτυα για την αντίληψη του περιβάλλοντος και την λήψη αποφάσεων ενώ για την εκπαίδευση των Νευρωνικών Δικτύων χρησιμοποιούνται εξελικτικοί αλγόριθμοι. Για την δημιουργία του περιβάλλοντος και των οργανισμών χρησιμοποιήθηκαν μηχανές φυσικής και γραφικών οι οποίες είναι βιβλιοθήκες της C++.

Ως αποτελέσματα της χρήσης του προσομοιωτή για τον πειραματισμό πάνω στις αλληλεπιδράσεις των τεχνητών οργανισμών, καταγράφηκαν κάποιες ιδιαίτερες συμπεριφορές και σχέσεις αλληλεπίδρασης που μαζί με κάποια σενάρια περιγράφονται στο κεφάλαιο 7 και στο παράρτημα 2. Μερικά από αυτά περιλαμβάνουν κινήσεις κάποιων οργανισμών που εμφανίστηκαν και επιλέχθηκαν σαν ικανές λύσεις στο πρόβλημα της επιβίωσης από τους εξελικτικούς

αλγορίθμους όπως κινήσεις διεύρυνσης του οπτικού πεδίου των οργανισμών.

Τα πειράματα που έγιναν κράτησαν σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και τα αποτελέσματά τους δεν περιείχαν τα προσδοκώμενα μεγέθη λόγω του όγκου πληροφοριών που πρέπει να αναλυθούν και υπολογιστούν από τα νευρωνικά δίκτυα των οργανισμών. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ένας τρόπος μάθησης των νευρωνικών δικτύων που ενώ ερευνούν μεγάλο φάσμα του πεδίου λύσεων, συνήθως αργούν να φτάσουν σε ουσιώδη αποτελέσματα σε σχέση με περισσότερο συγκεκριμένα μαθησιακά μοντέλα. Συζήτηση πάνω σε αυτό γίνεται στο κεφάλαιο 6.

Για την εισαγωγή του αναγνώστη στις απαραίτητες έννοιες γίνεται αρχικά μία αναφορά στην Τεχνητή Ζωή στο κεφάλαιο 2 ενώ στα κεφάλαια 4 και 5 αναφέρονται υπάρχουσες εφαρμογές και τεχνολογίες ανάπτυξης αυτών. Τα κεφάλαια 6 και 7 περιγράφουν και αναλύουν σε βάθος της παρούσα εφαρμογή του προσομοιωτή και τα χαρακτηριστικά της. Τέλος στο κεφάλαιο 8 αναγράφονται κάποια μελλοντικά σχέδια για την επόμενη έκδοση του προσομοιωτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εισαγωγή στην Τεχνητή Ζωή

Η εκρηκτική ανάπτυξη της τεχνολογίας και κυρίως αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών μας δίνει τη δυνατότητα να εξερευνήσουμε τομείς που ανήκαν στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας κατά τις περασμένες δεκαετίες, όπως η δημιουργία τεχνητών ζωντανών συστημάτων. Αυτό ανοίγει το δρόμο σε πειράματα πάνω σε αυτά τα συστήματα και δημιουργεί ένα πεδίο μελέτης που ασχολείται με το πως θα μπορούσε να είναι η ζωή και ποια είναι εκείνα τα χαρακτηριστικά που καθιστούν κάτι ζωντανό[Adami, 1998]. Από μία απλή μελέτη των παραπάνω, στη δημιουργία τεχνητών εγκεφάλων, ο τομέας της τεχνητής ζωής έχει διανύσει μία πολύ ενδιαφέρουσα πορεία τα τελευταία χρόνια. Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα αναπτύξουμε κάποιες έννοιες και ορισμούς που θα χρειαστούν στον αναγνώστη σε επόμενα κεφάλαια.

2. 1. Ορισμός της Τεχνητής Ζωής

Ένας πρώτος ορισμός της τεχνητής ζωής δόθηκε από τον Chris Langton ως “η έρευνα των δημιουργημένων από τον άνθρωπο συστημάτων που παρουσιάζουν χαρακτηριστικές συμπεριφορές των ζωντανών συστημάτων”[C. G. Langton 1989]. Η σύγχρονη τεχνητή ζωή είναι ένας διεπιστημονικός τομέας έρευνας της ζωής αλλά και των ανάλογων με αυτήν διεργασιών που γίνεται εφικτή με την προσομοίωση σεναρίων παρμένα από το παρατηρήσιμο αλλά και από την λογική φαντασία. Με την υλοποίηση αυτών των σεναρίων, τα οποία είναι παρόμοια με αυτά που έχουμε συνηθίσει αλλά ταυτόχρονα πολύ ασυνήθιστα, η τεχνητή ζωή παραθέτει μία πολύ δημιουργική μεθοδολογία αναζήτησης ως προς το τι είναι εφικτό για την ίδια τη ζωή, ακολουθώντας τα χαρακτηριστικά στοιχεία της μηχανικής παρά της αντίστροφης μηχανικής. Όπως είναι φανερό, η τεχνητή ζωή προσεγγίζει την ζωή από κάτω προς τα πάνω σε αντίθεση με την τεχνητή νοημοσύνη που ακολουθεί μία από πάνω προς τα κάτω προσέγγιση.

Η διαδικασία της έρευνας σε οποιονδήποτε επιστημονικό τομέα προϋποθέτει την κατανόηση των βασικών ορισμών που περιγράφουν αυτό τον τομέα και οριοθετούν την περαιτέρω εξέλιξή του. Ο πρώτος ορισμός και ίσως αυτός με τη δυσκολότερη περιγραφή προκύπτει από την ερώτηση “τι είναι ζωή”.

2. 2. Τι είναι Ζωή

Για να ορίσουμε πώς κάτι τεχνητό μπορεί να είναι ζωντανό, πρέπει πρώτα να αντιμετωπίσουμε την ερώτηση του τι σημαίνει ζωντανό, όσο περισσότερο γενικευμένα μπορούμε. Παρ' όλο που η συγκεκριμένη ερώτηση είναι φαινομενικά αυτονόητη, προς το παρών δεν υπάρχει καμία ευρέως αποδεκτή απάντηση παρά τις επανειλημμένες προσπάθειες της επιστημονικής κοινότητας. Προς αποφυγή της δυσκολίας που παρουσιάζει η ακρίβεια ενός ορισμού, ίσως είναι καλύτερο να προσπαθήσουμε να περιγράψουμε την ζωή χρησιμοποιώντας μία λίστα από χαρακτηριστικά που συχνά εμφανίζονται να συνδέονται με αυτήν [J. Doyne Farmer 1992].

- Η ζωή είναι περισσότερο ίχνος στον χωροχρόνο, παρά ένα αντικείμενο με φυσική υπόσταση.
- Αναπαραγωγή.
- Αποθήκευση πληροφορίας σχετική με την αναπαράσταση του οργανισμού (DNA).
- Μεταβολισμός ως διαδικασία μετατροπής ενέργειας και ύλης από το περιβάλλον σε εσωτερική ενέργεια του οργανισμού.
- Λειτουργικές αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον.
- Αλληλεξάρτηση μεταξύ των διαφόρων συστατικών του οργανισμού.
- Σταθερότητα σε διαταραχές και μικρές αλλαγές.
- Η δυνατότητα της εξέλιξης, αν και αυτό δεν είναι χαρακτηριστικό ενός οργανισμού αλλά της γενεαλογίας του.

Η παραπάνω λίστα είναι ανεπαρκής και αυτό δείχνει την ανικανότητά μας να αντιληφθούμε την έννοια της ζωής. Ελπίζουμε μόνο πως όσο ο τομέας της τεχνητής ζωής εξελίσσεται, θα δώσει κάποια στιγμή μία καλύτερη προσέγγιση στον όρο του ζωντανού οργανισμού [J. Doyne Farmer 1992]. Κάτι το αξιοσημείωτο είναι πως τα στοιχεία της λίστας που μόλις αναφέραμε μπορούν να παρατηρηθούν σε ένα οικοσύστημα ως ολότητα.

2. 3. Βασικές προσεγγίσεις τεχνητής ζωής

Η ζωή παρουσιάζει πολύπλοκες προσαρμοστικές συμπεριφορές σε πολλά επίπεδα ανάλυσης που κυμαίνονται από ατομικά κύτταρα μέχρι ολόκληρους οργανισμούς αλλά και εξελισσόμενα οικοσυστήματα. Η τεχνητή ζωή χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες σύνθεσης. Η “Μαλακή” (“Soft”) τεχνητή ζωή δημιουργεί υπολογιστικές προσομοιώσεις ή άλλα καθαρά ψηφιακά κατασκευάσματα τα οποία παρουσιάζουν συμπεριφορές όμοιες με αυτών των ζωντανών οργανισμών. Η “Σκληρή” (“Hard”) τεχνητή ζωή προσπαθεί να δημιουργήσει υλικές κατασκευές όπως ρομπότ ενώ η “Υγρή” (“Wet”) ακολουθεί μία βιοχημική προσέγγιση για τη δημιουργία αυτών των συστημάτων [Mark Bedau 2007]. Παρακάτω θα δούμε παραδείγματα των τριών αυτών κατηγοριών της τεχνητής ζωής, τα οποία παρουσιάζουν την συνθετική μεθοδολογία και το

ενδιαφέρον του τομέα αυτού προς τα απαραίτητα χαρακτηριστικά των ζωντανών συστημάτων.

2. 3. 1. Τεχνητά κύτταρα

Η κύριος τομέας ενδιαφέροντος της “υγρής” (“wet”) τεχνητής ζωής είναι η δημιουργία τεχνητών κυττάρων από βιοχημικές ουσίες. Τέτοια κύτταρα θα ήταν μικροσκοπικές αυτόνομες αυτό-οργανωμένες και αυτό-αναπαραγωγικές οντότητες κατασκευασμένες από οργανικές και μη ουσίες.

Οι λόγοι πίσω από την πορεία προς αυτή την κατεύθυνση της έρευνας είναι δύο. Ο πρώτος είναι καθαρά επιστημονικός. Η δημιουργία τεχνητών κυττάρων από το μηδέν χρησιμοποιώντας υλικά και μεθόδους που δεν χρησιμοποιήθηκαν από την φύση, αποδεικνύει την ύπαρξη θεμελιακών μορίων των ζωντανών οργανισμών αλλά και το μέγεθος των πιθανών συνδυασμών τους. Ο δεύτερος λόγος είναι πρακτικός. Τα ζωντανά κύτταρα είναι πολύ πιο πολύπλοκα από οτιδήποτε έχει δημιουργήσει μέχρι τώρα ο άνθρωπος. Η δημιουργία τεχνητών κυττάρων θα ανοίξει τον δρόμο σε νέες τεχνολογίες που συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των ζωντανών και μη συστημάτων με σκοπό την καλύτερη κατανόηση αυτής της πολυπλοκότητας.

Η υπάρχουσα ιδέα για την λειτουργικότητα των τεχνητών κυττάρων είναι η απλή κίνηση μέσα σε κάποιο υγρό και η χημική επεξεργασία. Για να γίνει αυτό επιτυχώς απαιτείται αυτό-συντήρηση, αυτόνομος έλεγχος χημικής επεξεργασίας, κίνησης και αναπαραγωγής. Φυσικά όλα αυτά θα γίνονται ταυτόχρονα με την ενσωμάτωση ενός εργαλείου μεταβολισμού και περιορισμού όλων αυτών των διαδικασιών με την δημιουργία κάποιου είδους περιβλήματος. Εκτός όλων των άλλων, τα κύτταρα θα περιλαμβάνουν βιοχημικά συστήματα δημιουργίας και συντήρησης του περιβλήματος, σύστημα αντιγραφής του γενετικού κώδικα και σύστημα συνδεσμολογίας και ανανέωσης. Τα πρώτα κύτταρα θα έχουν τις πιο απλές εκδοχές των παραπάνω συστημάτων. Δεν έχουν δημιουργηθεί ακόμα τέτοιου είδους τεχνητά κύτταρα αλλά η έρευνα στον συγκεκριμένο τομέα είναι

ενεργή. [A. Pohorille, 2002]

2. 3. 2. Αυτόνομοι πράκτορες

Στον τομέα της “σκληρής” τεχνητής ζωής πολλοί επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με την δημιουργία διαφόρων μορφών αυτόνομων υλικών πρακτόρων ή ρομπότ. Εδώ εμφανίζεται και ο μεγαλύτερος βαθμός ταύτισης με τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνητή ζωή όπως και η νοημοσύνη αλλά και η ρομποτική προσπαθεί να συνθέσει νοήμονες αυτόνομες συμπεριφορές με την διαφορά ότι όποτε αυτό είναι εφικτό, εμπνέεται από την βιολογία. Ένα κύριο χαρακτηριστικό της είναι πως αφήνει το περιβάλλον να προκαλέσει τις συμπεριφορές αντί ενός λεπτομερούς προκαθορισμένου μοντέλου. Αυτό προαπαιτεί τον μεγάλο βαθμό εξάρτησης του οργανισμού από τους αισθητήρες εισόδου πληροφοριών από το περιβάλλον του. Από την δημιουργία μικρών ρομπότ μεγέθους εντόμων μέχρι ανθρωπόμορφα ρομπότ, ο τομέας της “σκληρής” τεχνητής ζωής έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια.

2. 3. 3. Ψηφιακή εξέλιξη

Η υλοποίηση εξελισσόμενων οικοσυστημάτων με λογισμικό είναι πιθανώς η πιο πρακτική και παραγωγική προσέγγιση στην μελέτη πολλών θεμάτων που αναπτύσσονται στα τεχνητά συστήματα, και είναι η κυρίαρχη τάση στην τεχνητή ζωή. Η κύρια ιδέα, αν και όχι η μοναδική, είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος και η τοποθέτηση οργανισμών με στόχο τον ανταγωνισμό που προκύπτει από την ανάγκη για επιβίωση. Οι οργανισμοί παίρνουν αποφάσεις αναλόγως των ερεθισμάτων που αντλούν από το περιβάλλον τους, χρησιμοποιώντας κάποιας μορφής νευρωνικά δίκτυα ή κάποια παραπλήσια τεχνολογία. Ανταγωνισμός προκύπτει από την ανάγκη των οργανισμών να καταναλώσουν υπάρχοντες στο περιβάλλον πόρους περιορισμένης ποσότητας. Εξελικτικοί αλγόριθμοι ή παραπλήσια τεχνολογία συνήθως χρησιμοποιείται για την επιλογή των “ικανότερων” οργανισμών, μεταφέροντας τον γενετικό τους κώδικα που είναι τα χαρακτηριστικά εκείνα που τους καθιστούν διαφορετικούς, στην επόμενη γενιά.

Το οικοσύστημα εξελίσσεται με αυτόν τον τρόπο επιδεικνύοντας τις καλύτερες λύσεις με το πέρασμα των γενεών ακολουθώντας μία μεθοδολογία εμπνευσμένη από την φυσική επιλογή.

2.4 Αλληλεξάρτηση μεταξύ διαφορετικών οργανισμών

Στο κεφάλαιο 1.2, όταν μιλήσαμε για τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα ζωντανό σύστημα, αναφέραμε μία παρατήρηση που προσθέτει την έννοια του ζωντανού στον ορισμό ενός οικοσυστήματος. Δύο από αυτά τα στοιχεία είναι η αντοχή του σε διαταραχές και η αλληλεξάρτηση μεταξύ των συστατικών του. Έτσι, όπως σε έναν ζωντανό οργανισμό που προσπαθεί να κρατήσει μία λειτουργική ισορροπία για να αντεπεξέλθει σε μία εξωτερική ή εσωτερική διαταραχή αξιοποιώντας την ύπαρξη αλληλένδετων σχέσεων στα συστατικά του, έτσι και σε ένα οικοσύστημα που απειλείται από μία τέτοια διαταραχή στην αλυσίδα της λειτουργίας του, παρατηρείται η δημιουργία σχέσεων αλληλεξάρτησης με κοινούς στόχους μεταξύ των ζωντανών οργανισμών που απαρτίζουν αυτό. Ως αποτέλεσμα του μηχανισμού του ανταγωνισμού, τα συστατικά (ζωντανοί οργανισμοί) του συστήματος (οικοσύστημα), συνεργάζονται για να πετύχουν την αμοιβαία επιβίωση προστατεύοντας με αυτό τον τρόπο την ισορροπία του όλου συστήματος.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την προσομοίωση ενός τέτοιου σεναρίου, την ανάγκη δηλαδή για την δημιουργία μιας σχέσης συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών οργανισμών, με σκοπό να αντιμετωπιστεί η αστάθεια που εμφανίζεται σε ένα μέρος της τροφικής αλυσίδας του οικοσυστήματος. Πριν όμως προχωρήσουμε στην περαιτέρω ανάλυση αυτού του σεναρίου, θα αναφέρουμε μερικές από τις υπάρχουσες εφαρμογές της τεχνητής ζωής και τα σενάρια που προσομοιώνουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

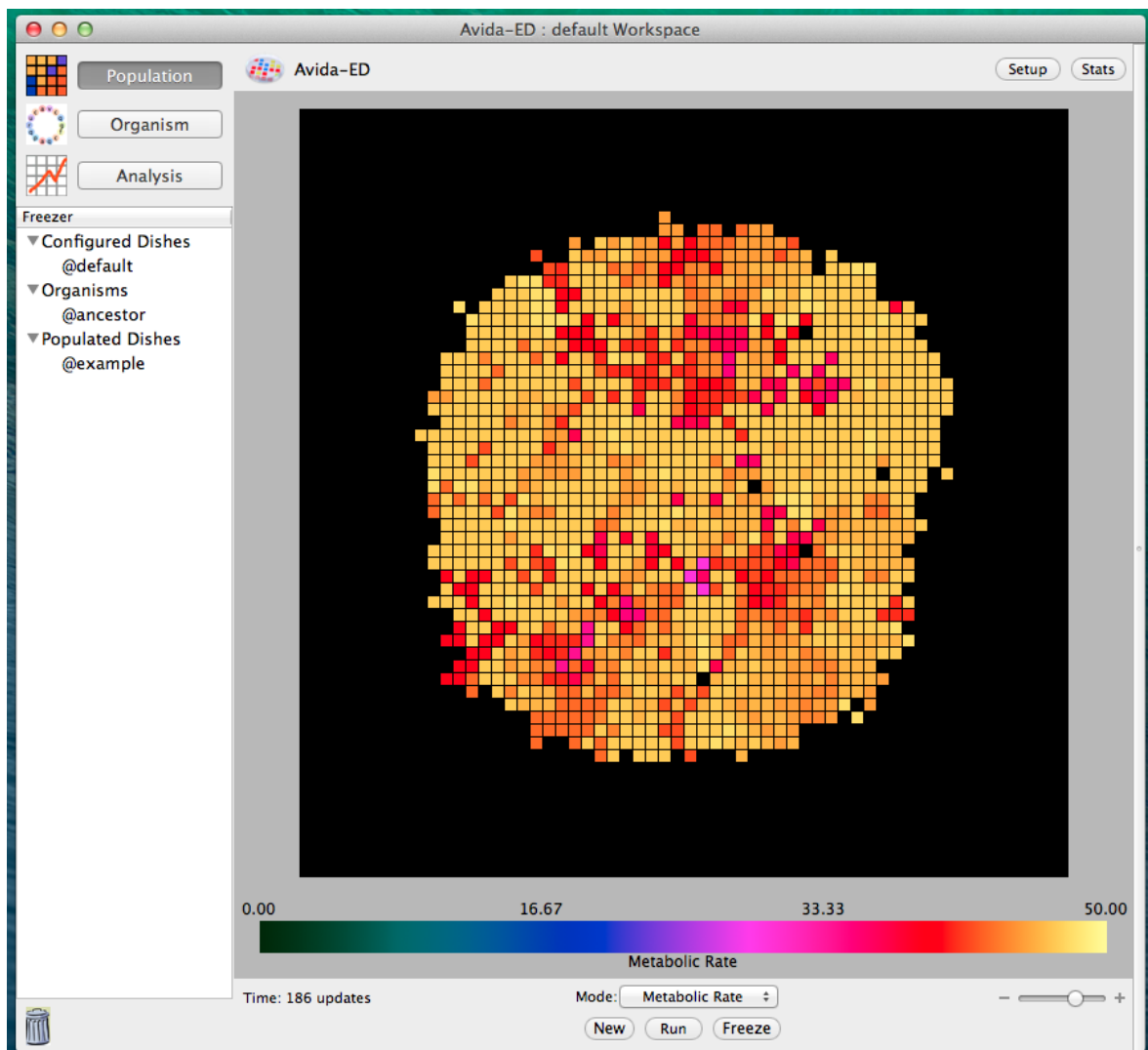
Εφαρμογές προσομοίωσης τεχνητής ζωής

Παρότι ο τομέας της τεχνητής ζωής δεν είναι ευρέα διαδεδομένος, υπάρχει στον επιστημονικό χώρο από τις αρχές του 90. Αρκετοί ερευνητές έχουν κατά καιρούς ασχοληθεί με την υλοποίηση των ιδεών της τεχνητής ζωής με παράδειγμα τον οικολόγο Thomas S. Ray που το 1990 ανέπτυξε τον κόσμο προσομοίωσης Tierra. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα που προσομοιώνει την εξελικτική διαδικασία ψηφιακών οργανισμών σε μορφή προγραμμάτων που ανταγωνίζονται για υπολογιστικούς πόρους, μπορεί ίσως να θεωρηθεί η αρχή μίας γενιάς εφαρμογών τα οποία αξιοποιώντας την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας συνεχίζουν μέχρι και σήμερα να καινοτομούν στον τομέα των ψηφιακών οργανισμών.

3.1. Avida

Ένα από το γνωστότερα προγράμματα προσομοίωσης ψηφιακού οικοσυστήματος είναι το Avida, αναπτυγμένο από τον Charles Ofria στο εργαστήριο ψηφιακής εξέλιξης του πανεπιστημίου του Michigan. Η αρχική έκδοση σχεδιάστηκε από τον Ofria σε συνεργασία με τον Chris Adami και Titus Brown το 1993, που εμπνεύστηκαν από το παρόμοιο σύστημα Tierra. Το πρόγραμμα Avida όπως και το Tierra χρησιμοποιεί ψηφιακούς οργανισμούς με μορφή υπολογιστικών προγραμμάτων τα οποία εκτελούνται σε ξεχωριστό εικονικό υλικό. Το γονιδίωμα ενός τέτοιου οργανισμού έχει τη μορφή κώδικα μιας απλοποιημένης γλώσσας προγραμματισμού. Ο κάθε οργανισμός έχει την δυνατότητα μετάλλαξης και αυτό-αναπαραγωγής και ο πληθυσμός προσαρμόζεται στο περιβάλλον μέσω της φυσικής επιλογής.

