**(ΠΡΟΛΟΓΟΣ)**

Η τ.ν. έχει διεισδύσει σε όλες τις καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου με τη μορφή των “έξυπνων” συσκευών, σκοπός των οποίων είναι να κάνουν τη χρήση της τεχνολογίας ευκολότερη, δημιουργώντας συστήματα που επικοινωνούν με τον άνθρωπο σε φυσική γλώσσα, αντιλαμβάνονται το περιβάλλον, μαθαινουν και προσαρμόζονται στις απαιτήσεις του χρήστη, αποθηκεύουν γνώση, συλλογίζονται και σχεδιάζουν ενέργειες για την επίλυση ενός προβλήματος.  
  
Επιπλέον, η τ.ν. καλείται να “δαμάσει” το χώρο του Διαδικτύου, ο οποίος περιέχει μια χαοτική ποσότητα πληροφορίας που απαιτεί έξυπνη οργάνωση και αναζήτηση για να είναι προσπελάσιμη, απαιτεί ειδικές τεχνικές ώστε τα δεδομένα να γίνουν πληροφορία και γνώση και απαιτεί νέους τρόπους ανάπτυξης λογισμικού όπως τα προγράμματα πράκτορες. Επίσης, στο Διαδίκτυο δημιουργήθηκαν νέες εφαρμογές όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο, η ηλεκτρονική διακυβέρνηση και η ηλεκτρονική εκπαίδευση, που απαιτούν ανθρωποκεντρικούς τρόπους επικοινωνίας για να γίνουν βιώσιμες, δεδομένου ότι απευθύνονται στον καθημερινό πολίτη.

**(ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ)**

Τ.Ν. είναι ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών, που ασχολείται με τη σχεδίαση ευφυών (νοημόνων) υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων που επιδεικνύουν χαρακτηριστικά που σχετίζουμε με τη νοημοσύνη στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Ο ορισμός αυτός που διατυπώθηκε από τους Barr και Feigenbaum, είναι ένας από τους πολλούς που έχουν δωθεί για την ΤΝ και δείχνει τα ασαφή όρια της περιοχής αλλά και την έκταση της, καθώς δεν είναι επακριβώς ορισμένο τι εννοούμε με τον όρο νοημοσύνη.

Τ.Ν. = Αναπαράσταση Γνώσης + Αναζήτηση

**(ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ)**

Σε αρκετές περιπτώσεις το μέγεθος ενός προβλήματος καθιστά απαγορευτική τη χρήση κλασσικών μεθόδων αναζήτησης για την επίλυση του. Το παραπάνω ζήτημα εμφανίζεται σε μία μεγάλη κατηγορία προβλημάτων και ειδικότερα σε προβλήματα βελτιστοποίησης (optimization) που συναντώνται συχνά σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη σχεδίαση VLSI κυκλωμάτων. Στις περιπτώσεις αυτές, βρίσκουν εφαρμογή πιθανοκρατικοί αλγόριθμοι οι οποίοι αν και δεν εγγυώνται ότι θα βρουν τη βέλτιση λύση, είναι ικανοί να επιστρέψουν μία αρκετά καλή λύση σε εύλογο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό έκανε την εφαρμογή τους ιδιαίτερα δημοφιλή τις τελευταίες δεκαετίες.

Μία ενδιαφέρουσα κατηγορία τέτοιων αλγορίθμων επίλυσης προβλημάτων αποτελούν οι γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms), των οποίων ο βασικός μηχανισμός είναι εμπνευσμένος από την Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης (evolution) της φύσης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι εκτελούν μία αναζήτηση στο χώρο των υποψηφίων λύσεων, με στόχο την εύρεση αποδεκτών, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο, λύσεων. Έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως δρομολόγηση καλωδιών (wire routing), χρονοπρογραμματισμό (scheduling), προσαρμοστικό έλεγχο (adaptive control), παίγνια (game playing), γνωστική μοντελοποίηση (cognitive modeling), προβλήματα εφοδιαστικής (logistics), προβλήματα πλανώδιου πωλητή, προβλήματα βέλτιστου ελέγχου, βελτιστοποίηση ερωτήσεων σε βάσεις δεδομένων, κτλ.

Η εισαγωγή των γ.α. έγινε το 1958 από τον Friedberg, ο οποίος επιχείρησε την αυτόματη παραγωγή σύνθετων προγραμμάτων FORTRAN με το συνδυασμό μικρότερων προγραμμάτων. Ωστόσο τα προγράμματα που προέκυπταν, τις περισσότερες φορές δεν ήταν εκτελέσιμα. Η διαδικασία αυτή είναι μία ειδική περίπτωση των γ.α. και αναφέρεται ως γενετικός προγραμματισμός (genetic programming). Ο Holland το 1975 έδωσε νέα ώθηη στο χώρο, χρησιμοποιώντας σειρές δυαδικών ψηφίων (bits) για να αναπαραστήσεις λειτουργίες με τρόπο τέτοιο, ώστε κάθε συνδυασμός bit να είναι μία έγκυρη λειτουργία.

**(7.1) - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ Γ.Α.**

H φύση έχει έναν πολύ ισχυρό μηχανισμό εξέλιξης των οργανισμών, που βασίζεται στον ακόλουθο κανόνα της φυσικής επιλογής: Οι οργανισμοί που δεν μπορούν να επιβιώσουν στο περιβάλλον τους πεθαίνουν, ενώ οι υπόλοιποι πολλαπλασιάζονται μέσω της αναπαραγωγής. Οι απόγονοι παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις από τους προγόνους τους, ενώ συνήθως υπερισχύουν αυτοί που συγκεντρώνουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά.

Αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αργούς ρυθμούς, τα διάφορα είδη μπορούν να εξελίσσονται σταδιακά ώστε να προσαρμόζονται σε αυτό. Αν όμως συμβούν ραγδαίες μεταβολές, αρκετά είδη οργανισμών θα εξαφανιστούν. Σταδιακά, συμβαίνουν τυχαίες μεταλλάξεις, από τις οποίες οι περισσότερες οδηγούν τα μεταλλαγμένα άτομα στο θάνατο, αν και είναι πιθανό, πολύ σπάνια όμως, να οδηγήσουν στη δημιουργία νέων “καλύτερων” οργανισμών.

Ο γ.α. εκτελεί μία αναζήτηση στο χώρο των υποψηφίων λύσεων, με στόχο την εύρεση κάποιας λύσης που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση καταλληλότητας, Η αναζήτηση αυτή είναι παράλληλη, καθώς σε κάθε υποψήφια λύση μπορεί να εκτελεστεί ξεχωριστή αναζήτηση. Η μέθοδος της αναζήτησης μπορεί να θεωρηθεί σαν αναρρίχηση λόφου (hill climbing), καθώς δε γίνεται εξερεύνση όλου του χώρου αναζήτησης αλλά γίνονται μικρές αλλαγές στις υποψήφιες λύσεις του πληθυσμού και επιλέγονται πάντα οι καλύτερες, βάσει της συνάρτησης καταλληλότητας. Η αναζήτηση επικεντρώνεται στις περισσότερο κατάλληλες λύσεις, χωρίς όμως να αγνοούνται οι υπόλοιπες, καθώς υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να παγιδευτεί η διαδικασία σε τοπικό μέγιστο (local maximum).

Ένας γ.α. για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα περιλαμβάνει 4 συστατικά:  
1. Ένα μηχανισμό για τη δημιουργία ενός αρχικού πληθυσμού πιθανών λύσεων (συνήθως δημιουργείται τυχαία)

1. Ένα τρόπο αναπαράστασης των υποψήφιων λύσεων
2. Ένα μηχανισμό επιλογής γονέων
3. Ένα σύνολο γενετικών τελεστών για τη διαδικασία της αναπαραγωγής  
     
   Ο μηχανισμός δημιουργίας αρχικού πληθυσμού εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα.

**(7.1.1) - ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΨΗΦΙΩΝ ΛΥΣΕΩΝ**

Στην κλασσική προσέγγιση των γενετικών αλγορίθμων, κάθε υποψήφια λύση αναπαρίσταται με μία συμβολοσειρά (string) ενός πεπερασμένου αλφάβητου. Συνήθως χρησιμοποιείται το δυαδικό αλφάβητο, οπότε οι συμβολοσειρές ονομάζονται και δυαδικές συμβολοσειρές (bit-strings). Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις που χρησιμοποιούν πιο σύνθετες μορφές αναπαράστασης. Στα περισσότερα προβλήματα οι λύσεις περιγράφονται με μεταβλητές διαφόρων τύπων δεδομένων, επομένως η διαδικασία της κωδικοποίησης περιλαμβάνει τη μετατροπή των τιμών αυτών των μεταβλητών στις αντίστοιχες δυαδικές.

Κατ’ αναλογία με τη βιολογία, η συμβολοσειρά συνήθως αναφέρεται και σαν χρωμόσωμα (chromosome) ενώ τα επιμέρους τμήματα της που κωδικοποιούν κάποιο χαρακτηριστικό, δηλαδή κάποια μεταβλητή, ονομάζονται γονίδια (gene). Στους γενετικούς αλγορίθμους έχουμε μόνο ένα χρωμόσωμα.

Στη γενετική, το σύνολο των παραμέτρων που αναπαρίστανται από ένα συγκεκριμένο γονίδιο που μας ενδιαφέρει 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 προσδιορίζει ως ένα βαθμό την εμφάνιση του. Η συνολική φυσική εμφάνιση ή συγκεκριμένη εκδήλωση ενός χαρακτηριστικού (πχ το χρώμα των ματιών) ονομάζεται φαινότυπος (phenotype).  
  
Κάθε γονότυπος (δηλ. Ένα χρωμόσωμα στους γ.α.) θα μπορούσε να αποτελεί μία πιθανή λύση στο πρόβλημα, η σημασία της οποίας (δηλ. Ο φαινότυπος) καθορίζεται από τον χρήστη.

**(7.1.2) - ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ**

Η συνάρτηση καταλληλότητας αποτελεί το κριτήριο για την αξιολόγηση των χρωμοσωμάτων, δηλαδή των υποψηφίων λύσεων. Η αξιολόγηση αυτή χρησιμοποιείται είτε από τη συνθήκη τερματισμού ή από τη διαδικασία της πιθανοκρατικής επιλογής τους για να συμπεριληφθούν ( ή όχι ) στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς.

Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο ένα χρωμόσωμα και επιστρέφει έναν αριθμό που υποδηλώνει το βαθμό καταλληλότητας του. Το πεδίο τιμών της συνάρτησης καταλληλότητας είναι συνήθως το διάστημα των πραγματικών αριθμών από το 0 έως το 1, αν και ανάλογα με την υλοποίηση θα μπορούσε να διαφέρει. Η τιμή 1 υποδηλώνει ότι το συγκεκριμένο χρωμόσωμα είναι τέλειο, δηλαδή ικανοποιεί όλες τις προϋποθέσεις του προβλήματος και αποτελεί αποδεκτή λύση ενώ οι ενδιάμεσες τιμές υποδηλώνουν το πόσο κοντά σε μία αποδεκτή λύση βρίσκεται.

