

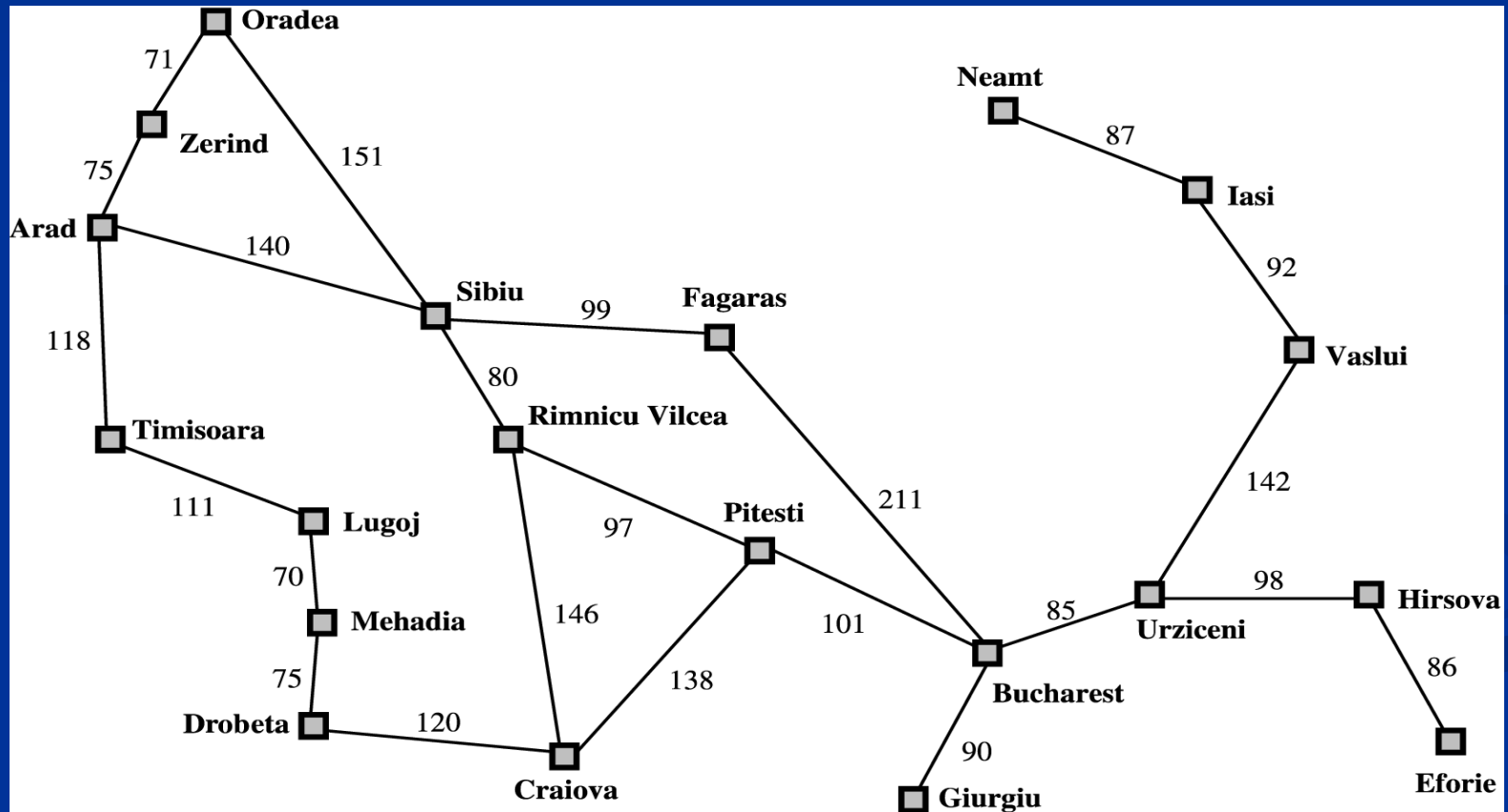
Πληροφορημένη Αναζήτηση και Εξερεύνηση

Στρατηγικές πληροφορημένης (ευρετικής) αναζήτησης

- Χρησιμοποιούν ειδική γνώση του προβλήματος, πέρα από τον ίδιο τον ορισμό του προβλήματος
- Μπορούν να βρουν λύσεις πιο αποδοτικά από μια στρατηγική χωρίς πληροφόρηση
- **Συνάρτηση αξιολόγησης** (evaluation function), $f(n)$: μετρά την απόσταση από το στόχο και με βάση την τιμή της επιλέγεται ο επόμενος κόμβος
- **Ευρετική συνάρτηση** (heuristic function), $h(n)$: υπολογίζει το κόστος φθηνότερης διαδρομής από ένα κόμβο n σε ένα κόμβο στόχου

Άπληστη αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

- $f(n)=h(n)$
- h_{SLD} : Straight-Line Distance heuristic (ευθύγραμμη απόσταση)



Πληροφορημένη Αναζήτηση και Εξερεύνηση

Άπληστη αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

- Τιμές h_{SLD} για απόσταση από Βουκουρέστι

Arad	366		Mehadia	241
Bucharest	0		Neamt	234
Craiova	160		Oradea	380
Dobreta	242		Pitesti	100
Eforie	161		Rimniscu Vilcea	193
Fagaras	176		Sibiu	253
Giurgiu	77		Timisoara	329
Hirsova	151		Urziceni	80
Iasi	226		Vaslui	199
Lugoj	244		Zerind	374

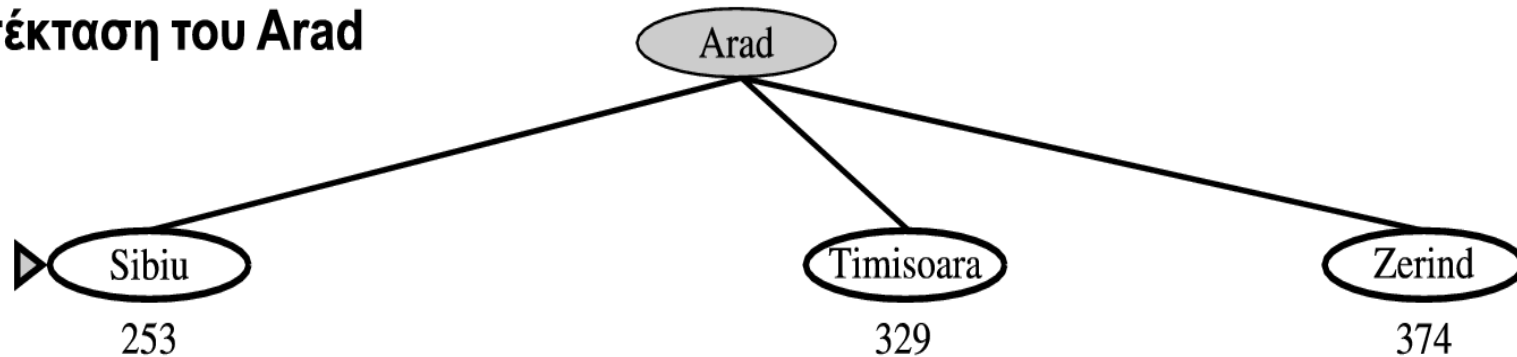
Άπληστη αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