Ο κυριότερος λόγος που συστήματα σαν το Avida έχουν τόσο μεγάλη απήχηση στην επιστημονική κοινότητα και χρησιμοποιούνται σαν εκπαιδευτικό υλικό σε κάρους όπως η βιολογία είναι το ότι δεν παρέχουν με ψευδαίσθηση εξελικτικής διαδικασίας αλλά την υλοποιούν πλήρως. Καινούριοι διαφοροποιημένοι οργανισμοί προκύπτουν συνεχώς μέσα από την λειτουργία της μετάλλαξης και αναπαραγωγής, ενώ οι ικανότεροι από αυτούς στο να προσεγγίσουν το πρόβλημα του ανταγωνισμού επιλέγονται φυσικά και διαδίδονται μέσα στον πληθυσμό.



Σχήμα 3. 1 : Περιβάλλον προσομιώσεων του Avida

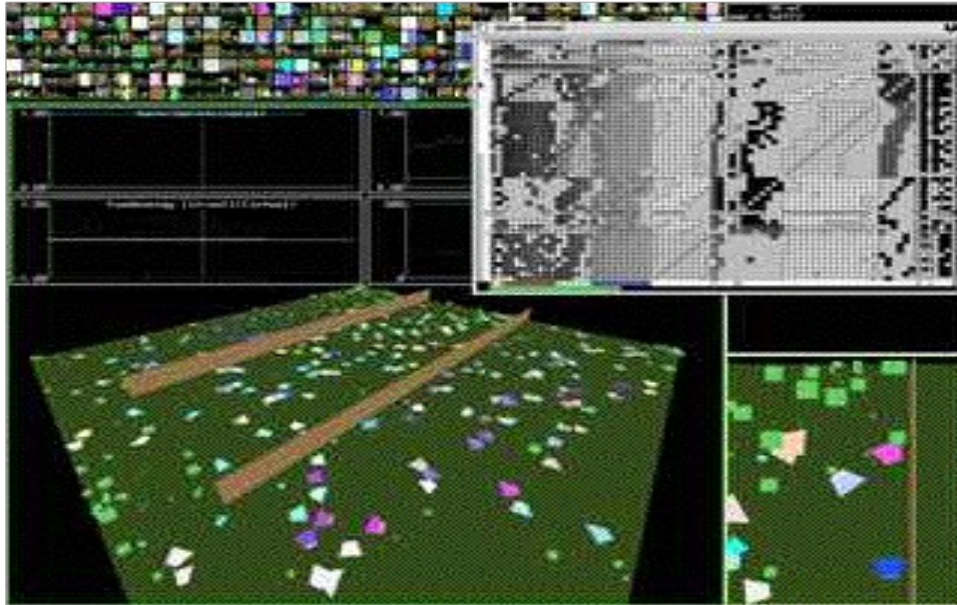
Οι ψηφιακοί οργανισμοί του Avida ανταγωνίζονται για την ενέργεια που απαιτείται για την εκτέλεση εντολών. Με την εκτέλεση εντολών ένας οργανισμός εκφράζει φαινότυπα που του επιτρέπουν να μαζέψει περισσότερη ενέργεια και να αναπαραχθεί. Στο σχήμα 3.1 βλέπουμε μία γραφική αναπαράσταση του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσονται οι οργανισμοί οι οποίοι είναι χρωματισμένοι με διάφορα χρώματα ανάλογα με την ικανότητα τους να μεταβολίσουν την ενέργεια και να εκτελέσουν εντολές. [Pennock 2007]

3.2 Polyworld

Το Polyworld είναι ένα υπολογιστικό οικολογικό σύστημα που δημιουργήθηκε από τον Larry Yaeger για την εξερεύνηση πολλών ερωτημάτων σχετικά με την τεχνητή ζωή. Πιο συγκεκριμένα, τα κίνητρα για την υλοποίησή του ήταν τρία :

- Να καθοριστεί εάν είναι εφικτή η εμφάνιση ηθικολογικών αποφάσεων και στρατηγικών επιβίωσης ως αναδυόμενα φαινόμενα (χωρίς να προγραμματιστούν),
- Η δημιουργία τεχνητής ζωής που είναι όσο πιο κοντά γίνεται στην έννοια της πραγματικής ζωής, συνδυάζοντας όσα περισσότερα συστατικά αυτής σε ένα ψηφιακό σύστημα γίνεται και
- Η εξερεύνηση της τεχνητής ζωής ως ένα δρόμο προς την τεχνητή νοημοσύνη, χρησιμοποιώντας τα ίδια χαρακτηριστικά που οδήγησαν στην εμφάνιση της φυσικής νοημοσύνης : η εξέλιξη των νευρικών συστημάτων σε ένα οικολογικό περιβάλλον.

Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του 'κόσμου' του Polyworld με τους οργανισμούς να κινούνται μέσα σε αυτό, το οποίο περιλαμβάνει εμπόδια και τροφή.



Σχήμα 3.2 : Το γραφικό περιβάλλον του Polyworld

Το περιβάλλον είναι ανταγωνιστικό όπως και στο Avida με την διαφορά πως οι οργανισμοί του Polyworld δεν αναπαριστούν υπολογιστικά προγράμματα αλλά οργανισμούς του βιολογικού κόσμου που αναπαράγονται σεξουαλικά, παλεύουν, σκοτώνουν και τρέφονται μεταξύ τους. Οι αποφάσεις που παίρνει ένας τέτοιος οργανισμός (κίνηση, επίθεση, κατανάλωση τροφής, αναπαραγωγή) ελέγχονται από το νευρωνικό του δίκτυο, “εγκέφαλο”. Η αρχιτεκτονική κάθε εγκεφάλου, το διάγραμμα των νευρωνικών του συνδέσεων, καθορίζεται από τον γενετικό κώδικα του αντίστοιχου οργανισμού επηρεάζοντας το μέγεθος, το πλήθος και την σύνθεση των νευρωνικών συμπλεγμάτων όπως επίσης και τον τύπο συνδέσεων μεταξύ αυτών των συμπλεγμάτων. Η συναπτική αποτελεσματικότητα ρυθμίζεται μέσω Hebbian μάθησης, δίνοντας την δυνατότητα στους οργανισμούς να 'μαθαίνουν' κατά την διάρκεια της ζωής τους. Ο κάθε οργανισμός αντιλαμβάνεται το περιβάλλον μέσω ενός ιδεατού οπτικού πεδίου το οποίο δημιουργείται βάση γραφικής απεικόνισής του από την οπτική γωνία του οργανισμού. Η φυσιολογία του οργανισμού είναι επίσης κωδικοποιημένη γενετικά, οπότε σώμα και εγκέφαλος, δηλαδή όλα τα χαρακτηριστικά του οργανισμού, εξελίσσονται με το πέρασμα των γενεών. Με αυτόν τον τρόπο εμφανίζονται πολλά είδη οργανισμών που αναπτύσσουν πολλές ενδιαφέρουσες στρατηγικές επιβίωσης και ηθολογικές συμπεριφορές.[Yaeger 1994]

3.3 Neurokernel

Οι εφαρμογές Avida και Polyworld που είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια αποτελούν παραδείγματα προσομοιώσεων οικοσυστημάτων τεχνητών οργανισμών που δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στην εξελικτική διαδικασία του συνόλου αυτών των απλών οργανισμών και των αλληλεπιδράσεών τους. Τα τελευταία χρόνια οι τομείς της τεχνητής ζωής και της υπολογιστικής νευρολογίας έχουν στρέψει την προσοχή τους στην δημιουργία πολυπλοκότερων τεχνητών οργανισμών όπως η μύγα των φρούτων *Drosophila Melanogaster*.

Η εφαρμογή Neurokernel επιστρατεύει την παράλληλη υπολογιστική ισχύ των GPU για να πετύχει μία πλήρως λειτουργική προσομοίωση του εγκεφάλου αυτής της μύγας. Παρά την φαινομενική απλότητα του εγκεφάλου ενός τέτοιου οργανισμού σε σχέση με αυτόν ενός θηλαστικού, το νευρωνικό αυτό δίκτυο υλοποιεί πολύπλοκες συμπεριφορές χωρίς να έχει το απαγορευτικό από πλευράς υπολογιστικών πόρων μέγεθος. Η εφαρμογή χωρίζει τον εγκέφαλο της μύγας σε περίπου 50 μέρη που ονομάζονται τοπικές υπολογιστικές μονάδες κάθε μία από τις οποίες περιέχει έναν μοναδικό πληθυσμό τοπικών νευρώνων. Ορίζοντας διεπαφές που καθορίζουν τον τρόπο που οι νευρώνες επικοινωνούν μεταξύ αυτών των τοπικών μονάδων, το Neurokernel επιτρέπει την προσομοίωση ολόκληρου του εγκεφάλου από ανεξάρτητα υπολογιστικά τμήματα. Η εφαρμογή αυτή βρίσκεται ακόμα σε αρχικά στάδια και λόγω της εξάρτησής της από την τεχνολογία του υλικού δεν μπορεί να προσομοιώσει την λειτουργία του εγκεφάλου της μύγας σε πραγματικό χρόνο κάτι που οι δημιουργοί της ελπίζουν να γίνει εφικτό στο μέλλον.[Givon 2014]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Τεχνολογίες ανάπτυξης εφαρμογών προσομοίωσης τεχνητής ζωής

Όπως έχει προαναφερθεί, η παρούσα εργασία έχει σκοπό την δημιουργία ενός τεχνητού οικοσυστήματος, για την ανάπτυξη του οποίου χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία από ένα σύνολο διαθέσιμων τεχνολογιών. Το κεφάλαιο αυτό έχει ως σκοπό την ενημέρωση του αναγνώστη για τις υπάρχουσες τεχνολογίες και τις παροχές που προσφέρουν. Πριν ξεκινήσουμε την αναφορά σε αυτές όμως, πρέπει να στρέψουμε την προσοχή μας στο υπό-κατασκευή σύστημα και τις ανάγκες που προκύπτουν κατά την σχεδίασή του. Μία πρώτη ανάλυση εμφανίζει τα 4 παρακάτω τμήματα :

- Δημιουργία του περιβάλλοντος,
- Ανάπτυξη των οργανισμών και των νευρωνικών τους δικτύων,
- Σχεδίαση των εξελικτικών αλγορίθμων,
- Παρατήρηση της εξέλιξης του οικοσυστήματος και καταγραφή αποτελεσμάτων.

Στην συνέχεια αυτής της ενότητας θα αναφερθούν διαθέσιμες τεχνολογίες για κάθε ένα από αυτά τα υπό-προβλήματα.

4.1. Δημιουργία περιβάλλοντος

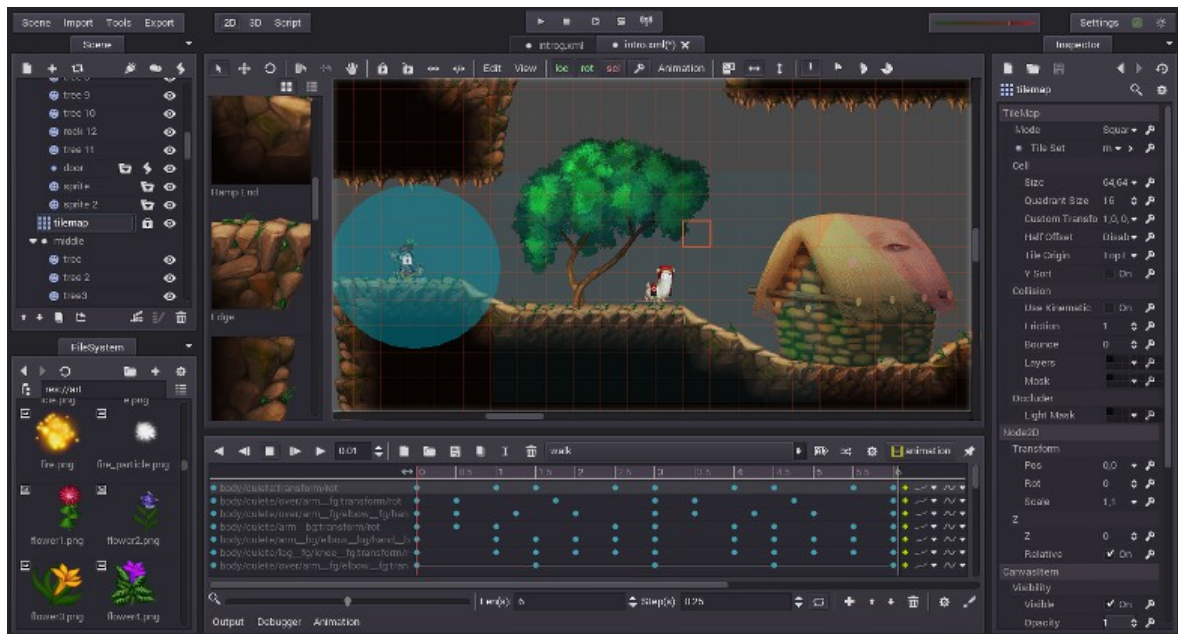
Η ανάπτυξη ενός οικοσυστήματος προϋποθέτει την ύπαρξη ενός θεμέλιου

περιβάλλοντος που προσφέρει ανταγωνιστικές συνθήκες στους οργανισμούς. Στην προκειμένη περίπτωση κάτι τέτοιο μπορεί να εκφραστεί σαν μία δισδιάστατη επιφάνεια που αντιπροσωπεύει το έδαφος, οριοθετημένη με απροσπέλαστα 'ποτάμια', και διάσπαρτα εμπόδια όπως βράχοι και δέντρα. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου κόσμου μπορεί να γίνει με σχετική ευκολία αναλόγως την επιλογή του δημιουργού από μία γκάμα εργαλείων όπως αυτά που θα αναφερθούν παρακάτω.

4.1.1 Godot Engine

Τα εργαλεία δημιουργίας ενός ψηφιακού περιβάλλοντος κυμαίνονται από απλές βιβλιοθήκες συναρτήσεων μέχρι ολοκληρωμένα περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών γραφικού περιεχομένου όπως το Godot Engine.

Το Godot είναι μία μηχανή παιχνιδιών η οποία παρέχει την απαιτούμενη λειτουργικότητα για την ανάπτυξη δισδιάστατων ή τρισδιάστατων παιχνιδιών μικρής και μεγάλης πολυπλοκότητας. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται το περιβάλλον ανάπτυξης του Godot.



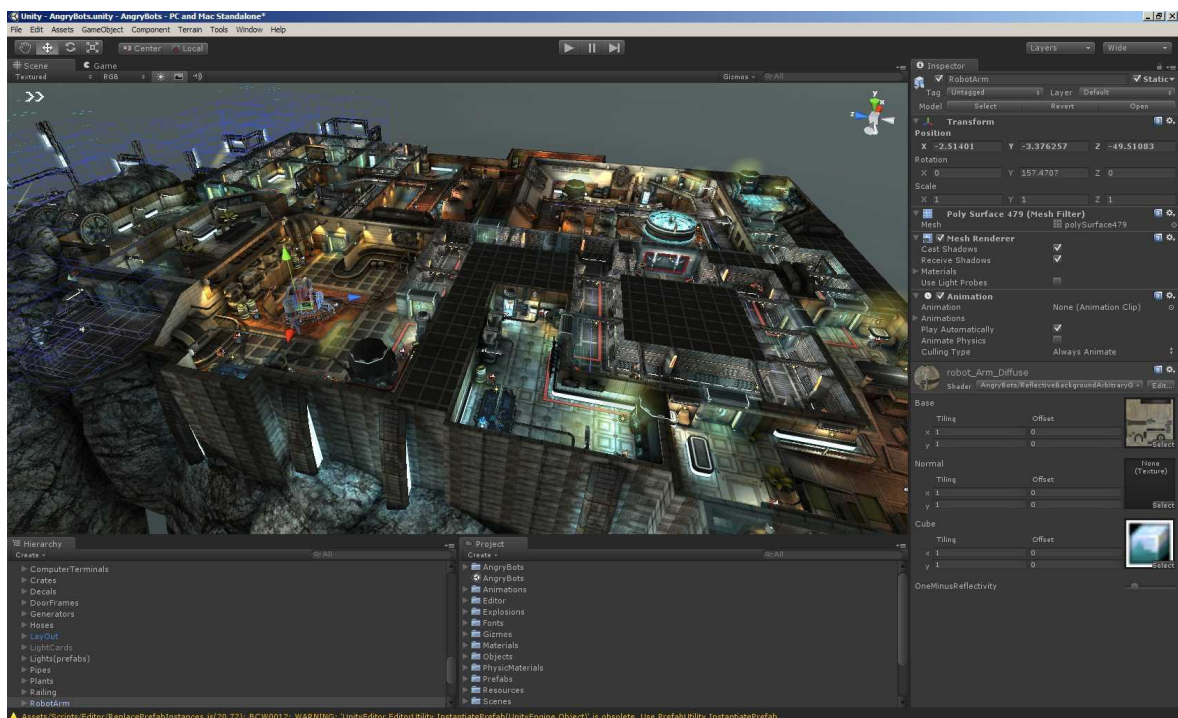
Σχήμα 4.1 : Περιβάλλον ανάπτυξης Godot

Η συγκεκριμένη εφαρμογή ανοικτού κώδικα δημιουργήθηκε το 2008, είναι

συμβατή με τις περισσότερες πλατφόρμες και λειτουργικά συστήματα, ενώ η ενσωματωμένη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται είναι εύκολη στη χρήση, εμπνευσμένη από την Python.

4.1.2 Unity

Μία από τις δημοφιλέστερες μηχανές δημιουργίας εικονικών κόσμων είναι η Unity3D. Ανάλογα με το πακέτο που αγοράζει, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε μία πληθώρα εργαλείων που κάνει την δημιουργία ενός κόσμου εύκολη και προσιτή ακόμα και με ελάχιστες γνώσεις στον προγραμματισμό. Σε αντίθεση με την Godot, η Unity χαρακτηρίζεται από μία κοινότητα πρόθυμη να βοηθήσει και να λύσει απορίες των νέων χρηστών της μηχανής ενώ ταυτόχρονα το περιβάλλον της προσφέρει ένα υψηλό επίπεδο ανάπτυξης που απέχει από το κλασσικό χαμηλό επίπεδο προγραμματισμού των περισσότερων μηχανών παιχνιδιών. Στο σχήμα 4.2 που ακολουθεί παρουσιάζει το περιβάλλον της Unity3D κατά την διάρκεια ανάπτυξης ενός τρισδιάστατου επιπέδου ενός παιχνιδιού.



Σχήμα 4.2: Περιβάλλον ανάπτυξης Unity3D

Ένα από τα παιχνίδια σε ανάπτυξη που χρησιμοποιούν την Unity είναι το

Pine στο οποίο οι οργανισμοί που ο παίκτης αντιμετωπίζει είναι υλοποιημένοι με νευρωνικά δίκτυα που εξελίσσονται από εξελικτικούς αλγορίθμους, κάτι που κάνει την συγκεκριμένη μηχανή πολύ ελκυστική σαν επιλογή για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας, μιας και η γενική ιδέα είναι η ίδια.

Παρ' όλα αυτά όμως ο συγγραφέας επέλεξε να χρησιμοποιήσει δύο βιβλιοθήκες για την ανάπτυξη των φυσικών νόμων του περιβάλλοντος και την γραφική απεικόνισή του, οι οποίες θα παρουσιαστούν στα δύο επόμενα υπό-κεφάλαια.

4.1.3 Box2D

Οι μηχανές παιχνιδιών που παρουσιάστηκαν προηγουμένως επιτρέπουν την ανάπτυξη ενός κόσμου σαν αυτόν που αποτελεί στόχος της εργασίας με ιδιαίτερη ευκολία και σε ένα επίπεδο αρκετά υψηλό για να αποθαρρύνει την συγγραφή κώδικα. Ενώ κάτι τέτοιο αποτελεί ελκυστικό, παρουσιάζει ταυτόχρονα το πρόβλημα έλλειψης του εκπαιδευτικού χαρακτήρα που αρμόζει σε μία πτυχιακή εργασία. Για την επίλυση λοιπόν αυτού επιλέχθηκε η Box2D σαν μηχανή ανάπτυξης του κόσμου σε φυσικό επίπεδο.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες παιχνιδομηχανές, η Box2D είναι μία βιβλιοθήκη γραμμένη στην γλώσσα C++ που δίνει στον χρήστη την λειτουργικότητα που απαιτείται για την δημιουργία αντικειμένων που μιμούνται τα χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου όπως βάρος, διαστάσεις,μάζα κλπ. στο μικρότερο δυνατό επίπεδο προγραμματισμού. Η έλλειψη γραφικού περιβάλλοντος αναγκάζει τον χρήστη στην αλληλεπίδραση με την μηχανή μόνο μέσα από την συγγραφή κώδικα ενώ επιτρέπει την παραμετροποίηση των φυσικών νόμων του κόσμου κατά βούληση. Η Box2D παρέχεται όπως και η Godot, δωρεάν σαν λειτουργικό ανοικτού κώδικα.

4.1.4 SFML

Ενώ η φυσική υπόσταση του κόσμου παρέχεται πλήρως από την Box2D, η γραφική αναπαράσταση αυτού υλοποιείται με την χρήση μιας άλλης βιβλιοθήκης, της SFML. Η SFML είναι μία βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα, γραμμένη επίσης στην γλώσσα C++ που υποστηρίζει διάφορες πλατφόρμες και γλώσσες προγραμματισμού. Παρέχει μία συλλογή από κλάσεις γραφικών για την συγγραφή δισδιάστατων κόσμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν τα αντικείμενα που δημιουργούνται από την Box2D.

Το κύριο χαρακτηριστικό των δύο αυτών βιβλιοθηκών είναι οι ταχύτατοι χρόνοι εκτέλεσης που χαρακτηρίζουν τα προγράμματα που τις χρησιμοποιούν, πράγμα που συνέβαλε στην επιλογή τους.

4.2 Ανάπτυξη των οργανισμών και των Νευρωνικών τους Δικτύων

Το μεγαλύτερο μέρος ενός οργανισμού είναι η πληθώρα των χαρακτηριστικών που καθορίζουν την αφαιρετική του έννοια τα οποία μπορούν να οριστούν και να υλοποιηθούν πλήρως από τις προαναφερθείσες βιβλιοθήκες γραφικών και φυσικής. Αυτό που αποτελεί ένα ξεχωριστό στοιχείο του οργανισμού είναι ο τρόπος με τον οποίο παίρνει αποφάσεις και αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του.

