

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
Π.Σ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ
ΜΑΘΗΜΑ 9^ο

ΣΤΑΥΡΟΣ ΑΔΑΜ

ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2020-2021

- Ο Εξελικτικός Υπολογισμός (ΕΥ) βασίζεται στην εφαρμογή της θεωρίας της εξέλιξης του Δαρβίνου και συγκεκριμένα του μηχανισμού της φυσικής επιλογής (natural selection) για την αυτοματοποιημένη επίλυση προβλημάτων που ανάγονται κυρίως σε προβλήματα βελτιστοποίησης.
- Η ιδέα για την εφαρμογή της θεωρίας πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του '50, πολύ πριν την ουσιαστική εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, με τις ερευνητικές εργασίες των Bremermann, Friedberg και Box .

- Στη συνέχεια, τη δεκαετία του '60, ο Fogel και οι συνεργάτες του εισήγαγαν τον Εξελικτικό Προγραμματισμό, ενώ ο Holland παρουσίασε τη μέθοδο που ονόμασε Γενετικό Αλγόριθμο. Ταυτόχρονα, οι Rechenberg και Schwefel διατύπωσαν τις λεγόμενες Στρατηγικές Εξέλιξης. Τέλος, ο Koza, το 1989 παρουσίασε την δική του προσέγγιση με τον τίτλο Γενετικός Προγραμματισμός.
- Σήμερα, οι προσεγγίσεις αυτές χαρακτηρίζουν επί μέρους περιοχές του χώρου που αντιπροσωπεύει ο γενικότερος όρος του Εξελικτικού Υπολογισμού.

Μεταξύ των αξιωμάτων που θεμελιώνουν την θεωρία της εξέλιξης των ειδών αξίζει να σημειώσουμε τα επόμενα στα οποία βασίζονται όλες οι ανωτέρω προσεγγίσεις:

1. Τα άτομα σε ένα πληθυσμό ποικίλουν μεταξύ τους
2. Η ποικιλομορφία αυτή κληρονομείται από γενεά σε γενεά
3. Σε κάθε γενεά αναπαράγονται περισσότεροι απόγονοι από όσους μπορούν να επιβιώσουν

4. Η επιβίωση και η αναπαραγωγή των ατόμων δεν είναι τυχαίες. Τα άτομα που επιβιώνουν και προχωρούν σε αναπαραγωγή, ή αναπαράγονται περισσότερο από τα άλλα, είναι αυτά που διαθέτουν τις πλέον ευνοϊκές διαφοροποιήσεις. Επιλέγονται με βάση τη διαδικασία της φυσικής επιλογής.

Κατά συνέπεια, δεδομένου ενός πληθυσμού ατόμων, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η ανάγκη για επιβίωση επιβάλλουν, στα άτομα του πληθυσμού, την επικράτηση μέσω της φυσικής επιλογής ή αλλιώς

- την επιβίωση του καταλληλότερου-ισχυρότερου (survival of the fittest).
- Η ισχυροποίηση του ατόμου επιτρέπει τη μακροημέρευση του και άρα τη δημιουργία περισσότερων απογόνων με αποτέλεσμα, τουλάχιστον, την αύξηση της πιθανότητας επιβίωσης περισσότερων ατόμων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενδυνάμωση των ατόμων και κατά συνέπεια την ισχυροποίηση του πληθυσμού.

- Κάποιος μπορεί να αντιληφθεί αυτή τη διεργασία ως μια μακροπρόθεσμη διαδικασία βελτιστοποίησης κατά την οποία τα άτομα του πληθυσμού έχουν ως στόχο την ατομική ισχυροποίηση και μέσω αυτής τη μεγιστοποίηση της ικανότητας επιβίωσης του πληθυσμού
- Στα πλαίσια του ανταγωνισμού με πληθυσμούς από άλλα είδη

- Αν η ικανότητα επιβίωσης παρασταθεί με κάποια αντικειμενική συνάρτηση τότε η βελτιστοποίηση αυτής της συνάρτησης θα αντιπροσωπεύει τη μεγιστοποίηση της ικανότητας επιβίωσης του πληθυσμού, πάντα με όρους φυσικής επιλογής της εξελικτικής θεωρίας.
- Κάθε άτομο του πληθυσμού είναι φορέας μιας υποψήφιας λύσης του προβλήματος βελτιστοποίησης και για το λόγο αυτό ονομάζεται υποψήφιος.

