

Προχωρημένες τεχνικές βελτιστοποίησης

Δ. Κολοκοτσά



- ✓ Η πολυστοχική και πολυκριτηριακή θεωρία λήψης αποφάσεων (**Multi-objective Multi-criteria Decision Making**) αναπτύχθηκε σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες
- ✓ Η μαθηματική μορφή ενός προβλήματος πολλαπλών στόχων δίνεται ως:

$$\mathbf{max} \text{ (ή } \mathbf{min}) \mathbf{Z}(\mathbf{x}) = \left[z_1(\mathbf{x}), z_2(\mathbf{x}), \dots, z_m(\mathbf{x}) \right]$$

λαμβάνοντας υπόψη

$$\mathbf{x} \in S$$

όπου,

$Z(\mathbf{x})$ οι αντικειμενικές συναρτήσεις,

$\mathbf{x}$ οι μεταβλητές απόφασης,

S οι περιορισμοί.

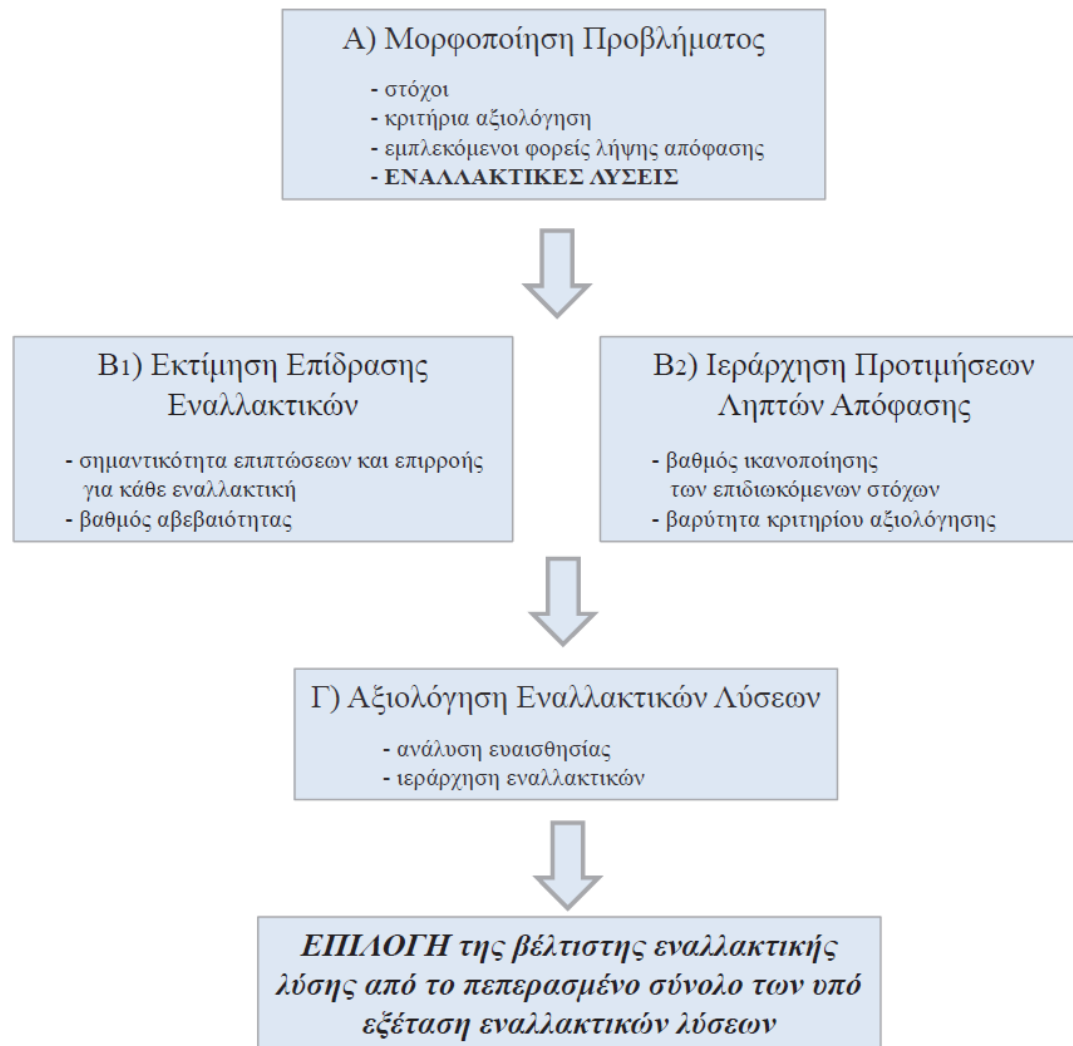


Μεθοδολογίες ανάλυσης απόφασης

- ✓ Σε αρκετά προβλήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης και σχεδιασμού οι εναλλακτικές λύσεις που τίθενται προς αξιολόγηση είναι πεπερασμένες και ο αναλυτής καλείται να αξιολογήσει αυτές τις συγκεκριμένες πλέον λύσεις και να υποδείξει αυτή που ικανοποιεί καλύτερα τους επιδιωκόμενους στόχους.
- ✓ Η διαδικασία αυτή ακολουθεί μεθοδολογίες της Θεωρίας Ανάλυσης Απόφασης σύμφωνα τις οποίες καθορίζονται αρχικά οι συγκεκριμένες εναλλακτικές λύσεις του προβλήματος και στη συνέχεια καθορίζονται οι επιδιωκόμενοι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν, τα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών καθώς και οι ομάδες ενδιαφέροντος που δύναται να επηρεάσουν και να επηρεαστούν από την υλοποίηση κάθε εναλλακτικής.
- ✓ Στη συνέχεια προσδιορίζονται και αξιολογούνται οι επιπτώσεις κάθε εναλλακτικής λύσης σε διάφορους τομείς και ομάδες ενδιαφερομένων. Ταυτόχρονα, προσδιορίζονται οι προτιμήσεις και ο βαθμός ικανοποίησης των επιδιωκόμενων στόχων, όπως αυτοί καταγράφονται για όλες τις ενδιαφερόμενες ομάδες.
- ✓ Τέλος, με βάση τα κριτήρια που έχουν αρχικώς τεθεί οι εναλλακτικές λύσεις βαθμολογούνται, αξιολογούνται και ιεραρχούνται προκειμένου να προκύψει η βέλτιστη λύση μεταξύ ενός πεπερασμένου αριθμού λύσεων



Πολυκριτηριακή αξιολόγηση



Πολυκριτηριακή ανάλυση

- ✓ Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε για να περιορίσει την σύγχυση που προκαλείται σε περιπτώσεις που εμπλέκονται μεταξύ τους πολλά και διαφορετικής φύσεως κριτήρια που αφορούν συγκεκριμένες επιλογές.
- ✓ Ουσιαστικά με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η σύνθεση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών διατηρώντας παράλληλα τους στόχους και τις προτιμήσεις του εκάστοτε λήπτη της απόφασης.
- ✓ Τελικά, αυτό που επιδιώκουμε χρησιμοποιώντας πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων είναι ο πολιτικός συμβιβασμός ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, ρυθμίζοντας κατά περίπτωση και ανάλογα με τους στόχους που έχουμε θέσει, το βάρος που φέρει ο καθένας στην τελική λήψη της απόφασης.



