



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

## Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση

Εισηγητής  
Αναστάσιος Κεσίδης

## **Τοπική αναζήτηση**

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Γενικά

Υπάρχουν προβλήματα στα οποία η διαδρομή προς τον στόχο δεν έχει σημασία.

- Ορίζεται μια **αντικειμενική συνάρτηση** που αξιολογεί κάθε κατάσταση.
- Σκοπός είναι η εύρεση της κατάστασης που μεγιστοποιεί (ή ελαχιστοποιεί) την τιμή αυτής της συνάρτησης.

## Χαρακτηριστικά

- Σε κάθε βήμα επιλέγεται μια γειτονική κατάσταση και δεν κρατούνται πληροφορίες για πιθανές εναλλακτικές διαδρομές.
- Οι απαιτήσεις μνήμης είναι μικρές
- Κατάλληλη για προβλήματα βελτιστοποίησης (με βάση την αντικειμενική συνάρτηση)

Δεν αναζητείται το βέλτιστο μονοπάτι αλλά η βέλτιστη κατάσταση

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Αναρρίχηση λόφων

### Βήματα

1. Βάλε τον **κόμβο αρχικής κατάστασης** στο μέτωπο αναζήτησης.
2. Αν το μέτωπο είναι **άδειο**, σταμάτα.
3. **Επέκτεινε** τον τρέχον κόμβο και επέλεξε το παιδί με την υψηλότερη τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (ή αντίστοιχα μικρότερο κόστος)
4. Αφαίρεσε τον τρέχοντα κόμβο από το μέτωπο. Εάν το επιλεγμένο παιδί έχει τιμή αντικειμενικής συνάρτησης **μεγαλύτερη** από του τρέχοντα κόμβου τότε πρόσθεσέ το στο μέτωπο.
5. Πήγαινε στο βήμα 2.

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Αναρρίχηση λόφων

Παράδειγμα με 8 βασίλισσες

$h = 9$

**Αρχική κατάσταση**

Τυχαία διάταξη των βασιλισσών, μια σε κάθε στήλη

**Στόχος – τελική κατάσταση**

Καμία βασίλισσα να μην απειλεί άλλη,  
δηλαδή  $h = 0$

**Μετάβαση**

Μετακίνηση κάθε βασίλισσα στην στήλη της

**Ευριστική συνάρτηση  $h$**

Πλήθος ζευγών από βασίλισσες που  
απειλούνται μεταξύ τους

♛	7	7	6	7	13	8	10
10	8	6	7	8	10	♛	9
10	7	7	7	8	12	9	♛
14	7	7	7	9	10		8
10	♛	6	8	9	12	9	9
11	7	♛	7	9	11	9	9
10	9	7	♛	7	11	9	8
12	8	8	6	♛	10	8	9

$$8 \times 7 = 56$$

Διάδοχες καταστάσεις

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Αναρρίχηση λόφων

Παράδειγμα με 8 βασίλισσες (συν.)

$h = 1$

### Τοπικό ελάχιστο

Όλες οι γειτονικές καταστάσεις έχουν υψηλότερο κόστος

Με τυχαία κατάσταση εκκίνησης

- Παγιδεύεται στο 86% των περιπτώσεων
- Επιλύει το πρόβλημα στο 14% των περιπτώσεων

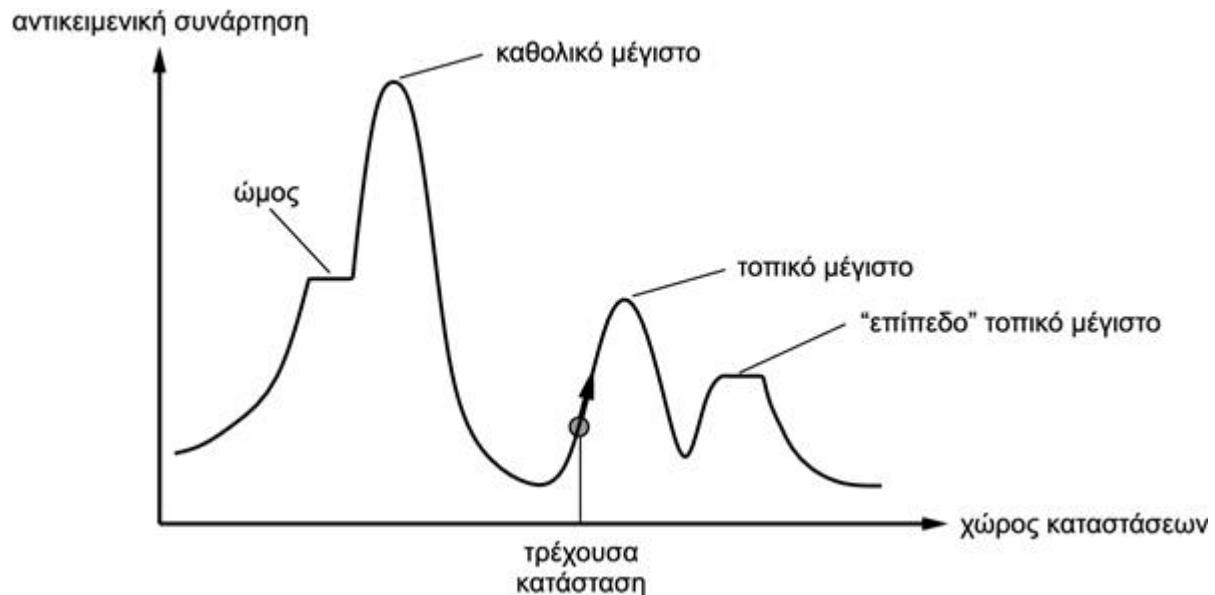
3	3	3	3	2	3	3	3
3	3	4	2	3	4	2	4
2	3	3	3	5	4	2	3
3	2	4	3	4	4	3	2
3	3	4	3	4	3	2	3
3	5	3	2	4	3	2	3
4	3	3	2	2	3	3	3
3	3	2	2	3	2	3	3