Ο τρόπος υλοποίησης της συνάρτησης εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα και μπορεί να είναι από απλός εως εξαιρετικά πολύπλοκος. Η ιδανική συνάρτηση καταλληλότητας θα πρέπει να είναι συνεχής και μονότονη Στην περίπτωση αυτή θα αρκούσε μία απλή αναζήτηση αναρρίχησης λόφου για να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Ωστόσο αυτό σπάνια συμβαίνει, οπότε αυτό που επιζητείται είναι μία συνάρτηση καταλληλότητας που δεν έχει πολλά τοπικά μέγιστα ή ένα απομονωμένο ολικό μέγιστο.

Ο γενικός κανόνας στην κατασκευή της συνάρτησης καταλληλότητας είναι ότι αυτή πρέπει να αντικατοπτρίζει ρεαλιστικά την αξία του χρωμοσώματος, δηλ. Την ποιότητα της υποψήφιας λύσης. Ωστόσο η έννοια της αξίας ενός χρωμοσώματος σε ορισμένα προβλήματα ορίζεται διαφορετικά. Πχ σε προβλήματα βελτιστοποίησης με περιορισμούς που υπάρχουν πολλά χρωμοσώματα, δηλ. Πολλές υποψήφιες λύσεις, που παραβιάζουν περιορισμούς, έχουν δηλ. Μηδενική αξία. Κλασσικό παράδειγμα είναι το πρόβλημα της δημιουργίας του ωρολόγιου προγράμματος, όπου οι αίθουσες και οι διδάσκοντες πρέπει να κατανεμηθούν στα τμήματα, με περιορισμούς όπως ότι μια αίθουσα ή ένας διδάσκων δεν μπορεί να συνδεθεί την ίδια ώρα με δύο διαφορετικά τμήματα. Σε αυτή την περίπτωση η συνάρτηση καταλληλότητας δεν πρέπει να εκφράζει την αξία του χρωμοσώματος (αφού άλλωστε δεν αποτελεί λύση) αλλά το πόσο κοντά βρίσκεται σε μία έγκυρη λύση. Έτσι, υπολογίζεται ο αριθμός των περιορισμών που παραβιάζει και γίνεται μια εκτίμηση για την προσπάθεια που απαιτείται για να επιδιορθωθεί.

Μία προσέγγιση που ακολουθείται πολλές φορές είναι αυτή της προσεγγιστικής συνάρτησης καταλληλότητας (approximate fitness function). Το κρίσιμο θέμα είναι η επιθυμητή ακρίβεια της συνάρτησης καταλληλότητας και το υπολογιστικό κόστος που θεωρείται αποδεκτό για μια συνάρτηση καταλληλότητας που δίνει ενδεχομένως άριστα αποτελέσματα. Αν λοιπόν υπάρχουν διαθέσιμες δυο συναρτήσεις καταλληλότητας, μια ακριβής και μία προσεγγιστική, όπου όμως η ακριβής έχει δεκαπλάσιο χρόνο υπολογισμού από την προσεγγιστική, ενδεχομένως να είναι αποδοτικότερη η χρήση της προσεγγιστικής, αφού αυτή θα επιτρέπει την πραγματοποίηση δεκαπλάσιας ποσότητας υπολογισμών (δηλ. Αναπαραγωγών) στον ίδιο χρόνο, σε σχέση με τη χρονοβόρα συνάρτηση. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η διαδικασία αξιολόγησης εκτελείται πάρα πολλές φορές.

**(7.1.3) - ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΟΝΕΩΝ**

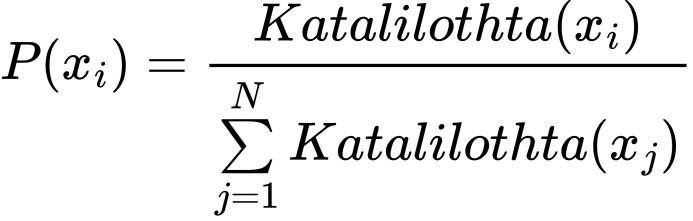
Η διαδικασία επιλογής χρωμοσωμάτων-γονέων σχετίζεται με την απόδοση πιθανοτήτων επιλογής προς αναπαραγωγή στα μέλη ενός πληθυσμού χρωμοσωμάτων, δηλ. Των υποψηφίων λύσεων. Κατά τη διαδικασία αυτή, κάποια χρωμοσώματα με υψηλή τιμή στη συνάρτηση καταλληλότητας ενδέχεται να επιλεγούν προς αναπαραγωγή περισσότερες από μία φορές, ενώ κάποια άλλα με χαμηλή καταλληλότητα ενδέχεται να μην επιλεγούν καθόλου.

Κατά τη διαδικασία της επιλογής, αρχικά τα χρωμοσώματα αντιγράφονται σε μία δεξαμενή ζευγαρώματος (maiting pool). Η δεξαμενή αυτή έχει μέγεθος ίσο με τον αρχικό πληθυσμό εκτός από τις περιπτώσεις μερικής ανανέωσης, όπου είναι μικρότερη. Σε αυτήν αντιγράφονται μέλη του αρχικού πληθυσμού, με πιθανότητα ανάλογη της καταλληλότητας τους.  
  
Για την επιλογή των χρωμοσωμάτων που θα αντιγραφούν στη δεξαμενή ζευγαρώματος χρησιμοποιούνται αρκετές τεχνικές με πιο συνηθισμένη αυτήν της επιλογής ρουλέτας (roulette wheel selection), η οποία συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Παράγεται το άθροισμα S όλων των τιμών αξιολόγησης των υποψηφίων λύσεων
2. Επιλέγεται ένας τυχαίος αριθμός n, από το 0 μέχρι το S, χρησιμοποιώντας συνάρτηση ομοιόμορφης κατανομής για τη δημιουργία των τυχαίων αριθμών.
3. Επαναληπτικά εξετάζεται κάθε υποψήφια λύση και η τιμή της προστίθεται σε έναν καταχωρητή Κ.
4. Αν η τιμή του Κ γίνει μεγαλύτερη ή ίση του n, η λύση επιλέγεται και ο Κ μηδενίζεται. Στην αντίθετη περίπτωση εκτελείται πάλι το βήμα 3.
5. Αν δεν έχει επιλεγεί ικανοποιητικός αριθμός υποψηφίων λύσεων εκτελείται το βήμα 2, αλλιώς ο αλγόριθμος τερματίζει.