Πολυκριτηριακή ανάλυση

- ✓ Όλες οι προσεγγίσεις πολυκριτηριακής ανάλυσης κάνουν τις επιλογές και την συνεισφορά τους στα διάφορα κριτήρια συγκεκριμένα, και όλες απαιτούν την άσκηση κρίσης.
- ✓ Διαφέρουν, όμως, στον τρόπο που συνδυάζουν τα στοιχεία. Επίσημες τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης συνήθως παρέχουν ένα συγκεκριμένο σύστημα σχετικής βαρύτητας για τα διαφορετικά κριτήρια.



Η πολυκριτήρια ανάλυση σε περιβαλλοντικά προβλήματα

- ✓ Παράδειγμα πολυκριτήριας ανάλυσης αποτελεί η χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ που στοχεύει στην αειφορική διαχείριση των στερεών αποβλήτων μιας περιοχής.
- ✓ Αρχικά **προσδιορίζονται οι πιθανές θέσεις χωροθέτησης του ΧΥΤΑ**, οι οποίες αποτελούν ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών λύσεων που τίθενται υπό εξέταση.
- ✓ Στη συνέχεια, αφού προηγηθεί η εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχει για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία η υλοποίηση ενός τέτοιου έργου σε κάθε μια από τις προεπιλεγμένες θέσεις, **αξιολογούνται αρχικά με κριτήρια αποκλεισμού όλες οι εναλλακτικές θέσεις.**
- ✓ Η μη ικανοποίηση των κριτηρίων αποκλεισμού μιας θέσης αποτελεί επιλογή της θέσης αυτής για περαιτέρω αξιολόγηση της.



Η πολυκριτήρια ανάλυση σε περιβαλλοντικά προβλήματα

- ✓ Τα κριτήρια αποκλεισμού μπορεί να είναι:
- ✓ ερωτήματα της μορφής ΝΑΙ-ΟΧΙ, τα οποία εξετάζουν εάν η υπό εξέταση εναλλακτική θέση βρίσκεται εντός ζώνης που διέπεται από ειδικό θεσμικό καθεστώς (π.χ. περιοχές NATURA, αρχαιολογικοί χώροι, τοπία φυσικού κάλλους κ.α.),
- ✓ ελάχιστος βαθμός ικανοποίησης για κάθε μία από τις υπό εξέταση εναλλακτικές λύσεις (π.χ. η ελάχιστη απόσταση από υδάτινο επιφανειακό αποδέκτη, ελάχιστο βάθος στο οποίο εντοπίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας κ.α.).

Η πολυκριτήρια ανάλυση σε περιβαλλοντικά προβλήματα

- ✓ Τα κριτήρια αξιολόγησης εξετάζονται και προκύπτει η τελική ιεράρχηση των εναλλακτικών λύσεων που μπορεί να γίνει:
 - α) με τη μέθοδο του σταθμισμένου αθροίσματος,
 - β) με μεθοδολογίες υπεροχής κριτηρίων (π.χ. ELECTRE II, PROMETHEE).
- ✓ Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου του σταθμισμένου αθροίσματος δεν εξασφαλίζεται η απουσία αλληλοκαλύψεων μεταξύ των κριτηρίων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται. Αντίθετα στις μεθόδους υπεροχής κριτηρίων λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος της υπεροχής ενός κριτηρίου μεταξύ δύο εναλλακτικών λύσεων.
- ✓ Η ιεράρχηση των εναλλακτικών θέσεων γίνεται με βάση τον αριθμό των κριτηρίων που ικανοποιείται σε κάθε θέση.

Πλεονεκτήματα της πολυκριτήριας ανάλυσης

- ✓ Είναι ανοιχτή και εκτεταμένη.
- ✓ Η επιλογή των στόχων και των κριτηρίων που μπορεί να πάρει η οποιαδήποτε ομάδα ληπτών αποφάσεων είναι ανοιχτή στην ανάλυση και την αλλαγή εάν κριθούν ακατάλληλοι.
- ✓ Τα σκορ και τα βάρη, όταν χρησιμοποιούνται είναι επίσης αναλυτικά και διαμορφώνονται με βάση καθορισμένες τεχνικές. Μπορούν επίσης να διασταυρωθούν με άλλες πηγές πληροφορίας για τις σχετικές τιμές και να αλλαχθούν εάν κριθεί απαραίτητο.
- ✓ Η μέτρηση της αποδοτικότητας μπορεί να γίνει και από ειδικούς ώστε να μην αφήνεται απαραίτητα στους λήπτες αποφάσεων.
- ✓ Μπορεί να παρέχει ένα σημαντικό μέσο επικοινωνίας μεταξύ των ληπτών αποφάσεων και ορισμένες φορές μεταξύ των ληπτών και της κοινότητας.



- ✓ Τα πραγματικά προβλήματα που σχετίζονται με πολύπλοκες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο φυσικό περιβάλλον είναι ιδιαίτερα σύνθετα και πολύπλοκα με αποτέλεσμα η εφαρμογή των παραπάνω μεθοδολογιών, με στόχο την αναζήτηση της βέλτιστης δυνατής λύσης, να είναι μια αρκετά δύσκολη και εργώδης διαδικασία. Η πολυπλοκότητα των περιβαλλοντικών προβλημάτων οφείλεται κυρίως:
 - α) στις πολλές και ταυτόχρονα σύνθετες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο φυσικό σύστημα και
 - β) στους αντικρουόμενους στόχους και απαιτήσεις μεμονωμένων πολιτών και οργανωμένων ομάδων που επηρεάζουν το υπό μελέτη σύστημα

