



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ
ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

Επιβλέπων καθηγητής: Τσαφάρκης Στέλιος

Εκπόνηση: Κατράδη Ελένη

Απρίλιος 2017

Πρόλογος

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη συστήματος για το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων. Μέσα από ένα User Interface, ο χρήστης θα μπορεί να εισάγει δεδομένα όπως τον αριθμό των προϊόντων που θα εισαχθούν στην αγορά όπως και των ανταγωνιστικών, τα επίπεδα, τα χαρακτηριστικά τους, τον αριθμό των καταναλωτών και το κριτήριο βελτιστοποίησης. Θα εφαρμοστεί γενετικός αλγόριθμος που θα βρίσκει βέλτιστες λύσεις για το συγκεκριμένο πρόβλημα, ανάλογα με τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί. Το κριτήριο βελτιστοποίησης θα είναι είτε η μεγιστοποίηση του κέρδους είτε η βελτιστοποίηση του μεριδίου αγοράς.

Στη σημερινή εποχή, το οικονομικό περιβάλλον μεταβάλλεται συνεχώς και γίνεται ολοένα και πιο ανταγωνιστικό πιέζοντας τις επιχειρήσεις να σχεδιάζουν και να εισάγουν στην παραγωγή συνεχώς καινούρια προϊόντα τα οποία θα ικανοποιούν τις ανάγκες της αγοράς. Ο κακός σχεδιασμός των προϊόντων αποτελεί την κύρια αιτία για την αποτυχία τους όταν εισαχθούν στην αγορά, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των κερδών των εταιρειών. Στόχος του Βέλτιστου Σχεδιασμού Γραμμής Προϊόντων είναι ο σχεδιασμός μιας σειράς από προϊόντα τα οποία αν εισαχθούν στην αγορά θα αυξήσουν το μερίδιο αγοράς της εταιρείας.

Για το σκοπό αυτό μοντελοποιούνται οι προτιμήσεις των καταναλωτών για τα χαρακτηριστικά του προϊόντος το οποίο αναπαρίσταται από το σύνολο των χαρακτηριστικών του. Ο γενετικός αλγόριθμος αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση για το συγκεκριμένο πρόβλημα το οποίο ανήκει στην κατηγορία των NP-hard προβλημάτων, γιατί είναι ο μόνος, ο οποίος βασίζεται σε συμπεριφορά πληθυσμού και αποτελεί τον πιο σύνθετο αλγόριθμο που έχει εφαρμοστεί σε συστήματα μάρκετινγκ.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	4
Κεφάλαιο 1 - Πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντων	6
Περιγραφή του προβλήματος	6
Πολυπλοκότητα του προβλήματος	11
Κεφάλαιο 2 - Εξελικτικοί Αλγόριθμοι.....	13
Βιολογικό υπόβαθρο	15
Γενική δομή αλγορίθμου	17
Γενετικός αλγόριθμος.....	18
Ιστορική αναδρομή	18
Τελεστής διασταύρωσης	20
Τελεστής μετάλλαξης	23
Παράμετροι Γενετικών αλγορίθμων	25
Κεφάλαιο 3 - Υλοποίηση Γενετικού Αλγόριθμου.....	27
Παράμετροι Συστήματος	27
Περιβάλλον ανάπτυξης συστήματος και τεχνολογίες.	32
Κεφάλαιο 4 – Αποτελέσματα υλοποίησης.....	35
Επίλογος	40

Εισαγωγή

Όλα τα άτομα, το κάθε ένα ξεχωριστά, είναι ένας καταναλωτής. Οι καταναλωτές παίρνουν αποφάσεις και κάνουν επιλογές των προϊόντων και των υπηρεσιών που καταναλώνουν. Συλλέγουν πληροφορίες για όλες τις μάρκες όμοιων προϊόντων ή υπηρεσιών, συγκρίνουν και επιλέγουν ανάλογα με τις ανάγκες που θέλουν να ικανοποιήσουν με την αγορά του προϊόντος. Σ' αυτή τη διαδικασία επιλογής της μάρκας του προϊόντος δεν είναι μόνος του ο καταναλωτής. Οι επιδράσεις που δέχεται από ψυχολογικούς παράγοντες (κίνητρα, αντίληψη, διάθεση, μάθηση, γνώση, μνήμη, στάσεις), πολιτιστικούς (κουλτούρα, υπο-κουλτούρα), κοινωνικούς (οικογένεια, κοινωνική τάξη, ομάδες αναφοράς, καθοδηγητές γνώμης), προσωπικούς (προσωπικότητα, ηλικία, φύλο, εκπαιδευτικό επίπεδο, επάγγελμα, οικονομική κατάσταση, τρόπος ζωής), οικονομικούς (εισόδημα, διαθέσιμη πίστωση, τιμή, πλούτος), αλλά και από το περιβάλλον μάρκετινγκ (μέσω διαφήμισης, της ατμόσφαιρας του καταστήματος) καθορίζουν την αγοραστική συμπεριφορά του καταναλωτή. Επομένως, η συμπεριφορά του καταναλωτή δεν είναι μόνο προσωπική του υπόθεση, αλλά και για τα στελέχη του μάρκετινγκ. Οι ανάγκες του καταναλωτή συνδέονται άρρηκτα με την επιστήμη του μάρκετινγκ. Οι marketers πρέπει να είναι σε θέση να επηρεάσουν και να ικανοποιήσουν τις ανάγκες του καταναλωτή, στα πλαίσια της ιδεολογίας του μάρκετινγκ. Με την καταναλωτική συμπεριφορά και τους παράγοντες που την επηρεάζουν, έχουν ασχοληθεί κατά καιρούς πολλοί ερευνητές διερευνώντας παράλληλα τις αντιλήψεις των καταναλωτών ως προς τις αγοραστικές τους συνήθειες.

Γι' αυτό, σχεδιασμός ενός προϊόντος αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για το marketing. Το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων έχει αρχίσει να κεντρίζει το ενδιαφέρον των ερευνητών επειδή είναι πολύ δύσκολο να σχεδιαστούν προϊόντα που θα έχουν σίγουρη επιτυχία στη αγορά. Το συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρείται Μη-γραμμικό (NP-hard), δεν μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη λύση και γι' αυτό προτείνονται διάφορες ευρετικές διαδικασίες για την επίλυσή του.

Όταν οι προτιμήσεις των καταναλωτών είναι ετερογενείς, είναι προτιμότερο να σχεδιάζεται μια γραμμή προϊόντος παρά ένα μοναδικό προϊόν. Οι εταιρείες χρησιμοποιούν την τεχνική της γραμμής προϊόντων για να χωρίσουν τα διάφορα ήδη προϊόντων που παράγουν σε ομάδες. Συγκεκριμένα μια γραμμή προϊόντων είναι μια ομάδα από προϊόντα τα οποία μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά με τα οποία χωρίζονται τα προϊόντα, καθορίζονται κυρίως από τους στρατηγικούς στόχους της κάθε εταιρείας και πραγματοποιούν [παρόμοιες λειτουργίες, πωλούνται στις ίδιες ομάδες καταναλωτών, προωθούνται μέσω των ίδιων καναλιών, ή υπεισέρχονται στα ίδια δεδομένα πλαίσια [1] Στην παρούσα εργασία ο όρος

«γραμμή προϊόντος» υπονοεί μια γραμμή υποκατάστατων προϊόντων. Στο **κεφάλαιο 1** γίνεται μια αναλυτική περιγραφή του προβλήματος.

Με τη χρήση της Conjoint Analysis, οι εταιρείες μπορούν, πλέον, να ορίσουν ποια χαρακτηριστικά θα έπρεπε να έχει ένα προϊόν το οποίο θα βγει στην παραγωγή και να καθορίσουν την τιμή του.[2] Υπάρχουν διάφορα μοντέλα της Conjoint Analysis για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών των προϊόντων που θα βγουν στην παραγωγή. Στο σημερινό πολύ ανταγωνιστικό περιβάλλον το κριτήριο Share of Choices είναι πολύ σημαντικό για τις επιχειρήσεις. Το μερίδιο αγοράς παίζει καίριο ρόλο για την επιβίωση μιας επιχείρησης και έχει έντονη επιρροή στο κέρδος. Επίσης παρουσιάζεται το πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντος με τη χρήση Share of Choices.

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον στην εφαρμογή εξελικτικών αλγορίθμων (EA) σε διάφορα πεδία. Οι EA είναι εμπνευσμένοι από την φυσική εξέλιξη και έχουν επιδείξει την ικανότητα να λύνουν πολύπλοκα προβλήματα βελτιστοποίησης. Η τρέχουσα εργασία προτείνει μια τεχνική βασισμένη σε Γενετικό Αλγόριθμο για τον σχεδιασμό γραμμής προϊόντος χρησιμοποιώντας το κριτήριο Share of Choices. Η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζεται αναλυτικά στο **κεφάλαιο 2**.

Στο **κεφάλαιο 3** γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση του συστήματος που αναπτύχθηκε και τέλος, τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στο **κεφάλαιο 4**.

Κεφάλαιο 1 - Πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντων

Περιγραφή του προβλήματος

Ο σχεδιασμός ενός προϊόντος αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διοικητικές αποφάσεις στον τομέα της πολιτικής ενός προϊόντος και είναι απαραίτητος για να βγει ένα προϊόν στην παραγωγή. Οι προτιμήσεις των καταναλωτών παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο σε αυτή την απόφαση. Στην παρούσα εργασία υποθέτουμε ότι οι καταναλωτές επιλέγουν το προϊόν από ένα σετ εναλλακτικών που τους δίνουν τη μέγιστη χρησιμότητα. Τα κύρια στάδια του σχεδιασμού ενός προϊόντος είναι τα ακόλουθα: [3]

1. *Ορισμός της αγοράς του προϊόντος.* Η αγορά του προϊόντος μπορεί να οριστεί ως «μια ομάδα προϊόντων που μπορούν να χαρακτηριστούν ως υποκατάστατα στα πλαίσια των περιπτώσεων κατά τις οποίες οι ομάδες πελατών αναζητούν παρόμοια υποδείγματα πλεονεκτημάτων».
2. *Αναγνώριση των σημαντικών γνωρισμάτων του προϊόντος.* Είναι σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα στα γνωρίσματα και τα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος. Ο όρος «χαρακτηριστικό προϊόντος» χρησιμοποιείται για διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά που ορίζουν το προϊόν. Τα γνωρίσματα προϊόντος είναι συνήθως πιο συνοπτικά και λιγότερα σε αριθμό από ότι τα χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος επηρεάζουν τα γνωρίσματά του. Οι καταναλωτές συγκρίνουν τα προϊόντα με βάση τα γνωρίσματα. Συνεπώς, τα γνωρίσματα χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της διαδικασίας επιλογής των καταναλωτών.
3. *Μοντελοποίηση της διαδικασίας επιλογής προϊόντος των καταναλωτών.* Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την μοντελοποίηση του προβλήματος ενός μοναδικού προϊόντος και μιας γραμμής προϊόντων: η προσέγγιση της πολυδιάστατης στρωμάτωσης (multidimensional scaling approach MDS) και η συνδεδεμένη ανάλυση (conjoined analysis CA). Η CA έχει ανώτερες αναλυτικές δυνατότητες ενώ η MDS έχει ανώτερες δυνατότητες γραφικών και απεικόνισης των δεδομένων. Η CA είναι μια πολύ δημοφιλής μέθοδος η οποία έχει χιλιάδες εμπορικές εφαρμογές. Επιπλέον, η CA

μπορεί να εκτιμήσει την τιμή που οι καταναλωτές συνδέουν με συγκεκριμένα γνωρίσματα προϊόντων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από την ΕΑ μπορούν να εκτιμηθούν με την CA.

4. *Σχεδιασμός προϊόντων.* Με τον όρο «σχεδιασμός προϊόντων» εννοούμε την επιλογή των επιπέδων γνωρισμάτων ενός προϊόντος προκειμένου να βελτιστοποιήσουμε το στόχο της εταιρείας. Η παρούσα εργασία εστιάζει σε αυτό το στάδιο.

Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα τυποποιείται στα πλαίσια της Conjoint Analysis. Τα προϊόντα περιγράφονται χρησιμοποιώντας γνωρίσματα και επίπεδα αυτών.