Η λογική του παραπάνω αλγορίθμου είναι ότι οι υποψήφιες λύσεις με μεγάλη τιμή καταλληλότητας έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να αυξήσουν την τιμή του καταχωρητή Κ ώστε να υπερβεί την τιμή n και συνεπώς να επιλεγούν. Επίσης, κάποιες υποψήφιες λύσεις μπορεί να επιλεγούν περισσότερο από μία φορές. Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, από τα μέλη της δεξαμενής ζευγαρώματος δημιουργούνται ζευγάρια με τυχαίο τρόπο και οι απόγονοι που προκύπτουν αποτελούν το νέο πληθυσμό.

Μία άλλη τεχνική είναι η επιλογή αναλογικής καταλληλότητας (fitness proportionate selection) όπου η πιθανότητα επιλογής ενός χρωμοσώματος wps υπολογίζεται από τη σχέση:



Δηλαδή, η πιθανότητα να επιλεγεί ένα χρωμόσωμα είναι ευθέως ανάλογη της καταλληλότητας του και αντιστρόφως ανάλογη της καταλληλότητας των υπόλοιπων χρωμοσωμάτων.

Σε μία άλλη τεχνική, που ονομάζεται επιλογή τουρνουά (tournament selection) επιλέγονται τα καταλληλότερα χρωμοσώματα με μία προκαθορισμένη πιθανότητα φ και τα λιγότερα κατάλληλα με πιθανότητα 1-q. Αυτό οδηγεί σε πληθυσμούς που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία από ότι οι δυο προηγούμενες τεχνικές.

**(7.1.4) - ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Αναπαραγωγή είναι η διαδικασία δημιουργίας απογόνων. Σε αυτή εμπλέκονται ένα σύνολο από τελεστές τελεστών οι οποίοι αντιστοιχούν σε διαδικασίες της βιολογικής εξέλιξης. Οι πιο συνηθισμένοι τελεστές είναι η διασταύρωση (crossover) και η μετάλλαξη (mutation).

Ο τελεστής διασταύρωσης παράγει 2 απογόνους από 2 ακολουθίες-γονείς, αντιγράφοντας επιλεγμένα bit από κάθε γονέα με τρόπο τέτοιο ώστε το i-οστό bit του απογόνου να είναι το i-οστό bit ενός εκ των γονέων του. Το ποιο γονέας θα συνεισφέρει το κάθε bit αποφασίζεται βάσει ενός μηχανισμού που ονομάζεται μάσκα διασταύρωσης (crossover mask). Ο τελεστής μετάλλαξης αλλοιώνει ένα χρωμόσωμα του νέου πληθυσμού, μεταβάλλοντας την τιμή κάποιου bit.

Οι πιο συνηθισμένοι τελεστές είναι οι εξής:

1. Διασταύρωση ενός σημείου (single-point crossover)
2. Διασταύρωση δύο σημείων (two-point crossover)
3. Ομοιόμορφη διασταύρωση (uniform crossover)
4. Μετάλλαξη σημείου (point mutation)

Στη διασταύρωση ενός σημείου, η μάσκα διασταύρωσης ξεκινά με έναν αριθμό συνεχόμενων άσσων (1) που ακολουθούνται από τόσα μηδενικά όσα χρειάζονται για να συμπληρωθεί η ακολουθία. O ένας απόγονος παίρνει τα bit (το γενετικό υλικό) που δεν χρησιμοποιήθηκε στη δημιουργία του άλλου.

Στη διασταύρωση δύο σημείων, οι απόγονοι δημιουργούνται αντικαθιστώντας ενδιάμεσα bit του ενός γονέα στη μέση της ακολουθίας, με εκείνα του άλλου γονέα. Η μάσκα διασταύρωσης ξεκινά με έναν αριθμό μηδενικών, ακολουθεί ένας αριθμός άσσων και ολοκληρώνεται η ακολουθία με τον απαιτούμενο αριθμό μηδενικών. Οι αριθμοί των μηδενικών και των άσσων επιλέγονται κάθε φορά με τυχαίο τρόπο.

Στην ομοιόμορφη διασταύρωση, τα bit των γονέων συνδυάζονται ομοιόμορφα. Η μάσκα διασταύρωσης είναι μία τυχαία παραγόμενη ακολουθία bit (δηλ. Το κάθε bit επιλέγεται τυχαία και ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα)

Στη μετάλλαξη σημείου, επιλέγεται τυχαία ένα bit και αλλάζει τιμή. Συνήθως ο τελεστής μετάλλαξης εφαρμόζεται μετά τον τελεστή διασταύρωσης.

**(7.1.5) - ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ**

Ο τρόπος επιλογής των χρωμοσωμάτων (γονένων) που θα ζευγαρώσουν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των γενετικών αλγορίθμων. Δύο προβλήματα που εμφανίζονται συχμά στους γ.α. και τα οποία μπορεί να αντιμετωπιστούν με τροποποίησης της διαδικασίας επιλογής, είναι η πρόωρη σύγκλιση (premature convergence) και η αργή σύγκλιση (slow convergence). Σύγκλιση είναι η επικράτηση ενός χρωμοσώματος ή μικρών παραλλαγών του, σε μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού.