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Αναρρίχηση λόφων

### Χαρακτηριστικά

- Άπληστη τοπική αναζήτηση (greedy local search), καθώς επιλέγεται κάθε φορά απλώς η **καλύτερη τρέχουσα γειτονική κατάσταση**.
- Τερματίζεται όταν φτάσει σε μια «κορυφή» όπου κανένας κόμβος δεν έχει υψηλότερη τιμή.
- Παρόμοια με την αναζήτηση πρώτα σε βάθος μόνο που **απορρίπτονται** στην συνέχεια όσα μονοπάτια δεν επιλεγούν.



# Τοπική αναζήτηση

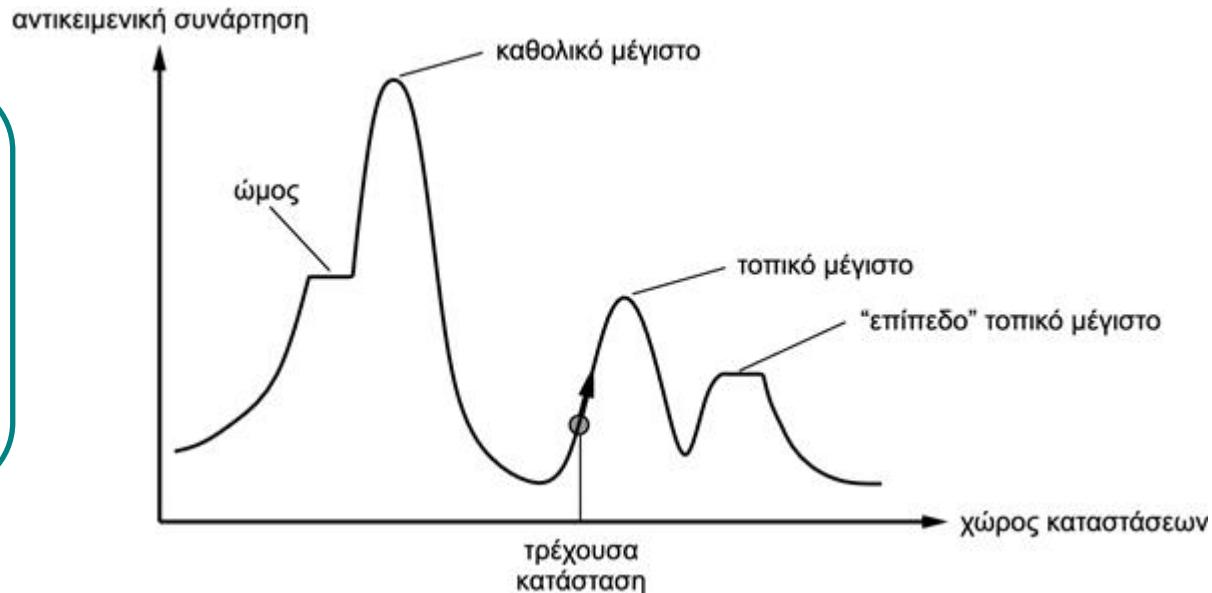
## ➤ Αναρρίχηση λόφων - παραλλαγές

### Πλάγια κίνηση

Σε περίπτωση που φτάσει σε οροπέδιο (ώμος) όπου η καλύτερη διάδοχη κατάσταση έχει την ίδια τιμή με την τρέχουσα