Conjoint Analysis

Η απόφαση μιας επιχείρησης να χρησιμοποιήσει την έρευνα αγοράς, ως βάση για τη λήψη αποφάσεων, δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη υπόθεση. Προϋποθέτει την ύπαρξη ή καλύτερα την συνύπαρξη χρόνου και κεφαλαίου, καθώς και προσεκτική αξιολόγηση της επένδυσης αυτής, αφού σε αρκετές περιπτώσεις τα οφέλη από μια έρευνα αγοράς δεν ανταποκρίνονται στο υψηλό κόστος, που απαιτήθηκε για την διεξαγωγή της έρευνας. Μέσα από την έρευνα της αγοράς, επιδιώκεται, ουσιαστικά η ελαχιστοποίηση του κινδύνου από μια λανθασμένη επιλογή και απόφαση της διοίκησης. Σήμερα που οι συνθήκες ανταγωνισμού στην αγορά γίνονται όλο και πιο απαιτητικές, οι επιχειρήσεις έχουν ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη για αξιοποίηση κάθε είδους πληροφορίας η οποία μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία ή τη διατήρηση μίας επιτυχημένης πορείας. Μία από τις πλέον σημαντικές πηγές πληροφόρησης είναι η γνώμη του καταναλωτή η οποία, δια μέσου της έρευνας αγοράς, που μπορεί να αξιοποιηθεί και να προστατεύσει τις μελλοντικές πωλήσεις και την απόδοση των επενδύσεων της επιχείρησης σε νέα προϊόντα και υπηρεσίες. Μια Επιχείρηση που διενεργεί έρευνες για να:

- ❖ Είναι σίγουρη για την Αγορά που εισέρχεται ή δραστηριοποιείται
- ❖ Είναι αποδοτικότερη σε κάθε τοπική Αγορά που εισέρχεται
- ❖ Δημιουργεί καλύτερα και αποδοτικότερα marketing plans
- ❖ Ελέγχει πλήρως το δίκτυο της, Παρέχει καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών
- ❖ Γνωρίζει όλα τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία της Επιχείρησης και του ανταγωνισμού
- ❖ Αποφεύγει τις αποτυχίες
- ❖ Προστατεύει τους franchisees και το σύστημα της
- ❖ Μεγιστοποιεί τα κέρδη των franchised καταστημάτων και κατ' επέκταση και τα δικά της

- ❖ Γνωρίζει εκ των προτέρων όλο το φάσμα των Επιχειρηματικών ρίσκων του συστήματος
- ❖ προβλέπει τα λάθη και γίνεται ισχυρή έναντι των ανταγωνιστών της
- ❖ Παρέχει εμπιστοσύνη στους πελάτες της και καλύτερο after sales service και συνεπώς δημιουργεί καλύτερο customer loyalty

Η conjoint analysis είναι ένα πολύ γνωστό και ισχυρό στατιστικό εργαλείο, που παρέχει πληροφορίες μέσω της ανάλυσης των επιθυμιών και των αναγκών του πελάτη και χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα αγοράς. Χρησιμεύει στη συλλογή πληροφοριών για την ανάπτυξη νέων προϊόντων, τον υπολογισμό των μεριδίων αγοράς, την κατάτμηση της αγοράς και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις τιμές. Επιτρέπει στους ερευνητές να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα αξιολογούν τις ιδιότητες των προϊόντων ή των υπηρεσιών καθορίζοντας την ανταπόδοση ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα αυτών των ιδιοτήτων. Η conjoint analysis χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο έρευνας marketing. Είναι κατάλληλη για τον καθορισμό ενός νέου προϊόντος ή τη βελτίωση ενός υπάρχοντος. Η Conjoint ανάλυση εξελίχθηκε από την αρχική έρευνα του ψυχολόγου Luce και του στατιστικολόγου Tukey (1964) και μπορεί να θεωρηθεί η προέλευση της τεχνικής αυτής (Green και Srinivasan 1978, Carroll και Green 1995). Έχοντας ένα θεωρητικό υπόβαθρο και μια θεωρητική μακροχρόνια μελέτη, μία σειρά ερευνητών ανέπτυξαν μια ποικιλία μη μετρικών μοντέλων για τον υπολογισμό της μερικής αξίας από τις προτιμήσεις των ερωτηθέντων σε όλα τα πολλαπλά ερεθίσματα που τους τέθηκαν, όπως οι περιγραφές των προϊόντων ή των υπηρεσιών. Σύμφωνα με έρευνες των Wittink και Cattin (1989) και των Wittink, Vriens και Burhenne (1994) η Conjoint ανάλυση χρησιμοποιείται πλέον παγκοσμίως στην έρευνα μάρκετινγκ για την ανάλυση των συμβιβασμών (trade offs) που πραγματοποιούν οι καταναλωτές. Με την είσοδο της Conjoint ανάλυσης στη βιβλιογραφία του μάρκετινγκ από τους Green και Rao (1971) καθώς και από τον Johnson (1974) στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η Conjoint ανάλυση έχει εξελιχθεί σε μια μέθοδο μελέτης προτιμήσεων που λαμβάνει μεγάλη προσοχή από τους θεωρητικούς του μάρκετινγκ αλλά και από όσους πραγματοποιούν τέτοιου είδους μελέτες. Οι Cattin και Wittink (1982) δημοσιεύουν ότι, 698 Conjoint Project πραγματοποιήθηκαν από 17 εταιρείες στην περίοδο 1971-1980, την περίοδο 1981-1985 οι Wittink και Cattin (1989) βρήκαν 66 εταιρείες στις Ηνωμένες Πολιτείες που ήταν υπεύθυνες για συνολικά 1062 Conjoint Projects και, τέλος, οι Wittink, Vriens και Burhenne (1994) υπολογίζουν συνολικά ότι 956 Projects στην Ευρώπη διεξάγονται από 59 επιχειρήσεις στην περίοδο 1986-1991. Από ανωτέρω συμπεραίνουμε ότι από πολύ νωρίς γίνεται αποδεκτή η Conjoint ανάλυση από τις επιχειρήσεις ώστε να βελτιώσουν την θέση τους στον κλάδο έναντι των ανταγωνιστών τους. Η Conjoint ανάλυση έχει ως στόχο να προσδιορίσει την σχετική σημασία που αποδίδουν οι καταναλωτές σε βασικά χαρακτηριστικά και τις

χρησιμότητες στα επίπεδα των χαρακτηριστικών των προϊόντων που μελετώνται. Η πληροφορία αυτή προέρχεται από την αξιολόγηση των εμπορικών σημάτων ή του προφίλ της μάρκας και αποτελείται από τα χαρακτηριστικά και τα επίπεδά τους. Οι ερωτηθέντες με βάση τα ερεθίσματα που αποτελούνται από συνδυασμούς των επιπέδων των χαρακτηριστικών, καλούνται να τα αξιολογήσουν βάση των επιθυμιών τους.

Στην Conjoint ανάλυση τα ερεθίσματα είναι συνδυασμοί των επιπέδων του χαρακτηριστικού τα οποία καθορίζονται από τον ερευνητή. Για παράδειγμα, μια εταιρεία τεχνολογίας αισθανόταν πίεση από ένα άλλο προϊόν που είχε χαμηλότερο κόστος. Έπειτα από συζητήσεις που έγιναν αποφάσισαν να μειώσουν τις τιμές τους. Τότε, τα αποτελέσματα μιας συνδυασμένης ανάλυσης έδειξε ότι η αγορά αποτιμά τα προϊόντα τους διαφορετικά από τους ανταγωνιστές. Επέλεξαν να μην μειώσουν τις τιμές, αλλά να αναμορφώσουν ελαφρώς την προσφορά τους. Ως αποτέλεσμα, η επιχείρηση μεγάλωσε και απέφερε σημαντικά κέρδη που διαφορετικά δεν θα είχαν δει ποτέ. Δεν είναι κάθε κατάσταση τόσο δραματική όσο αυτή. Τα εργαλεία λογισμικών που χρησιμοποιούνται στην conjoint analysis είναι εξελιγμένα και εύκολα στην χρήση τους έτσι ώστε και εμείς και οι εταιρίες κάθε μεγέθους να μπορούμε να συλλέξουμε να αναλύσουμε και να πάρουμε τις καλύτερες αποφάσεις για να μπορέσουμε να βελτιώσουμε τα προϊόντα μας. Βλέπουμε δηλαδή πως αξιολογούν τις πραγματικές επιλογές που κάνουν οι άνθρωποι για την επιλογή ενός προϊόντος και αντίστοιχα πως οι αγορές εκτιμούν τα διαφορετικά στοιχεία των προϊόντων ή υπηρεσιών.

Για παράδειγμα, οι H/Y έχουν διάφορα χαρακτηριστικά τα οποία αξιολογούνται διαφορετικά από κάθε καταναλωτή ανάλογα με τις ανάγκες του και τις δυνατότητές του. Οι καταναλωτές συνήθως διαφέρουν στην επιλογή τους, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις αποκομίζουν διαφορετικές χρησιμότητες από το ίδιο προϊόν.

Παρακάτω, παρατίθεται ένα παράδειγμα αξιολόγησης των χαρακτηριστικών του H/Y για 2 καταναλωτές.

Χαρακτηριστικά (Attributes)	Επίπεδα (Levels)	Ερωτώμενοι	
		1ος χρήστης	2ος χρήστης
Επεξεργαστής	2πύρηνος	0.2	0.1
	4πύρηνος	0.8	0.6
	8πύρηνος	0.4	0.7
Μνήμη Ram	2 GB	0.7	0.2
	4 GB	0.5	0.9
Οθόνη	High Definition	0.4	0.7
	Full High Definition	0.9	0.6
Σκληρός δίσκος	500GB	0.8	0.4
	1T	0.5	0.8

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι ένα χαρακτηριστικό όπως είναι ο επεξεργαστής αξιολογείται διαφορετικά από τον κάθε χρήστη. Ένας χρήστης που κάνει μια μέτρια χρήση του Η/Υ θα επιλέξει έναν υπολογιστή με μέτρια την απόδοση, ενώ ένας χρήστης που κάνει βαριά χρήση του Η/Υ μπορεί να επιλέξει να αγοράσει ένα μηχάνημα με υψηλές επιδόσεις.

Το πρόβλημα είναι να επιλέξουμε ένα συγκεκριμένο επίπεδο για κάθε γνώρισμα ούτως ώστε να βελτιστοποιήσουμε τον στόχο. Ο προτεινόμενος ΕΑ επιλέγει τα επίπεδα γνωρισμάτων των προϊόντων ώστε να μεγιστοποιηθεί το Share of Choices. Για γίνει η εκτίμηση της χρησιμότητας του κάθε επιπέδου χρησιμοποιείται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του πληθυσμού. Ο κάθε καταναλωτής επιλέγει με βάση τη μέγιστη χρησιμότητα που θα έχει ένα προϊόν για εκείνον και η χρησιμότητα υπολογίζεται σαν το άθροισμα των επιμέρους μερικών αξιών. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να βγάλουμε στην παραγωγή 2 Η/Υ.

Τα χαρακτηριστικά του 1^{ου} υπολογιστή θα είναι: 4πύρηνος επεξεργαστής, 2GB μνήμη RAM, High definition οθόνη και 500GB σκληρό δίσκο).

Τα χαρακτηριστικά του 2^{ου} υπολογιστή θα είναι: 8πύρηνος, 8GB μνήμη RAM, Full High definition οθόνη και 1T σκληρό δίσκο).

Σύμφωνα με τον πίνακα των μερικών αξιών, ο πρώτος πελάτης θα επιλέξει τον 1^ο υπολογιστή και αντίστοιχα ο 2^{ος} πελάτης τον 2^ο υπολογιστή.

Η διαδικασία επιλογής από τους καταναλωτές μπορεί να εκπροσωπηθεί από μια πολυγνωρισματική προσέγγιση χρησιμότητας μέσα από την οποία η μεμονωμένη χρησιμότητα ενός προϊόντος μπορεί να υπολογισθεί προσθέτοντας τις μερικές αξίες χρησιμότητας για το επιλεγμένο επίπεδο του γνωρίσματος. Αν λοιπόν, γνωρίζουμε τις μερικές αξίες που δίνει ένα σύνολο ερωτηθέντων, μπορούμε με στοχαστικά μοντέλα επιλογής να δημιουργήσουμε υποθετικά σενάρια για το μερίδιο αγοράς που θα έχει κάποιο προϊόν αν βγει στην παραγωγή.

Όσο οι αγορές γίνονται πιο πολυπληθείς και ανταγωνιστικές, τόσο αυξάνεται και η σημαντικότητα του κριτηρίου Share of Choices. Το κριτήριο αυτό λαμβάνει υπόψη τα προϊόντα των ανταγωνιστών. Το προϊόν που προτιμά ο καταναλωτής πριν την εισαγωγή της νέας γραμμής προϊόντος ονομάζεται «τρέχον προϊόν». Ένας καταναλωτής αλλάζει από το «τρέχον προϊόν» μόνο αν ένα νέο προϊόν του προσφέρει μεγαλύτερη χρησιμότητα. Το Share of Choices μεγιστοποιείται πάνω σε υποσύνολο αγοραστών για τους οποίους το «τρέχον προϊόν» προσφέρεται και από κάποιον ανταγωνιστή.

Πολυπλοκότητα του προβλήματος

Το πρόβλημα βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής νέων προϊόντων κατατάσσεται στην κατηγορία των NP-hard προβλημάτων καθώς κανένας αλγόριθμος δεν μπορεί να πιστοποιήσει σε πολυωνυμικό χρόνο ότι το βέλτιστο που προσδιορίζει είναι το ολικό βέλτιστο του προβλήματος. Το πρόβλημα πήρε υπόσταση το 1974 και από τότε μια πληθώρα μεθόδων βελτιστοποίησης έχουν εφαρμοστεί με σκοπό τον προσδιορισμό όσο γίνεται καλύτερων βέλτιστων σε διαχειρίσιμο χρόνο. Μερικές μέθοδοι που αναπτύχθηκαν ενσωματώθηκαν σε ευφυή συστήματα μάρκετινγκ ώστε να αποτελέσουν εργαλείο για τους αναλυτές που αντιμετώπιζαν το πρόβλημα.[4]

Οι Kohli and Krishnamurti (1989) απέδειξαν ότι η βελτιστοποίηση του μεριδίου αγοράς για το πρόβλημα σχεδιασμού ενός μόνο προϊόντος είναι NP-hard που σημαίνει ότι ο προσδιορισμός του πραγματικού ολικού βέλτιστου σε αποδεκτό χρόνο είναι αδύνατος. [4]

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τον αριθμό των πιθανών λύσεων όπου K είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών και J ο αριθμός των επιπέδων ανά χαρακτηριστικό. [5]

Products in line	K	J	Number of possible products	Number of possible product lines
2	3	4	64	2016
2	4	3	81	3240
2	4	4	256	32,640
2	5	3	243	29,403
3	3	4	64	41,664
3	4	3	81	85,320
3	4	4	256	2,763,520
3	5	3	243	2,362,041
2	5	4	1024	523,776
2	5	5	3125	4,881,250
2	5	6	7776	30,229,200
2	6	4	4096	8,386,560
2	6	5	15,625	122,062,500
2	6	6	46,656	1,088,367,840
2	7	4	16,384	134,209,536
2	7	5	78,125	3,051,718,750
2	7	6	279,936	39,181,942,080
2	8	4	65,536	2,147,450,880
2	8	5	390,625	76,293,750,000
2	8	6	1,679,616	1,410,554,113,920
3	5	4	1024	178,433,024
3	5	5	3125	5,081,381,250
3	5	6	7776	78,333,933,600
3	6	4	4096	11,444,858,880
3	6	5	15,625	635,660,812,500
3	6	6	46,656	16,925,571,069,120
3	7	4	16,384	732,873,539,584
3	7	5	78,125	79,469,807,968,750
3	7	6	279,936	3,656,119,258,074,240
3	8	4	65,536	46,910,348,656,640
3	8	5	390,625	9,934,031,168,750,000
3	8	6	1,679,616	789,728,812,499,209,000

Παρατηρούμε ότι για 3 προϊόντα που το καθένα θα έχει 8 χαρακτηριστικά και 6 επίπεδα ανά χαρακτηριστικό η πολυπλοκότητα του προβλήματος γίνεται πάρα πολύ μεγάλη που είναι αδύνατο για έναν υπολογιστή να βρει τη βέλτιστη λύση σε πραγματικό χρόνο. Για αυτό προέκυψε η ανάγκη να χρησιμοποιηθούν τεχνικές οι οποίες θα μπορούσαν να παράγουν ικανοποιητικές λύσεις για το πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντων.

