



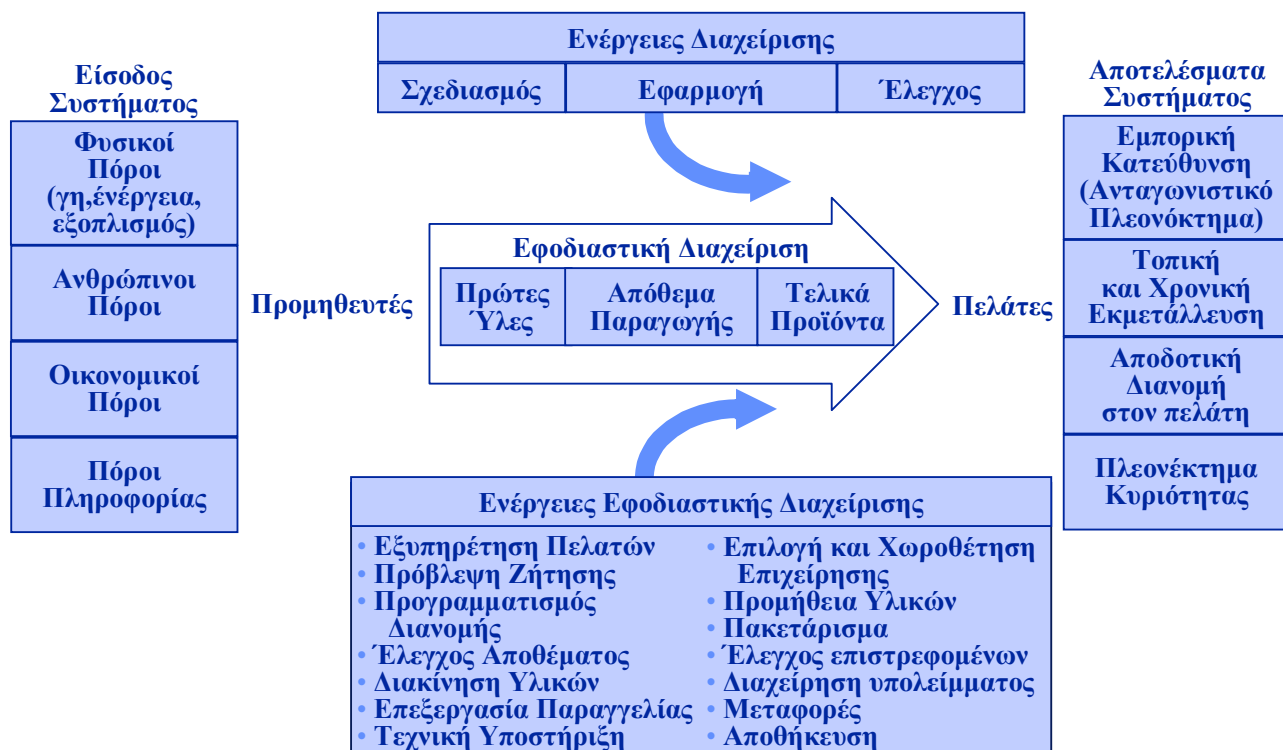
Εφοδιαστική Διαχείριση

*Εισαγωγή
Βασικές έννοιες
Προοπτικές*

Εφοδιαστική Διαχείριση *(ορισμός)*

Η διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου της αποδοτικής και αποτελεσματικής ροής και αποθήκευσης αγαθών, υπηρεσιών και σχετικών πληροφοριών από το σημείο προέλευσης μέχρι το σημείο κατανάλωσης με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών.

Συνιστώσες Εφοδιαστικής Διαχείρισης



*Παράγοντες που επηρεάζουν
την ανάπτυξη της
Εφοδιαστικής Διαχείρισης*

- **Απελευθέρωση Αγορών Μεταφορών**
- **Ανταγωνιστικές Πιέσεις**
- **Ανάπτυξη Πληροφορικής**
- **Προτυποποίηση Σταδίων Παραγωγής**
- **Συμπίεση Κόστους Παραγωγής**
- **Ανάπτυξη Στρατιωτικής Εφοδιαστικής**

Κυριότερες Δραστηριότητες Εφοδιαστικής Διαχείρισης

- Εξυπηρέτηση Πελατών
- Υποστήριξη Υπηρεσιών
- Πρόβλεψη Ζήτησης/
Σχεδιασμός
- Επιλογή Χώρων
(Χωροθέτηση)
- Διαχείριση Αποθέματος
- Προμήθεια Υλικών
- Διακίνηση Υλικών
- Έλεγχος Επιστρεφόμενων
- Έλεγχος Αποθέματος
- Αντίστροφη Εφοδιαστική
- Επεξεργασία
Παραγγελιών
- Μεταφορές και Διανομές
- Αποθήκευση
- Πακετάρισμα

Σχέση Δραστηριοτήτων Εφοδιαστικής Διαχείρισης και Κόστους

- **Επίπεδο Υπηρεσιών προς Πελάτες**
- **Κόστος Μεταφοράς**
- **Κόστος Αποθήκευσης**
- **Κόστος λήψης και διαβίβασης παραγγελίας**
- **Κόστος Παραγωγής**
- **Κόστος Διανομής**

Μελλοντικές Προκλήσεις

- **Στρατηγικός Σχεδιασμός και Συμμετοχή**
- **Διαχείριση Ολικής Ποιότητας**
- **Έγκαιρος Προγραμματισμός**
- **Γρήγορη Ανταπόκριση**
- **Αποτελεσματική Ανταπόκριση Πελάτη**
- **Η Εφοδιαστική σαν Ανταγωνιστικό Όπλο**
- **Λογιστική Κόστους Εφοδιαστικής**

Μελλοντικές Προκλήσεις (συνέχεια)

- **Εφοδιαστική σε Παγκόσμιο Περιβάλλον**
- **Ηλεκτρονική Εφοδιαστική**
- **Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων**
- **Στρατηγικές Συμμαχίες και Ανάπτυξη**
- **Τεχνολογία**
- **Εφοδιαστική σε σχέση με το Περιβάλλον**

Προβλήματα Αριστοποίησης

Ένα *πρόβλημα αριστοποίησης* αναφέρεται σε κάποιο σύνολο *υποδειγμάτων*, που εκφράζονται με κάποια κατάλληλη καλά καθορισμένη *σύνταξη*. Κάθε υπόδειγμα συνδέεται με ένα σύνολο *λύσεων* έτσι ώστε κάθε λύση να αποκτά κάποια συγκεκριμένη *τιμή*, δοθέντος του υποδείματος.

Η *επίλυση* του προβλήματος αριστοποίησης αναφέρεται στην απόδοση για κάθε υπόδειγμα της καλύτερης (*βέλτιστης*) λύσης η οποία θα αναφέρεται στη μεγαλύτερη ή στη μικρότερη τιμή όλων των λύσεων που προκύπτουν από την περιγραφή του προβλήματος αριστοποίησης.

Κατανομή Χρήσεων Γης

Δίδεται ένα σύνολο τεμαχίων γης $T=\{t_1, \dots, t_p\}$, ένα σύνολο πιθανών δραστηριοτήτων για εκμετάλλευση αυτών $D=\{d_1, \dots, d_q\}$ και το όφελος από την εκμετάλλευση του κάθε τεμαχίου i από κάθε δραστηριότητα j , $c(t_i, d_j)$, $i=1, \dots, p$ και $j=1, \dots, q$. Ζητείται ο καταμερισμός των δραστηριοτήτων στα τεμάχια γης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το μεγαλύτερο δυνατό όφελος εκμετάλλευσης.

Περιοδεύων Πωλητής

Δίδεται ένα σύνολο πόλεων $T=\{t_1, \dots, t_p\}$ και το κόστος της μετακίνησης από μια πόλη i σε μια πόλη j , $c(i,j)$, $i=1, \dots, p$ και $j=1, \dots, p$. Ζητείται να βρεθεί η διαδρομή ενός πωλητή που πρέπει να επισκεφτεί όλες τις πόλεις μόνον μια φορά επιστρέφοντας σε αυτή που ξεκίνησε έτσι ώστε το συνολικό κόστος των μετακινήσεων του να ελαχιστοποιείται.

Ανάθεση Μαθημάτων

*Δίδεται ένα σύνολο διδασκόντων $T=\{t_1, \dots, t_p\}$, ένα σύνολο μαθημάτων $C=\{c_1, \dots, c_q\}$ και ένα σύνολο ζευγών που υποδεικνύει ότι ο διδάκων t_i μπορεί να διδάξει το μάθημα c_j και $i=1, \dots, n$.
Επιδιώκεται η ανάθεση μαθημάτων σε διδάσκοντες έτσι ώστε κάθε διδάσκοντας να διδάσκει το πολύ ένα μάθημα και κάθε μάθημα να διδάσκεται το πολύ από ένα διδάσκοντα. Ζητείται η ανάθεση εκείνη που επιτρέπει την διδασκαλία των περισσότερων μαθημάτων.*

Πρόβλημα Αριστοποίησης (ορισμός)

Ένα *πρόβλημα αριστοποίησης* Q είναι μια τετράδα (I_Q, S_Q, f_Q, opt_Q) , όπου I_Q είναι το σύνολο των δυνατών *υποδειγμάτων*, S_Q μια συνάρτηση τέτοια ώστε για κάθε υπόδειγμα $x \in I_Q$, η $S_Q(x)$ είναι ένα σύνολο *λύσεων* του Q για το x , f_Q είναι η *αντικειμενική συνάρτηση* έτσι ώστε για κάθε ζεύγος $x \in I_Q$ και $y \in S_Q(x)$, η ποσότητα $f_Q(x, y)$ να είναι ένας πραγματικός αριθμός και ο *δείκτης* $opt_Q \in \{max, min\}$ καθορίζει το πρόβλημα σαν πρόβλημα μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης.

Αλγόριθμοι

Αλγόριθμους χαρακτηρίζουμε την περιγραφή υψηλού επιπέδου ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, που είναι με τη σειρά της μια βήμα-προς-βήμα προδιαγραφή της διαδικασίας επίλυσης ενός συγκεκριμένου προβλήματος.

Κάθε βήμα ενός αλγορίθμου αποτελείται από ένα *πεπερασμένο αριθμό λειτουργιών*, οι οποίες γενικά περιλαμβάνουν αριθμητικές πράξεις, λογικές συγκρίσεις, διαδικασίες ελέγχου και λειτουργίες αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων.

