

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ κ' ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Pac-Man: Παραμετρική υλοποίηση του παιχνιδιού και
σχεδιασμός αυτόνομου πράκτορα-παίκτη*

Μάιος 2007

Καπουράκης Π. Κωνσταντίνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Λαγουδάκη Γ. Μιχαήλ για τις συμβουλές, την ενθάρρυνση και γενικότερα για την υποστήριξη που μου παρείχε από το ξεκίνημα της συγκεκριμένης συνεργασίας. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Χλιαουτάκη Άγγελο, ο οποίος μου συμπαραστάθηκε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στην όλη πορεία της εν λόγω διπλωματικής.

στο συγκάτοικό μου...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου πράκτορα-παίκτη του παιχνιδιού Pac-Man, καθώς και η παραμετρική υλοποίηση του ίδιου του παιχνιδιού. Πιο συγκεκριμένα, επινοήθηκε ένας αλγόριθμος, ο οποίος ευθύνεται για την κίνηση του κεντρικού ήρωα (pacman), έχοντας ως πληροφορία τη συνολική κατάσταση που επικρατεί οποιαδήποτε στιγμή μέσα στο λαβύρινθο. Η βασική ιδέα έγκειται στην ομοιόμορφη αναπαράσταση όλων των χαρακτηριστικών (κουκκίδες, δυναμωτικές κουκκίδες) και των χαρακτήρων (φαντάσματα, pacman) του παιχνιδιού με τη μορφή ενεργειών, οι οποίες διαχέονται κατά μήκος του λαβυρίνθου. Αυτή η προσομοιωμένη ενέργεια καθορίζει τα κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία λαμβάνεται η απόφαση της επόμενης κίνησης του πράκτορα. Ως αποτέλεσμα, ο αλγόριθμος λειτουργεί εξίσου καλά ανεξάρτητα από τη μορφολογία του λαβυρίνθου. Η παραμετρική υλοποίηση επιτρέπει στον εκάστοτε σχεδιαστή να διαμορφώσει εύκολα όλα τα χαρακτηριστικά του παιχνιδιού σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Το παιχνίδι, το γραφικό περιβάλλον και ο αλγόριθμος κίνησης του pacman υλοποιήθηκαν αποκλειστικά σε JAVA. Ο αλγόριθμος δοκιμάστηκε σε τρεις διαφορετικούς λαβυρίνθους και τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά, καθώς προσεγγίζουν τις επιδόσεις ενός σχετικά καλού ανθρώπινου χρήστη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. – ΤΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ (Pac-Man)	3
2.1 Ιστορική αναδρομή	3
2.2 Χαρακτηριστικά παιχνιδιού	5
2.2.1 Χαρακτηριστικά-Χαρακτήρες παιχνιδιού.....	5
2.2.2 Πίστες-Λαβύρινθοι	7
2.3 Κίνηση αντιπάλων	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	12
3.1 Κατηγοριοποίηση ερευνών	12
3.2 Από την σκοπιά του Pac-Man.....	12
3.2.1 Rule-based Approach.....	12
3.2.2 Soft Computing – Neural Network	14
3.3 Από τη σκοπιά των φαντασμάτων	16
3.3.1 Soft Computing – Neural Network & Genetic Algorithms	16
3.3.2 Neural Network & Genetic Algorithms	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	22
4.1 Σκοπός.....	22
4.2 Κεντρική ιδέα.....	22
4.3 Ανάλυση της προσέγγισης	24
4.3.1 Γράφος 16 κόμβων.....	27
4.3.2 Γράφος 312 κόμβων.....	33
4.3.3 Ψευδοκώδικας αλγορίθμου	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. – ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	53
5.1 Υλοποίηση	53
5.1.1 Υλοποίηση παιχνιδιού	55
5.1.2 Υλοποίηση αλγορίθμου	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	73
6.1 Αποτελέσματα πρώτου λαβυρίνθου (Level 1).....	73
6.2 Αποτελέσματα δεύτερου λαβυρίνθου (Level 2)	77
6.3 Αποτελέσματα τρίτου λαβυρίνθου (Level 3).....	79
6.4 Συνολικά αποτελέσματα όλων των λαβυρίνθων.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	86
7.1 Επίτευξη.....	86
7.2 Μελλοντική Δουλειά.....	87
7.3 Επίλογος.....	89
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	91
Α.1 Πίνακας ενεργειών φαντασμάτων.....	92
Α.2 Πίνακας ενεργειών χαρακτηριστικών	92

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Παιχνίδια του 1980. Αριστερά: Space Invaders, μέση: Defender, δεξιά: Asteroids	3
Εικόνα 2. Εμφανιζόμενα φρούτα στο παιχνίδι	7
Εικόνα 3. Πρώτος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού	8
Εικόνα 4. Δεύτερος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού	9
Εικόνα 5. Τρίτος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού	9
Εικόνα 6. Τέταρτος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού	10
Εικόνα 7. Απεικόνιση μονοπατιού (pattern), προς αποφυγή απώλειας ζωών	11
Εικόνα 8. Λαβύρινθος του παιχνιδιού, χωρισμένος σε αριθμημένα τμήματα	13
Εικόνα 9. Στιγμιότυπο του παιχνιδιού με αισθητές τις αλλαγές σε σχέση με το πρωτότυπο	18
Εικόνα 10. Παράδειγμα λίστας γειτνίασης. Αριστερά: γράφος τεσσάρων κόμβων, δεξιά: αναπαράσταση του γράφου σε λίστα γειτνίασης	24
Εικόνα 11. Περίπτωση μιας κουκκίδας χωρίς φαντάσματα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	28
Εικόνα 12. Περίπτωση αρχικής κατάστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	29
Εικόνα 13. Περίπτωση με κουκκίδες δεξιά και αριστερά και φάντασμα από κάτω. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	30
Εικόνα 14. Περίπτωση με κουκκίδες αριστερά, δεξιά και κάτω μαζί με φάντασμα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	31
Εικόνα 15. Περίπτωση μιας κουκκίδας με φάντασμα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	32
Εικόνα 16. Περίπτωση μιας κουκκίδας χωρίς φαντάσματα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	34
Εικόνα 17. Περίπτωση αρχικής κατάστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	35
Εικόνα 18. Καταμέτρηση μήκους (σε κόμβους) των μακρύτερων διαδρόμων της πρώτης πίστας	37

Εικόνα 19. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με ίση απόσταση από τον rasman και ενέργεια αντίστοιχη της απόστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου.....	38
Εικόνα 20. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με ίση απόσταση από τον rasman και ενέργεια μικρότερη από την αντίστοιχη της απόστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	39
Εικόνα 21. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με διαφορετικές αποστάσεις από τον rasman. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου	40
Εικόνα 22. Περιπτώσεις ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης ενός φαντάσματος από τον πράκτορα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά πάνω: απόσταση δύο κόμβων του φαντάσματος από τον rasman και δεξιά κάτω: απόσταση ενός κόμβου του φαντάσματος από τον rasman	41
Εικόνα 23. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με διαφορετικές αποστάσεις (9 και 2 κόμβοι). Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας.....	42
Εικόνα 24. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με διαφορετικές αποστάσεις (9 και 1 κόμβοι). Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας.....	42
Εικόνα 25. Περίπτωση δυναμωτικής κουκκίδας με αρνητική ενέργεια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας	45
Εικόνα 26. Περίπτωση δυναμωτικής κουκκίδας με θετική ενέργεια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας	46
Εικόνα 27. Περίπτωση μετά από κατανάλωση δυναμωτικής κουκκίδας Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας	47
Εικόνα 28. Περίπτωση με μηδενική ενέργεια στα σταυροδρόμια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας	48
Εικόνα 29. Περίπτωση με μικρή θετική ενέργεια στα σταυροδρόμια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας	49
Εικόνα 30. Περίπτωση φρούτου σε απόσταση δύο κόμβων με φάντασμα ενδιάμεσα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας.....	50
Εικόνα 31. Περίπτωση φρούτου σε απόσταση τριών κόμβων με φάντασμα ενδιάμεσα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας.....	50
Εικόνα 32. Ψευδοκώδικας του αλγορίθμου	52
Εικόνα 33. Παραμετροποίηση παιχνιδιού. Αριστερά: αρχείο εισόδου, δεξιά: παραγόμενο γραφικό περιβάλλον	55

Εικόνα 34. Περίπτωση ενεργοποίησης Policy. Αριστερά: στιγμιότυπου του παιχνιδιού μετά την ενεργοποίηση της παύσης, δεξιά: στιγμιότυπου του παιχνιδιού με απεικόνιση policy.....	72
Εικόνα 35. Στιγμιότυπο της πρώτη πίστας του παιχνιδιού	74
Εικόνα 36. Στιγμιότυπο της δεύτερης πίστας του παιχνιδιού.....	77
Εικόνα 37. Στιγμιότυπο της τρίτης πίστας του παιχνιδιού	80
Εικόνα 38. Ενδεχόμενη αλλαγή στα γραφικά του παιχνιδιού. Αριστερά: στιγμιότυπο της μέχρι τώρα εφαρμογής, δεξιά: μία ενδεχομένως νέα εμφάνιση του παιχνιδιού.....	88

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ζευγάρια απόστασης και ενέργειας.....	43
Πίνακας 2. Εξήγηση συμβόλων αρχείου κειμένου	56
Πίνακας 3. Περιγραφή της κίνησης των τεσσάρων φαντασμάτων	87

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Λαβύρινθος 16 κόμβων	27
Σχήμα 2. Λαβύρινθος 312 κόμβων	33
Σχήμα 3. Σχεδιάγραμμα σύνδεσης των κλάσεων	54

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Πρώτος λαβύρινθος: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)	75
Διάγραμμα 2. Πρώτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά).....	75
Διάγραμμα 3. Πρώτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι.....	76
Διάγραμμα 4. Δεύτερος λαβύρινθος: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)	78

Διάγραμμα 5. Δεύτερος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά).....	78
Διάγραμμα 6. Δεύτερος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι.....	79
Διάγραμμα 7. Τρίτος λαβύρινθος: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)	81
Διάγραμμα 8. Τρίτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά).....	81
Διάγραμμα 9. Τρίτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι.....	82
Διάγραμμα 10. Συνολικά αποτελέσματα: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά).....	83
Διάγραμμα 11. Συνολικά αποτελέσματα: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά).....	83
Διάγραμμα 12. Συνολικά αποτελέσματα: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι.....	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου πράκτορα-παίκτη του παιχνιδιού Pac-Man, καθώς και η παραμετρική υλοποίηση του ίδιου του παιχνιδιού. Πιο συγκεκριμένα, η επινόηση ενός αλγορίθμου, ο οποίος θα ευθύνεται για την κίνηση του κεντρικού ήρωα (pacman), έχοντας ως πληροφορία τη συνολική κατάσταση που επικρατεί οποιαδήποτε στιγμή μέσα στο λαβύρινθο. Η ιδέα πάνω στην οποία βασίστηκε εξ ολοκλήρου ο αλγόριθμος, έγκειται στην ομοιόμορφη αναπαράσταση όλων των χαρακτηριστικών (κουκκίδες, δυναμωτικές κουκκίδες) και των χαρακτήρων (φαντάσματα, pacman) του παιχνιδιού με τη μορφή ενεργειών, οι οποίες διαχέονται κατά μήκος του λαβυρίνθου και καθορίζουν τα κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία λαμβάνεται η απόφαση της επόμενης κίνησης του πράκτορα.

Στη συνέχεια του κειμένου, στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολουθεί μια μικρή ιστορική αναδρομή του παιχνιδιού, η οποία δεν θα μπορούσε να παραληφθεί, μιας και το εν λόγω παιχνίδι είναι από τα πιο δημοφιλή στην ιστορία των βίντεο-παιχνιδιών, σχεδόν τρεις δεκαετίες τώρα. Επίσης στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς όλα τα χαρακτηριστικά και οι χαρακτήρες του παιχνιδιού.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται όλες οι σχετικές έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν για το συγκεκριμένο παιχνίδι. Οι μελέτες αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη έχει τον ίδιο στόχο με την εν λόγω διπλωματική, δηλαδή το σχεδιασμό αυτόνομου πράκτορα-παίκτη, ενώ η δεύτερη ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή το σχεδιασμό “έξυπνων” αντιπάλων.

Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο στο οποίο περιγράφονται εκτενώς η ιδέα, οι παραδοχές καθώς επίσης και η ανάλυση του αλγορίθμου, ο οποίος όπως προαναφέρθηκε σχετίζεται με τη συνολική διάχυση αρνητικών και θετικών ενεργειών, μέσα σε λαβυρίνθους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση τόσο του αλγορίθμου, όσο και του παιχνιδιού. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε αποκλειστικά σε JAVA και για την ολοκλήρωσή της χρειάστηκαν συνολικά 24 κλάσεις (21 για την υλοποίηση του παιχνιδιού και 3 για τον αλγόριθμο). Από τη μεγάλη διαφορά του αριθμού των κλάσεων, γεννιούνται εύλογα ερωτήματα, στα οποία δίνει απαντήσεις ο παραμετρικός τρόπος με τον οποίο υλοποιήθηκε το παιχνίδι. Πιο συγκεκριμένα, το παιχνίδι έχει ως είσοδο ένα αρχείο κειμένου (*.txt), στο οποίο ο χρήστης μπορεί να περιγράψει οποιαδήποτε παραλλαγή

του παιχνιδιού θέλει. Από αυτό το αρχείο κειμένου διαμορφώνεται η αρχική κατάσταση του παιχνιδιού, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε γραφικό περιβάλλον.

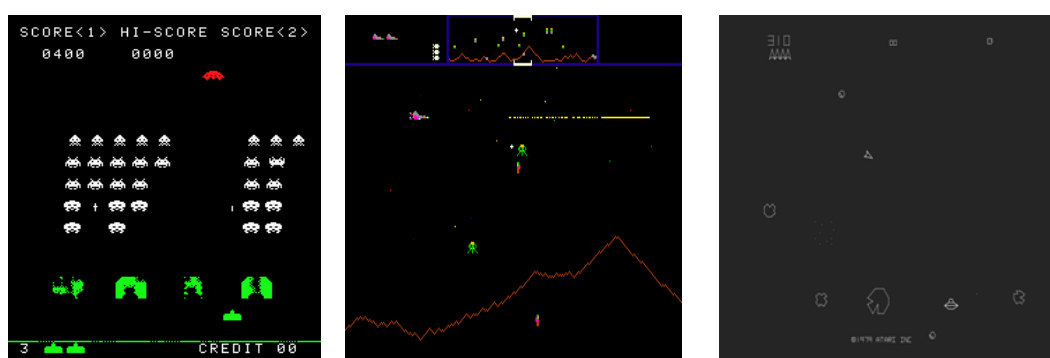
Στο έκτο κεφάλαιο, συνοψίζονται με τη μορφή διαγραμμάτων τα πειραματικά αποτελέσματα σε τρεις διαφορετικούς λαβυρίνθους. Τα διαγράμματα αυτά, πρόκειται να παρουσιάσουν την κατανάλωση κουκκίδων και φαντασμάτων ανά παιχνίδι, το πλήθος των λαβυρίνθων που κατάφερε ο πράκτορας να ολοκληρώσει, το πλήθος των βημάτων που χρειάστηκαν για να ολοκληρωθεί ένας λαβύρινθος, καθώς και τη συνολική βαθμολογία ανά παιχνίδι.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, καθώς επίσης και προτάσεις για μελλοντικές αλλαγές ή προσθήκες, με απώτερο σκοπό τη βελτίωση του αλγορίθμου, αλλά και γενικότερα του παιχνιδιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. – ΤΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ (Pac-Man)

2.1 Ιστορική αναδρομή

Pacman, το κλασικό δισδιάστατο παιχνίδι της Namco που πρωτοκυκλοφόρησε το 1980. Μια δημιουργία του Toru Iwatani που είναι ακόμα και σήμερα αρκετά δημοφιλής. Μέχρι την πρώτη του εμφάνιση υπήρχαν μόνο παιχνίδια όπως το Space Invaders, το Defender, καθώς και το Asteroids (Εικόνα 1), έχοντας ως κύριο χαρακτηριστικό ένα διαστημόπλοιο με τη βοήθεια του οποίου ο χρήστης προσπαθούσε να εξολοθρεύσει τους αντιπάλους του.




Εικόνα 1. Παιχνίδια του 1980. Αριστερά: Space Invaders, μέση: Defender, δεξιά: Asteroids

Από τις παραπάνω εικόνες γίνεται αντιληπτό, ότι και τα τρία παιχνίδια βασίζονται στο ίδιο μοτίβο. Παρουσιάζουν αρκετά φτωχό γραφικό περιβάλλον (δικαιολογημένο για την εποχή), αλλά κυρίως δίνουν την αίσθηση παιχνιδιών που μετά από κάποιο αριθμό επαναλήψεων αρχίζουν να χάνουν το ενδιαφέρον τους, με μοναδική ίσως εξαίρεση το Space Invaders.

Η ανάγκη για κάτι καινούριο λοιπόν, οδήγησε τα εργαστήρια της Namco με βασικό σχεδιαστή τον Toru Iwatani στην υλοποίηση ενός νέου παιχνιδιού, το γνωστό σε όλους PacMan.

Ο πρωτότυπος τίτλος του ήταν “*pakku-man*” από την Ιαπωνική φράση “*paku-paku taberu*”, όπου το *paku-paku* περιγράφει τον ήχο που κάνει το στόμα όταν ανοίγει διάπλατα και κλείνει αμέσως μετά, ενώ το *taberu* είναι το Ιαπωνικό ρήμα αντίστοιχο του “τρώω”. Φημολογείται, ότι το σχέδιο του κεντρικού ήρωα (pac-man), προήλθε από το σχήμα μιας πίτσας με ένα κομμάτι λιγότερο, γεγονός με το οποίο ο σχεδιαστής συμφωνεί κατά το ήμισυ, αφού όπως ισχυρίζεται και ο ίδιος, το τελικό σχήμα προέκυψε

από την προσπάθεια της απλοποίησης και στρογγυλοποίησης του ιαπωνικού χαρακτήρα, με τον οποίο γράφεται η λέξη “στόμα” (kouchi = ).

Τελικά, αφού προστέθηκε και ο λαβύρινθος, το παιχνίδι πρωτοεμφανίστηκε στην αγορά της Ιαπωνίας το 1979 με τίτλο PUCK-MAN και έλαβε αρχικά πολύ μικρή ανταπόκριση από τους νεαρούς της εποχής, μιας και τα παιχνίδια που προαναφέρθηκαν μονοπωλούσαν μέχρι τότε το ενδιαφέρον τους.

Παρόλα αυτά, ένα χρόνο αργότερα, η Αμερικανική παιχνιδο-βιομηχανία και πιο συγκεκριμένα η εταιρεία Midway αγοράζει το παιχνίδι και το λανσάρει στην αγορά αλλάζοντας το όνομα (για ευνόητους λόγους) με το νέο (και πλέον επικρατέστερο) όνομα Pac-Man. Η νέα έκδοση παρουσιάζει βασικές αλλαγές σε σχέση με την πρωτότυπη αφού αυτή χαρακτηρίζεται ως ασύμφορη για μαζική παραγωγή, αλλά και ως ιδιαίτερα “σικάτη” για την αμερικανική αγορά. Έτσι ο pacman από λευκός με σύνθετα πολύχρωμα σχέδια, γίνεται κίτρινος με απλό σχήμα και κυρίως με χαρούμενο και ευδιάθετο ύφος. Το αμερικανικό κοινό ανταποκρίνεται θερμά και το παιχνίδι αρχίζει να κάνει πωλήσεις που τα νούμερά τους εντυπωσίαζαν ακόμα και τον ίδιο τον Iwatani. Ο pacman σπάει τα κατεστημένα που είχαν δημιουργήσει τα μέχρι τότε παιχνίδια, γίνεται πολύ γρήγορα παγκόσμιο φαινόμενο στη βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών και εδραιώνεται σ’ αυτήν δημιουργώντας μια νέα γκάμα παιχνιδιών, η οποία άρχισε να γοητεύει πλέον και τα δύο φύλα.

Το απaráμιλλο ύφος, αλλά και το γνήσιο σχέδιο του Pac-Man υποκινεί τους τότε σχεδιαστές αλλά και εκδότες παιχνιδιών να γίνουν περισσότερο καινοτόμοι και λιγότερο συντηρητικοί ή παραδοσιακοί, υιοθετώντας τη νέα χιουμοριστική νότα που πρώτο παρουσίασε το εν λόγω παιχνίδι. Έτσι, εμφανίζονται κι άλλες παραλλαγές, αλλά και καινούρια παιχνίδια, όπως το Donkey Kong, το Frogger, το Q*Bert, κ.α.

Στις μέρες μας έχουν καταγραφεί πάνω από 30 επίσημες επανεκδόσεις και σίγουρα ακόμα περισσότερες ανεπίσημες, με πολλές αλλαγές όσον αφορά τους λαβυρίνθους, αλλά πάντα με σεβασμό στη “φιγούρα” του κεντρικού ήρωα.

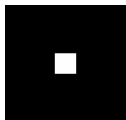
Το Pac-Man χαρακτηρίστηκε ως ορόσημο στην ιστορία των βιντεοπαιχνιδιών αφού ήταν, αλλά και είναι ακόμη, ψηλά στη λίστα των πιο φημισμένων παιχνιδιών όλων των εποχών.

2.2 Χαρακτηριστικά παιχνιδιού

Η πιο γνώστη από τις παραλλαγές που ακολούθησαν το πρωτότυπο παιχνίδι (Pac-Man), ήταν αυτή του Ms. Pac-Man που κυκλοφόρησε το 1981 από την ίδια εταιρεία (Midway) και είναι αυτή πάνω στην οποία βασίζεται η συγκεκριμένη μελέτη. Και στις δύο εκδόσεις, ο σκοπός είναι ο ίδιος. Πριν όμως αναλυθεί ο σκοπός, θα ήταν καλό να προηγηθεί μια εξοικείωση με τους ήρωες, καθώς και με τα χαρακτηριστικά του παιχνιδιού.

2.2.1 Χαρακτηριστικά-Χαρακτήρες παιχνιδιού

Χαρακτηριστικά



Κουκκίδα (dot). Είναι διεσπαρμένες κατά μήκος των διαδρόμων και αποτελούν τον κύριο στόχο του pacman. Μόνο αν καταναλωθούν όλες, ολοκληρώνεται μια πίστα.



“Δυναμωτική” κουκκίδα (power dot). Είναι περιορισμένες στον αριθμό, συνήθως τέσσερις σε κάθε λαβύρινθο και σχεδόν πάντα τοποθετημένες στις γωνίες του λαβυρίνθου. Αν καταναλωθεί, τα φαντάσματα υπεισέρχονται σε μια τρωτή κατάσταση και είναι πλέον ακίνδυνα για τον pacman.

Χαρακτήρες



Τα λόγια είναι περιττά!



Shadow (blinky). Το κόκκινο φάντασμα λέγεται έτσι γιατί εκ των πραγμάτων γίνεται η σκιά του pacman. Είναι αυτό που κινείται υπολογίζοντας το πιο σύντομο μονοπάτι (shortest path) προς τον pacman.



Speedy (pinky). Λιγότερο ικανό από το κόκκινο, αλλά εξίσου καλό στο να εντοπίζει το πλησιέστερο σημείο στο οποίο θα κινηθεί ο pacman.



Bashful (Inky). Το όνομά του δεν είναι τυχαίο, μιας και σε πολλές από τις μέτωπο προς μέτωπο συναντήσεις του με τον pacman, μπορεί αναπάντεχα τελείως να αλλάξει κατεύθυνση.



Clyde (Sue). Ίσως το φάντασμα του οποίου η κίνηση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ακόμη και τυχαία. Δύσκολα θα συνεργαστεί με τα υπόλοιπα, γιατί συνήθως περιφέρεται άσκοπα στο λαβύρινθο.



Scared Ghosts. Αν ο pacman καταναλώσει μια “δυναμωτική” κουκκίδα, τότε τα φαντάσματα μεταβαίνουν σε μια τρωτή κατάσταση (scared) και γίνονται όλα μπλε για ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Όσο ανεβαίνει το επίπεδο δυσκολίας, τόσο πιο σύντομο και το εν λόγω διάστημα.


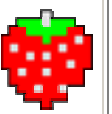



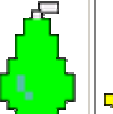
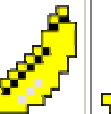
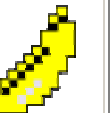
Επιστρέφοντας λοιπόν στο σκοπό του παιχνιδιού, θα λέγαμε με μια φράση:

καταναλώνω κουκκίδες και αποφεύγω οποιαδήποτε επαφή με τα φαντάσματα εάν αυτά δεν είναι σε κατάσταση scared.

Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης καλείται να οδηγήσει επιδέξια τον βασικό ήρωα (Pac-man) διαμέσου ενός λαβυρίνθου καταναλώνοντας παράλληλα “κουκκίδες” (dots), 220 στον αριθμό, οι οποίες είναι διάσπαρτες σε όλους τους διαδρόμους του και κάθε μια αξίζει 10 πόντους. Η πίστα έχει ολοκληρωθεί, όταν όλες οι κουκκίδες έχουν “φαγωθεί”. Στην προσπάθεια αυτή, ο pacman γίνεται στόχος των φαντασμάτων που τον κυνηγούν κατά μήκος ολόκληρου του λαβυρίνθου, βγαίνοντας διαδοχικά από τη “φωλιά” τους, η οποία είναι τοποθετημένη στο κέντρο της εκάστοτε πίστας και δεν είναι προσπελάσιμη από τον pacman (βλ. Εικόνες 3-6).

Ο χρήστης ξεκινάει με τρεις ζωές που μειώνονται κάθε φορά που ένα φάντασμα καταφέρνει να συλλάβει τον pacman (δηλαδή όταν έρχονται σε επαφή). Ωστόσο, υπάρχουν σε κάθε πίστα και τέσσερις “δυναμωτικές” κουκκίδες (power dots) αξίας 50 πόντων η καθεμιά, οι οποίες αφού καταναλωθούν, οι κανόνες του παιχνιδιού αλλάζουν, μετατρέποντας τον pacman σε κυνηγό και τα φαντάσματα σε θηράματα. Βέβαια, η κατάσταση αυτή δεν είναι μόνιμη, κάτι που είναι λογικό γιατί έτσι το παιχνίδι θα ήταν πολύ εύκολο, αλλά διαρκεί ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα –που μειώνεται ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας- μέσα στο οποίο η σύλληψη ενός φαντάσματος αξίζει 200 πόντους και κάθε επόμενου το διπλάσιο. Δηλαδή, μια πλήρως επιτυχής κατανάλωση μιας τέτοιας κουκκίδας που επιφέρει τη σύλληψη και των τεσσάρων φαντασμάτων, έχει συνολική αξία 3050 βαθμούς με 50 πόντους για την “δυναμωτική”

κουκκίδα (power dot), 200 πόντους για το πρώτο φάντασμα, 400 πόντους για το δεύτερο, 800 πόντους για το τρίτο και 1600 για το τέταρτο. Επιπρόσθετα, με το πέρασμα του χρόνου, εμφανίζονται περιοδικά διάφορα είδη φρούτων, των οποίων η αξία κυμαίνεται από 100 μέχρι κάποιες χιλιάδες πόντους, ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας της πίστας (βλ. Εικόνα 2).

Bonus								
Stage	1	2	3	4	5	6	7-9	10-13
Points	100	200	500	700	1000	2000	5000	5000
Maze	Pink	Pink	Lt. Blue	Lt. Blue	Lt. Blue	Orange	Orange	Dark Blue

Εικόνα 2. Εμφανιζόμενα φρούτα στο παιχνίδι

2.2.2 Πίστες-Λαβύρινθοι

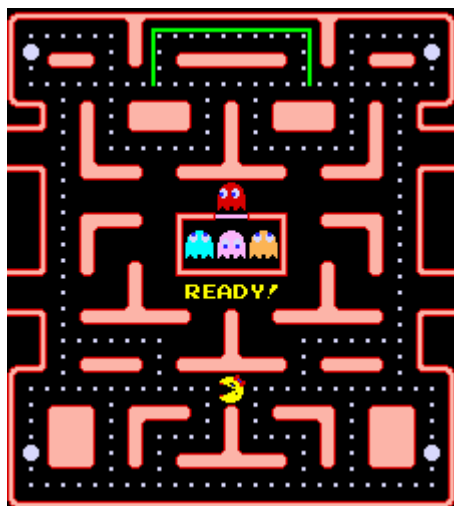
Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί λαβύρινθοι στη γνήσια έκδοση, τόσο στη μορφολογία, όσο και στο βαθμό δυσκολίας τους. Αυτό που καθορίζει το βαθμό δυσκολίας μιας πίστας είναι συνδυασμός πολλών παραγόντων που περιγράφονται παρακάτω:

1. Πρώτος παράγοντας είναι το μέγιστο μήκος των διαδρόμων, δηλαδή όσο πιο μεγάλος είναι ένας διάδρομος ο οποίος περιέχει κουκκίδες, τόσο πιο επικίνδυνη είναι η κατανάλωση τους μέσα σε αυτόν. Αυτό συμβαίνει γιατί σε ένα μακρύ διάδρομο είναι πιο εύκολο να παγιδευτεί ο pacman και έτσι να χάσει μια ζωή.
2. Δεύτερον, σε όλες τις πίστες υπάρχουν “τούνελ” τα οποία καθιστούν εφικτή τη μεταφορά του pacman από τη μία πλευρά της οθόνης στην αντίθετη. Τα τούνελ είναι πολύ χρήσιμα σε περίπτωση που υπάρχουν στη γύρω περιοχή φαντάσματα και όλα δείχνουν ότι η κατάσταση θα οδηγήσει σε σίγουρη απώλεια ζωής, οπότε σε περίπτωση που απουσιάζουν, ο λαβύρινθος χαρακτηρίζεται δυσκολότερος. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποια από τα φαντάσματα δεν είναι ικανά να διασχίσουν τα τούνελ, έτσι ώστε αν τελικά ο pacman τα αποφύγει και περάσει από την άλλη μεριά της πίστας, θα αυξήσει αρκετά την μεταξύ τους απόσταση.

3. Τρίτος σχετικός παράγοντας είναι ο αριθμός των σταυροδρομιών. Ο pacman μπορεί να μπει σε ένα σταυροδρόμι πιο γρήγορα από τα φαντάσματα. Το γεγονός αυτό του επιτρέπει να τα αποφεύγει, αρκεί να ακολουθεί τη λεγόμενη κίνηση “ζικ-ζακ”. Έτσι όσο περισσότερα σταυροδρόμια, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα να γλυτώσει από μια απώλεια ζωής.
4. Τέταρτος και πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η ταχύτητα των φαντασμάτων η οποία αυξάνεται όσο ο pacman ολοκληρώνει τις πίστες. Δηλαδή με το ξεκίνημα του παιχνιδιού, τα φαντάσματα κινούνται σχετικά αργά, ενώ μετά από τις 2-3 πρώτες επαναλήψεις η διαφορά στην ταχύτητά τους αρχίζει και γίνεται πλέον αισθητή.
5. Πέμπτος παράγοντας, οι “δυναμωτικές” κουκκίδες (power dots), οι οποίες είναι τοποθετημένες στις γωνίες των λαβυρίνθων, δηλαδή, οπουδήποτε μέσα σε διαδρόμους. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν πρέπει κανείς να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός γιατί αν τις καταναλώσει και έπειτα αρχίσει να κυνηγάει τα φαντάσματα, θα αφήσει τις κουκκίδες στους διαδρόμους και έτσι η συγκεκριμένη περιοχή θα είναι πλέον αρκετά επικίνδυνη.

Όλοι οι προαναφερθέντες παράγοντες θα γίνουν αρκετά πιο κατανοητοί με την βοήθεια των εικόνων, αλλά και τις επεξηγήσεις των λαβυρίνθων που ακολουθούν.

Ο ροζ λαβύρινθος (Εικόνα 3) είναι ο πρώτος που συναντάει κανείς ξεκινώντας το παιχνίδι. Πρέπει να ολοκληρώσει κανείς δύο φορές το συγκεκριμένο λαβύρινθο,



Εικόνα 3. Πρώτος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού

προκειμένου το παιχνίδι να συνεχίσει στον επόμενο.

Στη πίστα αυτή υπάρχουν δύο σετ από τούνελ, τα οποία μάλιστα ισαπέχουν από το κέντρο του λαβυρίνθου.

Εδώ το πιο επικίνδυνο σημείο είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος διάδρομος στο επάνω μέρος της οθόνης (πράσινη γραμμή) και έτσι ο ασφαλέστερος τρόπος για να καταναλώσει κανείς

τις κουκκίδες που υπάρχουν σε αυτόν, είναι ή να περιμένει τουλάχιστον τρία από τα φαντάσματα να

βρίσκονται στο κάτω μέρος της πίστας, ή να μπει σ' αυτόν αφού πρώτα καταναλώσει μια “δυναμωτική” κουκκίδα (power dot) και τα φαντάσματα γίνουν μπλε.

Ο γαλάζιος λαβύρινθος (Εικόνα 4) είναι ο δεύτερος σε σειρά. Αυτόν πρέπει να τον ολοκληρώσει κανείς τρεις φορές για να περάσει στον επόμενο.

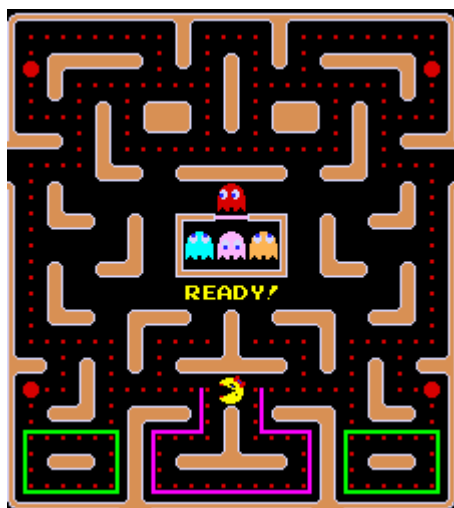
Όπως και στην προηγούμενη πίστα, έτσι και σ' αυτήν υπάρχουν πάλι δύο σεί από τούνελ. Εδώ όμως τα ζευγάρια δεν ισαπέχουν από το κέντρο της οθόνης, αλλά το πρώτο βρίσκεται στο πάνω μέρος του λαβυρίνθου, ενώ το άλλο ελάχιστα πιο πάνω από τον πάτο της πίστας.

Πλέον οι επικίνδυνοι διάδρομοι δεν είναι ένας όπως πριν, αλλά τέσσερις (πράσινες γραμμές).

Οι δύο βρίσκονται πάνω από τη φωλιά των φαντασμάτων, δηλαδή πάνω και κάτω από το (T) που σχηματίζεται από τα τοιχώματα, ο τρίτος στην αριστερή πλευρά της οθόνης ακριβώς πάνω από το αριστερό τούνελ, και ο τέταρτος και τελευταίος στην αντίθετη πλευρά, δηλαδή πάνω από το δεξιά κάτω τούνελ.



Εικόνα 4. Δεύτερος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού



Εικόνα 5. Τρίτος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού

Ο πορτοκαλί (Εικόνα 5) λαβύρινθος είναι ο τρίτος σε σειρά. Θα πρέπει να ολοκληρώσει κανείς τέσσερις φορές το συγκεκριμένο λαβύρινθο για να περάσει στον επόμενο. Ανόμοια με τους υπόλοιπους, αυτός έχει μόνο ένα ζεύγος από τούνελ, γεγονός που τον καθιστά ιδιαίτερα δύσκολο. Όπως γίνεται αντιληπτό και από την εικόνα, υπάρχουν περιοχές με διαφορετική επικινδυνότητα όσον αφορά την προσπέλασή τους.

Έτσι, ο διάδρομος στο κέντρο του κάτω μέρους της πίστας (μωβ γραμμή) παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία και καλό θα ήταν οι κουκκίδες που υπάρχουν σε αυτόν να καταναλωθούν με το ξεκίνημα της πίστας, ή μετά από μια κατανάλωση δυναμωτικής κουκκίδας (κατάσταση scared). Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες δύο περιοχές που είναι και συμμετρικές (πράσινες γραμμές). Μπορεί να φαίνονται πιο εύκολα προσβάσιμες από

την πρώτη, αλλά αν δεν καθαριστούν από τις κουκκίδες μετά από την κατανάλωση των δυναμωτικών κουκκίδων που υπάρχουν στην γειτονική περιοχή, θα αποτελέσουν στη συνέχεια σημεία “παγίδες” για τον pacman.

Τέταρτος και τελευταίος λαβύρινθος του παιχνιδιού είναι ο “σκούρος μπλε” (Εικόνα 6). Και εδώ είναι απαραίτητες τέσσερις επαναλήψεις ούτως ώστε να περάσει κανείς στον επόμενο λαβύρινθο που δεν είναι άλλος από τον πρώτο (ροζ), αλλά με διαφορετική ταχύτητα στα φαντάσματα.

Η ιδιαιτερότητα αυτής της πίστας βρίσκεται στα τούνελ που μπορεί να είναι δύο σετ, αλλά το ένα είναι ακριβώς πάνω από το άλλο. Οι στροφές που υπάρχουν στις εισόδους τους αλλάζουν την



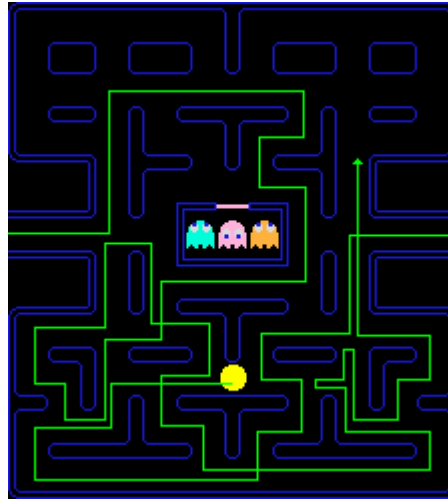
Εικόνα 6. Τέταρτος λαβύρινθος του γνήσιου παιχνιδιού

συνηθισμένη άμεση πρόσβαση στα τούνελ και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν.