Οι πιο σημαντικοί αλγόριθμοι που εφαρμόστηκαν για την επίλυση του προβλήματος βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων αναλύονται παρακάτω. Στη συγκεκριμένη εργασία αφορά περισσότερο ο γενετικός αλγόριθμος γιατί ο μόνος που βασίζεται σε συμπεριφορά πληθυσμού και αποτελεί τον πιο σύνθετο αλγόριθμο που έχει ενσωματωθεί σε σύστημα μάρκετινγκ. [5]

Κεφάλαιο 2 - Εξελικτικοί Αλγόριθμοι

Η προσπάθεια δημιουργίας τεχνητής νοημοσύνης και τεχνητής ζωής, απασχολεί την επιστημονική κοινότητα και τους ερευνητές του πεδίου της επιστήμης των υπολογιστών πολλές δεκαετίες. Οι υπολογιστές χρησιμοποιήθηκαν πέρα από τις στρατιωτικές εφαρμογές, όπως π.χ. η κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση στρατιωτικών μεταδόσεων και για τη μοντελοποίηση του εγκεφάλου ή την προσομοίωση της βιολογικής εξέλιξης. [6]

Η εξέλιξη της πληροφορικής και της βιολογίας δίνει συνεχώς τη δυνατότητα για ανάπτυξη μεθόδων που μπορούν να προσομοιώσουν τη ζωή και την βιολογική εξέλιξη με όλο και περισσότερη ακρίβεια. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι

Τον τελευταίο καιρό παρατηρείται μια έντονη στροφή των ερευνητών της υπολογιστικής επιστήμης, στον συνδυασμό του πεδίου με εκείνο της βιολογίας. Οι καινοτομίες που γεννήθηκαν από τον συνδυασμό αυτό, συγκεντρώνονται στο χώρο των «νευρωνικών δικτύων», της «μηχανικής μάθησης» και των «εξελικτικών αλγορίθμων».

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι υπολογιστικά μοντέλα τα οποία προσομοιώνοντας τη φυσική διαδικασία προσαρμογής στο περιβάλλον, επιλύουν προβλήματα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούν μηχανισμούς εξέλιξης προερχόμενους από τη φύση και βασίζονται στις αρχές εξέλιξης των ειδών όπως αυτές διατυπώθηκαν αρχικά από το Δαρβίνο.[7]

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν μοντέλα φυσικών διαδικασιών σαν βασικά στοιχεία σχεδιασμού και υλοποίησης υπολογιστικών μεθόδων, οι οποίες έχουν ως βασικό στόχο την αντιμετώπιση δυσεπίλυτων προβλημάτων. Οι κανόνες της φυσικής επιλογής και της γενετικής, συνθέτουν τους συγκεκριμένους αλγόριθμους αναζήτησης, οι οποίοι συνδυάζουν την επιβίωση του ικανότερου με μια ιεραρχική ανταλλαγή πληροφοριών. Έχουν ως στόχο τη δημιουργία ενός αλγόριθμου αναζήτησης ο οποίος ενσωματώνει το στοιχείο της ανθρώπινης αντίληψης. Ο απώτερος σκοπός δημιουργίας τους είναι να ενσωματώνουν τις κεντρικές ιδέες της φυσικής επιλογής για να παρέχουν ουσιαστικές και αποτελεσματικές λύσεις στα προβλήματα αναζήτησης και βελτιστοποίησης

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι έχουν έναν συγκεκριμένο πληθυσμό ατόμων (Population of Individuals) τον οποίον διατηρούν και με βάση κάποιους κανόνες επιλογής, τον εξελίσσουν χρησιμοποιώντας διαδικασίες όπως ο (Population of Individuals) και η **μετάλλαξη** (Mutation). Σε ένα σύνολο πιθανών λύσεων, το κάθε **άτομο** (Individual) του πληθυσμού αντιπροσωπεύει ένα σημείο μέσα στο σύνολο αυτό. Επιπλέον, κατασκευάζεται με βάση το περιβάλλον του προβλήματος ένα μέτρο **ποιότητας** (Fitness) το οποίο τυποποιείται μέσω κάποιας συνάρτησης

καταλληλότητας/ποιότητας (Fitness Function). Στο κάθε άτομο δίνεται μια τιμή ποιότητας η οποία αξιοποιείται για την επιλογή του του καταλληλότερου ατόμου. Ο ανασυνδυασμός και η μετάλλαξη διαταράσσουν τη δομή των ατόμων παρέχοντας δυνατότητες διερεύνησης του χώρου.

Ο αρχικός πληθυσμός ενός ΕΑ συνήθως αρχικοποιείται σε τυχαίες τιμές και εξελίσσεται προς διαδοχικά καλύτερες περιοχές του χώρου αναζήτησης μέσω προαναφερθέντων (λίγο ή πολύ) τυχαίων διαδικασιών της επιλογής του ανασυνδυασμού και της μετάλλαξης. Έπειτα αποδίδονται οι τιμές που καθορίζουν την ποιότητα του κάθε ατόμου και ξεκινάει η διαδικασία επιλογής η οποία ευνοεί τα άτομα με την καλύτερη ποιότητα να αναπαράγονται συχνότερα από τα υπόλοιπα του πληθυσμού. Ο μηχανισμός ανασυνδυασμού επιτρέπει τη μείξη της πληροφορίας που μεταφέρουν οι γονείς στους απογόνους και η μετάλλαξη εισάγει νέα στοιχεία στον πληθυσμό.

Οι κύριοι αντιπρόσωποι αυτού του υπολογιστικού μοντέλου περιλαμβάνουν τους **Γενετικούς Αλγόριθμους** (Genetic Algorithms), τις **Εξελικτικές Στρατηγικές** (Evolution Strategies) και τον **Εξελικτικό προγραμματισμό** (Evolutionary programming). [6]

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι ως μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων, θεμελιώθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 στην Ευρώπη και στην Αμερική από ανεξάρτητα εργαζόμενους ερευνητές. Ως αποτέλεσμα δημιουργήθηκαν διάφορες κατηγορίες με κάθε μια να θεωρεί διαφορετικές πλευρές των ΕΑ ως πιο σημαντικές για την επιτυχή εξέλιξη. Όλες έχουν δοκιμαστεί επιτυχώς σε λιγότερο ή περισσότερο σύνθετα προβλήματα. Οι περισσότεροι γνωστές μέθοδοι είναι:

Γενετικοί αλγόριθμοι (ΓΑ): Είναι, ίσως, η πιο διαδεδομένη κατηγορία ΕΑ. Έγιναν γνωστοί από του Holland & K. De Jong. Με την μελέτη των αλγόριθμων αυτών αναπτύχθηκε η θεωρία των σχημάτων και αναγνωρίστηκε ο ρόλος του τελεστή διασταύρωσης.

Εξελικτικές Στρατηγικές (ΕΣ): Αναπτύχθηκαν από τους Rechenberg & Schwefel με αρχικό σκοπό την επίλυση τεχνικών προβλημάτων.

Γενετικός προγραμματισμός (ΓΠ): Αναπτύχθηκε από τον J. Koza στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αποτελεί μια σημαντική παραλλαγή των ΓΑ. Ως άτομα του πληθυσμού χρησιμοποιούνται προγράμματα υπολογιστή. Ο ΓΠ αποτελεί μια μέθοδο δημιουργίας προγραμμάτων που λύνουν ή προσεγγίζουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. ΑΝ και δεν υπάρχει περιορισμός στη γλώσσα που αναπτύσσει ο ΓΠ τα προγράμματα, συνήθως χρησιμοποιείται μια απλοποιημένη εκδοχή της Lisp. Επειδή οι λύσεις είναι προγράμματα, δεν είναι άμεση η εφαρμογή του ΓΠ σε πρακτικά προβλήματα βελτιστοποίησης.

Βιολογικό υπόβαθρο

Όπως προαναφέρθηκε, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι βασίζονται στο μοντέλο φυσικής, βιολογικής εξέλιξης το οποίο προτάθηκε από τον Κάρολο Δαρβίνο. Η θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου εξηγεί την προσαρμοστική αλλαγή στις ιδιότητες ενός πληθυσμού οργανισμών στο πέρασμα του χρόνου, μεταξύ διαφορετικών γενεών μέσω της αρχής της φυσικής επιλογής. Η φυσική επιλογή ευνοεί την επιβίωση και εν τέλει την αναπαραγωγή εκείνων των ειδών που είναι καλύτερα προσαρμοσμένα στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι μεταβολές που λαμβάνουν χώρα, παρατηρούνται σε μικρή κλίμακα σε κάθε γενιά, μακροπρόθεσμα και αθροιστικά μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές διαφοροποιήσεις στις ιδιότητες ενός οργανισμού, ώστε να οδηγήσουν τελικά στη δημιουργία νέων διακριτών ειδών.

Εκτός από την φυσική επιλογή, σημαντικός παράγοντας που αναγνωρίζει ο Δαρβίνος για την εξέλιξη, είναι η διαδικασία της μετάλλαξης. Με τον όρο μετάλλαξη (mutation), χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε μεταβολή που μπορεί να συμβεί στο γενετικό υλικό ενός οργανισμού. Είναι ουσιαστικά η ύπαρξη μικρών και τυχαίων αποκλίσεων στους φαινοτύπους των οργανισμών, δηλαδή τα φυσικά και πνευματικά χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν τον τρόπο ανταπόκρισης και φυσικής ενσάρκωσης των γονέων και των παιδιών. Οι μεταλλάξεις αυτές υπερσχύουν μέσα από την επιλογή, εάν αποδείξουν την αξία τους στις συνθήκες του παρόντος περιβάλλοντος, διαφορετικά χάνονται.

Η βασική κινητήρια δύναμη της επιλογής δίδεται από τη διαδικασία της αναπαραγωγής απογόνων. Υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες, το μέγεθος του πληθυσμού αυξάνεται εκθετικά, μια διαδικασία η οποία περιορίζεται από τους πεπερασμένους διαθέσιμους πόρους. Όταν οι πόροι δεν επαρκούν για να στηρίξουν όλα τα άτομα ενός πληθυσμού, τότε ευνοούνται εκείνοι οι οργανισμοί οι οποίοι εκμεταλλεύονται πιο αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους.

Σήμερα, η άποψη αυτή είναι γενικά αποδεκτή από σωστή μακροσκοπική εξήγηση της εξέλιξης. Ωστόσο, η σύγχρονη βιοχημεία και γενετική επέκτειναν τη θεωρία του Δαρβίνου με τη βοήθεια μικροσκοπικών ανακαλύψεων που αφορούν τους μηχανισμούς της κληρονομικότητας. Η θεωρία που απορρέει από τις ανακαλύψεις αυτές ονομάζεται **συνθετική θεωρία της εξέλιξης** (synthetic theory of evolution).

Όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα, το καθένα από τα οποία περιέχει **χρωμοσώματα** (chromosomes) τα οποία είναι οργανωμένες δομές DNA και πρωτεϊνών. Το κάθε χρωμόσωμα διαιρείται σε **γονίδια** (genes), κάθε ένα από τα οποία κωδικοποιεί μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη και το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι αποτελούν τις μονάδες

μεταβίβασης όλων των κληρονομικών χαρακτηριστικών, όπως πχ το χρώμα των ματιών. Τα γονίδια μπορούν να μεταβάλλονται περιστασιακά λόγω μεταλλάξεων οι οποίες συμβαίνουν με τυχαίο τρόπο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπόκεινται και στην επίδραση του περιβάλλοντος.

Το πλήρες σύνολο όλου του γενετικού υλικού (όλα τα χρωμοσώματα μαζί) αποτελούν το **γονιδίωμα** (genome) του οργανισμού. Ο όρος γονιδίωμα αναφέρεται στο σύνολο των γονιδίων τα οποία περιέχονται σε αυτό. Δύο άτομα τα οποία έχουν πανομοιότυπο γονιδίωμα λέγεται ότι έχουν τον ίδιο **γονότυπο** (genotype). Ο γονότυπος έχει σαν αποτέλεσμα, μέσω εμβρυικής και της μετέπειτα ανάπτυξης, την εμφάνιση του συγκεκριμένου φαινοτύπου του οργανισμού.

Η επιλογή ενεργεί επί των ατόμων (τα άτομα είναι μονάδες επιλογής) τα οποία μέσω του φαινοτύπου τους εκφράζουν τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις εντός του γονότυπού του, δηλ. την συνολική γενετική πληροφορία του οργανισμού, καθώς επίσης και την αλληλεπίδραση του γονότυπου με το περιβάλλον κατά τον καθορισμό του φαινοτύπου.

Οι οργανισμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Τους **διπλοειδείς** (diploid) και τους **απλοειδείς** (haploid). Οι πρώτοι αποτελούν την πλειοψηφία των ειδών και σε αυτούς συμπεριλαμβάνεται και το ανθρώπινο είδος. Το κάθε άτομο διαθέτει 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων όπου κατά τη διαδικασία της αναπαραγωγής λαμβάνει χώρα ο **ανασυνδυασμός** ή **διασταύρωση** (crossover) των γονιδίων. Σε κάθε γονέα ανταλλάσσονται τα γονίδια μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμοσωμάτων και σχηματίζεται ένας **γαμέτης** (gamete). Ο γαμέτης αυτός είναι ένα μοναδικό χρωμόσωμα, ο οποίος μαζί με το γαμέτη του άλλου γονέα σχηματίζουν ένα διπλοειδές χρωμόσωμα.

Στην απλοειδή αναπαραγωγή, τα γονίδια ανταλλάσσονται μεταξύ των χρωμοσωμάτων των δύο γονέων. Οι ΕΑ χρησιμοποιούν σαν διαδικασία αναπαραγωγής την απλοειδή.

Η πιθανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής ενός οργανισμού, καθορίζεται από την δράση της φυσικής επιλογής. Η φυσική επιλογή μπορεί να δράσει είτε σε μικροσκοπικό επίπεδο (γονίδιο, χρωμόσωμα, κύτταρο), είτε σε μακροσκοπικό επίπεδο (άτομο, πληθυσμός, είδος) και περιγράφει την ικανότητα των ατόμων τα οποία έχουν καταφέρει να επιβιώσουν και να μεταφέρουν το γενετικό υλικό του στην επόμενη γενιά.

