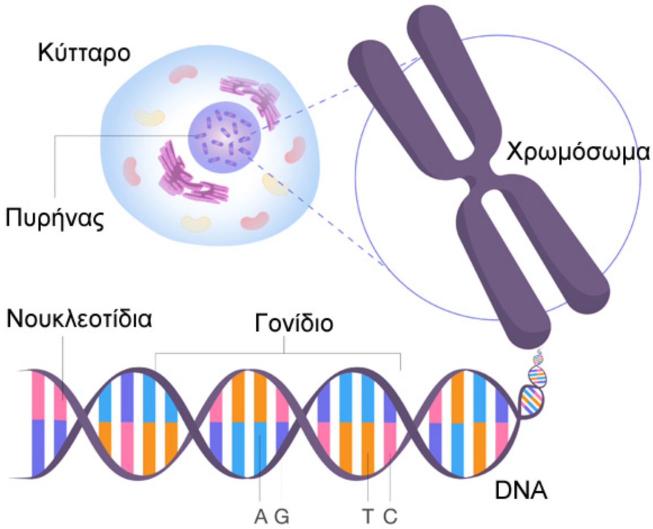
- μηχανισμός επιλογής γονέων,
- τελεστής αναπαραγωγής (ή ζευγαρώματος) (mating operator),
- τελεστής μετάλλαξης (mutation operator),
- ορισμός του πληθυσμού της επόμενης γενιάς, και
- συνθήκες τερματισμού του αλγορίθμου.

Τα παραπάνω αναπτύσσονται στις επόμενες υποενότητες.

7.3.1 Κωδικοποίηση Υποψήφιων Λύσεων

Η κωδικοποίηση των υποψήφιων λύσεων, ακολουθεί σε δομή την κωδικοποίηση της πληροφορίας στην φύση. Στους βιολογικούς οργανισμούς, ένα χρωμόσωμα είναι ένα μεγάλο μόριο (ακολουθία) DNA και περιέχει έναν αριθμό γονιδίων (Σχήμα 7.3). Στο πραγματικό DNA το αλφάβητο αποτελείται από τα γράμματα A, G, T και C που αντιστοιχούν στα τέσσερα διαφορετικά νουκλεοτίδια (βάσεις) που το συνθέτουν (Adenine, Guanine, Thymine και Cytosine). Ένας οργανισμός μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα χρωμοσώματα ενώ σε κάποιους οργανισμούς κάθε κύτταρο περιέχει δύο αντίγραφα για κάθε χρωμόσωμα. Για παράδειγμα, ο άνθρωπος έχει 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων.



Σχήμα 7.3: Αναπαράσταση χρωμοσώματος και γονιδίου.

Στην κλασική προσέγγιση των γενετικών αλγορίθμων, κάθε υποψήφια λύση αναπαρίσταται με μία *συμβολοσειρά* (*string*) ενός πεπερασμένου αλφάβητου, άρα έχουμε ένα μόνο χρωμόσωμα. Δεδομένου όμως ότι μια λύση σε κάποιο πρόβλημα μπορεί να ορίζεται με περισσότερες από μία παραμέτρους (π.χ. ένα σημείο στο επίπεδο προσδιορίζεται με δύο συντεταγμένες) η συμβολοσειρά που κωδικοποιεί τη λύση σε έναν γενετικό αλγόριθμο θα περιέχει μέσα της επιμέρους τμήματα που θα κωδικοποιούν αυτές τις παραμέτρους. Κατ' αναλογία με τη βιολογία (Σχήμα 7.4), η συμβολοσειρά αυτή συνήθως αναφέρεται και σαν *χρωμόσωμα* (*chromosome*) ενώ τα επιμέρους τμήματά της που κωδικοποιούν κάποιο χαρακτηριστικό, δηλαδή κάποια μεταβλητή, ονομάζονται *γονίδια* (*gene*).