- Αν επιχειρήσουμε να διατυπώσουμε, σε γενικές γραμμές, αυτή τη διαδικασία βελτιστοποίησης θα πρέπει να περιγράψουμε τη ροή της ως μια επανάληψη. Σε κάθε «κύκλο» αυτής της επανάληψης ή αλλιώς γενεά επιλέγονται ορισμένοι υποψήφιοι από τον πληθυσμό με βάση την επίδοσή τους όπως αυτή υπολογίζεται από την αντικειμενική συνάρτηση και χαρακτηρίζονται ως βέλτιστοι.
- Τα άτομα αυτά είναι οι γεννήτορες υποψηφίων για την επόμενη γενεά η οποία δημιουργείται εφαρμόζοντας διασταύρωση ή/και μετάλλαξη.

- Η διασταύρωση ασκείται σε δύο άτομα του πληθυσμού και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο νέων ατόμων που αντικαθιστούν στον πληθυσμό τους γεννήτορες τους.
- Η μετάλλαξη ασκείται σε ένα υποψήφιο ο οποίος με τον τρόπο αυτό καθίσταται ένας νέος υποψήφιος του πληθυσμού.
- Έτσι, η εφαρμογή της διασταύρωσης και της μετάλλαξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία απογόνων και την εισαγωγή τους στον πληθυσμό που αποτελεί μια νέα γενεά.

- Για την «επιβίωση» τους στη νέα αυτή γενεά οι απόγονοι ανταγωνίζονται τους παλαιούς υποψήφιους με βάση την επίδοση τους όπως προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση. Με τον τρόπο αυτό η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου βρεθεί λύση στο πρόβλημα ή μέχρι να εξαντληθούν τα χρονικά περιθώρια που έχουν καθοριστεί για τη διαδικασία βελτιστοποίησης.

Η θεωρία της εξέλιξης υποθέτει ότι η εμφάνιση νέων ειδών που είναι προσαρμοσμένα στο περιβάλλον είναι απόρροια δύο παραγόντων:

- του μηχανισμού επιβίωσης του ισχυροτέρου και
- των μεταβολών στο περιβάλλον που είναι απρόβλεπτες και άρα τυχαίες.

- Κατά συνέπεια η διαδικασία βελτιστοποίησης που περιγράφηκε προηγουμένως θα πρέπει να κάνει χρήση τελεστών οι οποίοι να εξασφαλίζουν την τυχαιότητα τόσο με την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των υποψηφίων κατά τη διασταύρωση, όσο και με τις αλλαγές που επέρχονται σε έναν υποψήφιο κατά τη μετάλλαξη.
- Όσον αφορά τις ενέργειες επιλογής των υποψηφίων αυτές είναι δυνατόν να ακολουθούν κάποια στρατηγική και κατά συνέπεια να είναι αιτιοκρατικές ή να είναι τυχαίες.

Αλγόριθμος 2.1 Γενικό σχήμα εξελικτικού αλγορίθμου

- 1: Αρχικοποίηση πληθυσμού με τυχαία επιλογή ατόμων (υποψήφια λύσεων);
 - 2: Αξιολόγηση όλων των ατόμων του πληθυσμού (υπολογισμός της καταλληλότητας των λύσεων)
 - 3: **while** δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια τερματισμού **do**
 - 4: Επιλογή γονητόρων από τον γονεϊκό πληθυσμό;
 - 5: Δημιουργία απογόνων με εφαρμογή τελεστών μεταβολής στους γεννήτορες;
 - 6: Αξιολόγηση της καταλληλότητας των νεογέννητων;
 - 7: Αντικατάσταση ατόμων του γονεϊκού πληθυσμού από επιλεγμένους απογόνους;
 - 8: **end while**
-

- Για τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας βελτιστοποίησης των προσεγγίσεων του ΕΥ ισχύουν τα ακόλουθα:
 - a) Το σχήμα βελτιστοποίησης εντάσσεται στην κατηγορία των τεχνικών δοκιμής και σφάλματος (trial and error).
 - b) Η αντικειμενική συνάρτηση προσεγγίζει τη λύση του προβλήματος ευρετικά παράγοντας μια ποιοτική εκτίμηση της βέλτιστης λύσης.
 - c) Η διαδικασία εξερεύνησης του χώρου του προβλήματος καθοδηγείται από τους τελεστές διασταύρωσης και μετάλλαξης.