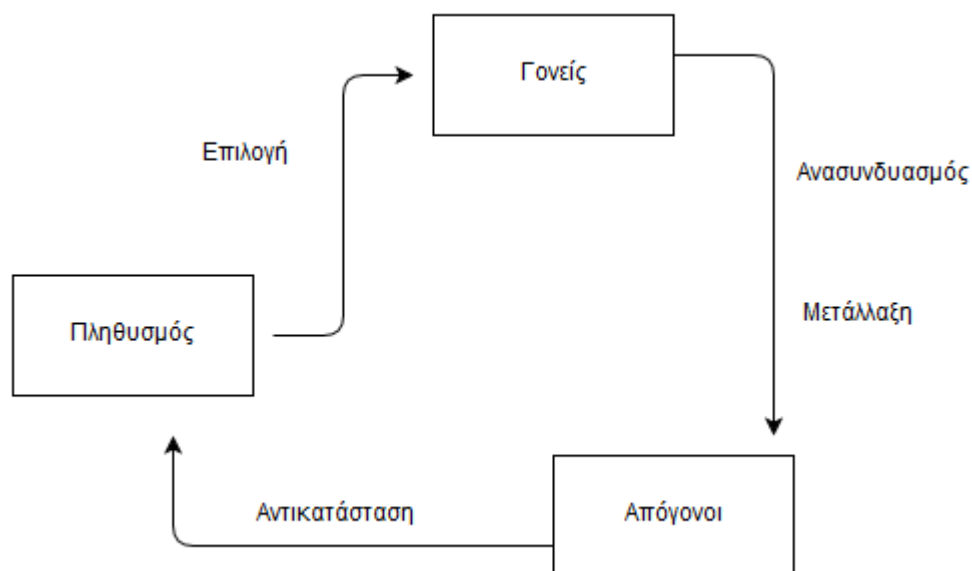
Η **αρμοστικότητα** (fitness) προσδιορίζει το ρυθμό με τον οποίο ο γονότυπος αυξάνει την παρουσία του σε σχέση με τον ρυθμό ενός άλλου γονότυπου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αρμοστικότητα του κάθε ατόμου είναι πάρα πολλοί και ποικίλουν από άτομο σε άτομο.

Γενική δομή αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος αποτελείται από έναν σταθερό πληθυσμό, ο οποίος αρχικοποιείται και εξελίσσεται από γενιά σε γενιά μέσω των διαδικασιών του ανασυνδυασμού και της μετάλλαξης. Ο λόγος που ο πληθυσμός αυτός παραμένει σταθερός είναι για προγραμματιστική ευκολία.

Η αρχικοποίηση του πληθυσμού είναι συνήθως τυχαία εκτός και αν υπάρχει κάποια προηγούμενη γνώση η οποία την επηρεάζει. Έπειτα αξιολογείται το κάθε άτομο και του δίνεται μια τιμή ποιότητας χρησιμοποιώντας της συνάρτηση ποιότητας που έχει φτιαχτεί για το συγκεκριμένο περιβάλλον και το συγκεκριμένο πρόβλημα. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι πολύ απλή ή εξαιρετικά πολύπλοκη. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των γονέων οι οποίοι θα καταφέρουν να αποκτήσουν απογόνους και ο καθορισμός του αριθμού των απογόνων αυτών. Η διαδικασία μπορεί να αναταραχθεί κάποια τυχαία στιγμή κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου και να λάβει χώρα η διαδικασία της μετάλλαξης αντί του ανασυνδυασμού, η οποία διαταράσσει περεταίρω τους απογόνους.

Όλη αυτή η διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω, ονομάζεται **εξελικτικός κύκλος** (evolutionary cycle). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο συνήθης εξελικτικός κύκλος.



Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι αν και το βασικό εννοιολογικό πλαίσιο όλων των ΕΑ είναι ίδιο, οι υλοποιήσεις τους διαφέρουν σε πολλά σημεία. Για παράδειγμα υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων επιλογής. Επίσης, η αναπαράσταση των ατόμων ποικίλει από δυαδικές

συμβολοσειρές μέχρι διανύσματα πραγματικών αριθμών ή ακόμη και εκφράσεις LISP. Τέλος, η σπουδαιότητα των δύο βασικών τελεστών (του ανασυνδυασμού και της μετάλλαξης) όπως επίσης και οι υλοποιήσεις τους διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων ΕΑ.

Γενετικός αλγόριθμος

Ιστορική αναδρομή

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ) εφευρέθηκαν από τον καθηγητή John Holland τη δεκαετία του 1960 και αναπτύχθηκαν από εκείνον και τους συνεργάτες του, στο πανεπιστήμιο του Michigan τη δεκαετία του '60 και '70. Σε αντίθεση με τις Εξελικτικές Στρατηγικές και τον Εξελικτικό προγραμματισμό, αρχικός στόχος του Holland ήταν να μελετήσει επίσημα τους μηχανισμούς της προσαρμογής των οργανισμών όπως συμβαίνει στη φύση και να αναπτύξει τρόπους όπου αυτοί οι μηχανισμοί θα μπορούσαν να εισαχθούν σε συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Μέσα στο βιβλίο του *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (1975) παρουσίασε ο γενετικός αλγόριθμος ως μια αφαίρεση της βιολογικής εξέλιξης και πρότεινε ένα μοντέλο λειτουργίας του. Εισήγαγε, δηλαδή ένα τυποποιημένο πλαίσιο για την πρόβλεψη της ποιότητας της επόμενης γενιάς, γνωστό ως Holland's Schema Theorem. Το πρώτο Διεθνές Συνέδριο για τους Γενετικούς Αλγορίθμους πραγματοποιήθηκε στο Πίτσμπουργκ της Πενσυλβάνιας. Καθώς το ακαδημαϊκό ενδιαφέρον μεγάλωνε, η δραματική αύξηση της υπολογιστική ισχύος επέτρεψε την δημιουργία νέων πρακτικών εφαρμογών. Στα τέλη του 1980, η General Electric άρχισε να πουλά το πρώτο γενετικό αλγόριθμο, ένα mainframe βασισμένο να σχεδιάζει βιομηχανικές διεργασίες.

Οι σκοποί της έρευνάς του είχαν διπλή κατεύθυνση:

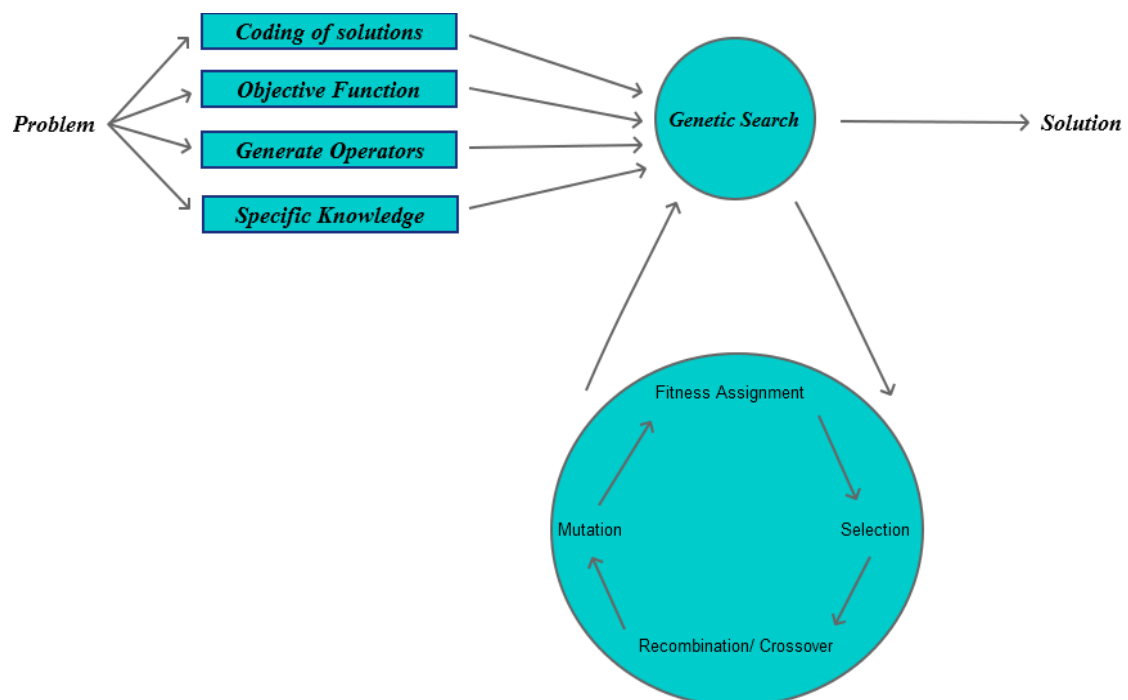
- Να συνοψίσουν και να εξηγήσουν τον τρόπο που λειτουργεί το φαινόμενο της προσαρμογής των οργανισμών και η διαδικασία της αναπαραγωγής.
- Να αναπτυχθούν τρόποι έτσι ώστε οι παραπάνω μηχανισμοί να εισαχθούν σε συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών[8]

Πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν από ένα σύστημα να είναι προσαρμοστικό για να μπορεί να συνεχίσει και να αποδίδει καλά σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο έλεγχος ενός ρομπότ που πρέπει να εκτελεί κάποιες εργασίες σε ένα δυναμικό περιβάλλον μεταβλητών (Variable Environment). Επίσης υπάρχουν προβλήματα που απαιτούν από ένα πρόγραμμα να είναι εφευρετικό - να μπορεί να κατασκευάζει κάτι από την

αρχή, όπως για παράδειγμα να δημιουργεί αλγόριθμους για την επίλυση αυτών των προβλημάτων. Τελικά, πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν σύνθετες λύσεις που είναι δύσκολο να προγραμματιστούν με το χέρι. Ένα εντυπωσιακό παράδειγμα είναι το πρόβλημα δημιουργίας τεχνητής νοημοσύνης. Παλιότερα, οι επιστήμονες που ασχολούνταν με την τεχνητή νοημοσύνη, πίστευαν ότι ήταν σχετικά εύκολο να κωδικοποιηθούν οι κανόνες που θα παρείχαν νοημοσύνη σε ένα πρόγραμμα, πλέον σήμερα είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι κανόνες αυτοί είναι πάρα πολύ πολύπλοκοι και μια προσέγγιση «από πάνω προς τα κάτω» δεν είναι αποτελεσματική. Αντιθέτως, η προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω», όπου καταγράφονται απλοί κανόνες, και πολύπλοκες συμπεριφορές, όπως η νοημοσύνη, αναδύονται μαζικά μέσα από την αλληλεπίδραση των κανόνων αυτών, αποδεικνύεται πιο αποτελεσματική. Ο συνδεσιμσμός (Connectionism – η μελέτη προγραμμάτων που η λειτουργία τους είναι εμπνευσμένη από νευρωνικά συστήματα) και η εξελικτική υπολογιστική είναι δύο παραδείγματα αυτής της προσέγγισης. Στην πρώτη περίπτωση οι κανόνες είναι πάρα πολύ απλοί – ένα νευρώνας σε ένα τέτοιο δίκτυο αποτελείται από μια είσοδο, μια έξοδο και δύο πιθανές καταστάσεις (ενεργή, μη ενεργή), ενώ στη δεύτερη περίπτωση, οι κανόνες είναι ουσιαστικά η διαδικασία της διασταύρωσης και της μετάλλαξης.

Παραδοσιακά οι γενετικοί αλγόριθμοι (ΓΑ) χρησιμοποιούν μια αναπαράσταση η οποία είναι ανεξάρτητη από το πρόβλημα, δηλ. συμβολοσειρές δυαδικών ψηφίων. Ωστόσο, αρκετές πρόσφατες εφαρμογές χρησιμοποιούν άλλους τρόπους αναπαράστασης όπως γράφοι, εκφράσεις LISP, διατεταγμένες λίστες και διανύσματα πραγματικών αριθμών.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο κύκλος διαδικασιών του Γενετικού Αλγορίθμου



Όταν αρχικοποιείται ο πληθυσμός δημιουργείται στη μνήμη ένα τυχαίο σύνολο από συμβολοσειρές (χρωμοσώματα) και μέσω της συνάρτησης κόστους βρίσκει το κόστος της κάθε συμβολοσειράς. Μετά την αρχικοποίηση επιλέγονται οι γονείς σύμφωνα με μια συνάρτηση πιθανότητας που σχετίζεται με την ποιότητα του κάθε γονέα. Όσο πιο καλή είναι η ποιότητα του κάθε χρωμοσώματος (κόστος) τόσο πιο πιθανό είναι να επιλεγεί περισσότερες φορές για να γίνει γονέας. Μέσα σε όλη αυτή τη διαδικασία μπορεί να προκύψει κάποια μετάλλαξη μιας συμβολοσειράς η οποία αν έχει καλή ποιότητα θα ενταχθεί στον πληθυσμός για αναπαραγωγή.

Παρακάτω φαίνεται η μέθοδος αρχικοποίησης του πληθυσμού σε ψευδοκώδικα.

Initialize the population

Begin

Input: memory \leftarrow empty set

for ($i = 0$ to $i < \text{memory size}$, $i++$) **do**

create random Vector

add Vector to memory

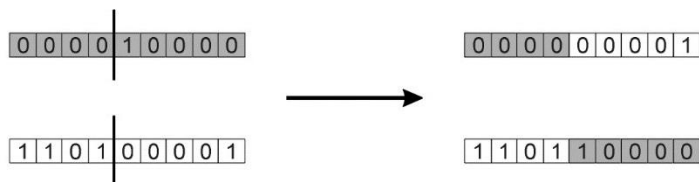
end for

end

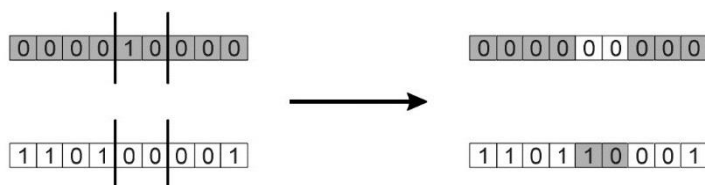
Τελεστής διασταύρωσης

Γενικά, κατά τη διασταύρωση, επιλέγεται μια ή περισσότερες τυχαίες θέσεις του χρωμοσώματος και γίνεται ανταλλαγή αυτών των τμημάτων μεταξύ των γονέων. Οι πιο συνηθισμένοι τελεστές περιγράφονται παρακάτω.