4.2.1 FANN

Η υλοποίηση ενός συστήματος μέσω του οποίου ένας οργανισμός θα εκτελεί διαδικασίες λήψης αποφάσεων και μάθησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, ένας εκ των οποίων είναι τα νευρωνικά δίκτυα. Στα πλαίσια της μηχανικής μάθησης τα νευρωνικά δίκτυα είναι η μαθηματική προσέγγιση της λειτουργίας των νευρώνων που συναντάμε στα νευρικά συστήματα των ζωντανών οργανισμών όπως και του ανθρώπου και ένα από τα εργαλεία για την ανάπτυξη ενός τέτοιου δικτύου είναι η βιβλιοθήκη FANN (Fast Artificial Neural Network).

Όπως προδίδει και το όνομά της, το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της βιβλιοθήκης είναι η ταχύτητα των νευρωνικών δικτύων που παρέχει, κάτι που είναι καίριας σημασίας για ένα οικοσύστημα που αποτελείται από πολλούς οργανισμούς, κάθε ένας από τους οποίους χρησιμοποιεί ένα νευρωνικό δίκτυο.

Η βιβλιοθήκη FANN είναι ανοικτού κώδικα και υποστηρίζει παραπάνω από είκοσι γλώσσες προγραμματισμού ενώ τα δέκα χρόνια από την δημιουργία της έχουν αναπτύξει μία ώριμη κοινότητα χρηστών και ερευνητών πρόθυμων να βοηθήσουν τους νέους χρήστες.

4.3 Ανάπτυξη Εξελικτικών Αλγορίθμων

Το έργο της προσομοίωσης της διαδικασίας της εξέλιξης σε αλγοριθμική μορφή αναλαμβάνει η βιβλιοθήκη Galib. Δημιουργήθηκε το 1999 από τον Matthew Wall υπό την επίβλεψη του MIT και είναι μία βιβλιοθήκη της C++ πλούσια σε κλάσεις και μεθόδους εξελικτικών αλγορίθμων, εύκολα τροποποιήσιμων από τον χρήστη. Είναι και αυτή μία βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα που παρά την ηλικία της προσφέρει όλα τα απαιτούμενα εργαλεία για τον ρόλο εξελικτικής μάθησης των ειδών που απαρτίζουν το τεχνητό οικοσύστημα της εφαρμογής. Ο αναγνώστης μπορεί να βρει λεπτομέρειες για τους εξελικτικούς αλγορίθμους στο κεφάλαιο 4.1 ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Galib όπως και των υπολοίπων εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Περιγραφή της εφαρμογής

Αφότου αναφέραμε υπάρχουσες εφαρμογές Τεχνητής Ζωής και τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξή τους, έφτασε η ώρα να εμβαθύνουμε στην παρούσα εφαρμογή. Προαπαιτούμενο μιας τέτοιας διαδικασίας είναι η ανάλυση της εφαρμογής στα επιμέρους τμήματά της και η επεξήγηση καθενός από αυτά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν λοιπόν τα γενικά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν ένα προσομοιωτή τεχνητών οικοσυστημάτων χωρίς να γίνει καμία αναφορά στα τεχνικά τους στοιχεία, κάτι που αναλαμβάνει το κεφάλαιο 6.

Όπως μπορεί κάποιος να φανταστεί, ένα οικοσύστημα αποτελείται από είδη οργανισμών. Οι οργανισμοί αυτοί προσπαθούν να επιβιώσουν σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε τρόπο μπορούν και από τη στιγμή που οι σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ τους επηρεάζουν τη δυνατότητα επιβίωσης του κάθε είδους, πρέπει να μπορούν να προσαρμόζονται στα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος η φύση απαντά με την εξέλιξη των ειδών από γενιά σε γενιά και αφού μιλάμε για τεχνητά οικοσυστήματα, προσομοιώνουμε αυτή την μέθοδο με τους εξελικτικούς αλγορίθμους.

5.1 Εξελικτικοί Αλγόριθμοι

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (ΕΑ) είναι μία ευρετική μέθοδος επίλυσης και βελτιστοποίησης προβλημάτων που προέρχεται από την κλασική θεωρία της εξέλιξης. Η βασική τους ιδέα είναι πως εάν οι οργανισμοί ενός πληθυσμού που

πληρούν κάποια επιλεκτικά κριτήρια αναπαράγονται ενώ οι υπόλοιποι πεθαίνουν, τότε ο πληθυσμός συγκλίνει σε αυτούς που εκπληρώνουν τα κριτήρια με τον καλύτερο τρόπο [Streichert 2002]. Αυτή η μεθοδολογία ακολουθεί τον βασικό κανόνα της Δαρβινικής εξέλιξης, γνωστό ως η “επιβίωση του ικανότερου”.

Για να αντιμετωπιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα βελτιστοποίησης με τη χρήση ΕΑ, το κάθε άτομο ενός πληθυσμού πρέπει να αναπαριστά μία πιθανή λύση του προβλήματος ενώ οι πιθανότητες να επιλεγεί για να αποκτήσει απογόνους να είναι ανάλογες της ποιότητας της λύσης (fitness value) που ο οργανισμός αντιπροσωπεύει. Η συνηθέστερη μορφή ενός ΕΑ είναι η επαναλαμβανόμενη σειριακή εκτέλεση των παρακάτω βημάτων:

1. Εκτίμηση ποιότητας των ατόμων του κάθε πληθυσμού,
2. Επιλογή των καλύτερων ατόμων,
3. Αναπαραγωγή των απογόνων.

Η αρχικοποίηση των τιμών που αναπαριστούν οι οργανισμοί γίνεται τυχαία και αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να εκπληρωθούν τα κριτήρια τερματισμού που έχει θέσει ο δημιουργός του αλγορίθμου. Αυτή η γενική μορφή έχει πολλά παρακλάδια ένα εκ των οποίων είναι οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ).

5.1.1 Γενετικοί αλγόριθμοι

Οι ΓΑ προέρχονται από τη δουλειά του J. Holland [Holland 1992] και [Goldberg 1989] και είναι η πιο σαφής απεικόνιση των φυσικών εξελικτικών διαδικασιών σε ένα υπολογιστικό σύστημα.

Όπως προαναφέρθηκε, το κάθε άτομο ενός πληθυσμού αντιπροσωπεύει μία πιθανή λύση του προβλήματος προς επίλυση. Στους γενετικούς αλγορίθμους αυτό γίνεται με μία κωδικοποιημένη αναπαράσταση της λύσης, η οποία στην πιο απλή της μορφή μπορεί να είναι ένας πίνακας

από αριθμητικές τιμές ή bits. Από την βιολογία και γενετική, οι τιμές παίρνουν την ονομασία γονίδια και το σύνολό τους, γονιδιώματα.

Αφού γίνει η εκτίμηση της ποιότητας του κάθε ατόμου, επιλέγονται οι n καλύτεροι ως οι γονείς της επόμενης γενιάς. Στο επόμενο βήμα, δημιουργούνται οι απόγονοι μέσω της διαδικασίας του σεξουαλικού ανασυνδυασμού (crossover) και της μετάλλαξης (mutation). Με πολύ απλά λόγια, ο ανασυνδυασμός είναι η ανταλλαγή γενετικού υλικού (τμημάτων του γονιδιώματος) και η μετάλλαξη είναι η τυχαία μετατροπή γονιδίων που στην περίπτωση μας είναι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν κάποιο χαρακτηριστικό της λύσης. Τέλος, από τους δύο αυτούς μηχανισμούς προκύπτουν οι οργανισμοί της νέας γενιάς που προστίθενται στον πληθυσμό ή αντικαθιστούν τον προηγούμενο.

5.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ), όπως προδίδει το όνομά τους, είναι η αφαιρετική αναπαράσταση των βιολογικών Νευρωνικών Δικτύων (ΝΔ), σε μία πολύ απλή τους μαθηματική μορφή. Παρά την μεγάλη διαφορά σε βαθμό πολυπλοκότητας που έχουν από τα βιολογικά ΝΔ, είναι απολύτως ικανά να προσομοιάσουν μαθησιακές διαδικασίες [Κ. Διαμαντάρας 2007], κάτι που έχει τραβήξει το ενδιαφέρον ερευνητών από τη δεκαετία του 1940 [McCulloch, W.S., Pitts 1943].

5.2.1 Αρχιτεκτονική των ΤΝΔ

Η βασική δομή ενός ΤΝΔ είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων μεταξύ τους νευρώνων οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως υπολογιστικές μονάδες επεξεργασίας. Ο κάθε νευρώνας αποτελείται από πύλες εξόδου και εισόδου, κάθε μία από τις οποίες είναι συνδεδεμένη με πύλες εισόδου και εξόδου άλλων νευρώνων αντίστοιχα. Οι εισοδοί του νευρώνα ως αριθμοί κινητής υποδιαστολής,

επηρεασμένοι από το ανάλογο συναπτικό βάρος της συγκεκριμένης σύνδεσης (σύναψης), προστίθενται μεταξύ τους και τελικώς το αποτέλεσμα συγκρίνεται με ένα κατώφλι για να παραχθεί η έξοδος του νευρώνα. Μία γρήγορη παρατήρηση αυτής της δομής εμφανίζει τον βαθμό εξάρτησης μεταξύ των συναπτικών βαρών και της διαδικασίας της μάθησης όπως θα αναλύσουμε παρακάτω.

5.2.2 Μάθηση και εκπαίδευση

Ο όρος μάθηση περιλαμβάνει την βελτιστοποίηση προς την επίτευξη κάποιου σκοπού, η οποία είναι αποτέλεσμα μίας διαδικασίας τροποποίησης. Σε έναν νευρώνα για παράδειγμα, τροποποιώντας τα συναπτικά βάρη των εισόδων του, πετυχαίνουμε την προσαρμογή της εξόδου για να πετύχουμε κάποιο αποτέλεσμα. Αυτή ακριβώς η στοχευμένη ρύθμιση όλων των νευρώνων ενός δικτύου επιτρέπουν σε αυτό να αυξάνει την ικανότητά του στην επίλυση κάποιου προβλήματος ή αλλιώς, να μαθαίνει. Η διαδικασία της μάθησης ενός ΤΝΔ μπορεί να πάρει 3 βασικές μορφές :

- Μάθηση με επίβλεψη
- Μάθηση χωρίς επίβλεψη
- Μάθηση με ενίσχυση

Σε πολύ γενικές γραμμές, στην πρώτη περίπτωση το δίκτυο εκπαιδεύεται από ένα σύνολο δεδομένων εισόδου και προκαθορισμένων γνωστών εξόδων. Στην περίπτωση της μάθησης χωρίς επίβλεψη η επιθυμητή έξοδος δεν είναι γνωστή, ενώ στην μάθηση με ενίσχυση το δίκτυο δε γνωρίζει την αποτελεσματικότητά του κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης παρά μόνο στο τέλος της. Η μάθηση μέσω εξέλιξης αποτελεί μία διαφορετική προσέγγιση.

5.2.3 Μάθηση μέσω εξέλιξης

Η φυσική επιλογή, ως μηχανισμός με σκοπό την επιβίωση ενός

οικοσυστήματος, είναι μία διαδικασία βελτιστοποίησης. Κάθε είδος του οικοσυστήματος εξελίσσεται με το πέρασμα των γενεών, τροποποιώντας τον γενετικό του κώδικα σε μία προσπάθεια αύξησης των πιθανοτήτων επιβίωσής του και προσαρμογής σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

Χρησιμοποιώντας την ιδέα αυτή σε Νευρωνικά Δίκτυα πετυχαίνουμε μάθηση του μοντέλου από γενιά σε γενιά. Όσον αφορά την τοπολογία των δικτύων, είναι συνήθως σταθερή, αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει άνθηση στον τομέα της νευροεξέλιξης με Νευρωνικά Δίκτυα που αυξάνονται σε μέγεθος με την πάροδο των γενεών, κάτι που συμβαίνει στα βιολογικά δίκτυα. Παράδειγμα τέτοιων τοπολογικών μοντέλων είναι το NEAT (NeuroEvolution of Augmenting Topologies) [Stanley 2002] που ξεπερνάει σε αποδόσεις τα καλύτερα δίκτυα σταθερών τοπολογιών. Παρ' όλα αυτά, στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιούνται δίκτυα σταθερής τοπολογίας (fixed topology networks).

Κατά την διάρκεια “ζωής” των οργανισμών, δεν υπάρχει μάθηση των ΤΝΔ τους. Κάθε οργανισμός διατηρεί το Νευρωνικό του δίκτυο στην ίδια κατάσταση και λαμβάνει όλες του τις αποφάσεις με τον ίδιο τρόπο μέχρι να πεθάνει. Όταν όμως έρθει η ώρα να δημιουργηθεί ένας καινούριος οργανισμός, μέσω του ανασυνδιασμού των γονιδιωμάτων των προγόνων και της μετάλλαξης, το καινούριο δίκτυο αποκτά μία πρωτοφανή μορφή, προσομοιάζει μία καινούρια πιθανή λύση του προβλήματος.

5.2.4 Γονιδιώματα Συναπτικών Βαρών

Βασική προϋπόθεση για την χρήση ενός Γενετικού Αλγορίθμου, είναι η απεικόνιση των πιθανών λύσεων σε γονιδιώματα. Στην περίπτωση εξελισσόμενων νευρωνικών δικτύων, αυτά τα γονιδιώματα περιλαμβάνουν τα συναπτικά βάρη του κάθε δικτύου. Εν ολίγοις, το κάθε γονίδιο ενός οργανισμού είναι ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει το συναπτικό βάρος μίας σύναψης, ενώ το μέγεθος του γονιδιώματος είναι ίσο με τον συνολικό αριθμό των συνάψεων του δικτύου του οργανισμού.

5.3 Το οικοσύστημα

Το οικοσύστημα απαρτίζεται από τρία είδη οργανισμών, τους κυνηγούς (Predators), τους προστάτες (Guardians) και τους συλλέκτες (Gatherer). Ανεξάρτητα του είδους, ο κάθε οργανισμός έχει δύο χαρακτηριστικά, την ενέργειά του και το επίπεδο υγρασίας. Όταν κάποιο από τα δύο εξαντληθεί, ο οργανισμός πεθαίνει. Οι διαφορές μεταξύ των ειδών δεν είναι πολλές όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 5, αλλά αρκετές για να εμφανιστούν πολύπλοκες συμπεριφορές πέραν του σεναρίου κυνηγού-κυνηγημένου στο οικοσύστημα.

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών προκύπτει από το γεγονός της συνεχόμενης μείωσης των ποσοστών ενέργειας και υγρασίας του κάθε οργανισμού με το πέρασμα του χρόνου που καθορίζει την θνητή υπόστασή του. Οργανισμοί διαφορετικού είδους τρέφονται μεταξύ τους ενώ δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα μεταξύ οργανισμών του ίδιου είδους για την αποφυγή του σεναρίου κανιβαλισμού. Οι πόροι που είναι διαθέσιμοι σε κάθε είδος λοιπόν είναι ρητά συνδεδεμένοι με τους πληθυσμούς των αντίπαλων ειδών με την ισορροπία μεταξύ αυτών να παίζει καίριο ρόλο στην επιβίωση του οικοσυστήματος.

Μέσα σε αυτό το ανταγωνιστικό περιβάλλον υπάρχει μία ειδική σχέση μεταξύ δύο ειδών, των συλλεκτών και των προστατών, που δίνει τη δυνατότητα εμφάνισης μίας σχέσης συναγωνισμού αντί ανταγωνισμού μεταξύ αυτών των δύο. Η σχέση αυτή αναλύεται μαζί με τις υπόλοιπες σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των ειδών στο κεφάλαιο 5.3.2.

5.4 Το περιβάλλον

Το “κέλυφος”, το οποίο περικλείει το οικοσύστημα είναι μία ομάδα αντικειμένων που αυξάνουν την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων του κάθε οργανισμού με το περιβάλλον του. Αυτά τα αντικείμενα, εμπνευσμένα από ένα κλασσικό σενάριο πεδιάδας, είναι δέντρα, βράχοι και ποτάμια δίνοντας μία οικεία

για τον χρήστη εικόνα. Το κάθε ένα από αυτά έχει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που πλουτίζουν την επίδραση της επαφής τους με έναν οργανισμό τα οποία αναλύονται στο κεφάλαιο 5.3.1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ανάλυση και Σχεδίαση εφαρμογής

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία πρώτη παρουσίαση της διεπαφής χρήστη και των λειτουργιών που προσφέρει ενώ στη συνέχεια θα αναλυθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εφαρμογής όπως οι σχέσεις αλληλεπίδρασης των οργανισμών με το περιβάλλον αλλά και μεταξύ τους και τέλος θα αναλυθούν τα νευρωνικά τους δίκτυα και η λειτουργία των εξελικτικών αλγορίθμων.

6.1 Παρουσίαση της Διεπαφής Χρήστη

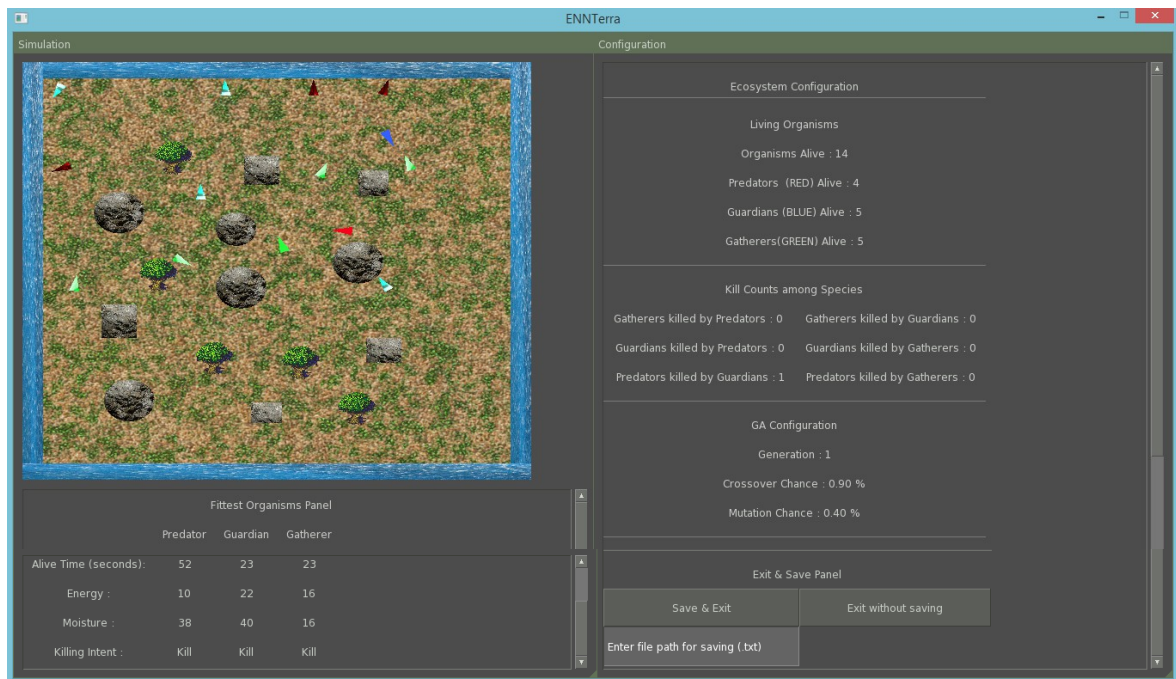
Η εφαρμογή αποτελείται από δύο παράθυρα που περιλαμβάνουν ρυθμίσεις του συστήματος, δυνατότητα αποθήκευσης των χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος και του περιβάλλοντος κατά την τρέχουσα συνεδρία αλλά και την γραφική αναπαράσταση του οικοσυστήματος συν μία διεπαφή με τις λεπτομέρειές του για την ευκολότερη παρατήρησή του.

Το παράθυρο των ρυθμίσεων όπως εμφανίζεται στο σχήμα 6.1 παρέχει επιλογές για τον χρήστη που θα καθορίσουν το οικοσύστημα για μία συνεδρία προσομοίωσης.

Configuration			
Number Of Predators :	5	Number Of Guardians :	5
Number Of Gatherers :	5	Energy Lost Per Second :	1
Chances of predators killing a gatherer :	80	Moisture Lost Per Second :	1
Chances of guardians killing a predator :	80	Energy replenished of guardian by being fed by a gatherer :	8
Chances of gatherers killing a guardian :	80	Energy replenished of predator by killing a guardian :	13
Energy replenished of predator by killing a gatherer :	20	Energy replenished of guardian by killing a predator :	13
Energy replenished of guardian by killing a gatherer :	8	Energy replenished of gatherer by killing a predator :	8
Energy replenished of gatherer by killing a guardian :	8	Energy replenished of gatherer by eating a bush :	20
Interval between generations (seconds) :	14		
Attributes of Neural Networks			
Number Of Hidden Layers (Neural Networks)	2		
Activation function for hidden layer	SIN_SYMMETRIC	Activation function for output layer	SIN_SYMMETRIC
Attributes of Genetic Algorithms			
CrossOver Chance (float 0-1) :	0.90	Mutation Chance (float 0-1) :	0.40
	Initialize	Initialize from File	
	Insert file name (.txt)		

Σχήμα 6.1: Παράθυρο ρυθμίσεων

Οι ρυθμίσεις που επιτρέπονται στον χρήστη έχουν κυρίως να κάνουν με την αλληλεπίδραση μεταξύ των ειδών των οργανισμών όπως η πιθανότητες επιβίωσης ενός είδους από μάχη με κάποιο άλλο και την ποσότητα ενέργειας που λαμβάνεται από τον νικητή αυτής, τη μορφή των Νευρωνικών τους Δικτύων και τις παραμέτρους των εξελικτικών αλγορίθμων. Τέλος δίνεται η επιλογή έναρξης με ρυθμίσεις προηγούμενης συνεδρίας από αρχείο, οι οποίες αντικαθιστούν τις επιλεγμένες ρυθμίσεις. Αναλυτική περιγραφή των ρυθμίσεων και των επιλογών τους γίνεται στο Παράρτημα 1. Μετά την επιλογή έναρξης από αρχείο ή με χρήση των επιλεγμένων ρυθμίσεων, το παράθυρο του σχήματος 6.1 κλείνει και εμφανίζεται το κύριο παράθυρο της εφαρμογής όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2: Κύριο παράθυρο εφαρμογής

Το κύριο παράθυρο εφαρμογής αποτελείται από τη γραφική αναπαράσταση του οικοσυστήματος επάνω αριστερά, τον πίνακα με τα χαρακτηριστικά των ικανότερων οργανισμών από κάθε είδος ακριβώς από κάτω ενώ στα δεξιά έναν πίνακα με τα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος ως σύνολο όπως επίσης και κουμπιά για τον τερματισμό της εφαρμογής με ή χωρίς αποθήκευση σε αρχείο. Στο Παράρτημα 1 αναλύονται ξεχωριστά κάθε ένα από τα τρία επιμέρους τμήματα.