Για τη σχεδίαση και τη χρήση μεθόδων βελτιστοποίησης που βασίζονται στον ΕΥ είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη δύο στοιχεία:

- A. Η γενετική πολυμορφία (genetic diversity). Η μέθοδος θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι τόσο οι τελεστές μετάλλαξης και διασταύρωσης όσο και η επιλογή διατηρούν την ποικιλομορφία στο σύνολο του πληθυσμού και ότι αυτή μεταφέρεται από γενεά σε γενεά.

- Σε περιπτώσεις που αυτό δεν συμβαίνει τα άτομα του πληθυσμού τείνουν να αποκτούν κοινά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να συνωστίζονται σε μικρές περιοχές του χώρου αναζήτησης αντί να εκτείνονται σε όλο το εύρος του.
- Έτσι αν η μη εφαρμογή γενετικής πολυμορφίας έχει ως συνέπεια τα προτερήματα της μεθόδου να εξαφανίζονται ενώ το υπολογιστικό κόστος της μεθόδου να υψηλό.

B. Η εξερεύνηση και η εκμετάλλευση (exploration and exploitation). Οι όροι αυτοί που χρησιμοποιούνται ως ζεύγος χαρακτηρίζουν ένα δίλημμα που συνοδεύει τις μεθόδους ΕΥ. Συγκεκριμένα η εξερεύνηση αναφέρεται στην τάση να εξερευνηθεί σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος ο χώρος των λύσεων του προβλήματος ενώ αντίθετα η εκμετάλλευση προκρίνει την αναζήτηση βέλτιστης λύσης στη γειτονιά της καλλίτερης λύσης που έχει βρεθεί από τη μέθοδο έως εκείνη την επανάληψη.

- Είναι προφανές ότι δεν υπάρχει σαφής απάντηση στο δίλημμα αυτό χωρίς προηγούμενη γνώση του χώρου των λύσεων.
- Η εξελικτική μέθοδος βελτιστοποίησης θα πρέπει να προβλέπει την εμφάνιση του εν λόγω διλήμματος και να το προσεγγίζει εφαρμόζοντας ευρετικές τεχνικές (μετα-ευρετικές) που εξασφαλίζουν τη μέγιστη αποδοτικότητα της.

- Κατηγορίες εξελικτικών αλγορίθμων που αναφέρονται και ως διαφορετικές διάλεκτοι του ΕΥ και είναι:
 - Ο Γενετικός Αλγόριθμος
 - Ο Γενετικός Προγραμματισμός
 - Ο Εξελικτικός Προγραμματισμός
 - Οι Εξελικτικές Στρατηγικές
 - Οι Διαφοροεξελικτικοί Αλγόριθμοι

Νευροεξελικτική προσέγγιση η οποία είναι συγγενής προς το Γενετικό Προγραμματισμό αλλά τα γονίδια αναπαριστούν ΤΝΔ περιγράφοντας τη δομή και τα συναπτικά βάρη του δικτύου με άμεση ή έμμεση κωδικοποίηση αυτών των χαρακτηριστικών.

Υλοποιήσεις αυτής της προσέγγισης:

- GeNeralized Acquisition of Recurrent Links (GNARL), ενός εξελικτικού αλγορίθμου που κατασκευάζει αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα
- Το σύστημα NEAT (Neuro Evolution of Augmenting Topologies) των Stanley και Miikkulainen που εξελίσσει αυξητικά τοπολογίες ΤΝΔ

- Το εξελικτικό σύστημα EPNet για την κατασκευή νευρωνικών δικτύων που έχουν τη δυνατότητα εξέλιξης

Αν και κάθε μια από τις ανωτέρω περιπτώσεις συνιστά το αποτέλεσμα μιας διαφορετικής προσέγγισης του μηχανισμού της εξέλιξης εν τούτοις το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί τη διατύπωση ενός αλγορίθμου ολικής βελτιστοποίησης.