- **Διασταύρωση ενός σημείου:** Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο για κάθε ζεύγος χρωμοσωμάτων που επιλέχθηκε για διασταύρωση παράγεται τυχαία ένας ακέραιος k από το διάστημα $[1, m-1]$ όπου m το μήκος του δυαδικού ψηφίου σε χρωμοσώματα. Ο αριθμός k προσδιορίζει το σημείο κοπής ή αλλιώς σημείο διασταύρωσης των χρωμοσωμάτων. Από το σημείο αυτό, μέχρι και το τέλος του μήκους των χρωμοσωμάτων γίνεται ανταλλαγή των γονιδίων τους.



- **Διασταύρωση πολλών σημείων:** Επιλέγονται πάνω από ένα σημεία διασταύρωσης και οι γονείς χωρίζονται σε πολλαπλά μέρη και αντιγράφονται εναλλάξ στον απόγονο.



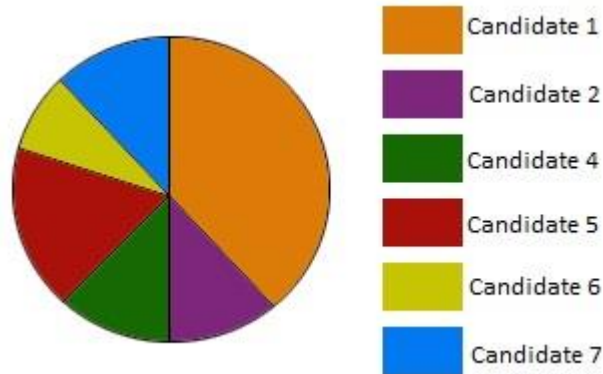
- **Ομοιόμορφη διασταύρωση:** Στη ομοιόμορφη διασταύρωση οι δύο γονείς θα ανταλλάξουν το γενετικό υλικό με βάση μια μάσκα από δυαδικά ψηφία. Η μάσκα αυτή είναι μήκους m όσο το μήκος των χρωμοσωμάτων και επιλέγεται με τυχαίο τρόπο. Ανάλογα με την τιμή του δυαδικού ψηφίου στην κάθε θέση της μάσκας καθορίζεται για κάθε παιδί από ποιόν γονέα θα προέρχεται το γενετικό υλικό στην αντίστοιχη θέση. Για παράδειγμα αν το δυαδικό ψηφίο στην 1η θέση της μάσκας έχει τιμή 1 τότε το 1ο παιδί θα πάρει την τιμή της αντίστοιχης θέσης του 1ου γονέα αλλιώς αν είναι 0 τότε θα πάρει την τιμή της αντίστοιχης θέσης του 2ου γονέα. Για το 2ο παιδί ισχύει το αντίστροφο, δηλαδή από όποιον γονέα πάρει γενετικό υλικό το 1ο παιδί, το 2ο παιδί θα πάρει από τον άλλον γονέα.
- **Διασταύρωση 3 γονέων:** Το παιδί προέρχεται από τρεις τυχαία επιλεγμένους γονείς. Κάθε bit του πρώτου γονέα συγκρίνεται με το αντίστοιχο bit του δεύτερου γονέα. Εάν είναι τα ίδια, το bit θα συμπεριληφθεί στο παιδί. Εάν είναι διαφορετικά, τότε στο παιδί θα συμπεριληφθεί το αντίστοιχο bit από τον τρίτο γονέα.

Η επιλογή των γονέων γίνεται με πολλούς τρόπους.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο τρόπους επιλογής γονέων:

- **Τη μεροληπτική ρουλέτα (Roulette Wheel Selection)** όπου σε κάθε άτομο στη μνήμη δίνεται ένα βάρος ανάλογα με το κόστος. Όσο καλύτερη ποιότητα έχει ένα

άτομο τόσο πιο πιθανό είναι να γίνει γονιός. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως διαμορφώνεται η πιθανότητα επιλογής του κάθε υποψήφιου γονέα με βάση την ποιότητά του.



Η μέθοδος Roulette Wheel υλοποιείται βάσει του παρακάτω αλγορίθμου:

1. Αθροίζονται όλα τα κόστη του πληθυσμού.
 2. Υπολογίζεται το κόστος του κάθε χρωμοσώματος του πληθυσμού και διαιρείται με το συνολικό κόστος. Αυτή είναι η πιθανότητα επιλογής του κάθε χρωμοσώματος.
 3. Παράγεται ένας τυχαίος αριθμός από το 0 έως και το συνολικό κόστος.
 4. Έπειτα ξεκινώντας από τον τυχαίο αριθμό αφαιρούμε τα κόστη των χρωμοσωμάτων μέχρις ότου η αφαίρεση γίνει αρνητική. Μόλις γίνει αυτό, τότε, επιστρέφεται το χρωμόσωμα που βρίσκεται στη θέση στην οποία η αφαίρεση γίνεται αρνητική.
- **Την επιλογή διαγωνισμού (Tournament Selection)** όπου επιλέγεται τυχαία σύνολο χρωμοσωμάτων από τον πληθυσμό και το χρωμόσωμα με την καλύτερη ποιότητα γίνεται γονέας. Η μέθοδος “τουρνουά” αποτελεί τη δεύτερη πιο δημοφιλή μέθοδο επιλογής. Σε αυτή N άτομα επιλέγονται τυχαία από τον πληθυσμό. Η επιλογή πραγματοποιείται διαλέγοντας έναν αριθμό από το ένα έως τον αριθμό των ατόμων του πληθυσμού. Ο αριθμός αυτός καθορίζει το χρωμόσωμα που θα πάρει μέρος στο τουρνουά και η διαδικασία συνεχίζει έως ότου να συμπληρώσουμε τα N άτομα της ομάδας. Εναλλακτικά μπορούμε να επιλογή ρουλέτα για να συμπληρώσουμε την ομάδα (Wetzel ranking). Για κάθε μέλος της ομάδας αυτής έπειτα υπολογίζεται η τιμή της συνάρτησης κόστους και το χρωμόσωμα με τη μεγαλύτερη τιμή κερδίζει το

τουρνουά και γίνεται ο επίλεκτος. Τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας επιστρέφουν στον αρχικό πληθυσμό και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η πιο συνηθισμένη μορφή τουρνουά είναι αυτή όπου το N είναι ίσο με δύο δηλαδή η κάθε ομάδα αποτελείται από δύο χρωμοσώματα. Η μέθοδος χρησιμοποιεί την επιλογή με αντικατάσταση ώστε τα άτομα να παίζουν περισσότερες από μία φορές το ρόλο του γονέα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει πολύ συχνά όταν ο πληθυσμός συγκλίνει στη βέλτιστη λύση. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι παρουσιάζει καλύτερη σύγκλιση σε μία λύση στα πρώτα στάδια του αλγόριθμου και είναι γενικότερα πιο γρήγορη.

- **Τον Ελιτισμό (Elitism)** ο οποίος ανήκει στη κατηγορία των μεθόδων επιλογής που αναγκάζουν τον γενετικό αλγόριθμο να κρατάει έναν αριθμό των καλύτερων ατόμων της κάθε γενιάς. Τα άτομα αυτά μπορεί να καταστραφούν με τη μετάλλαξη και τη διασταύρωση αν επιλεγούν για αναπαραγωγή ή να χαθούν αν δεν επιλεγούν καθόλου, για αυτό και ο αλγόριθμος τα μεταφέρει αυτούσια στην επόμενη γενιά.

Τελεστής μετάλλαξης

Ο τελεστής της μετάλλαξης εφαρμόζεται με μια πιθανότητα μετάλλαξης. Η πιθανότητα μετάλλαξης υποδεικνύει πόσο συχνά θα μεταλλαχθούν τα γονίδια ενός χρωμοσώματος. Εάν δεν υπάρχει καθόλου μετάλλαξη, οι απόγονοι θα παραχθούν αμέσως μετά τη διασταύρωση ή θα αντιγραφούν κατευθείαν χωρίς καμία αλλαγή. Εάν εφαρμοστεί μετάλλαξη, ένα ή περισσότερα γονίδια του χρωμοσώματος θα αλλάξουν. Εάν η πιθανότητα μετάλλαξης είναι 1, τότε όλα τα γονίδια του χρωμοσώματος θα μεταλλαχθούν, ενώ εάν είναι 0, κανένα γονίδιο δεν θα μεταλλαχθεί.

Η μετάλλαξη λαμβάνει χώρα μετά τη διασταύρωση και όπως συμβαίνει και στους φυσικούς οργανισμούς πραγματοποιείται αραιά γιατί σε διαφορετική περίπτωση ο αλγόριθμος εκφυλίζεται σε εντελώς τυχαία αναζήτηση. Όταν συμβαίνει, εξασφαλίζει ότι κανένα σημείο του χώρου αναζήτησης δεν αποκλείεται από την διαδικασία αναζήτησης και διορθώνει τυχόν απώλεια γενετικών πληροφοριών στο στάδιο της επιλογής και διασταύρωσης. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι μετάλλαξης. Δύο από αυτές είναι οι ακόλουθες:

- **Μετάλλαξη ενός σημείου:** Απλή αντιστροφή ενός τυχαίου δυαδικού ψηφίου του γονέα, από 0 σε 1 ή το αντίστροφο και δημιουργία ενός παιδιού. Η επιλογή γίνεται

τυχαία με μια μικρή προκαθορισμένη πιθανότητα την λεγόμενη πιθανότητα μετάλλαξης.

- **Μετάλλαξη πολλών σημείων:** Παρόμοια φιλοσοφία με την μετάλλαξη ενός σημείου με τη διαφορά ότι επιλέγονται πάνω από σημεία μετάλλαξης για έναν γονέα.

Για παράδειγμα στη μετάλλαξη ενός σημείου, εάν στην συμβολοσειρά 10111000 γίνει μετάλλαξη στο πέμπτο δυαδικό ψηφίο της θα γίνει 10110000. Η μετάλλαξη μπορεί να συμβεί σε οποιαδήποτε θέση μιας συμβολοσειράς με κάποια πιθανότητα, συνήθως πολύ μικρή όσον αφορά τους ΓΑ (π.χ. 0.001)



Απαιτείται προσοχή στην επιλογή της τιμής της πιθανότητας μετάλλαξης, αφού αν είναι μεγάλη τα χρωμοσώματα δεν θα μπορούν να διατηρήσουν τα καλά δομικά στοιχεία τους, με κίνδυνο ο ΓΑ να μετατραπεί σε αλγόριθμο τυχαίας αναζήτησης και να μη συγκλίνει σε κανένα ακρότατο. Η τιμή που της ανατίθεται συνήθως είναι σχετικά χαμηλή. Σε περίπτωση άλλων αναπαραστάσεων πολλές φορές είναι αρκετά μεγαλύτερη.[9]

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι στους ΓΑ η έμφαση δίνεται στον τελεστή ανασυνδυασμού και όχι στον τελεστή μετάλλαξης. Όπως ήδη ειπώθηκε η πιθανότητα μετάλλαξης (δηλ. αντιστροφής) των δυαδικών ψηφίων είναι πολύ μικρή και συχνά θεωρείται τελεστής που λειτουργεί στο παρασκήνιο. Ο ανασυνδυασμός, από την άλλη, θεωρείται ως ο κύριος τελεστής διερεύνησης.

Ένας απλός ΓΑ ο οποίος αποφέρει καλά αποτελέσματα σε πολλά πρακτικά προβλήματα,

στηρίζεται σε τρεις τελεστές:

- *Επιλογή,*
- *Διασταύρωση (Ανασυνδυασμός), και*

- *Μετάλλαξη.*

Η αναπαραγωγή είναι μια διαδικασία κατά την οποία ξεχωριστές συμβολοσειρές (άτομα) επιλέγονται σύμφωνα με τις τιμές ποιότητας που τους έχει ανατεθεί από την συνάρτησης ποιότητας f (οι βιολόγοι καλούν αυτή τη συνάρτηση, συνάρτηση προσαρμογής-καταλληλότητας). Μπορούμε να σκεφτόμαστε τη συνάρτηση ποιότητας f ως κάποιο μέσο μέτρησης του κέρδους, της χρησιμότητας της ποιότητας ή της καταλληλότητας που επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε. Η επιλογή συμβολοσειρών ανάλογα με τις τιμές ποιότητάς τους σημαίνει ότι, σειρές με μια υψηλότερη τιμή έχουν και υψηλότερη πιθανότητα συνεισφοράς ενός ή περισσότερων απογόνων στην επόμενη γενιά. Αυτός ο χειρισμός, φυσικά, είναι μία τεχνητή έκδοση της φυσικής επιλογής, θα λέγαμε μία Δαρβινική επιβίωση του βέλτιστου ανάμεσα σε σειρές πλασμάτων. Σε φυσικούς πληθυσμούς η ποιότητα καθορίζεται από την ικανότητα ενός πλάσματος να επιβιώνει από αρπαγές, λοιμούς και άλλα εμπόδια στο δρόμο προς την ενηλικίωση και τη μεταγενέστερη αναπαραγωγή. Μέσα στο ακλόνητα τεχνητό μας πλαίσιο, η συνάρτηση ποιότητας είναι ο τελικός ρυθμιστής της ζωής ή του θανάτου των συμβολοσειρών-πλασμάτων.

Παράμετροι Γενετικών αλγορίθμων

Η **πιθανότητα διασταύρωσης (pc)** καθορίζει τη συχνότητα της διασταύρωσης, δηλαδή πόσα μέλη του πληθυσμού που επεξεργάζεται ο ΓΑ θα διασταυρωθούν. Η πιθανότητα αυτή ποικίλει ανάλογα με το είδος του προβλήματος. Πιθανότητα διασταύρωσης ίση με 1 σημαίνει όλα τα μέλη του πληθυσμού θα διασταυρωθούν μεταξύ τους, ενώ αν είναι 0, τότε οι απόγονοι θα είναι πιστά αντίγραφα των γονέων εκτός αν συμβούν αλλαγές στη φάση της μετάλλαξης. Η πιθανότητα μετάλλαξης (pm) καθορίζει το πόσο συχνά τα γονίδια των χρωμοσωμάτων θα αλλάζουν κατάσταση (από 0 σε 1 ή το αντίστροφο).