Στη γενετική, το σύνολο των παραμέτρων που αναπαρίστανται από ένα συγκεκριμένο γονίδιο ή έναν αριθμό γονιδίων (ενδεχομένως και όλων) αναφέρεται σαν *γονότυπος* (*genotype*). Ένα γονίδιο μπορεί να κωδικοποιεί κάποιο χαρακτηριστικό του οργανισμού όπως το χρώμα των ματιών και στο σύνολό τους προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά του ή όπως λέμε τον *φαινότυπο* (*phenotype*).

Γονότυπος

παράμετρος 1	παράμετρος 2	...	παράμετρος n
↓	↓	↓	↓
γονίδιο 1	γονίδιο 2	...	γονίδιο n

Φαινότυπος

1 2 3 4 5	α β γ δ ε	...	0 1 1 0 0 1 0 1

Σχήμα 7.4: Κωδικοποίηση λύσης σε γενετικό αλγόριθμο.

Στο γενετικό αλγόριθμο κάθε γονίδιο αναπαριστά μία παράμετρο του προβλήματος η οποία παίρνει τιμές από κάποιο πεδίο ορισμού (συνεχείς ή διακριτές αριθμητικές τιμές, σύμβολα, κτλ). Το σύνολο των γονιδίων ορίζουν το *γονότυπο* και καθορίζουν τη δομή του χρωμοσώματος. Ο τρόπος κωδικοποίησης αυτών των παραμέτρων ώστε να ενταχθούν λειτουργικά στον γενετικό αλγόριθμο ονομάζεται *φαινότυπος* και επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των λύσεων και την απόδοση του αλγορίθμου.

Δυαδική κωδικοποίηση

Στη δυαδική κωδικοποίηση χρησιμοποιείται το δυαδικό αλφάβητο, οπότε οι συμβολοσειρές ονομάζονται και *δυαδικές συμβολοσειρές* (*bit-strings*). Στα περισσότερα προβλήματα οι λύσεις περιγράφονται με μεταβλητές διαφόρων τύπων δεδομένων, επομένως η διαδικασία της δυαδικής κωδικοποίησης περιλαμβάνει τη μετατροπή των τιμών αυτών των μεταβλητών στις αντίστοιχες δυαδικές.

Γονότυπος

x	y

Φαινότυπος

1	0	1	0	0	1	0	0	1

Σχήμα 7.5: Δυαδική κωδικοποίηση μιας Boolean μεταβλητής x (1 bit)
και ενός ακεραίου y (8 bit).

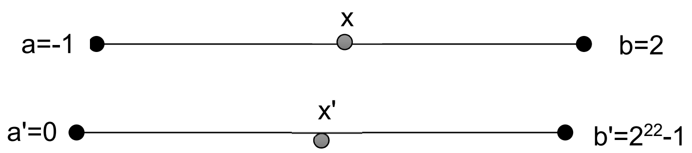
Για παράδειγμα (Σχήμα 7.5), αν μια λύση περιγράφεται από 2 μεταβλητές, μία λογική μεταβλητή (Boolean) x με τιμή 1 και έναν ακέραιο y με εύρος τιμών 0 ως 255 και τιμή 73 (01001001_{bin}), η κωδικοποίηση θα απαιτούσε 1+8 bits συνολικά και το παραγόμενο bit-string θα ήταν το 101001001. Επομένως, το χρωμόσωμα 101001001 θα περιέχει 2 γονίδια, ένα μήκους ενός bit στην αρχή και ένα μήκους 8 bit στη συνέχεια.

Δυαδική κωδικοποίηση πραγματικών αριθμών

Όταν μία παράμετρος παίρνει συνεχείς (πραγματικές) τιμές σε κάποιο αυθαίρετο διάστημα τιμών (και όχι ακέραιες τιμές στο βολικό διάστημα 0 ως 255 του προηγούμενου παραδείγματος), μια πάντα διαθέσιμη επιλογή είναι η κωδικοποίηση πραγματικών αριθμών που παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα. Πολλές φορές όμως η δυαδική κωδικοποίηση προτιμάται καθώς έχει αποδειχθεί στην πράξη να είναι βολική προσέγγιση σε κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης με γενετικό αλγόριθμο. Επιπρόσθετα, οι διάφοροι τελεστές που χρησιμοποιούνται λειτουργούν γρηγορότερα με δυαδικές κωδικοποιήσεις, άρα βελτιώνεται συνολικά η απόδοση του γενετικού αλγόριθμου.