6.2 Ανάλυση του περιβάλλοντος

Το περιβάλλον του οικοσυστήματος αποτελείται από αντικείμενα του χώρου που είναι είτε δυναμικά (οργανισμοί) είτε στατικά (ποτάμια, δέντρα, βράχοι). Κάθε ένα από αυτά τα αντικείμενα ορίζεται σε δύο “κόσμους”. Ο πρώτος είναι το περιβάλλον που δημιουργήθηκε με την μηχανή φυσικής Box2D ενώ ο δεύτερος είναι το γραφικό περιβάλλον που αποτελεί μία αναπαράσταση του πρώτου στην οθόνη του υπολογιστή με χρήση της βιβλιοθήκης γραφικών SFML.

6.2.1 Φυσικό Περιβάλλον

Οι μηχανές φυσικές δίνουν στον χρήστη τους τη δυνατότητα να δημιουργήσει μία αφαίρεση του πραγματικού κόσμου την οποία διέπουν κανόνες και νόμοι της φυσικής όπως η βαρύτητα. Η δημιουργία ενός αντικειμένου του χώρου λοιπόν αναλύεται στα παρακάτω επιμέρους τμήματα:

- Δημιουργία του σώματος.
- Δημιουργία των προσαρτημάτων του σώματος.
- Ορισμός του σχήματος του σώματος.

Το σώμα και το σχήμα του αντικειμένου προσδιορίζουν τη μάζα του και το βάρος του τα οποία είναι χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι δυνάμεις ασκούνται πάνω σε αυτό. Τα προσαρτήματα (fixtures) είναι ένα σύνολο χαρακτηριστικών του σώματος όπως η αποκατάσταση μετά από κάποια μετάλλαξη της επιφάνειάς του (ελαστικότητα), η τριβή και η πυκνότητα. Μετά τον ορισμό αυτών των χαρακτηριστικών και την τοποθέτηση των αντικειμένων στον χώρο, η Box2D αναλαμβάνει τον υπολογισμό των δυνάμεων και των επιδράσεών τους πάνω σε αυτά.

Η κίνηση των δυναμικών αντικειμένων στο χώρο είναι το αποτέλεσμα δυνάμεων που ασκούνται πάνω σε αυτά και δημιουργούν την απαραίτητη ώθηση έτσι ώστε να υπερνικηθεί η αντίσταση της τριβής με την επιφάνεια και τελικώς το σώμα να κινηθεί.

Η Box2D επιτρέπει την δημιουργία ενός “κόσμου” στο καρτεσιανό επίπεδο με συντεταγμένες για την τοποθεσία και διαστάσεις σε μέτρα για τον ορισμό των μεγεθών του κάθε αντικειμένου.

6.2.2 Γραφικό περιβάλλον

Το φυσικό περιβάλλον παρ' όλο που υφίσταται στην εφαρμογή, δε μπορεί να

γίνει αντιληπτό από τον χρήστη χωρίς κάποια γραφική αναπαράσταση. Τον ρόλο αυτό αναλαμβάνει η βιβλιοθήκη SFML που παρέχει όλες τις απαραίτητες μεθόδους και κλάσεις για την δημιουργία αντικειμένων με γραφική υπόσταση στην οθόνη του υπολογιστή. Κάθε αντικείμενο που φαίνεται στο οικοσύστημα είναι στην ουσία η γραφική αναπαράσταση της φυσικής υπόστασής του στον κόσμο της Box2D.

Οι οργανισμοί, τα δέντρα, οι βράχοι και τα ποτάμια, ως σώματα της Box2D έχουν μία συγκεκριμένη τοποθεσία στον χώρο σταθερών διαστάσεων πράγμα που σημαίνει πως μπορούν να αναπαρασταθούν με την μετάφραση των χαρακτηριστικών αυτών σε pixels και τελικώς την αναπαράστασή τους στην οθόνη.

Κάθε αντικείμενο λοιπόν εκτός από τα χαρακτηριστικά που διέπουν την φυσική του υπόσταση έχει και τα αντίστοιχα για την γραφική του υπόσταση. Η SFML απαιτεί τα εξής στοιχεία σε ένα αντικείμενο:

- Το σχήμα του αντικειμένου.
- Την υφή(texture) του αντικειμένου.

Το σχήμα του αντικειμένου ορίζεται από σημεία στο καρτεσιανό επίπεδο όπως και στην Box2D ενώ η υφή ορίζει την επιφάνεια που φαίνεται στην οθόνη. 30 φορές το δευτερόλεπτο η Box2D υπολογίζει τις δυνάμεις που έχουν ασκηθεί σε κάθε σώμα και την καινούρια θέση τους και ενημερώνει τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της SFML για να ζωγραφίσει τα αντικείμενα στο παράθυρο της εφαρμογής.

Σε κάθε συνεδρία τα στατικά αντικείμενα δημιουργούνται σε τυχαία σημεία εκτός των ποταμών που δημιουργούν ένα τετράγωνο πλέγμα που περικλείει το οικοσύστημα. Ο αλγόριθμος δημιουργίας των στατικών αντικειμένων φροντίζει να υπάρχει πάντα αρκετός χώρος ανάμεσα στα στατικά αντικείμενα για να περνούν ελεύθερα οι οργανισμοί ανάμεσά τους.

6.3 Οργανισμοί

Οι οργανισμοί όντας δυναμικά αντικείμενα του χώρου που κινούνται σε αυτόν, είναι λίγο πολυπλοκότεροι και σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ τους, η αλληλεπίδραση με το χώρο όπως επίσης και η λειτουργία των Νευρωνικών Δικτύων τους.

Τα είδη των οργανισμών είναι τρία όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4. Το φυσικό σώμα τους είναι το ίδιο και για τα τρία είδη και έχει τη μορφή τριγώνου διαστάσεων 2x4 μέτρα ενώ η γραφική τους υπόσταση αλλάζει μόνο ως προς το χρώμα. Οι συλλέκτες είναι πράσινοι, οι κυνηγοί κόκκινοι ενώ οι προστάτες μπλε.

6.3.1 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον

Οι οργανισμοί επηρεάζονται από τα αντικείμενα του περιβάλλοντος μόνο κατά την επαφή του σώματός τους με αυτά. Κάθε φορά που ένας οργανισμός ακουμπάει με το εξωτερικό του κέλυφος ένα αντικείμενο, η Box2D αντιλαμβάνεται την σύγκρουση και ανάλογα με το είδος του στατικού αντικειμένου ένας αλγόριθμος εκτελεί μία διαδικασία πάνω στον οργανισμό. Αυτές οι διαδικασίες είναι στενά συνδεδεμένες με τα δύο κύρια χαρακτηριστικά των οργανισμών, την ενέργεια και το επίπεδο υγρασίας.

- Τα ποτάμια αποτελούν την πηγή υγρασίας για τους οργανισμούς. Κατά την επαφή ενός οργανισμού με ένα ποτάμι, ο οργανισμός αναπληρώνει ένα ποσοστό της υγρασίας του. Αυτή η λειτουργία είναι κοινή και στα τρία είδη οργανισμών.
- Τα δέντρα και οι βράχοι αποτελούν “εμπόδια” για τους οργανισμούς και κατά την σύγκρουσή τους με αυτά, χάνουν ένα ποσοστό της ενέργειάς τους. Οι συλλέκτες έχουν την ξεχωριστή ιδιότητα να αναπληρώνουν ενέργεια αντί να τη χάνουν όταν συγκρούονται με τα δέντρα, τα οποία είναι η κύρια πηγή τροφής τους. Φυσικά τα δέντρα δεν κατέχουν άπειρα κοιτάσματα τροφής.

6.3.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ των ειδών

Τα είδη του οικοσυστήματος ενώ έχουν την ίδια πηγή υγρασίας, διαφέρουν ως προς την κύρια πηγή τροφής. Κάθε οργανισμός ανεξαρτήτου είδους αναπληρώνει ένα ποσοστό ενέργειας κατά την σύγκρουσή του με έναν οργανισμό διαφορετικού είδους. Πιο συγκεκριμένα, όταν συμβεί η επαφή μεταξύ δύο οργανισμών διαφορετικού είδους, οι δύο συμμετέχουν σε μία μάχη. Η πιθανότητες νίκης είναι ανάλογες με τα δύο είδη που συμμετέχουν στη μάχη και ορίζονται από τον χρήστη στο παράθυρο των ρυθμίσεων. Ανάλογα με τις τιμές αυτές δημιουργείται μία αλυσίδα μεταξύ των τριών ειδών που καθορίζει τους παίκτες σε ένα παιχνίδι κυνηγού – θηράματος. Οι προκαθορισμένες τιμές αλλά και τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά των ειδών ευνοούν την αλυσίδα της παρακάτω μορφής.

- Οι κυνηγοί έχοντας την ικανότητα να αντιληφθούν την θέση του κοντινότερου συλλέκτη ανεξαρτήτως με το αν αυτός βρίσκεται στο οπτικό τους πεδίο, έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να επιβιώσουν από τη μάχη και να τραφούν με τον νεκρό συλλέκτη, αναπληρώνοντας μεγάλο ποσοστό της ενέργειάς τους.
- Οι συλλέκτες έχουν πολύ μικρές πιθανότητες επιβίωσης από μάχη με οποιοδήποτε άλλο είδος και η ενέργεια που κερδίζουν σε περίπτωση νίκης είναι επίσης μικρή. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν την ιδιότητα να τρέφονται από τα δέντρα σε αντίθεση με τους υπόλοιπους με σκοπό την διατήρηση της ισορροπίας.
- Οι προστάτες έχουν αυξημένες πιθανότητες να κερδίσουν τη μάχη με τα υπόλοιπα είδη αλλά η ενέργεια που κερδίζουν από αυτή είναι σχετικά μικρή. Η κύρια πηγή τροφής τους είναι το τάισμα από κάποιον συλλέκτη που προϋποθέτει την επαφή με αυτόν την ώρα που και οι δύο έχουν παθητική διάθεση. Κάθε προστάτης μπορεί επίσης να αντιληφθεί εάν βρίσκεται κοντά σε κάποιον συλλέκτη χωρίς να έχει οπτική επαφή μαζί του.

Η μορφή αυτών των αλληλεπιδράσεων χαρίζει και τα ονόματα των ειδών με σημείο τομής να είναι οι συλλέκτες από τους οποίους τρέφονται οι κυνηγοί ενώ προστατεύουν οι προστάτες.

6.3.3 Είσοδοι – Έξοδοι Νευρωνικών Δικτύων

Εκτός από το φυσικό του σώμα, ο κάθε οργανισμός περιλαμβάνει στις προσαρτήσεις του και ένα δεύτερο αόρατο σώμα τριγωνικού σχήματος του οποίου παίζει τον ρόλο του οπτικού του πεδίου. Όταν κάποιο σώμα συγκρούεται με το οπτικό πεδίο ενός οργανισμού, δεν ασκούνται δυνάμεις σε κανένα από τα δύο σώματα αλλά ο οργανισμός “αντιλαμβάνεται” τρία χαρακτηριστικά για το ξένο σώμα.

1. Το είδος του σώματος είτε είναι στατικό είτε δυναμικό.
2. Την απόσταση σε μέτρα από αυτό.
3. Την κατεύθυνση σε μοίρες ως προς την παρούσα πορεία του οργανισμού.

Με βάση τα παραπάνω ερεθίσματα, δημιουργούνται οι είσοδοι του ΝΔ του κάθε οργανισμού. Για κάθε είδος αντικειμένου του χώρου ένας οργανισμός έχει δύο νευρώνες εισόδου για την απόσταση και την κατεύθυνση συν δύο νευρώνες για την ενέργεια και την υγρασία του ίδιου. Αυτή είναι η γενική μορφή των εισόδων που κληρονομούν αυτή κάθε αυτή οι συλλέκτες. Οι κυνηγοί έχουν μία ακόμα δυάδα νευρώνων για τον κοντινότερο συλλέκτη εκτός οπτικού πεδίου ενώ οι προστάτες ένα παραπάνω νευρώνα που πυροδοτεί όταν ο προστάτης βρίσκεται κοντά σε κάποιον συλλέκτη. Το είδος του αντιληπτού αντικειμένου δεν αντιπροσωπεύεται από ξεχωριστούς νευρώνες αλλά από την σταθερή θέση της ανάλογης δυάδας νευρώνων στο στρώμα εισόδου του ΝΔ.

Εκτός από τα στρώματα εισόδου και εξόδου, το κάθε δίκτυο έχει και έναν αριθμό κρυφών στρωμάτων που καθορίζεται από τον χρήστη με προεπιλογή το ένα. Το κάθε κρυφό στρώμα έχει συνήθως περισσότερους νευρώνες από το στρώμα εισόδου.

Το στρώμα εξόδου των νευρωνικών δικτύων αποτελείται από τρεις νευρώνες που μεταφράζονται στην απόφαση κίνησης του οργανισμού. Ο πρώτος νευρώνας εξόδου αντιπροσωπεύει την ταχύτητα με την οποία ο οργανισμός θα κινηθεί ενώ ο

δεύτερος την δύναμη που θα ασκηθεί στο σώμα του οργανισμού, κάθετη προς την κίνησή του για να τον στρέψει προς μία κατεύθυνση. Ο τρίτος νευρώνας αποτελεί έναν “διακόπτη” διάθεσης που μπορεί να πάρει τις τιμές “παθητική” ή “επιθετική”.

Κάθε φορά που ένας οργανισμός πρέπει να πάρει μία απόφαση, η βιβλιοθήκη FANN λαμβάνει τις εισόδους του νευρωνικού δικτύου από τα ερεθίσματα του οργανισμού, υπολογίζει εκ νέου την κατάσταση κάθε νευρώνα και στέλνει την έξοδο του δικτύου σε μία συνάρτηση κίνησης του οργανισμού.

Το κάθε είδος λόγο της διαφοράς του αριθμού των εισόδων του δικτύου του έχει διαφορετικό αριθμό συνάψεων και νευρώνων. Ένας τυπικός συλλέκτης με ένα κρυφό στρώμα έχει περίπου 1300 συνάψεις ενώ ένας κυνηγός περίπου 1450.

6.4 Υλοποίηση εξελικτικών αλγορίθμων

Κατά την έναρξη μίας συνεδρίας προσομοίωσης τα συναπτικά βάρη του κάθε νευρωνικού δικτύου αρχικοποιούνται τυχαία. Αυτό σημαίνει πως κάθε βάρος λαμβάνει μία τυχαία τιμή κινητής υποδιαστολής στο διάστημα -0.1 με 0.1 η οποία παραμένει σταθερή για όλη τη διάρκεια ζωής του οργανισμού. Την διαδικασία της μάθησης του νευρωνικού δικτύου αναλαμβάνει ένας εξελικτικός αλγόριθμος όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4.2.3. Η λειτουργία του εξελικτικού αλγορίθμου προϋποθέτει την ύπαρξη γονιδιωμάτων και την συγκέντρωση αυτών σε πληθυσμούς.

6.4.1 Γονιδιώματα Συναπτικών Βαρών

Το γονιδίωμα ενός οργανισμού όπως προαναφέρθηκε είναι ένας πίνακας με τα συναπτικά βάρη του νευρωνικού του δικτύου. Η βιβλιοθήκη FANN επιτρέπει την εξαγωγή των συναπτικών βαρών ενός δικτύου σε μορφή πίνακα σε οποιαδήποτε στιγμή της “ζωής” ενός αντικειμένου της και η GALIB ακολουθεί την ίδια ιδεολογία δομής δεδομένων για την δημιουργία των γονιδιωμάτων. Κατά την τυχαία αρχικοποίηση των συναπτικών βαρών λαμβάνει μέρος και η αντιγραφή τους σε έναν πίνακα που αντιπροσωπεύει το γονιδίωμα του οργανισμού.

Η GALIB επιτρέπει την αναπαράσταση μίας λύσης σε μορφή γονιδιώματος διαφόρων ειδών όπως πίνακες από χαρακτήρες ή δυαδικές τιμές αλλά στην περίπτωση συναπτικών βαρών που οι τιμές είναι αριθμοί κινητής υποδιαστολής, πίνακας αυτής της μορφής είναι η προφανής επιλογή.

6.4.2 Πληθυσμοί γονιδιωμάτων

Το κάθε είδος οργανισμών αναλαμβάνει ξεχωριστά ένας εξελικτικός αλγόριθμος λόγω των διαφορετικών μηκών των γονιδιωμάτων που εξαρτώνται από τον αριθμό των συνάψεων του αντίστοιχου δικτύου. Ο κάθε εξελικτικός αλγόριθμος χρησιμοποιεί μία δομή δεδομένων για να αποθηκεύει τον πληθυσμό πάνω στον οποίο δρουν οι διαδικασίες εξέλιξης που θα δούμε παρακάτω.

Οι πληθυσμοί αποτελούνται πάντα από τους ζωντανούς οργανισμούς του είδους για την συγκεκριμένη γενιά, και κατά την εξελικτική διαδικασία σε αυτούς προστίθενται δύο καινούριοι οργανισμοί που θεωρούνται απόγονοι των επιλεγμένων γονέων της προηγούμενης γενιάς. Το είδος αυτών των πληθυσμών ονομάζεται πληθυσμός αυξανόμενου μεγέθους ενώ υπάρχουν επιλογές χρήσης πληθυσμών αντικατάστασης στους οποίους τα παιδιά αντικαθιστούν κάποια από τα άτομα της προηγούμενης γενιάς.

Η επιλογή των γονέων γίνεται με χρήση του αλγορίθμου εύρεσης του ικανότερου από την GALIB. Αυτό σημαίνει πως οι δύο οργανισμοί με την μεγαλύτερη τιμή ικανότητας θα επιλέγονται πάντα για την αναπαραγωγή. Η βιβλιοθήκη έχει και άλλους τρόπους επιλογής όπως αυτός της τυχαίας και του τουρνουά στο οποίο επιλέγονται οι οργανισμοί με πιθανότητα που είναι ανάλογη της τιμής ικανότητάς τους.

6.4.3 Εξέλιξη των πληθυσμών

Κάθε ένα σταθερό χρονικό διάστημα ρυθμισμένο από τον χρήστη, συμβαίνει η εξέλιξη των πληθυσμών. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Αντικατάσταση του πληθυσμού από τα γονιδιώματα των ζωντανών οργανισμών,
2. Υπολογισμών των τιμών ικανότητας του κάθε οργανισμού λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο επιβίωσής του,
3. Επιλογή των γονέων από τον τωρινό πληθυσμό,
4. Ανασυνδιασμός των γονιδίων των γονέων ο βαθμός του οποίου εξαρτάται από τον χρήστη,
5. Μετάλλαξη του γονιδιώματος που δημιουργήθηκε από το προηγούμενο βήμα σε βαθμό που εξαρτάται από τον χρήστη,
6. Δημιουργία οργανισμών με βάση τα καινούρια γονιδιώματα και εισαγωγή τους στον πληθυσμό.

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η μάθηση όχι του κάθε οργανισμού ξεχωριστά αλλά των ειδών συνολικά. Μέσω της επιλογής των ικανότερων οργανισμών για αναπαραγωγή επιβιώνουν οι λύσεις που αυτοί αντιπροσωπεύουν στο πρόβλημα της επιβίωσης του είδους και της διατήρησης της ισορροπίας στο οικοσύστημα. Εάν για παράδειγμα αποδειχθεί πως η συνεχής κίνηση των συλλεκτών κοντά στα δέντρα αυξάνει τις πιθανότητες επιβίωσής τους τότε αυτή η μορφή αποφάσεων θα περάσει στις επόμενες γενιές, ενώ εάν ένα είδος εξαφανιστεί τότε το οικοσύστημα χάνει την ισορροπία του και η συνεδρία τερματίζει αποδεικνύοντας πως οι παρούσες λύσεις δεν ήταν βέλτιστες.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως σε ένα οικοσύστημα δεν υπάρχει ποτέ η τέλεια λύση για κανένα από τα είδη. Κάθε στιγμή οι παράμετροι της συνάρτησης του προβλήματος αλλάζουν οπότε και λύση του δεν παραμένει σταθερή. Καμία άλλη μορφή μάθησης δε μπορεί να αντεπεξέλθει σε αυτή την συνεχή μεταβολή των παραμέτρων παρά μόνο οι εξελικτικοί αλγόριθμοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Μετά την υλοποίηση του προσομοιωτή και τον έλεγχο της λειτουργίας τους, έγιναν κάποια πειράματα μικρής σχετικά διάρκειας για να διερευνηθούν κάποια σενάρια που αφορούν ειδικές περιπτώσεις χρήσης με ακραίες τιμές στις παραμέτρους του συστήματος. Τέλος για την σύγκριση των συναρτήσεων ενεργοποίησης των νευρωνικών δικτύων των οργανισμών ως προς τον μέγιστο αριθμό γενεών που κατάφεραν να φτάσουν σε περιορισμένο χρονικό διάστημα, έγινε μία σειρά πειραμάτων διάρκειας 10 ωρών το καθένα και χρησιμοποιήθηκαν 4 συναρτήσεις.

Πριν την ανάλυση των συμπεριφορών που παρατηρήθηκαν όμως πρέπει να γίνει μία αναφορά στις συμπεριφορές των οργανισμών που θεωρητικά θα μπορούσαν να εμφανιστούν σε ένα ώριμο οικοσύστημα.

7.1 Πιθανά σενάρια και συμπεριφορές

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε είδους αλλά και τις τροποποιήσιμες και μη παραμέτρους του συστήματος, όπως αναφέρονται στο Παράρτημα 2 κεφάλαιο 1, με λίγη φαντασία μπορούμε να σκεφτούμε κάποια σενάρια που θα πάρουν μορφή σε ένα οικοσύστημα μετά από το πέρασμα αρκετών ωρών προσομοίωσης. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν κάποια τέτοια σενάρια και συμπεριφορές οργανισμών.

7.1.1 Συγκέντρωση οργανισμών στα ποτάμια

Κάθε οργανισμός χάνει μία συγκεκριμένη ποσότητα της υγρασίας του ανά δευτερόλεπτο ζωής του. Όταν η υγρασία του τελειώσει, ο οργανισμός πεθαίνει. Μοναδικός τρόπος αναπλήρωσης της χαμένης υγρασίας πριν είναι πολύ αργά είναι η επαφή του οργανισμού με κάποιο από τα τέσσερα ποτάμια που περικλείουν το περιβάλλον.