Τα πιο επικίνδυνα σημεία στη συγκεκριμένη πίστα είναι δύο (πράσινες γραμμές), το πρώτο στην αφετηρία του pacman και το δεύτερο ακριβώς πάνω από τη φωλιά των φαντασμάτων.

2.3 Κίνηση αντιπάλων

Η νέα έκδοση χαρακτηρίστηκε ως αρκετά πιο βελτιωμένη του πρωτότυπου παιχνιδιού, μιας και η κίνηση των φαντασμάτων στο πρωτότυπο ήταν ντετερμινιστική, δηλαδή τα φαντάσματα ακολουθούσαν συγκεκριμένα μονοπάτια μέσα στο λαβύρινθο. Το γεγονός αυτό, μπορούσε εύκολα να το εκμεταλλευτεί ο οποιοσδήποτε χρήστης και να φτάσει στην ολοκλήρωση της πίστας σχεδόν χωρίς απώλειες ζωών, καθώς και με τη βέλτιστη δυνατή βαθμολογία, βρίσκοντας αντίστοιχα ένα κατάλληλο μονοπάτι (pattern), ούτως ώστε να αποφεύγει τα φαντάσματα (βλ. Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Απεικόνιση μονοπατιού (pattern), προς αποφυγή απώλειας ζωών

Αντιθέτως, στη βελτιωμένη έκδοση η κίνησή τους χαρακτηρίζεται ως μη-ντετερμινιστική, κάτι που κάνει το παιχνίδι αφενός πιο δύσκολο, αφετέρου περισσότερο ενδιαφέρον. Ωστόσο, η συμπεριφορά των φαντασμάτων σε καμία από τις δυο περιπτώσεις δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως βέλτιστη, με την έννοια ότι δεν προσπαθούν να συλλάβουν τον Pacman το συντομότερο δυνατό. Για την ακρίβεια, αφήνοντας τη “φωλιά” τους, περιφέρονται άσκοπα για λίγο, μέχρι να αρχίσουν να κυνηγούν πιο αποτελεσματικά, υιοθετώντας διαφορετικές συμπεριφορές από πολύ επιθετικές έως σχεδόν αδιάφορες, ανάλογα με το χρώμα τους. Έτσι το κόκκινο φάντασμα είναι το πιο απειλητικό ξεκινώντας αμέσως την αναζήτηση του Pacman. Ακολουθούν με λιγότερο επιθετικές συμπεριφορές το ροζ και το γαλάζιο, καταλήγοντας στο πορτοκαλί φάντασμα του οποίου η κίνηση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί “τυχαία”, αφού συχνά αφήνει τον pacman να ξεφεύγει από καταστάσεις που υπό τις σωστές κινήσεις θα είχε οδηγηθεί σε σίγουρη σύλληψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

3.1 Κατηγοριοποίηση ερευνών

Το Pac-Man ανήκει στην κατηγορία παιχνιδιών κυνηγού / θηράματος (predator/prey) και θεωρείται ως ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά είδη της, παρά το γεγονός ότι είναι φτωχό σε σχέση με τα σημερινά παιχνίδια, όσον αφορά το γραφικό περιβάλλον, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσεται. Τέτοια παιχνίδια παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς αποτελούν έναν ακόμη τομέα όπου μπορεί να εφαρμοστεί η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN). Παρόλα αυτά, λίγες μόνο έρευνες έχουν γίνει στο συγκεκριμένο συνδυασμό Pac-Man και T.N., και αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη έχει να κάνει με μελέτες που προσπαθούν να εκπαιδεύσουν έναν “πράκτορα” να χειρίζεται σωστά τον pacman μέσα στο παιχνίδι, δηλαδή να καταναλώνει όσο πιο πολλές κουκκίδες μπορεί, αποφεύγοντας τα φαντάσματα. Η δεύτερη κατηγορία είναι από τη σκοπιά των φαντασμάτων, δηλαδή αλγόριθμοι και τεχνικές που βελτιώνουν την απόδοσή τους, αναπτύσσοντας στρατηγικές που έχουν να κάνουν με συνεργασία δύο αλλά και περισσότερων φαντασμάτων, καθώς επίσης αναγνώριση και περιπολία των στρατηγικών σημείων μέσα στους λαβυρίνθους.

3.2 Από την σκοπιά του Pac-Man

Όπως αναφέρθηκε και πριν, η κατηγορία αυτή αποτελείται από μελέτες που έχουν ως στόχο, την εκπαίδευση ενός “πράκτορα” για το σωστό χειρισμό του παιχνιδιού. Έτσι, ανάλογα με τον τρόπο που έχει υλοποιηθεί η κάθε μελέτη, μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες.

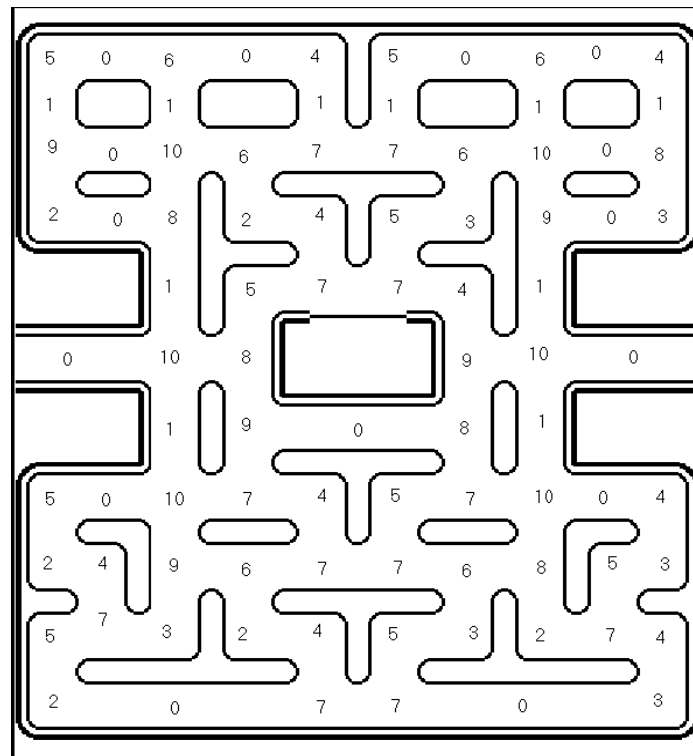
3.2.1 Rule-based Approach

Η έρευνα αυτή [1] έχει να κάνει με την εκμάθηση ενός πράκτορα, ο οποίος αντικαθιστά το ρόλο του ανθρώπινου χρήστη σε μια απλοποιημένη έκδοση του παιχνιδιού Pac-Man. Ο πράκτορας χαρακτηρίζεται από μια απλή μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων και ένα σετ παραμετρικών κανόνων, οι οποίοι καθορίζουν την επιλογή κατεύθυνσης του πράκτορα, ανάλογα με την πιθανότητα που έχει ο κάθε ένας. Η απλοποιημένη έκδοση, δεν αλλάζει τη βασική ιδέα του παιχνιδιού, αλλά μειώνει τα φαντάσματα από τέσσερα

σε ένα, αφαιρεί τις δυναμωτικές κουκκίδες (power dots), καθώς και τα φρούτα που εμφανίζονται κατά περιόδους, όπως είναι γνωστό από το πρωτότυπο.

Όπως αναφέρθηκε, ο πράκτορας υλοποιείται από μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, στη συγκεκριμένη περίπτωση 2-καταστάσεων (1-Explore και 2-Retreat), καθώς επίσης και από ένα σετ κανόνων για κάθε κατάσταση, οι οποίοι ελέγχουν την κίνηση του πράκτορα. Ο τελευταίος, μεταβαίνει από τη μια κατάσταση στην άλλη, σύμφωνα με μια προκαθορισμένη τιμή $p1$. Αν η απόσταση μεταξύ του pacman και του φαντάσματος είναι μεγαλύτερη αυτής της τιμής, τότε ο πράκτορας είναι σε κατάσταση διερεύνησης (Explore), αντίθετα, αν η απόσταση είναι μικρότερη, τότε η κατάσταση αλλάζει σε οπισθοχώρηση (Retreat).

Όσον αφορά την κίνηση του πράκτορα, ο λαβύρινθος έχει χωριστεί σε αριθμημένα τμήματα όπως για παράδειγμα σταυροδρόμια τύπου L, τύπου T, τύπου +, καθώς και οριζόντιους και κάθετους διαδρόμους όπως φαίνεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8. Λαβύρινθος του παιχνιδιού, χωρισμένος σε αριθμημένα τμήματα

Όλες οι πιθανές κατευθύνσεις, που ορίζονται από παραμέτρους, έχουν μια πιθανότητα σύμφωνα με ένα διάνυσμα πιθανοτήτων (probability vector). Στη προκείμενη περίπτωση, υπάρχουν τρία τέτοια διανύσματα.

Έτσι, στην πρώτη περίπτωση (Ph1) ο πράκτορας έχει ίσες πιθανότητες για όλες τις παραμέτρους που αφορούν την κίνηση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο pacman σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή να αντιστρέφει την κατεύθυνση του, κάτι που κάνει τη συμπεριφορά του αλλοπρόσαλλη. Στο δεύτερο διάνυσμα πιθανοτήτων (Ph2), επιλέγεται μια μικρότερη πιθανότητα σε περιπτώσεις αντιστροφής της κατεύθυνσης, καθώς και μηδενική πιθανότητα στην επιλογή κατεύθυνσης η οποία οδηγεί προς το φάντασμα. Στην τρίτη και τελευταία περίπτωση (Ph3), η πιθανότητα για περίεργες κινήσεις όπως 180 μοίρες περιστροφή, είναι πάρα πολλή μικρή και όσον αφορά την κατάσταση οπισθοχώρησης (Retreat), οι πιθανότητες έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να οδηγούν σε αποφυγή του φαντάσματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε για την εκμάθηση του πράκτορα είναι βασισμένος στον PBIL (Population-Based Incremental Learning) και αντικαθιστά τις συνηθισμένες τεχνικές των γενετικών αλγορίθμων, οι οποίες χρησιμοποιούν ένα διάνυσμα πιθανοτήτων (probability vector). Το διάνυσμα αυτό υποτίθεται πως ανανεώνει τις τιμές του και μαθαίνει από τα λάθη και τις κινήσεις του πράκτορα. Χρησιμοποιήθηκαν και ιδιόχειρα (hand-crafted) διανύσματα πιθανοτήτων και είναι αυτά που προαναφέραμε (Ph1, Ph2, Ph3).

Πλεονεκτήματα

- Μια μέθοδος χωρίς νευρωνικό δίκτυο που μπορεί να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω μελέτες με μεγαλύτερα σετ κανόνων (rule set).

Μειονεκτήματα

- Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι πολύ πιο απλή σε σχέση με το κανονικό παιχνίδι.
- Η αναπαράσταση δείχνει να έχει πολλούς περιορισμούς όσον αφορά την αναβάθμιση της νοημοσύνης του πράκτορα, αλλά και την βελτίωση του διανύσματος πιθανοτήτων.

3.2.2 Soft Computing – Neural Network

Ο αλγόριθμος ελέγχου αυτής της έρευνας [2] χρησιμοποιεί ένα νευρωνικό δίκτυο για να αξιολογεί τις επόμενες πιθανές κινήσεις του pacman. Στην ουσία και εδώ έχουμε έναν αυτοεκπαιδευόμενο “πράκτορα”. Το νευρωνικό δίκτυο έχει ως είσοδο ένα ιδιόχειρο διάνυσμα με χαρακτηριστικά (features) βασισμένα στην εκάστοτε τοποθεσία

του λαβυρίνθου, και παράγει ένα “βάρος” για την τοποθεσία αυτή. Η κίνηση που θα επιλέγει ο pacman είναι αποκλειστικά εξαρτώμενη από την έξοδο του νευρωνικού δικτύου. Κατά συνέπεια, η τοποθεσία με το μεγαλύτερο βάρος, θα αποτελέσει και το στόχο του πράκτορα.

Η έκδοση που υλοποιήθηκε για τη συγκεκριμένη μελέτη είναι μια προσέγγιση του γνήσιου παιχνιδιού, αφού έχουν γίνει κάποιες αλλαγές όπως το σχήμα του λαβυρίνθου, η αφαίρεση των φρούτων, καθώς και η ταχύτητα των φαντασμάτων η οποία παραμένει ίδια με αυτήν του pacman καθ’όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού. Επίσης, όσον αφορά τα φαντάσματα, υπάρχει ένας απλός αποδοτικός αλγόριθμος, ο οποίος “τρέχει” αμέσως μετά τη δημιουργία του λαβυρίνθου και υπολογίζει τις αποστάσεις όλων των φαντασμάτων από τον pacman, με απώτερο σκοπό τη μείωσή τους. Η μείωση απόστασης, ακολουθεί διαφορετική διαδικασία για κάθε φάντασμα, με αποτέλεσμα να αλλάζει η επιθετικότητά τους, γεγονός που κάνει αυτή την έκδοση δυσκολότερη της γνήσιας.

Ο αλγόριθμος του πράκτορα δουλεύει ως εξής: αρχικά αξιολογεί όλες τις πιθανές τοποθεσίες και επιλέγει να κατευθύνει τον pacman προς την τοποθεσία με το μεγαλύτερο “βάρος”, το οποίο προέρχεται από την έξοδο του νευρωνικού δικτύου. Τα χαρακτηριστικά του διανύσματος που προαναφέραμε, έχουν άμεση σχέση με τις αποστάσεις του pacman από κάθε φάντασμα, καθώς και τις αποστάσεις από τις κουκκίδες (dots), αλλά και τις δυναμωτικές κουκκίδες (power dots), που όπως είναι γνωστό αντιστρέφουν τους κανόνες του παιχνιδιού.

Στόχος του πράκτορα ήταν να αναπτύσσει στρατηγικές που θα επιφέρουν μεγαλύτερες βαθμολογίες, αποφεύγοντας παράλληλα τα φαντάσματα. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκαν δυο τρόποι παιχνιδιού οι οποίοι ελέγχουν την κίνηση των φαντασμάτων, ένας ντετερμινιστικός και ένας μη-ντετερμινιστικός. Στον πρώτο παρατηρήθηκε ότι ήταν ευκολότερο να αναπτυχθούν τέτοιες στρατηγικές, μιας και τα φαντάσματα ακολουθούσαν πάντα την ίδια πορεία μέσα στο λαβύρινθο, σε αντίθεση με τη δεύτερη περίπτωση όπου τα φαντάσματα λειτουργούσαν πολύ πιο αποδοτικά.

Πλεονεκτήματα

- Η τεχνική αυτής της έρευνας μπορεί να εφαρμοστεί και από την αντίθετη σκοπιά του παιχνιδιού, δηλαδή από αυτή των φαντασμάτων.

Μειονεκτήματα

- Το διάνυσμα που χρησιμοποιήθηκε για την είσοδο του νευρωνικού δικτύου, θα μπορούσε να περιέχει περισσότερες πληροφορίες.
- Η δομή των λαβυρίνθων αλλά και γενικότερα η όλη έκδοση του παιχνιδιού διαφέρουν από το πρωτότυπο.

3.3 Από τη σκοπιά των φαντασμάτων

Στο κλασικό παιχνίδι του Pac-Man, χρησιμοποιούνται απλές τεχνικές αναζήτησης όσον αφορά την κίνηση των φαντασμάτων και όχι ιδέες μηχανικής μάθησης (machine learning). Δηλαδή η επιθετικότητά τους καθορίζεται από κάποιους απλούς κανόνες που έχουν να κάνουν κυρίως με την απόσταση μεταξύ των φαντασμάτων και του pacman, με απώτερο σκοπό τη μείωση της. Για το λόγο αυτό, οι παρακάτω μελέτες προσπαθούν να βελτιώσουν την απόδοση των φαντασμάτων με αποτέλεσμα το παιχνίδι να γίνει πιο ενδιαφέρον, αλλά και πιο δύσκολο.

3.3.1 Soft Computing – Neural Network & Genetic Algorithms

Στη συγκριμένη έρευνα [3] προτείνεται ένας συνδυασμός γενετικών αλγορίθμων και νευρωνικών δικτύων, ούτως ώστε να βελτιωθεί η ικανότητα των φαντασμάτων στη σύλληψη του pacman. Πιο συγκεκριμένα, έγινε χρήση μιας μοναδικής γενετικής δομής για κάθε φάντασμα, μιας συνάρτησης αξιολόγησης που καθορίζει το ικανότερο φάντασμα της κάθε γενιάς, καθώς επίσης χρησιμοποιήθηκαν και κάποιες παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες δημιουργούνται επίγονοι που θα απαρτίζουν κάθε φορά τη νέα γενιά. Αυτές οι παράμετροι είναι η πιθανότητα γενετικής διασταύρωσης (crossover probability) και το ποσοστό μετάλλαξης (mutation percentage).

Για τη βελτιστοποίηση αυτών των δυο παραμέτρων, υλοποιήθηκε ένα νευρωνικό δίκτυο που είχε ως εισόδους την πιθανότητα γενετικής διασταύρωσης (crossover probability) και το ποσοστό μετάλλαξης (mutation percentage). Το νευρωνικό δίκτυο στη συνέχεια “μαθαίνει” να συσχετίζει αυτές τις δυο μεταβλητές με το χρόνο που απαιτείται (σε βήματα) για μια σύλληψη του pacman. Για την ακρίβεια, δοκιμάστηκαν 20 γενιές φαντασμάτων (η κάθε γενιά είχε τρία φαντάσματα) με απώτερο σκοπό τη σύλληψη του pacman και παράλληλα καταμετρήθηκαν τα βήματα που απαιτήθηκαν για

την επίτευξη αυτού του στόχου. Στη συνέχεια, βάσει του ελάχιστου αριθμού βημάτων, κρίθηκαν κάποια φαντάσματα ως “ικανότερα” και από αυτά προέκυψαν καινούριες γενιές. Η όλη διαδικασία σταμάτησε μετά από 3-5 επαναλήψεις.

Το δίκτυο εκπαιδεύεται με back-propagation και έτσι βελτιστοποιούνται οι παραπάνω παράμετροι με αποτέλεσμα να μειώνεται σταδιακά ο χρόνος αναζήτησης (βήματα).

Όσον αφορά το μοντέλο, το χρωμόσωμα κάθε φαντάσματος αναπαρίσταται από έναν πίνακα (array) γονιδίων. Κάθε γονίδιο μπορεί να πάρει μια από τέσσερις τιμές (1, 2, 3, 4), οι οποίες αντιστοιχούν στην κατεύθυνση (up, down, left, right) που θα επιλέξει το φάντασμα σε μια επερχόμενη διασταύρωση στο λαβύρινθο. Πιο συγκεκριμένα, από τον αριθμό των κινήσεων που χρειάστηκε ένα φάντασμα για τη σύλληψη του pacman, προκύπτει ένα διάνυσμα από ακέραιους αριθμούς, το οποίο καθορίζει το μονοπάτι που επέλεξε το εκάστοτε φάντασμα μέσα στο λαβύρινθο. Κατά συνέπεια, το μήκος του διανύσματος έχει άμεση σχέση με τον αριθμό των κινήσεων και ο μέσος όρος αυτού, είναι 55 κινήσεις.

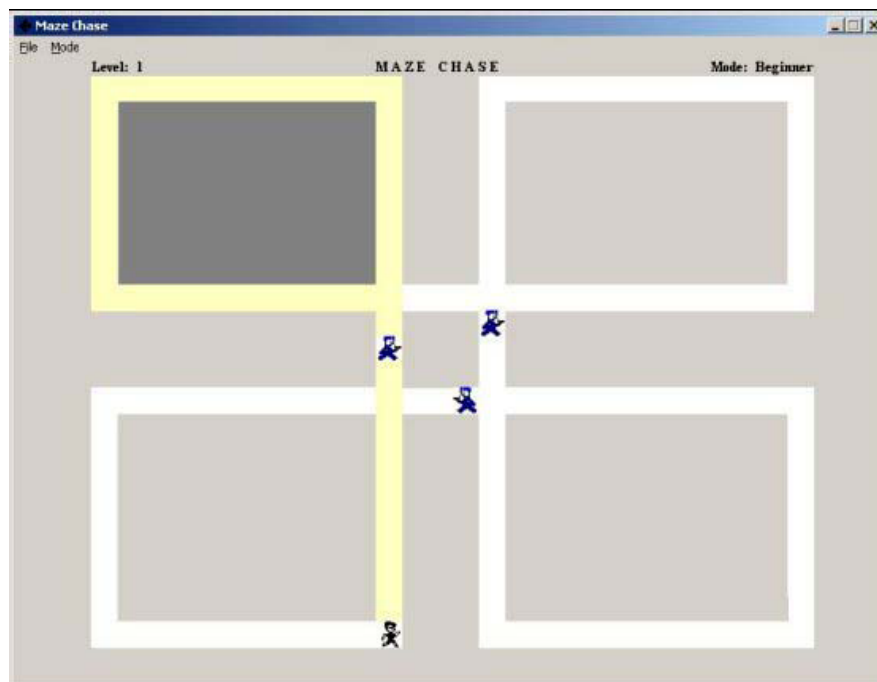
Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας δείχνουν ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να συνδυαστούν με απώτερο σκοπό τη μηχανική μάθηση σε παιχνίδια όπως το Pac-Man, έτσι ώστε οι υποτιθέμενοι “πράκτορες” (φαντάσματα) να καταφέρνουν να συνεργάζονται με στόχο τη βέλτιστη αναζήτηση. Η μέθοδος πάνω στην οποία βασίζονται οι γενετικοί αλγόριθμοι έχει ως κύριο κομμάτι τη λήψη στοιχείων των πιο αποδοτικών “πρακτόρων” και την κληροδότησή τους σε επόμενες γενιές.

Πλεονεκτήματα

- Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της γενετικής εξέλιξης, ήταν η ικανότητα των φαντασμάτων να αναγνωρίζουν στρατηγικά σημεία του λαβυρίνθου και να τα περιπολούν γνωρίζοντας ότι ο pacman θα αναγκαστεί να περάσει από αυτά για να ολοκληρώσει την πίστα. Τέτοια σημεία είναι φυσικά οι διασταυρώσεις (Εικόνα 9).
- Επίσης τα φαντάσματα έδειξαν ότι μπορούν να συνεργαστούν κλείνοντας και τις δυο εισόδους ενός διαδρόμου αφού πρώτα είχε περάσει ο pacman. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό το γεγονός ήταν πιο συχνό μετά από έναν αριθμό γενεών. Δηλαδή μετά από τρεις με πέντε επαναλήψεις της διαδικασίας της μετάλλαξης.

Μειονεκτήματα

- Ένα από τα μειονεκτήματα των φαντασμάτων ήταν η ξαφνική αλλαγή πορείας. Για παράδειγμα, ενώ βρισκόντουσαν κοντά στον pacman, αναπάντεχα αλλάζανε κατεύθυνση (συνήθως 180 μοίρες), με αποτέλεσμα να τον αφήσουν να ξεφύγει. Αυτό οφείλεται στην ανάγκη των φαντασμάτων να εξερευνήσουν ολόκληρο το λαβύρινθο τουλάχιστον μια φορά σε κάθε προσομοίωση.
- Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε απέχει πολύ της γνήσιας, με αλλαγές που δεν θυμίζουν την κλασική έκδοση του Pac-Man. Για την ακρίβεια τα φαντάσματα αντικαταστήθηκαν από "αστυνομικούς" και ο pacman από έναν "ληστή". Επίσης και ο λαβύρινθος τροποποιήθηκε σε πολύ απλούστερο. Οι αλλαγές φαίνονται καλύτερα στην εικόνα 9.



Εικόνα 9. Στιγμιότυπο του παιχνιδιού με αισθητές τις αλλαγές σε σχέση με το πρωτότυπο

3.3.2 Neural Network & Genetic Algorithms

Η έρευνα αυτή [4] μελετά το παιχνίδι του Pac-Man αποκλειστικά από την πλευρά των φαντασμάτων. Είναι γενικά αποδεκτό ότι σε παιχνίδια κυνηγού και θηράματος (predator / prey), το ενδιαφέρον έχει να κάνει κυρίως με τη συμπεριφορά των αντιπάλων. Έτσι, στόχος αυτής της μελέτης είναι η δημιουργία μιας γενικής μονάδας

μέτρησης του ενδιαφέροντος τέτοιων παιχνιδιών, βάσει κάποιων κριτηρίων που θα εξηγηθούν στη συνέχεια.

Όπως και σε προηγούμενες έρευνες, έτσι και εδώ η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι τροποποιημένη με αλλαγές, όπως το σχήμα του λαβυρίνθου, τη μείωση των φαντασμάτων από τέσσερα σε τρία, το διπλασιασμό της ταχύτητας του pacman σε σχέση με αυτήν των φαντασμάτων, κλπ.

Όσον αφορά την κίνηση του pacman, υλοποιήθηκαν τρεις στρατηγικές με διαφορές στην πολυπλοκότητα αλλά και στην αποτελεσματικότητά τους. Αυτές είναι οι εξής:

- Cost-Based pacman (CB): Εδώ ο pacman κινείται σε διαδρόμους που έχουν το μικρότερο κόστος, με κύριο χαρακτηριστικό την αποφυγή των φαντασμάτων και σε μικρότερο βαθμό την κατανάλωση κουκκίδων.
- Rule-Based pacman (RB): Ο RB pacman λειτουργεί όπως και ο CB, με μόνη διαφορά, έναν πρόσθετο κανόνα, σύμφωνα με τον οποίο η κατανάλωση κουκκίδων αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα.
- Advanced pacman (ADV): Ο ADV pacman ελέγχει κάθε κατεύθυνση του οπτικού του πεδίου για φαντάσματα. Στην περίπτωση που υπάρχει έστω και ένα, η πιθανότητα να κινηθεί προς μία από τις διαθέσιμες κατευθύνσεις, είναι ανάλογη της απόστασής του από το φάντασμα, ενώ στην αντίθετη περίπτωση - που δεν υπάρχουν φαντάσματα- συμπεριφέρεται σαν RB pacman.

Η κίνηση των φαντασμάτων ελέγχεται από ένα νευρωνικό δίκτυο με είσοδο έναν πίνακα αποτελούμενο από αποστάσεις όπως αυτές μεταξύ του pacman και των φαντασμάτων, καθώς και μεταξύ των δυο πιο κοντινών φαντασμάτων, φυσικά στην ίδια γειτονιά με τον pacman. Πέρα όμως από τα φαντάσματα που ελέγχονται από το νευρωνικό δίκτυο, υλοποιήθηκαν άλλες τρεις στρατηγικές που έχουν να κάνουν επίσης με την κίνηση τους. Αυτές είναι οι παρακάτω:

- Random (R): Εδώ τα φαντάσματα επιλέγουν την επομένη κίνησή τους από ένα ισοπίθανο σύνολο.
- Followers (F): Τα φαντάσματα ακολουθούν τον pacman ασταμάτητα και η στρατηγική που ακολουθούν έγκειται στη μείωση της μεταξύ τους απόστασης.
- Near-Optimal (O): Σε αυτήν την περίπτωση η στρατηγική των φαντασμάτων είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να επιτυγχάνει αποτελεσματικές λύσεις στη σύλληψη του pacman.

Τα κριτήρια που προαναφέραμε για τη δημιουργία της μονάδας μέτρησης του ενδιαφέροντος είναι όσο πιο γενικά και αντικειμενικά γίνεται, έτσι ώστε να μην περιορίζονται μόνο στο συγκεκριμένο παιχνίδι. Τα κριτήρια αυτά είναι τρία:

1. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ του μέσου αριθμού βημάτων που χρειάστηκαν για τη σύλληψη του pacman και του μέγιστου αριθμού βημάτων που χρειάστηκαν για τον ίδιο λόγο, τόσο πιο ενδιαφέρον είναι και το παιχνίδι.
2. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση των βημάτων που χρειάστηκαν για τη σύλληψη του pacman, τόσο πιο ενδιαφέρουσα και η συμπεριφορά των φαντασμάτων.
3. Για το τρίτο κριτήριο ήταν απαραίτητη η εισαγωγή και τροποποίηση ενός ήδη υπάρχοντος όρου, αυτού της “εντροπίας”. Έτσι, στη συγκεκριμένη μελέτη ο εν λόγω όρος σχετίζεται με τον τρόπο που περιπολούν τα φαντάσματα το λαβύρινθο. Δηλαδή αν η περιπολία καλύπτει ολόκληρο το λαβύρινθο, αλλά και κατά πόσο αυτή είναι διαφορετική σε κάθε παιχνίδι. Κατά συνέπεια, όσο μεγαλύτερη είναι η μέση τιμή της εντροπίας, τόσο πιο ενδιαφέρον γίνεται και το παιχνίδι.

Τέλος, βασικός στόχος αυτής της μελέτης ήταν τα φαντάσματα να μαθαίνουν να υιοθετούν στρατηγικές ανάλογα με τον κάθε αντίπαλο (Cost-Based pacman, Rule-Based pacman, Advanced pacman). Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκαν δυο τεχνικές εκμάθησης, μια off-line και μια on-line, οι οποίες είναι άμεσα συνδεδεμένες καθώς τα φαντάσματα που εκπαιδεύονται off-line για να αποκτήσουν καλές αρχικές συμπεριφορές, χρησιμοποιούνται στην on-line εκπαίδευση.

Πλεονεκτήματα

- Η μονάδα μέτρησης του ενδιαφέροντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα παιχνίδια τέτοιου είδους.
- Παρατηρήθηκε πολύ καλή συνεργασία των φαντασμάτων, κάτι που είναι επίτευγμα του συνδυασμού των τεχνικών που αναφέρθηκαν πιο πριν.

Μειονεκτήματα

- Όπως και σε άλλες έρευνες, έτσι και εδώ η εφαρμογή του παιχνιδιού είναι μια προσέγγιση του αρχικού και όχι το πρωτότυπο παιχνίδι.

Μικρές αλλαγές και βελτιώσεις της προηγούμενης μελέτης, καθώς και η προσθήκη νέων λαβυρίνθων, οδήγησαν σε μια νέα δημοσίευση [5], η οποία έχει και αυτή ως στόχο τη διατήρηση της μονάδας μέτρησης του ενδιαφέροντος παιχνιδιών predator / prey σε υψηλά επίπεδα.

Πιο συγκεκριμένα, δοκιμάστηκε η απόδοση των on-line εκπαιδευόμενων φαντασμάτων και σε πιο πολύπλοκες πίστες, δηλαδή λαβυρίνθους, καθώς επίσης εξετάστηκε και η σχέση που υπάρχει μεταξύ της μονάδας μέτρησης που προαναφέραμε, και της τοπολογίας – μορφολογίας της κάθε πίστας.

Έτσι, προστέθηκαν τρεις νέοι λαβυρίνθοι, περισσότερο πολύπλοκοι και με διαφορετική μορφολογία, καθώς επίσης και μια νέα μονάδα μέτρησης για την πολυπλοκότητά τους, σύμφωνα με την οποία, η πολυπλοκότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του μέσου όρου του μήκους των διαδρόμων.

Τελικά, η απόδοση του μηχανισμού δεν έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά των λαβυρίνθων, κάτι που προκύπτει από τα αποτελέσματα, αφού ο on-line μηχανισμός καταφέρνει και βρίσκει τρόπους να αυξάνει το ενδιαφέρον του παιχνιδιού, ανεξάρτητα από την πίστα στην οποία εφαρμόζεται. Επιπροσθέτως, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, η μέτρηση του ενδιαφέροντος παραμένει σε σχετικά καλά επίπεδα.

Πλεονεκτήματα

- Πολλή καλή απόδοση του on-line μηχανισμού, που όπως έδειξε η συγκεκριμένη έρευνα δεν έχει σχέση με την πολυπλοκότητα και τη μορφολογία των λαβυρίνθων.

Μειονεκτήματα

- Για να επιτευχθεί ο στόχος, δηλαδή να παραμείνει το ενδιαφέρον του παιχνιδιού σε υψηλά επίπεδα, χρειάστηκαν μερικές χιλιάδες επαναλήψεις, αριθμός παιχνιδιών που είναι αδύνατον να φτάσει ένας κοινός χρήστης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

4.1 Σκοπός

Από τις έρευνες που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3, γεννήθηκε η ιδέα για μια νέα προσέγγιση αποκλειστικά από τη σκοπιά του pacman, που δε θα χρησιμοποιεί Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks) και Γενετικούς Αλγόριθμους (Genetic Algorithms), αλλά ούτε Μηχανές Πεπερασμένων Καταστάσεων (Finite State Machines FSM) και Ευφυή Συστήματα Αποφάσεων (Rule-Based Systems). Έτσι με αφορμή τη δημιουργία ενός αυτόνομου πράκτορα-παίκτη του παιχνιδιού Pac-Man, ξεκίνησε η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

4.2 Κεντρική ιδέα

Η κεντρική ιδέα βασίστηκε στην επεξεργασία πληροφοριών της τρέχουσας κατάστασης του λαβυρίνθου, πριν από κάθε επόμενη κίνηση του πράκτορα-παίκτη. Δηλαδή, ο τελευταίος θα έπρεπε να έχει μια συνολική εικόνα του λαβυρίνθου –και όχι μια περιορισμένη περιοχή- για την ακριβή τοποθεσία των φαντασμάτων αλλά και των κουκκίδων, χωρίς απαραίτητα να υπολογίζει από πριν τις αποστάσεις των μεν και των δε. Τέτοιοι υπολογισμοί ειδικά όσον αφορά τις κουκκίδες (λόγω αριθμού), έχουν σαν συνέπεια πολύ μεγάλη πολυπλοκότητα, γεγονός που καθιστά τους αλγορίθμους αρκετά αργούς. Εκτός αυτού, τέτοιες μέθοδοι έχουν υλοποιηθεί και σε μία από τις έρευνες που προαναφέρθηκαν, οπότε δεν θα αποτελούσαν κάτι καινούριο.

Για το λόγο αυτό, μια αποτύπωση όλων των χαρακτηριστικών, αλλά και όλων των χαρακτήρων του παιχνιδιού με τη μορφή ενεργειών οι οποίες θα διαχέονται κατά μήκος ολόκληρου του λαβυρίνθου και θα καθορίζουν τα κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία θα λαμβάνεται η απόφαση της επόμενης κίνησης του πράκτορα, φάνηκε αρκετά δελεαστική για να γίνει τελικά πραγματικότητα.

Με απλά λόγια: δίνω μια θετική ενέργεια σε ό,τι θέτω ως στόχο (κουκκίδες), και αντίστοιχα μια αρνητική σε ο,τιδήποτε επιδιώκω να αποφύγω (φαντάσματα).

Όσον αφορά τις “δυναμωτικές” κουκκίδες (power dots), η κατάσταση δεν είναι τόσο απλή, αφού πρώτον αντιστρέφουν τους κανόνες του παιχνιδιού (άρα και η ενέργεια των φαντασμάτων θα πρέπει να αλλάζει και από αρνητική να γίνεται θετική), και δεύτερον δεν θα πρέπει να καταναλώνονται άσκοπα, αλλά μόνο εάν υπάρχουν φαντάσματα στη γύρω περιοχή. Το τι ακριβώς συμβαίνει όμως με αυτές θα αναλυθεί παρακάτω.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορεί η ενέργεια να διαχέεται με κάποιο τρόπο στο λαβύρινθο, ήταν η μεταφορά του τελευταίου σε μορφή γράφου. Στη συνέχεια ο γράφος θα έπρεπε να αναπαρασταθεί σε μορφή λίστας και πιο ειδικά ως λίστα γειτνίασης (adjacency list).

Η περιγραφή που ακολουθεί θα κάνει τις παραπάνω έννοιες περισσότερο κατανοητές.

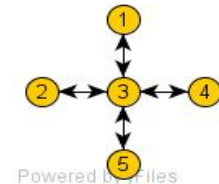
- Γράφος (graph) : είναι ένα είδος δομής δεδομένων και αποτελείται από ένα σετ κόμβων καθώς και από ένα σετ ακμών οι οποίες καθορίζουν τις σχέσεις μεταξύ των κόμβων.

Παραδείγματα :

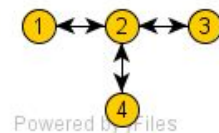
1. Γράφος που αναπαριστά διάδρομο →



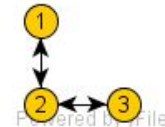
2. Γράφος σταυροδρομιού τύπου (+) →



3. Γράφος σταυροδρομιού τύπου (T) →



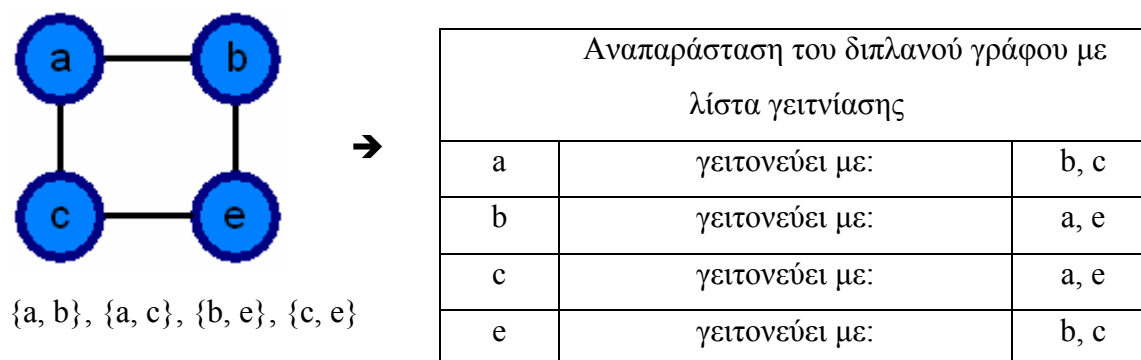
4. Γράφος σταυροδρομιού τύπου (L) →



- Λίστες Γειτνίασης (adjacency list) : Στην ουσία είναι η αναπαράσταση όλων των ακμών και κόμβων ή κορυφών ενός γράφου. Οι λίστες γειτνίασης είναι άμεσα συνδεδεμένες με δομές δεδομένων και σε συνδυασμό με τη χρήση κάποιου Hash Table είναι πολύ αποτελεσματικές.