- Μετάβαση από το Arad στο Βουκουρέστι

(α) Η αρχική κατάσταση

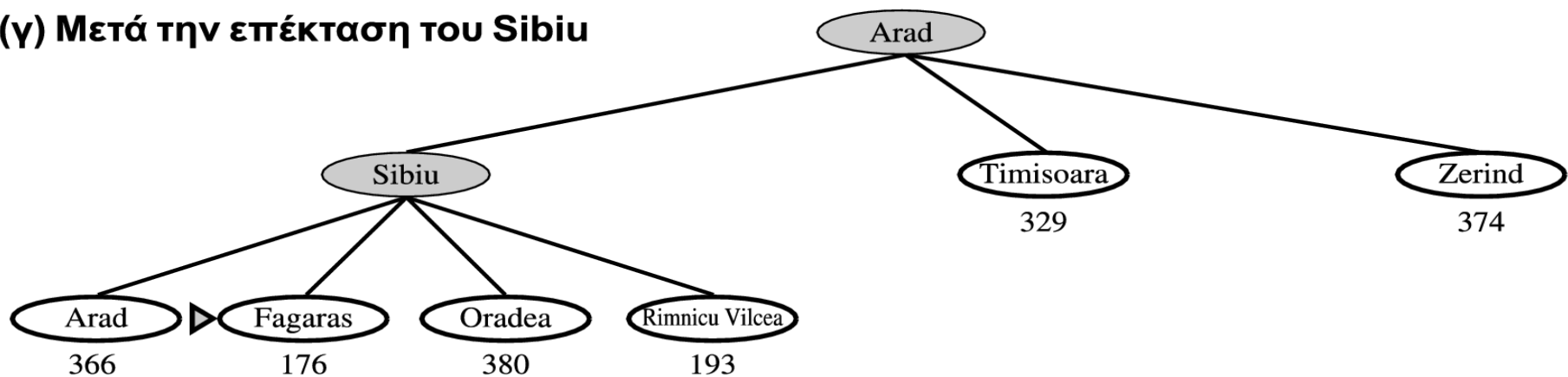


(β) Μετά την επέκταση του Arad

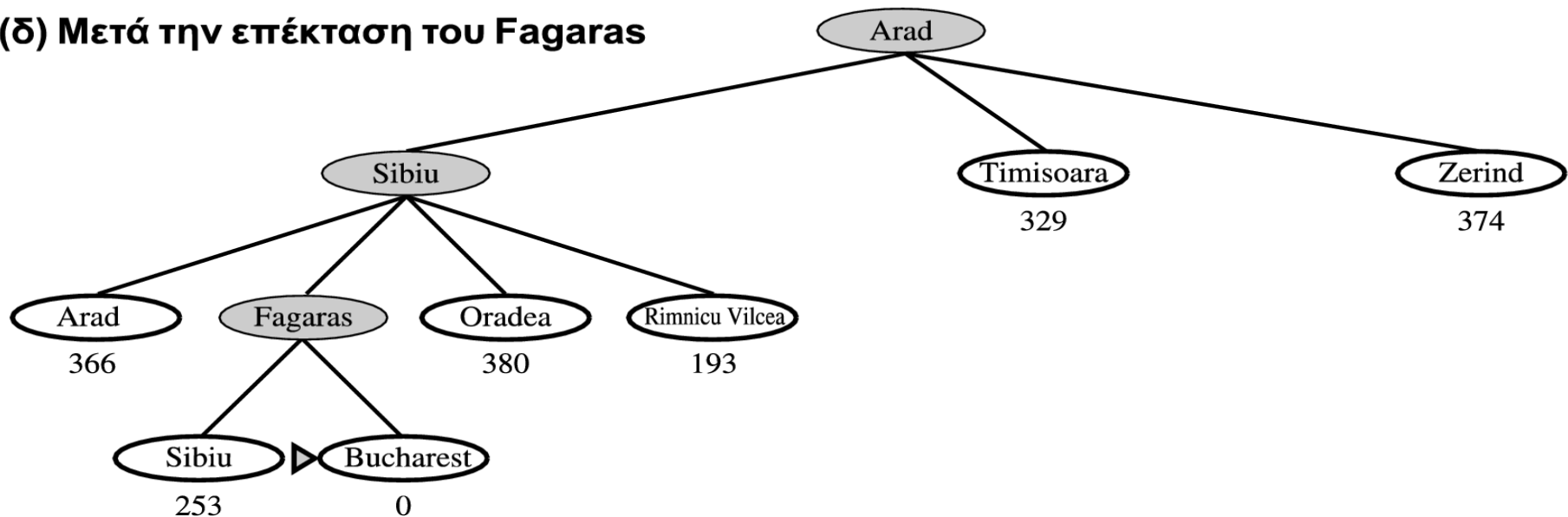


Άπληστη αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

(γ) Μετά την επέκταση του Sibiu



(δ) Μετά την επέκταση του Fagaras



Άπληστη αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

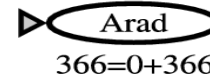
- Επιρρεπής σε λανθασμένες εκτιμήσεις:
 - Μετάβαση από Iasi σε Fagaras
- Έχει ομοιότητα με την αναζήτηση πρώτα κατά βάθος.
 - Μπορεί να μπλέξει σε ατέρμονα κλαδιά
- Χρονική, χωρική πολυπλοκότητα χειρότερης περίπτωσης: $O(b^m)$

Αναζήτηση A^*

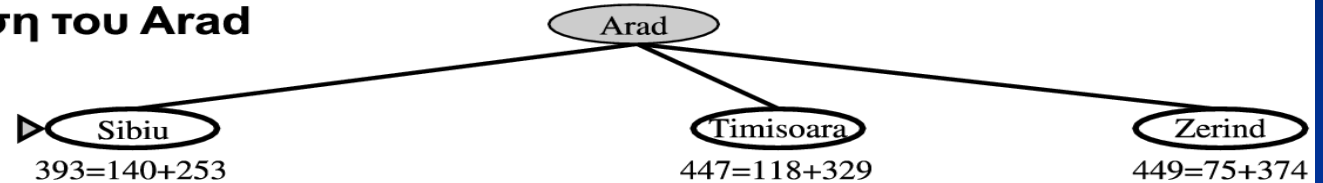
- $f(n) = g(n) + h(n)$
 - όπου $g(n)$ είναι το κόστος μετάβασης στον κόμβο n
- Η A^* είναι βέλτιστη αν:
 - η συνάρτηση $h(n)$ είναι **παραδεικτός ευρετικός μηχανισμός**, δηλαδή δεν κάνει υπερετιμήσεις για το κόστος επίτευξης του στόχου
 - π.χ. h_{SLD} (η ευθεία γραμμή δεν μπορεί να είναι υπερετίμηση)
- Η αναζήτηση A^* χωρίς κλάδεμα επαναλαμβανόμενων καταστάσεων είναι βέλτιστη αν η $h(n)$ είναι παραδεικτός ευρετικός μηχανισμός