Από τα παραπάνω γίνεται ξεκάθαρο το ρεαλιστικό σενάριο της συγκέντρωσης των οργανισμών γύρω από τα ποτάμια στη περίπτωση που ο χρήστης θέσει αρκετά υψηλή την τιμή της υγρασίας που χάνεται ανά δευτερόλεπτο. Στο σενάριο αυτό ο κάθε οργανισμός δεν προλαβαίνει να απομακρυνθεί αρκετά από τα ποτάμια πριν “διψάσει” ξανά οπότε αναγκάζεται να μένει κοντά σε αυτά. Ως αποτέλεσμα, το κεντρικό μέρος του χώρου παραμένει κενό από οργανισμούς, ενώ ο χώρος γύρω από τα ποτάμια μετατρέπεται σε πεδίο μάχης.

7.1.2 Αποφυγή εμποδίων

Μία λογική συμπεριφορά ενός “έξυπνου” οργανισμού είναι να προσπαθεί να αποφύγει αντικείμενα του χώρου τα οποία μπορούν μόνο να τον βλάψουν. Αυτά τα αντικείμενα – εμπόδια σε αυτόν τον προσομοιωτή αντιπροσωπεύουν οι βράχοι.

Ενώ στις αρχικές γενιές η ποσότητα της ενέργειας που χάνει ένας οργανισμός που συγκρούεται με έναν βράχο είναι μικρή, όσο περνάει η ώρα αυξάνεται σταδιακά. Αυτό σημαίνει πως η σύγκρουση με τους βράχους αποτελεί ένα όλο και περισσότερο γεγονός προς αποφυγή για τον κάθε οργανισμό. Εύλογο αποτέλεσμα μίας πολύωρης προσομοίωσης είναι η εμφάνιση της συμπεριφοράς αποφυγής των βράχων σε όλα τα είδη των οργανισμών.

7.1.3 Σχέσεις συναγωνισμού αντί ανταγωνισμού

Οι προστάτες είναι ένα είδος με το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της εύρεσης τροφής όχι μόνο σκοτώνοντας κάποιον ξένο οργανισμό αλλά και από το τάισμά του από κάποιον συλλέκτη. Με λίγη βοήθεια από τον χρήστη ο οποίος θα έπρεπε να αυξήσει την ενέργεια που ένας προστάτης κερδίζει όταν τρέφεται με αυτόν τον τρόπο από έναν συλλέκτη αλλά ταυτόχρονα και την μείωση της ενέργειας που κερδίζει όταν σκοτώνει τον συλλέκτη, θα μπορούσε να εμφανιστεί μία σχέση συμβίωσης μεταξύ οργανισμών αυτών των δύο ειδών.

Οι συμπεριφορές που θα εμφανίζονταν σε ένα τέτοιο σενάριο από μεριάς των οργανισμών είναι η παθητική διάθεση κατά την επαφή με τον οργανισμό του άλλου είδους. Σε αυτή την περίπτωση δε συμβαίνει μάχη αλλά το αποκαλούμενο τάισμα του προστάτη. Σε αυτή την περίπτωση ο συλλέκτης έχει κερδίσει έναν σύμμαχο που θα μπορούσε να τον προστατέψει από έναν κυνηγό ή έχει βρει ένα τρόπο να αποφύγει τη μάχη με έναν δυνατότερο οργανισμό. Και οι δύο περιπτώσεις απαιτούν τη ανάλογη παραμετροποίηση από τον χρήστη στο αρχικό παράθυρο προσομοίωσης. Όσον αφορά τον προστάτη, έχει απλά κερδίσει ενέργεια χωρίς να πάρει κάποιο ρίσκο.

7.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Το πέρασμα από τη σφαίρα της φαντασίας στην πραγματικότητα απαιτεί υπομονή και επιμονή του χρήστη του προσομοιωτή. Παρακάτω θα αναφερθούν αποτελέσματα από πειράματα, σχετικά μικρής διάρκειας, που έγιναν.

7.2.1 Αρχικά στάδια

Τα πρώτα πειράματα που πήραν μέρος προσπάθησαν να προσομοιάσουν ακραία σενάρια για την διερεύνηση της ορθής λειτουργίας του συστήματος αλλά της εύρεσης των προτεινόμενων τιμών παραμέτρων για την μείωση του απαιτούμενου χρόνου προσομοίωσης μέχρι την επίτευξη ώριμων

οικοσυστημάτων.

1. Το πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε είχε ως τιμή της πιθανότητας μετάλλαξης του γονιδιώματος των γονέων στο 100%. Αυτό σημαίνει πως κάθε γονίδιο του παιδιού θα είναι διαφορετικό από αυτό των γονέων του. Αποτέλεσμα αυτού του πειράματος ήταν φυσικά η αδυναμία των οργανισμών να αναπτύξουν οποιαδήποτε παρατηρήσιμη συμπεριφορά αφού η κάθε γενιά έχανε τον μοναδικό τρόπο μετάδοσης των λύσεων από την προηγούμενη.
2. Η αρχική μορφή των νευρωνικών δικτύων ήταν διαφορετική από αυτή που αναφέρεται στο κεφάλαιο 5.3.3. Η αρχική σχεδίαση περιελάμβανε στο στρώμα εισόδου των δικτύων ξεχωριστούς νευρώνες για το σύνολο των διαφορετικών ειδών αντικειμένων εκτός από τους νευρώνες για το κοντινότερο. Αυτή η μορφή αυξάνει κατά πολύ την περιπλοκότητα του δικτύου και είχε σκοπό την εμφάνιση ομαδικών συμπεριφορών όπως ομαδικό κυνήγι. Το αποτέλεσμα όμως ήταν πως λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων εισόδου οι οργανισμοί απαιτούσαν πολύ περισσότερο χρόνο προσομοίωσης για να εμφανίσουν την οποιαδήποτε μετρήσιμη συμπεριφορά.
3. Ένα ακόμα πείραμα είχε ως σκοπό την διερεύνηση της ικανότητας των οργανισμών να αυξάνουν την ικανότητα επιβίωσής τους με την ελάχιστη δυνατή ανάδραση. Το μοναδικό κριτήριο της επιλογής των γονέων ήταν ο χρόνος επιβίωσής τους. Αποτέλεσμα του πειράματος ήταν η αποτυχία του συστήματος να επιλέξει τους ικανότερους οργανισμούς κυρίως στις αρχικές γενιές όπου ο θόρυβος από τυχαίες συμπεριφορές ήταν πολύ μεγάλος.

7.2.2 Πειράματα σύγκρισης συναρτήσεων ενεργοποίησης

Τα τελικά πειράματα που έγιναν είχαν ως σκοπό την διερεύνηση της ικανότητας των διαφόρων συναρτήσεων ενεργοποίησης στο να πετύχουν την ωρίμανση του οικοσυστήματος, υψηλό αριθμό γενεών δηλαδή, σε σταθερό διάστημα προσομοίωσης των δέκα ωρών.

Οι συναρτήσεις που δοκιμάστηκαν ήταν η *elliot*, *linear piece*, *sigmoid* και *sin*. Στο Παράρτημα 2 κεφάλαιο 3.2.1 αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των πειραμάτων που έγιναν και οι συγκρίσεις των συναρτήσεων. Εδώ απλώς θα προτείνω στον αναγνώστη τη χρήση της *sigmoid symmetric* ως συνάρτηση ενεργοποίησης για τα κρυφά αλλά και το στρώμα εξόδου για την ευκολότερη και

γρηγορότερη επίτευξη ώριμων οικοσυστημάτων.

7.2.3 Παρατηρήσιμες Συμπεριφορές

Στα πειράματα που έγιναν και αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατηρήθηκαν κάποιες συμπεριφορές στους οργανισμούς όλων των ειδών που είναι άξια προς αναφορά και ανάλυση.

1. Κινήσεις διεύρυνσης του οπτικού πεδίου. Σε πολλά από τα πειράματα παρατηρήθηκε η εμφάνιση μίας συμπεριφοράς των οργανισμών με σκοπό την αύξηση του πεδίου της όρασής τους. Η συμπεριφορά αυτή έχει την μορφή μιας περιστροφικής κίνησης γύρω από τον άξονα του οργανισμού με τον νευρώνα ταχύτητας να παραμένει αδρανής στην κύρια της μορφή, ενώ παρατηρήθηκε και η εκδοχή περιστροφής γύρω από ένα σταθερό σημείο του χώρου εκτός του οργανισμού. Παρόμοια κίνηση εμφανίστηκε πολλές φορές με τη μορφή απότομων κινήσεων μικρής απόκλισης προς τα δεξιά και αριστερά ενώ ο οργανισμός κρατάει την πορεία του σταθερή.
2. Πλήρης στασιμότητα. Σε μερικά πειράματα εμφανίστηκε μία περίεργη συμπεριφορά στους οργανισμούς όπου οι νευρώνες ταχύτητας και κατεύθυνσης ξαφνικά σταματούσαν να πυροδοτούν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα την πλήρη στασιμότητα του οργανισμού. Αυτή η συμπεριφορά, η οποία αξίζει να σημειωθεί πως επιβίωσε στις περισσότερες περιπτώσεις και εμφανίστηκε σε επόμενες γενιές, δεν έχει κάποια λογική βάση αφού η ενέργεια και η υγρασία που χάνει ο οργανισμός δεν είναι ανάλογα με την κίνησή του. Το μοναδικό αποτέλεσμά της είναι η σμίκρυνση του πεδίου όρασης του οργανισμού.

Το παράρτημα 1 κεφάλαιο 3.2.2 αναλύει μερικές ακόμα συμπεριφορές που εμφανίστηκαν στις προσομοιώσεις.

Το χρησιμότερο αποτέλεσμα αυτών των πειραμάτων ήταν η διευκρίνιση πως

απαιτούνται πολλές ώρες προσομοίωσης για να πετύχει ο χρήστης την ωρίμανση του οικοσυστήματος με σκοπό να διερευνήσει την πιθανότητα εμφάνισης των σεναρίων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6.1. Επίσης έγινε αισθητή η έλλειψη κάποιων χαρακτηριστικών που θα έπρεπε να προσφέρει το σύστημα στον χρήστη για την καλύτερη εμπειρία πειραματισμού. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα αναφερθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Συμπεράσματα, Προτάσεις

Η έκδοση του προσομοιωτή κατά την συγγραφή της εργασίας αυτή είναι η πρώτη και όπως κάθε σεβαστό εργαλείο πρέπει να τροποποιείται συνεχώς για να παραμείνει χρήσιμο. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν κάποια χαρακτηριστικά που πρέπει να προστεθούν στον προσομοιωτή για την επίτευξη της καλύτερης εμπειρίας χρήσης.

8.1 Παράθυρο προσομοιωτή

Το παράθυρο χρήσης του προσομοιωτή στην πρώτη έκδοση δεν επιτρέπει στον χρήστη να αυξομειώσει τις διαστάσεις του. Αυτό αποτελεί μεγάλο πρόβλημα για οθόνες με ανάλυση μικρότερη από 1280 x 720 pixels που είναι και το μέγεθος του παραθύρου. Ως απαραίτητη αλλαγή σημειώνεται η δυνατότητα αυξομείωσης του παραθύρου αλλά και των περιεχόντων παραθύρου του όπως αυτό της γραφικής απεικόνισης του οικοσυστήματος.

Εκτός από τις ελάχιστες πληροφορίες για το οικοσύστημα που δίνονται στον χρήστη, δεν υπάρχει κάποιος τρόπος να παρακολουθηθεί ένας συγκεκριμένος οργανισμός ή ένα είδος ξεχωριστά. Αυτή η πληροφορία θα ήταν πολύ χρήσιμη για κάποιον χρήστη που διερευνά συμπεριφορές που έχουν εμφανιστεί μόνο σε κάποιο από τα είδη ή απλώς παρακολουθεί έναν οργανισμό με ιδιαίτερη συμπεριφορά.

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού πρέπει να προστεθεί ένα ακόμη παράθυρο που παρουσιάζει γενικές πληροφορίες μέσω των όρων κατά είδος

οργανισμών με την επιλογή του είδους από τον χρήστη. Επίσης οι οργανισμοί πρέπει να μπορούν να επιλεγούν με τον δείκτη του χρήστη και να είναι δυνατή η εμφάνιση κάποιων πληροφοριών για αυτούς πάνω από το σώμα τους στο παράθυρο του οικοσυστήματος. Το καινούριο παράθυρο θα πρέπει να εμφανίζει τις πληροφορίες αυτές με μεγαλύτερη λεπτομέρεια για τον επιλεγμένο οργανισμό.

8.2 Παρακολούθηση οικοσυστήματος

Η παρακολούθηση της πορείας του οικοσυστήματος είναι μία πολύ χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί υπομονή από τον χρήστη. Υπολογίζοντας το γεγονός πως κάθε φορά που ένα είδος εξαφανίζεται ο προσομοιωτής τερματίζεται, ο χρήστης αναγκάζεται να βρίσκεται μπροστά στην οθόνη έτοιμος να επανεκκινήσει την διαδικασία. Σε σενάρια που η επιβίωση του οικοσυστήματος είναι δύσκολη λόγω κάποιων παραμέτρων που πιθανώς έχει θέσει ο χρήστης, αυτή η περίπτωση χρήσης είναι πολύ πιθανή. Το πρόγραμμα θα πρέπει να είναι ικανό να συνεχίσει την διαδικασία προσομοίωσης σε τέτοια σενάρια είτε ξεκινώντας από τη πρώτη γενιά ή από κάποιο αρχείο αποθήκευσης που έχει θέσει ο χρήστης. Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα ξεχωριστό πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για αυτόν τον σκοπό αλλά δε περιλαμβάνεται στην πρώτη έκδοση του συστήματος.

Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το οικοσύστημα πρέπει να μη συνδέεται με τις τιμές των παραμέτρων του συστήματος που έχει επιλέξει ο χρήστης. Αυτό σημαίνει πως ο χρήστης πρέπει να έχει την δυνατότητα να σώσει τις τιμές των παραμέτρων που επέλεξε από το παράθυρο αρχικοποίησης χωρίς να αποθηκεύει και την κατάσταση του οικοσυστήματος. Στη παρούσα έκδοση η επιλογή για αποθήκευση λειτουργεί αποθηκεύοντας τα παραπάνω στοιχεία μαζί με τα χαρακτηριστικά του κάθε ζωντανού οργανισμού. Στην επόμενη έκδοση θα υπάρχει δυνατότητα δεύτερου τρόπου αποθήκευσης μόνο των παραμέτρων του συστήματος.

Μία ακόμη λειτουργία που πρέπει να προστεθεί στον προσομοιωτή αποτελεί

η διαγραμματική απεικόνιση κάποιων χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος. Ένα από αυτά είναι οι θάνατοι διαφόρων λόγων των οργανισμών ανά γενιά. Για την διερεύνηση σεναρίων συναγωνισμού μεταξύ συλλεκτών και προστατών πρέπει να υπάρχει τρόπος σύγκρισης των θανάτων συλλεκτών – προστατών μετά από μάχη μεταξύ τους και των φορών ταΐσματος πάλι ανά γενιά. Με αυτούς τους τρόπους ο χρήστης μπορεί να μετρήσει την ικανότητα του οικοσυστήματος να εμφανίσει τέτοιες συμπεριφορές.

8.3 Οικοσύστημα και οργανισμοί

Τα νευρωνικά δίκτυα και το περιβάλλον του οικοσυστήματος βρίσκονται σε μία αρκετά απλή μορφή στην πρώτη έκδοση του προσομοιωτή. Αυτή η μορφή εμφανίζει κάποια προβλήματα στην αλληλεπίδραση των οργανισμών με το περιβάλλον αλλά και μεταξύ τους.

Μία παρατήρηση από τη μεριά της υλοποίησης των συγκρούσεων μεταξύ των οργανισμών είναι η απόλυτη έκβαση αυτών. Στην περίπτωση που τουλάχιστον ένας από τους δύο οργανισμούς έχει επιθετική διάθεση, θα προκύψει μάχη. Σε αυτή την κατάσταση περιλαμβάνονται και σενάρια όπου οι οργανισμοί συγκρούονται χωρίς να το ξέρουν, περιπτώσεις όπου κανένας από τους δύο δεν έχει τον άλλον στο οπτικό του πεδίο αλλά κάποιο σημείο των σωμάτων τους ακουμπούν μεταξύ τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν θα πρέπει να συμβαίνει μάχη ή οποιαδήποτε άλλη αλληλεπίδραση μεταξύ των οργανισμών.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που απουσιάζει είναι η έννοια της μάχης από το οικοσύστημα. Ενώ το αποτέλεσμα της γίνεται αντιληπτό από τους υπόλοιπους οργανισμούς όταν ένας οργανισμός εντός του οπτικού τους πεδίου ξαφνικά εξαφανίζεται, ο λόγος που αυτό συνέβη δεν είναι ξεκάθαρος. Η εισαγωγή μίας οντότητας στο σύστημα που θα αντιπροσωπεύει τη μάχη θα λύσει αυτό το πρόβλημα. Οι οργανισμοί που συγκρούονται θα πυροδοτούν την μάχη η οποία θα κρατάει κάποια δευτερόλεπτα και θα είναι αντιληπτή από τους άλλους οργανισμούς. Με αυτό τον τρόπο κοντινοί οργανισμοί θα μπορούν να

αποφασίσουν αν θέλουν να συμμετάσχουν και αν ναι, ποια μεριά θα πάρουν. Με αυτή τη λειτουργία, ενθαρρύνονται και συμπεριφορές ομαδικότητας.

Τέλος στη δεύτερη έκδοση του προσομοιωτή θα προστεθεί η σύνδεση της ενέργειας / υγρασίας που οι οργανισμοί χάνουν ανά δευτερόλεπτο με την ταχύτητα που χρησιμοποιούν για να κινηθούν.

Παράρτημα 1

Εγχειρίδιο Χρήστη

1. Απαιτήσεις Εκτέλεσης Εφαρμογής

Ο προσομοιωτής ENNTera αποτελεί μία μη-διαδικτυακή εφαρμογή οπότε για την εκτέλεσή της και την παρατήρηση των προσομοιώσεων δεν χρειάζεται η σύνδεση στο διαδίκτυο. Οι υπολογιστικοί πόροι που απαιτούνται δεν ξεπερνούν τους διαθέσιμους ενός υπολογιστή γραφείου γενικής χρήσης παλιάς τεχνολογίας, ενώ η συνεχής εκτέλεση της εφαρμογής για μεγάλα διαστήματα δεν δημιουργούν προβλήματα στο λειτουργικό σύστημα. Για την καλύτερη εμπειρία του χρήστη προτείνεται η χρήση οθόνης με ανάλυση μεγαλύτερη ή ίση των 1280 x 720 pixels.

Η εφαρμογή χωρίζεται σε δύο βασικές διεπαφές χρήστη καμία εκ των οποίων δεν παρέχει δυνατότητα μορφοποίησης ως προς το μέγεθος του παραθύρου. Η εφαρμογή μπορεί να εκτελεστεί μόνο σε λειτουργικά συστήματα τύπου Microsoft Windows στη παρούσα έκδοση.

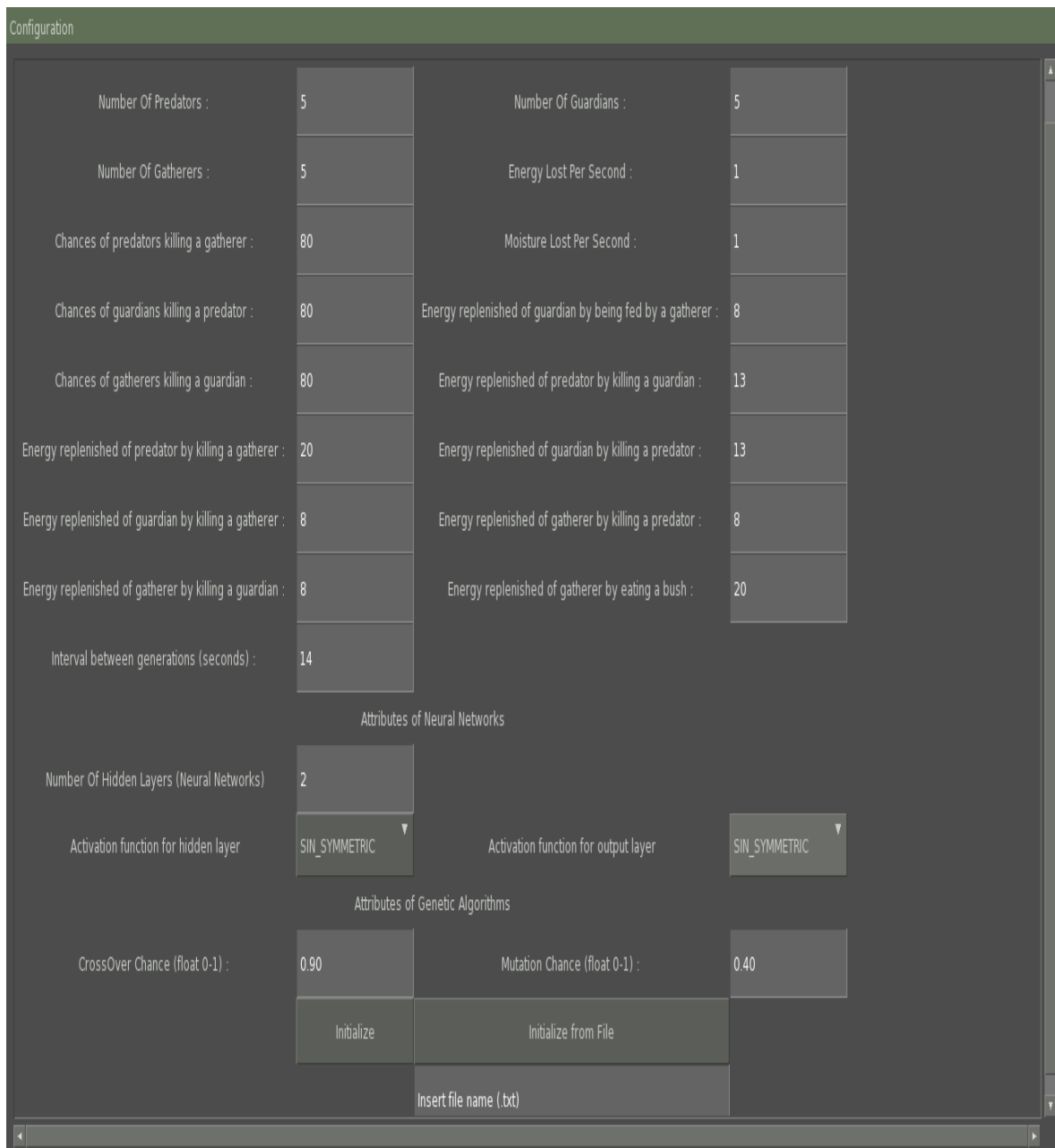
2. Περιγραφή Διεπαφής Χρήστη

Ο προσομοιωτής χωρίζεται στο παράθυρο αρχικής παραμετροποίησης και στο παράθυρο της προσομοίωσης. Παρακάτω θα παρουσιαστούν ξεχωριστά τα δύο αυτά παράθυρα μαζί με όλες τις πιθανές ενέργειες του χρήστη αλλά και τα σημεία ενδιαφέροντος.