-- Hash Table: ή hash map. Μια δομή δεδομένων που συσχετίζει “κλειδιά” (id) και τιμές (values). Από ένα hash map, προκύπτει ένα “lookup table”, όπου δίνοντας μια τιμή (κλειδί), είναι εφικτό να βρεθούν οι σχετικές τιμές (values) που αντιστοιχούν στο “ κλειδί ”.

Παράδειγμα λίστας γειτνίασης για τον ακόλουθο γράφο:



Εικόνα 10. Παράδειγμα λίστας γειτνίασης. Αριστερά: γράφος τεσσάρων κόμβων, δεξιά: αναπαράσταση του γράφου σε λίστα γειτνίασης

4.3 Ανάλυση της προσέγγισης

Ο τρόπος λοιπόν με τον οποίο γίνεται η διάχυση της ενέργειας, αλλά και η διαδικασία σύμφωνα με τη οποία θα παίρνονται αποφάσεις για το πού θα κινηθεί κάθε φορά ο πράκτορας, αναλύονται παρακάτω.

Όλα τα πιθανά σημεία του λαβυρίνθου όπου μπορεί να μεταβεί ο pacman, αναπαρίστανται με κόμβους. Ο κάθε κόμβος θα αποτελεί και ένα “κλειδί” του hash map. Όλοι οι γειτονικοί του θα απαρτίζουν τις τιμές (values) του αντίστοιχου κόμβου και όλες αυτές οι πληροφορίες θα αποθηκεύονται σε ένα Hash Table ούτως ώστε να μπορώ ανατρέχοντας στο “lookup table” να γνωρίζω ανά πάσα στιγμή σε ποιον κόμβο είμαι, αλλά και ποιοι είναι όλοι οι γειτονικοί του. Η επιλογή για την κατεύθυνση προς την οποία θα κινηθεί ο πράκτορας θα προκύπτει από διαδοχικές συγκρίσεις των ενεργειών όλων των γειτονικών κόμβων, ανάλογα με την τοποθεσία του pacman. Συνεπώς, εάν ο τελευταίος βρίσκεται σε ένα σταυροδρόμι τύπου (T), οι γειτονικοί κόμβοι θα είναι τρεις και οι συγκρίσεις θα γίνονται μεταξύ αυτών. Ο κόμβος με τη μεγαλύτερη ενέργεια θα είναι και αυτός στον οποίο θα μεταβώ. Αντίστοιχα, εάν το σταυροδρόμι είναι τύπου (+) οι γειτονικοί κόμβοι θα είναι τέσσερις, ενώ σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση θα είναι δύο. Προφανώς οι τιμές των ενεργειών όλων των κόμβων του γράφου θα είναι αποτέλεσμα της διάχυσης της συνολικής ενέργειας του λαβυρίνθου. Το ερώτημα που τίθεται λοιπόν είναι, πώς προκύπτει αυτή.

Ο κάθε κόμβος ανάλογα με το περιεχόμενό του θα έχει και κάποια αρχική τιμή. Έτσι αν περιέχει κάποιο φάντασμα η ενέργεια θα είναι αρνητική, αν περιέχει κουκκίδα η ενέργεια του θα είναι θετική, αν το περιεχόμενό του είναι κενό η ενέργεια θα είναι

μηδενική και στην περίπτωση που περιέχει ένα power dot, όπως προαναφέρθηκε, τα πράγματα περιπλέκονται. Η ιδέα είναι η εξής. Η ενέργεια του κάθε κόμβου ισούται με αυτήν του ίδιου, συν κάποιο ποσοστό της ενέργειας των γειτονικών του κόμβων. Αρκεί λοιπόν μια μαθηματική εξίσωση η οποία θα συσχετίζει την ενέργεια κάθε κόμβου με αυτές των γειτονικών του και το μοντέλο είναι έτοιμο.

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται τώρα, έγκειται στην επιλογή μιας τέτοιας εξίσωσης, δηλαδή αν αυτή θα είναι γραμμική ή μη. Στη δεύτερη περίπτωση δεν υπάρχει αναλυτική λύση, με αποτέλεσμα η επίλυση να γίνεται αριθμητικά και έτσι ο αλγόριθμος να χαρακτηρίζεται επαναληπτικός [6]. Το γεγονός αυτό, έχει σαν συνέπεια υψηλή πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς του αλγορίθμου και κατ' επέκταση μεγάλη χρονική διάρκεια, μιας και ο γράφος ενός λαβυρίνθου ας πάρουμε για παράδειγμα της πρώτης πίστας του παιχνιδιού, είναι περίπου της τάξεως των 300 κόμβων. Συνεπώς, η διατήρηση της γραμμικότητας επιφέρει τεράστια πλεονεκτήματα πρώτον σε χαμηλή πολυπλοκότητα και δεύτερον σε ταχύτητα.

Έτσι οι γραμμικές εξισώσεις οι οποίες αντιστοιχούν στο παράδειγμα της εικόνας 10 είναι οι ακόλουθες:

$$E(a) = (d \times E(b)) + (d \times E(c)) + [\text{περιεχόμενο του } a]$$

$$E(b) = (d \times E(a)) + (d \times E(e)) + [\text{περιεχόμενο του } b]$$

$$E(c) = (d \times E(a)) + (d \times E(e)) + [\text{περιεχόμενο του } c]$$

$$E(e) = (d \times E(b)) + (d \times E(c)) + [\text{περιεχόμενο του } e]$$

όπου $E(a)$, $E(b)$, $E(c)$ και $E(e)$ είναι οι τιμές για τις ενέργειες των αντίστοιχων κόμβων, (d) είναι ο πολλαπλασιαστής που καθορίζει το ποσοστό της ενέργειας που προστίθεται σε κάθε κόμβο από τους γειτονικούς του και $[\text{περιεχόμενο } a, b, c \text{ και } e]$ είναι η αρχική τιμή της ενέργειας ανάλογα με το τι περιέχει ο κάθε κόμβος (φάντασμα, κουκκίδα, power dot και κενό). Οι παραπάνω εξισώσεις απαρτίζουν ένα 4×4 γραμμικό σύστημα (με αγνώστους τα $E(a)$, $E(b)$, $E(c)$ και $E(e)$), συνεπώς, εάν χωρίσουμε τους άγνωστους όρους στο πρώτο μέλος και τους γνωστούς στο δεύτερο, καθώς επίσης τους μετατρέψουμε και σε μορφή πινάκων, προκύπτει το ακόλουθο γραμμικό σύστημα (πλέον σε μορφή πινάκων) :

$$Ax = b$$

$$\text{όπου } A = \begin{bmatrix} 1 & -d & -d & 0 \\ -d & 1 & 0 & -d \\ -d & 0 & 1 & -d \\ 0 & -d & -d & 1 \end{bmatrix},$$

$$x = \begin{bmatrix} E(a) \\ E(b) \\ E(c) \\ E(e) \end{bmatrix}$$

$$\text{και } b = \begin{bmatrix} \text{περιεχόμενο του (a)} \\ \text{περιεχόμενο του (b)} \\ \text{περιεχόμενο του (c)} \\ \text{περιεχόμενο του (e)} \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας A είναι γνωστός γιατί ο συντελεστής (d) παίρνει τιμές ανάλογα με το ποσοστό της ενέργειας που θέλω να προστίθεται σε κάθε κόμβο από τους γειτονικούς του. Έτσι, για 10% ο συντελεστής θα είναι $d = 0.1$, για 50% $d = 0.5$, κοκ. Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθούν μερικές λεπτομέρειες. Ο πίνακας A αναπαριστά κατά μία έννοια ολόκληρο το γράφο μιας και α) είναι πίνακας $n \times n$ όπου n ο αριθμός των κόμβων του γράφου, και β) οι γραμμές και οι στήλες περιέχουν πληροφορίες για τους κόμβους και τις ενώσεις του (γειτονικοί κόμβοι). Πιο συγκεκριμένα η πρώτη γραμμή αντιστοιχεί στον κόμβο (a) όπως και η πρώτη στήλη, η δεύτερη γραμμή/στήλη στον (b), η τρίτη (γραμμή/στήλη) στον (c) και η τέταρτη γραμμή/στήλη στον κόμβο (e). Διατρέχοντας λοιπόν την πρώτη γραμμή, μπορούμε να βρούμε με ποιους κόμβους γειτονεύει ο (a), ανάλογα με το τι περιέχουν οι αντίστοιχες στήλες, δηλαδή μηδέν (0) ή $-d$. Η διαδικασία αυτή παράγει ανάλογα αποτελέσματα και στην περίπτωση που διατρέξουμε μια στήλη ψάχνοντας στις γραμμές πλέον του πίνακα ποιοι είναι οι γειτονικοί κόμβοι. Αυτό ισχύει γιατί ο πίνακας A είναι συμμετρικός. Τέλος, σημαντικό στοιχείο αποτελεί η σταθερότητα του εν λόγω πίνακα, μιας και αυτός δεν μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού. Κατά συνέπεια αρκεί να υπολογιστεί μία φορά στο ξεκίνημα του αλγορίθμου. Ο μόνος λόγος που θα μπορούσε να επηρεάσει τον πίνακα A θα ήταν κάποια αλλαγή στη μορφολογία του λαβυρίνθου-γράφου.

Επίσης και το διάνυσμα (b) είναι γνωστό σε κάθε κατάσταση του παιχνιδιού, αφού ανά πάσα στιγμή μπορώ να γνωρίζω το περιεχόμενο όλων των κόμβων του λαβυρίνθου.

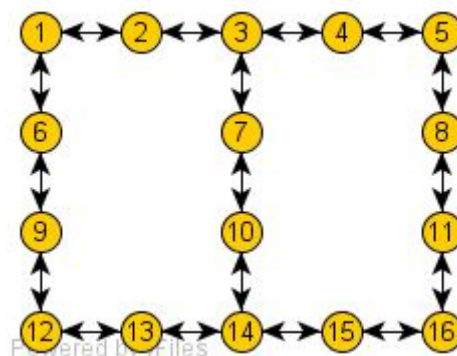
Συνεπώς, το μόνο που μένει είναι απλές μαθηματικές πράξεις γραμμικής άλγεβρας για την επίλυση του συστήματος. Δηλαδή η εύρεση του αντιστρόφου του πίνακα A (που επίσης αρκεί να υπολογιστεί μόνο μια φορά για κάθε λαβύρινθο) και στη συνέχεια η επίλυση του συστήματος.

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b} \Rightarrow \\ \Rightarrow \mathbf{x} = (\mathbf{A}^{-1}) * (\mathbf{b})$$

Η διαδικασία αυτή πρέπει να επαναλαμβάνεται πριν από κάθε κίνηση του πράκτορα, αφού τα φαντάσματα δεν είναι στάσιμα, αλλά μετακινούνται συνεχώς στην προσπάθειά τους να συλλάβουν τον pacman. Έτσι το διάνυσμα (b) μεταβάλλεται διαρκώς και γι' αυτό θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται κάθε φορά με τον αντίστροφο του A . Το αποτέλεσμα που θα προκύπτει είναι το διάνυσμα (x) $(nx1)$, το οποίο περιέχει τις τιμές των ενεργειών όλων των κόμβων του γράφου.

4.3.1 Γράφος 16 κόμβων

Οι δοκιμές ξεκίνησαν αρχικά με έναν απλό γράφο 16 κόμβων, ούτως ώστε να φανεί αν ο αλγόριθμος λειτουργεί ικανοποιητικά. Ο συγκεκριμένος λαβύρινθος δεν περιείχε “δυναμωτικές” κουκκίδες (power dots) και το σετ τιμών που επιλέχθηκε για τις ενέργειες ήταν: κουκκίδα = 10 και φαντάσματα = -100. Λόγω του μικρού μεγέθους του λαβυρίνθου όμως, ήταν αναγκαία η μείωση των φαντασμάτων από τέσσερα σε ένα. Σχηματικά λοιπόν, ο γράφος με τον οποίο έγιναν τα πρώτα πειράματα είναι αυτός που εικονίζεται στο Σχήμα 1.

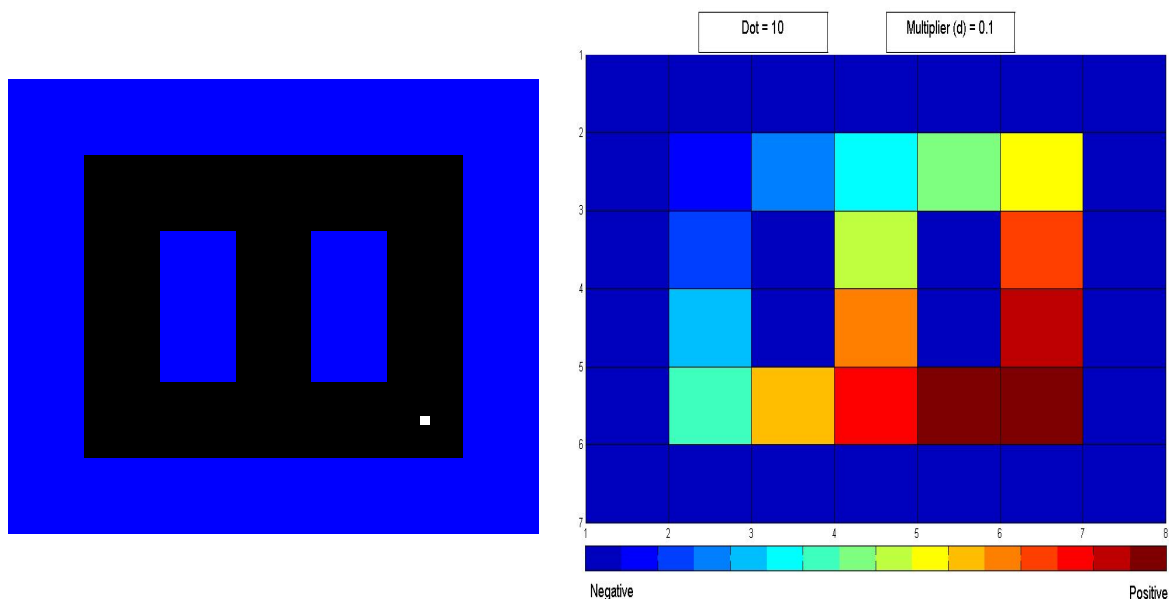


Σχήμα 1. Λαβύρινθος 16 κόμβων

Κατά συνέπεια οι γραμμικές εξισώσεις γίνονται 16, δηλαδή ίσες με τον αριθμό των κόμβων, οι πίνακες (A) και (A^{-1}) έχουν μέγεθος 16x16 και τα διανύσματα (x) και (b) έχουν μήκος 16. Έτσι, η επίλυση του γραμμικού συστήματος $Ax = b \Rightarrow x = (A^{-1}) * (b)$ επιφέρει ένα διάνυσμα (x) αποτελούμενο από τις τιμές των ενεργειών των αντίστοιχων κόμβων ολόκληρου του γράφου. Αυτό σημαίνει ότι σε οποιονδήποτε κόμβο και αν βρίσκεται ο πράκτορας, αρκεί να ελέγξει όλους τους γειτονικούς (τους οποίους τους γνωρίζει από το hash map), να βρει αυτόν με τη μεγαλύτερη τιμή όσον αφορά την ενέργεια και να κινηθεί προς αυτόν.

Η πρώτη δοκιμή εξέταζε τη διάχυση της ενέργειας μιας μόνο κουκκίδας, έτσι ώστε να φανεί αν η ενέργειά της κατανέμεται σωστά και σε όλο το μήκος του λαβυρίνθου. Για το λόγο αυτό υλοποιήθηκε σε MATLAB η όλη ιδέα της επίλυσης του γραμμικού συστήματος και στη συνέχεια αποδόθηκε η διάχυση σε έναν δισδιάστατο πίνακα με διαστάσεις ίδιες με αυτές του λαβυρίνθου.

Η Εικόνα 11 περιγράφει συνοπτικά την πρώτη δοκιμή.



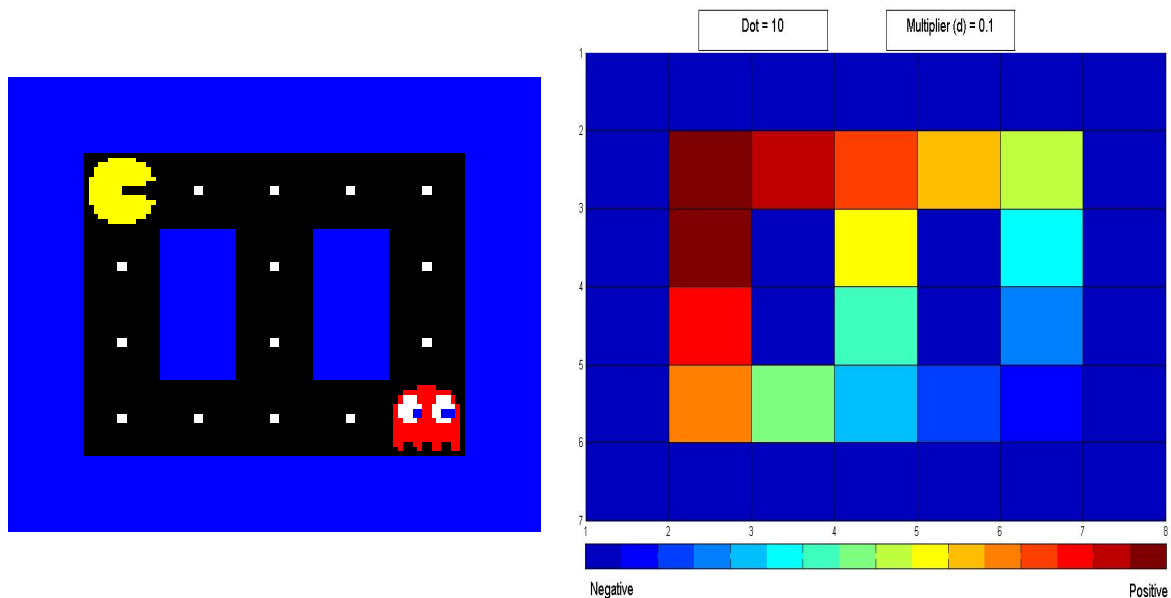
Εικόνα 11. Περίπτωση μιας κουκκίδας χωρίς φαντάσματα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Όπως προκύπτει από την παραπάνω εικόνα, η ενέργεια της κουκκίδας διαχέεται σε ολόκληρο το λαβύρινθο με τα θερμά χρώματα να αναπαριστούν μεγάλα ποσά ενέργειας και τα ψυχρά το αντίθετο. Συνεπώς, έχοντας ως στόχο την μεγαλύτερη τιμή ενέργειας (σκούρο κόκκινο) και ακολουθώντας τον χρωματικό κώδικα, μπορεί κανείς

να εντοπίσει το πιο σύντομο μονοπάτι προς την κουκκίδα από οποιοδήποτε σημείο κι αν τοποθετήσει τον pacman.

Η δεύτερη περίπτωση απεικονίζει το σύνολο των ενεργειών στο ξεκίνημα του παιχνιδιού, δηλαδή με τον pacman και το φάντασμα στις αρχικές τους θέσεις και τον υπόλοιπο λαβύρινθο γεμάτο με κουκκίδες

Η αρχική κατάσταση παρατίθεται στην Εικόνα 12:

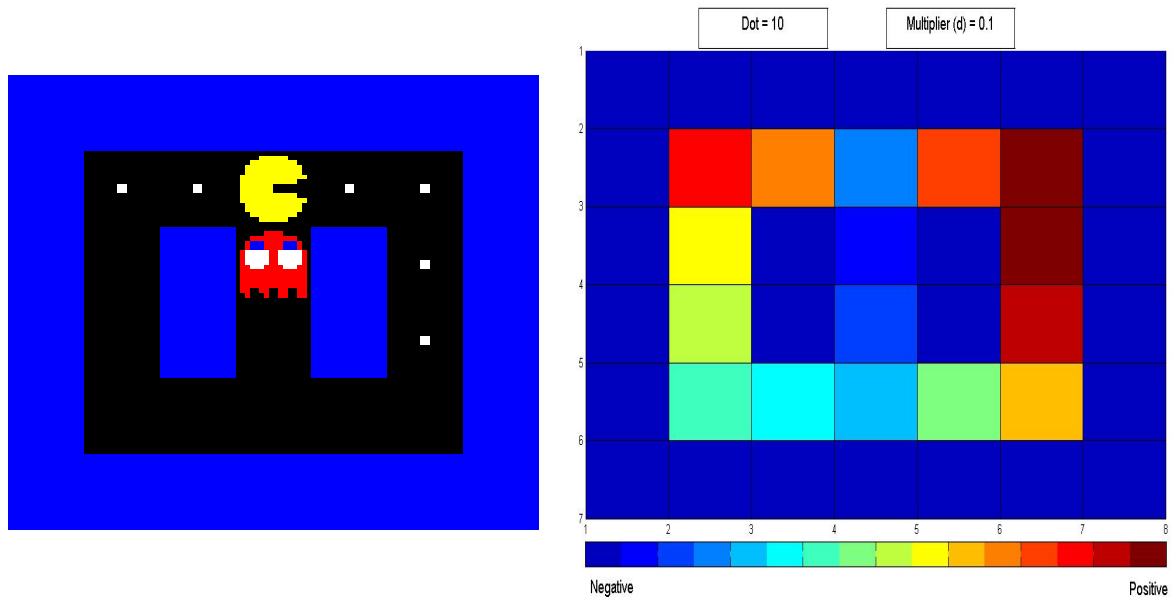


Εικόνα 12. Περίπτωση αρχικής κατάστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Το ζητούμενο που πλέον έπρεπε να εξεταστεί ήταν ένα. Η λήψη σωστών αποφάσεων από τον pacman, δηλαδή τον πράκτορα, σε πιο δύσκολες συνθήκες, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση που στη γύρω περιοχή (σε απόσταση δύο ή τριών κόμβων) υπήρχε το φάντασμα αλλά και κουκκίδες. Έτσι προκύπτουν τα ακόλουθα παραδείγματα τα οποία αποδεικνύουν σε όλες τις περιπτώσεις την ορθότητα των αποφάσεών του.

1. Ο πράκτορας βρίσκεται σε σταυροδρόμι τύπου (T). Αριστερά του υπάρχουν δύο κουκκίδες, δεξιά του τέσσερις και από την κάτω μεριά το φάντασμα.

Η Εικόνα 13 παρουσιάζει το αποτέλεσμα:

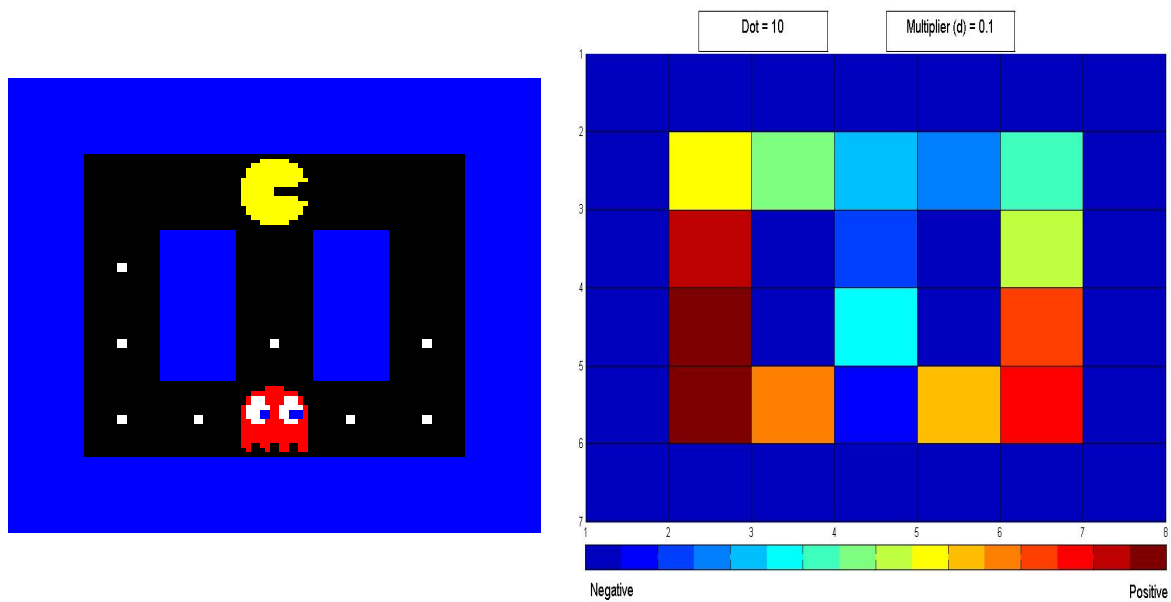


Εικόνα 13. Περίπτωση με κουκκίδες δεξιά και αριστερά και φάντασμα από κάτω. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Είναι ξεκάθαρο ότι πράκτορας δεν θα κινηθεί προς τα κάτω, αλλά προς τα δεξιά, πρώτον για να αποφύγει το φάντασμα και δεύτερον γιατί προς εκείνη την κατεύθυνση υπάρχουν περισσότερες κουκκίδες.

2. Ο pacman βρίσκεται στο ίδιο σταυροδρόμι, αριστερά και δεξιά του υπάρχουν κουκκίδες αλλά με διαφορετικές αποστάσεις και τέλος στο κάτω μέρος της πίστας και στην ίδια ευθεία με τον pacman παραμονεύει το φάντασμα. Ενδιαφέρουσα περίπτωση γιατί υπάρχει και μια κουκκίδα ακριβώς ανάμεσα τους.

Η Εικόνα 14 αποδεικνύει ότι η επιλογή του πράκτορα είναι η σωστή.

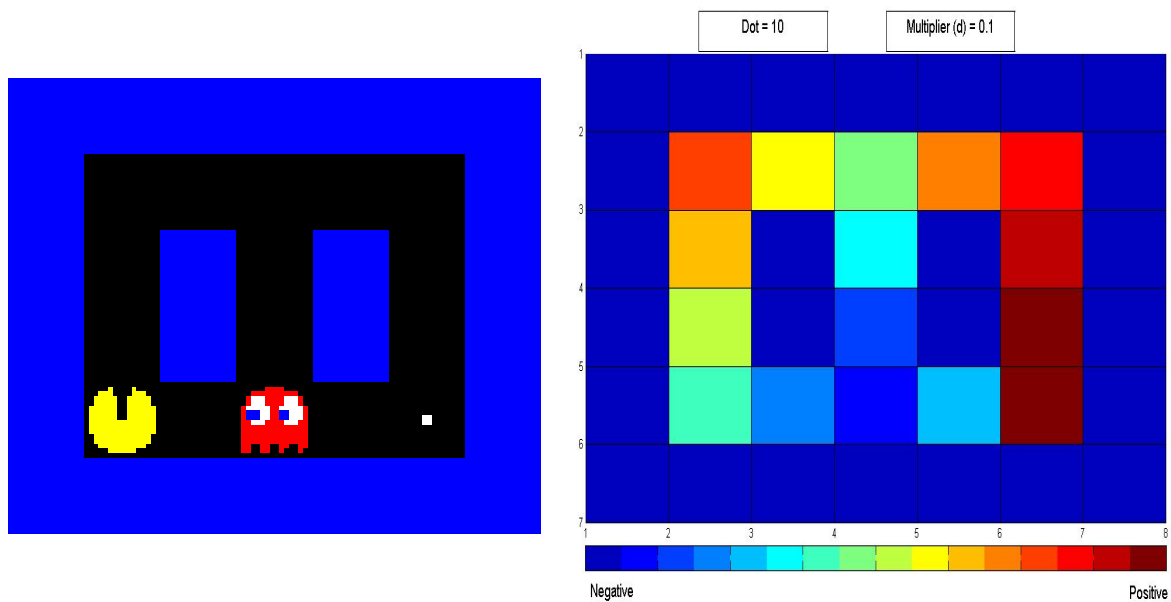


Εικόνα 14. Περίπτωση με κουκκίδες αριστερά, δεξιά και κάτω μαζί με φάντασμα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η κουκκίδα που βρίσκεται ανάμεσά τους είναι η πλησιέστερη, παρόλα αυτά ο πράκτορας δείχνει να αδιαφορεί προς το παρόν για την ύπαρξή της, αφού δίπλα ακριβώς ελλοχεύει το φάντασμα. Κατά συνέπεια, θα κινηθεί προς την δεύτερη πλησιέστερη, η οποία βρίσκεται στα αριστερά του.

3. Τρίτη και δυσκολότερη περίπτωση, αυτή στην οποία μεταξύ του pacman και της κουκκίδας μεσολαβεί το φάντασμα. Ενώ όλα δείχνουν ότι η απόσταση της κουκκίδας δεν είναι μεγάλη, ο πράκτορας επιλέγει το μακρύτερο μονοπάτι προς αυτήν, προκειμένου να αποφύγει το φάντασμα.

Για του λόγου το αληθές παρατίθεται η Εικόνα 15.



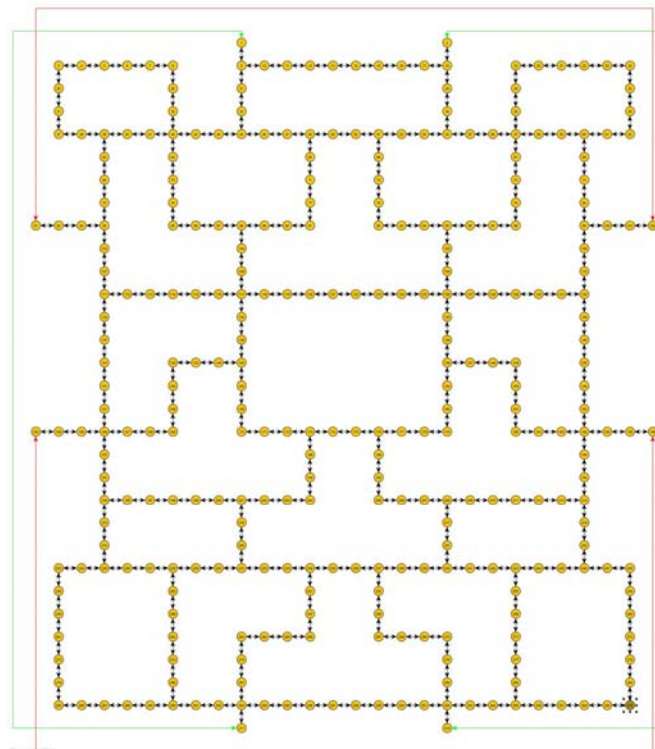
Εικόνα 15. Περίπτωση μιας κουκκίδας με φάντασμα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Ο αλγόριθμος στον συγκεκριμένο λαβύρινθο των 16 κόμβων, πέρασε με μεγάλη επιτυχία όλες τις δοκιμές, οι οποίες ήταν προφανώς πολύ περισσότερες από τα παραπάνω παραδείγματα. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός, ότι στον εν λόγω γράφο ο πράκτορας δεν έχασε ούτε μία φορά. Δεν έμενε λοιπόν παρά να δοκιμαστεί και σε έναν μεγαλύτερο γράφο και για την ακρίβεια στον πρώτο λαβύρινθο (Εικόνα 3) του παιχνιδιού Ms Pac-Man. Η μοναδική διαφορά όσον αφορά τη μορφολογία του νέου λαβυρίνθου, έγκειται στην προσθήκη δύο τούνελ στο πάνω και κάτω μέρος του. Η προσθήκη θεωρήθηκε απαραίτητη για δύο λόγους. Πρώτον, για να ελεγχθεί η παραμετρική υλοποίηση του παιχνιδιού (στην περίπτωση που σκεφτεί κανείς να προσθέσει τούνελ πέρα από τις γνωστές πλευρές) και δεύτερον, για να δοκιμαστεί η διάχυση της ενέργειας σε πολλαπλούς διαδρόμους.

4.3.2 Γράφος 312 κόμβων

Τα πράγματα πλέον δυσκολεύουν, γιατί στο νέο γράφο υπάρχουν σταυροδρόμια όλων των τύπων ([+], [T], [L]), μακρύτεροι διάδρομοι, που όπως προαναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο παίζουν σημαντικό ρόλο στο βαθμό δυσκολίας μιας πίστας, “δυναμωτικές” κουκκίδες (power dots), αλλά το κυριότερο, τα φαντάσματα είναι πια τέσσερα.

Έτσι προκύπτει ένας νέος γράφος 312 κόμβων, ο οποίος παρατίθεται στο σχήμα 2.

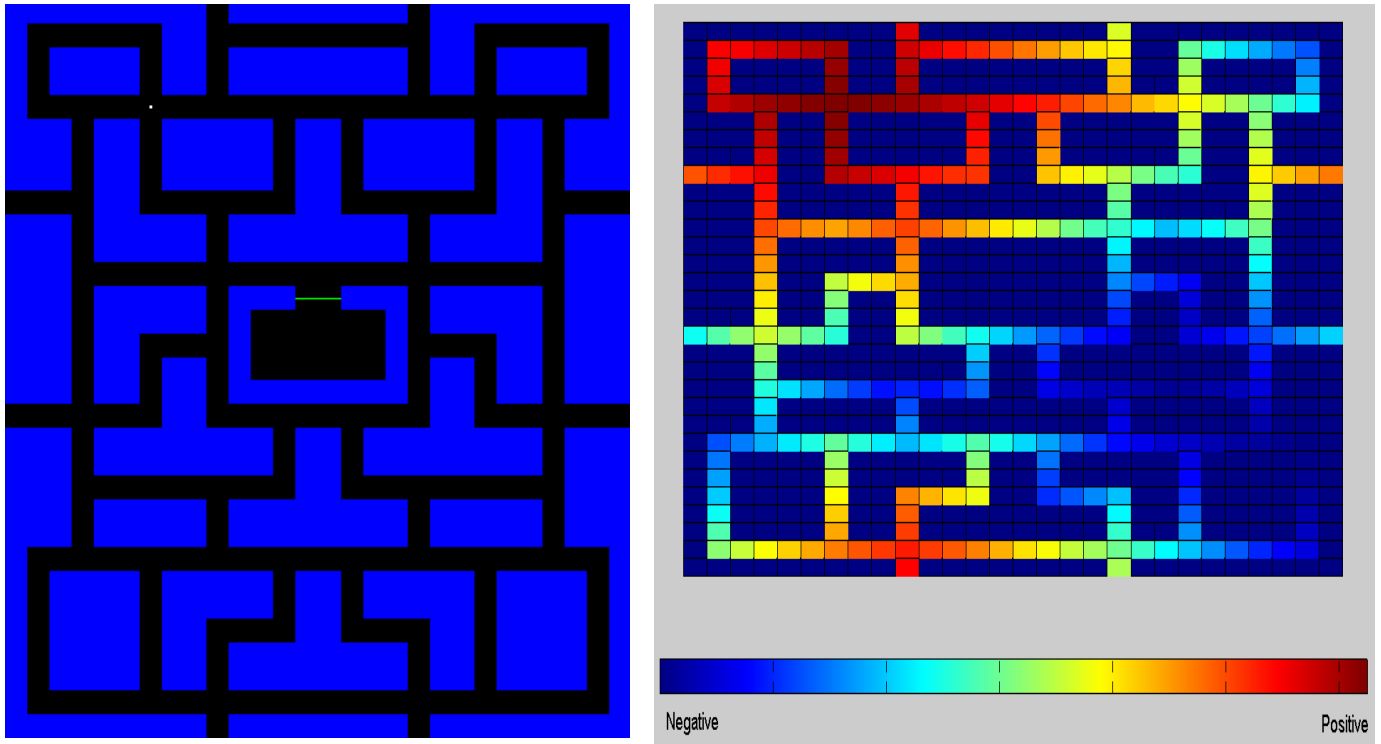


Σχήμα 2. Λαβύρινθος 312 κόμβων

Πλέον, οι γραμμικές εξισώσεις αλλάζουν και γίνονται 312, ακριβώς ίσες με τον αριθμό των κόμβων, οι πίνακες (A) και (A^{-1}) έχουν μέγεθος 312x312 και τα διανύσματα (x) και (b) έχουν μήκος 312. Μπορεί ο αριθμός των κόμβων να είναι πολύ μεγαλύτερος από πριν, αλλά το γεγονός αυτό επιφέρει τεράστια πλεονεκτήματα, γιατί μπορώ να έχω ανά πάσα στιγμή μια πλήρη εικόνα ολόκληρου του λαβυρίνθου. Έτσι η επίλυση του γραμμικού συστήματος $Ax = b \Rightarrow x = (A^{-1}) * (b)$ δημιουργεί το διάνυσμα (x) αποτελούμενο από τις τιμές των ενεργειών των αντίστοιχων κόμβων ολόκληρου του γράφου. Η διαδικασία είναι πια γνωστή και ίδια με πριν. Είμαι σε έναν οποιονδήποτε κόμβο, ελέγχω όλους τους γειτονικούς (τους οποίους τους γνωρίζω από το hash map),

βρίσκω αυτόν με τη μεγαλύτερη τιμή όσον αφορά την ενέργεια και κατευθύνομαι προς τα εκεί.

Αρχικά, όπως και στην περίπτωση του μικρού λαβυρίνθου, έπρεπε να εξεταστεί η διάχυση της ενέργειας μιας μόνο κουκκίδας. Έτσι, ξανά η πρώτη δοκιμή είχε τον ίδιο σκοπό και τα αποτελέσματά της παρατίθενται στην Εικόνα 16.