Βελτιστοποίηση

- Γενικά, για κάποιο πρόβλημα, η βελτιστοποίηση αναφέρεται στην αναζήτηση της «καλύτερης» από όλες τις δυνατές λύσεις που επιδέχεται το εν λόγω πρόβλημα.
- Αν δεχτούμε ότι ένα πρόβλημα είναι δυνατό να περιγραφεί μαθηματικά, δηλ. να μοντελοποιηθεί, με μία συνάρτηση τότε η βελτιστοποίηση συνίσταται στη βελτιστοποίηση της εν λόγω συνάρτησης.
- Έτσι, ως βελτιστοποίηση χαρακτηρίζεται η διαδικασία εύρεσης εκείνης της τιμής από το πεδίο ορισμού της συνάρτησης στην οποία η συνάρτηση εμφανίζει ολικό (ή τοπικό) μέγιστο ή ελάχιστο.

Βελτιστοποίηση (συνέχεια)

- Στην απλούστερη περίπτωση ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης συνίσταται στη **μεγιστοποίηση** ή στην **ελαχιστοποίηση** μιας πραγματικής συνάρτησης
- Θεωρητικά, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συστηματική επιλογή τιμών για την ανεξάρτητη ή τις ανεξάρτητες μεταβλητές από ένα σύνολο επιτρεπτών τιμών και τον υπολογισμό των αντίστοιχων τιμών της συνάρτησης από τις οποίες επιλέγεται η βέλτιστη (μέγιστη ή ελάχιστη).

Βελτιστοποίηση (συνέχεια)

- Δεδομένης της πραγματικής συνάρτησης $f: A \rightarrow R$ από κάποιο σύνολο προς το σύνολο των πραγματικών αριθμών, ζητείται να βρεθεί στοιχείο $x_0 \in A$ τέτοιο ώστε:
 - είτε $f(x) \leq f(x_0), \quad \forall x \in A$
αν πρόκειται για ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης,
 - είτε $f(x) \geq f(x_0), \quad \forall x \in A$
αν πρόκειται για ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης.

Βελτιστοποίηση (συνέχεια)

Συνήθεις ονομασίες για τη συνάρτηση f είναι:

- αντικειμενική συνάρτηση (objective function) ή συνάρτηση κόστους (cost function) αν το πρόβλημα αφορά ελαχιστοποίηση, και
- συνάρτηση χρησιμότητας (utility function) ή ακόμη συνάρτηση ενέργειας (energy function) αν το πρόβλημα αφορά μεγιστοποίηση.

Βελτιστοποίηση (συνέχεια)

- Συνήθως για το πεδίο ορισμού της αντικειμενικής συνάρτησης ισχύει ότι $A \subseteq \mathbb{R}^n$

και το A καθορίζεται από ένα σύνολο περιορισμών τους οποίους απαιτείται να ικανοποιούν τα στοιχεία του. Το σύνολο A ονομάζεται και χώρος αναζήτησης (search space), ή ακόμη εφικτή περιοχή (feasible region), τα δε στοιχεία του ονομάζονται υποψήφιος λύσεις (candidate solutions) ή ακόμη εφικτές λύσεις (feasible solutions).

ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

Βελτιστοποίηση (συνέχεια)

Για ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης	Για ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης
$\min_{x \in A} f(x)$	$\max_{x \in A} f(x)$
$\arg \min_{x \in A} f(x)$	$\arg \max_{x \in A} f(x)$

Βελτιστοποίηση - Παραδείγματα

- Να λυθεί το πρόβλημα: $\min x^2 + 1, x \in R$
- Να λυθεί το πρόβλημα: $\max 2x \quad x \in R$
- Να λυθεί το πρόβλημα:
 $\arg \min(x^2 + 1), \quad x \in (-\infty, -1]$

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι, λόγω της καταγωγής του από την εξελικτική θεωρία, διαφοροποιούνται από τις γνωστές προσεγγίσεις (ολικής) βελτιστοποίησης. Τα σημεία που διαφοροποιούνται είναι:

1. Η Αντικειμενική Συνάρτηση
2. Η Τεχνική Αναζήτησης
3. Η Θεώρηση του Χώρου Αναζήτησης