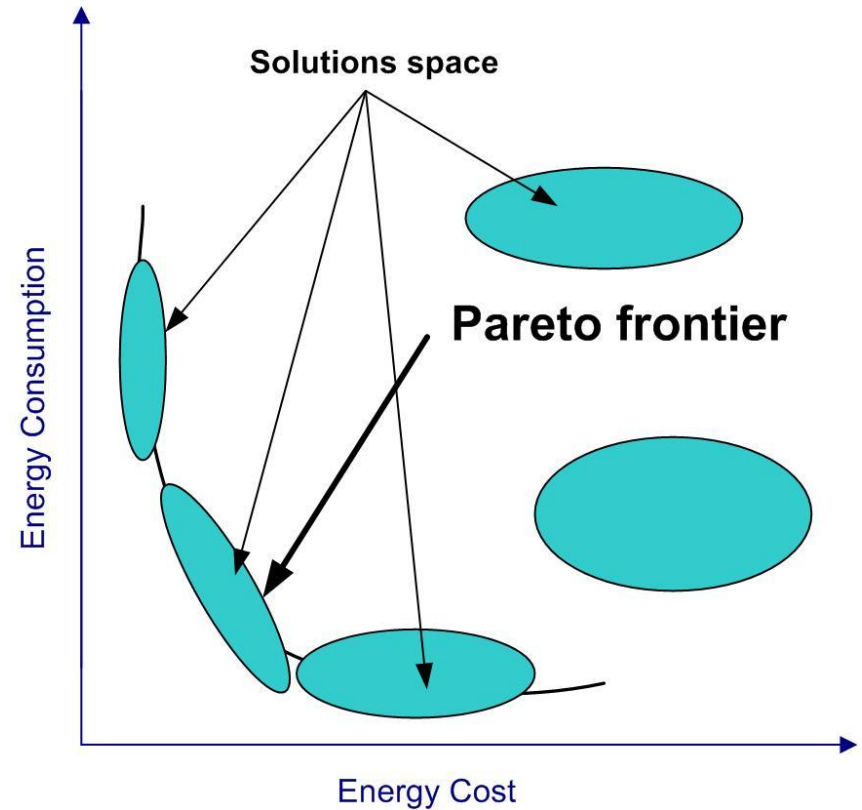
Παράδειγμα Πολλών Στόχων

- ✓ Κλασσική περίπτωση προβλήματος πολλαπλών στόχων αποτελεί ο σχεδιασμός λειτουργίας ενός τεχνητού υδροταμιευτήρα, όπως είναι η Λίμνη Πλαστήρα στο Ν. Καρδίτσας. Η δημιουργία της Λίμνης Πλαστήρα πραγματοποιήθηκε το 1959 με την ολοκλήρωση του φράγματος του ποταμού Ταυρωπού με σκοπό τον περιορισμό των επιπτώσεων των έντονων πλημμυρών που έπλητταν την περιοχή στα μέσα της δεκαετίας του 1950. Πέραν του κοινωνικού χαρακτήρα που είχε η δημιουργία της Λίμνης Πλαστήρα για τους οικισμούς της ευρύτερης περιοχής, με στόχο τον έλεγχο και τη διευθέτηση των πλημμυρικών φαινομένων, ταυτόχρονα εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς όπως:
- ✓ η κάλυψη σημαντικού ποσοστού των απαιτούμενων ποσοτήτων υδρευτικού νερού για την πόλη της Καρδίτσας,
- ✓ οι αρδευτικές ανάγκες όχι μόνο της περιοχής αλλά και της ευρύτερης περιοχής του Θεσσαλικού Κάμπου,
- ✓ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το κατάντη παρακείμενο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της ΔΕΗ,
- ✓ η προστασία ευαίσθητων οικοσυστημάτων που ενδημούν στην ευρύτερη περιοχή,
- ✓ η ανάπτυξη ήπιων δραστηριοτήτων αναψυχής για τους κατοίκους και τους επισκέπτες της περιοχής,
- ✓ η ανάπτυξη δραστηριοτήτων αγροτουρισμού και οικοτουρισμού.



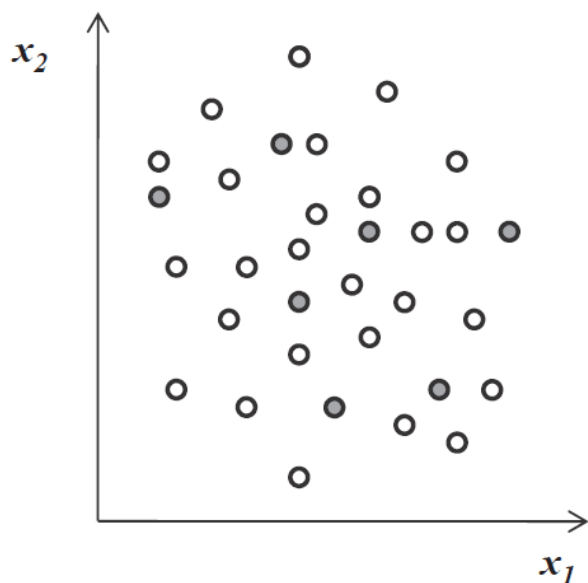
Πολυστοχικός προγραμματισμός

- Όταν οι εναλλακτικές λύσεις/επιλογές είναι πολλές και μη συγκεκριμένες, τότε είτε διακριτοποιούμε το χώρο αποφάσεων για να δημιουργήσουμε συγκεκριμένες, γνωστές και πεπερασμένες στον αριθμό εναλλακτικές επιλογές για να χρησιμοποιήσουμε MCDA τεχνικές ή αφήνουμε τις εναλλακτικές λύσεις/επιλογές που αντιμετωπίζει ο αποφασίζων άπειρες και χρησιμοποιούμε MOP τεχνικές. Στην περίπτωση MOP δεν υπάρχει μια βέλτιστη λύση.

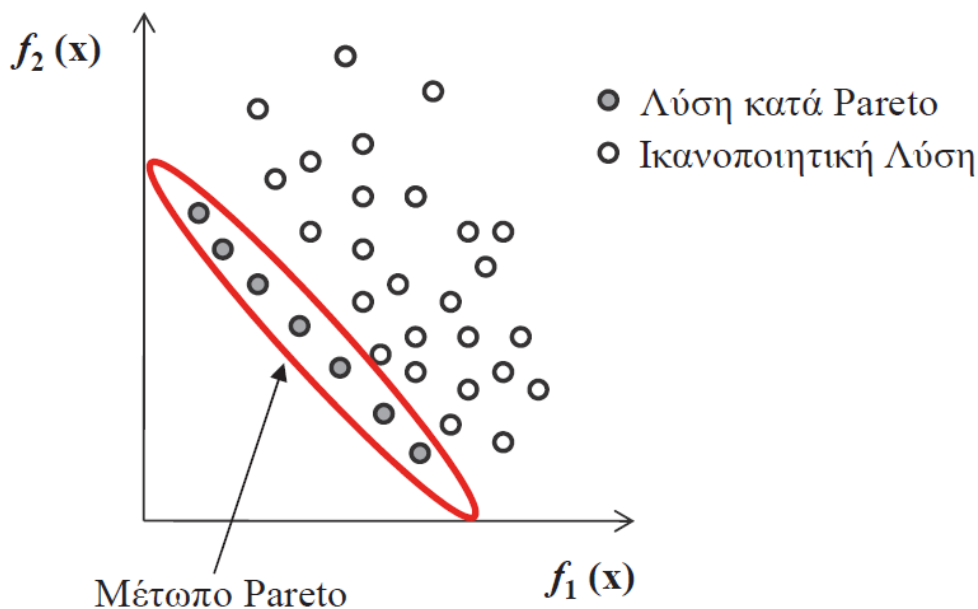


Μέτωπο Pareto

A) Πεδίο τιμών μεταβλητών απόφασης
(Decision Space)



B) Πεδίο τιμών αντικειμενικών συναρτήσεων
(Objective Space)



Σχήμα 6.3: Βέλτιστες λύσεις κατά Pareto για δισδιάστατο πρόβλημα με 2 αντικειμενικές συναρτήσεις

Γενετικοί Αλγόριθμοι και Βελτιστοποίηση

Δ. Κολοκοτσά



Στοιχεία και Εφαρμογές ΓΑ

- ✓ Εισαγωγή
- ✓ Κωδικοποίηση
- ✓ Επιλογή και Αναπαραγωγή
- ✓ Μετάλλαξη
- ✓ Παραδείγματα – Εφαρμογές