Με έναν αποδοτικό γ.α., ο πληθυσμός θα πρέπει μετά από αρκετές επαναλήψιες να συγκλίνει προς το ολικό μέγιστο. Η σύγκλιση αυτή αφορά είτε στο καλύτερο στοιχείο ή στο μ.ο. του πληθυσμού. Κατά την πρόωρη σύγκλιση, ο πλυθησμός πολύ γρήγορα συγκλίνει γύρω από κάποιο χρωμόσωμα, το οποίο όμως αποτελεί τοπικό μέγιστο. Το αποτέλεσμα είναι αν μην μπορεί πλέον ο γ.α. να ξεφύγει από αυτό, παρά μόνο με τη διαδικασία της μετάλλαξης, η οποία όμως έχει ελάχιστη πιθανότητα να συμβεί. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε περιπτώσεις που η συνάρτηση καταλληλόλητας εμφανίζει πολύ απότομες μεταβολές και έντονα τοπικά μέγιστα και μπορεί να αντιμετωπιστεί με 2 τρόπους. Ο πρώτος είναι η απεικόνιση της συνάρτησης καταλληλότητας σε μία νέα συνάρτηση, λιγότερο απότομη (fitness remapping). Ο Δεύτερος είναι ο καθορισμός ελαχίστων και μέγιστων ορίων, όσον αφορά το πόσες φορές επιλέγεται ένα χρωμόσωμα για αναπαραγωγή σε κάθε νέο κύκλο ανανέωσης του πληθυσμού.

Η αργή σύγκλιση είναι το ακριβώς αντίθετο φαινόμενο της πρόωρης σύγκλισης. Σε αυτήν, μετά από έναν μεγάλο αριθμό επαναλήψεων, ο πληθυσμός εξακολουθεί να μην έχει συγκλίνει. Το φαινόμενο εμφανίζεται όταν η συνάρτηση καταλληλότητας έχει μικρές κλίσεις, με αποτέλεσμα τα μέγιστα και τα ελάχιστα της να έχουν μικρές διαφορές. Η λύση είναι και πάλι η απεικόνιση της συνάρτησης σε μία νέα με πιο έντονες διακυμάνσεις.

Ένα άλλο θέμα που εξετάζεται στους γ.α. είναι η ανανέωση του πληθυσμού σε κάθε γενιά. Το ποσοστό των χρωμοσωμάτων κάθε γενιάς που ανανεώθηκε, προς το σύνολο των χρωμοσωμάτων, ορίζεται ως χάσμα γενεών (generation gap). Στους τυπικούς γ.α., ο συντελεστής αυτός ισούται με τη μονάδα. Ωστόσο μία νέα τάση είναι η ανανέωση μέρους του πληθυσμού και μάλιστα, στην πιο ακραία περίπτωση μόνο 2 μελών. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος μερικής ανανέωσης (steady-state replacement).

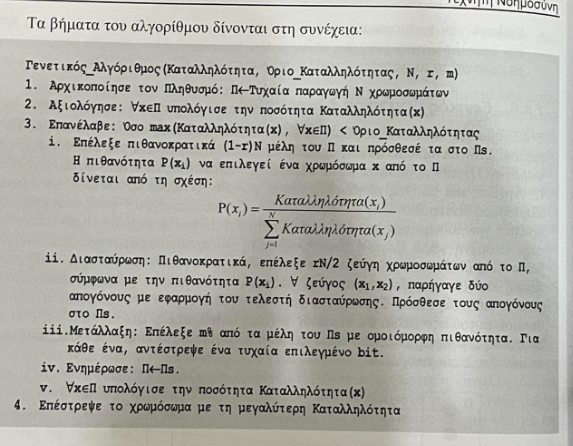
Η μέθοδος της μερικής ανανέωσης προσεγγίζει πιο πολύ στην πραγματικότητα, αφού εκεί συνυπάρχουν πάντα σε κάποιο βαθμό οι διαφορετικές γενιές. Μάλιστα, δίνεται η δυνατότητα στους απογόνους να ανταγωνιστούν τους γονείς τους, με σκοπό την επικράτηση του καλύτερου. Υπάρχουν 2 θέματα στην προσέγγιση της μερικής ανανέωσης: πως θα επιλεγούν τα χρωμοσώματα που θα ζευγαρώσουν και πως θα επιλεγεί ισάριθμος αριθμός χρωμοσωμάτων που θα αποχωρήσουν, παραχωρώντας χώρο για τους απογόνους. Οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται είναι οι εξής:  
  
1. Επιλογή των χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή με πιθανότητα ανάλογη προς την καταλληλότητα τους και τυχαία επιλογή των χρωμοσωμάτων που θα αποχωρήσουν.

1. Τυχαία επιλογή των χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή και επιλογή των χρωμοσωμάτων που θα αποχωρήσουν με πιθανότητα αντιστρόφως ανάλογη προς την καταλληλότητα τους.
2. Επιλογή των χρωμοσωμάτων προς αναπαραγωγή με πιθανότητα ανάλογη προς την καταλληλότητα τους και επιλογή των χρωματοσωμάτων που θα αποχωρήσουν με πιθανότητα αντιστρόφως ανάλογη προς την καταλληλότητα τους.

**(7.1.6) - ΓΕΝΙΚΟΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ**

Σε έναν γ.α. πρέπει να ορισθούν οι ακόλουθες παράμετροι:  
1. Καταλληλότητα: Η συνάρτηση καταλληλότητας.