Ασυμπτωτικά Όρια Συναρτήσεων

$O(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, πάντα να υπάρχει κάποιος σταθερός αριθμός c_g έτσι ώστε $t(n) \geq c_g g(n)$ για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $O(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι *το πολύ* όσο και οι συναρτήσεις $t(n)$.

$o(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, να ισχύει $\lim_{n \rightarrow \infty} g(n)/t(n) = 0$ για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $o(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι *μικρότερες* των συναρτήσεων $t(n)$.

$\Omega(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, πάντα να υπάρχει κάποιος σταθερός αριθμός c_g έτσι ώστε $t(n) \leq c_g g(n)$ για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $\Omega(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι *τουλάχιστον* όσο και οι συναρτήσεις $t(n)$.

$\omega(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, να ισχύει $\lim_{n \rightarrow \infty} t(n)/g(n) = 0$ για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $\omega(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι *μεγαλύτερες* των συναρτήσεων $t(n)$.

Υπολογιστική Πολυπλοκότητα

Έστω ένας αλγόριθμος A ο οποίος λύνει ένα πρόβλημα αριστοποίησης Q και έστω $f(n)$ μια συνάρτηση. Η *χρονική πολυπλοκότητα* του αλγορίθμου A είναι $O(f(n))$ εάν υπάρχει μια συνάρτηση $g(n) \in O(f(n))$ τέτοια ώστε για κάθε θετικό αριθμό n , ο χρόνος εκτέλεσης του A να περιορίζεται από την $g(n)$ για όλες τις δυνατές τιμές του n .

Ένας αλγόριθμος A είναι *αλγόριθμος πολυωνυμικού χρόνου* εάν υπάρχει μια σταθερά c τέτοια ώστε η χρονική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου A να είναι $O(n^c)$. Ένα πρόβλημα αριστοποίησης *μπορεί να λυθεί σε πολυωνυμικό χρόνο* αν υπάρχει αλγόριθμος πολυωνυμικού χρόνου που να μπορεί να το λύσει.

Παραδείγματα

Υπολογιστικοί χρόνοι προβλημάτων πολυωνυμικής και εκθετικής πολυπλοκότητας

Πολυπλοκότητα	Μέγεθος υποδείγματος προβλήματος (n)				
	10	20	30	40	50
$O(n)$	0.00001 s	0.00002 s	0.00003 s	0.00004 s	0.00005 s
$O(n^2)$	0.0001 s	0.0004 s	0.0009 s	0.0016 s	0.0025 s
$O(n^3)$	0.001 s	0.008 s	0.027 s	0.064 s	0.125 s
$O(2^n)$	0.001 s	1 s	17.9 min	12.7 days	35.7 years

Επίδραση αύξησης υπολογιστικής δύναμης (μέγεθος προβλήματος που μπορεί να επιλυθεί σε 1 h)

Πολυπλοκότητα	Σημερινή	100πλάσια	1000πλάσια
	Υπολογιστική Ισχύς	Υπολογιστική Ισχύς	Υπολογιστική Ισχύς
$O(n)$	n_1	$100n_1$	$1000n_1$
$O(n^2)$	n_2	$10n_2$	$31.6n_2$
$O(n^3)$	n_3	$4.64n_3$	$10n_3$
$O(2^n)$	n_4	$n_4+6.64$	$n_4+9.97$

Προβλήματα Απόφασης

Ένα *πρόβλημα απόφασης* είναι κάποιο πρόβλημα για το οποίο για όλα τα εμπλεκόμενα υποδείγματα μπορεί να υπάρχει σαν απάντηση του προβλήματος μία μόνον από τις δύο δυνατές λογικές καταστάσεις, κατάφαση ή άρνηση. Ένα υπόδειγμα για το οποίο το πρόβλημα αποκρίνεται καταφατικά ονομάζεται *καταφατικό υπόδειγμα* του προβλήματος, ενώ ένα υπόδειγμα για το οποίο το πρόβλημα αποκρίνεται αρνητικά ονομάζεται *αρνητικό υπόδειγμα* του προβλήματος.

Κλάσεις Προβλημάτων 1

Ένας αλγόριθμος A *αποδέχεται* ένα πρόβλημα απόφασης Q εάν για κάθε καταφατικό υπόδειγμα του προβλήματος ο αλγόριθμος επιστρέφει σαν αποτέλεσμα μια καταφατική λογική κατάσταση, ενώ για κάθε αρνητικό υπόδειγμα του προβλήματος ο αλγόριθμος επιστρέφει σαν αποτέλεσμα μια αρνητική λογική κατάσταση.

Ένα πρόβλημα απόφασης Q ανήκει στην *κλάση* P εάν μπορεί να γίνει αποδεκτό από έναν αλγόριθμο πολυωνυμικού χρόνου.

Κλάσεις Προβλημάτων 2

Ένα πρόβλημα απόφασης Q ανήκει στην *κλάση NP* εάν μπορεί να γίνει αποδεκτό από έναν αλγόριθμο πολυωνυμικού χρόνου A έτσι ώστε για κάθε υπόδειγμα $x \in I_Q$ του προβλήματος Q , ο αλγόριθμος αποδέχεται το πρόβλημα Q για κάθε προτεινόμενη λύση του $y \in S_Q$.

Θεωρούμε δύο προβλήματα απόφασης Q_1 και Q_2 . Το πρόβλημα Q_1 ονομάζεται *πολυωνυμικά υποβαθμίσιμο* στο πρόβλημα Q_2 (συμβολίζεται σαν $Q_1 \leq_m^p Q_2$) τότε και μόνον τότε όταν υπάρχει μια συνάρτηση r υπολογιζόμενη σε πολυωνυμικό χρόνο, έτσι ώστε αν x είναι κάποιο καταφατικό υπόδειγμα του Q_1 , το υπόδειγμα $r(x)$ είναι καταφατικό υπόδειγμα του προβλήματος Q_2 .

Κλάσεις Προβλημάτων 3

Ένα πρόβλημα απόφασης Q είναι *NP-κοπιώδες* όταν όλα τα προβλήματα της κλάσης NP είναι πολυωνυμικά υποβαθμίσιμα στο Q .

Ένα πρόβλημα απόφασης Q είναι *NP-ακέραιο* όταν είναι *NP-κοπιώδες* και ανήκει στην κλάση NP .

Θεωρούμε τρία προβλήματα απόφασης Q_1 , Q_2 και Q_3 . Εάν το Q_1 είναι πολυωνυμικά υποβαθμίσιμο στο Q_2 και το Q_2 είναι πολυωνυμικά υποβαθμίσιμο στο Q_3 , τότε το Q_1 είναι πολυωνυμικά υποβαθμίσιμο στο Q_3 .

Θεωρούμε δύο προβλήματα απόφασης Q_1 και Q_2 . Εάν το πρόβλημα Q_1 είναι *NP-κοπιώδες* και πολυωνυμικά υποβαθμίσιμο στο Q_2 , τότε το πρόβλημα Q_2 είναι *NP-κοπιώδες* επίσης.

Προβλήματα Διακριτής Αριστοποίησης

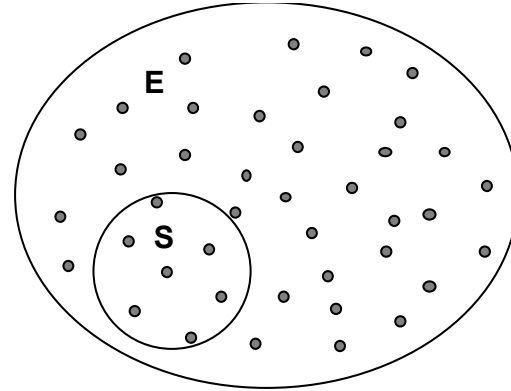
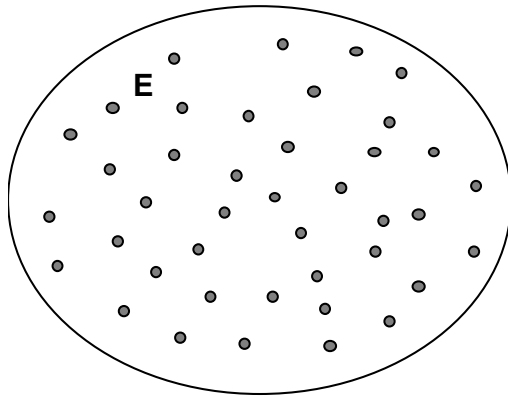
Η επίλυση των προβλημάτων διακριτής βελτιστοποίησης από *ακριβείς αλγόριθμους* είναι πρακτικά αδύνατη. Οι ακριβείς αλγόριθμοι εξετάζουν όλο τον χώρο λύσεων του προβλήματος και επιλέγουν το παγκόσμιο βέλτιστο. Ένας ακριβής αλγόριθμος είναι βέβαιο ότι θα καταλήξει σε παγκόσμιο βέλτιστο, αλλά παρουσιάζει δύο πολύ σημαντικά μειονεκτήματα κατά την εφαρμογή του στην πράξη. Η εξέταση του συνόλου των λύσεων δημιουργεί σημαντικές απαιτήσεις σε υπολογιστικό χρόνο και σε μνήμη υπολογιστή.

Ευρεστικοί Αλγόριθμοι Αριστοποίησης

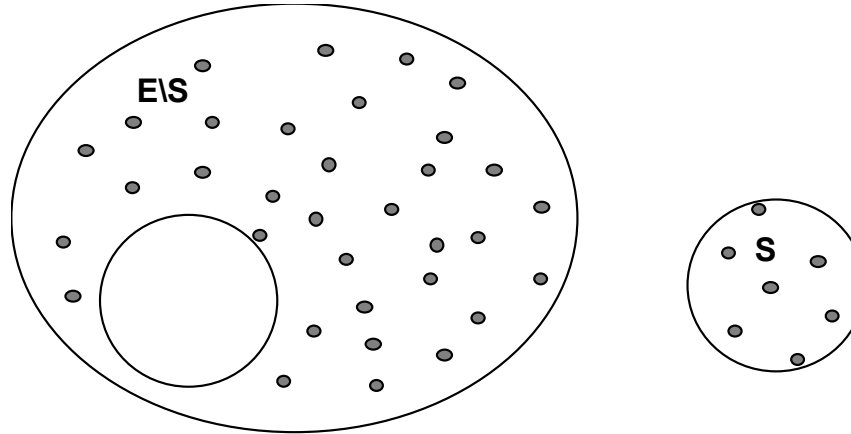
Οι σημαντικότεροι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι είναι οι *ευρεστικοί αλγόριθμοι*. Οι ευρεστικοί αλγόριθμοι είναι στρατηγικές που έχουν ως βασικό στόχο τη μείωση του πλήθους των εξεταζόμενων λύσεων για την εύρεση του παγκόσμιου βέλτιστου με προφανή εξοικονόμηση χρόνου και μνήμης.