Βιβλιογραφία

- ✓ <http://psifiakoskosmos.files.wordpress.com/2009/12/likothanasis1.pdf>
- ✓ http://edu.eap.gr/pli/pli31/docs/GAs_introduction.pdf
- ✓ <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/>



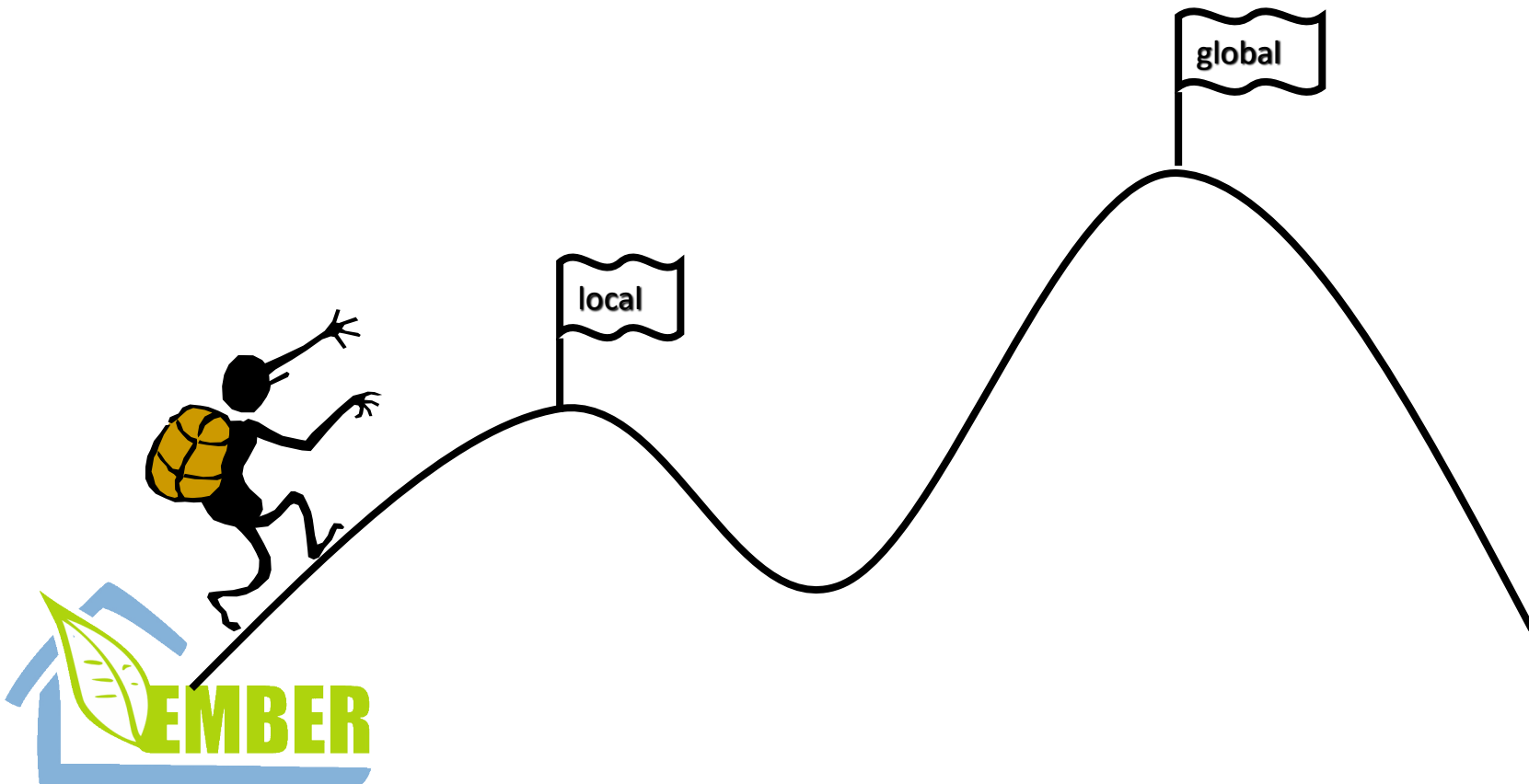
Τεχνητή νοημοσύνη και βελτιστοποίηση

- ✓ Εξελικτικός προγραμματισμός
- ✓ Γενετικοί αλγόριθμοι
- ✓ Νευρωνικά Δίκτυα
- ✓ Ασαφής λογική
- ✓ Θεωρία Σμήνους σωματιδίων