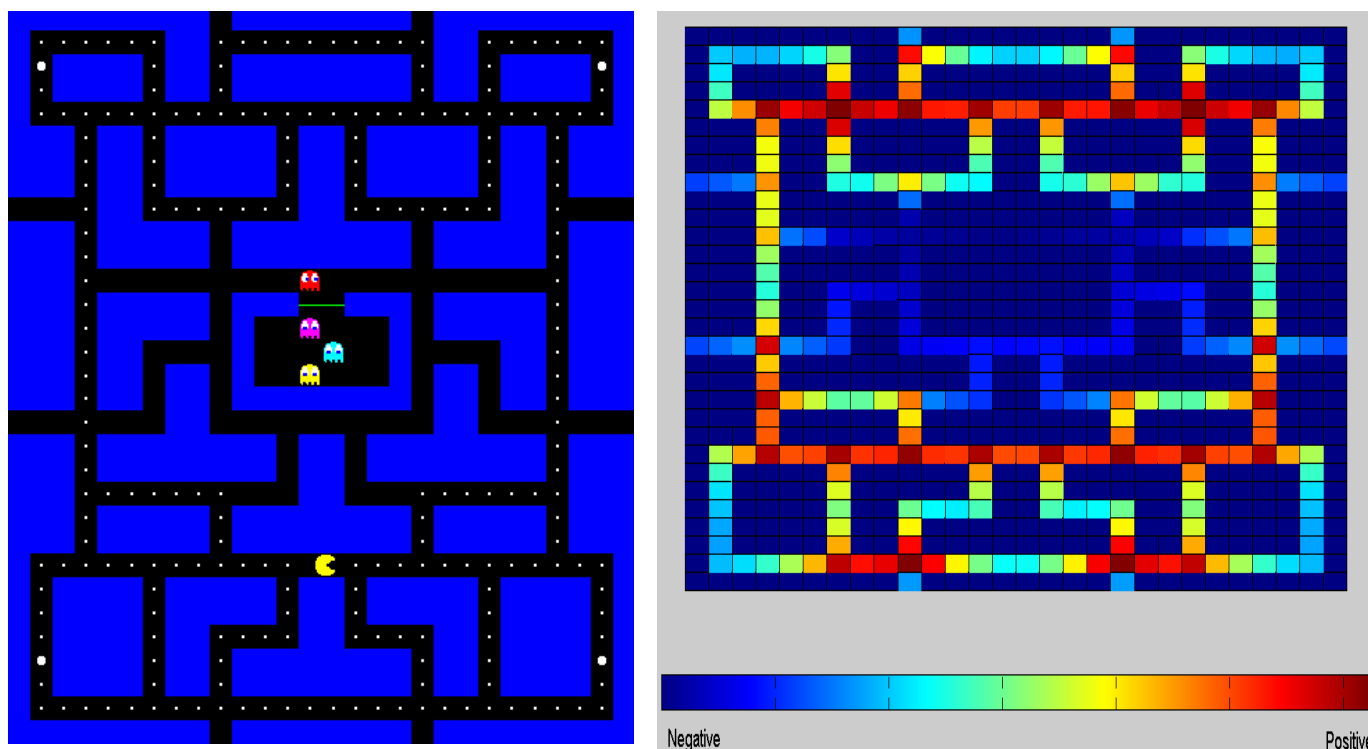


Εικόνα 16. Περίπτωση μιας κουκκίδας χωρίς φαντάσματα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Όπως γίνεται αντιληπτό, η διάχυση της ενέργειας μιας μόνο κουκκίδας καλύπτει όλο το μήκος του λαβυρίνθου με τα θερμά χρώματα να αναπαριστούν μεγάλα ποσά ενέργειας και τα ψυχρά το αντίθετο. Συνεπώς, έχοντας ως στόχο την μεγαλύτερη τιμή ενέργειας (σκούρο κόκκινο) και ακολουθώντας τον χρωματικό κώδικα, μπορεί κανείς να εντοπίσει ένα σύντομο μονοπάτι προς την κουκκίδα από οποιοδήποτε σημείο κι αν τοποθετήσει τον pacman.

Η δεύτερη περίπτωση, όπως και στον γράφο με τους 16 κόμβους απεικονίζει το σύνολο των ενεργειών στο ξεκίνημα του παιχνιδιού, δηλαδή με τον pacman και τα φαντάσματα στις αρχικές τους θέσεις και τον υπόλοιπο λαβύρινθο γεμάτο με κουκκίδες.

Η αρχική κατάσταση παρατίθεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Περίπτωση αρχικής κατάστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς στην εικόνα 17 είναι οι διαφορές στους χρωματισμούς όσον αφορά όλες τις περιοχές που περιέχουν κουκκίδες. Για παράδειγμα οι διάδρομοι στις τέσσερις γωνίες του λαβυρίνθου (αλλά και οι μικρότεροι στα υπόλοιπα σημεία), παρά το γεγονός ότι περιέχουν κουκκίδες, απεικονίζονται με ψυχρά χρώματα, ενώ κάποιος λογικά θα περίμενε ακριβώς το αντίθετο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κόμβοι των διαδρόμων έχουν μόνο δύο γειτονικούς, με αποτέλεσμα η ενέργεια που προστίθεται σε αυτούς να είναι μικρότερη σε σχέση με την ενέργεια που προστίθεται σε έναν κόμβο που βρίσκεται στο κέντρο ενός σταυροδρομίου τύπου (+), ή ακόμα και τύπου (T).

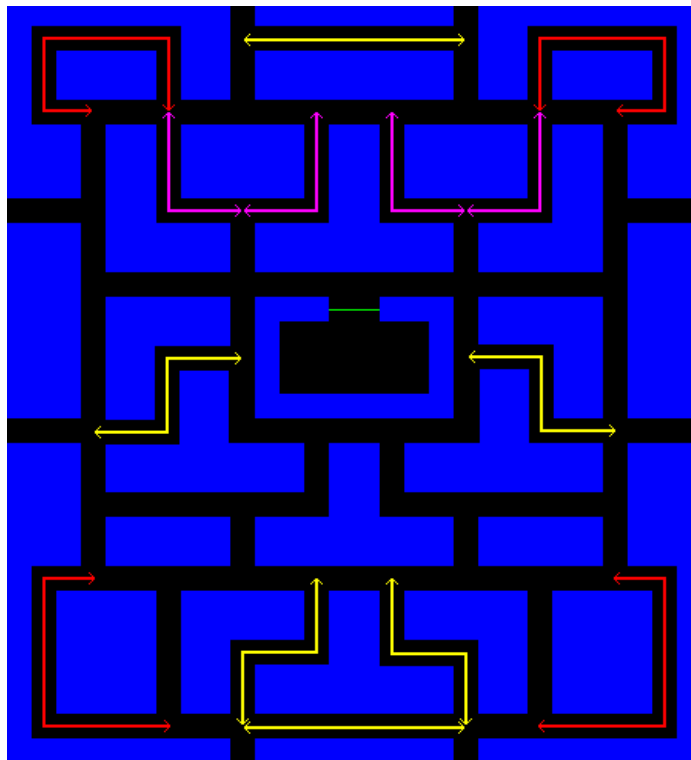
Το παιχνίδι γίνεται με το νέο γράφο αρκετά ρεαλιστικό, μιας και διαφέρει σε ελάχιστα σημεία από το γνήσιο. Όπως προαναφέρθηκε τα φαντάσματα είναι πια τέσσερα, υπάρχουν επίσης τέσσερις δυναμωτικές κουκκίδες που αντιστρέφουν τους κανόνες - αλλά δεν πρέπει να καταναλώνονται άσκοπα-, επικίνδυνες περιοχές (μεγάλοι διάδρομοι), καθώς επίσης και φρούτα τα οποία λειτουργούν ως "bonus" όσον αφορά τη βαθμολογία. Κατά συνέπεια, γεννιέται η ανάγκη για ένα καινούριο σετ ενεργειών με

περισσότερα χαρακτηριστικά αλλά και για συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες θα μεταβάλλουν κάθε τόσο το εν λόγω σετ. Οι πιο σημαντικές από αυτές αναλύονται παρακάτω:

- Η πρώτη σχετίζεται με τις δυναμωτικές κουκκίδες. Είναι πλέον γνωστό ότι με την κατανάλωσή τους αντιστρέφονται οι κανόνες του παιχνιδιού. Άρα, σ' αυτήν την περίπτωση οι ενέργειες των φαντασμάτων θα πρέπει να αλλάζουν και να γίνονται θετικές, μιας και η σύλληψη τους (ειδικά και των τεσσάρων) έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της βαθμολογίας. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να καταναλώνονται άσκοπα, παρά μόνο αν υπάρχουν και φαντάσματα στη γύρω περιοχή. Έτσι ορίζοντας ένα νοητό πλαίσιο γύρω από αυτές, μπορώ να γνωρίζω πότε υπάρχουν φαντάσματα και πότε όχι. Κατά συνέπεια, όσο δεν βρίσκονται φαντάσματα μέσα σ' αυτό το πλαίσιο, η “δυναμωτική” κουκκίδα θα έχει μια μικρή αρνητική ενέργεια, ενώ στην αντίθετη περίπτωση μια θετική.
- Δεύτερον, οι ενέργειες των φαντασμάτων θα πρέπει να έχουν άμεση σχέση με την απόστασή τους από τον πράκτορα. Αυτό είναι λογικό, διότι ένα φάντασμα που βρίσκεται αρκετά μακριά είναι λιγότερο επικίνδυνο σε σχέση με κάποιο άλλο το οποίο απέχει δύο ή και τρεις κόμβους από τον pacman. Το ερώτημα είναι ποια θα είναι η μέγιστη τιμή της αρνητικής ενέργειας. Έτσι προκύπτει η επόμενη συνθήκη
- Τρίτον, σημαντικό ρόλο έχουν και οι διάδρομοι (ή αλλιώς, οι επικίνδυνες περιοχές) και για την ακρίβεια αυτοί με το μεγαλύτερο μήκος. Όσοι περιέχουν κουκκίδες αποτελούν αναγκαίο κακό, οι υπόλοιποι καλό θα ήταν να χαρακτηριστούν με κάποιο τρόπο ως σημεία προς αποφυγή. Αυτό επιτυγχάνεται δίνοντας μια μικρή θετική ενέργεια στα σταυροδρόμια όλων των τύπων. Η επιλογή των τιμών θα πρέπει να γίνεται πάντα με σεβασμό προς την ενέργεια της κουκκίδας, γιατί διαφορετικά ο πράκτορας θα αγνοεί την ύπαρξή της.

Το πώς μπορεί ένας διάδρομος να επηρεάσει την ενέργεια των φαντασμάτων, έγκειται αποκλειστικά στο μήκος του. Συνεπώς, το μήκος του μακρύτερου διαδρόμου καθορίζει και τη μέγιστη αρνητική ενέργεια που μπορούν να πάρουν τα φαντάσματα. Έτσι, εάν ο μακρύτερος διάδρομος έχει για παράδειγμα μήκος 15 κόμβων, πρέπει να βρεθεί αντίστοιχα και η μέγιστη αρνητική ενέργεια ενός φαντάσματος που θα απέχει 15 κόμβους από τον pacman.

Στο συγκεκριμένο λαβύρινθο, ο πιο μακρύς διάδρομος έχει μήκος δώδεκα κόμβων (Εικόνα 18, κόκκινη γραμμή) και η τιμή αυτή προκύπτει μετρώντας τις αποστάσεις μεταξύ δύο γειτονικών σταυροδρομιών.



Εικόνα18. Καταμέτρηση μήκους (σε κόμβους) των μακρύτερων διαδρόμων της πρώτης πίστας

Πιο συγκεκριμένα:

κόκκινη γραμμή → 12 κόμβοι

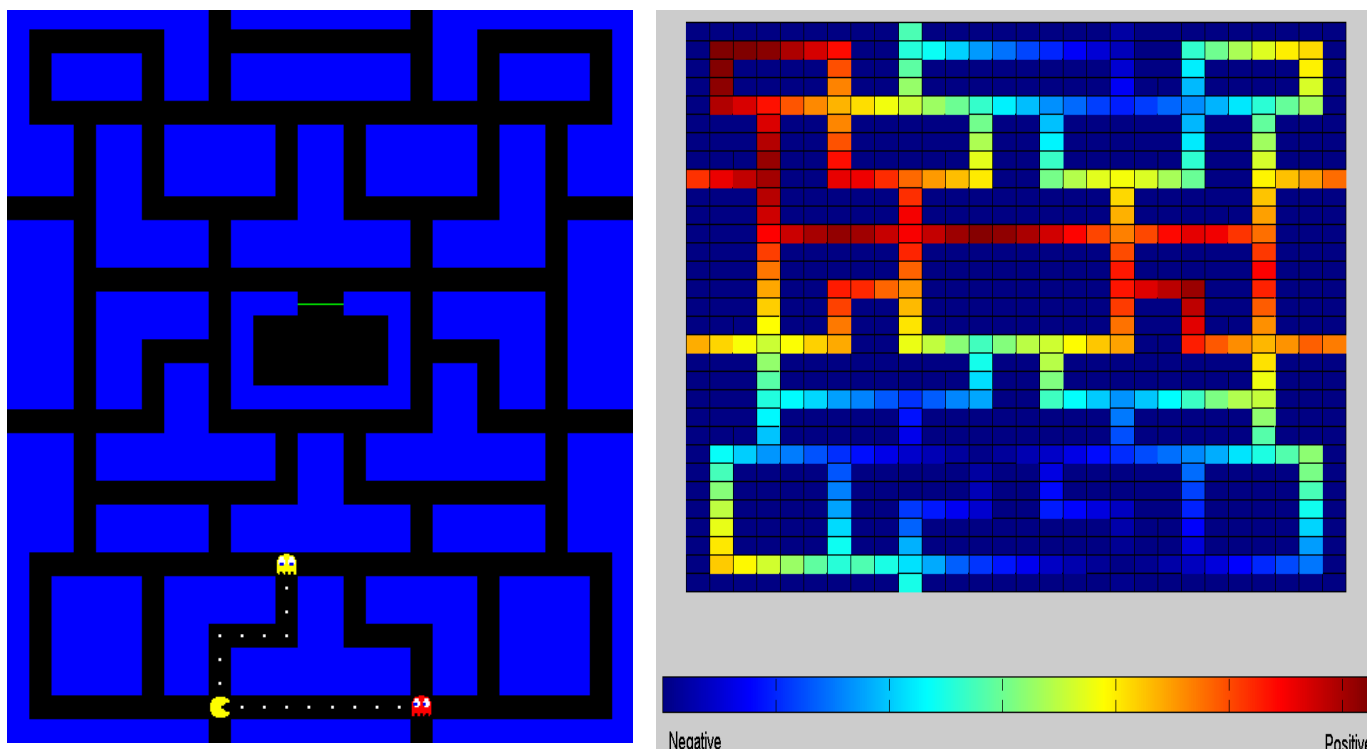
κίτρινη γραμμή → 9 κόμβοι

και μοβ γραμμή → 7 κόμβοι

Το ζητούμενο πλέον ήταν να αναπτυχθεί μια στρατηγική με τη βοήθεια των προαναφερθέντων συνθηκών, βάσει της οποίας ο pacman αρχικά να αποφεύγει την περίπτωση παγίδευσής του στους διαδρόμους και στη συνέχεια να φέρνει τα φαντάσματα από πίσω του, έτσι ώστε το οπτικό του πεδίο να περιέχει μόνο κουκκίδες. Για το συγκεκριμένο σκοπό, έπρεπε να καθοριστούν ζευγάρια απόστασης/ενέργειας για τα φαντάσματα, τόσα, όσα και το μήκος του μακρύτερου διαδρόμου.

Τα πειράματα ξεκίνησαν τοποθετώντας τα φαντάσματα σε συγκεκριμένα σημεία με κατάλληλες αποστάσεις, έτσι ώστε να βρεθούν αντίστοιχα κατάλληλες αρνητικές τιμές. Έτσι η πρώτη δοκιμή έγινε με δύο φαντάσματα (αφού τόσα χρειάζονται για να παγιδεύσουν τον pacman μέσα σε ένα διάδρομο), με ίσες αποστάσεις από τον πράκτορα (9 κόμβοι).

Η Εικόνα 19 που ακολουθεί θα κάνει το ζητούμενο περισσότερο κατανοητό.

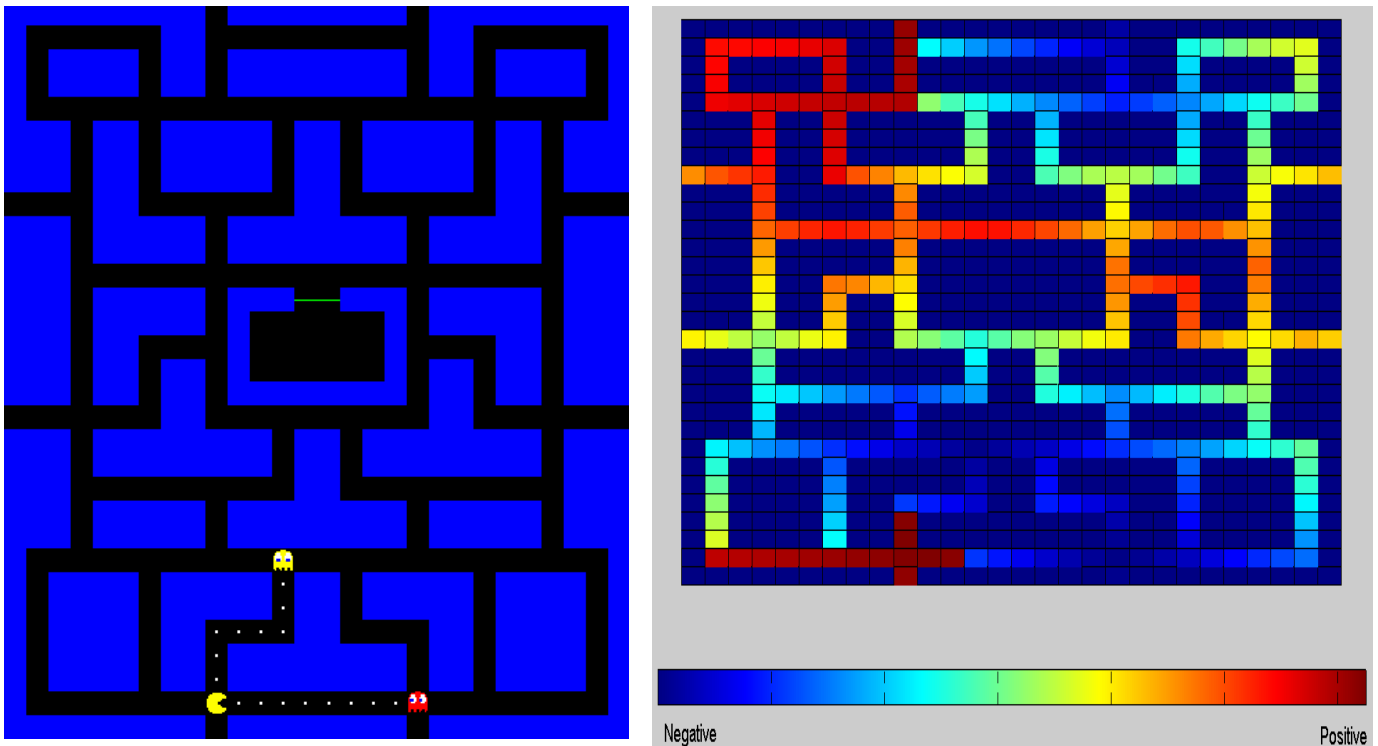


Εικόνα 19. Περίπτωση δύο φαντάσμάτων με ίση απόσταση από τον pacman και ενέργεια αντίστοιχη της απόστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Από την εικόνα της διάχυσης της ενέργειας προκύπτει το εξής. Ο πράκτορας δεν θα κινηθεί ούτε δεξιά ούτε προς τα πάνω γιατί έτσι κινδυνεύει να παγιδευτεί μέσα στο διάδρομο. Φαινομενικά σωστό, όμως στην προκειμένη περίπτωση αλλά και σε αντίστοιχες, δηλαδή σε περιπτώσεις που τα φαντάσματα ισαπέχουν (η απόσταση μετριέται πάντα σε κόμβους), δεν ισχύει, αφού θα προλάβει να καταναλώσει πρώτα μερικές κουκκίδες (είτε από δεξιά, είτε από πάνω), να πλησιάσει ένα από τα δύο φαντάσματα και έπειτα να αλλάξει κατεύθυνση χωρίς να παγιδευτεί μέσα στο διάδρομο. Η συγκεκριμένη λογική επιφέρει δύο πλεονεκτήματα, πρώτον μπορώ να καταναλώσω μερικές κουκκίδες, ενώ φαινομενικά δεν θα μπορούσα, και δεύτερο και βασικότερο, αφού κινηθώ βάσει λογικής, όταν πλέον θα βγω από το διάδρομο, και τα δύο φαντάσματα θα βρίσκονται πίσω μου (πολύ πιθανόν στον ίδιο ακριβώς κόμβο), γεγονός που αποδεικνύει την επιτυχία της προαναφερθείσας στρατηγικής.

Κατά συνέπεια, εάν τα φαντάσματα ισαπέχουν, θα πρέπει να έχουν τόση αρνητική ενέργεια, έτσι ώστε να επιτρέπουν στον pacman να τα πλησιάζει, αλλά όχι να ρισκάρει μια απώλεια ζωής.

Από την παραπάνω λογική, προέκυψε η δεύτερη δοκιμή η οποία εξέταζε την ίδια περίπτωση με πριν, αλλά με διαφορετικές ενέργειες για τα φαντάσματα (Εικόνα 20).



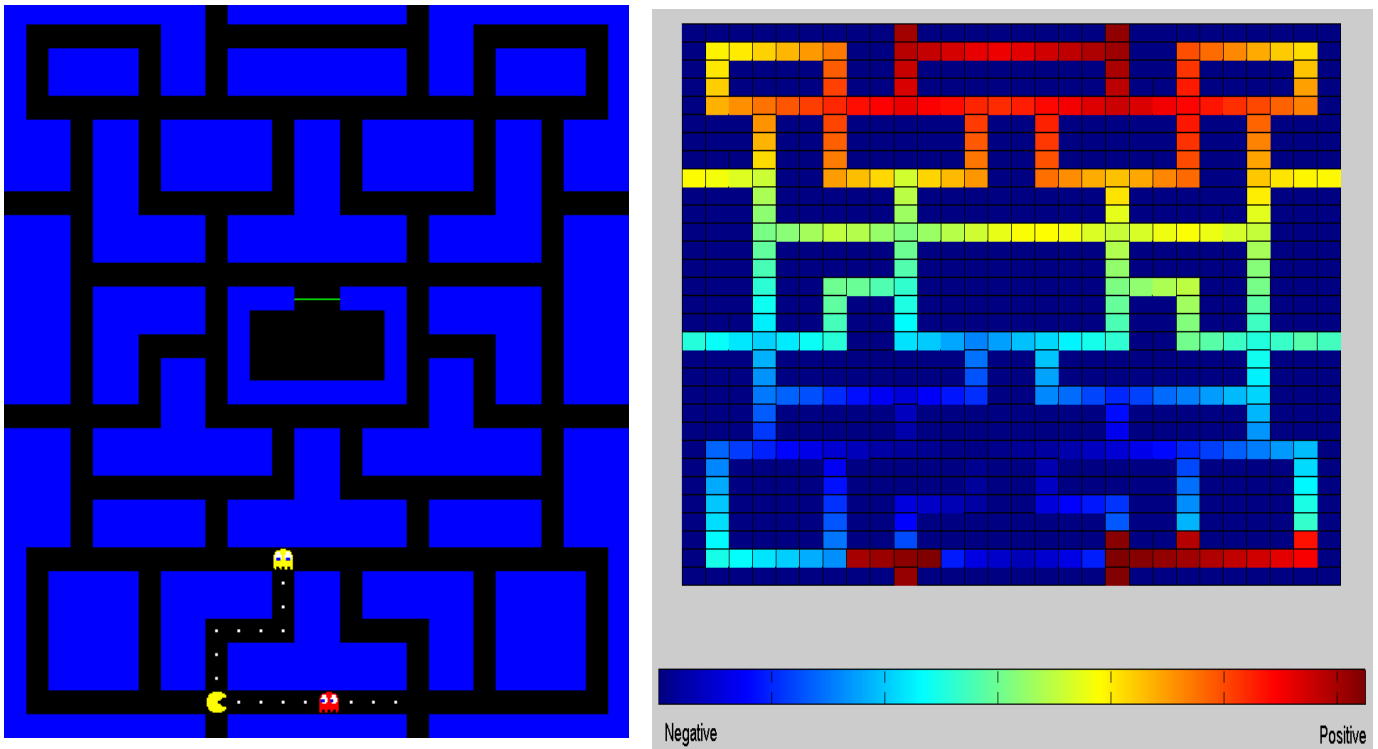
Εικόνα 20. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με ίση απόσταση από τον pacman και ενέργεια μικρότερη από την αντίστοιχη της απόστασης. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα όπως γίνεται αντιληπτό και από την εικόνα της διάχυσης, ο πράκτορας μπορεί πλέον να εντοπίσει τις κουκκίδες που υπάρχουν ακριβώς δίπλα του, αφού πρώτον, τα φαντάσματα βρίσκονται αρκετά μακριά, αλλά και δεύτερον, αυτά έχουν ενέργεια μικρότερη από αυτήν που αντιστοιχεί στην απόσταση των εννέα κόμβων. Με άλλα λόγια αν δύο φαντάσματα ισαπέχουν από τον πράκτορα, θα πρέπει να έχουν ενέργεια αντίστοιχη με την απόστασή τους μειωμένη κατά έναν κόμβο (στην προκειμένη οκτώ κόμβοι). Κατά συνέπεια αν δύο φαντάσματα ισαπέχουν με απόσταση οκτώ κόμβων, θα παίρνουν ενέργεια που αντιστοιχεί σε απόσταση επτά κόμβων, αν ισαπέχουν με απόσταση επτά κόμβων, θα παίρνουν ενέργεια που αντιστοιχεί σε απόσταση έξι κόμβων, κ.ο.κ.

Από τη συγκεκριμένη λογική όμως γεννιούνται τα εξής ερωτήματα: Τι γίνεται στην περίπτωση που τα φαντάσματα δεν ισαπέχουν, αλλά και μέχρι πιο σημείο επιτρέπεται στον πράκτορα να πλησιάζει τα φαντάσματα.

Το πρώτο ερώτημα απαντήθηκε προσθέτοντας στην αρχική λογική νέα δεδομένα. Έτσι αν δύο φαντάσματα πλέον δεν ισαπέχουν, αυτό με τη μικρότερη απόσταση θα παίρνει ενέργεια που αντιστοιχεί σε απόσταση $D-1$, όπου D η κανονική του απόσταση, ενώ το δεύτερο, δηλαδή αυτό που βρίσκεται πιο μακριά, θα παίρνει ενέργεια αντίστοιχη της πραγματικής του απόστασης.

Η Εικόνα 21, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της παραπάνω λογικής.



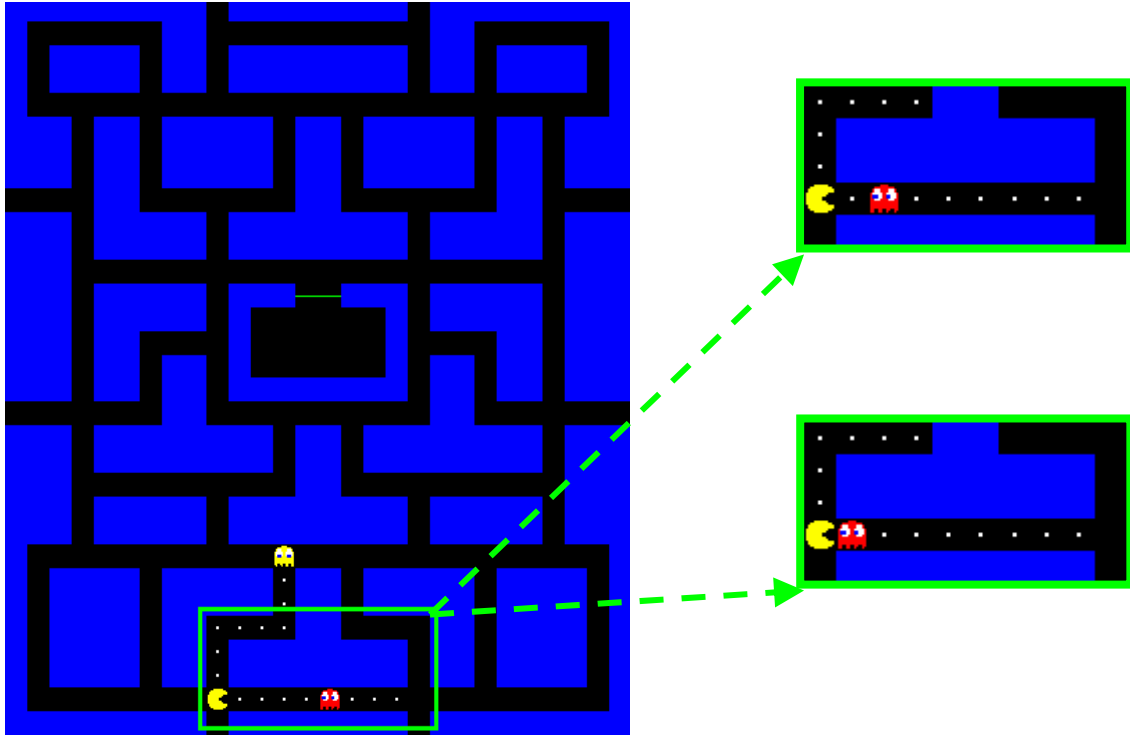
Εικόνα 21. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με διαφορετικές αποστάσεις από τον pacman. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας του αντίστοιχου στιγμιότυπου

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το κίτρινο φάντασμα απέχει εννέα κόμβους από τον pacman, ενώ το κόκκινο πέντε. Συνεπώς, βάσει της προηγούμενης λογικής το πρώτο φάντασμα θα έχει ενέργεια που αντιστοιχεί σε απόσταση εννέα κόμβων, ενώ το δεύτερο θα πάρει ενέργεια αντίστοιχη των τεσσάρων κόμβων. Όπως προκύπτει και από την εικόνα της διάχυσης, ο πράκτορας δεν θα κινηθεί προς τα πάνω (γιατί έτσι σίγουρα θα παγιδευτεί), αλλά προς τα δεξιά καταναλώνοντας αρχικά μία κουκκίδα και στη συνέχεια αλλάζοντας κατεύθυνση αποφεύγοντας πλέον και τα δύο φαντάσματα.

Απομένει πλέον το δεύτερο ερώτημα και τα πράγματα αρχίζουν να δρομολογούνται. Για να το απαντήσει κανείς, αρκεί να σκεφτεί τους κανόνες του παιχνιδιού. Έτσι ο βασικός στόχος μπορεί να είναι η ολοκληρωμένη κατανάλωση των κουκκίδων, αλλά

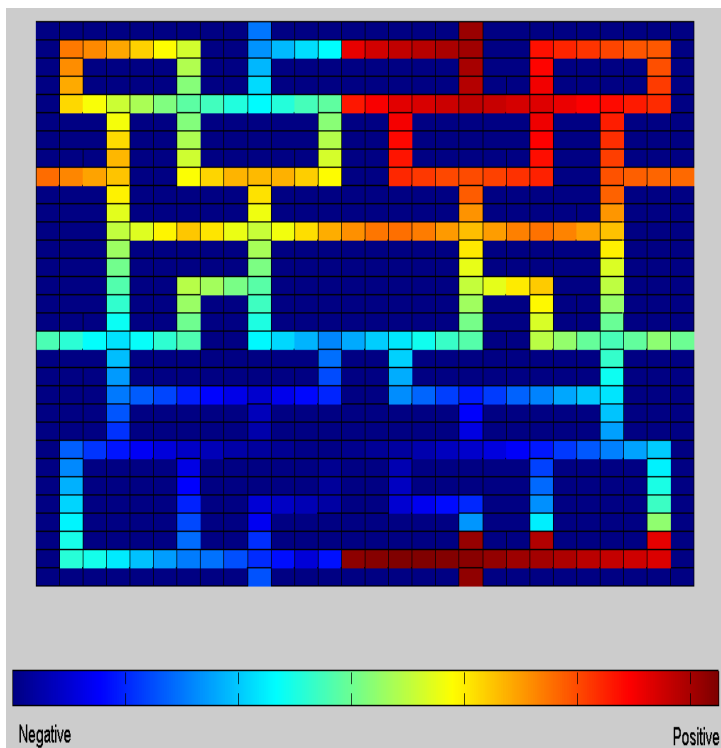
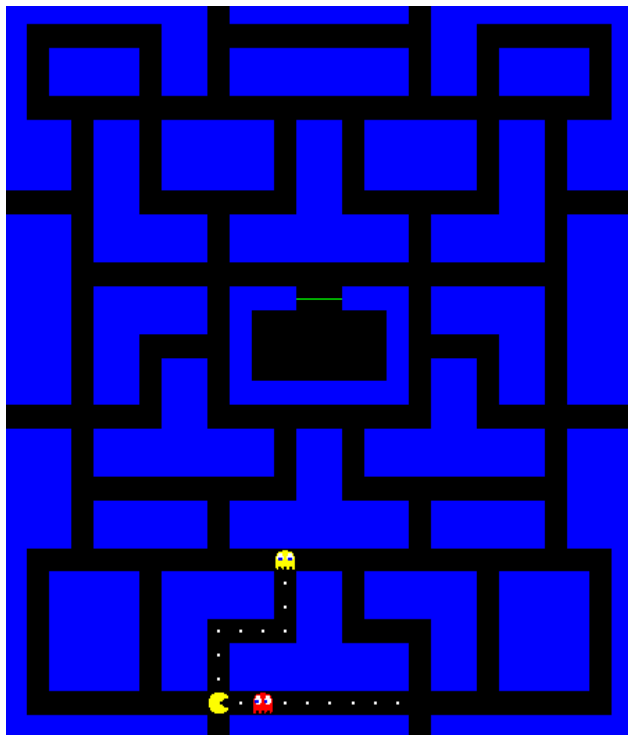
αυτό πρέπει να γίνεται αποφεύγοντας την επαφή με τα φαντάσματα. Κατά συνέπεια, αν ένα φάντασμα κυνηγάει τον pacman και απέχει από αυτόν έναν ή το πολύ δύο κόμβους, τότε η αλλαγή πορείας του πράκτορα προς το φάντασμα θα έχει σαν αποτέλεσμα σίγουρη απώλεια ζωής.

Η Εικόνα 22 παρουσιάζει τις εν λόγω περιπτώσεις.

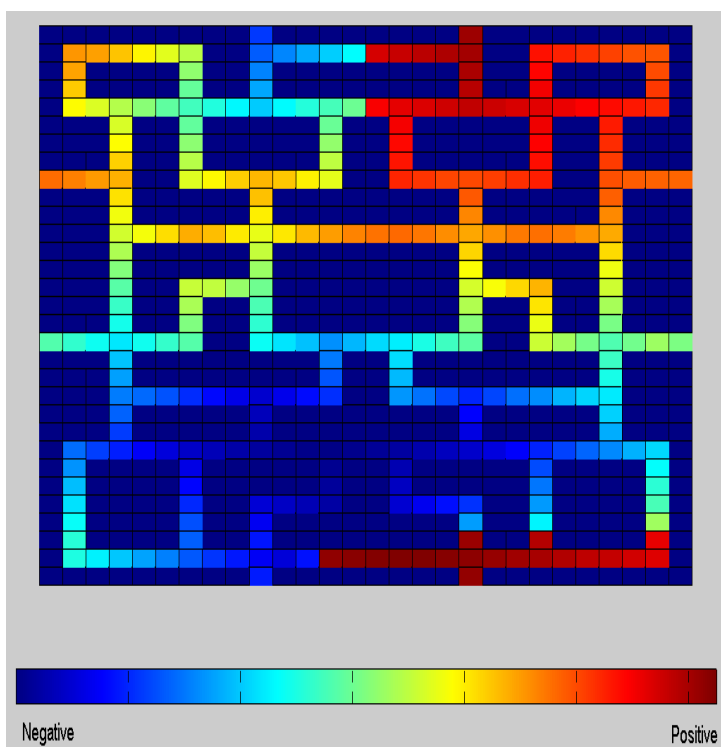
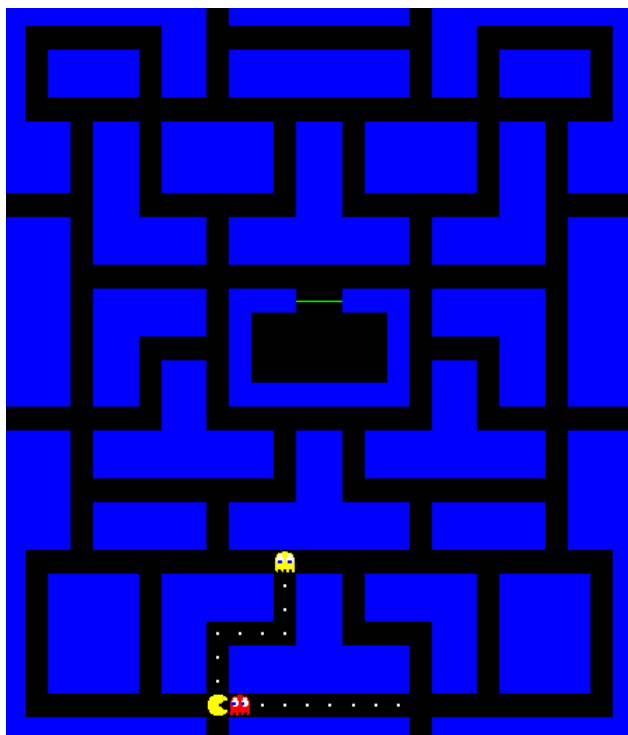


Εικόνα 22. Περιπτώσεις ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης ενός φαντάσματος από τον πράκτορα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά πάνω: απόσταση δύο κόμβων του φαντάσματος από τον pacman και δεξιά κάτω: απόσταση ενός κόμβου του φαντάσματος από τον pacman

Για του λόγου το αληθές παρατίθενται τα επόμενα δύο ζευγάρια εικόνων (Εικόνα 23 και Εικόνα 24).