2.1 Παράθυρο Αρχικής Παραμετροποίησης

Το παράθυρο αρχικής παραμετροποίησης παρέχει ένα σύνολο από επιλογές για τον χρήστη οι οποίες θα επηρεάσουν την παρούσα συνεδρία προσομοίωσης. Οι περισσότερες από αυτές αντικατοπτρίζουν παραμέτρους του οικοσυστήματος

κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης ενώ παρέχεται η δυνατότητα εκκίνησης της προσομοίωσης από κάποιο αποθηκευμένο σημείο. Στην εικόνα 1 εμφανίζεται το παράθυρο αρχικής παραμετροποίησης με όλες τις επιλογές.

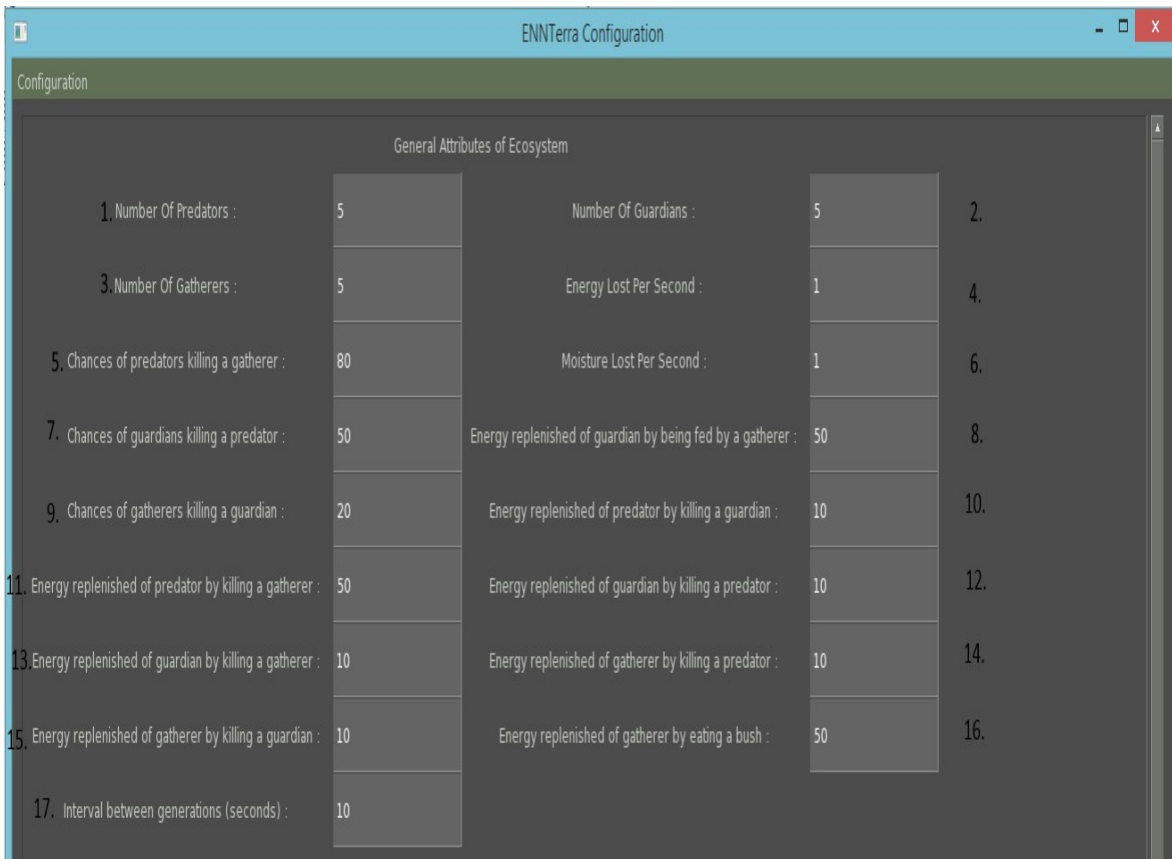


Σχήμα 1: Παράθυρο αρχικής παραμετροποίησης.

2.1.1 Παράμετροι Οικοσυστήματος

Ξεκινώντας από το πάνω αριστερό άκρο του παραθύρου αρχικής

παραμετροποίησης, οι πρώτες επιλογές που αντικρίζει ο χρήστης είναι αυτές που θα επηρεάσουν το οικοσύστημα κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης. Στην εικόνα 2 εμφανίζονται όλες αυτές οι επιλογές για τον χρήστη. Στη συνέχεια θα αναλυθούν ξεχωριστά.



The screenshot shows a window titled 'ENNTerra Configuration' with a 'Configuration' header. Below it is a table titled 'General Attributes of Ecosystem' with 17 numbered rows, each containing a parameter name and its value.

General Attributes of Ecosystem	
1. Number Of Predators :	5
2. Number Of Guardians :	5
3. Number Of Gatherers :	5
4. Energy Lost Per Second :	1
5. Chances of predators killing a gatherer :	80
6. Moisture Lost Per Second :	1
7. Chances of guardians killing a predator :	50
8. Energy replenished of guardian by being fed by a gatherer :	50
9. Chances of gatherers killing a guardian :	20
10. Energy replenished of predator by killing a guardian :	10
11. Energy replenished of predator by killing a gatherer :	50
12. Energy replenished of guardian by killing a predator :	10
13. Energy replenished of guardian by killing a gatherer :	10
14. Energy replenished of gatherer by killing a predator :	10
15. Energy replenished of gatherer by killing a guardian :	10
16. Energy replenished of gatherer by eating a bush :	50
17. Interval between generations (seconds) :	10

Σχήμα 2: Παράμετροι Οικοσυστήματος.

1. Αρχικός αριθμός ατόμων στον πληθυσμό του Οργανισμού Κυνηγών.
2. Αρχικός αριθμός ατόμων στον πληθυσμό του οργανισμού Προστατών.
3. Αρχικός αριθμός ατόμων στον πληθυσμό του οργανισμού Συλλεκτών.
4. Αρχική τιμή ενέργειας που χάνεται ανά δευτερόλεπτο από τον κάθε ζωντανό οργανισμό.
5. Πιθανότητα τοις εκατό ένας κυνηγός να σκοτώσει έναν συλλέκτη στην περίπτωση σύγκρουσης κατά την οποία και οι δύο οργανισμοί έχουν επιθετική συμπεριφορά.

6. Αρχική τιμή υγρασίας που χάνεται ανά δευτερόλεπτο από τον κάθε ζωντανό οργανισμό.
7. Πιθανότητα τοις εκατό ένας προστάτης να σκοτώσει έναν κυνηγό στην περίπτωση σύγκρουσης κατά την οποία και οι δύο οργανισμοί έχουν επιθετική συμπεριφορά.
8. Αριθμός ενέργειας που ένας προστάτης κερδίζει όταν τραφεί μέσω ταΐσματος από έναν συλλέκτη στη περίπτωση σύγκρουσης κατά την οποία και οι δύο οργανισμοί έχουν.
9. Πιθανότητα τοις εκατό ένας συλλέκτης να σκοτώσει έναν προστάτη στην περίπτωση σύγκρουσης κατά την οποία και οι δύο οργανισμοί έχουν επιθετική συμπεριφορά.
10. Αριθμός ενέργειας που ένας κυνηγός κερδίζει όταν τραφεί αφού σκοτώσει έναν προστάτη.
11. Αριθμός ενέργειας που ένας κυνηγός κερδίζει όταν τραφεί αφού σκοτώσει έναν συλλέκτη.
12. Αριθμός ενέργειας που ένας προστάτης κερδίζει όταν τραφεί αφού σκοτώσει έναν κυνηγό.
13. Αριθμός ενέργειας που ένας προστάτης κερδίζει όταν τραφεί αφού σκοτώσει έναν συλλέκτη.
14. Αριθμός ενέργειας που ένας συλλέκτης κερδίζει όταν τραφεί αφού σκοτώσει έναν κυνηγό.
15. Αριθμός ενέργειας που ένας συλλέκτης κερδίζει όταν τραφεί αφού σκοτώσει έναν προστάτη.
16. Αριθμός ενέργειας που ένας συλλέκτης κερδίζει όταν τραφεί από ένα δέντρο στην περίπτωση σύγκρουσης.
17. Διάστημα μεταξύ κύκλων εξέλιξης σε δευτερόλεπτα.

Οι τρεις πρώτες επιλογές ορίζουν τους αρχικούς πληθυσμούς του κάθε είδους των οργανισμών. Για την μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης του οικοσυστήματος, συνίσταται η αρχικοποίηση των πληθυσμών σε παρόμοιες τιμές

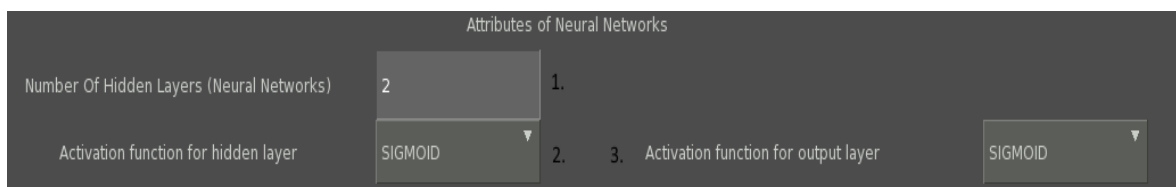
για να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ των τριών ειδών.

Οι επιλογές 5,7 και 9 θέτουν την ικανότητα του κάθε είδους να κερδίσει τη μάχη με κάποιο άλλο είδος. Μαζί με τις επιλογές 8,10,11,12,13,14,15 και 16 οι οποίες ορίζουν το κέρδος σε ενέργεια μετά από επιτυχία στη μάχη με άλλο είδος, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την μορφολογία της τροφικής αλυσίδας που διέπει το οικοσύστημα. Πρέπει να σημειωθεί πως η αρχικές τιμές ενέργειας και υγρασίας που είναι και τα ανώτερα όρια αυτών των παραμέτρων, δεν είναι τροποποιήσιμα από τον χρήστη και αρχικοποιούνται στην τιμή 50.

Οι επιλογές 4 και 6 ορίζουν μία σταθερή μείωση στην ενέργεια και την υγρασία αντίστοιχα που χάνει κάθε οργανισμός ανά δευτερόλεπτο. Μαζί με την επιλογή 17 για το διάστημα μεταξύ εξελικτικών κύκλων κατά των οποίων δημιουργούνται οι απόγονοι και προστίθενται στους πληθυσμούς, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τον έμμεσο βαθμό αύξησης των πληθυσμών. Αυτό το υποσύνολο επιλογών δηλαδή παρέχει ένα βασικό έλεγχο πληθυσμών ορίζοντας τη μέγιστη διάρκεια ζωής των οργανισμών. Επίσης ορίζοντας διαφορετικές τιμές ενέργειας και υγρασίας που χάνει ένας οργανισμός, ο χρήστης ελέγχει τις προτεραιότητες των οργανισμών ως προς το φαγητό ή το νερό.

2.1.2 Παράμετροι Νευρωνικών Δικτύων

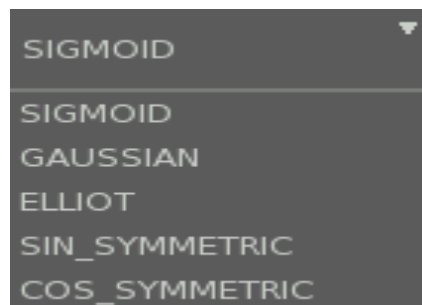
Η δεύτερη ομάδα παραμέτρων έχουν να κάνουν με τα νευρωνικά δίκτυα που δημιουργούν τους “εγκεφάλους” του κάθε οργανισμού. Στην εικόνα 3 φαίνονται αριθμημένες οι παράμετροι και στη συνέχεια θα αναλυθούν ξεχωριστά μαζί με τις διαφορετικές τιμές που μπορούν να πάρουν.



Σχήμα 3: Παράμετροι Νευρωνικών Δικτύων.

1. Αριθμός κρυφών στρωμάτων Νευρωνικού Δικτύου. Με αυτή την παράμετρο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει την πολυπλοκότητα των Νευρωνικών Δικτύων του κάθε οργανισμού. Όσο περισσότερα τα κρυφά στρώματα, τόσο περισσότεροι οι νευρώνες και οι συνάψεις μεταξύ τους.
2. Συνάρτηση ενεργοποίησης των κρυφών στρωμάτων.
3. Συνάρτηση ενεργοποίησης του στρώματος εξόδου.

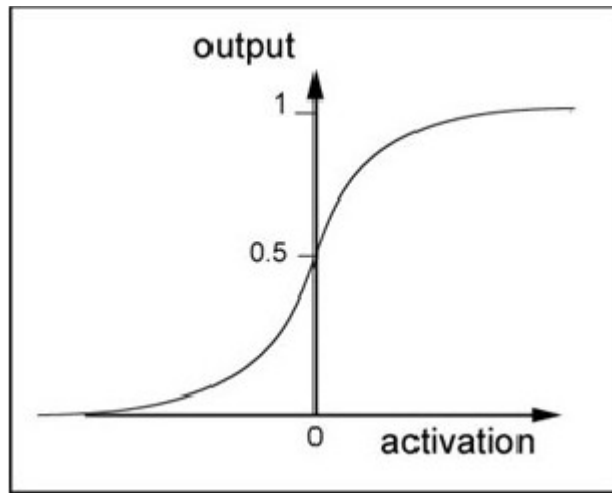
Οι παράμετροι 2 και 3 είναι drop-down είσοδοι και παρέχουν πέντε επιλογές για τον χρήστη όπως φαίνεται στο σχήμα 4.



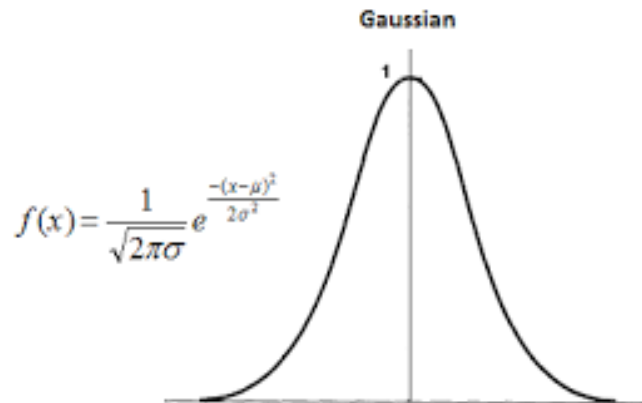
Σχήμα 4: Συναρτήσεις ενεργοποίησης.

Η κάθε συνάρτηση μπορεί να επηρεάσει τις συμπεριφορές των οργανισμών σε μεγάλο βαθμό όπως θα αναλυθεί στο Παράρτημα 2. Παρακάτω αναφέρονται οι συναρτήσεις και οι γραφικές τους παραστάσεις.

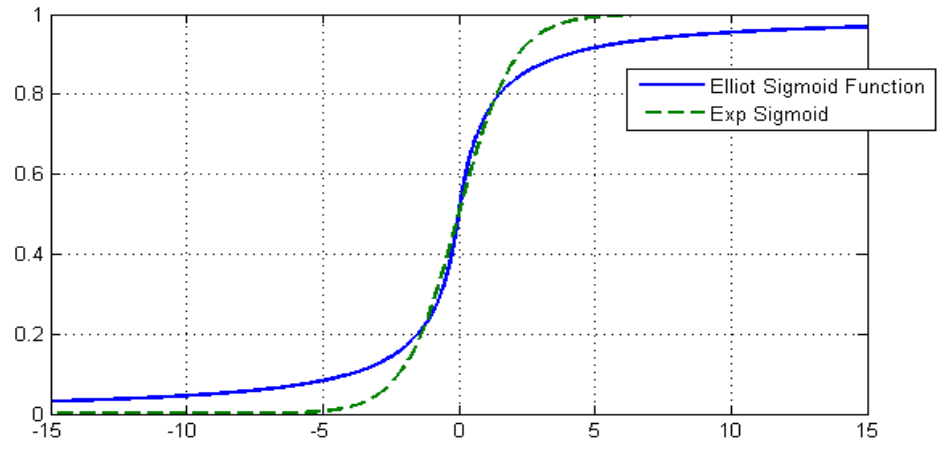
- Sigmoid



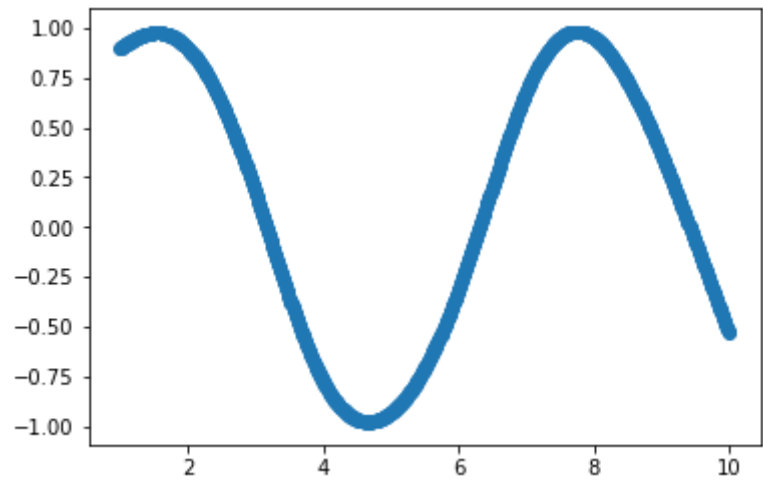
- Gaussian



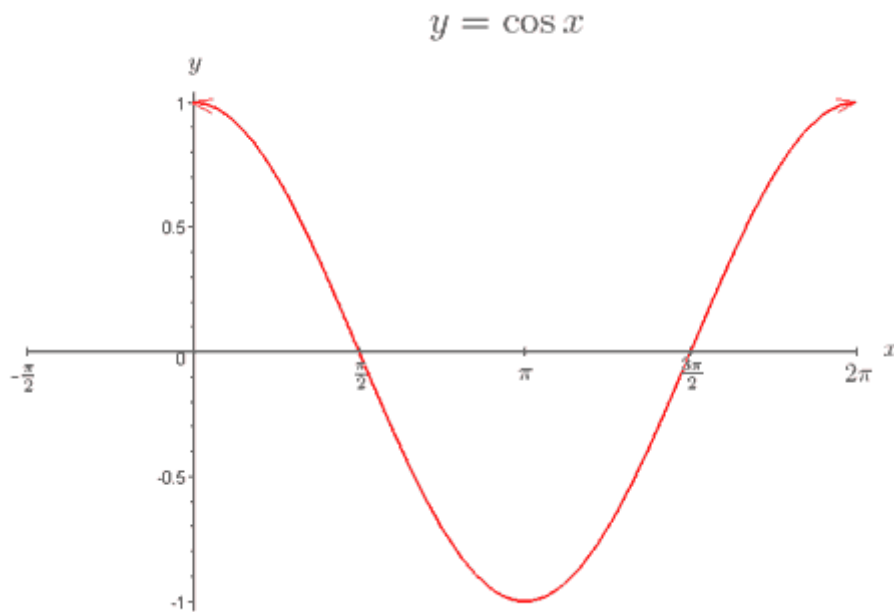
- Elliot



- Sin Symmetric

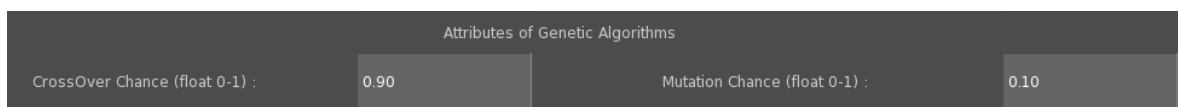


- Cos symmetric



2.1.3 Παράμετροι Εξελικτικών Αλγορίθμων

Για την παραμετροποίηση των εξελικτικών αλγορίθμων δίνονται στον χρήστη δύο επιλογές. Η πιθανότητα διασταύρωσης των γονιδίων και η πιθανότητα μετάλλαξης ενός γονιδίου κατά την περίοδο της δημιουργίας των καινούριων οργανισμών σε κάθε εξελικτικό κύκλο. Οι τιμές που μπορεί να δώσει ο χρήστης κυμαίνονται ανάμεσα στο 0 και στο 1.

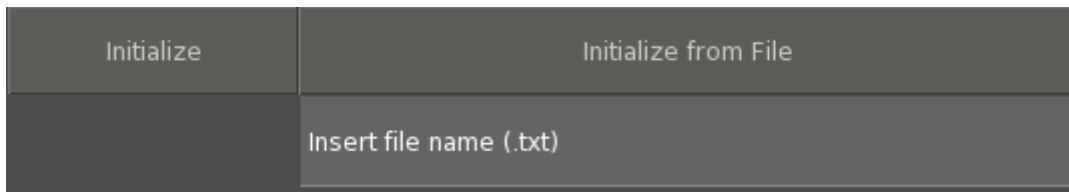


Σχήμα 5: Παράμετροι Εξελικτικών Αλγορίθμων.