Το βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι καταλήγουν στην καλύτερη λύση από αυτές που εξετάζονται, δηλαδή σε ένα τοπικό βέλτιστο, το οποίο βεβαίως είναι πιθανό να είναι και παγκόσμιο βέλτιστο, αν και αυτό δεν είναι δυνατόν να αποδειχθεί.

Κατασκευή Λύσης



Διαχωρισμός Λύσης



Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι 1

Οι *κατασκευαστικοί αλγόριθμοι* ξεκινούν από μια κενή λύση και κατασκευάζουν βήμα-βήμα μια άλλη που είναι ολοκληρωμένη, δηλαδή περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που ανήκουν στο E , έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί του προβλήματος. Σε κάθε βήμα προστίθεται ένα μόνο στοιχείο μέχρι το σημείο διαμόρφωσης μιας ολοκληρωμένης λύσης. Η επιλογή του κάθε στοιχείου βασίζεται σε πληροφορίες που σχετίζονται με την αξία της υπό διαμόρφωση λύσης από την αντικειμενική συνάρτηση και στους περιορισμούς του προβλήματος. Από το σύνολο των λύσεων που κατασκευάζονται επιλέγεται η καλύτερη.

Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι 2

Η πιο συνηθισμένος κατασκευαστικός αλγόριθμος είναι ο *πλεονεκτικός αλγόριθμος*. Σύμφωνα με αυτόν κάθε φορά επιλέγεται το στοιχείο που προκαλεί την σημαντικότερη μεταβολή σε μια κατάλληλα διαμορφωμένη συνάρτηση που καλείται πλεονεκτική συνάρτηση.

Το βασικό μειονέκτημα αυτών των αλγορίθμων είναι ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται στην αρχή της διαδικασίας κατασκευής της λύσης, ενώ είναι καλές, περιορίζουν πολύ τις πιθανότητες επιλογής καλών αποφάσεων στα επόμενα βήματα. Είναι γρήγορες μέθοδοι, αλλά δεν παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματά τους μπορούν να βελτιωθούν με τους αλγόριθμους τοπικής έρευνας.

Τοπική Έρευνα

Πριν από την εφαρμογή τεχνικών τοπικής έρευνας σε προβλήματα διακριτής αριστοποίησης, είναι πολύ σημαντικό να ορίσουμε την έννοια της *γειτονιάς* στο σύνολο S των εφικτών λύσεων του προβλήματος αριστοποίησης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να οριστεί το σύνολο των γειτόνων *για κάθε λύση*. Κατ' αρχήν, θα πρέπει να τονιστεί ότι τα σύνολα αυτά, $N(s)$, μπορεί να είναι κάποια αυθαίρετα υποσύνολα του S . Παρά ταύτα, ακολουθώντας τις βασικές αρχές της τοπικής έρευνας, οι λύσεις των συνόλων αυτών πρέπει να σχετίζονται ή ακόμη και να ομοιάζουν με την λύση. Επιπρόσθετα, χρειαζόμαστε κάποιον συστηματικό τρόπο ορισμού και επιλογής των γειτονιών, έτσι ώστε αυτές να μπορούν να αναλυθούν.

Γειτονιά - Κινήσεις

Βασισμένοι στα παραπάνω, το σύνολο $N(s)$ των γειτόνων μιας λύσης s ορίζεται σαν το σύνολο των λύσεων που ανήκουν στο S και οι οποίες διαφέρουν με μικρές αλλαγές (διαταραχές) από τη λύση s . Οι διαταραχές αυτές ονομάζονται **κινήσεις**. Πιο συγκεκριμένα, η δομή της γειτονιάς καθορίζεται από την εισαγωγή ενός συνόλου OP από **τελεστές**, οι οποίοι διαταράσσουν μια λύση με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο των γειτόνων μιας λύσης s (η γειτονιά της λύσης s) ορίζεται σαν το σύνολο $N(s) = \{op(s) \mid op \in OP\}$. Υπάρχουν περιπτώσεις που κάποιος τελεστής μπορεί να οριστεί μόνον για κάποιο υποσύνολο του συνόλου S των εφικτών λύσεων. Στην περίπτωση αυτή η γειτονιά μιας λύσης s μπορεί να οριστεί σαν το σύνολο $N(s) = \{op(s) \mid op \in OP, s \in S^{op}\}$.

Αλγόριθμοι Τοπικής Έρευνας

Ένας αλγόριθμος τοπικής έρευνας ξεκινά από μια τυχαία ολοκληρωμένη λύση s και εξετάζει τη γειτονιά της $N(s)$, με στόχο να βρει μια καλύτερη λύση s' , λειτουργώντας βάσει μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Η γειτονιά $N(s)$ μιας λύσης s είναι το σύνολο λύσεων που προκύπτουν από την s με μια επέμβαση στη δομή ή τη σύσταση του συνόλου της λύσης (κίνηση). Η γειτονιά κάθε λύσης εξαρτάται από την κίνηση από την οποία προκύπτει. Η επιλογή της κίνησης διαφέρει από αλγόριθμο σε αλγόριθμο.

Οι πιο χαρακτηριστικοί ευρεστικοί αλγόριθμοι τοπικής έρευνας είναι ο αλγόριθμος *κατάβασης* και ο αλγόριθμος *μέγιστης κατάβασης*.

Αλγόριθμος Κατάβασης

Ο αλγόριθμος επιλέγει τυχαία μια αρχική λύση s . Κατόπιν εκτελεί μια κίνηση που δημιουργεί την γειτονιά $N(s)$. Ο αλγόριθμος αναζητά μια λύση s' που ανήκει στην $N(s)$, η οποία να βελτιώνει την s , δηλαδή $s' < s$. Η s' αποτελεί την καινούργια λύση και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

Ο αλγόριθμος τερματίζεται όταν βρει μια λύση s_0 που η γειτονιά της $N(s_0)$ δεν περιέχει καλύτερες λύσεις από την s_0 , δηλαδή $s_0 < s_i$ για κάθε $s_i \in N(s_0)$. Η λύση αυτή αποτελεί τοπικό ελάχιστο.

Αλγόριθμος Μέγιστης Κατάβασης

Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με τον πρώτο με τη διαφορά ότι η ζητούμενη κάθε φορά λύση s' είναι η καλύτερη της γειτονιάς $N(s)$ και όχι μια που ανήκει στην $N(s)$ και είναι απλώς πιο καλή από την s . Άρα θα πρέπει $s' < s$ και $s' < s_i$ για κάθε $s_i \in N(s)$.

Και αυτός ο αλγόριθμος καταλήγει σε μια λύση s_0 που αποτελεί τοπικό ελάχιστο.

Διαδικασίες Πολλαπλής Εκκίνησης 1

Η επίλυση των προβλημάτων διακριτής αριστοποίησης εμπλέκουν τεχνικές και διαδικασίες κατασκευής και καλυτέρευσης λύσεων. Συνήθως οι δύο αυτές τεχνικές εφαρμόζονται σειριακά, η μία μετά την άλλη, μέσα από επαναληπτικές διαδικασίες που απαιτούν τον εντοπισμό διαφορετικών λύσεων εκκίνησης, που γενικότερα εκφράζουν ορισμένα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων περιοχών του χώρου λύσεων ή την εμπειρία από την κατανόηση της τοπολογίας του χώρου λύσεων που αποκτάται μέσα από μια τέτοια επαναληπτική διαδικασία.

Διαδικασίες Πολλαπλής Εκκίνησης 2

Σε μια *διαδικασία πολλαπλής εκκίνησης* και για κάθε μία από τις επαναλήψεις που εμπλέκονται στη διαδικασία αυτή, κατασκευάζεται μια λύση βήμα-βήμα, η οποία στη συνέχεια βελτιώνεται με τεχνικές τοπικής έρευνας από τη γειτονιά της υπάρχουσας λύσης και κρατείται η καλύτερη λύση που έχει βρεθεί.

Διαδικασίες Πολλαπλής Εκκίνησης 3

Κατά τη διαδικασία κατασκευής μιας λύσης, η λύση κατασκευάζεται βήμα-βήμα προσθέτοντας κάθε φορά στην ήδη μερικά κατασκευασμένη λύση κάποιο στοιχείο που επιλέγεται με κάποιο κριτήριο από αυτά που δεν έχουν ακόμη επιλεγεί. Στην περίπτωση των διαδικασιών πολλαπλής εκκίνησης, ο κατασκευαστικός αλγόριθμος που επιλέγεται δεν είναι σημαντικό να προσδιορίζει την καλύτερη δυνατή λύση που μπορεί να κατασκευαστεί αλλά μια λύση που να είναι δυνατόν να είναι πιο αποδοτική στο να καλυτερεύσει με τον αλγόριθμο καλυτέρευσης λύσης που ακολουθεί.

Διαδικασίες Πολλαπλής Εκκίνησης 4

Επιζητείται δηλαδή η καλύτερη και αποδοτικότερη συνεργασία των δύο βασικών αλγορίθμων που συνδυάζονται. Επιπλέον, είναι σημαντικό σε διαδικασίες πολλαπλής εκκίνησης ο κατασκευαστικός αλγόριθμος να δίδει σε κάθε επανάληψη συνεχώς διαφορετικές λύσεις εκκίνησης από αυτές που έδινε στις προηγούμενες επαναλήψεις. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εκκίνηση της έρευνας του χώρου των λύσεων από τελείως διαφορετικές περιοχές με άμεση συνέπεια την πλέον αποτελεσματική έρευνα αυτού και των εντοπισμό των πιο σημαντικών τοπικών βελτίστων του χώρου λύσεων.

Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι 1

Δύο ακραίες περιπτώσεις κατασκευαστικών αλγορίθμων που θα εξεταστούν είναι αυτές των αλγορίθμων τυχαίας επιλογής και των πλεονεκτικών αλγορίθμων. Στην πρώτη περίπτωση η επιλογή του στοιχείου που θα συμπληρώσει τη μερικά κατασκευασμένη λύση επιλέγεται με τυχαίο τρόπο από τα στοιχεία που δεν έχουν ακόμη επιλεγεί, ενώ στη δεύτερη η επιλογή αυτή γίνεται για το καλύτερο στοιχείο από τα ήδη μη-επιλεγέντα σύμφωνα με την τιμή μιας προεπιλεγείσας πλεονεκτικής συνάρτησης που εκφράζει το (μωοπικό) όφελος της συγκεκριμένης επιλογής ενός στοιχείου.

Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι 2

Στην πρώτη περίπτωση οι λύσεις που παράγονται σε κάθε επανάληψη διαφέρουν σημαντικά, ενώ στη δεύτερη είναι ακριβώς οι ίδιες, δηλαδή οι διαφοροποιήσεις των περιοχών που θα ερευνηθούν στη φάση της καλύτερευσης της λύσης αφήνονται στην ευχέρεια της φάσης καλύτερευσης της λύσης που ακολουθεί. Οι διαφορές των δύο προσεγγίσεων είναι προφανείς. Στην πρώτη περίπτωση οι λύσεις που παράγονται έχουν μεγάλη διαφοροποίηση, αλλά χαμηλή ποιότητα και οδηγούν γρήγορα σε τοπικά ελάχιστα. Στη δεύτερη περίπτωση οι λύσεις που παράγονται έχουν μηδενική διαφοροποίηση, αλλά υψηλή ποιότητα και δεν οδηγούν γρήγορα σε τοπικά ελάχιστα.

Κατασκευαστικοί Αλγόριθμοι 3

Από την πλευρά της διαδικασίας καλυτέρευσης της λύσης, στην πρώτη περίπτωση αυτή ξεκινά από διαφορετικό σημείο εκκίνησης κάθε φορά, αλλά έχει αργή σύγκλιση, παράγει λύσεις κατά μέσο όρο αρκετά χειρότερες από την δεύτερη περίπτωση και οι καλύτερες παραγόμενες λύσεις είναι συνήθως καλύτερες από τη δεύτερη περίπτωση γιατί ο χώρος των λύσεων ερευνάται πιο αποτελεσματικά. Στην δεύτερη περίπτωση, η διαδικασία ξεκινά από το ίδιο σημείο εκκίνησης, αλλά έχει γρήγορη σύγκλιση, παράγει λύσεις κατά μέσο όρο αρκετά καλύτερες από την πρώτη περίπτωση και οι καλύτερες παραγόμενες λύσεις είναι συνήθως χειρότερες από τη πρώτη περίπτωση γιατί ο χώρος των λύσεων δεν ερευνάται πιο αποτελεσματικά.

Προσαρμοσμένη Ημι-Πλεονεκτική Έρευνα 1

Η προσαρμοσμένη ημι-πλεονεκτική έρευνα είναι ο σημαντικότερος εκπρόσωπος των διαδικασιών πολλαπλών εκκινήσεων. Ο βασικός αλγόριθμος της μεθόδου περιλαμβάνει έναν κατασκευαστικό ημι-πλεονεκτικό αλγόριθμο που ακολουθείται από μια τεχνική τοπικής έρευνας.

Προσαρμοσμένη Ημι-Πλεονεκτική Έρευνα 2

Ο ημι-πλεονεκτικός κατασκευαστικός αλγόριθμος είναι ένα αποτελεσματικό υβρίδιο των αλγορίθμων τυχαίας επιλογής και των πλεονεκτικών αλγορίθμων, με την έννοια ότι ενσωματώνει τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των δύο μεθόδων. Έτσι, ο συνολικός αλγόριθμος πολλαπλών εκκινήσεων παράγει διαφοροποιημένες αρχικές λύσεις σε κάθε επανάληψη, ποιότητας αντίστοιχης με τους πλεονεκτικούς αλγορίθμους, με γρήγορη σύγκλιση, αποφυγή ασήμαντων τοπικών ακροτάτων, καλύτερες κατά μέσο όρο λύσεις αλλά και συνολικά τοπικά βέλτιστα.

Αλγόριθμος 1

- Θέσε $x = \emptyset$
 - Αρχικοποίησε τη λίστα υποψηφίων στοιχείων C
 - Επανάλαβε
 - Κατέταξε τα στοιχεία της C με βάση την τιμή της g
 - Σχημάτισε τη λίστα RCL , τοποθετώντας σε αυτήν τα k πρώτα στοιχεία της κατάταξης
 - Επέλεξε ένα στοιχείο s , τυχαία, από την RCL
 - Συμπλήρωσε $x = x \cup \{s\}$
 - Επικαιροποίησε τη λίστα C
- Μέχρι να συμπληρωθεί μια πλήρης λύση

Αλγόριθμος 2

- Θέσε $x = \emptyset$
- Αρχικοποίησε τη λίστα υποψηφίων στοιχείων C
- Επανάλαβε

$$\underline{s} = \min\{g(t)/t \in C\}$$

$$\bar{s} = \max\{g(t)/t \in C\}$$

Σχημάτισε τη λίστα $RCL = \{s \in C / g(s) \leq \underline{s} + \alpha(\bar{s} - \underline{s})\}$

Επέλεξε ένα στοιχείο s , τυχαία, από την RCL

Συμπλήρωσε $x = x \cup \{s\}$

Επικαιροποίησε τη λίστα C

Μέχρι να συμπληρωθεί μια πλήρης λύση

Προσθήκες στο Βασικό Αλγόριθμο

Σύζευξη λύσεων.

Μακροπρόθεσμη Μνήμη.

Αντιδραστική Προσαρμοσμένη Ημι-Πλεονεκτική Έρευνα.

Αρχή Προοδευτικής Εξομάλυνσης.

Προσαρμοσμένη Επιλογή.

Υβριδικές Μέθοδοι.

Γενετική Έρευνα 1

Οι *Γενετικοί Αλγόριθμοι* είναι προσαρμοστικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων αριστοποίησης. Βασίζονται σε γενετικές διαδικασίες βιολογικών οργανισμών. Για πολλές γενιές, οι φυσικοί οργανικοί πληθυσμοί εξελίσσονται σύμφωνα με τις αρχές της φυσικής εξέλιξης και της *επιβίωσης του καταλληλότερου*. Μιμούμενοι τη διαδικασία αυτή, οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να εξελίσσουν τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων διακριτής αριστοποίησης, αν *κωδικοποιηθούν* κατάλληλα.

Γενετική Έρευνα 2

Έτσι, οι τεχνικές αυτές προσομοιώνουν τις διαδικασίες των φυσικών πληθυσμών που σχετίζονται με την εξέλιξη. Ακριβώς ποιες βιολογικές διαδικασίες είναι σημαντικές για την εξέλιξη ενός είδους, και ποιες διαδικασίες παίζουν μικρό ή καθόλου ρόλο στην εξέλιξη παραμένει ακόμη ζήτημα έρευνας. Παρά τούτα, οι βασικές αρχές είναι ξεκάθαρες και αναγνωρίσιμες.

Γενετική Έρευνα 3

Στη φύση, τα *άτομα ενός πληθυσμού* ανταγωνίζονται μεταξύ τους για κοινούς βιοποριστικούς σκοπούς. Ακόμη, τα άτομα του ίδιου είδους συχνά ανταγωνίζονται για την προσέλκυση ενός κατάλληλου συντρόφου προκειμένου να διαιωνίσουν το είδος. Τα άτομα εκείνα που είναι περισσότερο επιτυχημένα στο να επιβιώνουν και να προσελκύουν συντρόφους είναι εκείνα που αναμένεται να αποκτήσουν σχετικά μεγάλο αριθμό απογόνων. Τα λιγότερο επιτυχημένα άτομα στο να επιβιώνουν αναμένεται να αποκτήσουν λίγους ή καθόλου απογόνους.

Γενετική Έρευνα 4

Αυτό σημαίνει ότι τα *γονίδια* από τα περισσότερο προσαρμόσιμα, ή περισσότερο *κατάλληλα* άτομα θα κυριαρχήσουν στις επόμενες γενιές απογόνων του είδους. Ο συνδυασμός καλών χαρακτηριστικών από διαφορετικούς προγόνους μπορεί μερικές φορές να παράγει *υπερκατάλληλους* απογόνους, των οποίων η καταλληλότητα είναι μεγαλύτερη από αυτή των προγόνων τους. Με τον τρόπο αυτό, τα είδη εξελίσσονται έτσι ώστε να γίνονται περισσότερο προσαρμοσμένα στο περιβάλλον τους.

Βασικές Αρχές

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν ένα άμεσο ανάλογο της φυσικής συμπεριφοράς. Εργάζονται με πληθυσμούς από άτομα που αντιπροσωπεύουν μια εφικτή λύση ενός προβλήματος αριστοποίησης. Κάθε άτομο αντιστοιχίζεται σε μια τιμή *καταλληλότητας* σαν συνάρτηση του πόσο καλή είναι η λύση που αντιπροσωπεύει για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Τα άτομα με αυξημένη τιμή καταλληλότητας έχουν τις περισσότερες ευκαιρίες για *αναπαραγωγή μέσω ανταλλαγής γενετικού υλικού* με άλλα άτομα του πληθυσμού. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί απογόνους που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά από τους γονείς τους. Τα λιγότερο κατάλληλα άτομα, είναι λιγότερο πιθανό να εκλεγούν για αναπαραγωγή και κατά συνέπεια πεθαίνουν ή εξαφανίζονται.

