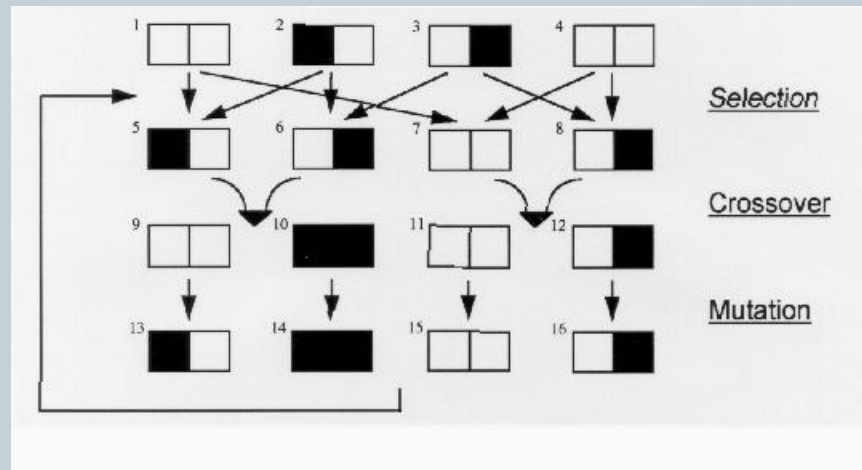


- **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΙΙ**
- **(ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ - ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ)**
- *Κεφάλαιο 4*



Γενετικοί Αλγόριθμοι

- Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ) είναι μέρος των εξελικτικών αλγορίθμων, οι οποίοι είναι μια ταχέως εξελισσόμενη περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης.
- Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι γενικής χρήσης αλγόριθμοι αναζήτησης που βασίζονται στις αρχές της εξέλιξης που παρατηρούνται στη φύση και γίνονται όλο και περισσότερο γνωστοί χάριν της ικανότητά τους να λύνουν δύσκολα προβλήματα.
- Οι ΓΑ υλοποιήθηκαν από τον Holland (1975) που παραδοσιακά χρησιμοποίησε τις περισσότερο κυρίαρχες αναπαραστάσεις, δηλαδή bit-strings. Όμως, πολλές πρόσφατες εφαρμογές των ΓΑ έχουν εστιάσει σε διαφορετικές αναπαραστάσεις, όπως γράφοι (Νευρωνικά Δίκτυα), Lisp-Expressions, διατεταγμένες λίστες και διανύσματα πραγματικών τιμών.

Γενετικοί Αλγόριθμοι

- Οι ΓΑ χαρακτηρίζονται από την απλότητα και την κομψότητά τους ως γεροί αλγόριθμοι αναζήτησης, καθώς επίσης και από τη δύναμή τους να ανακαλύψουν γρήγορα τις καλές λύσεις δύσκολων, μεγάλης διάστασης προβλημάτων. Οι ΓΑ είναι χρήσιμοι και αποδοτικοί αποδοτικοί όταν:

?

Γενετικοί Αλγόριθμοι

- Οι ΓΑ χαρακτηρίζονται από την απλότητα και την κομψότητά τους ως γεροί αλγόριθμοι αναζήτησης, καθώς επίσης και από τη δύναμή τους να ανακαλύψουν γρήγορα τις καλές λύσεις δύσκολων, μεγάλης διάστασης προβλημάτων. Οι ΓΑ είναι χρήσιμοι και αποδοτικοί όταν:
 - Το διάστημα αναζήτησης είναι μεγάλο, σύνθετο ή ανεπαρκώς κατανοητό.
 - Η γνώση περιοχών είναι λιγοστή ή η ειδική γνώση είναι δύσκολο να κωδικοποιηθεί ώστε, να περιοριστεί στο διάστημα αναζήτησης.
 - Καμία μαθηματική ανάλυση δεν είναι διαθέσιμη.
 - Οι παραδοσιακές μέθοδοι αναζήτησης αποτυγχάνουν.