Εικόνα 23. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με διαφορετικές αποστάσεις (9 και 2 κόμβοι). Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας



Εικόνα 24. Περίπτωση δύο φαντασμάτων με διαφορετικές αποστάσεις (9 και 1 κόμβοι). Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

Και στις δύο περιπτώσεις ο πράκτορας προφανώς δεν θα κινηθεί προς τα δεξιά, αλλά ούτε προς τα πάνω, αφού η συγκεκριμένη επιλογή θα είχε ως αποτέλεσμα μια απώλεια ζωής λόγω της παγίδευσής του. Αν τώρα το πιο κοντινό φάντασμα έχει απόσταση μεγαλύτερη των δύο κόμβων και δεν υπάρχουν άλλα στη γύρω περιοχή, αυτό θα έχει ενέργεια ίση μ'αυτήν που αντιστοιχεί στη απόστασή του από τον pacman μειωμένη κατά έναν κόμβο. Αυτό σημαίνει ότι εάν ένα φάντασμα απέχει για παράδειγμα τρεις κόμβους αριστερά από τον πράκτορα, ο τελευταίος θα πρέπει να κάνει μία και μόνο μία κίνηση προς το φάντασμα, έτσι ώστε να το φέρει ακριβώς από πίσω του, μιας και αυτό αποτελεί το τέλειο αποτέλεσμα της εν λόγω στρατηγικής.

Ανακεφαλαιώνοντας, τα φαντάσματα θα πρέπει να έχουν ενέργεια ανάλογη της απόστασής τους από τον pacman. Η μέγιστη απόσταση (MAX) καθορίζεται από το μήκος του μακρύτερου διαδρόμου. Όσο η απόσταση των φαντασμάτων κυμαίνεται μεταξύ ενός και MAX κόμβων, τα φαντάσματα θα έχουν ανάλογη ενέργεια σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, στην αντίθετη περίπτωση τα φαντάσματα θα έχουν πολλή μικρή αρνητική ενέργεια, ή ακόμα και μηδενική.

Έτσι προκύπτει ο Πίνακας 1 με όλα τα ζευγάρια απόστασης και ενέργειας.

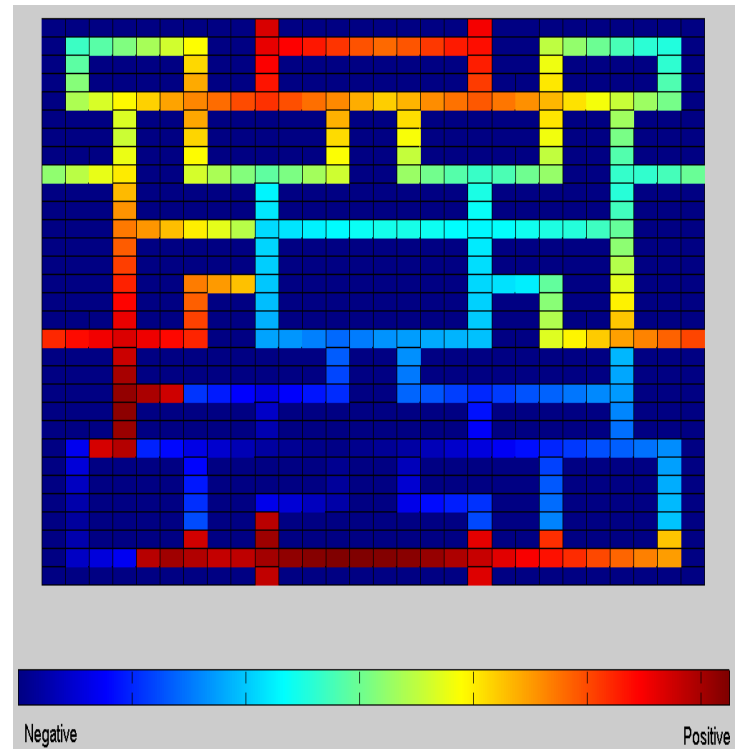
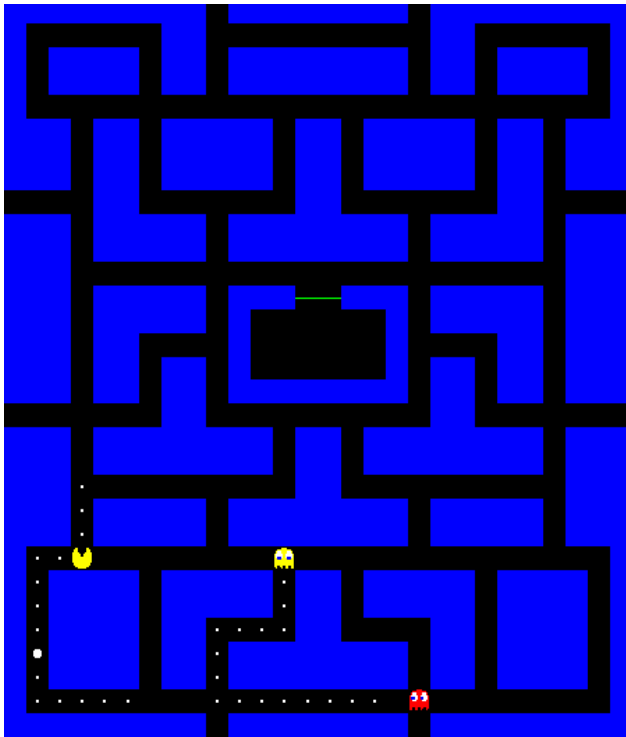
Απόσταση (σε κόμβους)	Ενέργεια φαντάσματος	
	χωρίς συνθήκη	υπό συνθήκη
1	-0.0002	-0.2
2	-0.02	-0.2
3	-0.2	-0.02
4	-2	-0.2
5	-11	-2
6	-106	-11
7	-1047	-106
8	-10359	-1047
9	-100445	-10359
10	-1015230	-100445
11	-10050000	-1015230
12	-110000000	-10050000
>12	0	

Πίνακας 1. Ζευγάρια απόστασης και ενέργειας

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα, οι τιμές για τις ενέργειες αυξάνονται ανάλογα με την απόσταση των φαντασμάτων από τον πράκτορα. Αυτό είναι λογικό, γιατί αν κάποιο φάντασμα βρίσκεται κοντά στον pacman (1-3 κόμβοι), θα πρέπει να έχει τόση αρνητική ενέργεια, έτσι ώστε να μην επηρεάζει τις κινήσεις του πράκτορα που ακολουθούν (ειδικά στην περίπτωση που βρίσκεται από πίσω του). Επιπρόσθετα, η συνθήκη που αναφέρεται στον πίνακα σχετίζεται με τον αριθμό των φαντασμάτων, των οποίων η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 1 και MAX κόμβων. Κατά συνέπεια, εάν η απόσταση ενός μόνο φαντάσματος είναι μικρότερη του MAX, τότε αυτό παίρνει ενέργεια υπό συνθήκη. Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα φαντάσματα (μεταξύ ενός και MAX κόμβων), αυτό με τη μικρότερη απόσταση παίρνει ενέργεια υπό συνθήκη, ενώ τα άλλα όχι και στην περίπτωση που δύο ή περισσότερα φαντάσματα ισαπέχουν, τότε αυτά δέχονται ενέργεια πάλι υπό συνθήκη. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες τιμές ενέργειας ισχύουν για όλους τους λαβυρίνθους, με την προϋπόθεση ότι ο μακρύτερος διάδρομός τους ισούται με MAX κόμβους. Εάν είναι μικρότερος, αρκεί να οριστεί μια νέα τιμή MAX (μικρότερη του 12), ενώ στην περίπτωση που ο διάδρομος είναι μακρύτερος, τότε προφανώς και τα ζευγάρια απόστασης/ενέργειας θα πρέπει να είναι περισσότερα

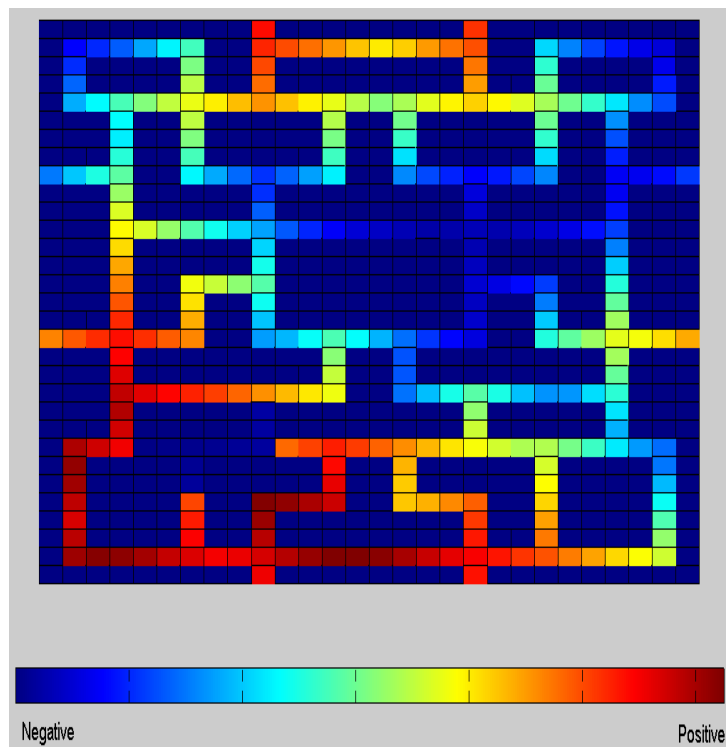
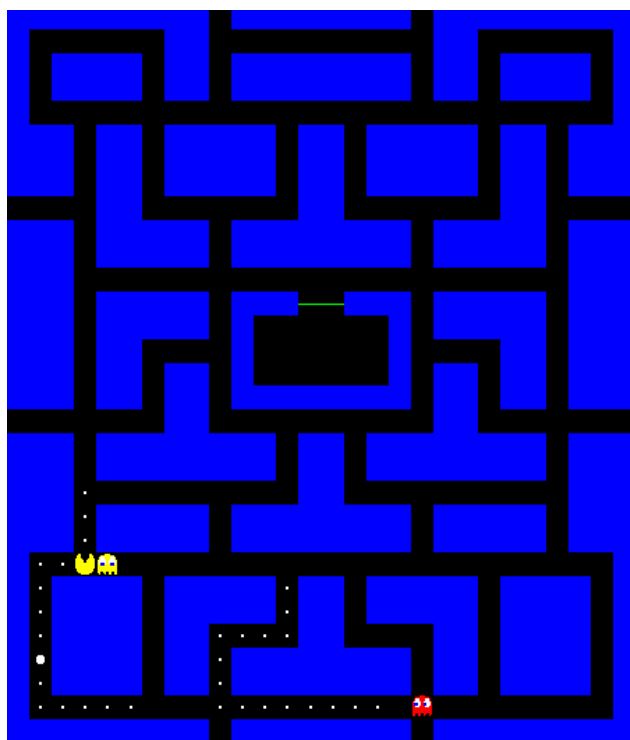
Το πρόβλημα με τις ενέργειες των φαντασμάτων είχε πλέον λυθεί. Έμεινε αυτό των “δυναμωτικών” κουκκίδων (power dots) και αυτό των σταυροδρομιών.

Το πρώτο αντιμετωπίστηκε, όπως προαναφέρθηκε, ορίζοντας ένα νοητό πλαίσιο γύρω από αυτές. Κατά συνέπεια όσο τα φαντάσματα δεν θα βρίσκονταν την ίδια στιγμή με τον pacman μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η “δυναμωτική” κουκκίδα θα είχε μια μικρή αρνητική ενέργεια, ενώ στην αντίθετη περίπτωση μια θετική. Οι δύο εκδοχές παρατίθενται αντίστοιχα στις εικόνες 25 και 26.



Εικόνα 25. Περίπτωση δυναμωτικής κουκκίδας με αρνητική ενέργεια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

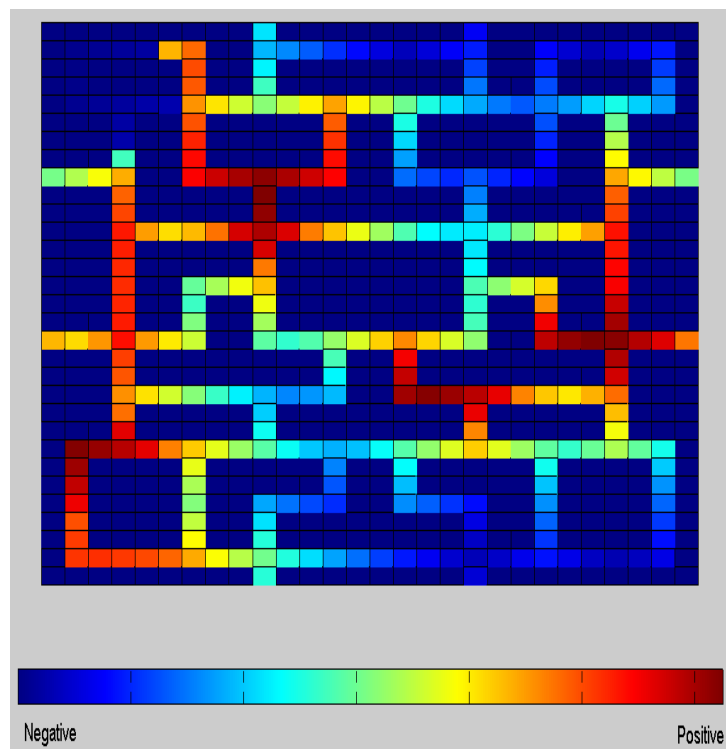
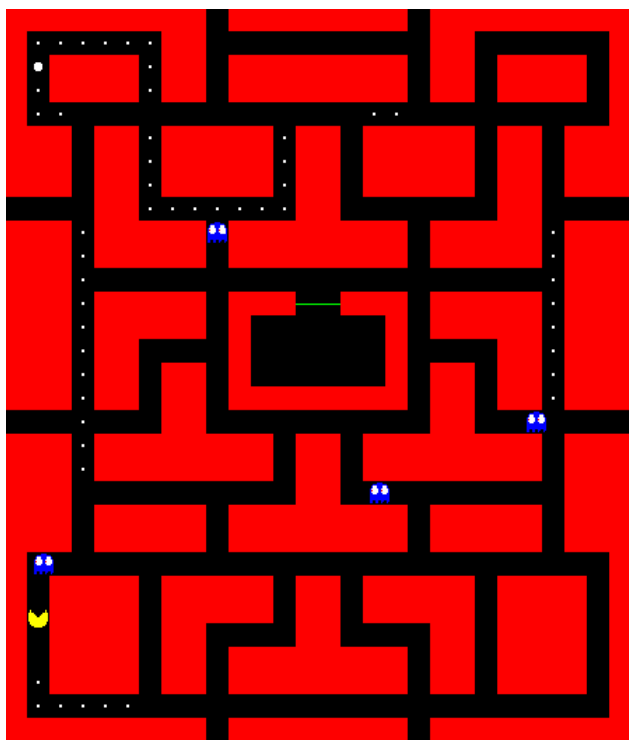
Στην παραπάνω εικόνα μπορεί να παρατηρήσει κανείς, ότι πάνω από τον pacman υπάρχουν τρεις κουκκίδες, ενώ από αριστερά του περισσότερες. Παρόλα αυτά ο πράκτορας επιλέγει να κατευθυνθεί προς τα πάνω μόνο και μόνο για να μην προβεί σε μια άσκοπη κατανάλωση του power dot.



Εικόνα 26. Περίπτωση δυναμωτικής κουκκίδας με θετική ενέργεια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

Εδώ οι συνθήκες είναι διαφορετικές γιατί στην κοντινή περιοχή του power dot υπάρχουν ο πράκτορας, αλλά και ένα φάντασμα. Κατά συνέπεια ο pacman θα κατευθυνθεί προς τα αριστερά, παρόλο που αυτό δεν είναι εμφανές από την εικόνα της διάχυσης της ενέργειας.

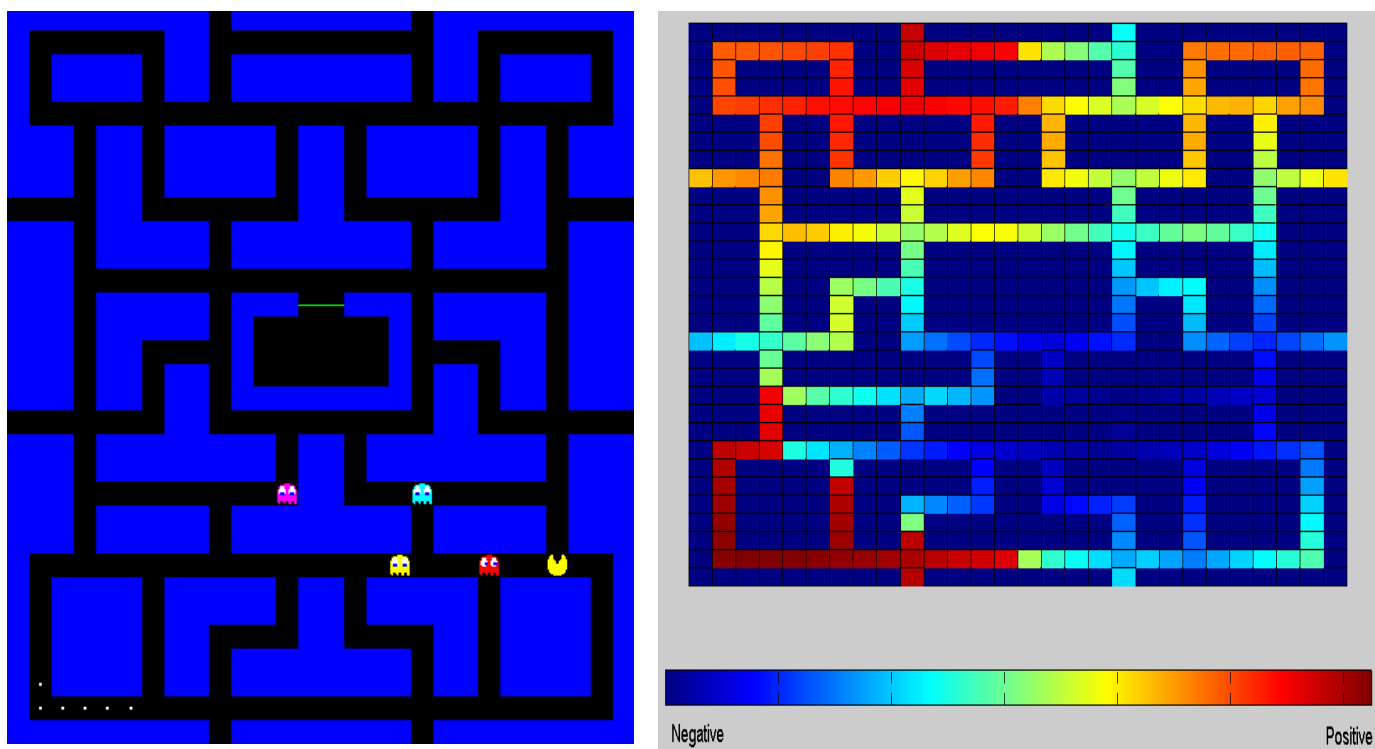
Όσον αφορά τις ενέργειες που παίρνουν τα φαντάσματα μετά την ενεργοποίηση ενός power dot, έχει προαναφερθεί ότι αυτές γίνονται θετικές, αφού η κατανάλωση και των τεσσάρων φαντασμάτων στη σειρά έχει αξία 3000 πόντους! Η τιμή της θετικής ενέργειας δεν θα έπρεπε να ήταν πολλή μεγάλη, γιατί έτσι ο πράκτορας θα κυνηγούσε κατά μήκος του λαβυρίνθου τα φαντάσματα, με αποτέλεσμα να αφήνει διάσπαρτες κουκκίδες παντού. Γεγονός που δεν είναι καθόλου επιθυμητό ούτε καν από ανθρώπινους χρήστες. Έτσι μετά από δοκιμές, προέκυψε η κατάλληλη θετική τιμή για την ενέργεια κάθε φαντάσματος σε κατάσταση “scared”, να είναι ίση με 10. Η Εικόνα 27 παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο μετά από κατανάλωση “δυναμωτικής κουκκίδας”, αλλά και το αποτέλεσμα της διάχυσης.



Εικόνα 27. Περίπτωση μετά από κατανάλωση δυναμωτικής κουκκίδας Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

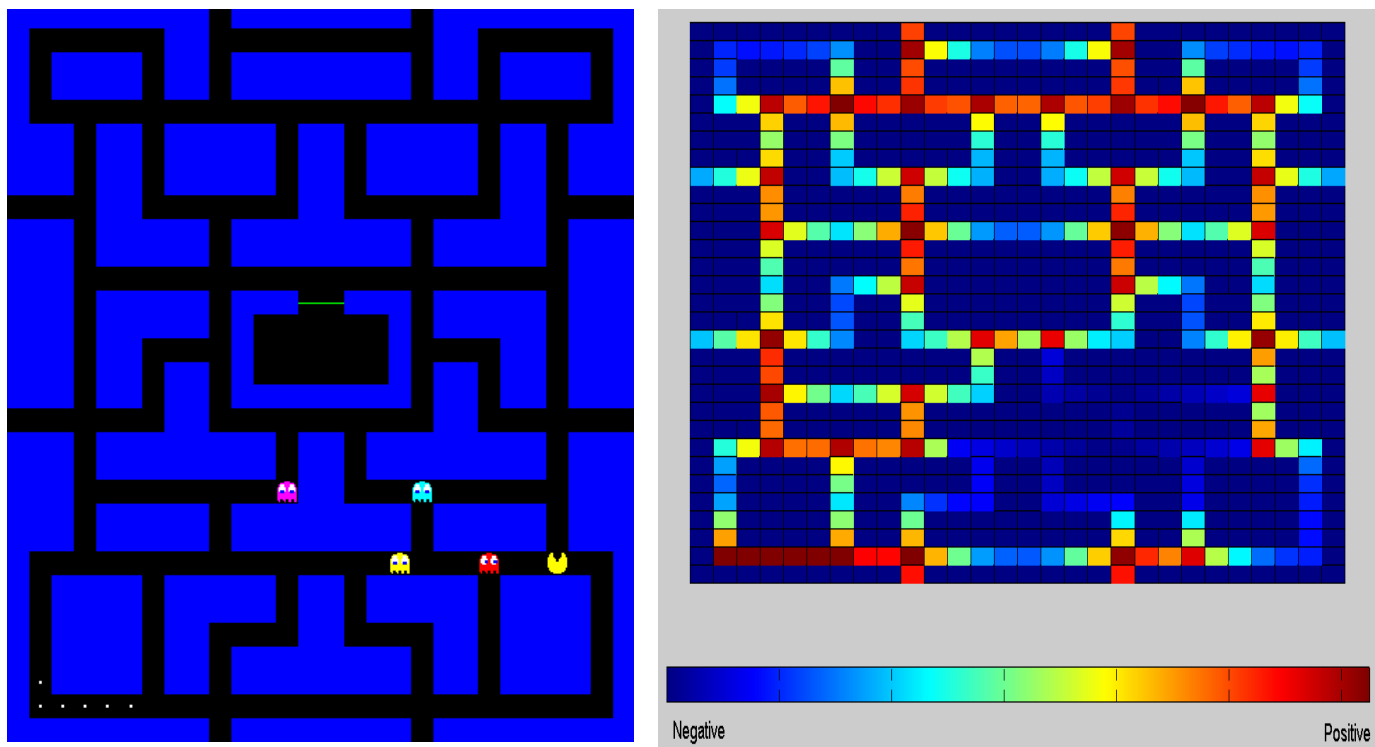
Τελευταίο ζήτημα ήταν αυτό των σταυροδρομιών και έτσι, η ιδέα να προστίθεται μια μικρή θετική ενέργεια σε αυτά, φάνηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική, ειδικά στην περίπτωση που υπήρχαν λίγες πια κουκκίδες μέσα στο λαβύρινθο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κουκκίδες, εφ'όσον έχουν θετική ενέργεια, “μπλοκάρουν” κατά μια έννοια την αρνητική των φαντασμάτων. Συνεπώς στην περίπτωση που απουσιάζουν, η διάχυση της αρνητικής ενέργειας λαμβάνει χώρα σε μεγαλύτερη έκταση μέσα στο λαβύρινθο. Εκτός αυτού, ο πράκτορας σε μια σχετικά άδεια πίστα θα έπρεπε να αποφεύγει τους διαδρόμους (γιατί όπως έχει γίνει πια γνωστό, αποτελούν επικίνδυνες περιοχές) και να προτιμά να κινείται κοντά σε σταυροδρόμια γιατί αυτά του εξασφαλίζουν περισσότερες επιλογές διαφυγής.

Για να γίνει κατανοητό πόσο απαραίτητη είναι η ύπαρξη μιας μικρής θετικής ενέργειας στα σταυροδρόμια, ακολουθούν δύο ζεύγη εικόνων. Στο πρώτο (Εικόνα 28) τα σταυροδρόμια έχουν μηδενική ενέργεια, ενώ στο δεύτερο (Εικόνα 29), μια μικρή θετική.



Εικόνα 28. Περίπτωση με μηδενική ενέργεια στα σταυροδρόμια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

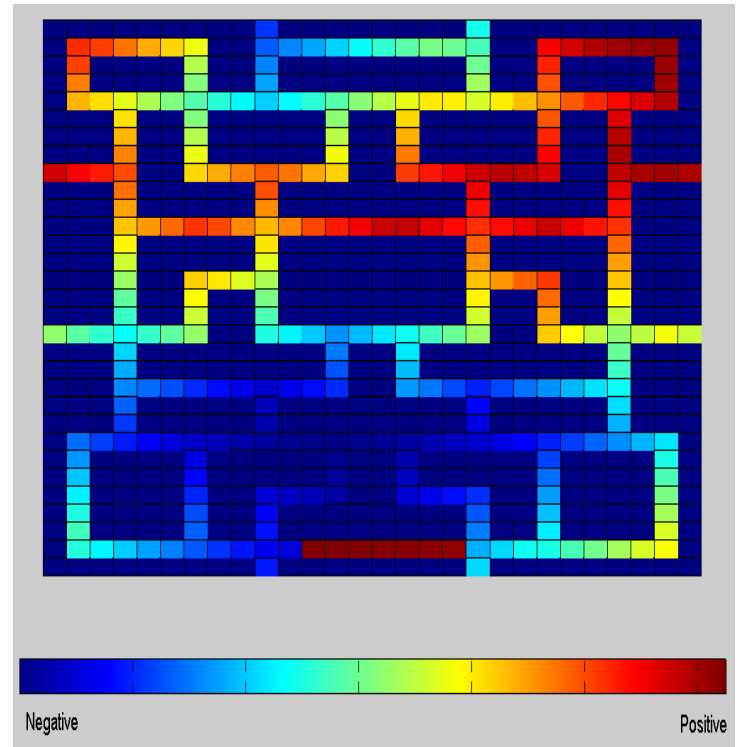
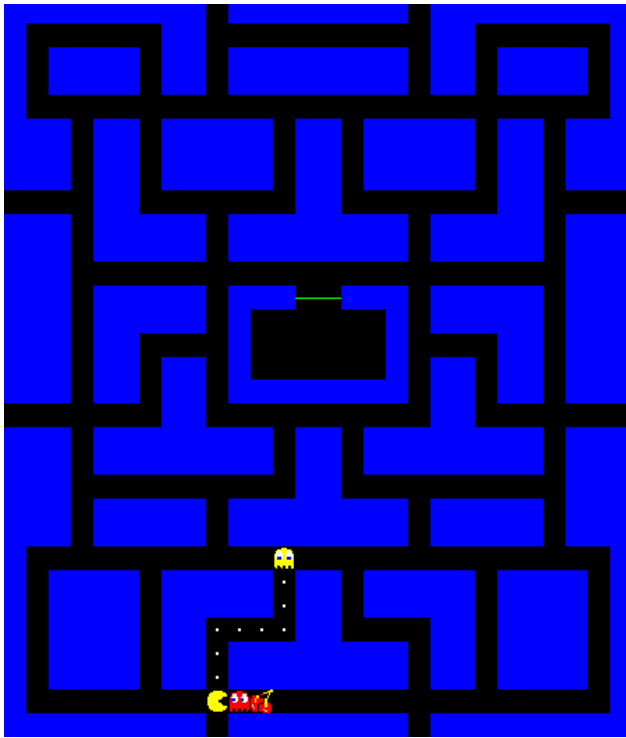
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα όλα δείχνουν ότι ο pacman θα κινηθεί προς τα δεξιά, αφού από πάνω και αριστερά, η αρνητική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη. Δεξιά όμως, υπάρχει ο μακρύτερος διάδρομος του λαβυρίνθου (βλ. Εικόνα 18) και έτσι είναι σίγουρο ότι μετά από κάποιες κινήσεις το κόκκινο και το κίτρινο φάντασμα θα καταφέρουν να παγιδεύσουν τον πράκτορα. Με λίγη παρατήρηση, μπορεί εύκολα να διακρίνει κανείς ότι το σταυροδρόμι που βρίσκεται ακριβώς από πάνω είναι ο καλύτερος τρόπος διαφυγής, μιας και το γαλάζιο φάντασμα είναι αρκετά μακριά σε σχέση με αυτό. Έτσι, μια μικρή θετική ενέργεια στα σταυροδρόμια, αλλάζει πλέον τις συνθήκες και η νέα απόφαση αποδεικνύεται ότι είναι σαφώς καλύτερη (Εικόνα 29).



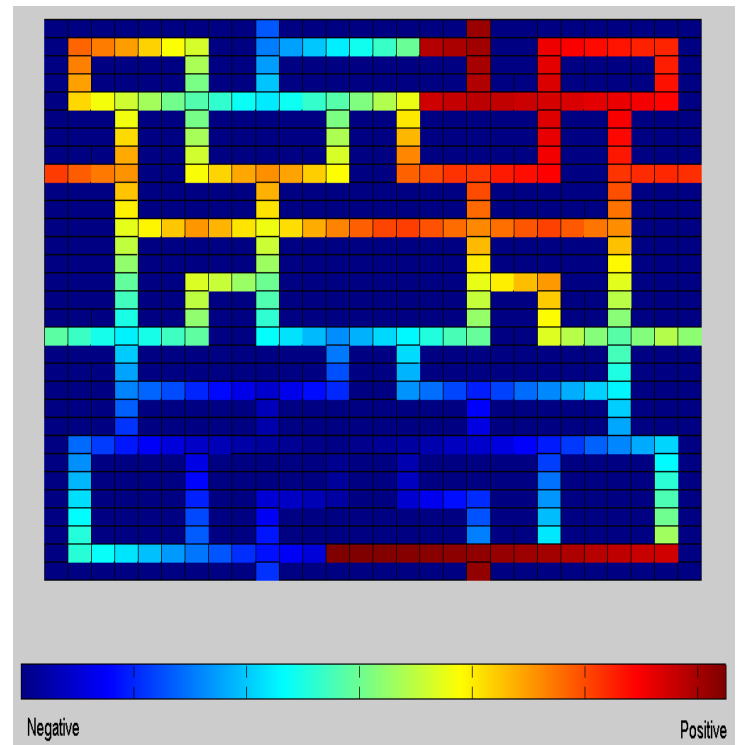
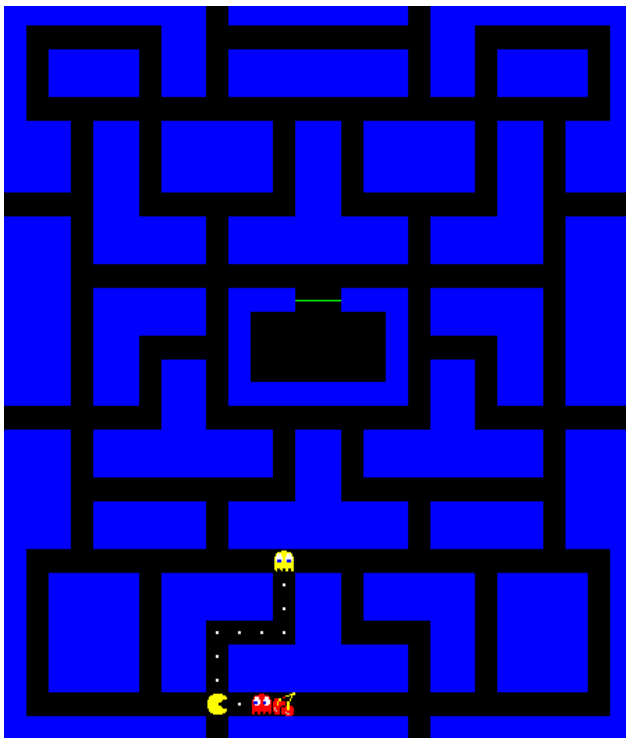
Εικόνα 29. Περίπτωση με μικρή θετική ενέργεια στα σταυροδρόμια. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

Τα πράγματα γίνονται ξεκάθαρα με την εικόνα της διάχυσης. Ο πράκτορας αποφεύγει όλα τα φαντάσματα πηγαίνοντας προς τα επάνω και μάλιστα φέρνοντάς τα περίτεχνα ακριβώς από πίσω του. Πλέον το κυνήγι προς τις κουκκίδες είναι μια απλή διαδικασία. Η εύρεση μιας τιμής για την ενέργεια του φρούτου, ήταν το τελευταίο ζήτημα προς εξέταση, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ήταν και απλό, αφού η τιμή της ενέργειας θα έπρεπε να ήταν μεγαλύτερη από αυτήν της απλής κουκκίδας (λόγω αξίας, φρούτο=600 πόντοι, κουκκίδα=10 πόντοι), αλλά όχι τόσο μεγάλη, έτσι ώστε να καλύπτει την μικρή αρνητική των φαντασμάτων. Από τις δοκιμές, η καταλληλότερη τιμή για την ενέργεια του φρούτου ήταν αυτή της 1 μονάδας.

Τα ζευγάρια εικόνων που παρατίθενται (Εικόνες 30 και 31) παρουσιάζουν τη διάχυση της ενέργειας με την ύπαρξη του φρούτου στο λαβύρινθο.



Εικόνα 30. Περίπτωση φρούτου σε απόσταση δύο κόμβων με φάντασμα ενδιάμεσα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας



Εικόνα 31. Περίπτωση φρούτου σε απόσταση τριών κόμβων με φάντασμα ενδιάμεσα. Αριστερά: στιγμιότυπο του παιχνιδιού, δεξιά: διάχυση της ενέργειας

Αφού ελήφθησαν υπόψιν οι προαναφερθείσες συνθήκες για όλα τα χαρακτηριστικά και τους χαρακτήρες του παιχνιδιού, το σετ με τις τιμές των ενεργειών (βλ. [Παράρτημα Α](#)) ήταν έτοιμο να εφαρμοστεί στον αλγόριθμο και στη συνέχεια να δοκιμαστεί και σε διαφορετικούς λαβυρίνθους-γράφους. Τα πειραματικά αποτελέσματα αποτελούν ξεχωριστό κεφάλαιο της συγκεκριμένης διπλωματικής και θα αναλυθούν μετά από το κομμάτι της υλοποίησης, τόσο του παιχνιδιού, όσο και του αλγορίθμου.

4.3.3 Ψευδοκώδικας αλγορίθμου

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εκτελεί λειτουργίες, εκ των οποίων άλλες επαναλαμβάνονται πριν από κάθε κίνηση του πράκτορα, ενώ άλλες αρκεί να εκτελεστούν μία φορά στο ξεκίνημα του παιχνιδιού. Συνεπώς, μια συνοπτική περιγραφή του αλγορίθμου με τη μορφή ψευδοκώδικα, θα είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη κατανόησή του όσον αφορά τη σειρά με την οποία εκτελούνται οι διεργασίες, αλλά και ποιες από αυτές είναι απαραίτητο να επαναλαμβάνονται κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Για το λόγο αυτό, στην εικόνα 32 παρατίθεται ο πλήρης αλγόριθμος σε μορφή ψευδοκώδικα.