- *Δημιούργησε έναν αρχικό πληθυσμό λύσεων*
- *Υπολόγισε την καταλληλότητα κάθε ατόμου από τον πληθυσμό αυτό*
- *Επανάλαβε*
 - *Επανάλαβε*
 - *Επέλεξε δύο άτομα από τον πληθυσμό για αναπαραγωγή*
 - *Συνδύασε τους γονείς για την παραγωγή δύο απογόνων*
 - *Υπολόγισε την καταλληλότητα των απογόνων*
 - *Εισήγαγε τους απογόνους στο νέο πληθυσμό λύσεων*
 - *Μέχρι να συμπληρωθεί μια πλήρης λύση*
 - *Μέχρι να ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού*

Αλγόριθμος 1

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι βασικά επαναληπτικές διαδικασίες. Σε κάθε επανάληψη, ένας συγκεκριμένος πληθυσμός από χρωμοσώματα υφίσταται σειριακά διαδικασίες επιλογής, ανταλλαγής γενετικού υλικού και μετάλλαξης. Κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής φάσης ενός γενετικού αλγορίθμου, συγκεκριμένα άτομα από τον πληθυσμό επιλέγονται και ανασυνδυάζονται, παράγοντας απογόνους που δημιουργούν την επόμενη γενιά.

Αλγόριθμος 2

Οι πρόγονοι επιλέγονται από τον πληθυσμό με συγκεκριμένο τρόπο, χρησιμοποιώντας μια τεχνική που επιλέγει τους περισσότερο προσαρμόσιμους από αυτούς με βάση τη συνάρτηση καταλληλότητας. Τα πιο κατάλληλα άτομα θα επιλεγούν με μεγαλύτερη πιθανότητα αρκετές φορές από τον πληθυσμό, ενώ τα λιγότερο κατάλληλα ενδέχεται να μην επιλεγούν ούτε μία φορά. Είναι επίσης δυνατόν σε περιπτώσεις που επιθυμούμε διαφοροποίηση των πληθυσμών, η επιλογή να γίνεται με τελείως τυχαίο τρόπο. Έχοντας επιλέξει δύο προγόνους, τα χρωματοσώματα τους επανασυνδυάζονται, χρησιμοποιώντας τυπικούς μηχανισμούς ανταλλαγής γενετικού υλικού και μετάλλαξης.

Ανταλλαγή Γενετικού Υλικού 1

Η ανταλλαγή γενετικού υλικού μεταξύ δύο ατόμων ενός πληθυσμού είναι μια διαδικασία κατά την οποία η σειρά των χρωμοσωμάτων τους τεμαχίζεται στο ίδιο για τα δύο χρωμοσώματα αλλά και ταυτόχρονα τυχαία επιλεγόμενο σημείο και τα μερικά σχηματιζόμενα χρωμοσώματα διαχωρίζονται εναλλάξ έτσι ώστε να σχηματιστούν δύο μερικά σχηματιζόμενα χρωμοσώματα *κεφαλής* και *ουράς*. Τα μερικά σχηματιζόμενα χρωμοσώματα της ουράς στη συνέχεια τοποθετούνται εναλλάξ στα μερικά σχηματιζόμενα χρωμοσώματα της κεφαλής με αποτέλεσμα να σχηματιστούν δύο πλήρη χρωμοσώματα όμοιου μήκους.

Ανταλλαγή Γενετικού Υλικού 2

Έτσι, τα παραγόμενα χρωμοσώματα (απόγονοι) αποκτούν γονίδια από τα δύο προηγούμενα (πρόγονοι). Με τον τρόπο αυτό γίνεται ανταλλαγή γενετικού υλικού. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή σαν *απλή ανταλλαγή γενετικού υλικού*. Εάν το τυχαίο σημείο ανταλλαγής βρεθεί στο τέλος ή την αρχή των αρχικών χρωμοσωμάτων, τα δύο αρχικά χρωμοσώματα απλά αναπαράγονται. Αυτό δίνει τη δυνατότητα της προώθησης της γενετικής πληροφορίας αυτούσια στις επόμενες γενιές.

Επιλογή Γενετόρων

- *Δεξαμενή Αναπαραγωγής*
- *Επιλογή Βάσει Καταλληλότητας*
- *Άμεση Επαναδιατύπωση Καταλληλότητας*
- *Έμμεση Επαναδιατύπωση Καταλληλότητας*
- *Χάσμα Γενεών*

Ανταλλαγή Γενετικού Υλικού 1

Ένας σημαντικός τελεστής ανταλλαγής γενετικού υλικού είναι και ο *τελεστής ανταλλαγής γενετικού υλικού δύο σημείων* (και γενικότερα πολλών σημείων). Στην περίπτωση αυτή, τα χρωμοσώματα αντί για γραμμικά διανύσματα, θεωρούνται βρόχοι που σχηματίζονται όταν το τελευταίο χρωμόσωμα του διανύσματος συνδεθεί με το πρώτο. Για να λάβει χώρα ανταλλαγή ενός τμήματος ενός βρόχου με κάποιον άλλο βρόχο, απαιτείται η επιλογή δύο σημείων τομής. Στην περίπτωση αυτή ο κλασσικός τελεστής ανταλλαγής γενετικής πληροφορίας μπορεί να θεωρηθεί σαν τελεστής ανταλλαγής γενετικού υλικού δύο σημείων όπου το πρώτο σημείο είναι πάντα το πρώτο γονίδιο του χρωμοσώματος.

Ανταλλαγή Γενετικού Υλικού 2

Ο *ομοιόμορφος τελεστής ανταλλαγής γενετικού υλικού* είναι σημαντικό διαφοροποιημένος από τον προηγούμενο. Κάθε γονίδιο στον απόγονο δημιουργείται από το αντίστοιχο γονίδιο του κάθε γονέα που επιλέγεται με τη βοήθεια μιας τυχαία κατασκευασμένης *μάσκας ανταλλαγής γονιδίων*. Η μάσκα αυτή είναι ένα δυαδικό διάνυσμα. Σε κάθε σημείο της μάσκας, όπου υπάρχει η τιμή μονάδα, το γονίδιο στον απόγονο αντιγράφεται από τον πρώτο γονέα, ενώ όπου υπάρχει η τιμή μηδέν, το γονίδιο στον απόγονο αντιγράφεται από τον δεύτερο γονέα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με την ανταλλαγή των γονεϊκών έτσι ώστε να παραχθεί ο δεύτερος απόγονος. Για κάθε ζεύγος γονεϊκών μια τυχαία μάσκα αναπαραγωγής δημιουργείται πριν τη διαδικασία αναπαραγωγής.

Επεκτάσεις

- *Επίσταση*
- *Παραπλάνηση*
- *Ασεξουαλική Αναπαραγωγή*

Στοχαστική Έρευνα 1

Η *στοχαστική έρευνα* εμπλέκει αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται στην επίλυση προβλημάτων διακριτής αριστοποίησης και συνδέονται με προσαρμοστικές μεθοδολογίες καθοδηγούμενης έρευνας του χώρου λύσεων. Η φύση των αλγορίθμων αυτών είναι απόλυτα συνδεδεμένη με διαδικασίες τυχαίας έρευνας σημείων από τον χώρο λύσεων με την έννοια ότι αρχικές λύσεις του προβλήματος συνεχώς τροφοδοτούνται από νέα σημεία της γειτονιάς αυτών των λύσεων τα οποία γίνονται αποδεκτά ή όχι με βάση κάποια κριτήρια που εξαρτώνται από τη λογική και τα χαρακτηριστικά του κάθε αλγορίθμου. Στους αλγόριθμους αυτούς έχει ενσωματωθεί η δυνατότητα διαφυγής από μεμονωμένα τοπικά ακρότατα του προβλήματος αριστοποίησης που συνήθως υλοποιείται με κάποια δυνατότητα προσαρμοστικής έρευνας της περιοχής γύρω από τα σημεία αυτά και κυρίως σημαντικά γρήγορης μετακίνησης σε πλούσιες σε λύσεις περιοχές με συστηματικό τρόπο. Η στοχαστικότητα εμπλέκεται στον τρόπο με τον οποίο ερευνάται η γειτονιά μιας λύσης.

Στοχαστική Έρευνα 2

Σε αντίθεση με περισσότερο αυστηρές τεχνικές τοπικής έρευνας, όπως η μέθοδοι καθόδου και οι παραλλαγές της, όπου η γειτονιά μιας αρχικά κατασκευασμένης λύσης ερευνάται μερικώς ή πλήρως, οι αλγόριθμοι αυτοί υιοθετούν μια περισσότερο πλημελή έρευνα η οποία όμως γίνεται συστηματικότερη με την υιοθέτηση κάποιων σημαντικών κριτηρίων σύγκλισης και εξέλιξης. Η αποφυγή τοπικών ακροτάτων στην περίπτωση των αυστηρών μεθόδων τοπικής έρευνας εμπλέκει τεχνικές που δεν έχουν να κάνουν με τον ίδιο τον αλγόριθμο αριστοποίησης. Συνήθως υιοθετούνται τεχνικές εκκίνησης της έρευνας από διαφορετικά αρχικά σημεία ή γίνονται προσπάθειες αύξησης του μεγέθους της γειτονιάς χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό πλήθος από κινήσεις ή και συνδυασμούς κινήσεων.

Στοχαστική Έρευνα 3

Οι στοχαστικοί αλγόριθμοι αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αυτό επιτρέποντας κινήσεις χαμηλής ποιότητας να λαμβάνονται υπόψη και να υιοθετούνται με κάποιον συστηματικό τρόπο. Έτσι, αντίθετα με τις αυστηρές τεχνικές τοπικής έρευνας, οι στοχαστικοί αλγόριθμοι επιλέγουν τυχαίες κινήσεις από τη γειτονιά μιας λύσης. Αν οι λύσεις που ανασύρονται από τον χώρο λύσεων με τον τρόπο αυτό είναι καλύτερης ποιότητας από την υπάρχουσα λύση, τότε οι λύσεις αυτές υιοθετούνται όπως είναι και αντικαθιστούν τις ήδη υπάρχουσες λύσεις. Λύσεις χαμηλότερης ποιότητας από αυτές που συγκρίνονται, έχουν τη δυνατότητα να επιλεγθούν και να υιοθετηθούν αντικαθιστώντας κάποια υπάρχουσα λύση, μόνον που στην περίπτωση αυτή καθορίζεται εκ των προτέρων η πιθανότητα αποδοχής των λύσεων αυτών για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Στοχαστική Έρευνα 4

Οι βασικότεροι από τους αλγόριθμους αυτούς προέρχονται από φυσικές διαδικασίες στις οποίες τα συμμετέχοντα συστήματα οδηγούνται μέσα από καταστάσεις συνεχών μεταβολών των εσωτερικών τους ενεργειών που συνήθως είναι κατάλληλες συναρτήσεις κάποιων βασικά καθοδηγούμενων από το εξωτερικό περιβάλλον μεταβλητών. Οι εφικτές λύσεις των προβλημάτων αριστοποίησης προσομοιώνουν στην περίπτωση αυτή τις καταστάσεις των συστημάτων που είναι συνάρτηση της εσωτερικής τους ενέργειας. Η σύνδεση εσωτερικής ενέργειας και καταστάσεων πραγματοποιείται για τα προβλήματα αριστοποίησης και τους αλγορίθμους επίλυσης τους μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης που έχει κατά συνέπεια σαν φυσικό ανάλογο την ενέργεια του συστήματος. Η αλλαγή της κατάστασης των συστημάτων, που αντιστοιχεί και σε μεταβολή του συνδεόμενου ενεργειακού επιπέδου, είναι στην περίπτωση των στοχαστικών αλγορίθμων το φυσικό ανάλογο της διαδικασίας της τοπικής έρευνας.