Η **τιμή της πιθανότητας μετάλλαξης** θα πρέπει να είναι $1/n$ όπου n ο αριθμός των μεταβλητών παραμέτρων του υποεξέτασης προβλήματος. Σε γενικές γραμμές το ποσοστό της μετάλλαξης θα πρέπει να είναι χαμηλό, αλλιώς ο αλγόριθμος εγκλωβίζεται σε ένα βρόγχο τυχαίας αναζήτησης. Διάφορες μελέτες έχουν γίνει για τη σωστή προσέγγιση του ποσοστού της μετάλλαξης. Ο Holland υποστήριξε ότι η μετάλλαξη είναι δευτερογενής τελεστής ενώ ο Goldberg προτείνει να αντιστρέφεται ένα στα χίλια δυαδικά ψηφία κατά μέσο όρο σε κάθε επανάληψη. Η μετάλλαξη αντιμετωπίζει τα δυαδικά ψηφία όλων των μελών του πληθυσμού σαν μια ενωμένη συμβολοσειρά και η αναφορά του Goldberg μιλάει για το σύνολο των δυαδικών ψηφίων του πληθυσμού.[10]

Το μέγεθος του πληθυσμού δηλώνει τον αριθμό των υποψηφίων λύσεων κάθε γενιάς. Ο καθορισμός του μεγέθους αυτού είναι συνάρτηση του είδους του προβλήματος που θα επιλυθεί και των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων. Το μέγεθος του πληθυσμού είναι κρίσιμο για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Οι μικροί πληθυσμοί συγκλίνουν πιο γρήγορα σε τοπικά βέλτιστα αλλά εγκλωβίζονται σε αυτά, ενώ οι μεγάλοι πληθυσμοί είναι πολύ πιθανόν να μην εγκλωβίσουν τον αλγόριθμο σε τοπικό βέλτιστο αλλά θέλουν περισσότερο υπολογιστικό χρόνο και πόρους για την εξεύρεση της λύσης.

Ποσοστό μετανάστευσης δηλώνει πόσα χρωμοσώματα από τον πληθυσμό θα περάσουν στην επόμενη γενιά.

Κεφάλαιο 3 - Υλοποίηση Γενετικού Αλγόριθμου

Παράμετροι Συστήματος

Παρακάτω παρουσιάζουμε έναν Γενετικό αλγόριθμο για το πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντος με τη χρήση του κριτηρίου Share of Choices.

Στην επίσημη περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου που βασίζεται στο ΓΑ, το σύνολο $ATTRIBUTES = (1,2,3,...,N)$ υποδηλώνει ένα σετ από N γνωρίσματα, το $LEVEL_{ATTRIBUTES}=(1,2,3,...,M_{ATTRIBUTES})$ υποδηλώνει ένα σετ από επίπεδα για το κάθε γνώρισμα N το οποίο ανήκει στο σύνολο $ATTRIBUTES$. Επιπλέον, έστω $\Psi = \{1,2,...,PN\}$ που υποδηλώνει ένα σετ από PN αντικείμενα προς επιλογή, όπου η πολυ-γνωρισματική περιγραφή του κάθε αντικειμένου καθορίζεται επιλύοντας το πρόβλημα Share of Choices. Έστω $CUSTOMERS = \{1,2,...,C\}$ που υποδηλώνει την ομάδα των καταναλωτών. Έστω $PARTWORTH_k$ που υποδηλώνει τη μερική αξία (part worth) επιπέδου $m \in LEVEL$ του γνωρίσματος $k \in ATTRIBUTES$ για τον καταναλωτή $i \in CUSTOMERS$. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι μερικές αξίες μπορούν να εκτιμηθούν με τη χρήση της Conjoint Analysis.

Ακολουθεί η περιγραφή του Γενετικού Αλγορίθμου.

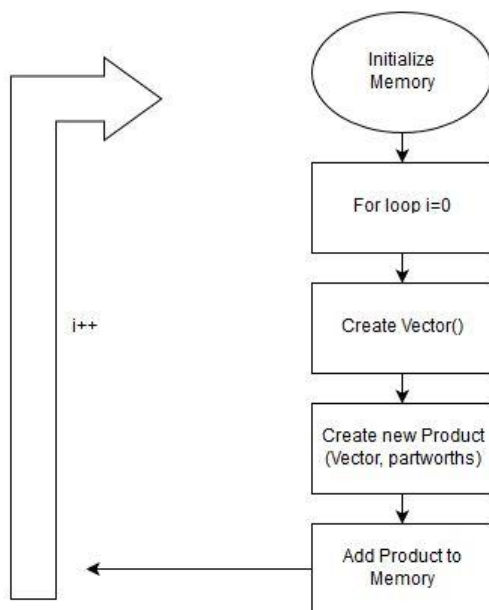
Παρουσίαση των λύσεων

Έστω P που υποδηλώνει ένα σετ από υποψήφιες γραμμές προϊόντων και $M = |P|$ που υποδηλώνει το μέγεθος του πληθυσμού. Ο πληθυσμός διατηρείται σε έναν πίνακα $POPULATION$. Το κάθε στοιχείο του πίνακα $POPULATION$ είναι ένα αντικείμενο το οποίο εμπεριέχει ένα διάνυσμα από 0 και 1 όπου το κάθε στοιχείο της σειράς αυτής αναπαριστά ένα επίπεδο ενός γνωρίσματος και το αντίστοιχο κόστος

Αρχικός πληθυσμός

Ο αρχικός πληθυσμός των υποψήφιων γραμμών προϊόντων παράγεται τυχαία και αποθηκεύεται στον πίνακα $POPULATION$.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας αρχικοποίησης.



Αξιολόγηση καταλληλότητας

Η καταλληλότητα του πληθυσμού αξιολογείται με βάση το κριτήριο

- **Share of Choices.** Υπολογίζεται το άθροισμα όλων των μερικών πιθανοτήτων για το κάθε διάνυσμα ούτως ώστε να αξιολογηθεί το αναμενόμενο share of choices. Το αναμενόμενο share of choices διατηρείται στο κάθε αντικείμενο και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση καταλληλότητας του πληθυσμού των στοιχείων.
- **First choice rule.** Σε αυτή την περίπτωση ο καταναλωτής επιλέγει πάντα το προϊόν με τη μεγαλύτερη για κείνον χρησιμότητα, επομένως του προστίθεται πιθανότητα επιλογής 1, και στα υπόλοιπα 0. Το αρνητικό με αυτή την προσέγγιση είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι μερικές αξίες των υπολοίπων προϊόντων.

Μέθοδος επιλογής

Το ποσοστό των στοιχείων του νέου πληθυσμού που θα περάσουν στη νέα γενιά, καθορίζεται από τον χρήστη. Τα στοιχεία αυτά παράγονται ξανά με τη χρήση της μεθόδου επιλογής που περιγράφεται στη συνέχεια. Η μέθοδος επιλογής που έχει επιλέξει ο χρήστης αναπαράγει υποψήφιες λύσεις. Η ελιτιστική στρατηγική χρησιμοποιείται ούτως ώστε να διασφαλιστεί ότι ο βέλτιστος πληθυσμός θα είναι αυτός που θα «επιβιώσει» από την τωρινή γενιά στην επόμενη. Συγκεκριμένα, οι καλύτερες υποψήφιες γραμμές προϊόντων επιλέγονται για να επιβιώσουν

στην επόμενη γενιά. Το ποσοστό που θα περάσει καθορίζεται από τον ίδιο τον χρήστη και το υπόλοιπο επιλέγεται τυχαία μέσα από το σύνολο όλων των υποψηφίων λύσεων.

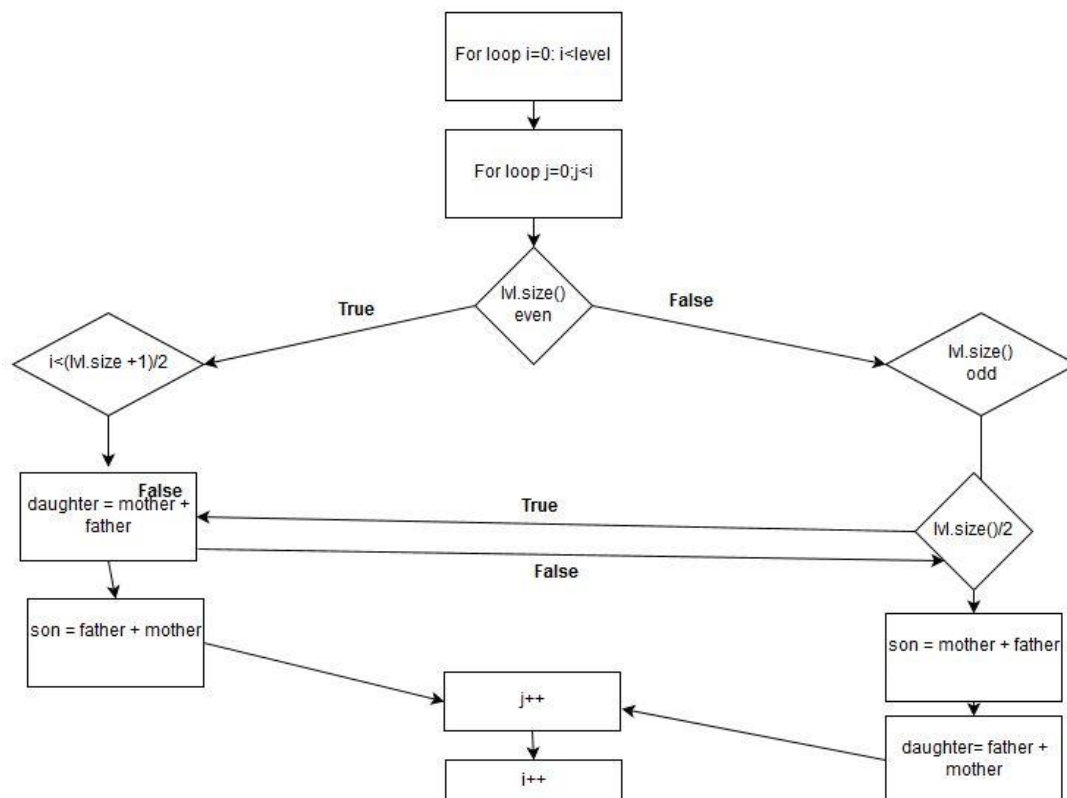
Η μέθοδος επιλογής γίνεται είτε με Roulette Wheel Selection είτε με Tournament Selection, όπως έχει παρουσιαστεί παραπάνω. Ο χρήστης επιλέγει τον τρόπο επιλογής των υποψηφίων μέσα από τη φόρμα εισαγωγής στοιχείων που έχει αναπτυχθεί.

Διαδικασία Διασταύρωσης

Η διαδικασία της διασταύρωσης, ακολουθεί τη μέθοδο επιλογής που έχει επιλέξει ο χρήστης. Τα επιλεγμένα ζεύγη γονέων συνδυάζονται με μια μέθοδο που έχει επιλέξει ο χρήστης για να παράγουν απογόνους. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί είναι οι παρακάτω:

- One point
- Multipoint
- Three parent
- Uniform

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για one point crossover



Διαδικασία Μετάλλαξης

Ένα ποσοστό των στοιχείων του νέου πληθυσμού, το οποίο καθορίζεται απ' τον χρήστη, παράγονται με τη χρήση μετάλλαξης. Ο διαχειριστής μετάλλαξης επιλέγει τυχαία στοιχεία του πληθυσμού από το σετ των στοιχείων που έχουν αναπαραχθεί με τη μέθοδο επιλογής και με τον διασταυρούμενο διαχειριστή. Η τιμή σε μια τυχαία θέση για την κάθε γραμμή προϊόντος αλλάζει τυχαία.

Προϋπόθεση λήξης

Ο ΓΑ σταματάει όταν η εκτελέσει όλο τον αριθμό των επαναλήψεων που του έχει ορίσει ο χρήστης.

Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή του συστήματος.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι παράμετροι του γενετικού

Genetic Algorithm Parameters	Value Types
Number of Iterations	Integer
Number of population	Integer
Crossover rate	Double between (0-1)
Mutation rate	Double between (0-1)
Crossover point	flag
Selection method	flag
Migation policy	Double between (0-1)

Εισαγωγή Δεδομένων

Δημιουργία Partworths

Παραγωγή αρχικού πληθυσμού

Δημιουργία πληθυσμού ανταγωνιστικών προϊόντων

Επανάληψη

Επιλογή με τη χρήση ελιτιστικής στρατηγικής και διατήρηση της ποικιλομορφίας του πληθυσμού