Γενετικοί Αλγόριθμοι

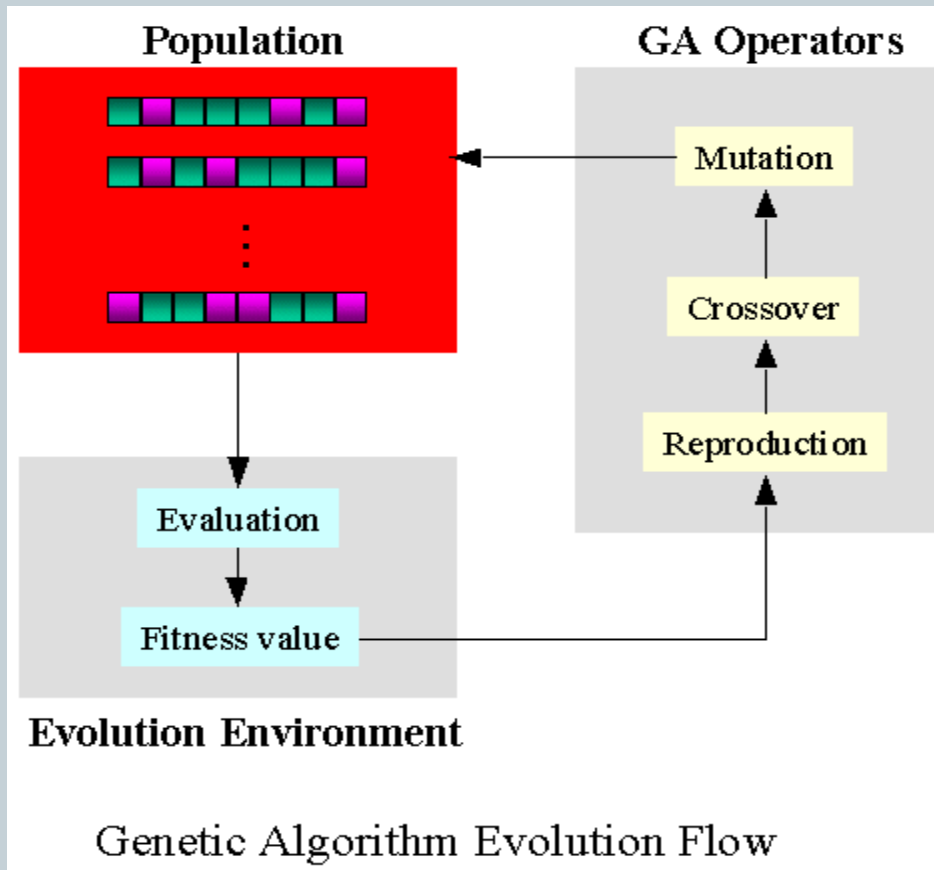
- Η λύση σε ένα πρόβλημα καλείται ?
- Ένα ? αποτελείται από μια συλλογή ? που είναι απλά οι παράμετροι που βελτιστοποιούνται.
- Ένας ΓΑ δημιουργεί έναν αρχικό πληθυσμό (μια συλλογή των ?), αξιολογεί αυτόν τον πληθυσμό, κατόπιν εξελίσσει τον πληθυσμό μέσω των πολλαπλών ? στην αναζήτηση μιας καλής λύσης για το πρόβλημα.

Γενετικοί Αλγόριθμοι

- Η λύση σε ένα πρόβλημα καλείται **χρωμόσωμα**.
- Ένα χρωμόσωμα αποτελείται από μια συλλογή γονιδίων που είναι απλά οι παράμετροι που βελτιστοποιούνται.
- Ένας ΓΑ δημιουργεί έναν αρχικό πληθυσμό (μια συλλογή των χρωμοσωμάτων), αξιολογεί αυτόν τον πληθυσμό, κατόπιν εξελίσσει τον πληθυσμό μέσω των πολλαπλών γενεών στην αναζήτηση μιας καλής λύσης για το πρόβλημα.

Κλασικός Γενετικός Αλγόριθμος

7



```
procedure GA; {  
    t = 0;  
    initialize population P(t);  
    evaluate P(t);  
    until (done) {  
        t = t + 1;  
        parent_selection P(t);  
        recombine P(t);  
        mutate P(t);  
        evaluate P(t);  
        survive P(t);  
    }  
}
```

Κλασσικός Γενετικός Αλγόριθμος

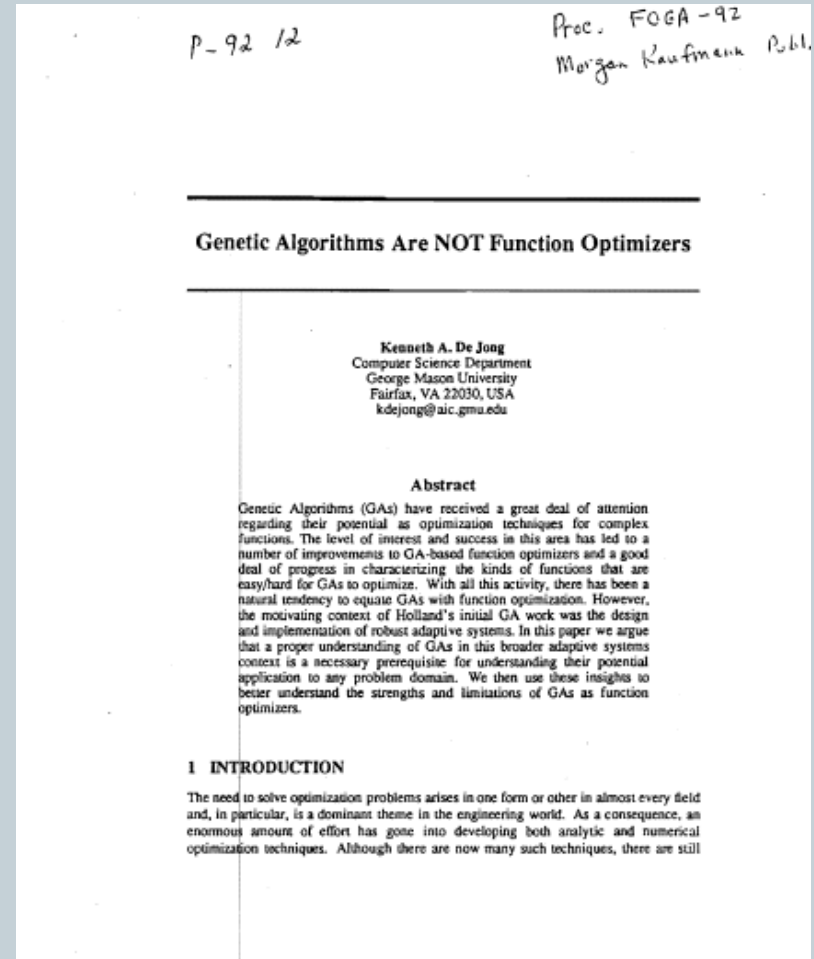
- Μετά την αρχικοποίηση εκλέγονται οι γονείς σύμφωνα με μια πιθανοθεωρητική συνάρτηση βασισμένη στην σχετική καταλληλότητα των οντοτήτων του πληθυσμού.
- Τα παιδιά δημιουργούνται από γονείς μέσω της διαδικασίας της διασταύρωσης, θα υποστούν μετάλλαξη και θα επιβιώσουν, αντικαθιστώντας τους γονείς στον πληθυσμό.
- Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με τον ΕΠ, οι ΓΑ δίνουν ιδιαίτερη σημασία στις διαδικασίες διασταύρωσης και μετάλλαξης.
- Σύμφωνα με τον τελεστή μετάλλαξης αναστρέφονται κάποια bits με μια πολύ μικρή πιθανότητα και συχνά θεωρείται σαν ένας τελεστής που δρα παρασκηνιακά.