Προσομοιωμένη Ανόπτηση 1

Η *προσομοιωμένη ανόπτηση* είναι η σημαντικότερη και παλαιότερη μεθοδολογία στοχαστικής έρευνας. Προτάθηκε ως μέθοδος για την εύρεση καλής ποιότητας λύσεων σε προβλήματα διακριτής αριστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη σαν σημείο εκκίνησης μεθοδολογίες οι οποίες είχαν εμπνευστεί από σχετικές σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες που είχαν διεξαχθεί στο πεδίο της Στατιστικής Μηχανικής. Ο όρος *προσομοιωμένη ανόπτηση* προέρχεται από τη φυσική διαδικασία κατά την οποία ο κρύσταλλος ψύχεται από την υγρή φάση στη στερεά φάση μέσα σε ένα λουτρό θερμότητας. Εάν η ψύξη γίνεται αρκετά προσεκτικά και όχι με απότομη μείωση της θερμοκρασίας, η ενεργειακή κατάσταση του στερεού στο τέλος της ψύξης εντοπίζεται στο ελάχιστο ενεργειακό επίπεδο ή τουλάχιστον πολύ κοντά σ' αυτό. Με τον τρόπο αυτό, η διάταξη των μορίων του στερεού στην τελική κατάσταση είναι η καλύτερη δυνατή διάταξη που μπορεί να εξασφαλίσει τις επιθυμητές ιδιότητες του στερεού που υποβάλεται στη διαδικασία αυτή.

Αναλογία φυσικής ψύξης ενός στερεού και προσομοιωμένης ανόπτησης

Φυσικό Σύστημα	Πρόβλημα Βελτιστοποίησης
Κατάσταση	Εφικτή λύση
Ενέργεια	Κόστος
Ελάχιστη Κατάσταση Ενέργειας	Βέλτιστη Λύση
Απότομη Πτώση Θερμοκρασίας	Τοπική Έρευνα
Προσεκτική ανόπτηση	Προσομοιωμένη ανόπτηση

Υπολόγισε μια αρχική εφικτή λύση s και το κόστος αυτής $c(s)$

Υπολόγισε μιαν αρχική τιμή θερμοκρασίας θ

Επανάλαβε

Επανάλαβε

Παρήγαγε μια λύση $s' \in N(s)$ και υπολόγισε το κόστος της $c(s')$

Θέσε $\Delta = c(s') - c(s)$

Αν $\Delta \leq 0$ θέσε $s = s'$

Αν $\Delta > 0$ θέσε $s = s'$ με πιθανότητα $\exp(-\Delta/\theta)$

Μέχρι να συμπληρωθεί κάποιος αριθμός κύκλων

Μείωσε με κάποιο κριτήριο τη θερμοκρασία της επανάληψης

Μέχρι να ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού

Επέστρεψε την καλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που βρέθηκε

Προσομοιωμένη Ανόπτηση 2

Η θερμοκρασία έναρξης πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, έτσι ώστε να επιτρέπονται στα πρώτα στάδια του αλγορίθμου κινήσεις προς όλες σχεδόν τις περιοχές της γειτονιάς της αρχικής λύσης. Εάν αυτό δεν επιδιωχθεί, τότε η λύση τερματισμού θα είναι η ίδια (ή πολύ κοντά) με την αρχική εφικτή λύση. Παρά ταύτα, αν η θερμοκρασία εκκίνησης επιλεγθεί να είναι μια πολύ μεγάλη αρχική τιμή, η έρευνα μπορεί να μετακινηθεί σε οποιαδήποτε περιοχή της γειτονιάς και έτσι να μετατραπεί τουλάχιστον στα αρχικά στάδια σε τυχαία έρευνα της περιοχής. Στην πραγματικότητα, η έρευνα θα είναι τυχαία μέχρι το σημείο όπου η θερμοκρασία θα έχει μειωθεί σημαντικά και το σύστημα θα αρχίσει να αντιδρά σαν αυτό της φυσικής ανόπτησης. Η εύρεση της αρχικής θερμοκρασίας είναι μια σημαντική προσπάθεια στα πλαίσια του αλγορίθμου. Γενικότερα, δεν είναι γνωστή μια παγκόσμια μέθοδος για την εύρεση της αρχικής θερμοκρασίας σε όλο το εύρος προβλημάτων αριστοποίησης που ο αλγόριθμος εφαρμόζεται.

Προσομοιωμένη Ανόπτηση 3

Μια μέθοδος που εφαρμόζεται ευρύτατα, απαιτεί τον εντοπισμό της μέγιστης απομάκρυνσης (σε όρους τιμών της αντικειμενικής συνάρτησης) από την τιμή της αρχικής λύσης για τα στοιχεία της γειτονιάς αυτής και στη συνέχεια την αποτύπωση της τιμής της θερμοκρασίας μέσω της εξίσωσης της πιθανότητας αποδοχής μιας λύσης, θέτοντας την τιμή της πιθανότητας αυτής ίσης με τη μονάδα. Σύμφωνα με μια άλλη μέθοδο, η θερμοκρασία εκκίνησης είναι μια πολύ μεγάλη τιμή, η οποία μειώνεται με πολύ γρήγορο ρυθμό μέχρι του σημείου εκείνου όπου ένα ποσοστό (προτείνεται το 60%) των χειρότερων λύσεων γίνεται αποδεκτό. Η θερμοκρασία αυτή χαρακτηρίζεται σαν κρίσιμη θερμοκρασία και το πρόγραμμα ψύξης επιβραδύνεται στη συνέχεια με πολύ χαμηλότερο ρυθμό. Η ακριβώς αντίθετη διαδικασία περιλαμβάνει απότομη θέρμανση του συστήματος μέχρι κάποιο σημείο όπου σημαντικός αριθμός χειρότερων λύσεων γίνεται αποδεκτός (ίσος με την προηγούμενη περίπτωση). Η διαδικασία αυτή είναι πολύ πιο κοντά από πλευράς φυσικής σημασίας στο φυσικό φαινόμενο, όπου ένα στερεό θερμαίνεται απότομα μέχρι τήξης και στη συνέχεια ψύχεται αρκετά αργά.

Προσομοιωμένη Ανόπτηση 4

Στην πράξη είναι σύνηθες το να οδηγείται το σύστημα ώστε να ψύχεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ακόμα και στην απόλυτη τιμή του μηδενός. Στην περίπτωση αυτή βέβαια, η πιθανότητα αποδοχής χειρότερων λύσεων από την τρέχουσα λύση είναι σημαντικά μικρή με αποτέλεσμα η διαφοροποίηση που πάντα επιζητείται σε αλγορίθμους διακριτής αριστοποίησης να είναι ανέφικτη και η πιθανότητα εύρεσης καλύτερων λύσεων πρακτικά μηδενική. Η διαδικασία ψύξης είναι αυτή που εξασφαλίζει την μεταφορά του συστήματος από την αρχική στην τελική θερμοκρασία. Ο τρόπος και οι διαδικασίες ελάττωσης της θερμοκρασίας είναι ίσως οι σημαντικότερες παράμετρος του αλγορίθμου. Η βασική θεωρία αναφέρει ότι σε κάθε θερμοκρασιακό επίπεδο ο αριθμός των κύκλων πρέπει να είναι αρκετά σημαντικός έτσι ώστε το σύστημα να σταθεροποιείται θερμικά στο επίπεδο αυτό και επίσης ότι ο αριθμός αυτός των κύκλων μπορεί να είναι εκθετικός σε σχέση με το μέγεθος του προβλήματος. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση αυτή, πρέπει να επέλθει κάποια συμβιβαστική λύση ανάμεσα στην επιδιωκόμενη ποιότητα λύσης και στον εμπλεκόμενο υπολογιστικό φόρτο του αλγορίθμου.

Προσομοιωμένη Ανόπτηση 5

Οι προσαρμοστικές παραλλαγές και τα κριτήρια που εφαρμόζονται στην πράξη εμπλέκουν ένα πολύ μεγάλο αριθμό. Μια σημαντική πολιτική είναι η υιοθέτηση μεγάλου αριθμού επαναλήψεων στα τελικά στάδια και ενός μικρότερου στα πρώτα στάδια. Η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να είναι γραμμική αλλά και γεωμετρική. Στην πρώτη περίπτωση ένας μικρός αριθμός αφαιρείται από την τιμή της θερμοκρασίας σε κάθε επανάληψη, έτσι ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία γραμμικά. Στην δεύτερη περίπτωση, η θερμοκρασία σε κάθε επανάληψη πολλαπλασιάζεται με κάποιον αριθμό μικρότερο της μονάδας έτσι ώστε να βρεθεί η τιμή της στην επόμενη επανάληψη. Σύμφωνα με κάποιαν άλλη μεθοδολογία, ο αριθμός των κύκλων σε κάθε θερμοκρασία προτείνεται να είναι μικρός (ίσως ακόμη και με τη μονάδα) αλλά η θερμοκρασία προτείνεται να μειώνεται εξαιρετικά αργά (γραμμικά ή γεωμετρικά).