Διαδικασία διασταύρωσης

Μετάλλαξη

Πρόσθεση ανταγωνιστικών προϊόντων στον πληθυσμό

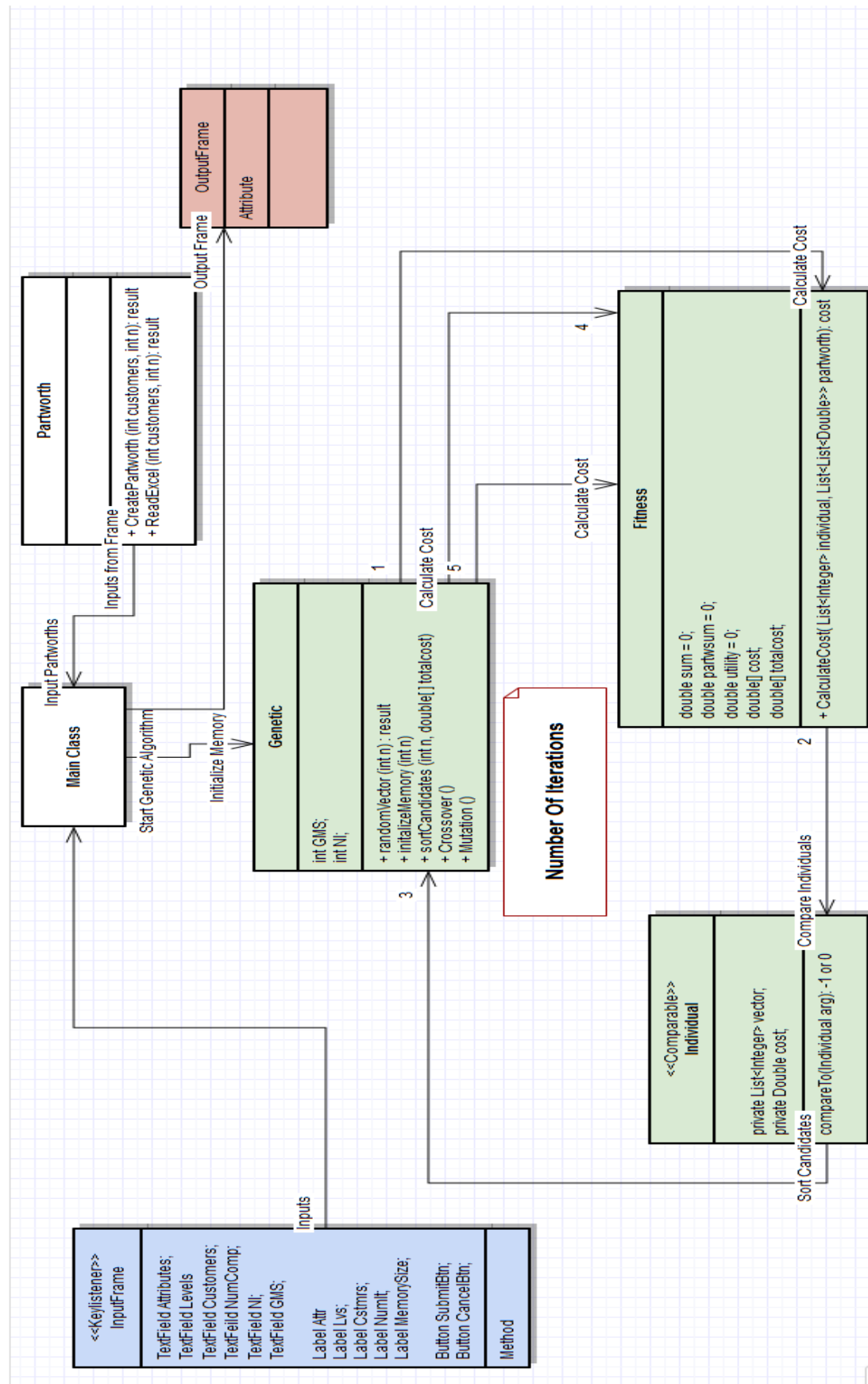
Αξιολόγηση καταλληλότητας με τη χρήση του κριτηρίου share of choices

Δημιουργία νέας γενιάς

Μέχρι να ικανοποιηθεί η συνθήκη λήξης

Εμφάνιση Πληθυσμού

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του συστήματος.



Περιβάλλον ανάπτυξης συστήματος και τεχνολογίες.

Netbeans: Το NetBeans, είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών (IDE), το οποίο ξεκίνησε αρχικά ως ένα εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών σε Java αλλά στην συνέχεια εξελίχθηκε προσφέροντας υποστήριξη για όλες τις γνωστές γλώσσες προγραμματισμού. Το πρόγραμμα προσφέρει μία πληθώρα χαρακτηριστικών για συγκεκριμένες γλώσσες προγραμματισμού όπως οι Java, Java EE, Java FX, Swing, PHP, C/C++ αλλά και το Web Development (HTML5, CSS, Javascript).

Java EE: Η Java Platform, Enterprise Edition ή αλλιώς Java EE είναι μια ευρέως διαδεδομένη πλατφόρμα για προγραμματισμό server που στηρίζεται πάνω στην γλώσσα προγραμματισμού Java. Η Java EE διαφέρει από την βασική έκδοση της Java από το γεγονός ότι προσθέτει βιβλιοθήκες οι οποίες παρέχουν λειτουργικότητα ώστε να αναπτυχθεί διαδικτυακό, πολυμερές λογισμικό σε Java, βασισμένο σε αυτοτελή μέρη που τρέχουν σε application servers. Η Java EE ήταν γνωστή παλιότερα και ως J2EE, ονομασία που είχε μέχρι και την έκδοση 1.4. Η επόμενη έκδοση ονομάστηκε Java EE 5.

Presentation Layer: Το επίπεδο παρουσίασης περιλαμβάνει τα συστατικά του πληροφοριακού συστήματος που είναι υπεύθυνα για την αλληλεπίδρασή του με τους χρήστες και την οπτική παρουσίαση της πληροφορίας. Αναπτύχθηκε φόρμα αλληλεπίδρασης βασισμένη σε CSS/HTML.

Παρακάτω φαίνεται η φόρμα εισόδου δεδομένων σε browser

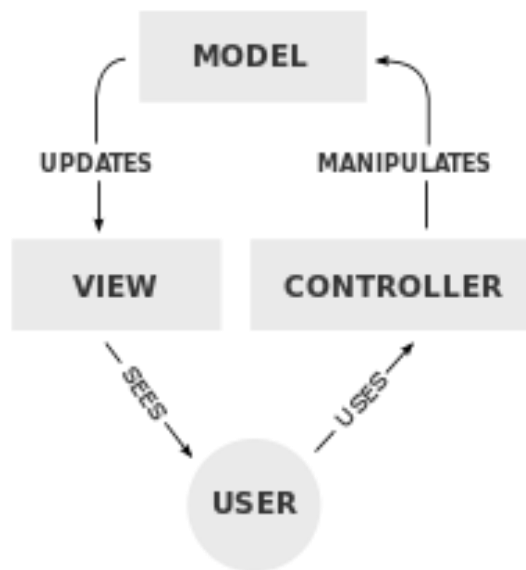
The screenshot shows a web application titled "Genetic Algorithm". It is divided into three main sections: "Problem Variables", "Genetic Variables", and "Find cost for specific individual".

- Problem Variables:** Contains a "Read from file" checkbox, a "Chromosome" radio button (selected), and a "First choice rule" radio button. Below these are input fields for "Number of firm's products", "Number of competitive products", "Number of customers", "Number of attributes", and "Number of levels".
- Genetic Variables:** Contains input fields for "Number of iterations", "Number of Chromosomes", "Mutation rate", and "Migration rate". It also has radio buttons for "Crossover Method" (OnePoint, Multipoint, 3-Parent, Uniform) and "Parent Selection Method" (Roulette wheel, Tournament).
- Find cost for specific individual:** Contains an "Individual" input field and a "Go" button.

At the bottom left, there are "Finish" and "Reset" buttons. On the right side, there is a large empty "Output Area" box.

Model View Controller: Η Model-View-Controller (MVC) (Reenskaug, 1979; Reenskaug, 2003) αρχιτεκτονική λύνει το παραπάνω πρόβλημα διαχωρίζοντας την απεικόνιση των δεδομένων, τις λειτουργίες Αρχιτεκτονική Υποστήριξης Εφαρμογών του Web 3.0 της εφαρμογής που βασίζονται στην είσοδο δεδομένων από το χρήστη και τον τρόπο αποθήκευσης των δεδομένων σε τρία διακριτά τμήματα/αντικείμενα. Πιο συγκεκριμένα, το αντικείμενο Controller μεταφράζει την είσοδο που δέχεται από το χρήστη (συνήθως κλικ ποντικιού ή πληκτρολόγηση), και ενημερώνει το αντικείμενο Model ή/και το αντικείμενο View για να τροποποιηθούν κατάλληλα. Το View διαχειρίζεται την απεικόνιση των δεδομένων, ενώ το Model “κρατά” τη δομή των δεδομένων, απαντά στα “αιτήματα” για ενημέρωση των δεδομένων που δέχεται από το Controller, ενώ δέχεται και “αιτήματα” για ανάκτηση δεδομένων, συνήθως από το View. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αντικείμενα View και Controller εξαρτώνται από το Model, ενώ το Model δεν εξαρτάται ούτε από το View ούτε από το Controller. Αυτό είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα όταν διαχωρίζονται οι κύριες λειτουργίες μιας εφαρμογής. Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει στο Model να αναπτυχθεί και να ελεγχθεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα, χωρίς δηλαδή να είναι απαραίτητη η ανάπτυξη λειτουργίας που θα απεικονίζει τα δεδομένα (View).

Παρακάτω απεικονίζεται η αρχιτεκτονική MVC



Πέντε βασικές κλάσεις σε Java έχουν αναπτυχθεί οι οποίες αποτελούν τον κορμό στην αρχιτεκτονική του συστήματος

GeneticBean: Αυτή η κλάση αποτελεί τον controller του συστήματος ο οποίος στέλνει τα κατάλληλα δεδομένα στο σύστημα για να ξεκινήσει ο υπολογισμός. Συγκεκριμένα βρίσκεται ενδιάμεσα, μεταξύ της οθόνης που βλέπει ο χρήστης και της κλάσης Variables.

Variables: Αυτή η κλάση περιέχει όλες τις μεταβλητές που χρειάζεται ο αλγόριθμος για να κάνει τους υπολογισμούς. Δεν περιέχει καμία μέθοδο και αποτελεί ένα επιπλέον ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ του GeneticBean και του πυρήνα του Γενετικού.

MainClass: Στη MainClass καλούνται όλες οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιήσει ο ΓΑ.

Product: Η κλάση αυτή αποτελεί τον πυρήνα του αλγορίθμου. Σε κάθε αντικείμενο Product ενθυλακώνεται ένα διάνυσμα και το αντίστοιχο κόστος. Το διάνυσμα υπολογίζεται μέσω της κλάσης Vector και το κόστος μέσω της FindCost.

Genetic: Η κλάση Genetic περιέχει όλες τις μεθόδους για διασταύρωση και μετάλλαξη που χρησιμοποιεί το σύστημα. Εκεί καλούνται οι μέθοδοι επιλογής υποψηφίων και τρόπου διασταύρωσης.

Κεφάλαιο 4 – Αποτελέσματα υλοποίησης

Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την ορθότητα των αποτελεσμάτων του ίδιου του συστήματος, αλλά και να συγκρίνουμε τις διάφορες λειτουργίες μεταξύ τους, δημιουργήσαμε κατάλληλα σενάρια τα αποτελέσματα των οποίων μας βοήθησαν να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα. Για τη σύγκριση τιμών και την ορθότητα των αποτελεσμάτων, επιλέξαμε ο αλγόριθμος να διαβάζει τα partworths, τα ανταγωνιστικά προϊόντα και τα attributes από κατάλληλα αρχεία με σταθερό περιεχόμενο έτσι ώστε οι διαφορετικές λειτουργίες να είχαν τα ίδιες τιμές εισόδου. Επίσης έχει προστεθεί στον αλγόριθμο η λειτουργία διαγραφής διπλότυπων διανυσμάτων έτσι ώστε η μνήμη να αποτελείται από διαφορετικά μεταξύ τους διανύσματα και να αποφευχθεί να πέσει ο γενετικός σε τοπικό μέγιστο.

Σύγκριση Roulette Wheel και Tournament Selection σε επίπεδο κόστους

1^ο σενάριο:

Number of Attributes = 2, Number of levels = (5, 5)

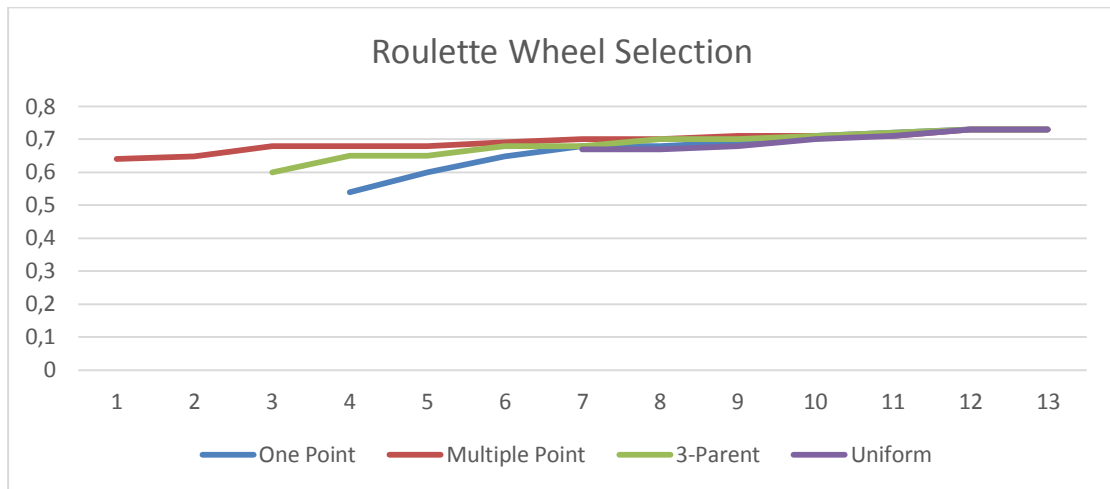
Number of Iteration = 1000, Genetic Memory Size = 10,

Crossover, Mutation & Migration Rate = 0.5.