Αναζήτηση A*

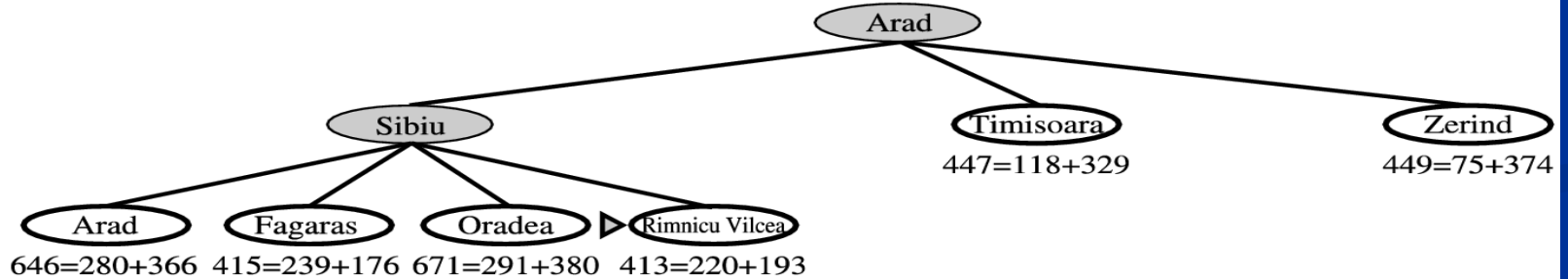
(α) Η αρχική κατάσταση



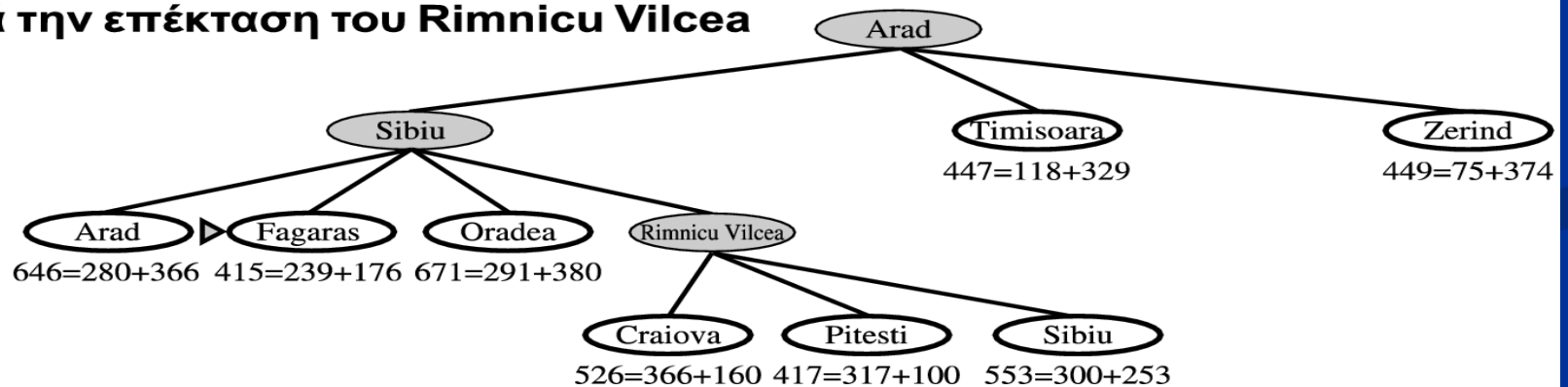
(β) Μετά την επέκταση του Arad



(γ) Μετά την επέκταση του Sibiu

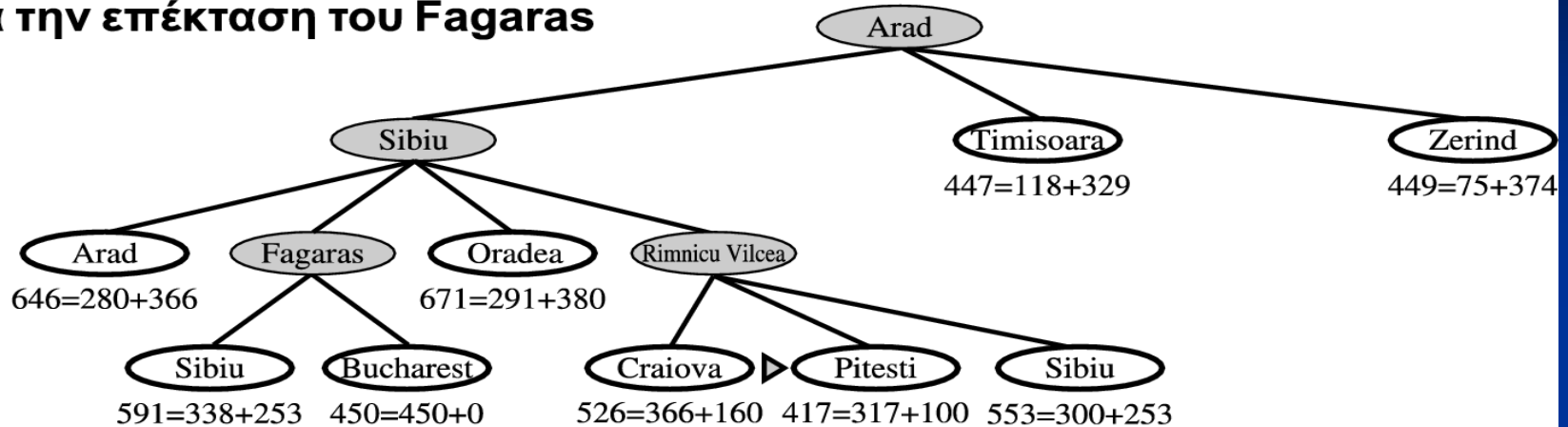


(δ) Μετά την επέκταση του Rimnicu Vilcea

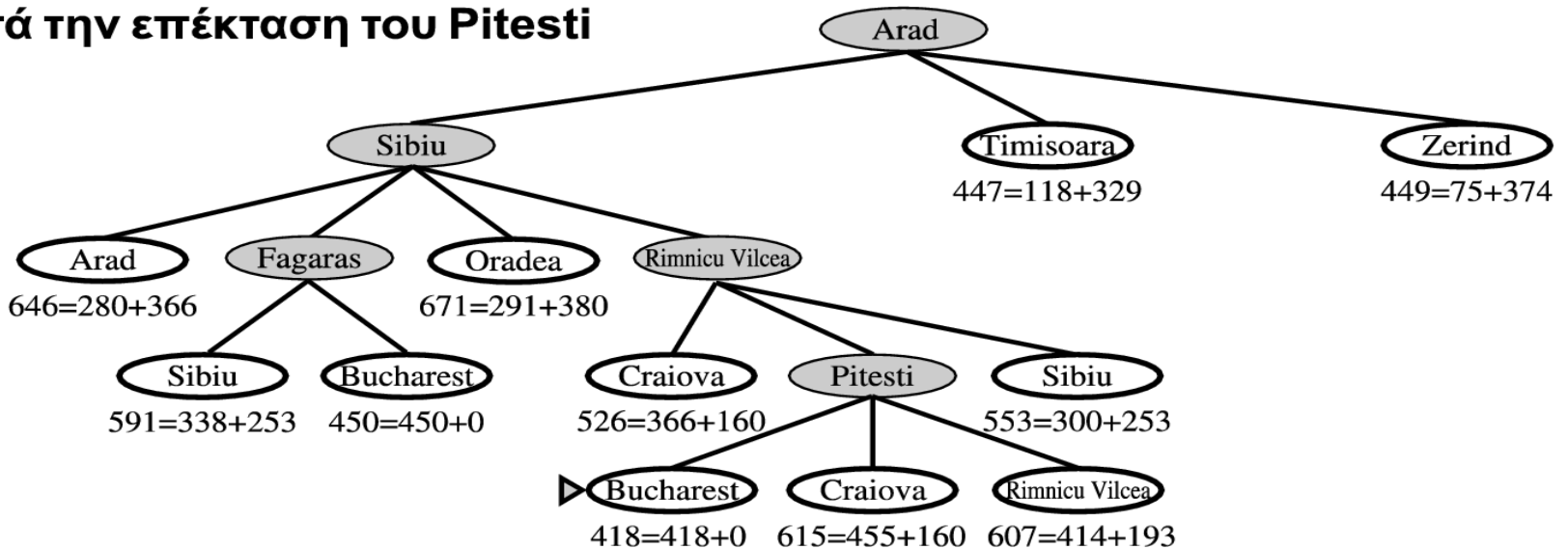


Αναζήτηση A*

(ε) Μετά την επέκταση του Fagaras



(στ) Μετά την επέκταση του Pitesti



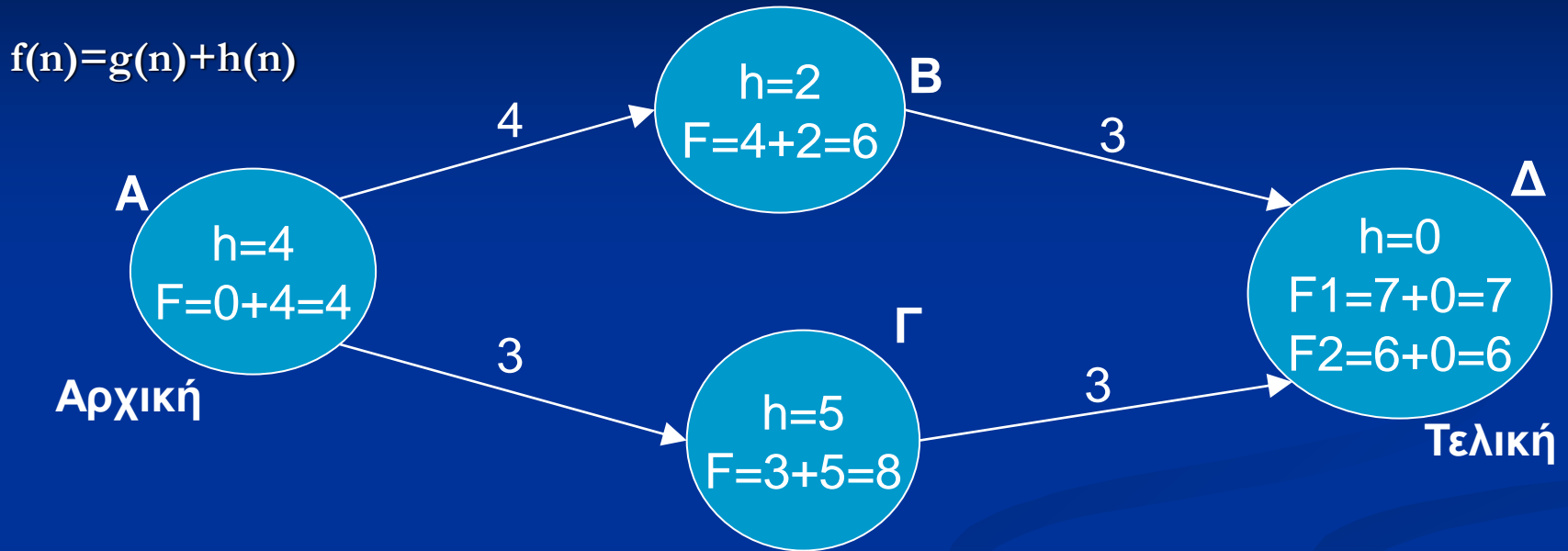
Συνεπείς ευρετικές συναρτήσεις

- Μια ευρετική συνάρτηση λέγεται συνεπής (consistent) ή μονοτονική, εάν ισχύει:
 - $h(n) \leq c(n, a, n') + h(n')$
- Η αναζήτηση A^* με κλάδεμα επαναλαμβανόμενων καταστάσεων, είναι βέλτιστη αν η $h(n)$ είναι συνεπής.
 - $f(n') = g(n') + h(n') = g(n) + c(n, a, n') + h(n') \geq g(n) + h(n) = f(n)$
- Μια συνεπής ευρετική συνάρτηση είναι και παραδεικτός ευρετικός μηχανισμός.
- Οι περισσότερες παραδεικτές ευρετικές συναρτήσεις είναι και συνεπείς (π.χ. h_{SLD})