Αποδοχή Κατώφλιου

Υπολόγισε μια αρχική εφικτή λύση s και το κόστος αυτής $c(s)$

Υπολόγισε μιαν αρχική τιμή για το κατώφλιο $\Phi > c(s)$

Επανάλαβε

Επανάλαβε

Παρήγαγε μια λύση $s' \in N(s)$ και υπολόγισε το κόστος της $c(s')$

Θέσε $\Delta = c(s') - c(s)$

Αν $\Delta < \Phi$ θέσε $s = s'$

Μέχρι να συμπληρωθεί κάποιος αριθμός κύκλων

Μείωσε με κάποιο κριτήριο το κατώφλιο της επανάληψης

Μέχρι να ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού

Επέστρεψε την καλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που βρέθηκε

Περιήγηση Βάσει της Καλύτερης Λύσης

Υπολόγισε μια αρχική εφικτή λύση s και το κόστος αυτής $c(s)$

Υπολόγισε μίαν αρχική τιμή για τη σταθερά $\Phi > c(s)$

Θέσε $c_{best} = c(s)$

Επανάλαβε

Παρήγαγε μια λύση $s' \in N(s)$ και υπολόγισε το κόστος της $c(s')$

Αν $c(s') < c_{best} + \Phi$ θέσε $s = s'$ και $c_{best} = c(s')$

Μέχρι να ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού

Επέστρεψε την καλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που βρέθηκε

Απαγορευμένη Έρευνα 1

Η *απαγορευμένη έρευνα* είναι αλγόριθμος που ανήκει στην οικογένεια των μεταερευρεστικών αλγορίθμων και θεωρείται από τους κορυφαίους, διότι εφαρμόζεται σε όλα τα προβλήματα της διακριτής βελτιστοποίησης και δίνει τα καλύτερα υπολογιστικά αποτελέσματα. Αυτή η σημαντικά καλή συμπεριφορά του αλγόριθμου δεν μπορεί να εξηγηθεί επίσημα, αφού δεν υπάρχει ακριβής απόδειξη σύγκλισης. Ο ίδιος ο αλγόριθμος απαγορευμένης έρευνας προέρχεται από τις κλασσικές μεθόδους καθόδου της τοπικής έρευνας, με την έννοια ότι ερευνάται σε βάθος η γειτονιά μιας τρέχουσας λύσης για την αποκάλυψη του βέλτιστου γείτονα, αλλά δεν τερματίζεται η έρευνα όταν αυτός είναι χειρότερος από την τρέχουσα λύση. Απεναντίας, ο γείτονας αυτός γίνεται δεκτός αλλά προσημειώνεται η κίνηση επαναφοράς του γείτονα αυτού στην αρχική λύση σαν απαγορευμένη για κάποιον αριθμό επαναλήψεων.

Απαγορευμένη Έρευνα 2

Η απαγορευμένη έρευνα διαθέτει κάποια βασικά εργαλεία βελτιστοποίησης. Μια πλειάδα ερευνητών έχουν χρησιμοποιήσει, ο καθένας με το δικό του σκεπτικό, αυτά τα εργαλεία για να κατασκευάσουν τους δικούς τους αλγόριθμους απαγορευμένης έρευνας ή έχουν χρησιμοποιήσει την απαγορευμένη έρευνα σε συνδυασμό με άλλες ευρεστικές μεθόδους για την επίτευξη ενός καλύτερου αποτελέσματος. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της απαγορευμένης έρευνας όπου οι διαφορές τους οφείλονται στον τρόπο χρήσης των τεχνικών βελτιστοποίησης και στον τύπο του προβλήματος που πρόκειται να επιλύσουν. Οι αλγόριθμοι απαγορευμένης έρευνας έχουν οδηγήσει σήμερα σε νέες βάσεις και διαστάσεις τη διαδικασία έρευνας του χώρου των λύσεων μιας και οι παραλλαγές τους αποτελούν την πλέον σημαντική περιοχή των εξελικτικών αλγορίθμων. Με βεβαιότητα μπορεί κάποιος σήμερα να πει ότι για κάποια δεδομένη λύση του προβλήματος αριστοποίησης, οι αλγόριθμοι απαγορευμένης έρευνας είναι οι περισσότερο αποτελεσματικοί για τη διαδικασία έρευνας της ευρύτερης γειτονιάς τους.

Προσαρμόσιμη Μνήμη 1

Το βασικό χαρακτηριστικό της απαγορευμένης έρευνας είναι η *προσαρμόσιμη μνήμη*. Η μνήμη είναι γενικότερα διαδικασίες συγκράτησης της ιστορίας της έρευνας. Υπάρχουν αλγόριθμοι που δεν έχουν καθόλου μνήμη και άλλοι που έχουν αυστηρή μνήμη που είναι τυπικό χαρακτηριστικό των αλγόριθμων ακριβούς επίλυσης των προβλημάτων αριστοποίησης. Η χρήση της προσαρμόσιμης μνήμης αποσκοπεί βασικά στον απεγκλωβισμό από τα τοπικά ελάχιστα, ενώ παράλληλα ενεργοποιεί μια διαδικασία για την οικονομικότερη υπολογιστικά και αποτελεσματικότερη έρευνα του χώρου λύσεων. Τα ιστορικά δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης του χώρου λύσεων αποθηκεύονται στην προσαρμόσιμη μνήμη και ανανεώνονται δυναμικά. Πρέπει να τονιστεί ότι στην προσαρμόσιμη μνήμη αποθηκεύεται και η σειρά με την οποία εξετάζονται οι λύσεις και όχι ξεχωριστά κάθε μια λύση.

Προσαρμόσιμη Μνήμη 2

Επομένως αποθηκεύεται η *πορεία* που ακολουθεί η έρευνα. Βάσει λοιπόν αυτών των δεδομένων γίνεται πλέον στρατηγική και αιτιοκρατική εξερεύνηση του χώρου λύσεων και όχι στοχαστική εξερεύνηση. Το πλεονέκτημα που προκύπτει από αυτή την τακτική είναι ότι ακόμη και μια χαμηλής ποιότητας στρατηγική επιλογή μπορεί να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα από μια υψηλής ποιότητας στοχαστική επιλογή. Σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μνήμη, μια χαμηλής ποιότητας επιλογή βασισμένη σε μια αντίστοιχη στρατηγική, μπορεί να αποφέρει χρήσιμες πληροφορίες για το πως αυτή η στρατηγική αυτή μπορεί να βελτιωθεί και να δώσει τελικά καλύτερα αποτελέσματα στο μέλλον. Ο απώτερος στόχος της χρήσης της προσαρμόσιμης μνήμης είναι κατά συνέπεια η αυτόματη εκμάθηση του αλγόριθμου, δηλαδή η προσθήκη ευφιών στοιχείων σε αυτόν.

Συνιστώσες Μνήμης 1

Η προσαρμόσιμη μνήμη στην απαγορευμένη έρευνα έχει τέσσερις συνιστώσες αξιολόγησης. Αυτές αναφέρονται στην *εγγύτητα*, στη *συχνότητα*, στην *ποιότητα* και στην *επενέργεια*. Και οι τέσσερις συνιστώσες αξιολόγησης χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την κάθε λύση που έχει βρεθεί από τον αλγόριθμο. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει κίνητρα ή ποινές για την επανεξέταση ή μη, αντιστοίχως, της λύσης και της γειτονιάς της.

Η εγγύτητα χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της *απαγορευμένης λίστας*, που είναι και το βασικό εργαλείο βελτιστοποίησης του αλγόριθμου και περιγράφεται παρακάτω. Γενικά στην εγγύτητα αποθηκεύονται δεδομένα για το πόσο πρόσφατα έχει βρεθεί μια λύση και στη συχνότητα για το πόσο συχνά εξετάζεται η λύση αυτή. Οι δύο αυτές διαστάσεις θεωρούνται συμπληρωματικές η μια προς την άλλη και ο συνδυασμός τους οδηγεί σε καλύτερα υπολογιστικά αποτελέσματα.

Η ποιότητα χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το πόσο καλή είναι μια λύση που έχει βρεθεί κατά τη διάρκεια εφαρμογής του αλγόριθμου. Αξιολογεί τα στοιχεία που απαντώνται στις καλές λύσεις ή σε μονοπάτια που οδηγούν σε τέτοιες λύσεις. Κατόπιν ανάλογα με την αξιολόγηση δίνονται κίνητρα ή ποινές για κινήσεις που οδηγούν σε καλές ή κακές λύσεις αντίστοιχα.

Συνιστώσες Μνήμης 2

Η επενέργεια αξιολογεί την επίδραση που έχουν οι αποφάσεις, οι οποίες έχουν παρθεί κατά τη διάρκεια της έρευνας στην ποιότητα και στη δομή του δρόμου που ακολουθείται (από μια άποψη η ποιότητα μπορεί να θεωρηθεί μια ειδική μορφή της επενέργειας). Συγκεκριμένα η πορεία που ακολουθείται μετά από την επίσκεψη μιας λύσης καταγράφεται και αξιολογείται ανάλογα με τις περιοχές του χώρου λύσεων που οδηγείται η έρευνα.

Ο κύριος στόχος της προσαρμόσιμης μνήμης λοιπόν είναι η αυτοεκμάθηση. Με την έναρξη του αλγόριθμου αρχίζει η αποθήκευση πληροφοριών και δεδομένων βάσει των τεσσάρων συνιστωσών αξιολόγησης της προσαρμόσιμης μνήμης. Όσο προχωράει η επαναληπτική διαδικασία αρχίζει να δημιουργείται μια βάση δεδομένων για το παρελθόν της έρευνας. Τα στοιχεία αυτής της βάσης χρησιμοποιούνται για την αυτοεκμάθηση του αλγόριθμου και την κατάστροψη στρατηγικού πλέον σχεδίου για την αποτελεσματικότερη εξερεύνηση του χώρου λύσεων.