ΣΤΑΘΕΡΕΣ (constants)

A: πίνακας A του γραμμικού συστήματος $Ax=b$

A^{-1} : αντίστροφος του A

b_crosses: διάνυσμα με τις αρχικές τιμές των ενεργειών των σταυροδρομιών

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ (variables)

Zωές: Οι ζωές του πράκτορα (αρχικά 3)

d1, d2, d3, d4: οι αποστάσεις των φαντασμάτων από τον πράκτορα

e1, e2, e3, e4: οι ενέργειες των φαντασμάτων

b: διάνυσμα με τις αρχικές τιμές των ενεργειών όλων των χαρακτηριστικών του λαβυρίνθου

X: διάνυσμα ενεργειών μετά τη διάχυση

x,y: οι συντεταγμένες του pacman

bestNode: κόμβος με τη μεγαλύτερη ενέργεια

ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ

Δημιουργία γράφου και λίστας γειτνίασης

A \leftarrow Κατασκευή του πίνακα από τη λίστα γειτνίασης

A^{-1} \leftarrow Αντιστροφή του πίνακα A

b_crosses \leftarrow Κατασκευή του διανύσματος από τη λίστα γειτνίασης

while (Zωές > 0) {

d1,d2,d3,d4 \leftarrow Υπολογισμός αποστάσεων των φαντασμάτων από τον pacman (shortest path)

e1,e2,e3,e4 \leftarrow Ανάθεση αντίστοιχων ενεργειών, ανάλογα με την απόστασή τους

b \leftarrow Κατασκευή του διανύσματος από την τρέχουσα κατάσταση

b_total \leftarrow b_total = b + b_crosses

X \leftarrow Επίλυση του γραμμικού συστήματος $X = A^{-1} b_total$

x,y \leftarrow Συντεταγμένες τρέχουσας θέσης του pacman

Έλεγχος των γειτονικών κόμβων [(x+1,y), (x-1,y), (x,y+1), (x,y-1)],

ανάλογα με την τοποθεσία (σταυροδρόμι τύπου +, T ή διάδρομος)

bestNode \leftarrow Εύρεση του γειτονικού κόμβου με τη μεγαλύτερη ενέργεια

Μετάβαση του πράκτορα στον κόμβο bestNode

Μετακίνηση φαντασμάτων

Έλεγχος για απώλεια ζωής

If απώλεια

Zωές \leftarrow Zωές - 1

If Zωές = 0

Αρχικοποίηση

}

Εικόνα 32. Ψευδοκώδικας του αλγορίθμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. – ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

5.1 Υλοποίηση

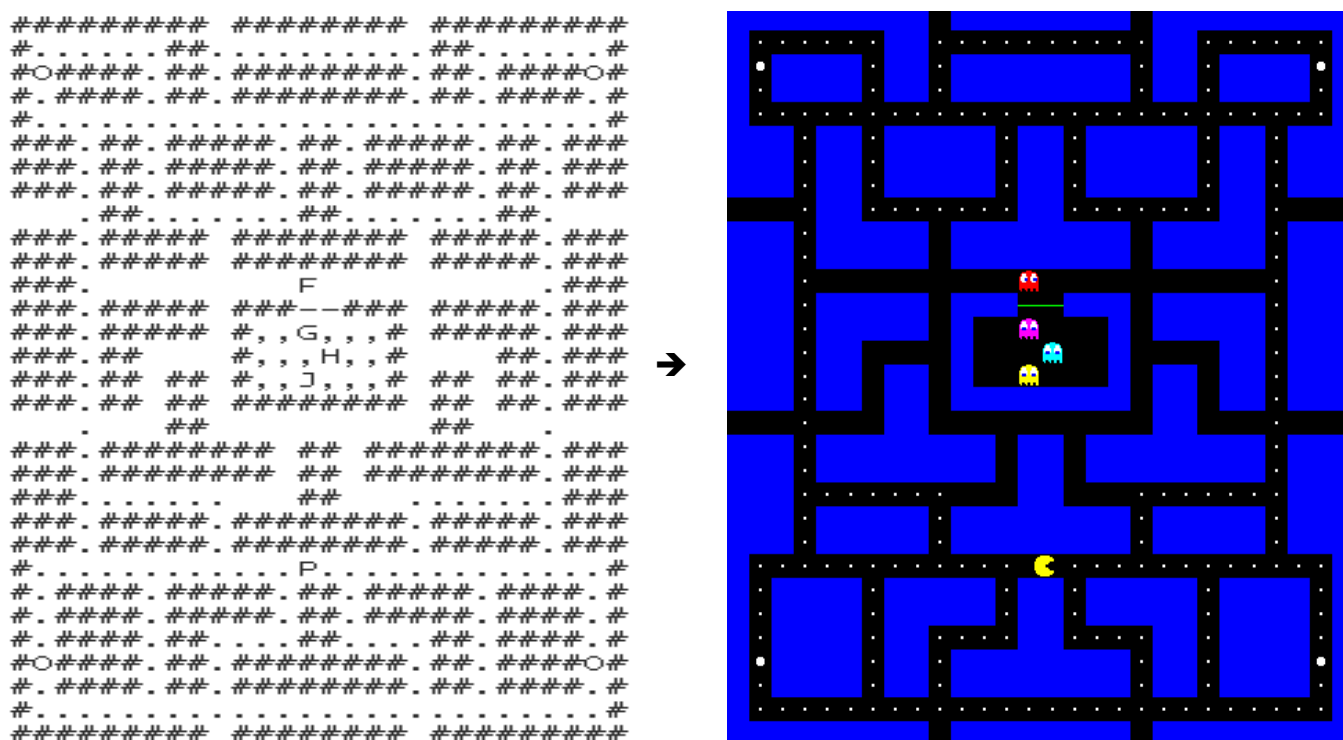
Το παιχνίδι καθώς και ο αλγόριθμος, υλοποιήθηκαν αποκλειστικά σε JAVA. Χρειάστηκαν συνολικά 24 κλάσεις για το συγκεκριμένο σκοπό και το σχήμα 3 που παρατίθεται, παρουσιάζει συνοπτικά τις σχέσεις μεταξύ όλων αυτών των κλάσεων.

5.1.1 Υλοποίηση παιχνιδιού

Όπως προκύπτει και από το σχήμα 3, ο αριθμός των κλάσεων του παιχνιδιού είναι πολύ μεγαλύτερος του αντίστοιχου του αλγορίθμου. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην παραμετρική υλοποίηση της όλης ιδέας του παιχνιδιού.

Πιο συγκεκριμένα, το παιχνίδι έχει σαν είσοδο ένα αρχείο κειμένου (*.txt) αποτελούμενο από γράμματα (P,F,G,H και J) που αντιστοιχούν στους χαρακτήρες του παιχνιδιού (pacman και φαντάσματα), αλλά και σύμβολα (#, -, f, ., O), που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά του (τοίχος του λαβυρίνθου, έξοδος της φωλιάς των φαντασμάτων, φρούτο, κουκκίδα και δυναμωτική κουκκίδα αντίστοιχα).

Έτσι, με την κατάλληλη τοποθέτηση των γραμμάτων και των χαρακτήρων στο αρχείο κειμένου, διαμορφώνεται η αρχική κατάσταση του παιχνιδιού, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε γραφικό περιβάλλον (Εικόνα 33).



Εικόνα 33. Παραμετροποίηση παιχνιδιού. Αριστερά: αρχείο εισόδου, δεξιά: παραγόμενο γραφικό περιβάλλον

Η επεξήγηση των συμβόλων και των γραμμάτων, δίνεται στον Πίνακα 2.

.	Τελεία → Κουκκίδες. Ο βασικός στόχος του pacman.
#	Δίεση → Αδιαπέραστα τοιχώματα.
O	Κεφαλαίος χαρακτήρας 'o' → Δυναμωτικές κουκκίδες (power dots).
P	Κεφαλαίος χαρακτήρας 'p' → Pac-Man
F	Κεφαλαίος χαρακτήρας 'f' → Κόκκινο φάντασμα (shortest path)
G	Κεφαλαίος χαρακτήρας 'g' → Ροζ φάντασμα (random)
H	Κεφαλαίος χαρακτήρας 'h' → Γαλάζιο φάντασμα (Euclidean Distance)
J	Κεφαλαίος χαρακτήρας 'j' → Κίτρινο φάντασμα (Manhattan Distance)
f	Πεζός χαρακτήρας 'f' → Αντιπροσωπεύει το φρούτο. Το συγκεκριμένο σύμβολο δεν εμφανίζεται στην αρχή του παιχνιδιού, αλλά ανά τακτά χρονικά διαστήματα
-	Παύλα → Έξοδος φαντασμάτων. Ειδικό μπλοκ το οποίο θα αφήνει τα φαντάσματα μόνο να βγαίνουν.
,	Κόμμα → Απροσπέλαστες θέσεις, απαραίτητες για την κλάση createHashTable, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται κόμβοι στις αντίστοιχες θέσεις.

Πίνακας 2. Εξήγηση συμβόλων αρχείου κειμένου

Κατά συνέπεια, η συγκεκριμένη υλοποίηση είναι ικανή να επεξεργαστεί οποιαδήποτε μορφή λαβυρίνθου, ανάλογα με τη φαντασία του κάθε σχεδιαστή, τόσο όσον αφορά το μέγεθος του λαβυρίνθου, αλλά και γενικότερα τη μορφολογία του. Ο μόνος περιορισμός έγκειται στο σχήμα και το μέγεθος της φωλιάς των φαντασμάτων, το οποίο θα πρέπει να είναι 5x8. Επίσης, και τα φαντάσματα θα πρέπει να τοποθετούνται στις συγκεκριμένες θέσεις (βλ. Εικόνα 33 αριστερά).

Ο τρόπος με τον οποίο υλοποιήθηκε η κάθε κλάση, περιγράφεται παρακάτω.

1. Κλάση PacMan

Είναι η κύρια κλάση του παιχνιδιού, μιας και είναι αυτή που περιέχει τη συνάρτηση main.

--Σκοπός:

Σκοπός της είναι να σχηματίσει σωστά το παράθυρο της εφαρμογής, αλλά και να θέσει σε λειτουργία την κίνηση των φαντασμάτων και του πράκτορα (pacman).

--Συναρτήσεις:

Οι συναρτήσεις addLevel, addUpPart και addDownPart είναι αυτές που δημιουργούν το παράθυρο εφαρμογής. Οι ονομασίες εξάλλου παραπέμπουν στο αντίστοιχο τμήμα του

παραθύρου. Για τη δημιουργία του όμως, είναι απαραίτητες άλλες δύο κλάσεις, η MazePane και η arrayCreator, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Οι συναρτήσεις displayScores και displayLives έχουν ως όρισμα αντίστοιχα το score και τις ζωές του pacman και στόχος τους είναι να εμφανίζουν σωστά τα εν λόγω ορίσματα, όπως για παράδειγμα αύξηση της βαθμολογίας, αλλά και απώλειες ζωών του πράκτορα.

Οι συναρτήσεις keyReleased, keyTyped και keyPressed είναι απαραίτητες για τη λειτουργία παύσης (pause) του παιχνιδιού.

Τέλος η συνάρτηση main, είναι αυτή που όπως προαναφέρθηκε θέτει σε λειτουργία τις κινήσεις των χαρακτήρων, καλώντας δύο καινούριες κλάσεις (PacMan Continuous Movement και Ghost_Continuous_Movement)

2. Κλάση constants

Στην ουσία δεν πρόκειται για κλάση, αλλά για μια διεπαφή (interface). Εδώ υπάρχουν αμετάβλητα στοιχεία του παιχνιδιού, όπως για παράδειγμα οι αντιστοιχίες μεταξύ συμβόλων και χαρακτήρων/χαρακτηριστικών (βλ. Πίνακα 2), καθώς επίσης και τα ποσά βαθμολογίας που αντιστοιχούν σε οποιαδήποτε κατανάλωση του pacman (dot, power dot, φαντάσματα και φρούτα)

--Σκοπός:

Ο σκοπός είναι η συγκέντρωση όλων των δεδομένων που προαναφέρθηκαν σε ένα αρχείο, έτσι ώστε να είναι ευκολότερες ενδεχόμενες αλλαγές τους.

3. Κλάση arrayCreator

--Σκοπός

Η συγκεκριμένη κλάση έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός πίνακα με διαστάσεις ίδιες με αυτές που προκύπτουν από την εκάστοτε μορφολογία της πίστας του αρχείου *.txt. Επίσης, ευθύνεται και για την εύρεση των συντεταγμένων όλων των χαρακτήρων του παιχνιδιού μέσα στον εν λόγω πίνακα.

--Συναρτήσεις

Αρχικά, η συνάρτηση lengthOfLevel “σαρώνει” το αρχείο κειμένου (αφού αυτό είναι και το όρισμά της) και κρατά σε δύο μεταβλητές το μήκος και το πλάτος του αρχείου. Στην ουσία αυτές οι μεταβλητές θα αποτελέσουν και τις διαστάσεις του πίνακα που πρόκειται να δημιουργηθεί. Έτσι, στη συνέχεια καλείται η συνάρτηση file2array, η οποία γεμίζει πλέον τις θέσεις του νέου πίνακα με το περιεχόμενο του αρχείου txt. Αυτό

επιτυγχάνεται διαβάζοντας ένα προς ένα όλα τα σύμβολα του κειμένου και τοποθετώντας τα στα αντίστοιχα σημεία του πίνακα. Τέλος, καλείται η συνάρτηση `getCoordinates` η οποία εφόσον έχει σαν όρισμα τον πίνακα που μόλις δημιουργήθηκε, τον “σαρώνει” με την προοπτική να βρεθούν οι αρχικές συντεταγμένες του `pacman` αλλά και των τεσσάρων φαντασμάτων.

4. Κλάση MazePane

--Σκοπός

Ο σκοπός αυτής της κλάσης είναι η δημιουργία και η ανανέωση του γραφικού περιβάλλοντος της τρέχουσας κατάστασης του λαβυρίνθου. Κατά συνέπεια, ανάλογα με το περιεχόμενο του πίνακα που δημιουργήθηκε από την κλάση `arrayCreator`, τυπώνονται στο παράθυρο της εφαρμογής και τα αντίστοιχα εικονίδια. Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας “σαρώνεται” και εάν σε μια θέση του υπάρχει η τελεία, τυπώνεται το εικονίδιο που αντιστοιχεί στην τελεία, εάν υπάρχει ένα από τα γράμματα που αντιστοιχεί σε κάποιο φάντασμα, τυπώνεται το κατάλληλο εικονίδιο του φαντάσματος, κοκ. Η διαφορά μεταξύ των χαρακτηριστικών και των χαρακτήρων του παιχνιδιού, έγκειται στη μεταβολή των συντεταγμένων όλων των χαρακτήρων (`pacman`, φαντάσματα), μιας και αυτοί κινούνται μέσα στο λαβύρινθο. Έτσι, η συγκεκριμένη κλάση θα πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς για τις νέες συντεταγμένες των χαρακτήρων. Το ρόλο λοιπόν αυτό, έχουν αναλάβει οι κλάσεις `PacMan_Animation` και `Ghost_Animation`.

5. Κλάση PacMan Continuous Movement

Είναι η πρώτη κλάση που καλείται μέσα στη `main`.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η συνεχής κίνηση του `pacman` μέσα στο λαβύρινθο.

--Συναρτήσεις:

Η συνέχεια της κίνησης του `pacman` επιτυγχάνεται με τη συνάρτηση `run` (συνάρτηση της JAVA), η οποία λειτουργεί με τη συνεργασία ενός `thread`. Τα `threads` καθιστούν εφικτή την επανάληψη μια διεργασίας, όπως για παράδειγμα της κίνησης του `pacman`, ακριβώς γιατί ανανεώνονται μετά τη λήξη ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος (`sleep`). Έτσι, η κλάση η οποία είναι υπεύθυνη για την κίνηση του πράκτορα επαναλαμβάνεται ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα μέχρι να αλλάξουν οι συνθήκες του παιχνιδιού, δηλαδή μέχρι να χάσει ο `pacman` μια ζωή. Αξίζει να

σημειωθεί ότι η διάρκεια του χρονικού διαστήματος (δηλαδή ο κύκλος του ρολογιού (sleep) του thread) σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα του πράκτορα. Για την ακρίβεια, εάν είναι μικρή ο pacman κινείται γρήγορα, ενώ αν είναι μεγάλη το αντίθετο. Από τη στιγμή λοιπόν που στο γνήσιο παιχνίδι αυξάνεται η ταχύτητα του pacman μετά από μια κατανάλωση δυναμωτικής κουκκίδας (εξ ου και το όνομα power dot), προστέθηκε μια συνθήκη στο ρολόι του thread, ακριβώς για αυτό το σκοπό.

Επίσης μέσα στην ίδια συνάρτηση καλείται υπό συνθήκη και η κλάση Policy. Η συνθήκη προϋποθέτει να έχει πατηθεί το πλήκτρο (P), που όπως προαναφέρθηκε στην κλάση PacMan ενεργοποιεί τη λειτουργία παύσης (pause). Επιπρόσθετα με αυτή τη λειτουργία ενεργοποιείται και μια άλλη, αυτή της κλάσης Policy που θα αναλυθεί παρακάτω.

6. Κλάση Ghost Continuous Movement

Η δεύτερη και τελευταία κλάση που καλείται στη main.

--Σκοπός:

Σκοπός της συγκεκριμένης κλάσης είναι η συνεχής κίνηση και των τεσσάρων φαντασμάτων.

--Συναρτήσεις:

Όπως και στην προηγούμενη κλάση, έτσι και σε αυτήν υπάρχει η ίδια συνάρτηση με το αντίστοιχο thread. Η μόνη διαφορά είναι ότι το τελευταίο δεν ανανεώνει την κίνηση ενός χαρακτήρα, αλλά τεσσάρων, δηλαδή των τεσσάρων φαντασμάτων. Επίσης και εδώ έχει προστεθεί μια συνθήκη στο ρολόι του thread, για να μειώνει την ταχύτητα των φαντασμάτων μετά από μια κατανάλωση power dot του pacman. Και πάλι η συνθήκη προέκυψε από τους κανόνες του γνήσιου παιχνιδιού.

7. Κλάση PacMan Movement

Είναι η κλάση που ενεργοποιείται μετά την ολοκλήρωση κάθε κύκλου του ρολογιού (sleep) του thread στην κλάση PacMan Continuous Movement.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η κίνηση του pacman και για την ακρίβεια η τοποθέτηση του κεφαλαίου χαρακτήρα 'P', στην επόμενη του θέση μέσα στον πίνακα που δημιούργησε η κλάση arrayCreator. Το ζητούμενο είναι η επόμενη θέση, και γι' αυτό καλούνται συναρτήσεις οι οποίες με τη σειρά τους καλούν νέες συναρτήσεις από άλλες κλάσεις.

--Συναρτήσεις:

Καταρχήν, πρέπει να γίνει σαφές ότι η επόμενη θέση του pacman προκύπτει ως αποτέλεσμα του αλγορίθμου (ο τρόπος θα εξηγηθεί παρακάτω). Το ζητούμενο έγκειται στο περιεχόμενο της νέας τοποθεσίας από τη στιγμή που αυτή γίνεται γνωστή. Έτσι, πριν από κάθε κίνηση καλείται η συνάρτηση Move_PacMan με όρισμα την κατεύθυνση που βρίσκεται η νέα τοποθεσία (left, right, down και up). Στη συνέχεια και ανάλογα με την κατεύθυνση, μέσα στην ίδια συνάρτηση καλείται μια νέα, η CheckNextMove με ορίσματα τις συντεταγμένες της νέας τοποθεσίας. Η CheckNextMove είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο του περιεχομένου της νέας θέσης που πρόκειται να μεταβεί ο pacman. Κατά συνέπεια, εάν το περιεχόμενο δεν είναι κενό θα περιέχει ένα από τα εξής στοιχεία: φάντασμα, κουκκίδα, power dot ή κεράσι. Η πρώτη περίπτωση παρουσιάζει δύο ενδεχόμενα που έχουν να κάνουν με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα φαντάσματα. Έτσι, εάν αυτά είναι μπλε (κατάσταση scared), η βαθμολογία αυξάνεται κατά τα γνωστά, ενώ στην αντίθετη περίπτωση (κανονική κατάσταση), ο pacman χάνει μια ζωή. Αν τώρα η νέα θέση περιέχει κουκκίδα, απλά αυξάνεται το score σύμφωνα με την τιμή της. Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες δύο περιπτώσεις, με μόνη διαφορά ότι στη δυναμωτική κουκκίδα, αλλάζουν και οι κανόνες του παιχνιδιού. Στο τέλος της συγκεκριμένης συνάρτησης και αφού έχουν γίνει όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι, ο pacman (στην ουσία το γράμμα 'P') μεταβαίνει στη νέα θέση, μόνο εάν δεν έχει χάσει ζωή.

Στη συνέχεια της κλάσης και αφού η ροή του παιχνιδιού συνεχίζεται κανονικά, οι συντεταγμένες του pacman αλλάζουν και καλείται η κλάση που θα εμφανίσει γραφικά στην οθόνη (animation) την κίνηση από την προηγούμενη θέση του pacman στη νέα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην κλάση PacMan_Movement καταγράφονται στοιχεία όπως ο συνολικός αριθμός κουκκίδων ή φαντασμάτων που έχουν καταναλωθεί σε όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού, καθώς επίσης και τα βήματα που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση μιας πίστας. Τα στοιχεία αυτά θα γίνουν με τη σειρά τους ορίσματα σε νέες συναρτήσεις από άλλες κλάσεις (Store), ώστε να προκύψουν στατιστικά για τα παιχνίδια. Οι λεπτομέρειες δίνονται στη συνέχεια.

8. Κλάση PacMan_Animation

Η κλάση αυτή καλείται κάθε φορά στο τέλος της PacMan_Movement με ορίσματα τη νέα τοποθεσία του pacman (νέες συντεταγμένες), καθώς και την κατεύθυνση προς την

οποία θα κινηθεί. Το πρώτο όρισμα είναι αυτό που ενημερώνει διαρκώς την κλάση MazePane.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η συνεχόμενη κίνηση (animation) του χαρακτήρα του pacman μέσα στο λαβύρινθο.

--Συναρτήσεις:

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης κλάσης, ήταν απαραίτητη και πάλι η χρήση ενός thread. Έτσι η συνάρτηση που χρησιμοποιείται είναι η run (συνάρτηση της JAVA), η οποία εκτελεί τα εξής. Ανάλογα με ποια από τις Boolean μεταβλητές για την κατεύθυνση έχει τιμή “true” (moved_up, moved_down, moved_left και moved_right), επιλέγονται τα κατάλληλα εικονίδια, τα οποία εναλλάσσονται διαδοχικά από την παλιά μέχρι τη νέα θέση του pacman. Η τύπωσή τους στο παράθυρο της εφαρμογής υλοποιείται με την βοήθεια της κλάσης MazePane και διαρκεί ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (ανάλογο του ρολογιού του thread), έτσι ώστε να δίνουν την αίσθηση συνεχόμενης κίνησης.

9. Κλάση countBoosttime

Καλείται κάθε φορά που ο pacman καταναλώνει μια “δυναμωτική” κουκκίδα (power dot) και έχει συγκεκριμένη διάρκεια (σύμφωνα πάντα με τους κανόνες του γνήσιου παιχνιδιού).

--Σκοπός

Στόχος της κλάσης είναι η αλλαγή των κανόνων του παιχνιδιού και κατ’ επέκταση η μετάβαση της κατάστασης των φαντασμάτων από κανονική σε scared.

--Συναρτήσεις

Όπως προαναφέρθηκε, η διάρκεια της δυναμωτική κουκκίδας (power dot) είναι συγκεκριμένη, με αποτέλεσμα να πρέπει με κάποιο τρόπο να χρονομετρείται. Συνεπώς, η χρήση για άλλη μια φορά ενός thread ήταν αναπόφευκτη. Έτσι, στη γνωστή πλέον συνάρτηση run, γίνεται αρχικά ο έλεγχος για το πότε καταναλώθηκε η δυναμωτική κουκκίδα και στη συνέχεια μετά τη λήξη του κύκλου του ρολογιού του thread, απενεργοποιείται η ισχύς του power dot μετατρέποντας την αντίστοιχη boolean μεταβλητή από “true” σε “false”. Ο πρώτος έλεγχος αφορά τη χρονική διάρκεια του thread, έτσι ώστε εάν πριν τη λήξη της καταναλωθεί μια νέα δυναμωτική κουκκίδα, ο κύκλος του ρολογιού του thread, να ανανεωθεί.

10. Κλάση counter

Η κλάση counter τρέχει παράλληλα με την PacMan_Movement, από την οποία λαμβάνει και δεδομένα, αφού η μία κληρονομεί το περιεχόμενο της άλλης (γίνεται extend).

--Σκοπός

Στόχος της είναι αρχικά η καταγραφή των στοιχείων του πίνακα της κλάσης arrayCreator, και στη συνέχεια η αντίστροφη μέτρηση τόσο των κουκκίδων όσο και των power dot για να δηλώσει τη λήξη του παιχνιδιού με τη συνεργασία της κλάσης Score, αφού εκεί γίνεται κάθε φορά ο έλεγχος για τις εναπομείνουσες κουκκίδες.

11. Κλάση fruit

Καλείται τρεις φορές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού και για την ακρίβεια όταν η κατανάλωση των κουκκίδων έχει φτάσει το 10% του αρχικού αριθμού, το 50% και το 90% του αρχικού αριθμού των κουκκίδων.

--Σκοπός

Σκοπός της είναι η εμφάνιση των φρούτων στην πίστα.

--Συναρτήσεις

Είναι γνωστό από το γνήσιο παιχνίδι, ότι τα φρούτα έχουν περιορισμένη διάρκεια. Οπότε, εφόσον η έννοια “διάρκεια” σχετίζεται πια με ένα thread, χρησιμοποιήθηκε ξανά η συνάρτηση run (της JAVA) μέσα στην οποία εκτελούνται τα παρακάτω. Όταν η κατανάλωση των κουκκίδων φτάσει τα παραπάνω ποσοστά, καλείται μια συνάρτηση random (επίσης της JAVA), η οποία επιλέγει τυχαία την τοποθεσία του φρούτου. Στη συνέχεια, η αντίστοιχη boolean μεταβλητή που επιβεβαιώνει την ύπαρξη του φρούτου στην πίστα γίνεται “true” και η διαδικασία σάρωσης σταματά, έτσι ώστε να μην εμφανιστούν παραπάνω από ένα φρούτα. Μετά τη λήξη της διάρκειας του ρολογιού του thread (10 sec), η εν λόγω μεταβλητή ξαναγίνεται false.

12. Κλάση Score

Καλείται μέσα από τη συνάρτηση CheckNextMove της κλάσης PacMan_Movement στην περίπτωση που ο κόμβος στον οποίο πρόκειται να μεταβεί ο pacman περιέχει οτιδήποτε θα άλλαζε την κατάσταση της βαθμολογίας.

--Σκοπός

Στόχος της είναι να αυξάνει καταρχήν τη βαθμολογία (score), ανάλογα με το τι έχει καταναλώσει ο πράκτορας (κουκκίδες, power dots, φαντάσματα σε κατάσταση scared

και φρούτα) και κατ' επέκταση να ελέγχει την ολοκλήρωση, της πίστας αλλά και τις απώλειες των ζωών του pacman. Απαραίτητες για όλα αυτά είναι οι παρακάτω συναρτήσεις.

--Συναρτήσεις:

Πρώτη είναι η συνάρτηση `gamewon`, η οποία ελέγχει αν έχουν καταναλωθεί όλες οι κουκκίδες και τα power dots της πίστας. Κατά συνέπεια εάν ισχύει αυτό, το παιχνίδι ξεκινά με τα φαντάσματα και τον pacman στις αρχικές τους θέσεις, αλλά με τη βαθμολογία να συνεχίζει να μετρά από το ίδιο σημείο που είχε σταματήσει. Στη συνέχεια, ακολουθεί η αντίθετη της πρώτης συνάρτησης, η `gamelost`, η οποία είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο απώλειας ζωών. Συνεπώς, εάν ο πράκτορας χάσει μια ζωή αλλά υπολείπονται και άλλες, το παιχνίδι συνεχίζει με τους χαρακτήρες στις αρχικές τους θέσεις. Αν πάλι η ζωή που έχασε ήταν η τελευταία, τότε ξεκινά ένα τελείως νέο παιχνίδι, δηλαδή με μηδενικό "score" και τρεις ζωές. Στα δύο ενδεχόμενα που ο pacman ολοκληρώσει την πίστα ή χάσει όλες του τις ζωές, καλείται η συνάρτηση `storeGameResults`, η οποία όμως αποτελεί κομμάτι της κλάσης `Store` και θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Τελευταία και πιο σημαντική είναι η συνάρτηση `increaseScore`, η οποία αυξάνει κατάλληλα τη βαθμολογία ανάλογα με το στοιχείο που κατανάλωσε ο pacman. Έτσι με την κατανάλωση μιας κουκκίδας η βαθμολογία αυξάνεται 10 πόντους, με μία "δυναμωτική" κουκκίδα 50 πόντους, με το φρούτο 600 πόντους και όσον αφορά τα φαντάσματα οι πόντοι ξεκινάνε από 200 και φτάνουν έως και τους 1600 πόντους, ανάλογα με το αν θα προλάβει να τα καταναλώσει όλα και διαδοχικά, υπό την επήρεια μιας μόνο δυναμωτικής κουκκίδας. Επιπρόσθετα, στην ίδια συνάρτηση ελέγχεται και το ύψος της βαθμολογίας. Στην περίπτωση που έχει ξεπεράσει τους 10000 πόντους, θα προστεθεί μία ακόμη ζωή στις ήδη υπάρχουσες.

13. Κλάση Ghost_Movement (Shortest Path)

Είναι η πρώτη από τις κλάσεις που ενεργοποιούνται μετά την ολοκλήρωση κάθε κύκλου του ρολογιού (sleep) του thread στην κλάση `Ghost_Continuous Movement`.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η κίνηση του κόκκινου φαντάσματος και για την ακρίβεια η τοποθέτηση του κεφαλαίου χαρακτήρα 'F', στην επόμενη του θέση μέσα στον πίνακα που δημιούργησε η κλάση `arrayCreator`. Το ερώτημα είναι αν η επόμενη θέση περιέχει τον pacman.

--Συναρτήσεις

Οι συναρτήσεις βασίζονται στην ίδια λογική με αυτές της κλάσης PacMan_Movement. Κατά συνέπεια, υπάρχει η συνάρτηση Move_Ghost με όρισμα την κατεύθυνση που βρίσκεται η νέα τοποθεσία (left, right, down και up), αλλά και η CheckNextMove με ορίσματα τις συντεταγμένες της νέας τοποθεσίας. Η CheckNextMove, όπως και στην περίπτωση του pacman, είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο του περιεχομένου της νέας θέσης που πρόκειται να μεταβεί το φάντασμα. Έτσι, εάν η καινούρια θέση περιέχει τον pacman (γράμμα 'P'), τότε ο pacman χάνει μια ζωή και το παιχνίδι συνεχίζεται ανάλογα με τις ζωές που του έχουν απομείνει. Στην περίπτωση τώρα που η επόμενη θέση περιέχει είτε κουκκίδα, είτε κεράσι, είτε κάποιο από τα power dot, γίνονται "true" οι αντίστοιχες boolean μεταβλητές, ούτως ώστε να μη χαθεί το σύμβολο από τον πίνακα μετά την απομάκρυνση του φαντάσματος από τη συγκεκριμένη θέση. Στη συνέχεια, τοποθετούνται τα αντίστοιχα σύμβολα στη θέση από την οποία πέρασε το φάντασμα, κάνοντας παράλληλα την κατάλληλη μεταβλητή "false". Όσον αφορά το animation, ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με αυτή της κλάσης PacMan_Movement.

14. Κλάση ShortestPath

Καλείται κάθε φορά πριν την επόμενη κίνηση του κόκκινου φαντάσματος (στην κλάση Ghost_Movement).

--Σκοπός

Στόχος της είναι η εύρεση του πιο σύντομου μονοπατιού προς τον αντίπαλο, δηλαδή τον pacman.

--Συναρτήσεις

Μία είναι η συνάρτηση της συγκεκριμένης κλάσης, η Shortest, η οποία υπολογίζει το συντομότερο μονοπάτι από το κόκκινο φάντασμα προς τον pacman, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Shortest Path του Dijkstra [7]. Η συνάρτηση επιστρέφει ένα string με την κατεύθυνση που βρίσκεται ο νέος κόμβος (left, right, down και up), το οποίο με τη σειρά του γίνεται όρισμα στη συνάρτηση Move_Ghost της κλάσης Ghost_Movement. Αξίζει να σημειωθεί, ότι στην περίπτωση που ο pacman καταναλώσει μια δυναμωτική κουκκίδα, η διαδικασία δεν είναι πια η ίδια, μιας και το φάντασμα "αντιλαμβάνεται" κατά μία έννοια τον κίνδυνο. Έτσι, το φάντασμα καλείται πλέον να αυξήσει την απόστασή του από τον pacman, με τη βοήθεια της συνάρτησης Manhattan, από την κλάση ManhattanDistance (εξηγείται παρακάτω).

15. Κλάση Ghost_Movement2 (Random)

Είναι η δεύτερη από τις κλάσεις που ενεργοποιούνται μετά την ολοκλήρωση κάθε κύκλου του ρολογιού (sleep) του thread στην κλάση Ghost_Continuous Movement.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η κίνηση του ροζ φαντάσματος και για την ακρίβεια η τοποθέτηση του κεφαλαίου χαρακτήρα 'G', στην επόμενη του θέση μέσα στον πίνακα που δημιούργησε η κλάση arrayCreator. Το ερώτημα είναι αν η επόμενη θέση περιέχει τον pacman.

--Συναρτήσεις

Οι συναρτήσεις είναι οι ίδιες με αυτές της κλάσης Ghost_Movement όσον αφορά τον έλεγχο (Move_Ghost και CheckNextMove), αλλά και το animation. Η μόνη διαφορά έγκειται στη εύρεση της επόμενης θέσης που πρόκειται να μεταβεί το ροζ φάντασμα. Η κίνηση του συγκεκριμένου φαντάσματος χαρακτηρίζεται τυχαία (random), ακριβώς γιατί επιλέγει τυχαία την κατεύθυνση προς την οποία θα κινηθεί. Πιο συγκεκριμένα, εάν βρεθεί σε ένα σταυροδρόμι τύπου (T), καλείται η συνάρτηση random (συνάρτηση της JAVA), η οποία επιλέγει τυχαία μεταξύ δύο αριθμών που αντιστοιχούν στις πιθανές κατευθύνσεις που μπορεί να επιλέξει (το ροζ φάντασμα δεν επιτρέπεται να κινηθεί προς τα πίσω). Το ίδιο ισχύει και για το σταυροδρόμι τύπου (+), μόνο που οι πιθανοί αριθμοί δεν είναι δύο, αλλά τρεις, όσες και οι πιθανές κατευθύνσεις.

16. Κλάση Ghost_Movement3 (Euclidean Distance)

Είναι η τρίτη από τις κλάσεις που ενεργοποιούνται μετά την ολοκλήρωση κάθε κύκλου του ρολογιού (sleep) του thread στην κλάση Ghost_Continuous Movement.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η κίνηση του γαλάζιου φαντάσματος και για την ακρίβεια η τοποθέτηση του κεφαλαίου χαρακτήρα 'H', στην επόμενη του θέση μέσα στον πίνακα που δημιούργησε η κλάση arrayCreator. Το ερώτημα είναι αν η επόμενη θέση περιέχει τον pacman.

--Συναρτήσεις

Οι συναρτήσεις είναι οι ίδιες με αυτές της κλάσης Ghost_Movement όσον αφορά τον έλεγχο (Move_Ghost και CheckNextMove), αλλά και το animation. Η μόνη διαφορά έγκειται στη εύρεση της επόμενης θέσης που πρόκειται να μεταβεί το γαλάζιο φάντασμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την κλήση της συνάρτησης Euclidean, που ανήκει στην επόμενη κλάση.

17. Κλάση EuclideanDistance

Καλείται κάθε φορά πριν την επόμενη κίνηση του γαλάζιου φαντάσματος (στην κλάση Ghost_Movement3).

--Σκοπός

Στόχος της είναι η κίνηση του συγκεκριμένου φαντάσματος προς τον pacman, με τρόπο που μειώνει την μεταξύ τους Ευκλείδεια απόσταση.

--Συναρτήσεις

Μία είναι η συνάρτηση της συγκεκριμένης κλάσης, η Euclidean, με ορίσματα τις συντεταγμένες του pacman, αλλά και του γαλάζιου φαντάσματος. Η διαδικασία είναι η εξής. Υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση -του pacman από το φάντασμα- για όλους τους κόμβους που γειτονεύουν με αυτόν στον οποίο βρίσκεται το γαλάζιο φάντασμα. Κατά συνέπεια, ανάλογα με την τοποθεσία του φαντάσματος προκύπτουν δύο, τρεις, αλλά και τέσσερις αποστάσεις (διάδρομος, σταυροδρόμι τύπου T και σταυροδρόμι τύπου (+) αντίστοιχα), μεταξύ των οποίων επιλέγεται πάντα η μικρότερη. Στην περίπτωση που ο pacman έχει καταναλώσει μια δυναμωτική κουκκίδα, επιλέγεται η μεγαλύτερη απόσταση, μιας και το φάντασμα “αντιλαμβάνεται” τον κίνδυνο που το διατρέχει. Ο τύπος σύμφωνα με τον οποίο προκύπτει η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο σημείων

$P(p_1, p_2)$ και $Q(q_1, q_2)$ στο δισδιάστατο χώρο, είναι ο παρακάτω:

$$D = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2}$$

18. Κλάση Ghost_Movement4 (Manhattan Distance)

Είναι η τέταρτη και τελευταία από τις κλάσεις που ενεργοποιούνται μετά την ολοκλήρωση κάθε κύκλου του ρολογιού (sleep) του thread στην κλάση Ghost_Continuous Movement.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η κίνηση του κίτρινου φαντάσματος και για την ακρίβεια η τοποθέτηση του κεφαλαίου χαρακτήρα ‘J’, στην επόμενη του θέση μέσα στον πίνακα που δημιούργησε η κλάση arrayCreator. Το ερώτημα είναι, αν η επόμενη θέση περιέχει τον pacman.

--Συναρτήσεις

Οι συναρτήσεις είναι οι ίδιες με αυτές της κλάσης Ghost_Movement όσον αφορά τον έλεγχο (Move_Ghost και CheckNextMove), αλλά και το animation. Η μόνη διαφορά έγκειται στη εύρεση της επόμενης θέσης που πρόκειται να μεταβεί το κίτρινο φάντασμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την κλήση της συνάρτησης Manhattan, που ανήκει στην επόμενη κλάση.

19. Κλάση ManhattanDistance

Καλείται κάθε φορά πριν την επόμενη κίνηση του κίτρινου φαντάσματος (στην κλάση Ghost_Movement4).

--Σκοπός

Στόχος της είναι η κίνηση του συγκεκριμένου φαντάσματος προς τον pacman, με τρόπο που μειώνει την μεταξύ τους Manhattan απόσταση.