Γενετικός Αλγόριθμος

9

Οι ΓΑ συχνά χρησιμοποιούνται σαν βελτιστοποιητές, παρ' όλο που κάποιοι ερευνητές δίνουν έμφαση στις **γενικές προσαρμοστικές δυνατότητες τους** (De Jong, 1992).

Οι ΓΑ μπορούν να εφαρμοστούν σε μια ευρεία ποικιλία προβλημάτων βελτιστοποίησης, όπως ο σχεδιασμός, τα παιχνίδια υπολογιστών, το χρηματιστήριο, η ιατρική διάγνωση, προσαρμοστικός έλεγχος, η μεταφορά, το Πρόβλημα Διακίνησης Πωλητών, κ.λπ.

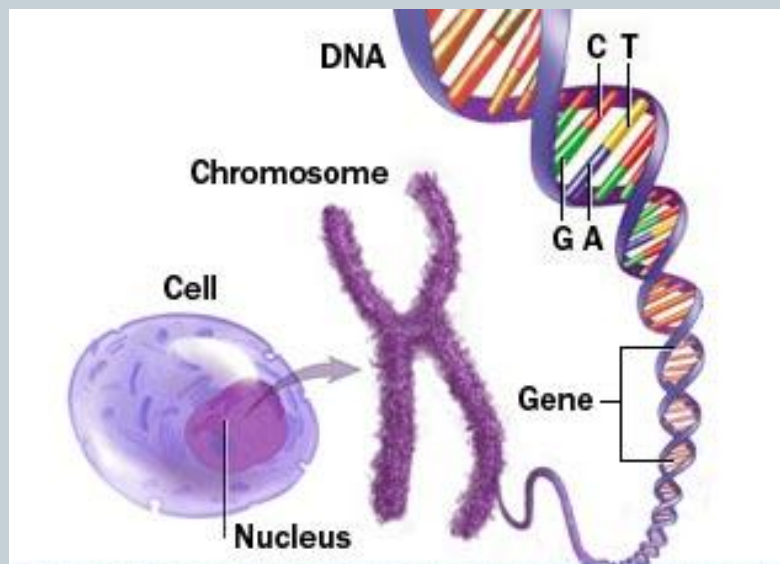


Βιολογικό Υπόβαθρο

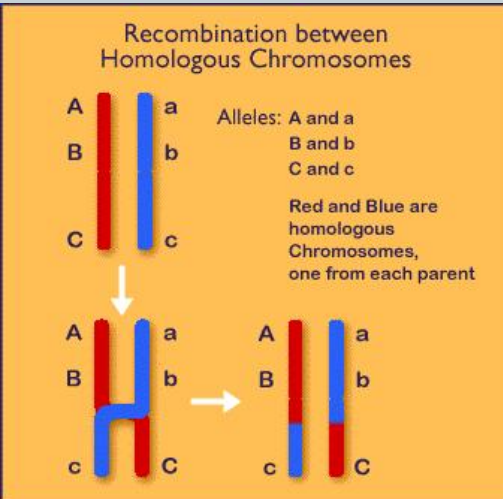
10

Κάθε ζωντανός οργανισμός αποτελείται από κύτταρα.

- Σε κάθε κύτταρο υπάρχει ο ίδιος αριθμός από **χρωμοσώματα**.
- Τα χρωμοσώματα είναι strings του DNA και χρησιμεύουν σαν ένα μοντέλο ολόκληρου του οργανισμού.
- Ένα χρωμόσωμα αποτελείται από **γονίδια**, τμήματα του DNA, που το καθένα έχει τη δική του θέση και κωδικοποιεί ένα κληρονομικό χαρακτηριστικό, για παράδειγμα το χρώμα των ματιών.