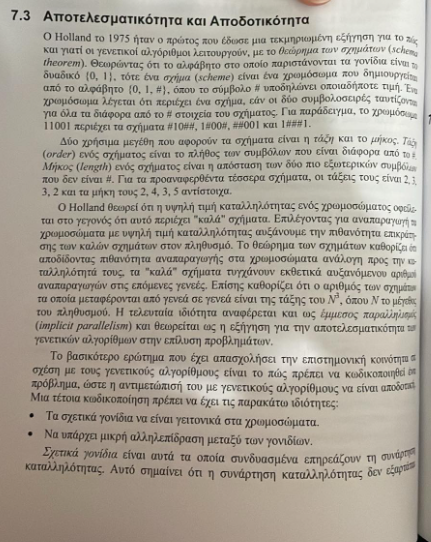
1. Όριο καταλληλότητας: Η ελαχιστη τιμη καταλληλότητας που πρέπει να επιτευχθεί από ένα χρωμόσωμα, ώστε να τερματίσει η διαδικασία.
2. N: Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού
3. r: Το ποσοστό του πληθυσμού που αντικαθίστανται σε κάθε κύκλο
4. m: Το ποσοστό μετάλλαξης.

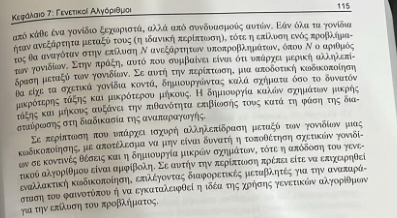


ΠΟΛΛΕΣ ΦΟΡΕΣ ΣΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ, ΔΕ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΑΠΛΗ ΔΥΑΔΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ, ΑΛΛΑ ΑΛΛΕΣ ΠΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΕΣ, ΟΠΩΣ Ο ΚΩΔΙΚΑΣ GRAY ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΚΑΤΑ 1ΜΟΝΟ BIT ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥΣ. ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΚΤΟΣ ΑΠΟ ΑΥΤΗ ΤΩΝ ΔΥΑΔΙΚΩΝ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ. ΑΥΤΕΣ ΕΙΝΑΙ: ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ ΑΚΕΡΑΙΩΝ, ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ Ή ΑΚΟΜΗ ΚΑΙ ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ.

**(7.3) - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Ο Holland το 1975 ήταν ο πρώτος που έδωσε μία τεκμηριωμένη εξήγηση για το πως και γιατί οι γ.α. λειτουργούν με το θεώτημα των σχημάτων (schema theorem).





**(7.4) - EΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Μερικές αντιπροσωπευτικές εφαρμογές των γ.α.:

ΕΥΡΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ

Πρόκειται για την πιο καλά μελετημένη εφαρμογή των γ.α. Η εύρεση του μεγίστου μιας συνάρτησης δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση για συναρτήσεις πολλών μεταβλητών, οι οποίες εμφανίζουν ασυνέχειες, θόρυβο, κτλ. Το πλεονέκτημα που εμφανίζει η εφαρμογή τους σε αυτά τα προβλήματα είναι ότι η συνάρτηση καταλληλότητας είναι δεδομένη.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΩΝΩΝ

Οι γ.α. χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση προτύπων, όπως ακμές, επιφάνειες, ακόμη και αντικείμενα, σε ψηφιοποιημένες εικόνες. Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη μηχανική όραση.

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πρόκειται για το κλασικό πρόβλημα κατανομής πόρων σε δραστηριότητες, με σκοπό την μεγιστοποίηση του οφέλους ή την ελάττωση του κόστους. Τα προβλήματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν το φαινόμενο της συνδυαστικής έκρηξης του χώρου αναζήτησης, ως προς το μέγεθος του προβλήματος, με αποτέλεσμα ο έλεγχος όλων των υποψηφίων λυσεων να είναι αδύνατος. Το πιο γνωστό πρόβλημα αυτής της κατηγορίας είναι αυτό του πλανώδιου πωλητή.ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΠΛΑΝΩΔΙΟΥ ΠΩΛΗΤΗ ΣΥΝΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΝΑΣ ΠΩΛΗΤΗΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ ΕΝΟΣ ΣΥΝΟΛΟΥ ΠΟΛΕΩΝ ΚΑΙ ΝΑ ΕΠΙΣΤΡΕΨΕΙ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ, ΩΣΤΕ ΝΑ ΕΧΕΙ ΤΟ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΔΥΝΑΤΟ ΚΟΣΤΟΣ, ΟΠΩΣ ΕΚΦΡΑΖΕΤΑΙ ΚΑΘΕ ΦΟΡΑ, ΓΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΕ ΧΡΟΝΟ Ή ΣΕ ΧΡΗΜΑ. Οι γ.α.μπορούν να δώσουν σε αυτό το πρόβλημα πολλές λύσεις κοντά στη βέλτιστη. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η αποθήκευση κιβωτίων (bin packing) και αφορά την εύρεση του βέλτιστου τρόπου αποθήκευσης ενός αριθμού κιβωτίων σε περιορισμένο χώρο και έχει μεγάλη πρακτική σημασία στη βιομηχανία. Ανάλογα προβλήματα εμφανίζονται και στη σχεδίαση VLSI κυκλωμάτων. Τέλος, στην κατηγορία αυτών των εφαρμογών εντάσσονται και τα προβλήματα καταμερισμού εργασιών (job-… scheduling) και κατασκευής ωρολογιών προγραμμάτων (timetabling).

ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Ο γ.α. μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη σχεδίαση κατασκευών και εξαρτημάτων, όπως για παράδειγμα γέφυρες ή μηχανολογικά εξαρτήματα όπου ζητούμενο μπορεί να είναι τόσο η εύρεση μίας λύσης, όσο και η βελτιστοποίηση της. Οι αλγόριθμοι μπορούν να δοκιμάσουν συνδυασμούς και ιδέες που ο άνθρωπινος νους δε θα δοκίμαζε ποτέ, δίνοντας ενίοτε αρκετά πρωτότυπα αποτελέσματα.