2.1.4 Επιλογές Εκκίνησης

Το τελευταίο κομμάτι του παραθύρου αρχικοποίησης δίνει στον χρήστη την επιλογή να εκκινήσει την προσομοίωση είτε χρησιμοποιώντας τις τιμές παραμετροποίησης που έδωσε παραπάνω, είτε να χρησιμοποιήσει τις

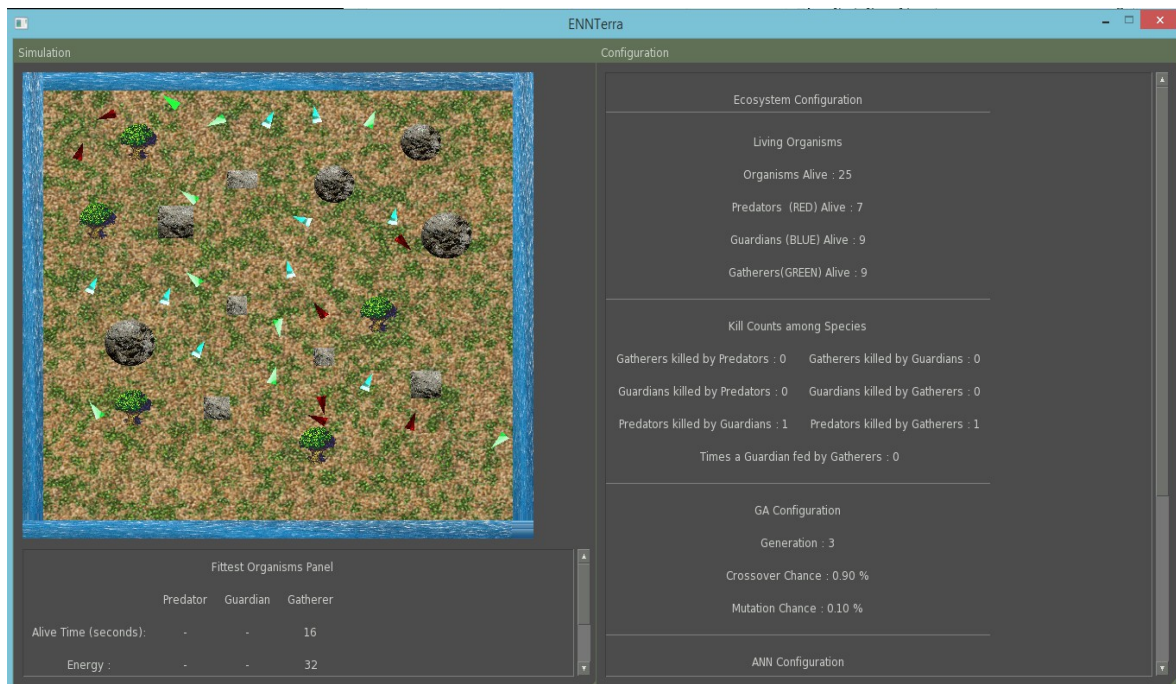
αποθηκευμένες τιμές από κάποιο αρχείο κειμένου.



Σχήμα 6: Επιλογές εκκίνησης.

2.2 Παράθυρο Προσομοίωσης

Μετά την επιλογή εκκίνησης της προσομοίωσης, το παράθυρο αρχικοποίησης κλείνει και στη θέση του ανοίγει το παράθυρο της προσομοίωσης που φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7: Παράθυρο προσομοίωσης.

2.2.1 Γραφική Αναπαράσταση Οικοσυστήματος

Στο αριστερό επάνω μέρος του παραθύρου βρίσκεται η γραφική αναπαράσταση του οικοσυστήματος το οποίο ενημερώνεται σε αληθινό χρόνο με τις κινήσεις των οργανισμών. Οι οργανισμοί του κάθε είδους έχουν διαφορετικό

χρώμα για να ξεχωρίζουν. Οι βράχοι και τα δέντρα έχουν συγκεκριμένο χρώμα ενώ μπορεί να εμφανιστούν σε διαφορετικά σχήματα. Τα μπλε παραλληλεπίπεδα στα όρια αντιπροσωπεύουν τα ποτάμια που περικλείουν το περιβάλλον.

2.2.2 Πάνελ Ικανότερων Οργανισμών

Στο κάτω μέρος της γραφικής αναπαράστασης υπάρχει ένα πάνελ με τα χαρακτηριστικά του ικανότερου οργανισμού από κάθε είδος. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- Ο χρόνος ζωής του οργανισμού μέχρι την αρχή του παρόντος κύκλου εξέλιξης.
- Η ενέργεια του οργανισμού.
- Η υγρασία του οργανισμού.
- Η πρόθεση του οργανισμού. Αυτή μπορεί να είναι είτε επιθετική (Kill) είτε παθητική (Neutral).

Το πάνελ ενημερώνεται στην αρχή κάθε εξελικτικού κύκλου. Ο ικανότερος οργανισμός μπορεί επίσης να παρατηρηθεί στην γραφική αναπαράσταση στην οποία έχει βαθύτερο χρώμα από τους οργανισμούς του ίδιου είδους.

2.2.3 Πληροφορίες Οικοσυστήματος

Στο επάνω δεξιό μέρος του παραθύρου προσομοίωσης υπάρχει το πάνελ με τις πληροφορίες του οικοσυστήματος. Οι πληροφορίες όπως φαίνονται στο σχήμα 8 ενημερώνονται κάθε φορά που ένας οργανισμός πεθαίνει.

Ecosystem Configuration
Living Organisms
Organisms Alive : 19
Predators (RED) Alive : 7
Guardians (BLUE) Alive : 7
Gatherers(GREEN) Alive : 5

Σχήμα 8: Πληροφορίες οικοσυστήματος.

2.2.4 Πάνελ μετρητών θανάτων

Κάτω από το πάνελ με τις πληροφορίες των ζωντανών οργανισμών του οικοσυστήματος υπάρχει το πάνελ με τους μετρητές για τους θανάτους που συνέβησαν από μάχες μεταξύ των διαφορετικών οργανισμών. Όπως φαίνεται στο σχήμα 9, εκτός αυτών υπάρχει και ένα μετρητής με τις φορές που κάποιος οργανισμού είδους Προστάτη δέχτηκε τροφή από κάποιον Συλλέκτη.

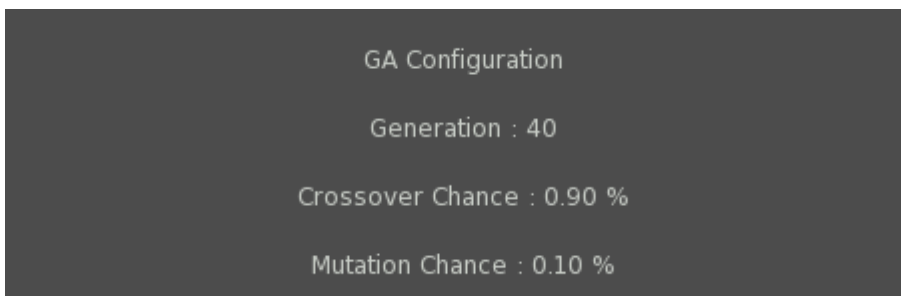
Kill Counts among Species	
Gatherers killed by Predators : 21	Gatherers killed by Guardians : 18
Guardians killed by Predators : 12	Guardians killed by Gatherers : 6
Predators killed by Guardians : 13	Predators killed by Gatherers : 4
Times a Guardian fed by Gatherers : 0	

Σχήμα 9: Πάνελ μετρητών θανάτων.

Με τη χρήση αυτού του πάνελ ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών ειδών του οικοσυστήματος.

2.2.5 Πάνελ Εξελικτικών Αλγορίθμων

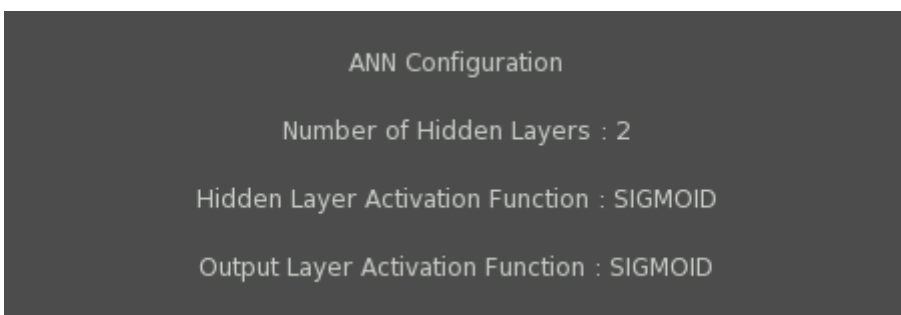
Αμέσως μετά το πάνελ των μετρητών θανάτων, ο χρήστης μπορεί να δει τις παραμέτρους που έθεσε για τους εξελικτικούς αλγορίθμους. Αυτοί περιλαμβάνουν τα ποσοστά πιθανότητας διασταύρωσης και μετάλλαξης αλλά και τον αριθμό του παρόντος εξελικτικού κύκλου όπως φαίνεται στο σχήμα 10.



Σχήμα 10: Πάνελ παραμέτρων Εξελικτικών Αλγορίθμων.

2.2.6 Πάνελ Νευρωνικών Δικτύων

Το πάνελ νευρωνικών δικτύων δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης αλλά υπενθυμίζει στον χρήστη τις επιλογές που έκανε σχετικά με τις παραμέτρους του νευρωνικών δικτύων. Τα είδη των συναρτήσεων ενεργοποίησης και τον αριθμό των κρυφών στρωμάτων δηλαδή.

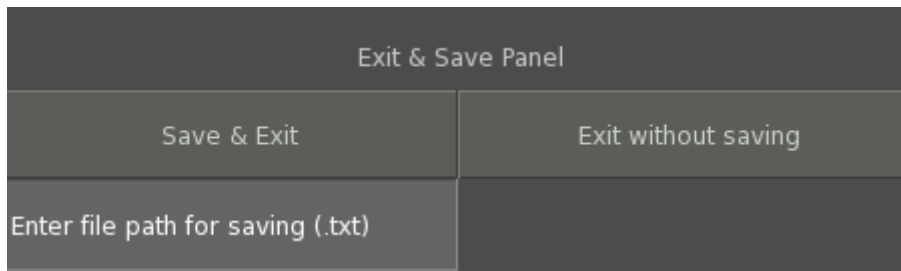


Σχήμα 11: Πάνελ Νευρωνικών Δικτύων.

2.2.7 Αποθήκευση και έξοδος

Το τελευταίο πάνελ του δεξιού κομματιού του παραθύρου προσομοίωσης δίνει στον χρήστη την επιλογή να τερματίσει την προσομοίωση είτε με αποθήκευση

είτε χωρίς όπως φαίνεται στο σχήμα 12.



Σχήμα 12: Πάνελ αποθήκευσης και τερματισμού.

Επιλέγοντας την αποθήκευση και τερματισμό, ο προσομοιωτής τερματίζει αφού πρώτα αποθηκεύσει τις παραμέτρους και τα νευρωνικά δίκτυα του κάθε ζωντανού οργανισμού στο αρχείο που θα δώσει ο χρήστης στο πεδίο εισόδου. Το αρχείο πρέπει να έχει κατάληξη.txt. Εάν ο χρήστης επιλέξει τον τερματισμό χωρίς αποθήκευση οι παράμετροι και τα νευρωνικά δίκτυα των οργανισμών στην παρούσα προσομοίωση θα χαθούν και ο προσομοιωτής απλώς θα τερματίσει.

Παράρτημα 2

Αποτελέσματα Προσομοιώσεων και Ανάλυση Οικοσυστήματος

Μέρος της παρούσας εργασίας, εκτός από την υλοποίηση του προσομοιωτή τεχνητών οικοσυστημάτων, είναι και η συλλογή μετρήσεων από παρατηρήσεις προσομοιώσεων με κύριο στόχο την έρευνα στον τομέα της κοινωνιολογίας και πιο συγκεκριμένα στα χαρακτηριστικά ενός οικοσυστήματος που επιτρέπουν την εμφάνιση σχέσεων συναγωνισμού αντί ανταγωνισμού σε ένα περιβάλλον περιορισμένων πόρων.

Στο παράρτημα 2 θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος, οι δυνατές παρεμβολές του χρήστη σε αυτό αλλά και τα αποτελέσματα από τα πειράματα που έγιναν από τον συγγραφέα.

1. Ανάλυση Οικοσυστήματος

Ο προσομοιωτής δε παρέχει ένα στατικό περιβάλλον πειραμάτων αλλά ένα δυναμικό σχήμα παραμέτρων και μεταβλητών χαρακτηριστικών περιβάλλοντος που συμβάλουν στη δημιουργία των συνθηκών κάτω από τις οποίες θα γίνουν οι παρατηρήσεις της κάθε συνεδρίας προσομοίωσης. Αρχικά πρέπει να αναφερθούν κάποια χαρακτηριστικά στα οποία ο χρήστης δεν μπορεί να παρέμβει ενώ στη συνέχεια θα αναλυθούν τα παραμετροποιήσιμα χαρακτηριστικά.

1.1 Καθιερωμένα χαρακτηριστικά οικοσυστήματος

Τα τρία είδη των οργανισμών (Συλλέκτες, Προστάτες και Κυνηγοί) που αποτελούν το οικοσύστημα του προσομοιωτή αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον σύμφωνα με κάποιους προκαθορισμένους μη παραμετροποιήσιμους κανόνες. Η αλληλεπίδραση κατά κύριο λόγο έχει την μορφή

της σύγκρουσης των σωμάτων και ανάλογα με τα συγκρουόμενα σώματα προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Στις συγκρούσεις μεταξύ διαφορετικών ειδών συμβαίνει μάχη και ο νικητής τρέφεται από τον χαμένο. Οι πιθανές αλληλεπιδράσεις αναφέρονται παρακάτω και αργότερα αναλύονται ξεχωριστά.

- Σύγκρουση Οργανισμού με Βράχο.
- Σύγκρουση Οργανισμού με Οργανισμό.
- Σύγκρουση Οργανισμού με Ποταμό.
- Σύγκρουση οργανισμού με Δέντρο.

Οι συγκρούσεις ενός οργανισμού με ένα στατικό αντικείμενο τύπου “βράχος” έχει πάντα την ίδια επίπτωση στον οργανισμό. Ένα μέρος της ενέργειάς του χάνετε κατά τη σύγκρουση, κάτι που ο χρήστης δε μπορεί να τροποποιήσει. Οι “Βράχοι” αποτελούν τα φυσικά εμπόδια του περιβάλλοντος και θεωρούνται ένα απόλυτο στοιχείο που οι οργανισμοί πρέπει να μάθουν να αποφεύγουν.

Οι συγκρούσεις μεταξύ των οργανισμών έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στους συμμετέχοντες ανάλογα με τα είδη των οργανισμών αλλά και με τη διάθεση του καθενός. Οι διαφορετικές περιπτώσεις εμφανίζονται αριθμημένα και αναλύονται παρακάτω.

1. Συγκρούσεις ίδιου είδους. Οι συγκρούσεις μεταξύ οργανισμών του ίδιου είδους δεν έχουν καμία επίπτωση στους συμμετέχοντες οργανισμούς παρά την άσκηση των ανάλογων δυνάμεων που ασκούνται στα σώματα που προσέκρουσαν μεταξύ τους.
2. Συγκρούσεις Συλλέκτη – Κυνηγού. Η επαφή μεταξύ δύο οργανισμών αυτών των ειδών κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία με τις επαφές Κυνηγών και Προστατών. Εάν και οι δύο οργανισμοί έχουν παθητική διάθεση ισχύει ο

κανόνας της περίπτωσης 1. Εάν ένας από τους δύο έχει παθητική ενώ ο άλλος επιθετική διάθεση τότε ο δεύτερος κερδίζει τη μάχη και καταναλώνει τον πρώτο οργανισμό. Σε περίπτωση που και οι δύο οργανισμοί έχουν επιθετική διάθεση, λαμβάνονται υπόψη οι πιθανότητες νίκη που έχει ορίσει ο χρήστης για τη μάχη μεταξύ των συγκεκριμένων ειδών.

3. Συγκρούσεις Συλλέκτη – Προστάτη. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των δύο ειδών είναι ιδιαίτερη. Στην περίπτωση που ο ένας ή και οι δύο οργανισμοί έχουν επιθετική διάθεση ισχύει ότι και στο 2. Μάχη λαμβάνει μέρος και ο νικητής καταναλώνει τον ηττημένο. Στην περίπτωση όμως που και οι δύο οργανισμοί έχουν παθητική διάθεση, ο Συλλέκτης ταΐζει τον Προστάτη. Το ποσό της ενέργειας που αναπληρώνει ο Προστάτης σε αυτή τη περίπτωση ελέγχεται από τον χρήστη.
4. Συγκρούσεις Προστάτη – Κυνηγού. Σε αυτή την περίπτωση ισχύει ότι και στο 2.

Ο κάθε οργανισμός ανεξαρτήτου είδους έχει ανάγκη από νερό για να επιβιώσει. Κάθε δευτερόλεπτο χάνει ένα ποσοστό υγρασίας και όταν αυτό εξαντληθεί εντελώς, ο οργανισμός πεθαίνει. Ο μόνος τρόπος για να αναπληρώσει το ποσοστό υγρασίας του είναι να έρθει σε επαφή με κάποιο από τα τέσσερα ποτάμια που βρίσκονται πάντα στο περίβλημα του χώρου. Κατά την επαφή με ποταμό ο οργανισμός αναπληρώνει στο 100% το ποσοστό υγρασίας και αυτός ο αριθμός δεν είναι παραμετροποιήσιμος από τον χρήστη.

Κατά την σύγκρουση με δέντρο, στους οργανισμοί που ανήκουν στα είδη Προστάτη ή Κυνηγού δεν υπάρχει καμία επίδραση παρά των δυνάμεων που ασκούνται στα σώματά τους. Στην περίπτωση που ο συγκρουόμενος οργανισμός είναι είδους Συλλέκτη, τότε, όπως προδίδει και το όνομα, ο οργανισμός τρέφεται από το φυτό αναπληρώνοντας όλη του την χαμένη ενέργεια.

1.2 Παραμετροποιήσιμα Χαρακτηριστικά

Όπως αρμόζει σε κάθε προσομοιωτή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ελέγξει πολλές από τις παραμέτρους που επηρεάζουν το οικοσύστημα και το περιβάλλον του πριν την έναρξη μίας συνεδρίας προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το παράθυρο αρχικοποίησης. Δίχως την ικανότητα να επηρεάσουμε τις παραμέτρους ενός συστήματος θα παίρναμε παρόμοια αποτελέσματα σε κάθε προσομοίωση, κάτι που αναιρεί την βασική αρχή του πειραματισμού.

Στον συγκεκριμένο προσομοιωτή τα κύρια χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν επηρεάζουν την αλληλεπίδραση των διάφορων ειδών οργανισμών μεταξύ τους αλλά και τον τρόπο που κάθε οργανισμός αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και παίρνει αποφάσεις. Στο Παράρτημα 1 αναφέρθηκαν ξεχωριστά οι παράμετροι στο παράθυρο αρχικοποίησης και στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί ο βαθμός στον οποίο αυτές οι αλλαγές μπορούν να επηρεάσουν το οικοσύστημα.

1.2.1 Τροποποίηση αλληλεπιδράσεων

Οι πρώτες παράμετροι στο παράθυρο αρχικοποίησης επηρεάζουν τον τρόπο που τα διαφορετικά είδη οργανισμών στο οικοσύστημα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Τέτοιες παράμετροι είναι οι αρχικοί αριθμοί των πληθυσμών του κάθε είδους, η ενέργεια που κερδίζει ένας οργανισμός μετά την επιτυχημένη κατανάλωση ενός οργανισμού άλλου είδους, οι πιθανότητες νίκης σε μάχη αλλά και το χρονικό διάστημα μεταξύ των εξελικτικών κύκλων.

- Αρχικοί αριθμοί πληθυσμών. Ως παράδειγμα, τροποποιώντας τους αρχικούς πληθυσμούς του κάθε είδους ο χρήστης μπορεί να δώσει στο οικοσύστημα τις απαραίτητες συνθήκες για να μετρήσει καταστάσεις υπερπληθυσμού ενός είδους και τις επιπτώσεις που θα είχε στα υπόλοιπα είδη του οικοσυστήματος. Με κάθε αλλαγή του αρχικού πληθυσμού, το οικοσύστημα μεταλλάσσεται ως προς την ισορροπία του.
- Πιθανότητες νίκης σε μάχη. Η βασική σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ των

ειδών είναι ανταγωνιστική. Οι κυνηγοί έχουν ως μοναδική πηγή ενέργειας την κατανάλωση οργανισμών των άλλων ειδών. Οι μάχες ως αποτέλεσμα είναι αναπόφευκτες. Τροποποιώντας τις πιθανότητες νίκης του κάθε είδους έναντι κάποιου άλλου, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να μεταβάλει την μορφή της τροφικής αλυσίδας.

- Κέρδος ενέργειας νίκης. Η ικανότητα ενός οργανισμού να επιβιώσει και να επιλεγεί από το σύστημα για να περάσει τα γονίδια του στην επόμενη γενιά καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τις αποφάσεις του. Η ανάδραση για αυτές τις αποφάσεις έχει τη μορφή της τιμωρίας ή επιβράβευσης σε ποσοστά ενέργειας που χάνει ή κερδίζει ο οργανισμός αντίστοιχα. Τροποποιώντας λοιπόν το ποσοστό ενέργειας που κερδίζει μετά από μία νίκη στη μάχη με ξένο οργανισμό, μπορούμε να θέσουμε κάποιους γενικούς κανόνες που διέπουν τη μορφή των συμπεριφορών που θέλουμε να αναπτυχθούν από κάθε είδος. Σε συνεργασία με την τροποποίηση των πιθανοτήτων νίκης, ο χρήστης μπορεί να βάλει στόχους για την πορεία της εξέλιξης του οικοσυστήματος.
- Χρονικό διάστημα μεταξύ εξελικτικών κύκλων. Επηρεάζοντας αυτή τη παράμετρο, ο χρήστης πρέπει να υπολογίσει πως οι οργανισμοί έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής χωρίς να τραφούν κάτι που είναι πολύ συνηθισμένο στις αρχικές γενεές. Θέτοντας ένα μεγάλο διάστημα μεταξύ των εξελικτικών κύκλων, το οικοσύστημα είναι καταδικασμένο να μην επιβιώσει. Αντίστοιχα θέτοντας πολύ μικρό διάστημα, οι πληθυσμοί θα αυξηθούν γρήγορα ενώ η επιλογή των γονέων θα έχει περιορισμένα αποτελέσματα λόγω έλλειψης δεδομένων για την ικανότητα του κάθε οργανισμού.

1.2.2 Τροποποίηση Νευρωνικών Δικτύων

Η δεύτερη ομάδα παραμέτρων στο παράθυρο αρχικοποίησης περιλαμβάνει τιμές που θα επηρεάσουν τα νευρωνικά δίκτυα των οργανισμών, τον τρόπο λήψης

αποφάσεων. Οι συναρτήσεις ενεργοποίησης των κρυφών στρωμάτων και του στρώματος εξόδου όπως επίσης και ο αριθμός των κρυφών στρωμάτων αποτελούν αυτές τις παραμέτρους.