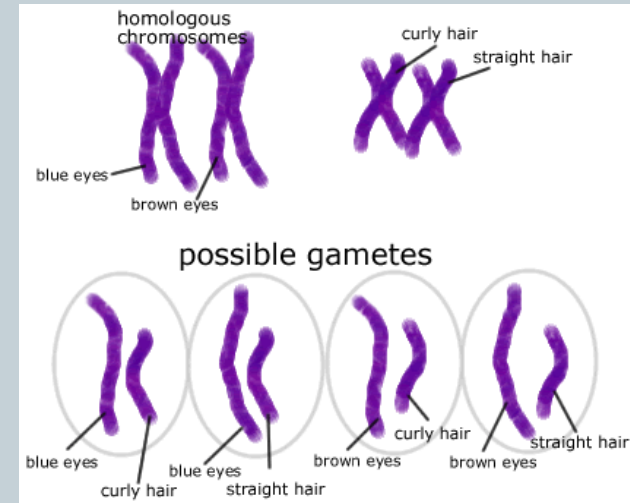


Βιολογικό Υπόβαθρο

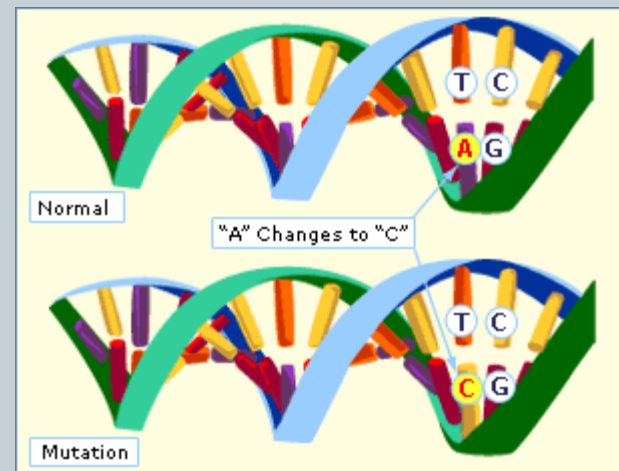


Κατά την αναπαραγωγή πρώτα πραγματοποιείται η **Διασταύρωση (Crossover)** των γονιδίων.

Γονίδια των γονέων σχηματίζουν με τον ίδιο τρόπο το νέο χρωμόσωμα.



Νέοι απόγονοι μπορεί να έχουν υποστεί **Μετάλλαξη (Mutation)**, κατά την οποία κάποιο στοιχείο του DNA έχει αλλάξει κατά ένα bit που οφείλεται σε λάθος αντιγραφή των γονιδίων από τους γονείς.



Βιολογικό Υπόβαθρο

- Στην πραγματικότητα, δεν είναι πολύ γνωστοί οι ακριβείς μηχανισμοί για την φυσική αναπαραγωγή, αλλά κάποιες όψεις τους.
- Οι παρακάτω ιδιότητες ωστόσο, είναι κοινά αποδεκτές:
 - Η **Εξέλιξη** είναι μια διαδικασία η οποία λειτουργεί πάνω σε χρωμοσώματα αντί στους ίδιους τους ζωντανούς οργανισμούς που αναπαριστούν.
 - Η **Φυσική Επιλογή** είναι μια σχέση μεταξύ των χρωμοσωμάτων και της αναπαραστάσης των κωδικοποιημένων χαρακτηριστικών τους.
 - Η διαδικασία της φυσικής Επιλογής εξασφαλίζει τα χρωμοσώματα τα οποία αναπαριστούν μια καλή σύνθεση, να αναπαράγονται πιο συχνά από κάποια άλλα.

Βιολογικό Υπόβαθρο

- Η Εξέλιξη εμφανίζεται κατά την αναπαραγωγή.
- Η **Μετάλλαξη**, ίσως και να είναι ο λόγος που τα χρωμοσώματα των παιδιών μερικές φορές διαφέρουν από αυτά των γονέων τους σε κάποια μέρη.
- Τα χρωμοσώματα των γονέων, συνδυάζονται με συγκεκριμένο τρόπο για να δημιουργήσουν τα νέα, διαφορετικά χρωμοσώματα των παιδιών τους.
- Η βιολογική εξέλιξη δεν έχει μνήμη.
- Ότι είναι γνωστό για τις οντότητες και τον τρόπο που δρουν μέσα στο περιβάλλον τους, είναι αποθηκευμένα σε ένα σύνολο χρωμοσωμάτων τους και στον τρόπο που τα χρωμοσώματα αυτά είναι κωδικοποιημένα.

Γενετικός Αλγόριθμος

- Οι ιδιότητες αυτές είναι ο λόγος που ο John Holland άρχισε να μελετά τους υπολογιστικούς αλγόριθμους, βασισμένος σε αυτή την αρχή.
- Έγραψε αλγόριθμους που μπορούσαν να αναπαράγουν χρωμοσώματα, αναπαριστάμενα με δυαδικά bit strings από «1» και «0».
- Εμπνευσμένα από την φύση.
- Αυτά τα strings διαχειρίζονταν επιδέξια με σκοπό να γίνουν ένα καλό χρωμόσωμα.
- Ωστόσο, δεν γνώριζε κανείς σχετικά με το πρόβλημα που θα μπορούσαν αυτά να λύσουν.