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Στα συστήματα μηχανικής μάθησης οι γα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση συναρτήσεων. Η πιο γνωστή εφαρμογή είναι αυτή των συστημάτων ταξινίμησης (classifier systems), ωσόστο οι γ.α. έχουν χρησιμοποιηθεί και σε παιχνίδια, επίλυση λαβυρίνθων, καθώς και για πολιτικές και οικονομικές αναλύσεις.

Γίνεται φανερό λοιπόν πως οι γα έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα προβλήματα της τ.ν. και ιδιαίτερα σε προβλήματα βελτιστοποίησης. Όπως και τα ν.δ. έτσι και οι γ.α. αποτελούν έναν εύκολο τρόπο επίλυσης προβλημάτων με μεγάλη δυνατότητα προσαρμογής. Χαρακτηριστικό είναι το σχόλιο του Decker ότι “τα ν.δ. είναι ο 2ος καλύτερος τρόπος για να κάνεις οτιδήποτε” επεκτάθηκε με το “και οι γ.α. είναι ο τρίτος”.

(ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18) - ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ

Ένα φυσικό ή τεχνητό σύστημα επεξεργασίας πληροφορίας συμπεριλαμβανομένων εκείνων με δυνατότητες αντίληψης, μάθησης, συλλογισμού, λήψης απόφασης, επικοινωνίας και δράσης ονομάζεται γνωστικό σύστημα (cognitive system). Η έννοια της μάθησης σε ένα γνωστικό σύστημα όπως γίνεται αντιληπτή στην καθημερινή ζωή, μπορεί να συνδεθεί με 2 βασικές ιδιότητες:

1. Την ικανότητα του στην πρόσκτηση γνώσης κατά την αλληλεπίδταση του με το περιβάλλον, μέσα στο οποίο δραστηριοποιείται, και
2. Την ικανότητα του να βελτιώνει με την επανάληψη τον τρόπο με τον οποίο εκτελεί μία ενέργεια (και συνεπώς και την απόδοση του).

Έχουν προστεθεί διάφοροι ορισμοί για τη μάθηση, όπως των:

1. Simon (1983) “η μάθηση σηματοδοτεί προσαρμοστικές αλλαγές σε ένα σύστημα με την έννοια ότι αυτές του επιτρέπουν να κάνει την ίδια εργασία, ή εργασίες τις ίδιας κατηγορίας, πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά την επόμενη φορά”.
2. Minsky (1985) “μάθηση είναι να κάνουμε χρήσιμες αλλαγές στο μυαλό μας”
3. Michalski (1986) μάθηση είναι η δημιουργία ή η αλλαγή της αναπαράστασης των εμπειριών”.

Ένα σύστημα με δυνατότητα μάθησης μεταβάλλεται διαρκώς προς το “καλύτερο” όπως και αν αυτό ορίζεται, αναφορικά με τις λειτουργίες που είναι σε θέση να εκτελέσει. Αυτό που είναι δύσκολο να προσδιοριστεί είναι η ακριβής φύση αυτών των αλλαγών καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτές μπορούν να αναπαρασταθούν. Στη γενικότερη περίπτωση, η μάθηση προσδιορίζεται ως πρόσκτηση επιπλέον γνώσης σε μία κατάλληλη αναπαράσταση. Ένα μη βιολογικό σύστημα με δυνατότητα μάθησης δομεί ή μετασχηματίζει, σε μία αυστηρά καθορισμένη γλώσσα αναπαράστασης, προτάσεις τις οποίες και αποθηκεύει για μελλοντική χρήση. Δηλαδή, η βασική παραδοχή είναι ότι η λειτουργία του συστήματος επιφέρει μεταβολές στη βάση γνώσης του.

Η μάθηση με βάση το παραπάνω πλαίσιο αφορά τα συστήματα που ανήκουν στην συμβολική προσέγγιση της τ.ν. και δεν αποτελεί τη μόνη λύση. Πχ τα τ.ν.δ. που ανήκουν στην δεύτερη προσέγγιση της τ.ν., τη μη συμβολική ( ή συνδετική), έχουν δυνατότητα μάθησης μετασχηματίζοντας την εσωτερική τους δομή, παρά καταχωρώντας κατάλληλα αναπαριστάμενη γνώση.

Η βελτίωση του τρόπου εκτέλεσης μιας ενέργειας με την επανάληψη είναι κάτι εξίσου δύσκολο. Εκτός του οτι πρεπει να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι παράμετροι που περιγράφουν αυτή τη βελτίωση, μεγάλη προσοχή απαιτεί η επίδραση της μεταβολής αυτής στις υπόλοιπες ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει το σύστημα.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Ο άνθρωπος προσπαθεί να κατανοήσει το περιβάλλον του παρατηρώντας το και δημιουργώντας μια απλοποιημένη (αφαιρετική) εκδοχή του που ονομάζεται μοντέλο (model). Η δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου ονομάζεται επαγωγική μάθηση (indactive. learning) ενώ η διαδικασία γενικότερα ονομάζεται επαγωγή (induction) Επιπλέον ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να οργανώνει και να συσχετίζει τις εμπειρίες και τις παραστάσεις του δημιουργώντας νέες δομές που ονομάζονται πρότυπα (patterns). Η δημιουργία μοντέλων ή προτύπων από ένα σύνολο δεδομένων, από ένα υπολογιστικό σύστημα, ονομάζεται μηχανική μάθηση (machine learning). Έχουν προταθεί διάφοροι ορισμοί για τη μηχανική μάθηση όπως των:

1. Carbonell (1987) “.. η μελέτη υπολογιστικών μεθόδων για την απόκτηση νέας γνώσης, νεων δεξιοτήτων και νέων τρόπων οργάνωσης της υπάρχουσας γνώσης”.
2. Mitchell (1997): “Ένα πρόγραμμα υπολογιστή θεωρείται ότι μαθαίνει από την εμπειρία Ε σε σχέση με μία κατηγορία εργασιών Τ και μία μετρική απόδοσης P, αν η απόδοση του σε εργασίες της Τ, οπως μετριούνται από την P, βελτιώνονται με την εμπειρία Ε”.
3. Witten & Frank (2000): “Κάτι μαθαίνει όταν αλλάζει τη συμπεριφορά του κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδει καλύτερα στο μέλλον”.

ΕΙΔΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ

Έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές μηχανικής μάθησης οι οποίες χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη φύση του προβλήματος και εμπίπτουν σε ένα από τα παρακάτω δυο είδη:  
1. Μάθηση με επίβλεψη (supervised learning) ή μάθηση με παραδείγματα (learning from examples).

1. Μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning) ή μάθηση από παρατήρηση (learning from observation).

Στη μάθηση με επίβλεψη το σύστημα καλείται να “μάθει” μια έννοια ή συνάρτηση από ένα σύνολο δεδομένων, η οποία αποτελεί περιγραφή ενός μοντέλου. Ονομάζεται έτσι επειδή θεωρείται ότι υπάρχει κάποιος “επιβλέπων”, ο οποίος παρέχει τη σωστή τιμή εξόδου της συνάρτησης, για τα δεδομένα που εξετάζονται.

Αντίθετα, στη μάθηση χωρίς επίβλεψη το σύστημα πρέπει μόνο του να ανακαλύψει συσχετίσεις ή ομάδες σε ένα σύνολο δεδομένων, δημιουργώντας πρότυπα, χωρίς να είναι γνωστό αν υπάρχουν, πόσα και ποια είναι.  
  
Τα μοντέλα περιγράφουν το σύνολο των δεδομένων και χαρακτηρίζονται και ως μοντέλα πρόβλεψης (predictive models) επειδή προβλέπουν την τιμή μιας μεταβλητής. Εκτός από τις δυνατότητες της πρόβλεψης επιπλέον έχουν και κάποιες δυνατότητες πληροφόρησης επειδή δίνουν και ποιοτικές πληροφορίες για τα δεδομένα. Αντίθετα, τα πρότυπα έχουν τοπικό χαρακτήρα, δηλ. Το καθένα περιγράφει ένα μέρος των δεδομένων και χαρακτηρίζονται ως πρότυπα πληροφόρησης (informative patterns) επειδή περιγράφουν συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων

(8.1) - ΜΑΘΗΣΗ ΜΕ ΕΠΙΒΛΕΨΗ

Στη μάθηση με επίβλεψη το σύστημα πρέπει να “μάθει” επαγωγικά μία συνάρτηση που ονομάζεται συνάρτηση στόχος (target function) και αποτελεί έκφραση του μοντέλου που περιγράφει τα δεδομένα. Η συνάρτηση στόχος (συμβολίζεται συνήθως με c) χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της τιμής μιας μεταβλητής, που ονομάζεται εξαρτημένη μεταβλητή ή μεταβλητή εξόδου, βάσει των τιμών ενός συνόλου μεταβλητών, που ονομάζονται ανεξάρτητες μεταβλητές ή μεταβλητές εισόδου ή χαρακτηριστικά.

Το σύνολο των διαφορετικών δυνατών τιμών εισόδου της συνάρτησης, δηλ. Το πεδίο ορισμού της, ονομάζεται το σύνολο των περιπτώσεων ή στιγμιοτύπων (instances) και συμβολίζεται με X. Κάθε περίπτωση (ή στιγμιότυπο) περιγράφεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών (attributes ή features). Ένα υποσύνολο του συνόλου των περιπτώσεων για τα οποία γνωρίζουμε την τιμή της μεταβλητής εξόδου, ονομάζεται σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης ή παραδείγματα και συμβολίζεται με D.

Για να προσεγγίσει το σύστημα όσο το δυνατόν καλύτερα τη συνάρτηση στόχο εξετάζει διάφορες εναλλακτικές συναρτήσεις οι οποίες ονομάζονται υποθέσεις και συμβολίζονται με h. Το σύνολο όλων των δυνατών υποθέσεων που το πρόγραμμα μάθησης πρέπει να εξετάσει προκειμένου να βρει τη συνάρτηση στόχο ονομάζεται σύνολο υποθέσεων και συμβολίζεται με H.

Η επαγωγική μάθηση στηρίζεται στην υπόθεση επαγωγικής μάθησης (inductive learning hypothesis), σύμφωνα με την οποία κάθε υπόθεση h που έχει βρεθεί να προσεγγίζει καλά τη συνάρτηση στόχο για ένα αρκετά μεγάλο σύνολο παραδειγάτων, θα προσεγγίζει το ίδιο καλά τη συνάρτηση στόχο και για περιπτώσεις που δεν έχει εξετάσει.

Στη μάθηση με επίβλεψη διακρίνονται 2 είδη προβλημάτων (learning tasks), τα προβλήματα ταξινόμησης, και τα προβλήματα παρεμβολής. Η ταξινόμηση (classification) αφορά τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης διακριτών τάξεων (κλάσεων/κατηγοριών) όπως για παράδειγμα η ομάδα αίματος, ενώ η παρεμβολή (regression) αφορά στη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης αριθμητικών τιμών.

Οι κυριότερες τεχνικές μηχανικής μάθησης με επίβλεψη είναι:  
1. Μάθηση εννοιών (Concept learning)

1. Δένδρα ταξινόμησης ή απόφασης (Classification or Decision Trees)
2. Μάθηση Κανόνων (Rule Le