Choice rule: Share of choices

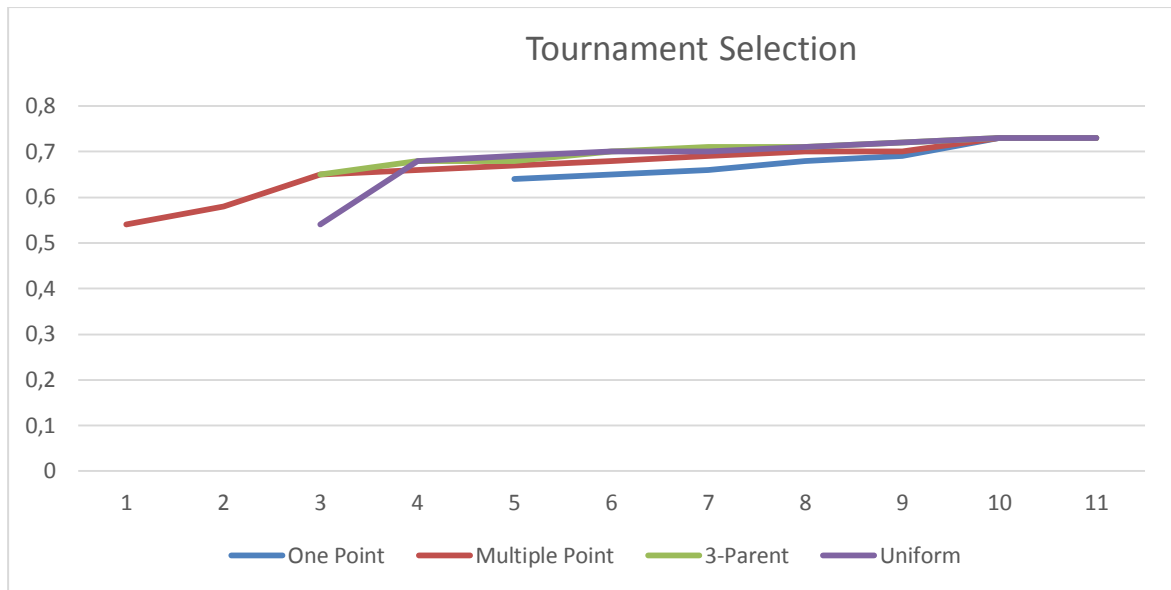
Κόστος για Roulette wheel selection ανάλογα με το selection point

One Point	Multiple Point	3-Parent	Uniform
	0,64		
	0,649		
	0,679	0,6	
0,54	0,679	0,65	
0,6	0,679	0,65	
0,649	0,69	0,68	
0,679	0,7	0,68	0.67
0,679	0,7	0,7	0.67
0,69	0,71	0,7	0.68
0,71	0,71	0,71	0.7
0,72	0,71	0,72	0.71
0,73	0,73	0,73	0.73
0,73	0,73	0,73	0.73



Κόστος για Tournament selection ανάλογα με το selection point

One Point	Multiple Point	3-Parent	Uniform
	0,54		
	0,58		
	0,65	0,65	0,54
	0,66	0,68	0,68
0,64	0,67	0,68	0,69
0,65	0,68	0,7	0,7
0,66	0,69	0,71	0,7
0,68	0,7	0,71	0,71
0,69	0,7	0,72	0,72
0,73	0,73	0,73	0,73
0,73	0,73	0,73	0,73



2^ο σενάριο:

Number of Attributes = 2, Number of levels = (5, 5)

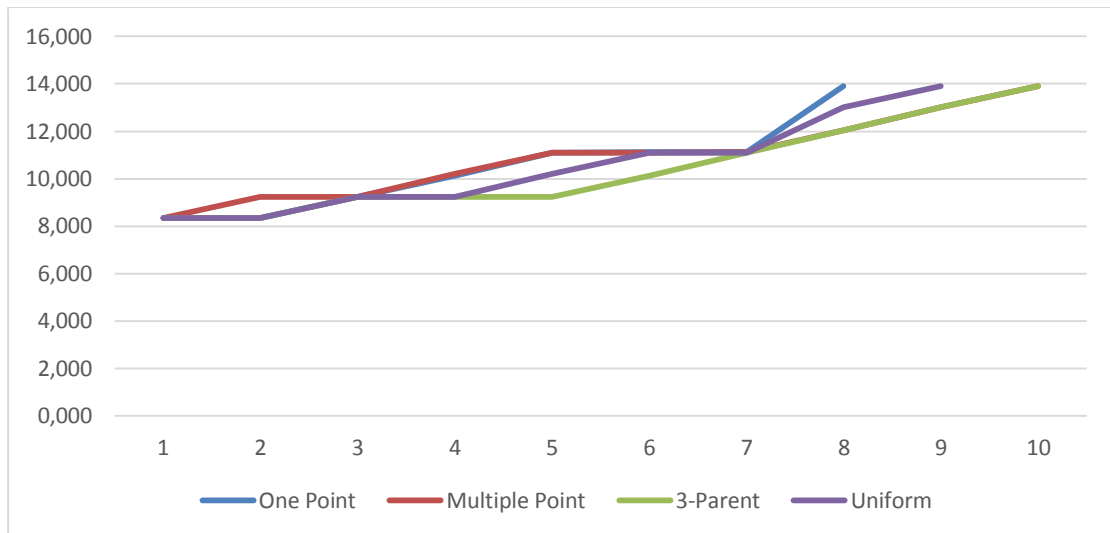
Number of Iteration = 1000, Genetic Memory Size = 10,

Crossover, Mutation & Migration Rate = 0.5.

Choice rule: First Choice

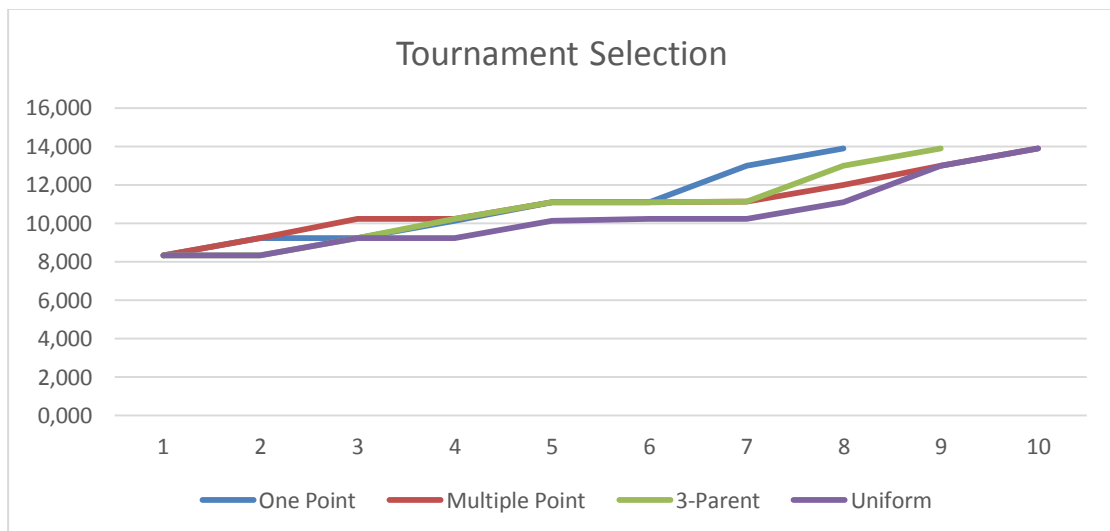
Κόστος για Roulette Wheel Selection ανάλογα με τη μέθοδο Crossover

One Point	Multiple Point	3-Parent	Uniform
	8,344	8,344	
	9,237	8,344	8,344
8,344	9,242	9,237	8,344
8,344	10,211	9,242	9,242
9,237	11,102	9,242	9,242
10,135	11,102	10,135	10,211
11,102	11,137	11,104	11,102
11,137	12,035	12,035	11,102
11,137	13,004	13,004	13,004
13,895	13,895	13,895	13,895



Κόστος για Tournament Selection ανάλογα με τη μέθοδο Crossover

One Point	Multiple Point	3-Parent	Uniform
8,344	8,344	8,344	8,344
9,242	9,237	8,344	8,344
9,242	10,211	9,237	9,237
10,135	10,211	10,211	9,242
11,102	11,102	11,102	10,135
11,102	11,104	11,104	10,211
13,004	11,137	11,137	10,211
13,895	11,995	13,004	11,102
	13,004	13,895	13,004
	13,895		13,895



Παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος έχει παρόμοια συμπεριφορά και στις 2 μεθόδους επιλογής. Το one point crossover παράγει πολλές παρόμοιες λύσεις με αποτέλεσμα, μετά τη διαγραφή των διπλότυπων διανυσμάτων η μνήμη να έχει λίγες υποψήφιες λύσεις για την επόμενη γενιά. Αντίθετα με το multipoint crossover, 3-parent crossover και Uniform έχουμε μεγαλύτερη ποικιλία υποψήφιων λύσεων και επομένως περισσότερες υποψήφιες λύσεις για την επόμενη γενιά.

Επιπλέον, δεδομένου του μικρού δείγματος, παρατηρούμε ότι όλες οι μέθοδοι βρίσκουν την ίδια βέλτιστη λύση.

Σύγκριση Roulette Wheel και Tournament Selection σε επίπεδο χρόνου

1^ο σενάριο:

Number of Firm's products: 1

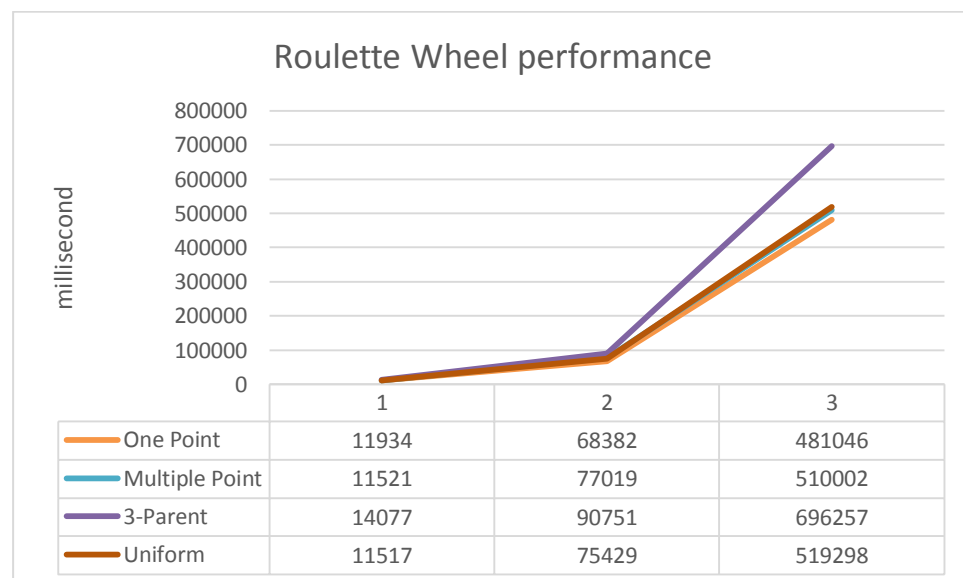
Number of Competitive products: 1

Number of Attributes = 4, Number of levels = (2, 3, 4, 5)

Number of Iteration = 10000 – 100000- 1000000, Genetic Memory Size = 10,

Crossover, Mutation & Migration Rate = 0.5.

Choice rule: Share of choices



Παρατηρούμε ότι όσο πολυπλοκότερη είναι η μέθοδος διασταύρωσης τόσο περισσότερο χρόνο απόκρισης έχει. Συνδυαστικά με τα προηγούμενα σενάρια η ποικιλία των υποψήφιων λύσεων οδηγεί σε αύξηση της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου.

Επίλογος

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι έχει αποδειχθεί ότι εξασφαλίζουν την εύρωστη ανίχνευση σε αρκετά πολύπλοκους χώρους. Αποτελούν μια έγκυρη προσέγγιση σε προβλήματα χρειάζονται αποτελεσματικές και ικανές ανιχνεύσεις με αποτέλεσμα να διευρύνεται η εφαρμογή τους από την επιστήμη μέχρι τις επιχειρήσεις και τη μηχανική. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην ανάπτυξη τους αλλά ταυτόχρονα πολύ ισχυροί στην έρευνα για τη βέλτιστη λύση. Οι ΓΑ δουλεύουν ταυτόχρονα με μια πλούσια βάση δεδομένων από σημεία (έναν πληθυσμό από σειρές), αναρριχόμενοι πολλές παράλληλες κορυφές. Έτσι, η πιθανότητα εύρεσης μιας λανθασμένης κορυφής μειώνεται σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Μετά από την αρχικοποίηση του πληθυσμού, δημιουργούνται επιτυχημένοι πληθυσμοί που χρησιμοποιούν τον ΓΑ και, μέσα από μία σωστά προσαρμοσμένη ποικιλία δεν περιορίζονται σε ένα σημείο. Πολλές τεχνικές αναζήτησης απαιτούν αρκετές βοηθητικές πληροφορίες, ώστε να δουλέψουν κατάλληλα. Σε σχέση με άλλες τεχνικές αναζήτησης, ο ΓΑ για να αποδώσει μια αποτελεσματική αναζήτηση απαιτεί μόνο τις τιμές τις αντικειμενικής συνάρτησης που παράγονται σε κάθε συμβολοσειρά. Το χαρακτηριστικό αυτό κάνει το ΕΑ μία πιο κανονικοποιημένη μέθοδο από πολλά άλλα σχήματα αναζήτησης. Εξάλλου, κάθε πρόβλημα αναζήτησης έχει ένα μετρικό συσχετισμό ως προς την ανίχνευση.

Πάντως, διαφορετικά προβλήματα αναζήτησης έχουν πάρα πολύ διαφορετικές μορφές βοηθητικών πληροφοριών. Μόνον εάν αρνηθούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις βοηθητικές πληροφορίες, μπορούμε να ελπίζουμε ότι θα αναπτύξουμε τους, ευρέως βασισμένους, συνδυασμούς που επιθυμούμε. Από την άλλη μεριά, η άρνηση της χρήσης συγκεκριμένης γνώσης, όταν πράγματι αυτή υπάρχει, μπορεί να θέσει ένα φραγμό στην απόδοση ενός αλγόριθμου, όταν αυτός συναγωνίζεται με μεθόδους που είναι σχεδιασμένες για το πρόβλημα, αυτό.

Αναφορές

- [1] *Learn marketing. (n.d.). Product strategy. Retrieved March 20, 2016*
- [2] *Understanding Conjoint Analysis in 15 Minutes Joseph Curry (Originally published in Quirk's Marketing Research Review, Copyright 1996, Sawtooth Software).*
- [3] *An Evolutionary Algorithm Bases Method for the Product Line Design using Share of Choices Criterion, Alexouda Georgia, Department, 2002*
- [4] *Βέλτιστος σχεδιασμός γραμμής προϊόντων – Τσαφάρakis Στέλιος*
- [5] *Designing Optimal Products: Algorithms and Systems, Tsafarakis Stelios – Matsatsinis Nikolaos*
- [6] *Εξελικτικοί Αλγόριθμοι – Παναγιώτης Αδαμίδης, 1999*
- [7] *Χρήση εξελικτικών τεχνικών, υπολογιστικής ευφυΐας και μεθόδων υπολογιστικής ρευστομηχανικής στη βελτιστοποίηση - αντίστροφη σχεδίαση περυγώσεων στροβιλομηχανών, μέσω παράλληλης επεξεργασίας, Γιώτης, Αλέξιος Παναγιώτης, 2003*
- [8] *An Introduction to Genetic Algorithms - Mitchell Melanie, 1999*
- [9] *Εφαρμογή γενετικών αλγορίθμων και άλλων μεθόδων επιλογής χαρακτηριστικών για την υποστήριξη λήψης κλινικής απόφασης στη διάγνωση του καρκίνου του τραχήλου της μήτρας, Έλενα Τόπακα 2016*
- [10] *Βελτιστοποίηση Σχεδίασης Ευφυούς Κεραίας Με Τη Χρήση Γενετικών Αλγορίθμων, Γεωργία Ι. Βερυκάκη/ Χρυσούλα Α. Παπαγιάννη, 2003*