Μαθηματικός Μηχανισμός των ΓΑ

- Οι γενετικοί Αλγόριθμοι ασχολούνται και δρουν πολύ καλά στο πεδίο των προβλημάτων βελτιστοποίησης, καθώς εκτείνονται και σε άλλου είδους προβλήματα.
- Γενικά, βασίζονται στη μέθοδο του **τυχαίου ψαξίματος** με τη μόνη διαφορά ότι το χάσιμο χρόνου μέχρι να βρεθεί η λύση μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας *μεθόδους βασισμένες στην βιολογία*:
 - ❖ Οι μέθοδοι αυτές, αποκαλύφθηκαν κατά την εξέταση της εξέλιξης και της καταγωγής των ειδών.
 - ❖ Όπως είναι γνωστό, μόνο τα πιο κατάλληλα άτομα επιζούν κατά την διαδικασία της αναπαραγωγής.
 - ❖ Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται και το fitness του πληθυσμού, το οποίο του επιτρέπει να επιβιώνει σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον.
- Ο χώρος των εφικτών λύσεων καλείται **Χώρος Αναζήτησης (ή Χώρος Καταστάσεων)**.
- Κάθε σημείο του παριστάνει μια εφικτή λύση, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί από μια τιμή ή την τιμή της στη fitness συνάρτηση του προβλήματος.

Γενετικός Αλγόριθμος

- Καθώς συγκρίνεται ένας ΓΑ με άλλους παραδοσιακούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης παρατηρούνται οι εξής διαφορές: ?

Γενετικός Αλγόριθμος

- Καθώς συγκρίνεται ένας ΓΑ με άλλους παραδοσιακούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης παρατηρούνται οι εξής διαφορές:
 - Οι ΓΑ δουλεύουν με κωδικοποιημένες τις παραμέτρους
 - Δεν ψάχνουν σε ένα μόνο σημείο, αλλά από ένα πλήθος σημείων
 - Χρησιμοποιούν πληροφορίες που οι ίδιοι παράγουν αντί να είναι εξωτερικά παραγόμενες ή βοηθητικές γνώσεις
 - Είναι γνωστό ότι πολλά προβλήματα μπορούν να θεωρηθούν ως προβλήματα βελτιστοποίησης.

Γενετικός Αλγόριθμος

- Έστω ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου πρέπει να βελτιστοποιηθεί ένα σύνολο μεταβλητών ή να μεγιστοποιηθεί ένας στόχος σαν το όφελος ή αλλιώς να ελαχιστοποιηθεί το κόστος ή κάποιο μέτρο λάθους.
- Γενικά, τα προβλήματα βελτιστοποίησης μπορούν να διατυπωθούν σαν μαθηματικά μοντέλα με πολλές ανεξάρτητες παραμέτρους που καταλήγουν σε μια συνάρτηση, την **(fitness) συνάρτηση καταλληλότητας**.
- Η συνάρτηση αυτή περιγράφει την “ποιότητα” του μοντέλου (ή των ατόμων) για το συγκεκριμένο σύνολο των παραμέτρων.
- Στη fitness συνάρτηση μπορούν να συμπεριληφθούν και να συναγωνίζονται όλων των ειδών οι απαιτήσεις.

Η υπεροχή και τα μειονεκτήματα των Γενετικών Αλγορίθμων



Η υπεροχή και τα μειονεκτήματα των γενετικών αλγορίθμων

- Οι ΓΑ έχουν χρησιμοποιηθεί για δύσκολα προβλήματα (όπως τα NP προβλήματα) για μάθηση μηχανής (machine learning) και για την εξέλιξη απλών προγραμμάτων.
- Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί και στην τέχνη, για την εξέλιξη εικόνων και μουσικής.
- Πλεονέκτημα των ΓΑ είναι ότι δρουν παράλληλα.
- Οι ΓΑ κινούνται μέσα στο χώρο καταστάσεων με περισσότερα άτομα, ώστε είναι λιγότερο πιθανό να κολλήσει σε κάποιο τοπικό ακρότατο, σαν κάποιες άλλες μεθόδους.

Η υπεροχή και τα μειονεκτήματα των γενετικών αλγορίθμων

- Είναι επίσης, εύκολα υλοποιήσιμοι.
- Αν υπάρχει ένας ΓΑ, τότε αυτός μπορεί να επιλύσει και κάποιο άλλο πρόβλημα, κάνοντας χρήση της ίδιας αναπαράστασης και μεταβάλλοντας τη fitness συνάρτηση.
- Ένα μειονέκτημα των ΓΑ είναι ο υπολογιστικός χρόνος τους. Μπορεί να είναι πιο αργοί από άλλες μεθόδους. Ωστόσο, με τις υπολογιστικές δυνατότητες των σημερινών Η/Υ το πρόβλημα σιγά σιγά δεν είναι τόσο αισθητό.