--Συναρτήσεις

Μία είναι η συνάρτηση της συγκεκριμένης κλάσης, η Manhattan, με ορίσματα τις συντεταγμένες του pacman, αλλά και του κίτρινου φαντάσματος. Η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτήν της κλάσης EuclideanDistance και είναι η εξής. Υπολογίζεται η Manhattan απόσταση -του pacman από το φάντασμα- για όλους τους κόμβους που γειτονεύουν με αυτόν στον οποίο βρίσκεται το κίτρινο φάντασμα. Κατά συνέπεια, ανάλογα με την τοποθεσία του φαντάσματος προκύπτουν δύο, τρεις, αλλά και τέσσερις αποστάσεις (διάδρομος, σταυροδρόμι τύπου T και σταυροδρόμι τύπου (+) αντίστοιχα), μεταξύ των οποίων επιλέγεται πάντα η μικρότερη. Στην περίπτωση που ο pacman έχει καταναλώσει μία δυναμωτική κουκκίδα, όμοια με πριν, επιλέγεται η μεγαλύτερη απόσταση, μιας και το φάντασμα “αντιλαμβάνεται” τον κίνδυνο που το διατρέχει. Ο τύπος σύμφωνα με τον οποίο προκύπτει η Manhattan απόσταση μεταξύ δύο σημείων

$P(p_1, p_2)$ και $Q(q_1, q_2)$ στο δισδιάστατο χώρο, είναι ο παρακάτω:

$$D = |p_1 - q_1| + |p_2 - q_2|$$

20. Κλάση Ghost_Animation

Η κλάση αυτή καλείται κάθε φορά στο τέλος των Ghost_Movement, Ghost_Movement2, Ghost_Movement3 και Ghost_Movement4 με ορίσματα τη νέα τοποθεσία των φαντασμάτων (νέες συντεταγμένες), καθώς και την κατεύθυνση προς την οποία θα κινηθούν. Το πρώτο όρισμα είναι αυτό που ενημερώνει διαρκώς την κλάση MazePane.

--Σκοπός:

Στόχος της είναι η συνεχόμενη κίνηση (animation) των φαντασμάτων που κινούνται μέσα στο λαβύρινθο.

--Συναρτήσεις:

Η υλοποίηση της συγκεκριμένης κλάσης είναι παρόμοια με αυτήν της κλάσης PacMan_Animation. Έτσι, με τη χρήση ενός thread, αλλά και της συνάρτησης run (συνάρτηση της JAVA), εκτελούνται τα εξής. Ανάλογα με ποια από τις Boolean μεταβλητές για την κατεύθυνση έχει τιμή "true" (moved_up, moved_down, moved_left και moved_right), επιλέγονται τα κατάλληλα εικονίδια, τα οποία εναλλάσσονται διαδοχικά από την παλιά μέχρι τη νέα θέση του pacman. Η τύπωσή τους στο παράθυρο της εφαρμογής υλοποιείται με την βοήθεια της κλάσης MazePane και διαρκεί ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (ανάλογο του ρολογιού του thread), έτσι ώστε να δίνει την αίσθηση συνεχόμενης κίνησης. Η μόνη διαφορά με την αντίστοιχη κλάση του pacman, έγκειται στην τύπωση των εικονιδίων στο παράθυρο της εφαρμογής, η οποία πραγματοποιείται με την κλήση τεσσάρων ξεχωριστών συναρτήσεων. Αυτές είναι οι ghost1animation (κόκκινο φάντασμα), ghost2animation (ροζ φάντασμα), ghost3animation (γαλάζιο φάντασμα), ghost4animation (κίτρινο φάντασμα).

21. Κλάση Store

Καλείται μέσω της κλάσης Score κάθε φορά που ο pacman ολοκληρώνει μία πίστα, ή χάνει όλες του τις ζωές.

--Σκοπός

Στόχος της είναι η αποθήκευση δεδομένων που θα αποτελέσουν στο επόμενο κεφάλαιο την πηγή για την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων.

--Συναρτήσεις

Υπάρχει μία συνάρτηση, η storeGameResults, η οποία δέχεται σαν ορίσματα μεταβλητές (από την κλάση PacMan_Movement), που περιέχουν πληροφορίες σχετικές με τον αριθμό όλων των στοιχείων που έχουν καταναλωθεί (κουκκίδες, φαντάσματα,

power dots), επίσης με τη συνολική βαθμολογία (τελικό score), καθώς και με τον αριθμό των βημάτων που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση μιας πίστας (steps). Στη συνέχεια αποθηκεύει όλες αυτές τις πληροφορίες σε ένα αρχείο κειμένου, ούτως ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε σκοπό, στην προκειμένη περίπτωση για τη δημιουργία γραφικών παραστάσεων.

5.1.2 Υλοποίηση αλγορίθμου

Η όλη ιδέα του αλγορίθμου αναλύθηκε εκτενώς στο τέταρτο κεφάλαιο. Για το λόγο αυτό ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της υλοποίησής του, για την οποία χρειάστηκαν τρεις κλάσεις.

1. Κλάση createHashTable

Καλείται μία φορά στο ξεκίνημα του παιχνιδιού (κλάση PacMan), ακριβώς μετά από τη δημιουργία του πίνακα της κλάσης arrayCreator.

--Σκοπός:

Σκοπός της είναι να μετατρέψει τον εκάστοτε λαβύρινθο στον αντίστοιχο γράφο, και στη συνέχεια να δημιουργήσει το Hash Table που θα περιέχει πληροφορίες για όλους τους κόμβους, αλλά και τους γειτονικούς που τους αντιστοιχούν. Επιπρόσθετα, η συγκεκριμένη κλάση είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του πίνακα A (από το γραμμικό σύστημα) και του αντιστρόφου του, A^{-1} .

--Συναρτήσεις:

Η πρώτη, η getInstance είναι αυτή που καθιστά εφικτή τη δημιουργία του Hash Table, μιας και είναι συνάρτηση της JAVA. Στη συνέχεια στον “constructor” της κλάσης αντιγράφεται ο πίνακας της κλάσης arrayCreator και μετατρέπεται κατάλληλα, αριθμώντας διαδοχικά όλα τα πιθανά σημεία που μπορεί να μεταβεί ο πράκτορας (τα υπόλοιπα παίρνουν την τιμή μηδέν), έτσι ώστε να προκύψει ο συνολικός αριθμός των κόμβων ολόκληρου του λαβυρίνθου. Έπειτα ο νέος πίνακας σαρώνεται, και για οποιοδήποτε στοιχείο διάφορο του μηδενός, γίνεται έλεγχος στα γειτονικά του στοιχεία, αφού πρώτα αυτό έχει οριστεί ως ένα νέο “κλειδί” στο Hash Table. Πρέπει να σημειωθεί ότι από τη στιγμή που ο pacman δεν κινείται διαγώνια, τα στοιχεία που ελέγχονται είναι κάθε φορά τέσσερα (πάνω, κάτω, αριστερά και δεξιά). Συνεπώς ανάλογα με το πόσα γειτονικά στοιχεία είναι διάφορα του μηδενός, προκύπτει ο

αριθμός των γειτονικών κόμβων. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, οι γειτονικοί κόμβοι απαρτίζουν τις τιμές (values) στο κλειδί (id) που αντιστοιχούν. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του Hash Map, καλείται η επόμενη συνάρτηση, η createA. Το όνομά της παραπέμπει στο περιεχόμενό της, οπότε εδώ σχηματίζεται ο πίνακας A και στη συνέχεια αντιστρέφεται (A^{-1}) χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη JAMA, η οποία εκτελεί πράξεις με πίνακες σε JAVA.

2.Κλάση Algorithm

Καλείται πριν από κάθε επόμενη κίνηση του pacman, από την αντίστοιχη κλάση που τον μετακινεί (PacMan_Movement).

--Σκοπός:

Στόχο της αποτελεί η εύρεση της βέλτιστης επόμενης κίνησης.

--Συναρτήσεις:

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο του αλγορίθμου, το γραμμικό σύστημα $Ax=b$ λύνεται πριν από κάθε κίνηση του πράκτορα εφόσον το διάνυσμα (b) μεταβάλλεται διαρκώς. Οι τιμές των στοιχείων (ενέργειες) του εν λόγω πίνακα, καθορίζονται από την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού, οπότε από τη στιγμή που τα φαντάσματα και ο πράκτορας μετακινούνται μέσα σε αυτόν, είναι αναγκαία η επαναλαμβανόμενη επίλυση του συστήματος. Ωστόσο, χρειάζεται μόνο ένας πολλαπλασιασμός πίνακα-διανύσματος ($x=A^{-1}b$), διότι ο A/A^{-1} είναι ανεξάρτητος της κατάστασης του παιχνιδιού. Η συνάρτηση που σχηματίζει το διάνυσμα (b), είναι η `metavlhtes`. Έτσι, η τελευταία σαρώνει τον πίνακα της κλάσης `arrayCreator` ελέγχοντας το περιεχόμενο όλων των κόμβων του λαβυρίνθου. Συνεπώς, ανάλογα με αυτό, ανατίθενται και οι αντίστοιχες τιμές ενεργειών. Πιο συγκεκριμένα η τιμή για την κουκκίδα είναι 0.001, για το power dot -106, όταν η boolean μεταβλητή που αντιστρέφει τους κανόνες είναι false, και 0.0000000001, όταν είναι true. Η θετική τιμή της δυναμωτικής κουκκίδας είναι μικρότερη της κανονικής, για τον ίδιο λόγο που ενίοτε παίρνει και αρνητική (δηλαδή προς αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης). Το φρούτο έχει ενέργεια 1 και τέλος, όσον αφορά τα φαντάσματα τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά, αφού όπως προαναφέρθηκε η τιμή της ενέργειας σχετίζεται με την απόστασή τους από τον pacman, αλλά και την κατάσταση που βρίσκονται (scared ή κανονική). Κατά συνέπεια καλείται η δεύτερη συνάρτηση, η `checkDistance` με ορίσματα τις συντεταγμένες του πράκτορα και του εκάστοτε φαντάσματος, η οποία υπολογίζει τις αποστάσεις βάσει του αλγορίθμου Shortest Path.

Αφού πλέον έχουν βρεθεί όλες οι αποστάσεις, αυτές γίνονται ορίσματα στην επόμενη συνάρτηση (checkEnergy), που είναι υπεύθυνη για τη σωστή ανάθεση της αντίστοιχης ενέργειας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μόνο στην περίπτωση που τα φαντάσματα βρίσκονται στην κανονική τους κατάσταση (όχι scared). Στην αντίθετη, όλα έχουν την ίδια τιμή ενέργειας και μάλιστα θετικής, που ισούται με 10.

Όταν πλέον ολοκληρωθεί το διάνυμα (b), προστίθεται με το διάνυμα (b_crosses), που περιέχει τις τιμές των ενεργειών για τα σταυροδρόμια, ούτως ώστε να προκύψει το τελικό (b_total). Το b_total είναι το διάνυμα με το οποίο στην τελευταία συνάρτηση πια, energieies θα πολλαπλασιάζεται ο αντίστροφος του A για να προκύψει η τελική διάχυση όλων των ενεργειών στο λαβύρινθο πριν από κάθε κίνηση. Η διαδικασία είναι πλέον γνωστή, βρίσκω τον γειτονικό κόμβο με τη μεγαλύτερη ενέργεια και κινούμαι προς αυτόν. Αυτό επιτυγχάνεται θέτοντας ως όρισμα στη συνάρτηση Move_PacMan - της κλάσης PacMan_Movement- το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, το οποίο δεν είναι άλλο παρά ένα string με όνομα αντίστοιχο της κατεύθυνσης (left, right, down και up).

3. Κλάση Policy

Καλείται μέσω της κλάσης PacMan_Continuous_Movement κάθε φορά που πιέζεται το πλήκτρο (P).

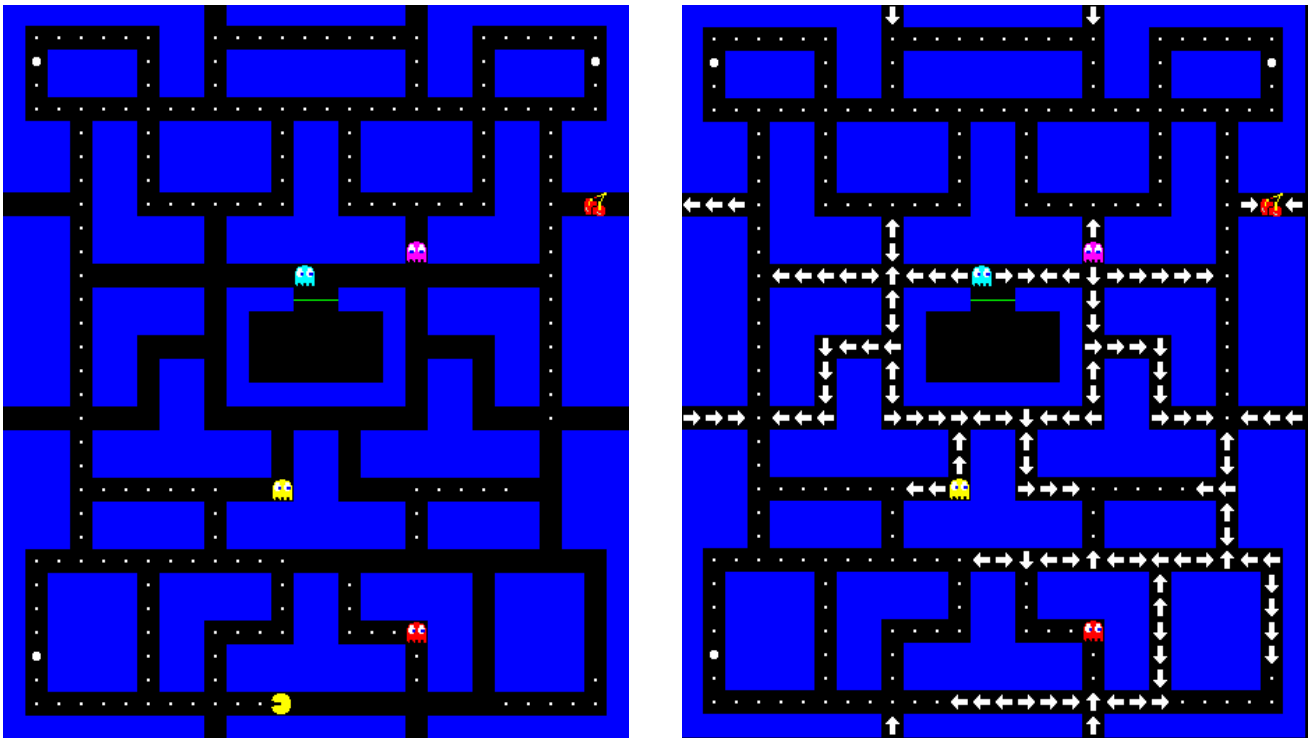
--Σκοπός:

Στόχος της είναι η επαλήθευση του αλγορίθμου. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας βέλη σε κάθε κενή θέση του λαβυρίνθου, με κατεύθυνση αντίστοιχη με αυτήν του αποτελέσματος της κλάσης Algorithm, όταν καλείται από κάθε τέτοια θέση.

--Συναρτήσεις:

Υπάρχουν δύο συναρτήσεις, η checkPolicy και η returnMaze. Η πρώτη αντιγράφει αρχικά τον πίνακα της κλάσης arrayCreator (στην κατάσταση που βρισκόταν, πριν από την ενεργοποίηση της παύσης). Στη συνέχεια, τοποθετεί διαδοχικά τον πράκτορα σε όλα τα κενά σημεία καλώντας τις συναρτήσεις metavlhtes και energieies της κλάσης Algorithm, έτσι ώστε να προκύψει το αποτέλεσμα που όπως προαναφέρθηκε είναι ένα string που περιγράφει την κατεύθυνση της νέας τοποθεσίας. Ανάλογα τώρα με το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, τοποθετείται και το αντίστοιχο βέλος στον εκάστοτε κενό κόμβο, από τον οποίο ξεκίνησε η όλη διαδικασία.

Και επειδή μια εικόνα είναι πάντα καλύτερη από χίλιες λέξεις, ακολουθεί ένα παράδειγμα της συγκεκριμένης λειτουργίας (Εικόνα 34).



Εικόνα 34. Περίπτωση ενεργοποίησης Policy. Αριστερά: στιγμιότυπου του παιχνιδιού μετά την ενεργοποίηση της παύσης, δεξιά: στιγμιότυπου του παιχνιδιού με απεικόνιση policy

Η δεύτερη και τελευταία συνάρτηση της κλάσης (returnMaze), είναι αυτή που αντιστρέφει τη διαδικασία και ξανατυπώνει στο παράθυρο της εφαρμογής -με τη βοήθεια της κλάσης MazePane- την αρχική κατάσταση (αυτήν που επικρατούσε πριν από την ενεργοποίηση της λειτουργίας pause).

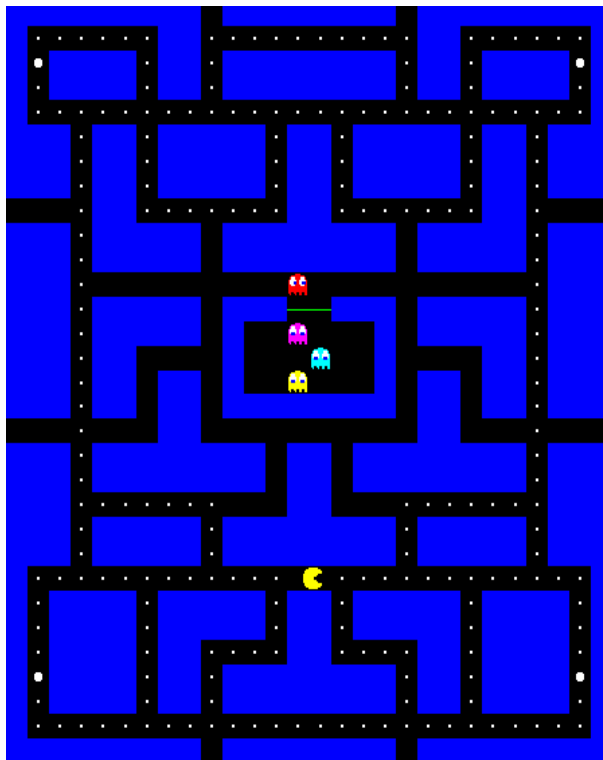
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, η κλάση Store ήταν αυτή που αποθήκευε μεταβλητές με δεδομένα (score, steps, eaten ghosts, κ.α.) σε ένα αρχείο κειμένου, έτσι ώστε να προκύψουν στη συνέχεια στατιστικά στοιχεία. Ωστόσο, θα έπρεπε τα αποτελέσματα να έχουν ένα μέτρο σύγκρισης (baseline), έτσι ώστε να φανεί πόσο αποτελεσματικός είναι ο αλγόριθμος. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκε ένας ακόμη πράκτορας, λιγότερο “έξυπνος” από τον πρώτο (τυχαία κίνηση, random), ούτως ώστε να φανεί η διαφορά.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε τρεις λαβυρίνθους του παιχνιδιού Ms.Pac-Man. Για κάθε έναν από αυτούς ελήφθησαν 50 επαναλήψεις για τον πράκτορα του αλγορίθμου και άλλες τόσες για τον δεύτερο πράκτορα. Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι συγκεκριμένοι λαβύρινθοι, είχαν κάποιες διαφορές σε σχέση με τους γνήσιους, αλλά όλα αυτά θα αναλυθούν παρακάτω.

6.1 Αποτελέσματα πρώτου λαβυρίνθου (Level 1)

Ο πρώτος λαβύρινθος (Εικόνα 35) με συνολικό αριθμό κουκκίδων ίσο με 220, ήταν σχεδόν όμοιος με τον αντίστοιχο του γνήσιου παιχνιδιού, με μοναδική διαφορά, δύο επιπλέον τούνελ στο πάνω μέρος της πίστας (αντίστοιχα και στο κάτω). Η προσθήκη των δύο τούνελ κρίθηκε σκόπιμη, πρώτον για να δοκιμαστεί η διάχυση της ενέργειας σε πολλαπλές διόδους και δεύτερον, ως απόδειξη της παραμετρικής υλοποίησης του παιχνιδιού.

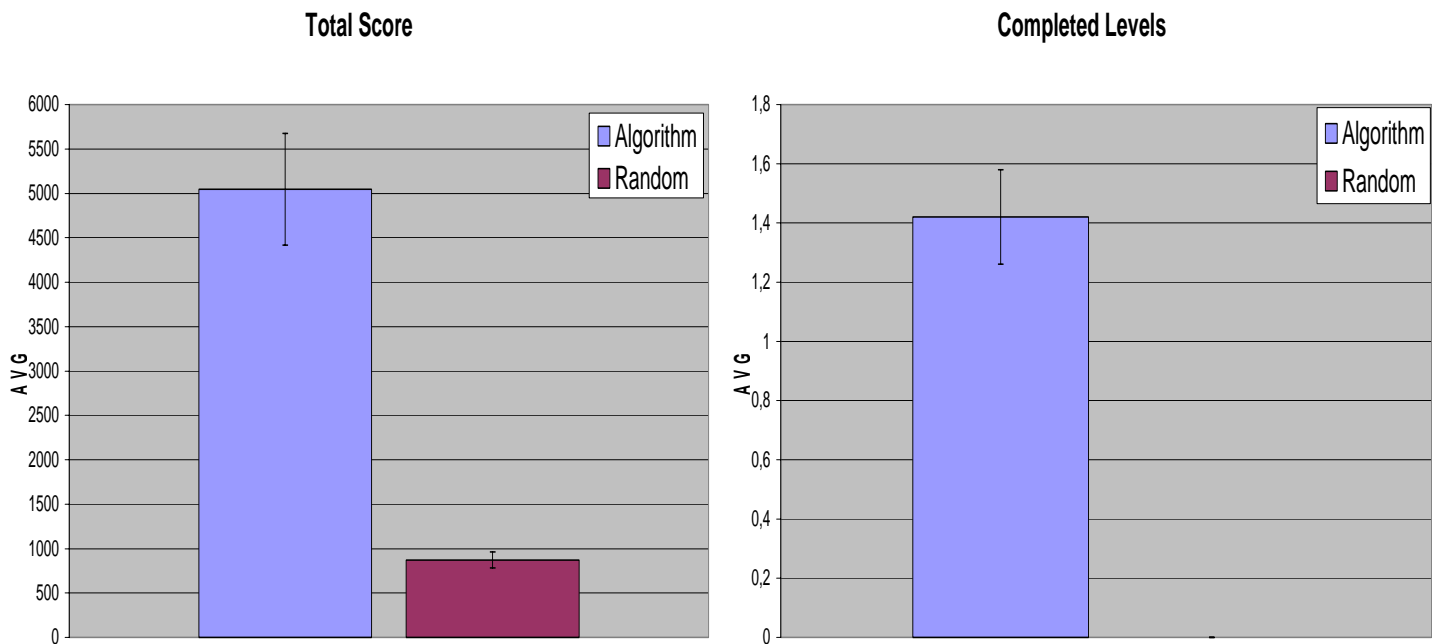


Εικόνα 35. Στιγμιότυπο της πρώτη πίστας του παιχνιδιού

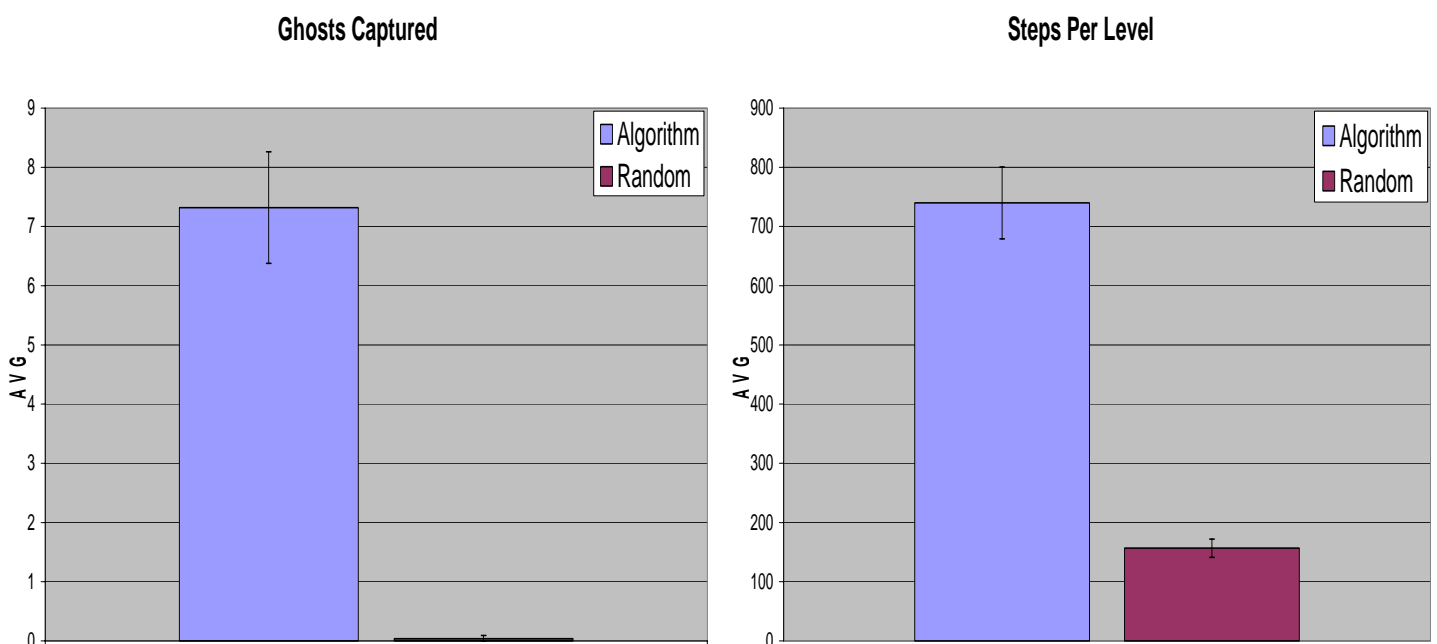
Κατά συνέπεια, όλα τα προαναφερθέντα δεδομένα μετατράπηκαν σε διαγράμματα, ούτως ώστε να φανεί πόσο αποτελεσματικός είναι ο αλγόριθμος. Έτσι, σε κάθε διάγραμμα υπάρχουν δύο στήλες (μωβ και μπορντό). Η μωβ στήλη αντιπροσωπεύει τον πράκτορα που κινείται βάσει αλγορίθμου, ενώ η μπορντό τον pacman που κινείται τυχαία (random). Συνεπώς, μπορεί κανείς με μια ματιά να συγκρίνει ποιο από τα δύο ενδεχόμενα είναι καλύτερο σε τομείς όπως η βαθμολογία, το πλήθος των περιπτώσεων που κατάφερε να ολοκληρώσει ο πράκτορας τον εν λόγω λαβύρινθο, το πλήθος των φαντασμάτων που κατανάλωσε ο pacman, τα βήματα που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση της πίστας, καθώς επίσης και το πλήθος των κουκκίδων που κατανάλωσε κατά τη διάρκεια ενός παιχνιδιού. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί, ότι όλα τα διαγράμματα απεικονίζουν τη **μέση τιμή** των στοιχείων που προαναφέρθηκαν από ένα σύνολο 50 επαναλήψεων, αλλά και ένα στατιστικό μέτρο εμπιστοσύνης (95% Confidence intervals).

Το ζευγάρι διαγραμμάτων που ακολουθεί (Διάγραμμα 1) απεικονίζει τη βαθμολογία και το πλήθος των περιπτώσεων που κατάφερε ο πράκτορας να ολοκληρώσει το λαβύρινθο, ενώ το επόμενο (Διάγραμμα 2), τον αριθμό των φαντασμάτων που

καταναλώθηκαν, καθώς επίσης και τα βήματα που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση της πίστας.



Διάγραμμα 1. Πρώτος λαβύρινθος: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)

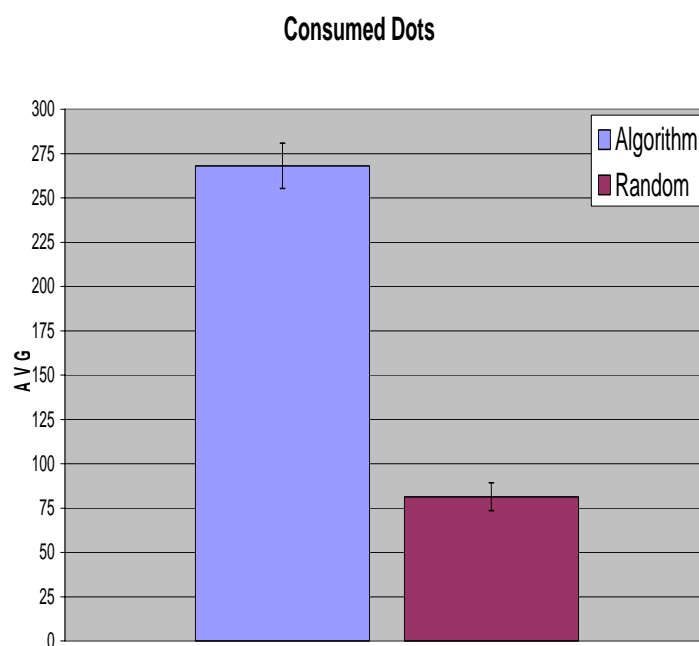


Διάγραμμα 2. Πρώτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά)

Από το πρώτο ζευγάρι διαγραμμάτων (score, reaching next level) γίνεται αντιληπτό, ότι ο αλγόριθμος παράγει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τον pacman με την τυχαία κίνηση, εφόσον ο η μέση τιμή είναι στατιστικά καλύτερη σε κάθε περίπτωση. Στο διάγραμμα που βρίσκεται δεξιά, η μπορντό μπάρα απουσιάζει, μιας και ο πράκτορας με την τυχαία κίνηση δεν κατάφερε –όπως είναι λογικό- να ολοκληρώσει την πίστα.

Τα ίδια ισχύουν και στο δεύτερο ζευγάρι (ghosts captured, steps per level), μόνο που στην περίπτωση των βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας, ισχύει η αντίθετη διαδικασία, δηλαδή καλύτερος μέσος όρος είναι αυτός με τη μικρότερη τιμή. Ωστόσο, εφόσον ο “τυχαίος” πράκτορας δεν κατάφερε ούτε μία φορά να ολοκληρώσει μια πίστα, δεν τίθεται θέμα σύγκρισης, τουλάχιστον όσον αφορά τα βήματα (steps per level).

Το τελευταίο διάγραμμα (Διάγραμμα 3) σχετίζεται με το μέσο όρο των κουκκίδων που καταναλώνονται ανά παιχνίδι.

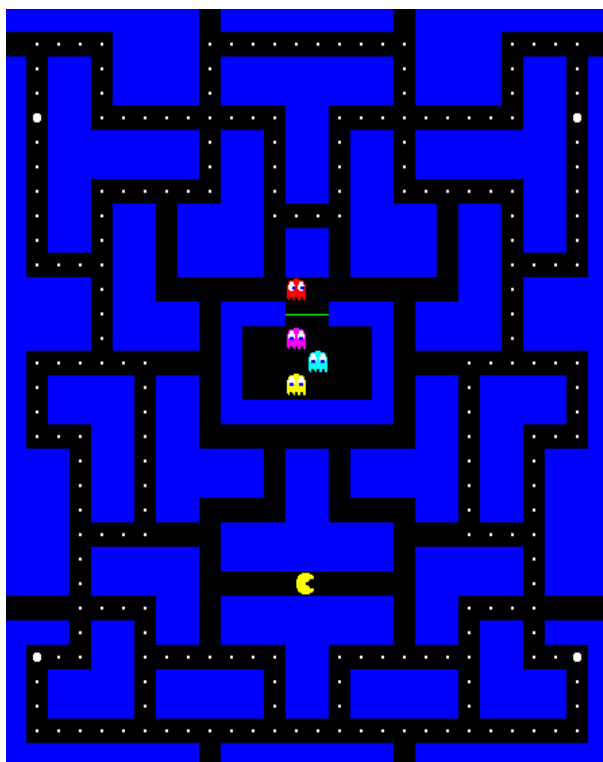


Διάγραμμα 3. Πρώτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι

Και σε αυτήν την περίπτωση ο αλγόριθμος κερδίζει κατά κράτος τον pacman με την τυχαία κίνηση. Αυτό εξάλλου είναι εμφανές και από το διάγραμμα.

6.2 Αποτελέσματα δεύτερου λαβυρίνθου (Level 2)

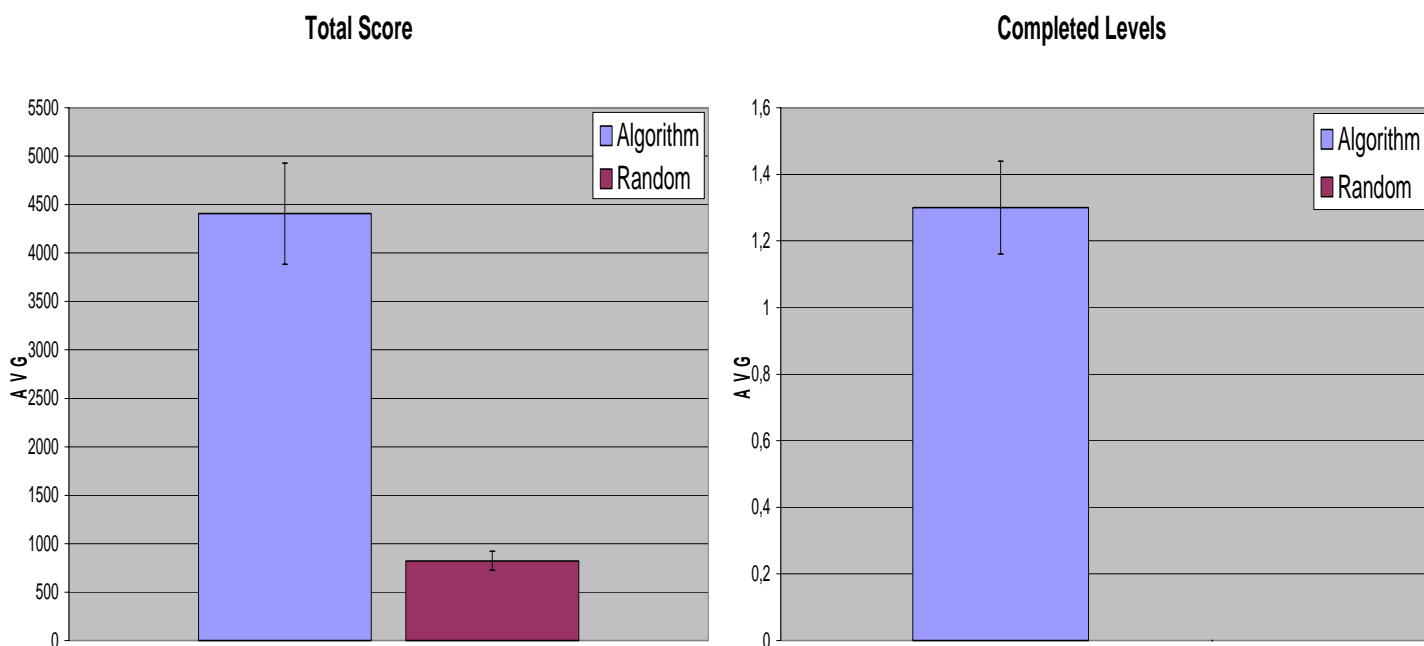
Ο δεύτερος λαβύρινθος (Εικόνα 36) με συνολικό αριθμό κουκκίδων ίσο με 222, είχε εκτός από την προσθήκη δύο επιπλέον τούνελ στο πάνω μέρος της πίστας (αντίστοιχα και στο κάτω), και μερικές αλλαγές στη μορφολογία του. Οι αλλαγές προέκυψαν στην ανάγκη της μείωσης του μακρύτερου διαδρόμου, ο οποίος ξεπερνούσε τους 12 κόμβους.