Βραχυπρόθεσμη και Μακροπρόθεσμη Μνήμη

Ένας διαχωρισμός που γίνεται στην προσαρμόσιμη μνήμη είναι αυτός που αφορά τη διάρκεια της. Η προσαρμόσιμη μνήμη μπορεί να χαρακτηριστεί *βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη*. Στη βραχυπρόθεσμη μνήμη ανήκουν τα δεδομένα που αφορούν το πρόσφατο παρελθόν της έρευνας και προέρχονται κυρίως από την εγγύτητα. Αυτά τα δεδομένα συνήθως ποινολογούνται. Στην μακροπρόθεσμη μνήμη ανήκουν τα δεδομένα που αφορούν το πιο μακρινό παρελθόν και προέρχονται από τις άλλες διαστάσεις της μνήμης. Τα δεδομένα αυτά συνήθως πριμοδοτούνται. Η βελτιστοποίηση στην απαγορευμένη έρευνα επιτυγχάνεται κυρίως με την εκμετάλλευση της βραχυπρόθεσμης μνήμης, ενώ ο συνδυασμός της με την μακροπρόθεσμη συμβάλλει στην εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων. Το αποτέλεσμα της χρήσης και των δύο αυτών μορφών της προσαρμόσιμης μνήμης είναι η τροποποίηση της γειτονιάς κάθε λύσης σε κάθε βήμα της επαναληπτικής διαδικασίας. Η βραχυπρόθεσμη μνήμη συνήθως ποινολογεί κάποιες λύσεις με αποτέλεσμα να τις εξαιρεί από την γειτονιά της παρούσας, ενώ η μακροπρόθεσμη συνήθως δίνει κίνητρα για την εξέταση λύσεων που δεν έχουν ακόμη εξερευνηθεί με αποτέλεσμα να τις συμπεριλαμβάνει στην γειτονιά της παρούσας.

Αλγόριθμος 1

Η απαγορευμένη έρευνα δίνει την δυνατότητα απεγκλωβισμού από τοπικά ελάχιστα κάνοντας αποδεκτές και λύσεις που δεν βελτιώνουν την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Επιπλέον, η απαγορευμένη έρευνα με τη βοήθεια της προσαρμόσιμης μνήμης του αλγορίθμου εμποδίζει την **κυκλικότητα**. Η κυκλικότητα είναι ένα φαινόμενο που λαμβάνει χώρα όταν η δομή της γειτονιάς είναι συμμετρική. Συγκεκριμένα θεωρούμε ότι s είναι η παρούσα λύση της συγκεκριμένης επανάληψης του προβλήματος αριστοποίησης, $N(s)$ η γειτονιά της, s' η υποψήφια επόμενη λύση και $N(s')$ η αντίστοιχη γειτονιά αυτής. Αν η λύση s ανήκει στην γειτονιά της επόμενης υποψήφιας λύσης $N(s')$ για κάθε s' που ανήκει στη $N(s)$, τότε υπάρχει περίπτωση να γίνει ανακύκλωση κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης της $N(s')$ κατά την εφαρμογή της επαναληπτικής διαδικασίας. Αν το s είναι η καλύτερη λύση της $N(s')$ τότε ο αλγόριθμος θα καταλήξει πάλι στο s και κατόπιν θα εναλλάσσεται μεταξύ των s και s' .

Αλγόριθμος 2

Επιλέγεται τυχαία μια αρχική λύση s με κάποιο μηχανισμό έναρξης. Ελέγχονται όλες οι λύσεις που ανήκουν στην γειτονία της λύσης αυτής, $N(s)$, και επιλέγεται η καλύτερη λύση της γειτονιάς, s' , ως η επόμενη. Ακόμη και αν δεν υπάρχει καλύτερη λύση από την λύση s στη γειτονία της αυτής, $N(s)$, επιλέγεται η αμέσως καλύτερη λύση από τη s (η s δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί τοπικό ελάχιστο και η επιλογή της αμέσως καλύτερης λύσης από την s , συντελεί στον απεγκλωβισμό του αλγόριθμου από αυτό το τοπικό ελάχιστο). Επειδή μια γειτονιά μπορεί να είναι πολύ μεγάλη για να ερευνηθεί διεξοδικά και αποτελεσματικά, σε πολλές εφαρμογές ερευνάται ένα υποσύνολο $N'(s)$ της αρχικής γειτονιάς. Η $N(s)$ ονομάζεται και *υποψήφια λίστα*. Για την αποτροπή της ανακύκλωσης η απαγορευμένη έρευνα ενεργοποιεί την απαγορευμένη λίστα. Σε αυτή τη λίστα αποθηκεύονται οι τελευταίες L λύσεις που έχουν εξεταστεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων L επαναλήψεων.

Αλγόριθμος 3

Οι λύσεις αυτές χρίζονται *απαγορευμένες* και το L είναι το μέγεθος της λίστας. Αν μια λύση s' ανήκει στη λίστα τότε η κίνηση $s \rightarrow s'$ απαγορεύεται για κάποιο συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων. Η ανανέωση της απαγορευμένης λίστας γίνεται δυναμικά. Οι λύσεις εισάγονται και εξάγονται από τη λίστα με το σύστημα εξαγωγής των πρώτων στοιχείων που εισήλθαν στη λίστα. Η αποθήκευση των λύσεων και η απαγόρευση της επανεξέτασής τους για κάποιο συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων απεγκλωβίζει την έρευνα από μια συγκεκριμένη περιοχή του χώρου λύσεων (και το αντίστοιχο τοπικό ελάχιστο) και την προωθεί σε νέες περιοχές του που δεν έχουν ακόμη ερευνηθεί. Αναφέρεται ότι οι καλύτερες τιμές για την παράμετρο L είναι μεταξύ των τιμών 5 και 12, ανάλογα με το πρόβλημα.

Αλγόριθμος 4

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών της απαγορευμένης έρευνας δεν γίνεται αποθήκευση στην απαγορευμένη λίστα ολόκληρων των λύσεων, αλλά των *χαρακτηριστικών* τους για λόγους εξοικονόμησης υπολογιστικού χώρου και χρόνου. Ένα χαρακτηριστικό μιας λύσης θεωρείται η αντίστροφη κίνηση από την οποία προέκυψε η ίδια η λύση. Η αποθήκευση χαρακτηριστικών των λύσεων στην απαγορευμένη λίστα δεν εκπληρώνει σε όλες τις δυνατές περιπτώσεις τον σκοπό για τον οποίο λειτουργεί, δηλαδή την αποτροπή της ανακύκλωσης. Επίσης είναι πιθανό η απαγορευμένη λίστα που αποθηκεύει χαρακτηριστικά και όχι ολόκληρες λύσεις, να είναι περισσότερο περιοριστική από ότι προορίζεται να είναι. Συγκεκριμένα είναι πιθανό να απαγορεύει τη μετάβαση σε λύσεις που δεν έχουν ακόμη εξεταστεί από τον αλγόριθμο.

Κριτήρια Υπέρβασης

Για να ξεπεραστούν αυτές οι ανεπιθύμητες συνέπειες ενεργοποιείται ένας μηχανισμός για την διαγραφή της απαγορευμένης κατάστασης μιας λύσης. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται *κριτήρια υπέρβασης*. Ο μηχανισμός αυτός διαγράφει την απαγορευμένη κατάσταση μιας λύσης αν πληρούνται κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια, αλλά το πιο κοινό και ουσιαστικό κριτήριο σχετίζεται με την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Συγκεκριμένα αν μια λύση που βρίσκεται σε απαγορευμένη κατάσταση βελτιώνει την αντικειμενική συνάρτηση, τότε το κριτήριο υπέρβασης δίνει την δυνατότητα διαγραφής της κατάστασής της και τη μετάβαση του αλγόριθμου σε αυτήν. Η βελτίωση στην περίπτωση αυτή είναι σε παγκόσμιο επίπεδο για την μέχρι τώρα έρευνα. Δηλαδή, η λύση που είναι απαγορευμένη, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνον όταν η αντικειμενική συνάρτηση που συνδέεται με αυτήν είναι η καλύτερη που έχει αποκαλυφθεί από την έρευνα μέχρι το σημείο αυτό. Είναι σημαντικό να ξεκαθαριστεί ότι τα κριτήρια υπέρβασης δεν υποχρεώνουν την επιλογή συγκεκριμένων κινήσεων, αλλά απλά τις καθιστούν πάλι διαθέσιμες.

Εντατικοποίηση και Διαφοροποίηση 1

Δύο βασικά συστατικά της Απαγορευμένης Έρευνας είναι οι στρατηγικές *εντατικοποίησης και διαφοροποίησης*. Η εντατικοποίηση επικεντρώνει την έρευνα στην περιοχή γύρω από την κάθε εξαιρετική λύση που έχει βρεθεί μέχρι στιγμής. Μπορεί επίσης να οδηγήσει την έρευνα στο να επιστρέψει σε ελκυστικές περιοχές (που περιέχουν καλές λύσεις) του χώρου λύσεων, για να γίνει πιο διεξοδική εξέτασή τους. Η εντατικοποίηση στηρίζεται στο γεγονός ότι η γειτονιά μιας εξαιρετικής λύσης είναι πιθανό να περιέχει ακόμη καλύτερες λύσεις, οι οποίες δεν εξετάστηκαν λόγω περιορισμών, ή λόγω εξέτασης ενός υποσυνόλου της γειτονιάς της εξαιρετικής λύσης και όχι ολόκληρης της γειτονιάς. Όπως προαναφέρθηκε πολλές φορές εξετάζεται ένα υποσύνολο της γειτονιάς, όταν αυτή είναι πολύ μεγάλη για να ερευνηθεί αποτελεσματικά. Για την εφαρμογή της εντατικοποίησης χρησιμοποιείται η ακριβής μνήμη. Οι εξαιρετικές λύσεις αποθηκεύονται ολόκληρες για να είναι δυνατή η πρόσβαση σε αυτές οποιαδήποτε στιγμή που θα απαιτηθεί αυτό από την διαδικασία της εντατικοποίησης.

Εντατικοποίηση και Διαφοροποίηση 2

Η εντατικοποίηση επίσης μπορεί να οδηγήσει σε καλές λύσεις, συνδυάζοντας στοιχεία των εξαιρετικών λύσεων. Τα δεδομένα για την εφαρμογή της εντατικοποίησης προέρχονται κυρίως από την ποιότητα και την επενέργεια.

Ο σκοπός της διαφοροποίησης είναι επίσης η ανεύρεση καλών λύσεων. Αυτό όμως επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση μιας τελείως διαφορετικής διαδικασίας από αυτήν της εντατικοποίησης. Η διαφοροποίηση προωθεί την έρευνα σε περιοχές του χώρου λύσεων, οι οποίες δεν έχουν προηγουμένως εξερευνηθεί. Συγκεκριμένα επιβάλλει ποινές σε λύσεις που έχουν εξεταστεί πολλές φορές και δίνει κίνητρα για την εξέταση περιοχών που δεν έχουν ακόμη εξερευνηθεί. Για την εφαρμογή της διαφοροποίησης είναι προφανές ότι χρησιμοποιείται κυρίως η συχνότητα.