Περιγραφή του Γενετικού Αλγόριθμου

- Ο Γενετικός Αλγόριθμος ξεκινά με ένα σύνολο λύσεων (τις λύσεις αναπαριστούν τα χρωμοσώματα) που καλείται **πληθυσμός**.
- Κάποια χρωμοσώματα από τον πρώτο πληθυσμό λαμβάνονται για να παράγουν τον επόμενο πληθυσμό, με την ελπίδα να είναι καλύτερός του.
- Συνήθως, το μέγεθος του πληθυσμού παραμένει **σταθερό** για ευκολία.
- Οι λύσεις – χρωμοσώματα που επιλέγονται να σχηματίσουν τις νέες λύσεις (**απογόνους**), επιλέγονται σύμφωνα με το **fitness** τους – όσο πιο κατάλληλα είναι, τόσο μεγαλύτερη ελπίδα έχουν να αναπαραχθούν.
- Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου κάποια **συνθήκη** ικανοποιηθεί (όπως για παράδειγμα ένας αριθμός πληθυσμών ή η βελτιστοποίηση της καλύτερης λύσης).

Σχεδιάγραμμα του Γενετικού Αλγόριθμου

- **[Αρχή]** Δημιουργία τυχαίου πληθυσμού από n χρωμοσώματα (κατάλληλες λύσεις του προβλήματος)
- **[Fitness]** Αποτίμηση της fitness συνάρτησης κάθε χρωμοσώματος του πληθυσμού.
- **[Νέος Πληθυσμός]** Δημιουργία ενός νέου πληθυσμού μέχρι να συμπληρωθεί, με επανάληψη των παρακάτω βημάτων:
- **[Επιλογή]** Επιλέγονται δύο γονείς χρωμοσωμάτων από τον πληθυσμό σύμφωνα με το fitness τους (όσο καλύτερο fitness, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα επιλογής του)
- **[Διασταύρωση]** Σύμφωνα με την *πιθανότητα διασταύρωσης*, διασταυρώνονται οι γονείς για να σχηματίσουν απόγονους. Αν δεν εφαρμοστεί η διασταύρωση οι απόγονοι είναι μια πιστή αντιγραφή των γονέων τους
- **[Μετάλλαξη]** Σύμφωνα με την *πιθανότητα μετάλλαξης*, μεταλλάσσεται κάποια θέση του χρωμοσώματος κάποιου απογόνου
- **[Αντικατάσταση]** Χρησιμοποιείται ο νέος πληθυσμός στη συνέχεια του αλγόριθμου
- **[Δοκιμή]** Αν ικανοποιείται η τελική συνθήκη, **[σταμάτα]**, και επέστρεψε την καλύτερη λύση του τρέχοντος πληθυσμού
- **[Επανάλαβε]** Πήγαινε στο βήμα **2**

Σχεδιάγραμμα του Γενετικού Αλγόριθμου

- Το σχεδιάγραμμα του ΓΑ είναι πολύ γενικό.
- Υπάρχουν πολλά σημεία τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με το πρόβλημα που επιλύεται.
- Κατά την δημιουργία του νέου πληθυσμού εφαρμόζονται τρεις **Τελεστές (Operators)**: η **Επιλογή (Selection)**, η **Διασταύρωση (Crossover)** και η **Μετάλλαξη (Mutation)**, οι οποίοι εφαρμόζονται με διάφορες μορφές και μεθόδους, όπως θα παρουσιαστούν αργότερα.
- Όπως φαίνεται και από το σχεδιάγραμμα η Διασταύρωση και η Μετάλλαξη είναι τα πιο σημαντικά μέρη ενός ΓΑ, αφού έχει πραγματοποιηθεί η Επιλογή.
- Πριν αρχίσει η αναλυτική παρουσίαση των τελεστών του ΓΑ δίνονται πληροφορίες σχετικά με την κωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων.

Αναπαράσταση του Χρωμοσώματος

25

- Το πρώτο θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, όταν γίνεται χρήση ΓΑ για την επίλυση κάποιου προβλήματος, είναι να **κωδικοποιηθούν οι ανεξάρτητες παράμετροι** μέσα στο χρωμόσωμα.
- Το χρωμόσωμα έπειτα, θα έχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το ιδιαίτερο άτομο που εκπροσωπεί, δηλαδή θα αποτελείται από πληροφορίες σχετικές με τη λύση που αναπαριστά.

Αναπαράσταση Χρωμοσώματος

- Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να κωδικοποιηθούν οι παράμετροι σε ένα χρωμόσωμα.
- Αν και η **Δυαδική Αναπαράσταση** είναι ευρέως διαδεδομένη, χρησιμοποιούνται και άλλων ειδών δυαδικές αναπαραστάσεις, όπως η κωδικοποίηση **Gray** με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των αλγορίθμων.