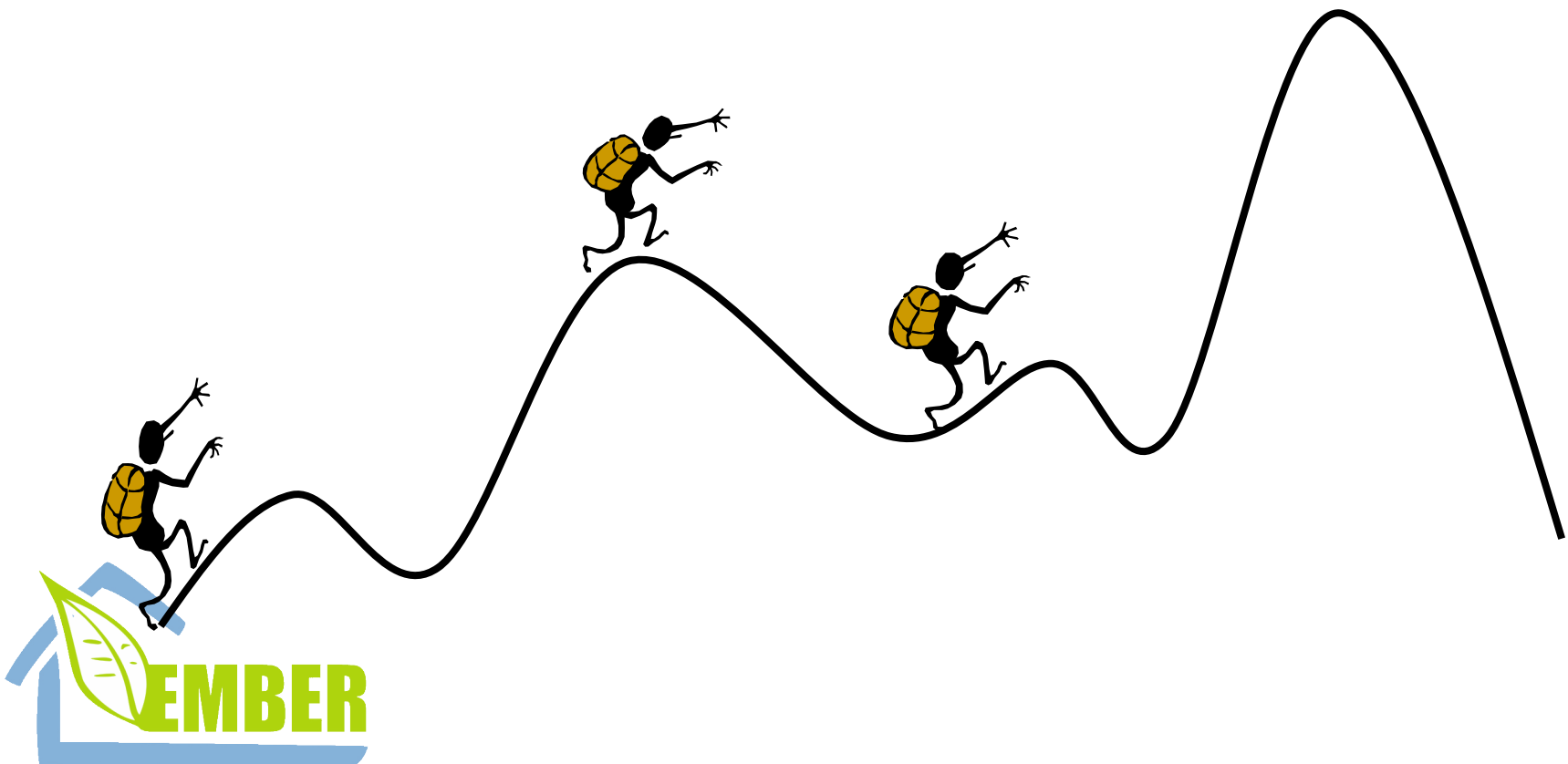
Υπολογιστική Νοημοσύνη



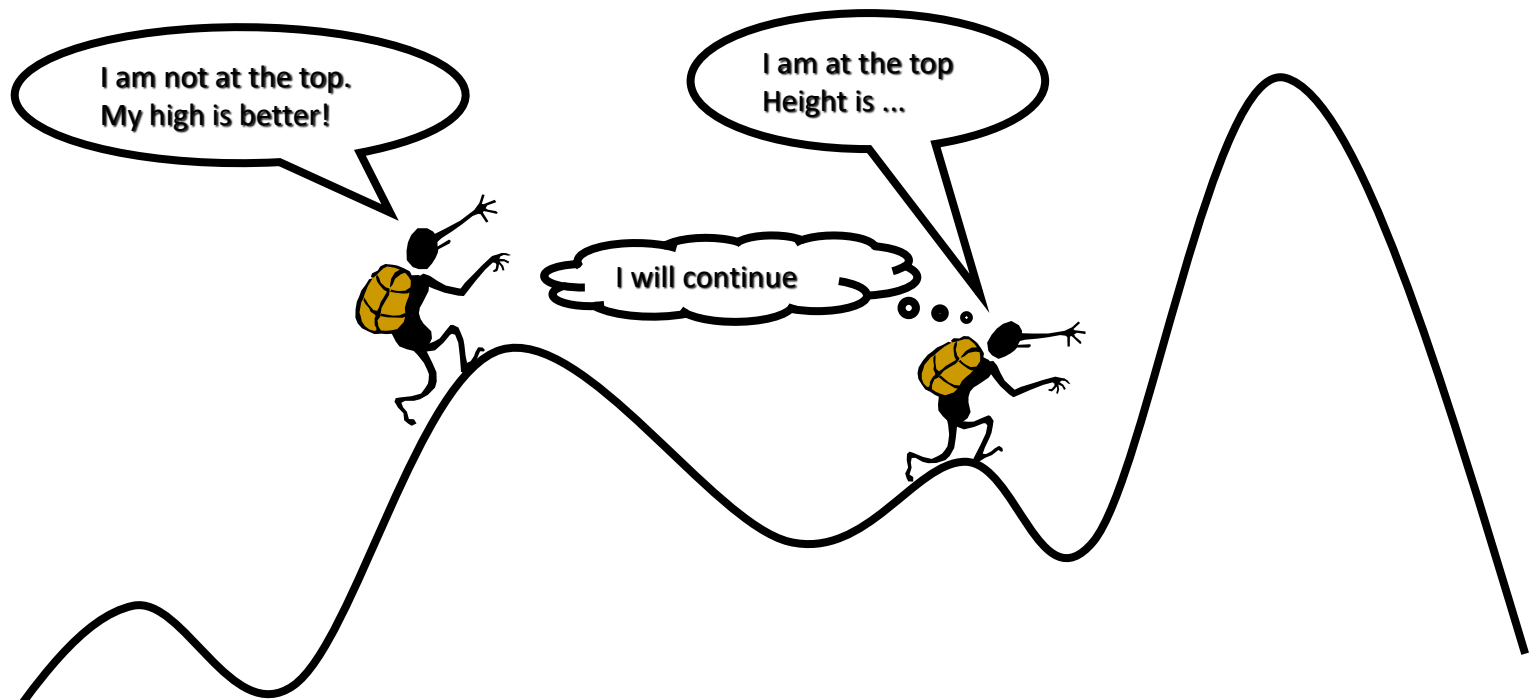
Hill climbing



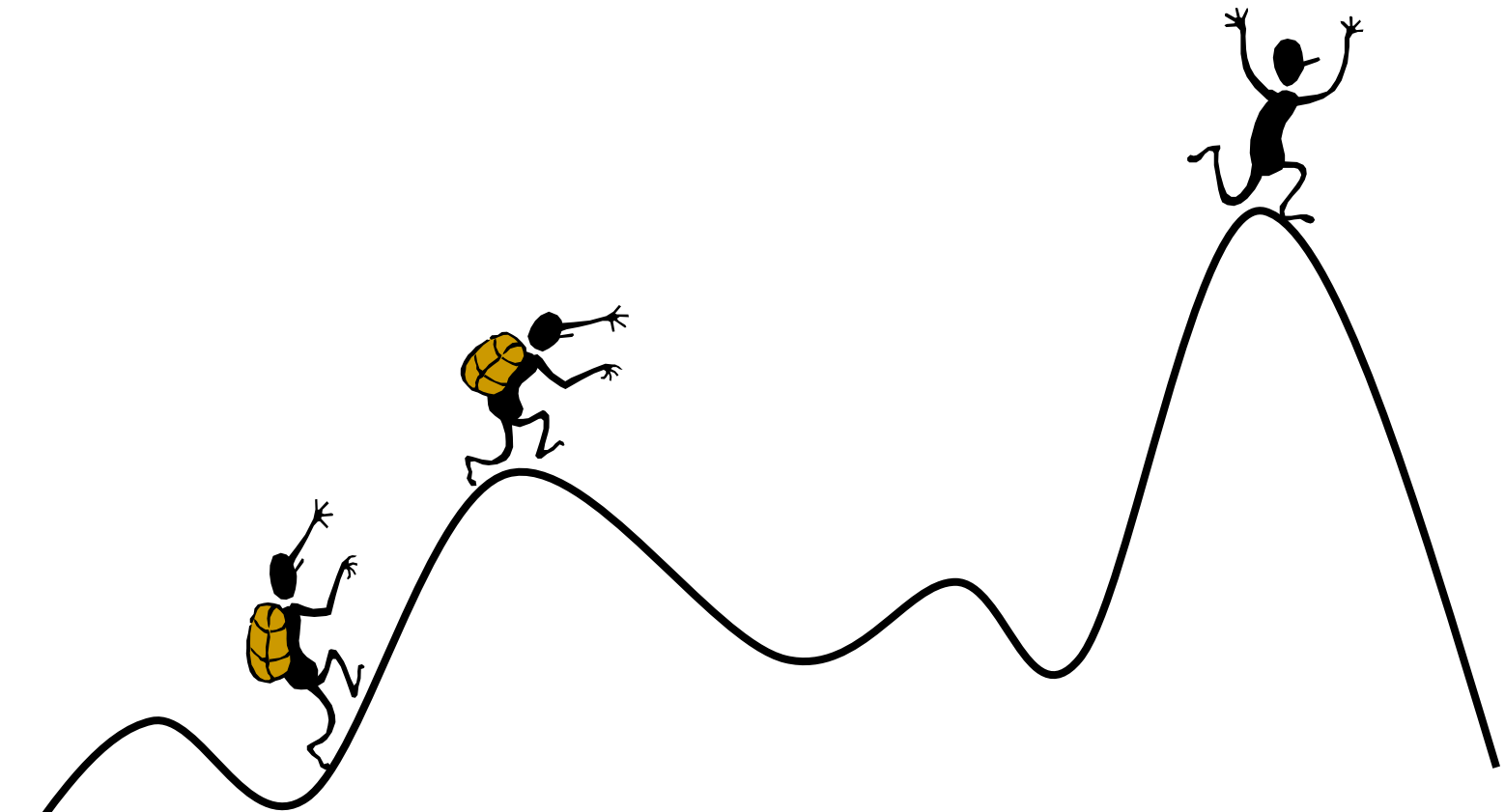
Multi Climbers



Γενετικοί Αλγόριθμοι



Γενετικοί Αλγόριθμοι



Γενετικοί αλγόριθμοι - Εισαγωγή

- ❑ Οι κλασσικές μέθοδοι αναζήτησης δεν μπορούν να επιλύσουν προβλήματα που διαθέτουν μεγάλο όγκο. Λύση δίνουν οι στοχαστικοί αλγόριθμοι.
- ❑ Οι **γενετικοί αλγόριθμοι** (ΓΑ) ανήκουν στην κατηγορία των πιθανοκρατικών και στοχαστικών αλγορίθμων και η λειτουργία τους είναι εμπνευσμένη από την Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης στην φύση (evolution).
- ❑ Οι **γενετικοί αλγόριθμοι** (genetic algorithms) αποσκοπούν στην επίλυση γενικά πολύπλοκων προβλημάτων με πολλές μεταβλητές.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι εκτελούν μία αναζήτηση στο χώρο των υποψήφιων λύσεων, με στόχο την εύρεση αποδεκτών, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο λύσεων.



Δομή ενός οργανισμού (-το πρόβλημα)

- Τα χαρακτηριστικά των ατόμων κωδικοποιούνται σε δομές που ονομάζονται **χρωμοσώματα (chromosomes)**.
- Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από δομές που ονομάζονται **γονίδια (genes)**.
- Το σύνολο της πληροφορίας που αποθηκεύεται στα γονίδια αποτελεί το **γονότυπο (genotype)**.
- Για τη δημιουργία των χαρακτηριστικών ενός νέου οργανισμού απαιτείται η **αποκωδικοποίηση του γονότυπου**. Το σύνολο των «ορατών» χαρακτηριστικών που προκύπτει αποτελεί το **φαινότυπο (phenotype)**.

Αναπαραγωγή (αλλαγές μεταβλητών)

- ❑ Οι οργανισμοί που δεν μπορούν να επιβιώσουν στο περιβάλλον τους πεθαίνουν, ενώ οι υπόλοιποι πολλαπλασιάζονται μέσω της **αναπαραγωγής**.

Στην αναπαραγωγή δημιουργείται ένας νέος οργανισμός, τα χρωμοσώματα του οποίου προέρχονται κατά το ήμισυ από τον κάθε γονέα.

- ❑ Η επιλογή των υποψήφιων γονέων γίνεται μέσω διαδικασιών που διαφέρουν από είδος σε είδος.
- ❑ Για κάθε χαρακτηριστικό το νέο άτομο παίρνει **ένα γονίδιο** από τους γονείς.
- ❑ Τα γονίδια των 2 γονέων που είναι υπεύθυνα για το ίδιο χαρακτηριστικό (και συνεπώς διεκδικούν την ίδια θέση σε ένα χρωμόσωμα) καλούνται **αλληλόμορφα**.
- ❑ Το γονίδιο που θα επικρατήσει καλείται **κυρίαρχο ή επικρατές** και το άλλο **υπολειπόμενο**.