Αποδοτικότητα A^*

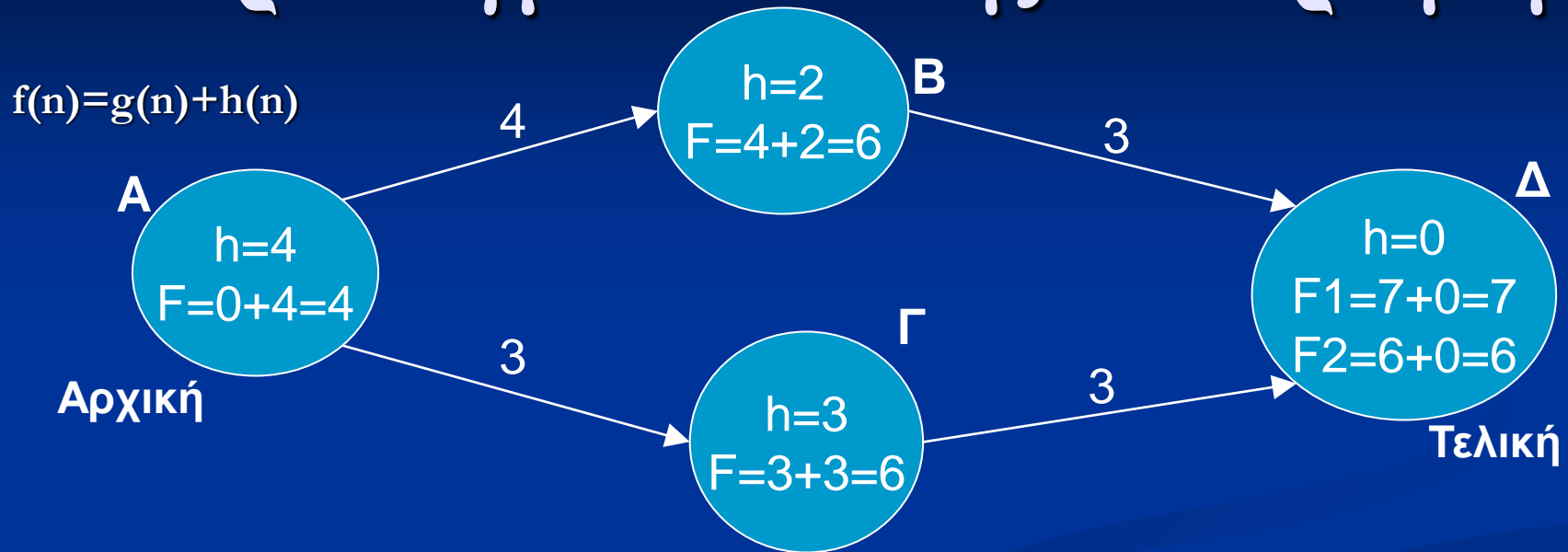
- Βέλτιστος και πλήρης
- Βέλτιστα αποδοτικός
 - Εξερευνά τις λιγότερες καταστάσεις από όλους τους βέλτιστους και πλήρεις αλγορίθμους
- Μεγάλες (ειθυτικές) απαιτήσεις σε χρόνο και (κυρίως) σε μνήμη.
 - Δεν είναι πρακτικά χρήσιμος για πολλά προβλήματα μεγάλης κλίμακας

Παράδειγμα: Μη-Συνεπής Συνάρτηση



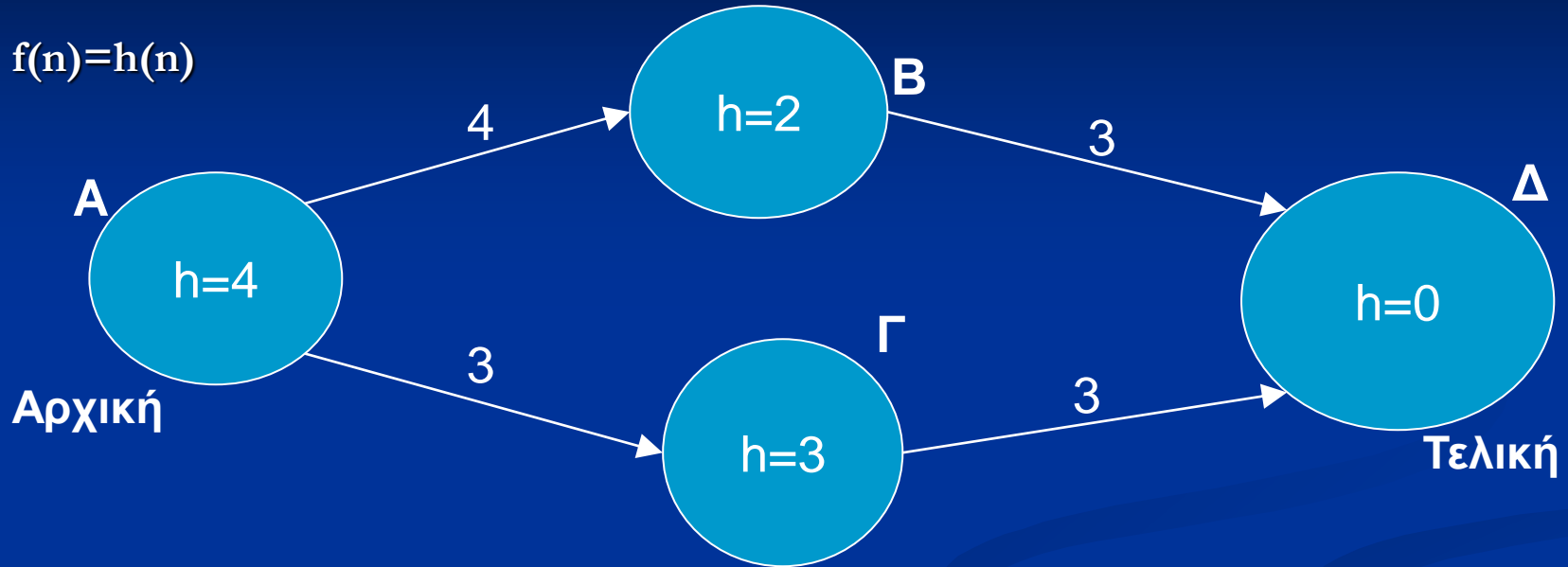
Μέτωπο αναζήτησης	Κλειστό σύνολο	Τρέχουσα κατάσταση	Παιδιά
A^4		A	$AB^6, A\Gamma^8$
$AB^6, A\Gamma^8$	A	AB^6	$AB\Delta^7$
$AB\Delta^7, A\Gamma^8$	A, AB	$AB\Delta^7$	Λύση

Παράδειγμα: Συνεπής Συνάρτηση



Μέτωπο αναζήτησης	Κλειστό σύνολο	Τρέχουσα κατάσταση	Παιδιά
A^4		A	$AB^6, A\Gamma^6$
$AB^6, A\Gamma^6$	A	AB^6	$AB\Delta^7$
$A\Gamma^6, AB\Delta^7$	A, AB	$A\Gamma^6$	$A\Gamma\Delta^6$
$A\Gamma\Delta^6, AB\Delta^7$	A, AΓ, AB	$A\Gamma\Delta^6$	Λύση

Παράδειγμα: Σύγκριση BestFS και A*



Λύση στο προηγούμενο παράδειγμα με χρήση BestFS:

Μέτωπο αναζήτησης	Κλειστό σύνολο	Τρέχουσα κατάσταση	Παιδιά
A		A	AB, AΓ
AB, AΓ	A	AB	ABΔ
ABΔ, AΓ	A, AB	ABΔ	Λύση

Ευρετική Αναζήτηση Περιορισμένης Μνήμης

A* με επαναληπτική εκβάθυνση

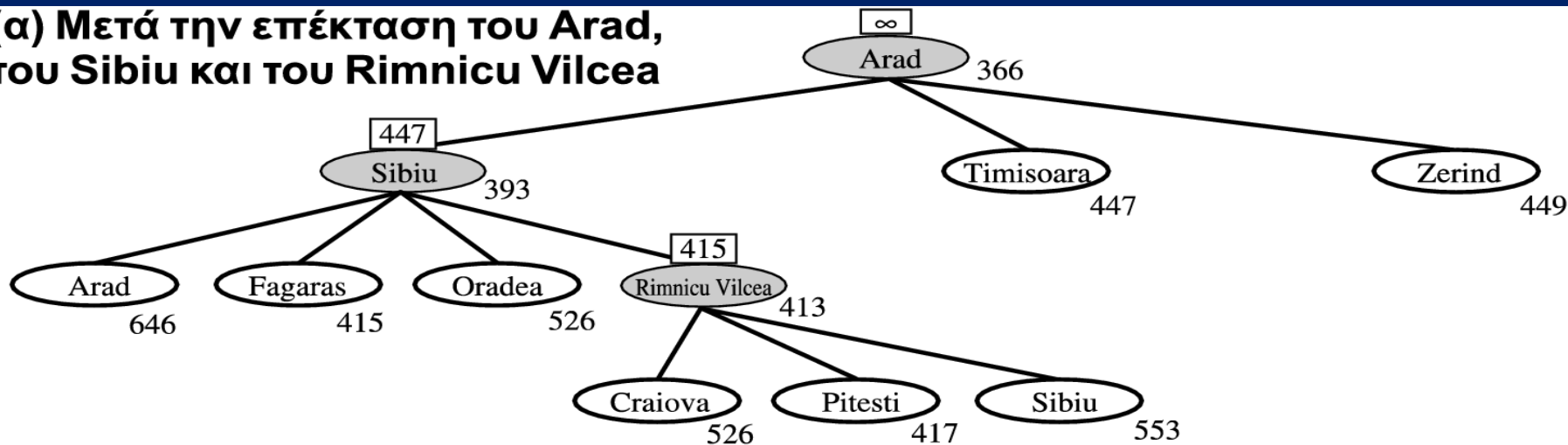
- Επέκταση των κλαδιών πρώτα κατά βάθος
- Όριο αποκοπής: $f(n) = g(n) + h(n)$
 - Αν δε βρεθεί λύση σε κάποιο κόστος, αυξάνεται το όριο αποκοπής στο κόστος του «φθηνότερου» κόμβου που ξεπέρασε το όριο αποκοπής στην προηγούμενη επανάληψη
- Δεν ανιχνεύει επαναλαμβανόμενες καταστάσεις

Αναδρομική αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

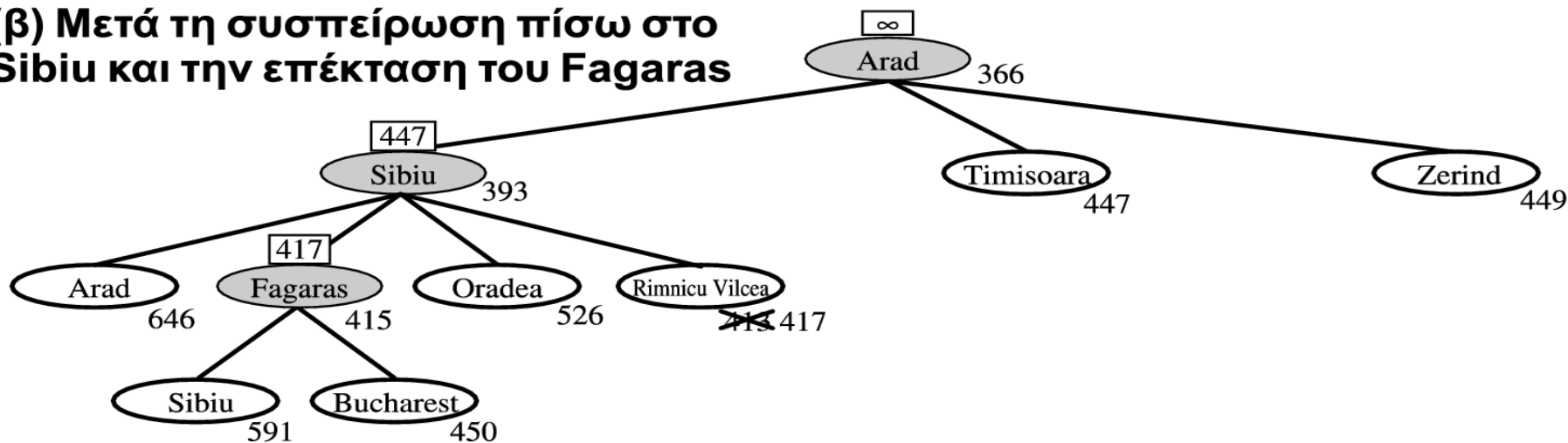
- Σε κάθε κόμβο που επιλέγει να επεκτείνει, θυμάται την καλύτερη τιμή f των γειτονικών του κόμβων
- Εάν δεν υπάρχει παιδί στον τρέχον κόμβο με τιμή f καλύτερη του βέλτιστου γειτονικού κόμβου, η αναζήτηση συνεχίζει από το βέλτιστο γειτονικό κόμβο, ενημερώνοντας τον τρέχοντα κόμβο με την τιμή του καλύτερου παιδιού του
- Γραμμικές απαιτήσεις σε μνήμη
- Δεν ανιχνεύει επαναλαμβανόμενες καταστάσεις