Αναπαράσταση Χρωμοσώματος

- Φυσικά, υπάρχουν και άλλων ειδών αναπαραστάσεις όπως
 - **Η Αναπαράσταση Αριθμών Κινητής Υποδιαστολής,**
 - **Η Αναπαράσταση σε Διανύσματα Πραγματικών Αριθμών και η**
 - **Δενδρική Αναπαράσταση,**καθεμία από τις οποίες χρησιμοποιείται σε αντίστοιχα προβλήματα, όπου η δυαδική αναπαράσταση δεν επαρκεί για την πλήρη και αποτελεσματική περιγραφή των ατόμων.
- Βέβαια, υπάρχουν πάρα πολλές ακόμα, οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από το πρόβλημα που επιλύεται.

Δυαδική Αναπαράσταση

Όταν εφαρμόζεται η δυαδική αναπαράσταση, χρησιμοποιούνται **N bits** για κάθε παράμετρο, όπου το N μπορεί να διαφοροποιείται για κάθε μια παράμετρο.

Αν μια παράμετρος κυμαίνεται μεταξύ μιας μέγιστης τιμής MAX και μιας ελάχιστης MIN τότε, ο τύπος που καθορίζει το μήκος της είναι:

$$r = (MAX - MIN)(2^N - 1)$$

Δυαδική Αναπαράσταση

Μία συμβολοσειρά με l δυαδικά ψηφία καταλαμβάνει χώρο ίσο με $B^l = \{0, 1\}^l$.

Κάθε μεταβλητή κωδικοποιείται σε μία δυαδική συμβολοσειρά i συγκεκριμένου μήκους l_i , το οποίο καθορίζεται από το χρήστη.

Έπειτα, σχηματίζεται ολόκληρη η μήκους l συμβολοσειρά με συνένωση όλων των l υπό-συμβολοσειρών.

Δυαδική Αναπαράσταση

- Έτσι, η συμβολοσειρά (άτομο) που θα χρησιμοποιηθεί από το ΓΑ έχει την εξής μορφή:

$$l = \sum_{i=1}^n l_i$$

όπου n είναι ο αριθμός των άγνωστων μεταβλητών.

Μία δυαδική συμβολοσειρά με μήκος l_i κωδικοποιεί 2^{l_i} σημεία αναζήτησης.

Δυαδική Αναπαράσταση

31

Το μήκος της συμβολοσειράς που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση μιας συγκεκριμένης μεταβλητής εξαρτάται από την επιθυμητή ακρίβεια για τη συγκεκριμένη μεταβλητή.

Μία μεταβλητή που απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια πρέπει να κωδικοποιηθεί με μία μεγαλύτερη συμβολοσειρά και αντίστοιχα.

Μία τυπική κωδικοποίηση ενός διανύσματος n μεταβλητών σε μία δυαδική συμβολοσειρά είναι η εξής: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

Δυαδική Αναπαράσταση

32

$$\underbrace{100\dots1}_{l_1}^{x_1} \quad \underbrace{010\dots0}_{l_2}^{x_2} \quad \dots \quad \underbrace{110\dots0}_{l_n}^{x_n}$$

Η μεταβλητή x_i έχει μήκος συμβολοσειράς l_i και ούτω καθεξής.

Αυτός ο τρόπος κωδικοποίησης των άγνωστων μεταβλητών σε μία δυαδική συμβολοσειρά επιτρέπει στους ΓΑ να βρίσκουν εφαρμογή σε μία πληθώρα προβλημάτων

Δυαδική Αναπαράσταση

- Οι ΓΑ λειτουργούν με τις ίδιες τις συμβολοσειρές και όχι με τις αριθμητικές τιμές τις οποίες αναπαριστούν αυτές.
- Ο πραγματικός αριθμός των μεταβλητών καθώς και το εύρος των πεδίων ορισμού των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στο πρόβλημα καλύπτονται από τη δυαδική κωδικοποίηση.
- Αυτό επιτρέπει στον ίδιο κώδικα υλοποίησης ενός ΓΑ να εφαρμόζεται σε διαφορετικά προβλήματα χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές.

Δυαδική Αναπαράσταση

- Έστω ένα πρόβλημα με 3 μεταβλητές, των οποίων τα μήκη αποφασίζεται να είναι τα εξής:

x_i	l_i	Κωδ/ση
x_1	5	11011
x_2	7	0010011
x_3	4	0110

- Έτσι έχουμε:

$$\underbrace{11011}_{l_1} \quad \underbrace{00100011}_{l_2} \quad \underbrace{0110}_{l_3}$$

Το χρωμόσωμα θα έχει την μορφή:
Χρωμόσωμα: **1101100100110110**

Δυαδική Αναπαράσταση

- Η κωδικοποίηση των μεταβλητών σε δυαδικές συμβολοσειρές μετατρέπει το χώρο αναζήτησης από συνεχή σε διακριτό για την αναζήτηση του ΓΑ.
- Γι' αυτό, οι ΓΑ όταν προσπαθούν να επιλύσουν ένα πρόβλημα με συνεχή χώρο αναζήτησης, τον μετατρέπουν πρώτα σε διακριτό.
- Αν και οι βέλτιστες λύσεις του αρχικού συνεχή χώρου αναζήτησης και του καινούριου δημιουργημένου διακριτού είναι συχνά αρκετά διαφορετικές (με σημαντικές διαφορές στα μήκη των δυαδικών συμβολοσειρών), οι λύσεις που προκύπτουν είναι αποδεκτές για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα έρευνας και βελτιστοποίησης.
- Επιπλέον, αφού οι ΓΑ λειτουργούν σε ένα διακριτό χώρο αναζήτησης, μπορούν με αποτελεσματικότητα να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων διακριτού προγραμματισμού, τα οποία είναι συνήθως δύσκολο να επιλυθούν με χρήση των παραδοσιακών μεθόδων επίλυσης.