- Μετακίνηση για ένα **πεπερασμένο αριθμό βημάτων** (π.χ. 100) πάνω στον ώμο με σκοπό να βρεθεί γειτονική κατάσταση με υψηλότερη τιμή

Στο πρόβλημα των 8 βασιλισσών για μέγιστο αριθμό πλαγίων βημάτων 100, αυξάνεται το ποσοστό επίλυσης από 14% σε 94%



# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Αναρρίχηση λόφων - παραλλαγές

### Στοχαστική αναρρίχηση

Επιλέγεται τυχαία κάποια από τις διαθέσιμες καταστάσεις με τιμές καλύτερες από την τρέχουσα

- Η πιθανότητα επιλογής εξαρτάται από την «αξία» του κόμβου.
- Συγκλίνει συνήθως πιο αργά αλλά σε ορισμένα προβλήματα βρίσκει καλύτερες λύσεις

### Τυχαίες επανεκκινήσεις

Η αναζήτηση επαναλαμβάνεται πολλές φορές ξεκινώντας κάθε φορά από διαφορετική αρχική κατάσταση.

- Εάν η αναζήτηση με αναρρίχηση λόφων έχει πιθανότητα επιτυχίας  $p$  τότε ο αναμενόμενος αριθμός επανεκκινήσεων είναι  $1/p$ .

Π.χ. στο πρόβλημα των 8 βασιλισσών χωρίς πλάγιες κινήσεις είναι  $p = 0.14$  οπότε χρειάζονται περίπου  $1/0.14 \approx 7$  επαναλήψεις.

# Τοπική αναζήτηση

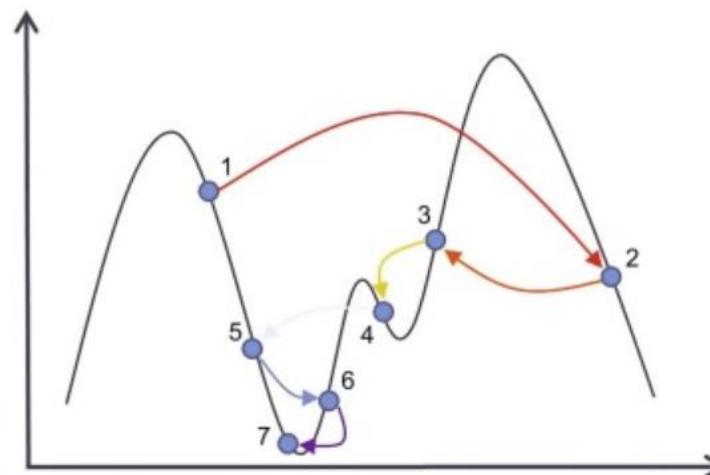
## ➤ Προσομοιωμένη ανόπτηση (simulated annealing)

### Γενικά

Έμπνευση από φυσική ανόπτηση στερεών (κυρίως μετάλλων) στην μεταλλουργία.

Επιλέγεται τυχαία κάποια από τις διαθέσιμες καταστάσεις

- Εάν η επιλογή **βελτιώνει** την αντικειμενική συνάρτηση (ή μειώνει το κόστος) τότε γίνεται **αποδεκτή** (ακόμη και αν δεν είναι η καλύτερη)
- Εάν η επιλογή είναι **χειρότερη** από την τρέχουσα κατάσταση (ή αυξάνει το κόστος) τότε γίνεται **αποδεκτή ορισμένες φορές** με κάποια πιθανότητα



# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Προσομοιωμένη ανόπτηση (simulated annealing)

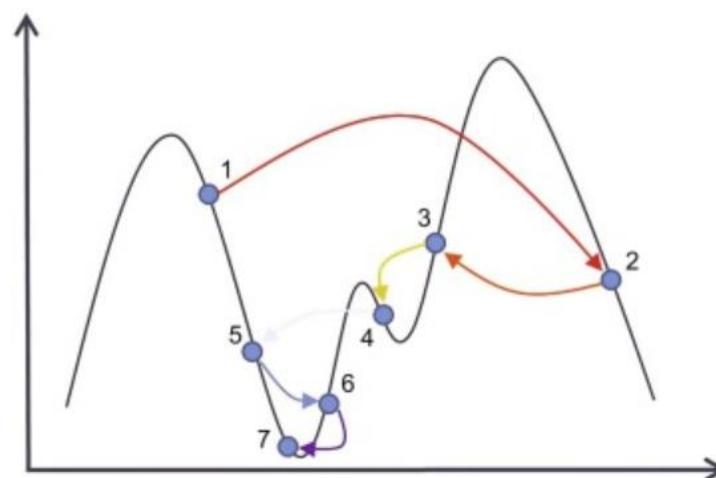
### Μεθοδολογία

Υπολογισμός αντικειμενικής συνάρτησης (π.χ. κόστος) μεταξύ τρέχουσας και επόμενης κατάστασης

$$\Delta E = e(n') - e(n)$$

Χρήση της «θερμοκρασίας»  $T$  που καθορίζει τον βαθμό αποδοχής χειρότερων λύσεων

- Ευρεία αποδοχή χειρότερων λύσεων στην αρχή και σχεδόν μηδενική αποδοχή προς το τέλος.



# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Προσομοιωμένη ανόπτηση (simulated annealing)

### Βήματα

Έστω ένα πρόβλημα **ελαχιστοποίησης κόστους**

1. Επιλογή αρχικής κατάστασης  $n = n_0$  με **κόστος**  $e(n)$  και αρχικής **θερμοκρασίας**  $T = T_0$
2. Εάν ισχύει η **συνθήκη τερματισμού** σταμάτα
3. Επιλογή νέας κατάστασης  $n'$  με κόστος  $e(n')$
4. Εάν  $\Delta E < 0$  τότε όρισε τον νέο κόμβο ως τον τρέχοντα  $n \leftarrow n'$  και πήγαινε στο Βήμα 2
5. Παρήγαγε μια τυχαία τιμή  $r \in [0, 1]$  Αν  $r < e^{-\frac{\Delta E}{T}}$  τότε  $n \leftarrow n'$
6. Μείωσε την θερμοκρασία  $T' = f(T)$
7. Πήγαινε στο Βήμα 2

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Προσομοιωμένη ανόπτηση (simulated annealing)

Χρησιμοποιούμενες **συνθήκη τερματισμού**:

- Ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων
- Κατώφλι μεταβολής στην τιμή της  $\Delta E$

Η θερμοκρασία **μειώνεται** με τον χρόνο:

- $f(T) = T \cdot a$  με  $a$  σταθερά π.χ.  $a = 0.95$

**Παραδείγματα τιμών**  $e^{-\Delta E/T}$  για αποδοχή νέας κατάστασης

$$e^{-1/20} = 0.9712$$

$$e^{-5/20} = 0.7788$$

$$e^{-1/10} = 0.9048$$

$$e^{-5/10} = 0.6065$$

Μεγαλύτερη πιθανότητα για μικρή διαφορά  $\Delta E$  και μεγάλη θερμοκρασία  $T$

- + Διαφυγή από τοπικά ελάχιστα
- + Εφαρμογή και σε προβλήματα που έχουν συγκεκριμένη αρχή (χωρίς επανεκκινήσεις)
- Καθυστέρηση εντοπισμού καλύτερου γείτονα λόγω χαμηλής πιθανότητας επιλογής

# Τοπική αναζήτηση

## ➤ Αναζήτηση με απαγορεύσεις (tabu search)

### Μεθοδολογία

Μετάβαση πάντα στη **καλύτερη διάδοχη κατάσταση**, ακόμα και αν είναι χειρότερη από τη τρέχουσα

Απομνημόνευση απαγορευμένης λίστας (**tabu list**) των  $L$  πιο πρόσφατων χειρότερων καταστάσεων

Αν μια κατάσταση είναι απαγορευμένη **δεν επιτρέπεται** η επιλογή της ως διάδοχη κατάσταση

- Το  $L$  δίνεται από τον χρήστη και καθορίζει για πόσες κινήσεις στο παρελθόν θα κρατούνται οι κινήσεις στην λίστα.
- Μια κατάσταση χαρακτηρισμένη ως απαγορευμένη μπορεί **στο μέλλον να αποχαρακτηριστεί** και να μην είναι πλέον tabu.

# Τοπική αναζήτηση

---

## ➤ Σύνοψη

- Ιδιαίτερα αποτελεσματικές τεχνικές
- Συχνά είναι οι μόνες **εφικτές** τεχνικές
- Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών
- Συχνά δύσκολος ο προσδιορισμός των βέλτιστων **παραμέτρων**
- Διαισθητικά ερμηνεύσιμες: οι χώροι αναζήτησης είναι συχνά πολύ μεγάλοι για να ερευνηθούν συστηματικά
- **Σε μεγάλα προβλήματα** δεν μπορούν να συγκριθούν οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης με τους συστηματικούς αλγορίθμους ως προς την πληρότητα ή την βέλτιστη λύση γιατί πρακτικά καμία από τις δύο προσεγγίσεις δεν μπορεί να εγγυηθεί λύση σε **εύλογο χρόνο**