Αναδρομική αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

(α) Μετά την επέκταση του Arad, του Sibiu και του Rimnicu Vilcea

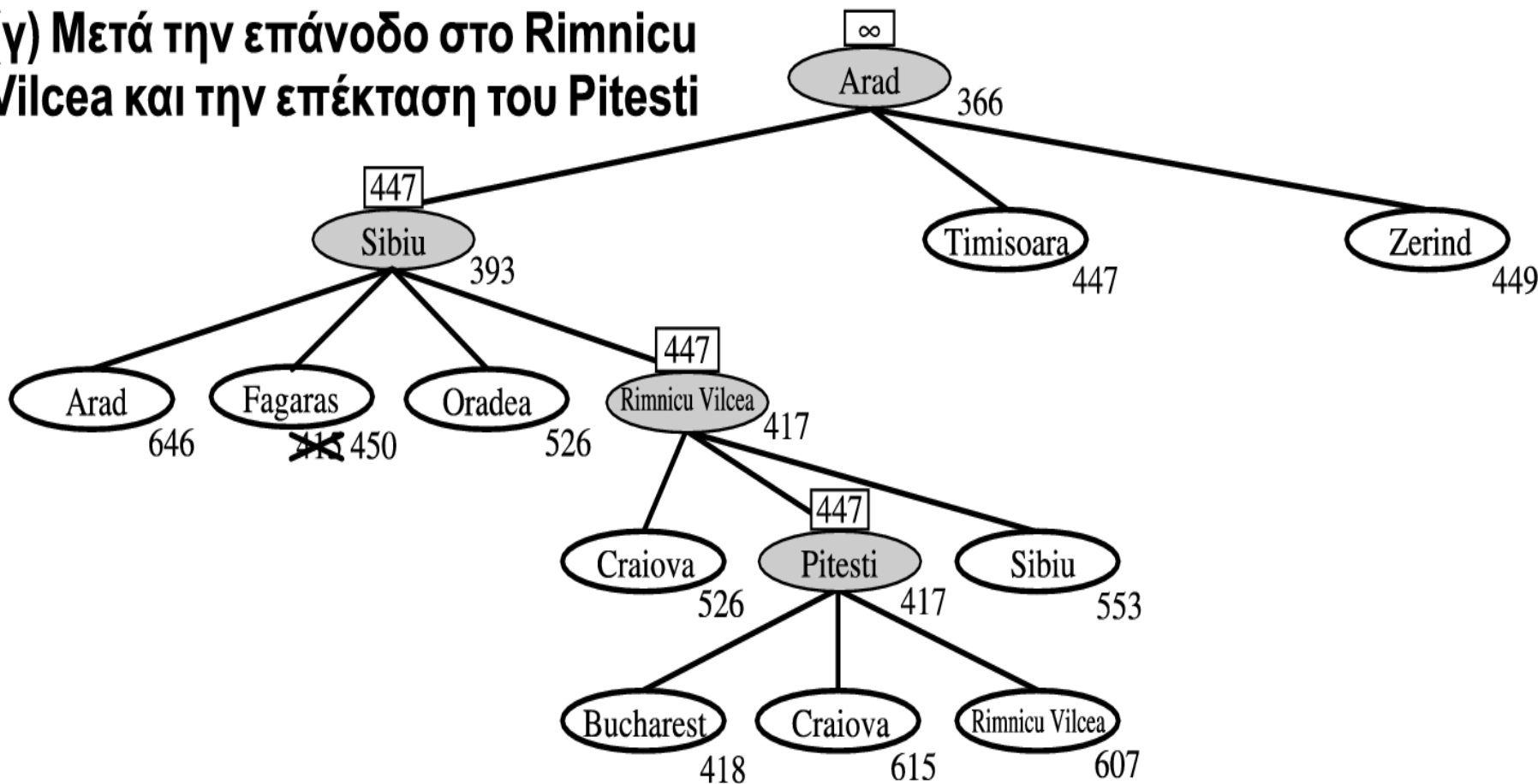


(β) Μετά τη συσπείρωση πίσω στο Sibiu και την επέκταση του Fagaras



Αναδρομική αναζήτηση πρώτα στο καλύτερο

(γ) Μετά την επάνοδο στο Rimnicu Vilcea και την επέκτασή του Pitesti



Ευρετικές Συναρτήσεις

Παζλ των 8 πλακιδίων

7	2	4			
5		6		1	2
8	3	1		3	4
Αρχική κατάσταση			Κατάσταση στόχου		

$$h_1=8$$

$$h_2=18$$

$$h^*=h_1+h_2=26$$

- h_1 = ο αριθμός των πλακιδίων που δεν είναι στη θέση τους
- h_2 = το άθροισμα των αποστάσεων των πλακιδίων από τις θέσεις προορισμού τους
- Παραδεικτές και οι δύο
- Η h_2 κυριαρχεί της h_1 (χωρίς να υπερεπιτιμά)
 - Η h_2 επεκτείνει λιγότερους κόμβους

Δραστηκός παράγοντας διακλάδωσης

- b^* : Προσδιορίζει την ποιότητα ενός ευρετικού μηχανισμού
- N : ο συνολικός αριθμός των κόμβων που παράγονται από την αναζήτηση A^* για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα
- d : το βάθος της λύσης

$$N + 1 = 1 + b^* + (b^*)^2 + \dots + (b^*)^d$$

- Ένας καλά σχεδιασμένος αλγόριθμος έχει τιμή για το b^* κοντά στο 1

Δραστηκός παράγοντας διακλάδωσης

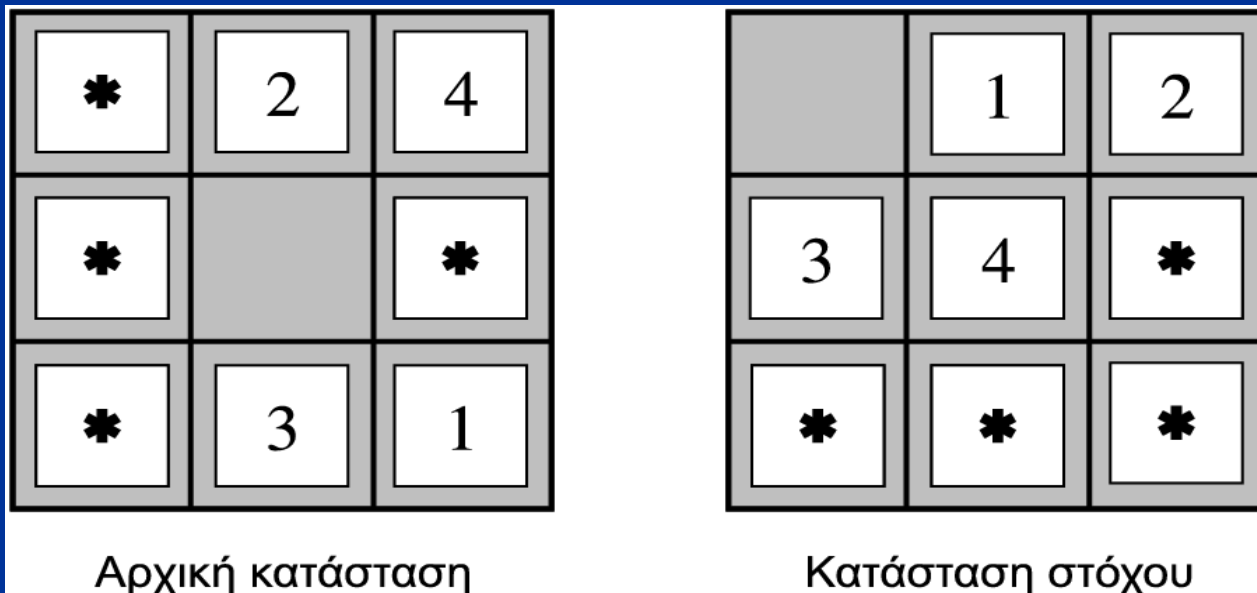
d	Κόστος αναζήτησης			Δραστηκός παράγοντας διακλάδωσης		
	Επαναλ. Εκβαθ.	$A^*(b_1)$	$A^*(b_2)$	Επαναλ. Εκβαθ.	$A^*(b_1)$	$A^*(b_2)$
2	10	6	6	2,45	1,79	1,79
4	112	13	12	2,87	1,48	1,45
6	680	20	18	2,73	1,34	1,30
8	6384	39	25	2,80	1,33	1,24
10	47127	93	39	2,79	1,38	1,22
12	3644035	227	73	2,78	1,42	1,24
14	—	539	113	—	1,44	1,23
16	—	1301	211	—	1,45	1,25
18	—	3056	363	—	1,46	1,26
20	—	7276	676	—	1,47	1,27
22	—	18094	1219	—	1,48	1,28
24	—	39135	1641	—	1,48	1,26