Μετάλλαξη (αλλαγή μεταβλητών)

- ❑ Οι απόγονοι παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις από τους προγόνους τους, ενώ συνήθως υπερισχύουν αυτοί που συγκεντρώνουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά.
- ❑ Σποραδικά συμβαίνουν τυχαίες **μεταλλάξεις**, από τις οποίες οι περισσότερες οδηγούν τα μεταλλαγμένα άτομα στον θάνατο, αν και είναι πιθανό, πολύ σπάνια όμως, να οδηγήσουν στην δημιουργία νέων «**καλύτερων οργανισμών**».
 - ❑ Η μετάλλαξη οφείλεται σε παράγοντες γενετικούς (π.χ. εσφαλμένη αντιγραφή των γονιδίων) ή σε επίδραση του περιβάλλοντος.
 - ❑ Στη μετάλλαξη γίνεται με τυχαίο τρόπο αλλαγή της δομής των χρωμοσωμάτων.
- ❑ Αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αργούς ρυθμούς, τα διάφορα είδη μπορούν να εξελίσσονται σταδιακά ώστε να προσαρμόζονται σε αυτό.



Ανάπτυξη Γενετικών Αλγορίθμων

- ❑ Οι ΓΑ αναπτύχθηκαν βάσει του παραπάνω βιολογικού μοντέλου φυσικής επιλογής από το Holland, 1975.
- ❑ Ένας ΓΑ είναι μια ειδική τεχνική παραμετρικής βελτιστοποίησης με ή χωρίς περιορισμούς που μιμείται τους μηχανισμούς της φύσης.
- ❑ Κάθε ΓΑ διαθέτει έναν πληθυσμό από υποψήφιες λύσεις, οι οποίες αναπαράγονται και μεταλλάσσονται σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία.
- ❑ Στους ΓΑ συνήθως το χρωμόσωμα είναι ένας πίνακας και τα γονίδια τα στοιχεία του πίνακα. Η αποτίμηση του πίνακα με τη χρήση κάποιας συνάρτησης είναι ο φαινότυπος.



Χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες στη δομή ενός Γενετικού Αλγόριθμου

- ❑ Οι ΓΑ διατηρούν ένα πληθυσμό πάνω στον οποίο πειραματίζονται, σε αντιδιαστολή με άλλες μεθόδους που επεξεργάζονται 1 μόνο σημείο του χώρου αναζήτησης.
- ❑ Η διατήρηση πληθυσμού εξασφαλίζει την αναζήτηση σε πολλές κατευθύνσεις και τη δυνατότητα καταγραφής και ανταλλαγής πληροφοριών (διασταύρωση) μεταξύ αυτών των κατευθύνσεων.
- ❑ Ο πληθυσμός υφίσταται μια γενετική εξέλιξη, με τις καλές λύσεις να αναπαράγονται και τις κακές να αφαιρούνται.
- ❑ Ο διαχωρισμός και η αξιολόγηση των λύσεων γίνεται με τη βοήθεια της **αντικειμενικής συνάρτησης** (ή **συνάρτησης καταλληλότητας**, συνάρτησης αξιολόγησης, συνάρτησης ικανότητας, συνάρτησης κόστους, **fitness function**), που προσομοιώνει το περιβάλλον μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η εξέλιξη.