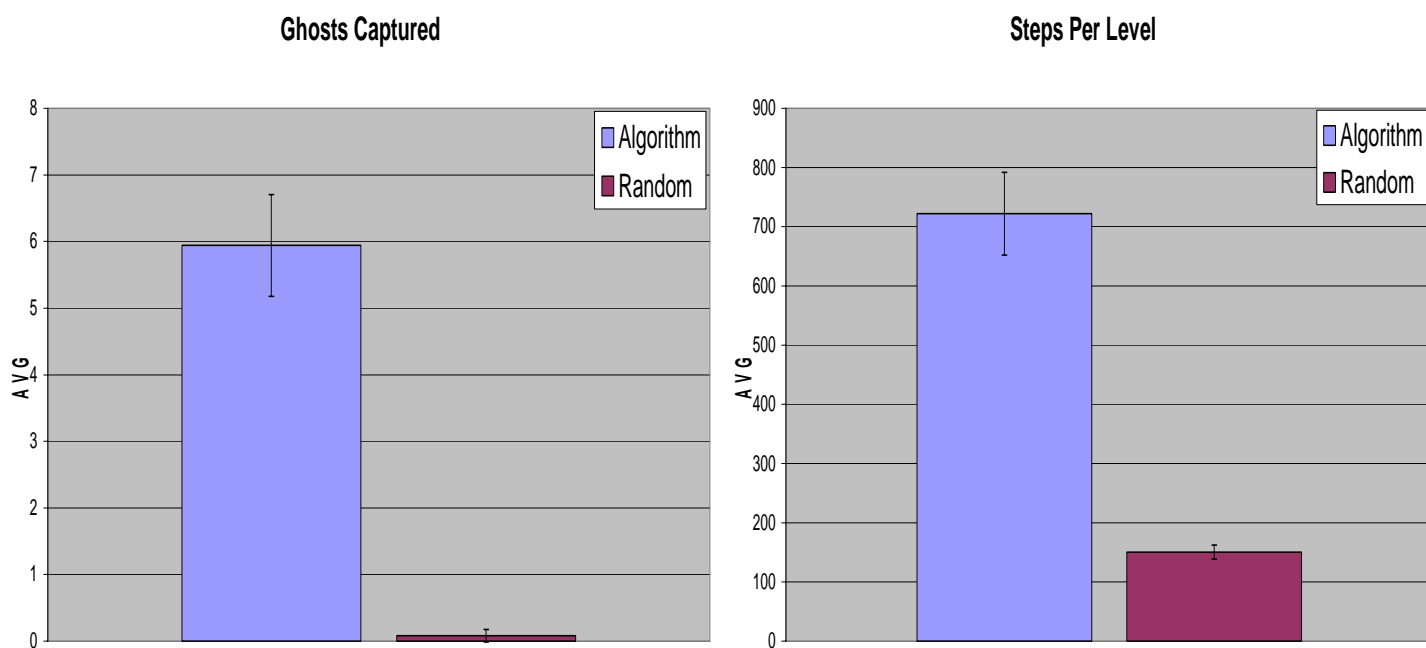
Εικόνα 36. Στιγμιότυπο της δεύτερης πίστας του παιχνιδιού

Η διαδικασία είναι όμοια με πριν. Τα ίδια δεδομένα (total score, completed levels, ghosts captured, steps per level, consumed dots), τα οποία έχουν καταγραφεί, μετατρέπονται σε διαγράμματα και παρουσιάζονται για να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις. Συνεπώς, υπάρχουν πάλι οι ίδιες δύο στήλες σε κάθε διάγραμμα (μωβ και μπορντό), με τη μωβ στήλη να αντιπροσωπεύει τον πράκτορα που κινείται βάσει του αλγορίθμου, ενώ η μπορντό τον pacman που κινείται τυχαία (random)

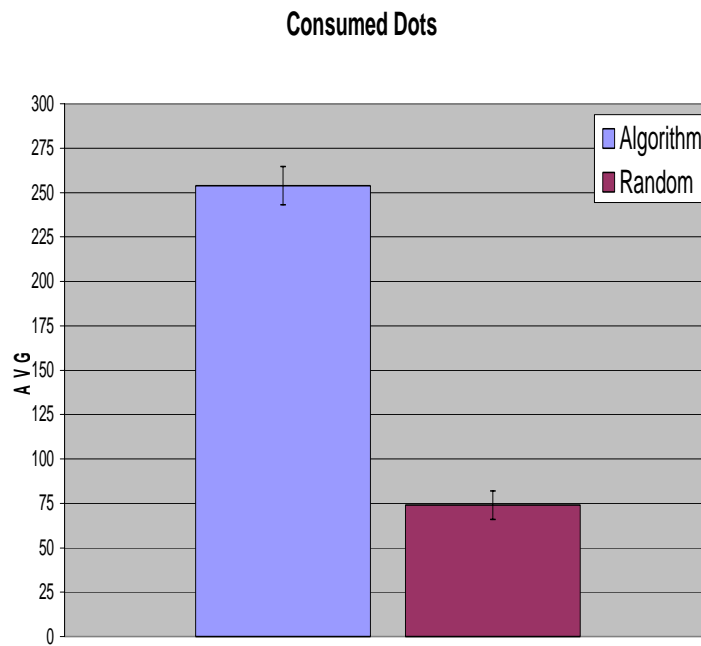
Τα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 4, Διάγραμμα 5 και Διάγραμμα 6), παρατίθενται με την ίδια σειρά, όπως και στην περίπτωση της πρώτης πίστας.



Διάγραμμα 4. Δεύτερος λαβύρινθος: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)



Διάγραμμα 5. Δεύτερος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά)

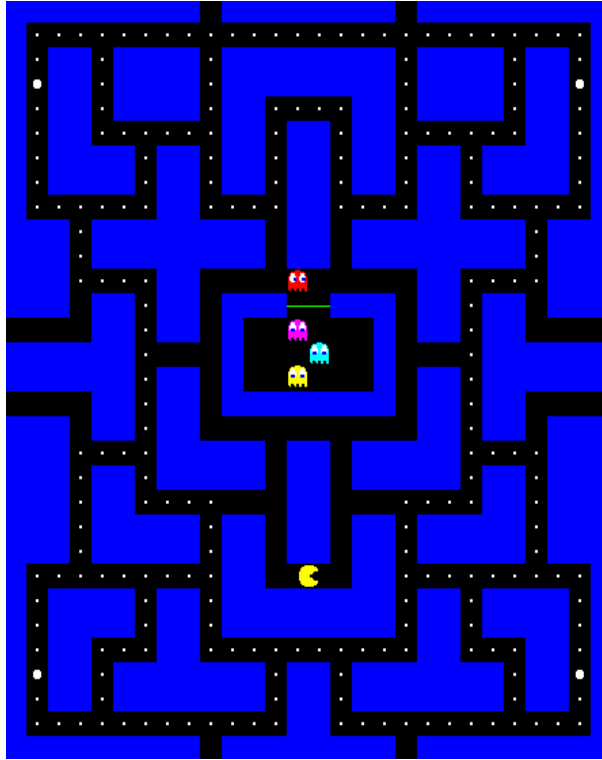


Διάγραμμα 6. Δεύτερος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι

Σε όλες τις περιπτώσεις –όμοια με πριν- ο αλγόριθμος υπερτερεί του pacman με την τυχαία κίνηση (random). Αυτό εξάλλου είναι εμφανές και από τα διαγράμματα, τόσο στο μέσο όρο, όσο και στο στατιστικό μέτρο εμπιστοσύνης (95% Confidence intervals).

6.3 Αποτελέσματα τρίτου λαβυρίνθου (Level 3)

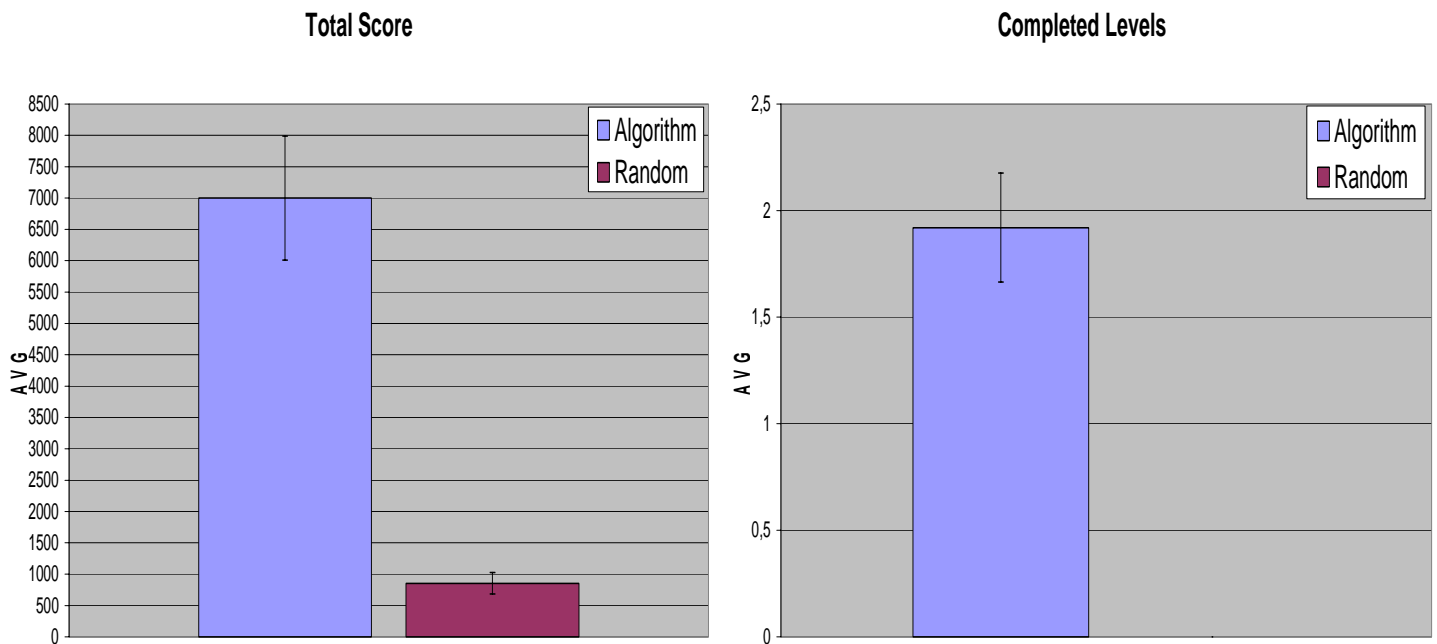
Ο τρίτος και τελευταίος λαβύρινθος (Εικόνα 37) στον οποίο δοκιμάστηκε ο αλγόριθμος με συνολικό αριθμό κουκκίδων ίσο με 238, ήταν σχεδόν όμοιος με τον τέταρτο λαβύρινθο του γνήσιου παιχνιδιού, με μοναδική διαφορά την προσθήκη δύο επιπλέον τούνελ στο πάνω μέρος της πίστας (αντίστοιχα και στο κάτω), για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και στα αποτελέσματα του πρώτου λαβυρίνθου (βλ. Ενότητα 6.1).



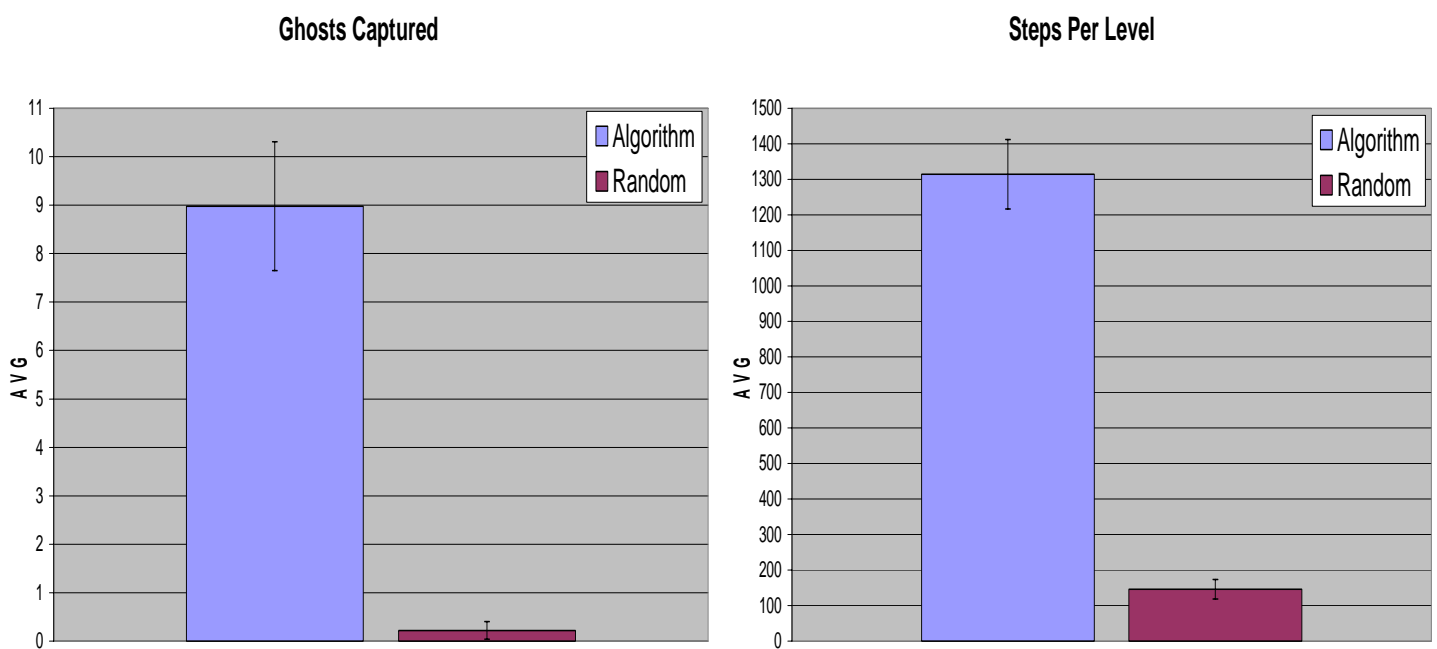
Εικόνα 37. Στιγμιότυπο της τρίτης πίστας του παιχνιδιού

Για τρίτη φορά, τα δεδομένα (total score, completed levels, ghosts captured, steps per level, consumed dots) μετατρέπονται σε διαγράμματα. Οι γνωστές πλέον μωβ και μπορντό στήλες αντιπροσωπεύουν τους δύο πράκτορες, και τα διαγράμματα παρουσιάζονται για να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις.

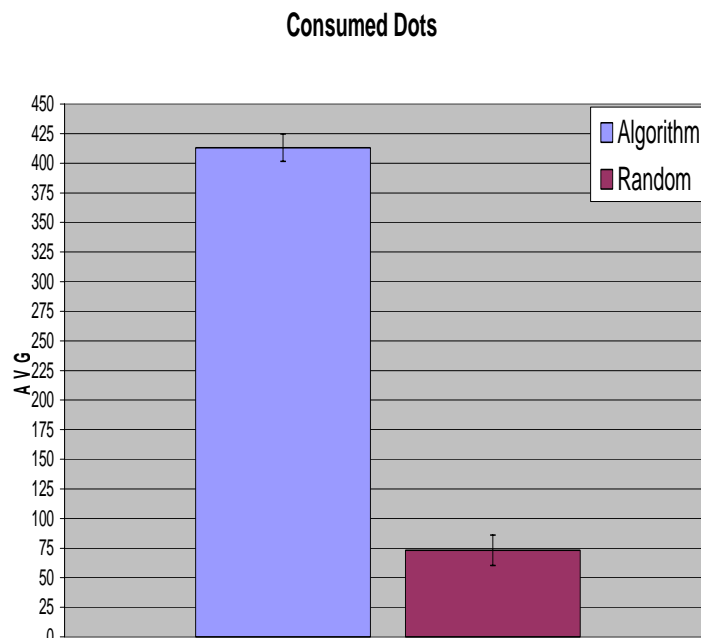
Κατά συνέπεια προκύπτουν δύο ζευγάρια (διάγραμμα 7, διάγραμμα 8) και ένα μονό διάγραμμα (διάγραμμα 9), τα οποία παρατίθενται με την ίδια σειρά, όπως και στην περίπτωση της πρώτης και δεύτερης πίστας.



Διάγραμμα 7. Τρίτος λαβύρινθος: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)



Διάγραμμα 8. Τρίτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά)



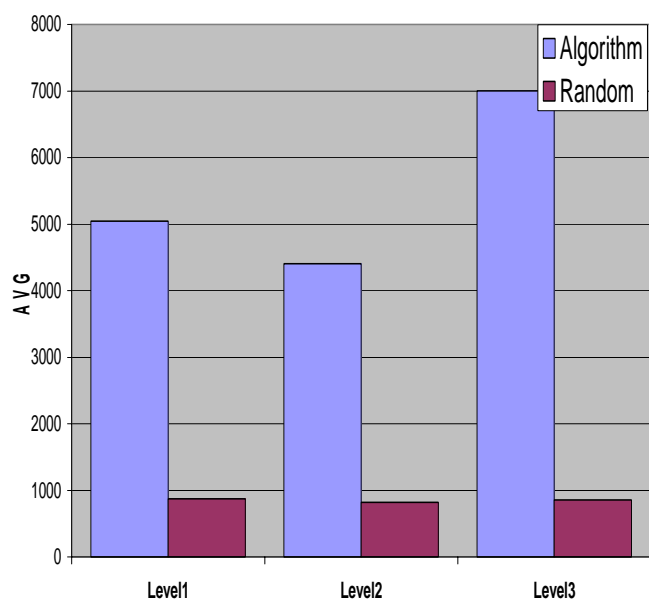
Διάγραμμα 9. Τρίτος λαβύρινθος: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι

Και εδώ ο πράκτορας που κινείται βάσει αλγορίθμου υπερτερεί του “τυχαίου” σε όλες τις μετρικές.

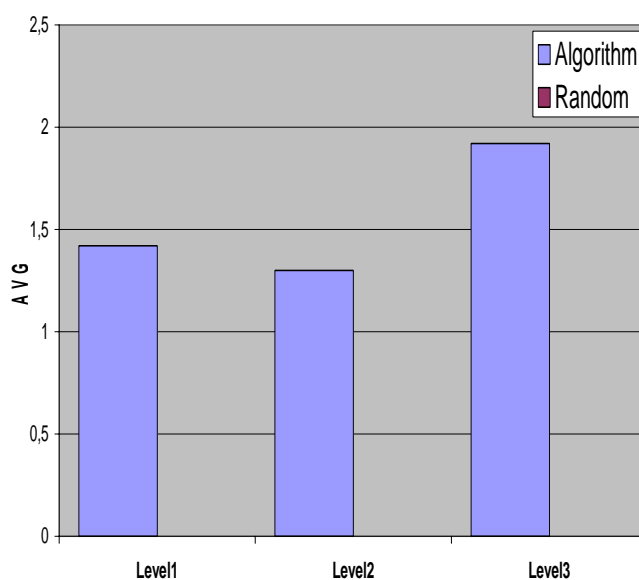
6.4 Συνολικά αποτελέσματα όλων των λαβυρίνθων

Εφόσον αποδείχθηκε ποιος από τους δύο πράκτορες ήταν περισσότερο αποτελεσματικός, δεν έμενε παρά να συγκριθούν τα αποτελέσματα όλων των λαβυρίνθων. Κατά συνέπεια, προέκυψαν πέντε συγκεντρωτικά διαγράμματα, τα οποία παρατίθενται με τη γνωστή σειρά, δηλαδή το πρώτο ζευγάρι (Διάγραμμα 10) παρουσιάζει τη μέση βαθμολογία και το μέσο αριθμό των περιπτώσεων που κατάφερε ο πράκτορας να ολοκληρώσει μια πίστα, το δεύτερο (Διάγραμμα 11), το μέσο αριθμό των φαντασμάτων που καταναλώθηκαν, καθώς και το μέσο αριθμό βημάτων που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση της πίστας και το τελευταίο μονό διάγραμμα (Διάγραμμα 12), απεικονίζει το μέσο αριθμό κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι.

Total Scores

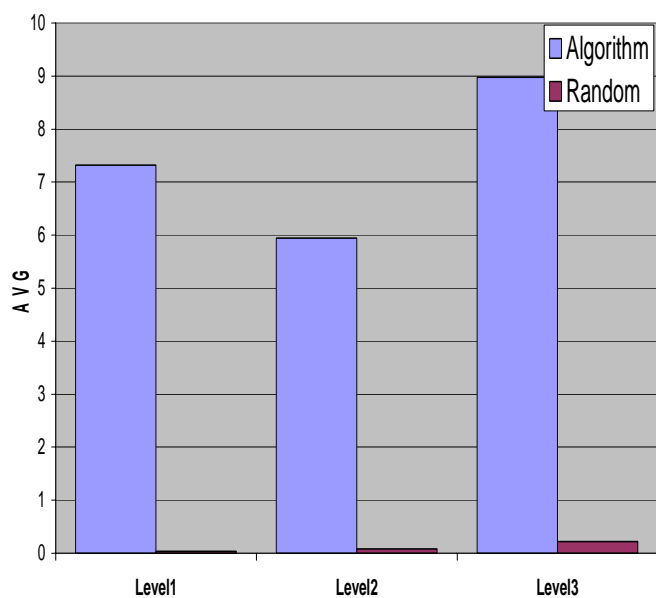


Completed Levels

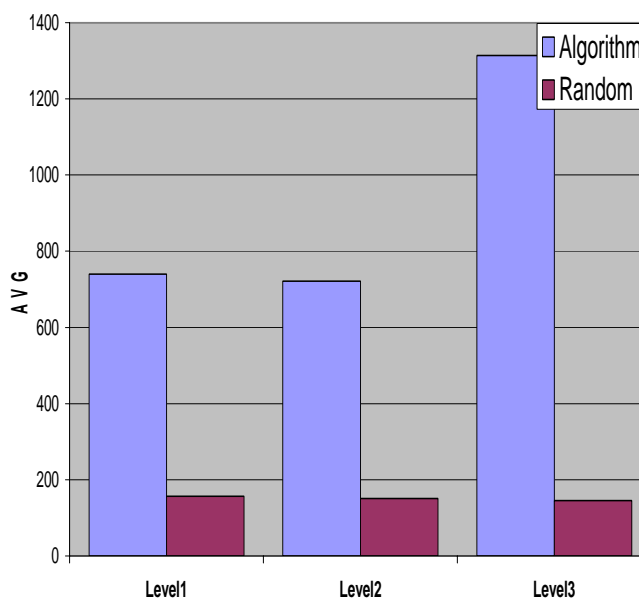


Διάγραμμα 10. Συνολικά αποτελέσματα: Μέση βαθμολογία (αριστερά) και μέσος αριθμός ολοκληρωμένων λαβυρίνθων (δεξιά)

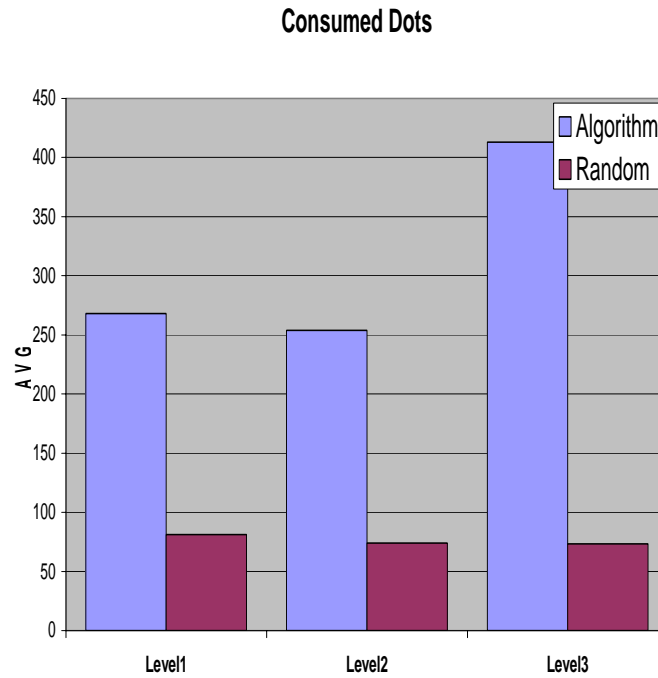
Captured Ghosts



Steps Per Level



Διάγραμμα 11. Συνολικά αποτελέσματα: Μέσος αριθμός φαντασμάτων που καταναλώθηκαν (αριστερά) και μέσος αριθμός βημάτων για την ολοκλήρωση της πίστας (δεξιά)



Διάγραμμα 12. Συνολικά αποτελέσματα: Μέσος αριθμός κουκκίδων που καταναλώθηκαν ανά παιχνίδι

Από τα γραφήματα γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι τη μεγαλύτερη επιτυχία την είχε ο πράκτορας στον τρίτο λαβύρινθο, μιας και σχεδόν σε όλα τα διαγράμματα δείχνει να υπερτερεί σ' αυτόν. Το μόνο μελανό σημείο, είναι στο διάγραμμα με τα βήματα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση ενός λαβυρίνθου. Εκεί ο μέσος όρος βημάτων ξεπερνά κατά πολύ τον αντίστοιχο των άλλων δύο λαβυρίνθων, γεγονός που δείχνει ότι υπήρχε αρκετά μεγάλη ελευθερία κινήσεων τόσο για τον pacman, όσο και για τα φαντάσματα, ώστε η ολοκλήρωση της πίστας να χρειάζεται αρκετά βήματα.

Στη συνέχεια της κατάταξης, ακολουθεί ο πρώτος λαβύρινθος και τελευταίος, ο δεύτερος. Συνεπώς, θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς, ότι ανάλογα με το μέσο όρο της βαθμολογίας, προκύπτει και ο βαθμός δυσκολίας του εκάστοτε λαβυρίνθου. Η συγκεκριμένη εικασία δεν είναι απαραίτητα λανθασμένη, αλλά δεν αποτελεί το μοναδικό κριτήριο σύμφωνα με το οποίο προκύπτει ο βαθμός δυσκολίας μιας πίστας. Το πιο σημαντικό κριτήριο –όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2- είναι η μορφολογία του εκάστοτε λαβυρίνθου. Πιο συγκεκριμένα, ο δεύτερος λαβύρινθος αποτελείται συν τις άλλους από έξι διαδρόμους μήκους 12 κόμβων και άλλους δύο 11 κόμβων, ο πρώτος απαρτίζεται από τέσσερις διαδρόμους μήκους 12 κόμβων και έξι 9 κόμβων, ενώ ο τρίτος λαβύρινθος αποτελείται από μόλις δύο διαδρόμους 12 κόμβων και άλλους τρεις 11 κόμβων.

Συνοψίζοντας λοιπόν, οι λαβύρινθοι κατατάσσονται σύμφωνα με το βαθμό δυσκολίας τους ως εξής. Πρώτος έρχεται ο δεύτερος λαβύρινθος (level 2), ακολουθεί ο πρώτος (level 1) και τρίτος στην κατάταξη έρχεται ο λαβύρινθος με τον αντίστοιχο αριθμό (level 3).

Εν κατακλείδι, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν αρκετά ικανοποιητικά, πρέπει να επισημανθεί ότι ο πράκτορας έφτασε και σε ακόμα πιο υψηλές βαθμολογίες.

Για την ακρίβεια, στον πρώτο λαβύρινθο ο μέσος όρος της βαθμολογίας ήταν $5050 \pm 628,39$, ενώ η μέγιστη βαθμολογία σε 50 επαναλήψεις, ήταν 11570 πόντοι. Αντίστοιχα στο δεύτερο λαβύρινθο ο μέσος όρος ήταν $4410 \pm 523,11$ και η μέγιστη βαθμολογία ίση με 12020. Τέλος στον τρίτο λαβύρινθο ο μέσος όρος ανερχόταν στους $7000 \pm 988,95$ πόντους, ενώ η μέγιστη βαθμολογία που επιτεύχθηκε σε 50 παιχνίδια ήταν 19890 πόντοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ

7.1 Επίτευξη

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας, ήταν ο σχεδιασμός ενός πράκτορα-παίκτη του παιχνιδιού Pac-Man. Για την επίτευξή του, υλοποιήθηκε αρχικά το παιχνίδι σε αρκετά ρεαλιστικό επίπεδο σε σχέση με το πρωτότυπο και στη συνέχεια εφαρμόστηκε σ' αυτό ένας πρωτότυπος αλγόριθμος για την κίνηση του pacman, ο οποίος αποτελούσε και την κεντρική ιδέα της εν λόγω μελέτης.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία επισημαίνονται παρακάτω:

1. Ο πράκτορας-παίκτης έχει μια συνολική εικόνα του λαβυρίνθου και όχι μιας περιορισμένης περιοχής, με αποτέλεσμα να μπορεί να εντοπίσει ακόμα και μια κουκκίδα, σε οποιοδήποτε σημείο και να βρίσκεται αυτή μέσα στο λαβύρινθο.
2. Ο αλγόριθμος βασίζεται στην επίλυση ενός γραμμικού συστήματος, έτσι ώστε να παραμένει η πολυπλοκότητά του σε χαμηλό επίπεδο και ως απόρροια αυτού του γεγονότος, να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα αποδοτικός.
3. Οι πίνακες A και A^{-1} του γραμμικού συστήματος είναι αμετάβλητοι, καθώς εξαρτώνται μόνο από τη μορφολογία του εκάστοτε λαβυρίνθου. Συνεπώς, αρκεί να υπολογιστούν μόνο μία φορά στο ξεκίνημα του παιχνιδιού.
4. Ο σχεδιασμός του αλγορίθμου, τον καθιστά ιδιαίτερα εύπλαστο, ειδικά όσον αφορά ενδεχόμενες προσθήκες νέων συνθηκών που θα έχουν ως στόχο αφενός τη βελτίωσή του, αφετέρου την προσαρμογή του και σε άλλα παιχνίδια.
5. Στην περίπτωση ενός πολύ μεγάλου λαβυρίνθου, ο αλγόριθμος μπορεί να περιοριστεί στην επίλυση μιας συγκεκριμένης περιοχής του γράφου. Αυτό βέβαια μπορεί να έρχεται σε αντιπαράθεση με το πρώτο πλεονέκτημα, αλλά έχει σαν συνέπεια, ακόμα χαμηλότερη πολυπλοκότητα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη ταχύτητα.

Ο πράκτορας-παίκτης αγωνίστηκε ενάντια σε τέσσερα φαντάσματα, των οποίων η κίνηση βασιζόταν σε διαφορετικούς αλγορίθμους, όπως παρατίθεται στον Πίνακα 3.

Χαρακτήρες	Περιγραφή
κόκκινο φάντασμα	Μείωση της “shortest path” απόστασης από τον Pac-Man
γαλάζιο φάντασμα	Μείωση της Ευκλείδειας απόστασης από τον Pac-Man
κίτρινο φάντασμα	Μείωση της “Manhattan” απόστασης από τον Pac-Man
ροζ φάντασμα	Τυχαία κίνηση (Random)

Πίνακας 3. Περιγραφή της κίνησης των τεσσάρων φαντασμάτων

Κατά συνέπεια, τα τρία φαντάσματα προσπαθούσαν συνεχώς να πλησιάσουν τον πράκτορα (γι’ αυτό και αναπτύχθηκε η στρατηγική που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3), ενώ το τέταρτο (random) περιφερόταν άσκοπα μέσα στο λαβύρινθο. Στο σημείο αυτό, θα μπορούσε να πει κανείς ότι ο πράκτορας είχε τρία φαντάσματα να αντιμετωπίσει και όχι τέσσερα (λόγω του random). Κι όμως το τέταρτο (ροζ) φάντασμα ήταν αυτό που τις περισσότερες φορές καταδίκαιζε την εξέλιξη του παιχνιδιού, μιας και ήταν άμεσα συνδεδεμένο με απρόβλεπτες εξελίξεις.

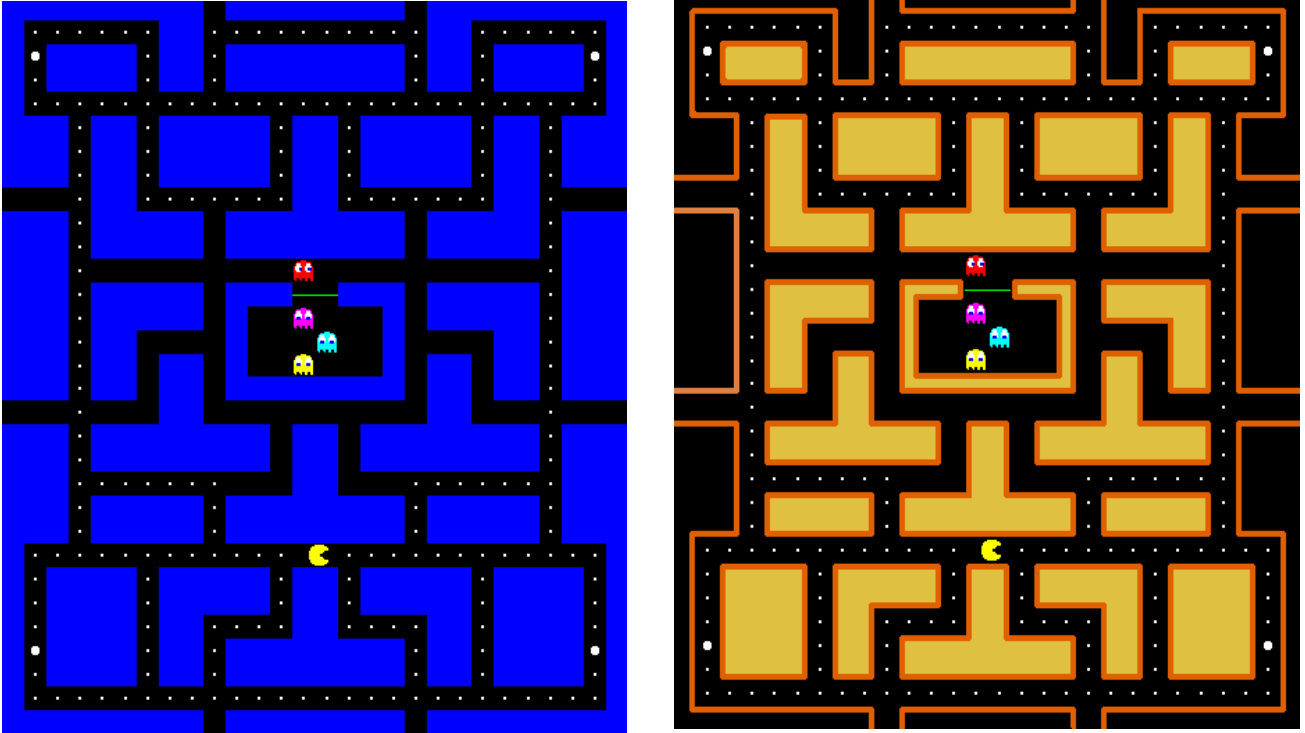
7.2 Μελλοντική Δουλειά

Στο Κεφάλαιο 3 έγινε λόγος για ζευγάρια απόστασης και ενέργειας (Πίνακας 1) όσον αφορά τα φαντάσματα. Τα συγκεκριμένα ζευγάρια περιορίζονται σε λαβυρίνθους, στους οποίους το μέγιστο μήκος ενός διαδρόμου πρέπει να είναι το πολύ 12 κόμβοι. Συνεπώς, με την εύρεση περισσότερων τιμών αρνητικής ενέργειας, που να αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις, θα είναι εφικτή η εφαρμογή του αλγορίθμου και σε λαβυρίνθους με μακρύτερους διαδρόμους (μεγαλύτερους των 12 κόμβων).

Επίσης, εφόσον οι ενέργειες των φαντασμάτων δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλονται βάσει συνθηκών (Πίνακας 1), η προσθήκη νέων, ακόμη πιο εξειδικευμένων συνθηκών, θα είχε σίγουρα ως αποτέλεσμα τη βελτίωση του αλγορίθμου ειδικά όσον αφορά τη βαθμολογία, αλλά και γενικότερα στην όλη συμπεριφορά του πράκτορα.

Τέλος, ενώ η υλοποίηση του παιχνιδιού θεωρείται αρκετά ρεαλιστική, θα μπορούσε να δοθεί περισσότερη έμφαση στα γραφικά, μιας και αυτά του γνήσιου παιχνιδιού είναι

ήδη φτωχά. Στην εικόνα 38 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια ενδεχομένως βελτιωμένη μορφή του παιχνιδιού.



Εικόνα 38. Ενδεχόμενη αλλαγή στα γραφικά του παιχνιδιού. Αριστερά: στιγμιότυπο της μέχρι τώρα εφαρμογής, δεξιά: μία ενδεχομένως νέα εμφάνιση του παιχνιδιού

7.3 Επίλογος

Από τη συγκεκριμένη μελέτη απορρέει το εξής: είναι πολύ σημαντικό να μπορεί κανείς να συνδυάσει μια διπλωματική ή μια οποιαδήποτε έρευνα με κάτι τόσο διασκεδαστικό και συνάμα χιουμοριστικό όπως ένα παιχνίδι, πόσο μάλλον όταν πρόκειται για το παιχνίδι Pac-Man.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] M.Gallagher and A.Ryan. *Learning to Play Pac-Man: An Evolutionary, Rule-based Approach*, R. Sarkar et. al., Proc. Congress on Evolutionary Computation (CEC), pages 2462-2469, 2003.
- [2] Simon M. Lucas. *Evolving a Neural Network Location Evaluator to Play Ms. Pac-Man*, IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, pages 203-210, 2005.
- [3] Aditya Kalyanpur and Mohan Simon. *Pacman using Genetic Algorithms and Neural Networks*. Project Report for ENEE 459N: Neural Network design and Implementation, 2001.
- [4] G. N. Yannakakis, and J. Hallam, "*Evolving Opponents for Interesting Interactive Computer Games*", in Proceedings of the 8th International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'04); From Animals to Animats 8, pages 499-508, Los Angeles, CA, USA, July 13-17, 2004. The MIT Press.
- [5] N. Georgios Yannakakis and J. Hallam. *A Generic Approach for Interesting Interactive Pac-Man Opponents*, Proceedings of IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, pages 94-101, 2005.
- [6] M.G. Lagoudakis and A.S. Maida, "*Neural Maps for Mobile Robot Navigation*", Proceedings of the 1999 IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Washington, D.C., July 1999.
- [7] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson and Ronald L. Rivest, "*Introduction to Algorithms*", chapter VI: "Graph Algorithms", section 25, MIT Press, 1990.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

A.1 Πίνακας ενεργειών φαντασμάτων

Απόσταση (σε κόμβους)	Ενέργεια φαντάσματος	
	χωρίς συνθήκη	υπό συνθήκη
1	-0.0002	-0.2
2	-0.02	-0.2
3	-0.2	-0.02
4	-2	-0.2
5	-11	-2
6	-106	-11
7	-1047	-106
8	-10359	-1047
9	-100445	-10359
10	-1015230	-100445
11	-10050000	-1015230
12	-110000000	-10050000
>12	0	

A.2 Πίνακας ενεργειών χαρακτηριστικών

Χαρακτηριστικά	Σύμβολο	Ενέργεια
Κουκκίδα	‘•’	0,001
Κενό	‘ ‘	0
Φρούτο (κεράσι)	‘f’	1
Δυναμωτική Κουκκίδα (αρνητική)	‘O’	-106
Δυναμωτική Κουκκίδα (θετική)	‘O’	0.0000000000000001
Φαντάσματα (κανονική κατάσταση)	‘F’, ‘G’, ‘H’, ‘J’	βλ. A.1
Φαντάσματα (κατάσταση scared)	‘F’, ‘G’, ‘H’, ‘J’	10
Σταυροδρόμι τύπου [+]	από Hash Table	0.00001
Σταυροδρόμι τύπου [T]	από Hash Table	0.000001