Η Αντικειμενική Συνάρτηση

- Οι κλασσικές μέθοδοι ενδείκνυνται σε προβλήματα όπου η αντικειμενική συνάρτηση είναι συνεχής και παραγωγίσιμη, γραμμική, κυρτή ή ακόμη είναι γνωστό πως στο χώρο των υποψήφιων λύσεων της υπάρχει ένα ολικό βέλτιστο ενώ απουσιάζουν τα τοπικά βέλτιστα.
- Αντίθετα, οι ΕΑ καλούνται να αντιμετωπίσουν προβλήματα στα οποία η αντικειμενική συνάρτηση δεν είναι υποχρεωτικά παντού συνεχής και παραγωγίσιμη και επί πλέον δεν υπάρχουν πληροφορίες για το είδος και το πλήθος των βέλτιστων σημείων.

Η Τεχνική Αναζήτησης

- Οι «κλασσικές» μέθοδοι βελτιστοποίησης διακρίνονται ως προς την τεχνική αναζήτησης που υιοθετούν κυρίως σε μεθόδους, εξαντλητικής αναζήτησης, στις οποίες ο χώρος των υποψήφιων λύσεων εξετάζεται εξαντλητικά, ή στοχαστικής αναζήτησης.
- Στην περίπτωση των ΕΑ η μετάβαση στο επόμενο σημείο του χώρου αναζήτησης καθοδηγείται από το αποτέλεσμα της αναζήτησης στο τρέχον σημείο συνυπλογίζοντας κάποιους τυχαίους παράγοντες που αφορούν τη διατήρηση της ποικιλομορφίας μεταξύ των ατόμων του πληθυσμού.

- Το σύνολο των παραγόντων που επιλέγονται τυχαία κατά την εφαρμογή ενός ΕΑ και εξαιτίας των οποίων, σε σημαντικό βαθμό, η εξέλιξη του πληθυσμού υπόκειται σε τυχαιότητα, έχει οδηγήσει στην άποψη ότι οι αλγόριθμοι αυτοί ανήκουν στην κατηγορία των στοχαστικών αλγορίθμων.

ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

- Οι στοχαστικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης βασίζονται στην τυχαία δειγματοληψία υποψήφιων λύσεων στο χώρο αναζήτησης με βάση μια τυχαία κατανομή (ομοιόμορφη, Boltzmann, κλπ.) εφαρμόζοντας, πολλές φορές, προσθήκες για τη βελτίωση της αποδοσής τους, όπως στρατηγικές προσαρμοστικής αναζήτησης, ομαδοποίησης σημείων του χώρου και στατιστικούς κανόνες τερματισμού.
- Κατά συνέπεια, μάλλον είναι ορθότερη η άποψη ότι οι ΕΑ αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία εκείνη των Ευρετικών Αλγορίθμων δεδομένου του πλήθους των ευρετικών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούν οι διάφορες προσεγγίσεις για τη διατήρηση των εξελικτικών χαρακτηριστικών.

- Ένας σημαντικός αριθμός αλγορίθμων που προτείνονται για την επίλυση μη κυρτών προβλημάτων βελτιστοποίησης δεν είναι ικανοί να διαφοροποιήσουν ένα τοπικό ελάχιστο (ή μέγιστο) από ένα ολικό ελάχιστο (ή μέγιστο), δηλαδή αυτό που ονομάζεται, μιά αυστηρά βέλτιστη λύση. Έτσι κατά τη διαδικασία εξερεύνησης του χώρου των εφικτών λύσεων το πρώτο σημείο που θα εντοπίσουν θα το θεωρήσουν ως τη βέλτιστη λύση του προβλήματος.
- Ο κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών που αφορά στην ανάπτυξη ντετερμινιστικών αλγορίθμων που είναι ικανοί να συγκλίνουν σε πεπερασμένο χρόνο στη βέλτιστη λύση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης ονομάζεται καθολική βελτιστοποίηση (global optimization).

ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

- Άλλα σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με το είδος της επεξεργασίας που χαρακτηρίζει τις εξελικτικές μεθόδους επίλυσης προβλημάτων και προφανώς αφορούν και τις εξελικτικές μεθόδους βελτιστοποίησης είναι τα εξής:
 - a) Το είδος της αναπαράστασης των υποψήφιων λύσεων του προβλήματος.
 - b) Η μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης που θα λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις και τα δεδομένα του προβλήματος.
 - c) Η αρχικοποίηση του πληθυσμού σε τυχαίες θέσεις στο χώρο των υποψήφιων λύσεων του προβλήματος ώστε ο χώρος να καλύπτεται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

- d) Ο τελεστής διασταύρωσης που θα πρέπει να καθορίζεται σε σχέση με το είδος της αναπαράστασης του χώρου των λύσεων.
- e) Ο τελεστής μετάλλαξης που θα πρέπει να συμβιβάζει την εξερεύνηση με την εκμετάλλευση και να προάγει τη διατήρηση της ποικιλομορφίας του πληθυσμού.
- f) Οι διαδικασίες επιλογής.
- g) Τα κριτήρια τερματισμού.
- h) Η επιλογή παραμέτρων.

- Η Νοημοσύνη Σμήνους (ΝΣ) είναι όρος με τον οποίο αποδίδεται τόσο η συλλογική συμπεριφορά (collective behavior) όσο και η αναδυόμενη νοημοσύνη (emergent intelligence) που αφορά αποκεντρωμένα και συνήθως αυτο-οργανούμενα συστήματα που συνίστανται από ένα πληθυσμό ατόμων.
- Η διατύπωση αυτή προκύπτει ως αποτέλεσμα της παρατήρησης της διαδικασίας με την οποία οργανώνονται κοινωνίες στη φύση όπως για παράδειγμα τα πουλιά τα οποία οργανώνονται σε σμήνη ή τα μυρμήγκια που δομούν αποικίες.

- Τα συμπεράσματα της παρατήρησης αφορούν τόσο στην ατομική συμπεριφορά των μελών της κοινωνίας όσο και στη συλλογική συμπεριφορά της ίδιας της κοινωνίας που αποσκοπούν στη διεκπεραίωση ζωτικών λειτουργιών όπως η αναζήτηση και η συλλογή τροφής ή όπως η μετανάστευση του πληθυσμού.
- Τα συμπεράσματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν αποτελεσματικά από τους Beni και Wang για τη μελέτη των δυνατοτήτων αλληλεπίδρασης και αυτο-οργάνωσης ομάδων από ρομπότ που αποκαλούνται κυψελοειδή ρομποτικά συστήματα (cellular robot systems).

- Η μεταφορά του παραδείγματος από το φυσικό κόσμο και η δημιουργία τεχνικού συστήματος αναλόγων δυνατοτήτων οδηγεί στη δημιουργία συστημάτων ΝΣ τα οποία συντίθενται από ένα πληθυσμό ατόμων που συνήθως αποκαλούνται σωματίδια, ο δε πληθυσμός σμήνος σωματιδίων.
- Έτσι ένα σύστημα Νοημοσύνης Σμήνους είναι ένα σύνολο σωματιδίων (ή πρακτόρων) τα οποία βρίσκονται σε μια συνεργατική σχέση μεταξύ τους και αλληλεπιδρούν με στόχο την ατομική αλλά και τη συλλογική βελτίωση.

- Η συλλογική συμπεριφορά του σμήνους αναδεικνύει μια μορφή νοημοσύνης η οποία βασίζεται στις αρχές της Γειτνίασης, της Ποιότητας, των Ποικίλων Αντιδράσεων, της Ευστάθειας και τέλος της Προσαρμοστικότητας οι οποίες διέπουν τη λειτουργία των συστημάτων αυτών

- Οι Αλγόριθμοι Νοημοσύνης Σμήνους είναι η κλάση των αλγορίθμων οι οποίοι προσομοιώνουν τη δομή και τη συμπεριφορά συστημάτων Νοημοσύνης Σμήνους με στόχο την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης.
- Οι προσεγγίσεις που σήμερα αποτελούν τους σημαντικότερους εκπροσώπους του πεδίου είναι αυτή της βελτιστοποίησης που βασίζεται στο υπόδειγμα σμήνους σωματιδίων, αυτή που παραπέμπει στο παράδειγμα της Αποικίας Μυρμηγκιών, ο αλγόριθμος Τεχνητής Αποικίας Μελισσών κλπ.

Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων (ΒμΣΣ)

- Η ΒμΣΣ περιλαμβάνει όλες τις εκδοχές των αλγορίθμων που έχουν ως αντικείμενο την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης και βασίζονται στις αρχές της ΝΣ. Οι αλγόριθμοι αυτοί αν και από πολλούς ερευνητές θεωρούνται ως στοχαστικοί εντούτοις στην πράξη η αναζήτηση της βέλτιστης λύσης στο χώρο των υποψήφιων λύσεων κατευθύνεται από την εμπειρία κάθε σωματιδίου ατομικά όσο και από την εμπειρία του σμήνους που εκπροσωπείται από το σωματίδιο με τη βέλτιστη κάθε φορά συμπεριφορά.

Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων (ΒμΣΣ)

- Από τις εργασίες των Eberhardt και Kennedy είναι σαφές ότι τα χαρακτηριστικά των αλγορίθμων έχουν καταγωγή στην ιδιότυπη νοημοσύνη που αναδεικνύεται από τη συμπεριφορά οργανωμένων πληθυσμών στη φύση όπως τα σμήνη πουλιών, τα κοπάδια ψαριών, οι αποικίες μυρμηγκιών, οι κοινωνίες μελισσών και άλλων ειδών.
- Ένας αλγόριθμος ΒμΣΣ διαθέτει ένα πληθυσμό από άτομα, το σμήνος σωματιδίων. Κάθε σωματίδιο είναι φορέας μιας υποψήφιας λύσης του προβλήματος βελτιστοποίησης. Συνήθως οι παράμετροι του προβλήματος περιγράφονται ως ένα διάνυσμα που ανήκει σε ένα σύνολο $X \subseteq R^N$ το οποίο συνήθως είναι κλειστό και φραγμένο.

Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων (ΒμΣΣ)

- Οποιοδήποτε και αν είναι το πρόβλημα βελτιστοποίησης ένας αλγόριθμος ΒμΣΣ καλείται να αναζητήσει ένα σημείο X^* του χώρου των εφικτών λύσεων για το οποίο η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης $f(X^*)$ είναι η βέλτιστη είτε τοπικά είτε ολικά.
- Το σημείο X^* ονομάζεται βελτιστοποιητής (optimizer)
- Αρχικά τα σωματίδια του σμήνους κατανέμονται τυχαία, ακολουθώντας για παράδειγμα την ομοιόμορφη κατανομή, στο χώρο των εφικτών λύσεων X (feasible set), ή σε ένα $D \subset X$, με στόχο να καλύψουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο τμήμα του.

Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων (ΒμΣΣ)

- Με τον τρόπο αυτό κάθε σωματίδιο αντιπροσωπεύει μια εφικτή λύση. Το σύνολο των εφικτών λύσεων αξιολογείται ως προς τα κριτήρια βελτιστοποίησης και επιλέγεται εκείνο το σωματίδιο το οποίο είναι φορέας της βέλτιστης λύσης.
- Η πληροφορία αυτή αξιοποιείται στο επόμενο βήμα από όλα τα σωματίδια του πληθυσμού τα οποία τείνουν να μετακινηθούν προς μια νέα, περισσότερο υποσχόμενη, περιοχή με βάση τη θέση του σωματιδίου τους σμήνους που έχει, μέχρι εκείνη τη στιγμή, εντοπίσει στη θέση με την καλύτερη τιμή αλλά και με βάση την ατομική του εμπειρία σε σχέση με την καλύτερη θέση.

Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων (ΒμΣΣ)

- Από τη μετακίνηση αυτή των σωματιδίων προκύπτει ένα νέο σύνολο τιμών για την αντικειμενική συνάρτηση οι οποίες θα αξιολογηθούν εκ νέου και η διαδικασία θα επαναληφθεί μέχρι τον εντοπισμό της καταλληλότερης, ως προς το πρόβλημα βελτιστοποίησης, τιμής για την αντικειμενική συνάρτηση ή μέχρι να συμπληρωθεί ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμών επαναλήψεων. Σημειώνεται εδώ ότι κάθε επανάληψη θεωρείται, κατ'επέκταση της ορολογίας των Γενετικών Αλγορίθμων, ως μια γενεά.

Βελτιστοποίηση με Σμήνος Σωματιδίων (ΒμΣΣ)

- Αλγόριθμος