Αντιστοιχίες

Φύση		ΓΑ
Χρωμόσωμα	→	Συμβολοσειρά
Γονίδιο	→	Σύμβολο
Locus	→	Θέση συμβολοσειράς
Γονότυπος	→	Πληθυσμός
Φαινότυπος	→	Αποκωδικοποιημένη δομή

Γενική Μορφή Γενετικού Αλγόριθμου

Βήματα υλοποίησης ενός ΓΑ:

1. Τυχαία δημιουργία ενός αρχικού πληθυσμού Π , με N υποψήφιας λύσεις.
2. Βαθμολόγηση κάθε υποψήφιας λύσης χρησιμοποιώντας μία **συνάρτηση καταλληλότητας** (δηλαδή πόσο κοντά είναι σε μία αποδεκτή λύση).
3. Σχηματισμός $N/2$ ζευγαριών όχι απαραίτητα μοναδικών γονέων, δίνοντας μεγαλύτερη προτεραιότητα στις πλέον κατάλληλες λύσεις.
4. Κάθε ζευγάρι ζευγαρώνει (mates) δίνοντας δύο νέες λύσεις, τους απογόνους (offsprings).
5. Σε κάποιους απογόνους λαμβάνουν χώρα και μεταλλάξεις γονιδίων.
6. Ο νέος πληθυσμός Π' αποτελείται από το σύνολο των απογόνων και συνήθως αποτελεί βελτίωση του προηγούμενου πληθυσμού.
7. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το νέο πληθυσμό Π' .



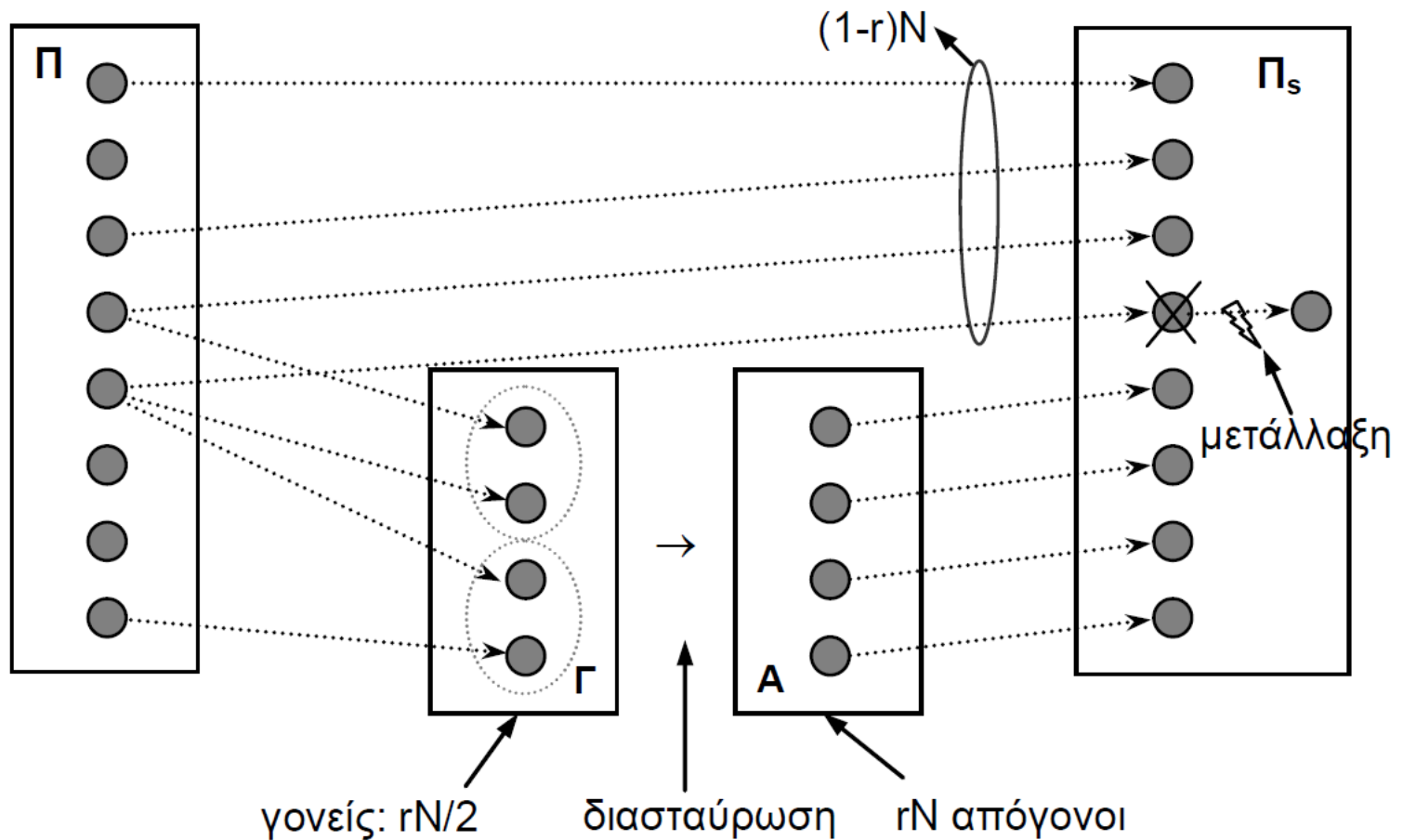
Γενική Μορφή Γενετικού Αλγόριθμου

Ένας γενετικός αλγόριθμος για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα περιλαμβάνει **πέντε συστατικά**:

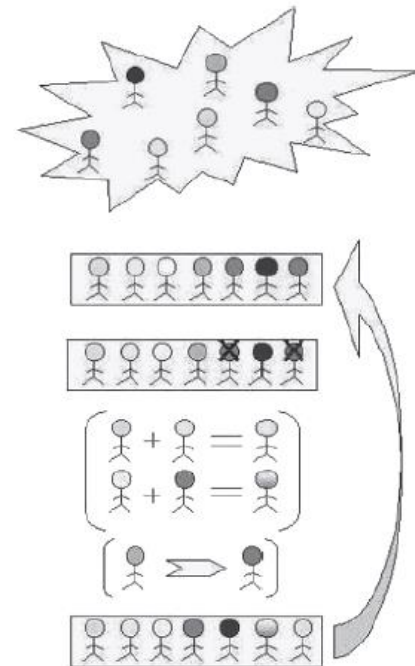
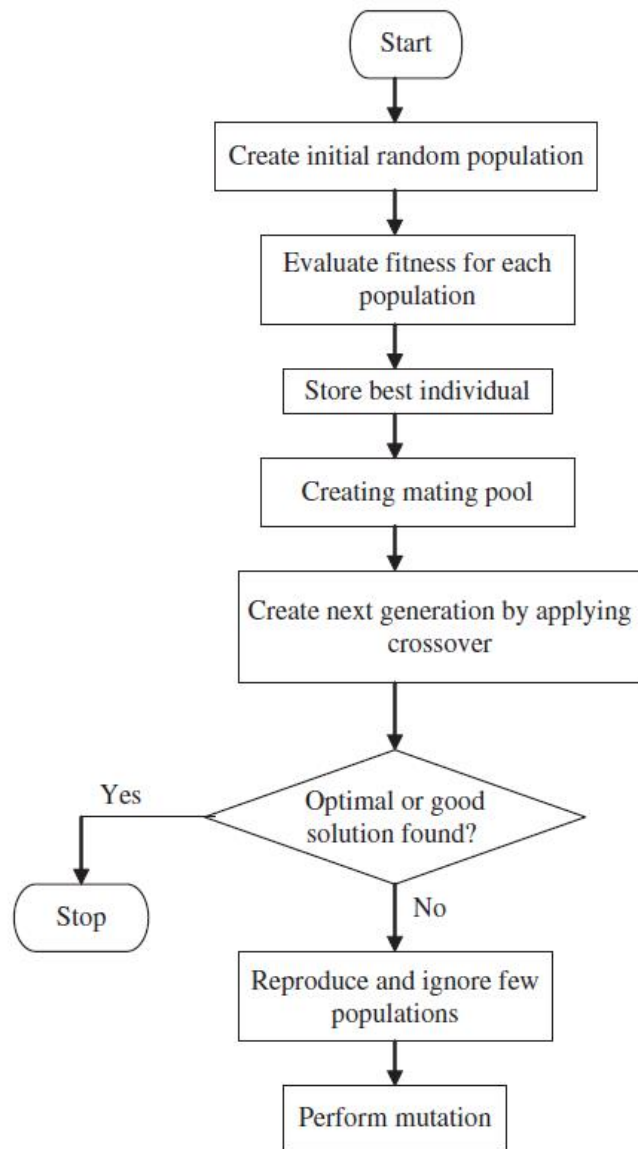
- Δημιουργία αρχικού πληθυσμού (συνήθως δημιουργείται τυχαία)
- Αναπαράσταση λύσεων
- Συνάρτηση καταλληλότητας
- Επιλογή γονέων
- Διαδικασία αναπαραγωγής



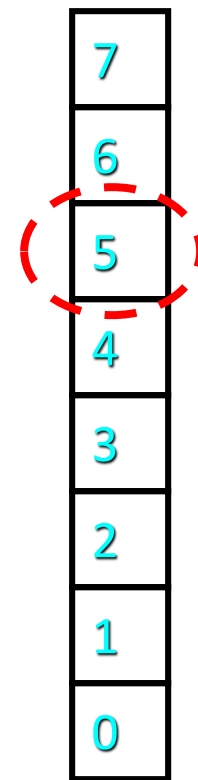
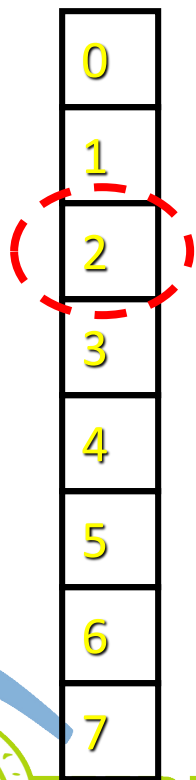
Σχηματική Αναπαράσταση ΓΑ



Αλγοριθμική αναπαράσταση ΓΑ



Αναπαράγωγή 1 σημείου

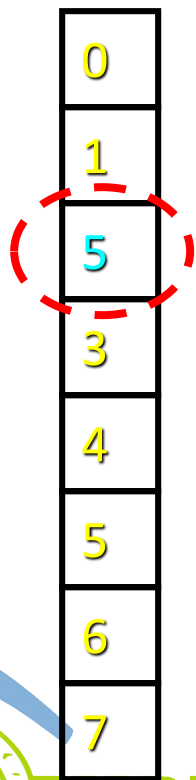


Parent #1

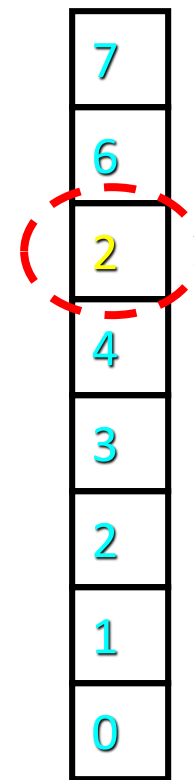
Parent #2



Αναπαράγωγή 1 σημείου



Child #1



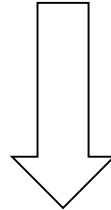
Child #2



Μετάλλαξη..

Parent

1	1	0	1	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---



Child

0	1	0	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Πλεονεκτήματα ΓΑ

- ❑ **Γρήγορη και αξιόπιστη επίλυση δύσκολων προβλημάτων** (π.χ. μέθοδοι ελαχιστοποιήσεως, Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα).
- ❑ **Απλοί στην υλοποίησή τους, δεν απαιτούνται περιορισμοί στις αντικειμενικές συναρτήσεις, δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας** (κωδικοποίηση μόνο της αντικειμενικής συνάρτησης και όχι των περιορισμών) → **Συνεργασία με υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα** για επιτάχυνση της επίλυσης και βελτίωση της ποιότητας της λύσης. **Δυνατότητα συμμετοχής σε άλλες μεθόδους υπό υβριδικές μορφές** ως αποτέλεσμα της ευελιξίας τους.
- ❑ **Επεκτασιμότητα και δυνατότητα εξέλιξης** (δυνατότητα προσαρμογής γενετικών τελεστών στο υπάρχον πρόβλημα).
- ❑ **Εφαρμογή σε μεγαλύτερο εύρος πεδίων**, σε σχέση με άλλες μεθόδους, λόγω ευελιξίας και μικρών απαιτήσεων.
- ❑ **Ανθεκτικότητα σε σφάλματα** (δυνατότητα να τα ξεπερνούν και να οδηγούν το σύστημα σε αξιόπιστη λύση).
- ❑ **Δυνατότητα παραλληλισμού** (π.χ. δημιουργία παράλληλης εκδοχής υποψήφιων λύσεων, υπολογισμός αντικειμενικής συνάρτησης σε διαφορετικούς επεξεργαστές, δημιουργία υποπληθυσμών λύσεων).
- ❑ **Δυνατότητα ταυτόχρονης εξερεύνησης του χώρου, αναζήτησης και εκμετάλλευσης της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.**



Μειονεκτήματα ΓΑ

- ❑ Αργός χρόνος σύγκλισης ειδικά για πολύπλοκα προβλήματα.
- ❑ Κίνδυνος εγκλωβισμού σε τοπικά ελάχιστα της αντικειμενικής συνάρτησης λόγω κακού αρχικού σχεδιασμού.

Αντιμετώπιση μέσω:

- Προσεκτικού σχεδιασμού του ΓΑ
- Κατάλληλης προσαρμογής παραμέτρων ΓΑ στο συγκεκριμένο πρόβλημα