Δυαδική Αναπαράσταση

- Η κωδικοποίηση των μεταβλητών του προβλήματος σε δυαδικές συμβολοσειρές επιτρέπει στους ΓΑ να εκμεταλλεύονται τις **ομοιότητες** ανάμεσα στις διάφορες συμβολοσειρές ενός πληθυσμού για να καθοδηγήσουν τη διαδικασία αναζήτησης.
- Οι ομοιότητες στις θέσεις των συμβολοσειρών αναπαριστώνται από τριαδικές συμβολοσειρές (συμβολοσειρές που περιέχουν τα σύμβολα 0, 1 και *, όπου το * σημαίνει είτε 0 είτε 1), οι οποίες είναι γνωστές ως **σχήματα**.
- Η δύναμη αναζήτησης των ΓΑ θεωρείται ότι βρίσκεται στην ικανότητα παράλληλης επεξεργασίας των σχημάτων.

Αναπαράσταση σε Διανύσματα Πραγματικών Τιμών

- Όταν ένας ΕΑ κληθεί να βελτιστοποιήσει μια συνάρτηση πραγματικών μεταβλητών με την παρακάτω μορφή:
- Βρες την τιμή του διανύσματος χ , έτσι ώστε η συνάρτηση $F(\mathbf{x}):\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ να ελαχιστοποιηθεί (ή να μεγιστοποιηθεί).
- Χρησιμοποιεί κυρίως την αναπαράσταση σε Διανύσματα Πραγματικών Αριθμών.
- Πράγματι, οι ΕΣ των Bäck και Schwefel (1993) και οι τεχνικές του ΕΠ των Fogel (1995) επεξεργάζονται άμεσα το διάνυσμα πραγματικών τιμών (με τα στοιχεία του να αποτελούν τις άγνωστες παραμέτρους).

Συνδυαστική Αναπαράσταση

- Σε πολλά προβλήματα αναζήτησης και βελτιστοποίησης, το διάνυσμα αναπαράστασης λύσης μπορεί να περιέχει **μεταβλητές διαφορετικών τύπων**.
- Για παράδειγμα, σε ένα mixed-integer programming πρόβλημα (το οποίο αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο σύνολο από προβλήματα μηχανικής και λήψης αποφάσεων), κάποιες από τις άγνωστες μεταβλητές μπορεί να είναι *πραγματικοί αριθμοί*, ενώ κάποιες άλλες μπορεί να είναι *ακέραιες μεταβλητές*.

Συνδυαστική Αναπαράσταση

- Παράδειγμα: Στο πρόγραμμα σχεδίασης μίας μηχανικής ταχύτητας (γρανάζι) έχουμε δύο σημαντικές μεταβλητές σχεδιασμού: τον αριθμό των δοντιών και το πάχος του.
- Η πρώτη μεταβλητή είναι μία ακέραιη μεταβλητή, ενώ η δεύτερη είναι μία μεταβλητή που παίρνει πραγματικές τιμές.
- Εάν η ακέραιη μεταβλητή κωδικοποιηθεί με πέντε δυαδικά ψηφία και η πραγματική μεταβλητή κωδικοποιηθεί με πραγματικούς αριθμούς, μία τυπική αναπαράσταση του παραπάνω προβλήματος θα μπορούσε να είναι η (10011, 23.5), αντιπροσωπεύοντας δεκαεννέα δόντια και πάχος ίσο με 23.5 mm.

Συνδυαστική Αναπαράσταση

- Σε αυτά τα προβλήματα, ένα διάνυσμα αναπαράστασης λύσης δημιουργείται από την ένωση υπό-συμβολοσειρών ή αριθμητικών τιμών που αναπαριστούν ή καθορίζουν κάθε τύπο μεταβλητής.
- Στην παραπάνω μικτή αναπαράσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας δυαδικός τελεστής διασταύρωσης για την ακέραιη μεταβλητή, που αναπαριστάται από δυαδική συμβολοσειρά, και ένας τελεστής διασταύρωσης πραγματικών τιμών για τη συνεχή μεταβλητή.
- Ο τελεστής διασταύρωσης που εφαρμόζεται σε αυτές τις μικτές αναπαραστάσεις αποτελεί μία **συλλογή από διαφορετικούς τελεστές διασταύρωσης**, καθένας από τους οποίους είναι κατάλληλος για κάθε διαφορετικό τύπο άγνωστων μεταβλητών.
- Παρόμοια **μικτά σχήματα τελεστών μετάλλαξης** χρησιμοποιούνται για τον τελεστή μετάλλαξης που θα εφαρμοστεί σε αυτή την μικτή αναπαράσταση.