Έστω λοιπόν ότι κάποια παράμετρος x σε κάποιο πρόβλημα είναι ορισμένη στο διάστημα πραγματικών αριθμών [-1..2] και πρέπει να κωδικοποιηθεί με δυαδική προσέγγιση. Καταρχήν θα πρέπει να προσδιοριστεί η ακρίβεια της κωδικοποίησης, δηλαδή πόσα δεκαδικά ψηφία είναι επιθυμητά για το x. Έστω λοιπόν ότι απαιτείται ακρίβεια 6 δεκαδικών ψηφίων. Αυτό σημαίνει ότι στο διάστημα τριών μονάδων που είναι ορισμένη η παράμετρος x υπάρχουν $3{\cdot}10^6$ διαφορετικοί δεκαδικοί αριθμοί που πρέπει να κωδικοποιηθούν με δυαδικούς αριθμούς. Επειδή $2^{21}<3{\cdot}10^6<2^{22}$ προκύπτει ότι απαιτείται 22 bit κωδικοποίηση.

Σε δυαδικούς αριθμούς των 22 bit ο μικρότερος είναι ο 0000...0 (22 μηδενικά) και ο μεγαλύτερος ο 1111...1 (22 άσσοι) που αντιστοιχούν στους ακεραίους 0 και 2^{22}-1. Επομένως το διάστημα ακεραίων $[0..2^{22}$-1] που μπορεί να κωδικοποιηθεί δυαδικά με 22 bit θα πρέπει να αντιστοιχιστεί στο διάστημα [-1..2] των πραγματικών αριθμών με 6 δεκαδικά ψηφία, καθώς αυτό απαιτεί το πρόβλημα. Η αντιστοίχιση αυτή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας την αρχή των αναλογιών (εξίσωση 1 στο Σχήμα 7.6).



$$\frac{x-a}{b-x}=\frac{x\prime-a\prime}{b\prime-x\prime} \quad (1)$$

Σχήμα 7.6: Αντιστοίχιση μεταξύ δεκαδικών αριθμών στο διάστημα [-1, 2] και δυαδικών αριθμών 22bit, με την αρχή των αναλογιών.

Λύνοντας την (1) ως προς x και αντικαθιστώντας a'=0 και $b'=2^n$-1, προκύπτει ότι:

$$x = a + x' * \frac{b-a}{2^n-1} \quad (2)$$

Επομένως, το x είναι ο πραγματικός αριθμός στο διάστημα [a..b], στον οποίο ανάγεται ο ακέραιος x' που αντιστοιχεί στη δυαδική κωδικοποίηση των n bit.

Γενικότερα, το πλήθος των bit που απαιτούνται για κωδικοποίηση των πραγματικών αριθμών μεταξύ a και b με ακρίβεια k δεκαδικά ψηφία, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n = \left[log_2\left((b-a)\cdot 2\cdot 10^k\right)\right] \quad (3)$$

όπου οι εξωτερικές αγκύλες υποδηλώνουν το ακέραιο μέρος. Για παράδειγμα, για να κωδικοποιήσουμε δεκαδικούς ακρίβειας τριών δεκαδικών ψηφίων (k=3) μεταξύ a=0 και b=1000, απαιτούνται 20 bit, ενώ για ακρίβεια πέντε δεκαδικών ψηφίων, 27 bit.

Από την άλλη, η ακρίβεια που παρέχει η κωδικοποίηση n-bit για το διάστημα τιμών [a..b], μετρημένη σε πλήθος δεκαδικών ψηφίων, δίνεται από το πλήθος των μηδενικών ψηφίων αμέσως μετά την υποδιαστολή, στο αποτέλεσμα της σχέσης:

$$\varepsilon = \left(\frac{b-a}{2^n}\right) \quad (4)$$