Τροποποιώντας τον αριθμό των κρυφών στρωμάτων επηρεάζεται το σύνολο των νευρώνων και των συνάψεων του δικτύου. Ένας μεγάλος αριθμός θα επιφέρει μεγαλύτερες διάρκειες προτού εμφανιστούν μετρήσιμες συμπεριφορές στο οικοσύστημα ενώ μικρές τιμές θα μειώσουν την ικανότητα του κάθε οργανισμού να εμφανίσει πολύπλοκες συμπεριφορές.

Οι συναρτήσεις ενεργοποίησης αλλάζουν την εσωτερική λειτουργία του κάθε δικτύου με αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφορετικών αποτελεσμάτων και συμπεριφορών αλλά ταυτόχρονα επηρεάζουν και την χρονική καθυστέρηση μέχρι την εμφάνιση των μετρήσιμων συμπεριφορών. Κάποια μοντέλα μαθαίνουν γρηγορότερα από άλλα. Η εκτενής ανάλυση του κάθε είδους συνάρτησης ενεργοποίησης δεν είναι μέλος αυτής της εργασίας και ο χρήστης ενθαρρύνεται να πειραματιστεί με διαφορετικούς συνδυασμούς.

1.2.3 Παραμετροποίηση εξελικτικών αλγορίθμων

Τελευταία ομάδα παραμέτρων είναι οι μεταβλητές που επηρεάζουν τους εξελικτικούς αλγορίθμους. Η πιθανότητα της μετάλλαξης και η πιθανότητα του ανασυνδιασμού επιτρέπουν στον χρήστη να καθορίσει το ποσοστό της γενετικής πληροφορίας των γονέων που θα περαστεί στην επόμενη γενιά αλλά και τον τρόπο που αυτό θα δομηθεί χρησιμοποιώντας τα γονίδια του πατέρα και της μητέρας. Σενάρια όπως η εμφάνιση της ίδιας συμπεριφοράς σε όλους τους οργανισμούς ενός είδους και η διατήρησή της για πολλές γενιές μπορεί να αποφευχθεί με μεγαλύτερες τιμές του δείκτη μετάλλαξης.

2. Προβλεπόμενα αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν κάποια πιθανά σενάρια που μπορεί να

προκύψουν από τις προσομοιώσεις του χρήστη ανάλογα με τις τιμές που έχει θέσει στις παραμέτρους του συστήματος.

2.1 Συγκέντρωση κοντά στα ποτάμια

Όλοι οι οργανισμοί χάνουν κάθε δευτερόλεπτο ένα ποσό της υγρασίας τους ενώ ο μόνος τρόπος να την αναπληρώσουν είναι να έρθουν σε επαφή με ένα ποτάμι. Θέτοντας το ποσοστό της χαμένης υγρασίας ανά δευτερόλεπτο σε κάποια υψηλή τιμή, οι οργανισμοί θα αναγκαστούν να περιορίσουν τις κινήσεις τους κοντά στα τέσσερα ποτάμια που περιτριγυρίζουν το περιβάλλον για να αυξήσουν τον αριθμό επαφών με τα ποτάμια. Μία τέτοια καθολική συμπεριφορά θα έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή του χώρου γύρω από τα ποτάμια σε πεδίο μάχης ενώ αντίθετα ο κεντρικός χώρος θα είναι άδειος από οργανισμούς.

Στην αντίθετη περίπτωση που το ποσοστό υγρασίας που χάνετε ανά δευτερόλεπτο έχει χαμηλή τιμή, οι κινήσεις των οργανισμών θα έχουν μεγαλύτερη ποικιλία. Σε κάποιες περιπτώσεις θα εξαρτώνται κατά μεγάλο βαθμό από την τοποθέτηση των δέντρων στον χώρο τα οποία θα έλκουν τους συλλέκτες και αυτοί με τη σειρά τους τους κυνηγούς και τους προστάτες.

2.2 Αποφυγή βράχων

Κάθε οργανισμός, ανεξαρτήτου είδους, χάνει ένα ποσοστό ενέργειας κάθε φορά που συγκρούεται με βράχο. Με το πέρασμα των γενεών οι συγκρούσεις πρέπει σταδιακά να μειώνονται και σε ιδανικές περιπτώσεις να εξαλειφθούν στις μετέπειτα γενιές αφού είναι μία βλαβερή συμπεριφορά για το κάθε είδος του οικοσυστήματος.

2.3 Σχέσεις συλλεκτών – προστατών

Τα είδη των συλλεκτών και των προστατών έχουν μία ιδιαίτερη σχέση, τον βαθμό της οποίας ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τροποποιώντας την τιμή της

ενέργειας που κερδίζει ένας προστάτης κατά το τάισμά του από έναν συλλέκτη.

Έχοντας την τιμή της ενέργειας χαμηλή ενώ την τιμή ενέργειας από νίκη ενός προστάτη στη μάχη με συλλέκτη υψηλή, ο χρήστης είναι πολύ πιθανό να παρατηρήσει την επιθετική στάση των προστατών έναντι στους συλλέκτες και τον αριθμό των περιπτώσεων τάϊσματος πολύ χαμηλό.

Στην αντίθετη περίπτωση, έχοντας υψηλή τιμή ενέργειας κατά το τάισμα των προστατών και χαμηλή τιμή ενέργειας από την ανάλογη μάχη, είναι πιθανό να εμφανιστεί μία σχέση συναγωνισμού των δύο αυτών ειδών. Οι επαφές μεταξύ τους θα καταλήγουν τις περισσότερες φορές σε τάισμα εκτός των φορών που ο συλλέκτης έχει μεγάλη ανάγκη από ενέργεια ή οι πιθανότητες να κερδίσει την μάχη είναι πολύ μεγάλες (βλέπε κεφάλαιο 2.4) οπότε και θα επιλέγει να επιτεθεί στον προστάτη.

Στην περίπτωση συναγωνισμού μεταξύ των δύο αυτών ειδών, μπορεί να εμφανιστεί μία ακόμα συμπεριφορά προστασίας των συλλεκτών από τους προστάτες. Όταν ένας προστάτης αντιλαμβάνεται την ύπαρξη ενός συλλέκτη και ενός κυνηγού εντός του οπτικού του πεδίου, μπορεί να κινηθεί πρώτα επιθετικά εναντίων του κυνηγού και μετά παθητικά προς τον συλλέκτη. Αυτή η συμπεριφορά είναι αποτέλεσμα της εξέλιξης η οποία επιτρέπει την επιβίωση των προστατών που προστατεύουν τους συλλέκτες σε μεγαλύτερο βαθμό από τους προστάτες που επιτρέπουν στους κυνηγούς να φτάσουν στο θήραμά τους. Φυσικά η παραμετροποίηση της τιμής της πιθανότητας νίκης στη μάχη προστάτη – κυνηγού θα πρέπει να είναι υπέρ του προστάτη για να ενισχύσει την εξελικτική πορεία προς αυτή τη συμπεριφορά.

2.4 Κυριαρχία ενός είδους

Οι συλλέκτες, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη, μπορούν να τραφούν και από την επαφή τους με τα δέντρα. Αυτό τους δίνει ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε σχέση με τους προστάτες και τους κυνηγούς το οποίο ο χρήστης μπορεί να

ισορροπήσει δίνοντας στους συλλέκτες μικρή πιθανότητα επιβίωσης από μάχη με τα άλλα είδη. Στην περίπτωση που αυτό δε συμβεί, η πιθανότερη συμπεριφορά που μπορεί να αναπτυχθεί στο οικοσύστημα είναι η κυριαρχία του πληθυσμού των συλλεκτών. Σαν αποτέλεσμα αυτού οι προστάτες και οι κυνηγοί δε θα μπορούν να αντιμετωπίσουν τους συλλέκτες και θα στραφούν στην εύρεση τροφής μεταξύ τους ενώ ταυτόχρονα θα προσπαθούν να αποφύγουν τους συλλέκτες.

Οι κυνηγοί παρά την έλλειψη κάποιας ιδιαίτερης πηγής τροφής, μπορούν να κυριαρχήσουν εάν ο χρήστης επιλέξει να τους δώσει πολύ μεγάλη πιθανότητα επιβίωσης από μάχη με τα άλλα δύο είδη. Στην συγκεκριμένη αυτή περίπτωση το οικοσύστημα θα γκρεμιστεί αφού οι κυνηγοί έχουν την μεγαλύτερη ταχύτητα και η αποφυγή τους από τους προστάτες και τους συλλέκτες θα είναι πολύ δύσκολη.

Στην περίπτωση της ισχυροποίησης των προστατών από τον χρήστη, οι συμπεριφορές θα επηρεαστούν και από την τιμή ενέργειας που κερδίζει ένας προστάτης κατά το τάισμα. Εάν αυτή η τιμή είναι χαμηλότερη από την τιμή ενέργειας μετά από νίκη εναντίων συλλέκτη οι προστάτες δεν έχουν λόγο να επιχειρούν τάισμα από συλλέκτη οπότε και θα διατηρήσουν μία σταθερή επιθετική στάση απέναντι και στα δύο είδη. Λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητάς τους από τους συλλέκτες, είναι πολύ πιθανή η εξαφάνιση του είδους των συλλεκτών.

3. Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Τα πειράματα που έγιναν κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας είχαν σκοπό τον έλεγχο της ποιότητας του συστήματος αλλά και της έρευνας των σχέσεων ανάμεσα στα είδη του οικοσυστήματος. Μερικά από αυτά έγιναν με ακραίες τιμές στις παραμέτρους ενώ τα περισσότερα είχαν απώτερο σκοπό την ισορροπία του οικοσυστήματος και τη μεγαλύτερη δυνατή διάρκεια επιβίωσής του. Παρακάτω θα αναφερθούν κάποια από τα αποτελέσματα στα αρχικά στάδια και τέλος τα τελικά πειράματα με σκοπό την εύρεση των τύπων συναρτήσεων ενεργοποίησης που επιφέρουν την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του οικοσυστήματος.

3.1 Αρχικά στάδια προσομοιώσεων

Κατά τη διάρκεια ελέγχου του λογισμικού έγιναν πειράματα με μία πρώιμη σχεδίαση των νευρωνικών δικτύων όπου οι είσοδοι περιελάμβαναν όχι μόνο τα κοντινότερα αντικείμενα του χώρου αλλά και τον μέσο όρο αυτών κατά είδος. Η ιδέα πίσω από αυτή τη σχεδίαση ήταν η αντίληψη του συνόλου των αντικειμένων από κάθε οργανισμό για την επίτευξη περιπλοκότερων συμπεριφορών όπως ομαδικό κυνήγι.

Λόγω του πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων και νευρωνικών συνάψεων το εμφανέστερο αποτέλεσμα έδειξε πως παρά τον πολύ μεγάλο αριθμό εξελικτικών κύκλων, οι οργανισμοί ήταν ανίκανοι να εμφανίσουν οποιαδήποτε μετρήσιμη συμπεριφορά. Το τελικό σχέδιο των δικτύων προδίδει πως η αρχική αυτή σχεδίαση επαναπροσδιορίστηκε με σκοπό την μείωση του θορύβου και της περιπλοκότητας των δικτύων κάτι που ελαχιστοποίησε τον απαιτούμενο χρόνο εκτέλεσης της προσομοίωσης για την επιτυχή παρατήρηση συμπεριφορών και τη μετάδοσή τους στις επόμενες γενιές.

Αργότερα επιχειρήθηκε πείραμα χρησιμοποιώντας μεγάλη πιθανότητα μετάλλαξης στα γονίδια των παιδιών το οποίο απέδειξε πως καμία συμπεριφορά δεν είναι εφικτό να παρατηρηθεί σε δύο ή περισσότερες γενιές συνεχόμενα λόγω της μετάλλαξης των γονιδίων που παρέχουν την απαιτούμενη πληροφορία και τη μεταδίδουν από γενιά σε γενιά.

Μία ακόμη αποτυχημένη προσπάθεια προσομοίωσης ενός ισορροπημένου οικοσυστήματος στηρίχθηκε στην διάρκεια επιβίωσης ως το μόνο κριτήριο για την επιλογή των γονέων σε έναν εξελικτικό κύκλο. Ως αποτέλεσμα εμφανίστηκαν απαθείς συμπεριφορές ανάμεσα στα είδη των οργανισμών. Αν και ένα τέτοιο κριτήριο θα μπορούσε να θεωρηθεί αρκετό για ένα ώριμο οικοσύστημα, δεν παρέχει τον κατάλληλο βαθμό πληροφορίας ανάδρασης στους οργανισμούς κατά τα πρώιμα στάδια της εξέλιξης κατά τα οποία οι οργανισμοί έχουν τυχαία αρχικοποιημένα νευρωνικά δίκτυα. Για να επιλυθεί το πρόβλημα προστέθηκαν οι αριθμοί των φορών που ο οργανισμός τράφηκε και ήπια νερό ως κριτήρια στην

συνάρτηση επιλογής.

Για την έρευνα των συμπεριφορών που μπορούν να αναπτυχθούν σε ώριμα οικοσυστήματα χρησιμοποιήθηκε μικρό διάστημα εξελικτικών κύκλων για να επιτευχθεί μεγαλύτερο ποσοστό πιθανότητας της επιβίωσης του οικοσυστήματος. Αποτέλεσμα αυτού ήταν όντως η επίτευξη μεγάλων αριθμών γενεών σε προσομοιώσεις δεκάδων ορών χωρίς τον τερματισμό της λειτουργίας λόγω θανάτου κάποιου είδους, αλλά ταυτόχρονα έγινε εμφανείς και η αδυναμία ανάπτυξης παρατηρήσιμων συμπεριφορών ως αποτέλεσμα των πολύ μικρών χρόνων επιλογής των ικανότερων ατόμων σε κάθε εξελικτικό κύκλο. Οι οργανισμοί δε προλάβαιναν να πάρουν αρκετές αποφάσεις μέσα σε έναν εξελικτικό κύκλο και έτσι η επιλογή γινόταν με βάση ελλιπή δεδομένων.

3.2 Αποτελέσματα πειραμάτων στον τελικό προσομοιωτή

Αφού λύθηκαν τα παραπάνω θέματα αλλά και προβλήματα που δημιουργούσαν ασαφή αποτελέσματα, επιχειρήθηκε μίας σειρά πειραμάτων για την εύρεση της ικανότητας επιβίωσης του οικοσυστήματος για διάφορες τιμές των συναρτήσεων ενεργοποίησης αλλά και της μέγιστης ενέργειας και υγρασίας.

3.2.1 Σύγκριση συναρτήσεων ενεργοποίησης

Οι συναρτήσεις που δοκιμάστηκαν χρησιμοποιήθηκαν και στα κρυφά στρώματα αλλά και στο στρώμα εξόδου σε κάθε προσομοίωση. Ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 10 ώρες και πρέπει να σημειωθεί πως κάθε φορά που ένα είδος οργανισμών εξαφανιζόταν, η προσομοίωση τερμάτιζε και ξεκινούσε αμέσως από την αρχή. Οι τιμές των παραμέτρων για τις πιθανότητες νίκης των ειδών σε μάχη που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

1. Συλλέκτης - Προστάτης: 20% - 80%
2. Προστάτης – Κυνηγός: 50% - 50%

3. Κυνηγός – Συλλέκτης: 80% - 20%

Ο αρχικός πληθυσμός του κάθε είδους ήταν 5 ατόμων ενώ η ενέργεια / υγρασία που χάνεται ανά δευτερόλεπτο είχε την τιμή 1. Χρησιμοποιήθηκαν 2 κρυφά στρώματα με 10% πιθανότητα μετάλλαξης γονιδίων και 90% πιθανότητα ανασυνδιασμού. Στο διάγραμμα 1 παρακάτω φαίνονται οι μέγιστες γενιές που επιτεύχθηκαν με τη χρήση της κάθε συνάρτησης ενεργοποίησης στις ανάλογες τιμές μέγιστης ενέργειας και υγρασίας.

	Elliot	Linear Piece	Sigmoid	Sin
Ενέργεια / υγρασία: 40	500	400	500	300
Ενέργεια / υγρασία: 50	900	900	1100	500

Διάγραμμα 1: Μέγιστος αριθμός γενεών ανά συνάρτηση ενεργοποίησης.

Από το διάγραμμα 1 φαίνεται πως με μία βοήθεια από τον χρήστη ως προς τη μέγιστη ενέργεια και υγρασία των οργανισμών, η χρήση της sigmoid ως συνάρτηση ενεργοποίησης για τα κρυφά στρώματα αλλά και το στρώμα εξόδου μπορεί να οδηγήσει σε ευκολότερη επίτευξη ώριμων οικοσυστημάτων.

3.2.2 Παρατηρήσιμες συμπεριφορές οργανισμών

Συμπεριφορά ενός οργανισμού θεωρείται μία κίνηση που εμφανίστηκε σε κάποιον οργανισμό και μετά τη διαδικασία εξέλιξης, παρατηρήθηκε και σε απογόνους του. Στα πειράματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.2.1 εμφανίστηκαν κάποιες περιπτώσεις τέτοιων συμπεριφορών όπως θα αναλυθούν παρακάτω.

- Στις τελευταίες γενιές παρατηρήθηκε η συμπεριφορά της περιστροφικής κίνησης ελέγχου του περιβάλλοντος σε κάποιους οργανισμούς. Αυτό σημαίνει πως όταν ο οργανισμός δεν είχε κάποιο “ενδιαφέρον” ερέθισμα στο οπτικό του πεδίο έκανε μία περιστροφική κίνηση γύρο από τον εαυτό

του μέχρι να αντιληφθεί κάτι που θα τον έκανε να κινηθεί προς το μέρος του. Ο νευρώνας ταχύτητας δεν πυροδοτούσε σε αυτή την περίπτωση, η κίνηση δηλαδή ήταν καθαρά περιστροφική γύρω από τον άξονα του σώματος. Δυστυχώς τέτοιες περιπτώσεις ήταν σπάνιες, οι περισσότεροι οργανισμοί συνέχιζαν την περιστροφική τους κίνηση μέχρι τον θάνατό τους.

- Μία παρόμοια τακτική διεύρυνσης του οπτικού πεδίου που παρατηρήθηκε είναι οι συνεχείς κινήσεις μικρής απόκλισης προς τα αριστερά και δεξιά από την οριζόντια κίνηση του οργανισμού. Με αυτόν τον τρόπο ο οργανισμός αποκλίνει ελάχιστα από την πορεία του ενώ ταυτόχρονα αυξάνει το πεδίο του οπτικού του πεδίου.
- Ακόμη μία συμπεριφορά που παρατηρήθηκε είναι η πλήρης στασιμότητα ενός οργανισμού. Σε αυτή τη περίπτωση οι νευρώνες εξόδου ταχύτητας και αλλαγής πορείας του οργανισμού παρέμειναν αδρανείς μέχρι τον θάνατο του οργανισμού ή την είσοδο κάποιου άλλου οργανισμού στο οπτικό τους πεδίο που σε μερικές περιπτώσεις έκαναν τον πρώτο να κινηθεί.
- Η περιστροφική κίνηση που αναφέρθηκε πριν παρατηρήθηκε ξανά με μία μικρή διαφορά ως προς τον νευρώνα ταχύτητας. Εδώ η κίνηση ήταν πιο ομαλή και και ο νευρώνας ταχύτητας πυροδοτούσε συνεχώς σε σταθερή τιμή. Με αυτό τον τρόπο ο οργανισμός πετυχαίνει μεγιστοποίηση του οπτικού του πεδίου χωρίς να μένει στάσιμος στο ίδιο σημείο. Η κυκλική κίνηση που παρατηρήθηκε, είχε ως κέντρο ένα σημείο στο χώρο διάφορο από τον άξονα του οργανισμού.
- Ανεξάρτητα με την συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιήθηκε, σε καμία προσομοίωση δεν παρατηρήθηκε η αποφυγή των βράχων από τους οργανισμούς. Η ποσότητα της ενέργειας που χάνετε κατά την σύγκρουση με βράχο αυξάνεται σταθερά με το πέρασμα των γενεών. Παρά την αυξανόμενη απειλή των βράχων οι οργανισμοί παραμέλησαν εντελώς τον κίνδυνο. Πιθανότατα να χρειάζονται περισσότερες ώρες προσομοίωσης για να

εμφανιστούν οργανισμοί που αποφεύγουν τους βράχους και να καταφέρουν να επιλεγούν ως γονείς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διαμαντάρας, Κ. (2007) *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα*, Κλειδάριθμος
2. A Pohorille, D Deamer , 2002 ,*Artificial cells: prospects for biotechnology* ,Elsevier
3. Adami, 1998, *Introduction to Artificial Life*, pp.376,New York :Springer-Verlag
4. C.G. Langton, editor. *Artificial Life*, Addison-Wesley, Redwood City, California, 1989.
5. F. Streichert 2002, *Introduction to Evolutionary Algorithms*
6. Goldberg D. E.: “Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning“. Addison Wesley, 1989.
7. Holland J.: “Genetic Algorithms“, *Scientific American*, Pages: 44-50, July 1992.
8. J. Doyne Farmer , Alletta D’a. Belin 1992, *artificial life : the coming evolution* ,Addison-Wesley , santa fe pp.29
9. Kenneth O. Stanley, Risto Miikkulainen, *Evolving Neural Networks through Augmenting Topologies*, *Evolutionary Computation* Vol.10 Issue 2, 2002
- 10.M. A. Bedau. 2007. **Artificial life**. In M. Matthen and C. Stephens, eds., *Handbook of the Philosophy of Biology*, pp. 585-603. Amsterdam: Elsevier.

11. M. A. Bedau. 2007. **What is life?** In S. Sarkar and A. Plutynski, eds., *A Companion to the Philosophy of Biology*, pp. 455-471. New York: Blackwell.
12. McCulloch, W.S., Pitts, W.H.: A Logical Calculus of the Ideas Immanent in nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, 115–133 (1943)
13. **Neurokernel: An Open Scalable Software Framework for Emulation and Validation of Drosophila Brain Models on Multiple GPUs**, Lev E. Givon, Aurel A. Lazar, February 2014
14. ROBERT T. PENNOCK ,2007 , **LEARNING EVOLUTION AND THE NATURE OF SCIENCE USING EVOLUTIONARY COMPUTING AND ARTIFICIAL LIFE** , Michigan State University
15. Yaeger, L. S. 1994. Computational Genetics, Physiology, Metabolism, Neural Systems, Learning, Vision, and Behavior or PolyWorld: Life in a New Context. Langton, C. ed. *Proceedings of the Artificial Life III Conference*. 263-298. Addison-Wesley.