Επινόηση παραδεικτών μηχανισμών: Χαλαρά προβλήματα

- **Χαλαρά προβλήματα:**
 - Απλοποίηση των κανόνων του προβλήματος – λιγότεροι περιορισμοί
 - Το κόστος μιας βέλτιστης λύσης για ένα χαλαρό πρόβλημα είναι ένας παραδεικτός ευρετικός μηχανισμός για το αρχικό πρόβλημα
- **Κανόνας:**
 - Ένα πλακίδιο μπορεί να μετακινηθεί από το τετράγωνο A στο τετράγωνο B αν το A συνορεύει οριζόντια ή κάθετα με το B και το B είναι κενό
- **Χαλαροί κανόνες που προκύπτουν:**
 - Ένα πλακίδιο μπορεί να μετακινηθεί από το τετράγωνο A στο τετράγωνο B αν το A συνορεύει με το B ($\rightarrow h_2$)
 - Ένα πλακίδιο μπορεί να μετακινηθεί από το τετράγωνο A στο τετράγωνο B αν το B είναι κενό
 - Ένα πλακίδιο μπορεί να μετακινηθεί από το τετράγωνο A στο τετράγωνο B ($\rightarrow h_1$)

Επινόηση παραδεικτών μηχανισμών: Υποπροβλήματα

- Βάσεις δεδομένων προτύπων (pattern databases)
 - Αποθήκευση λύσεων υποπροβλημάτων



Αλγόριθμοι Τοπικής
Αναζήτησης και Προβλήματα
Βελτιστοποίησης

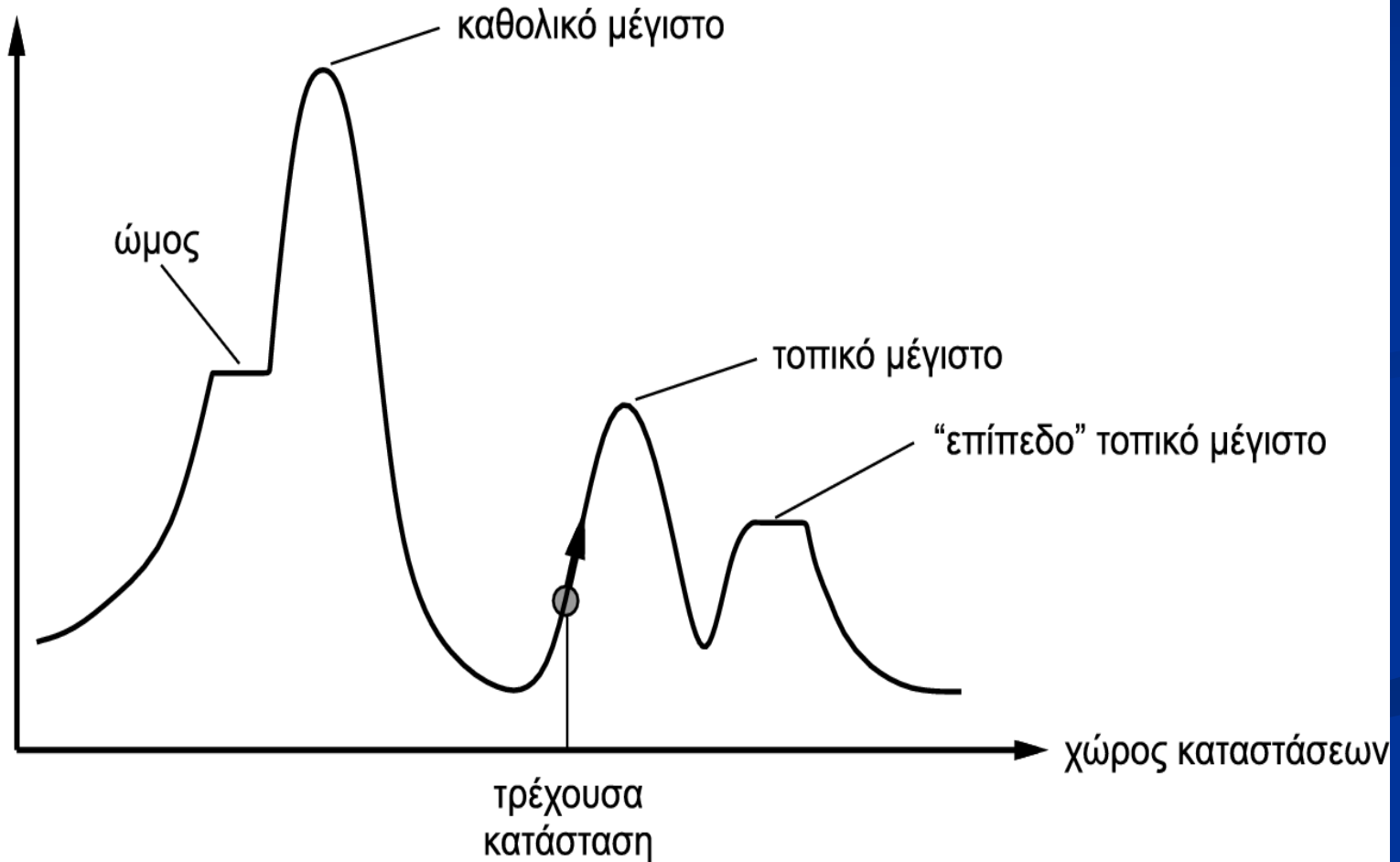
Τοπική αναζήτηση

- Αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης
 - Λειτουργεί χρησιμοποιώντας μόνο μια **τρέχουσα κατάσταση** (αντί για πολλές διαδρομές) και γενικά μετακινείται μόνο σε γειτονιές της καταστάσεις
- Προβλήματα βελτιστοποίησης
 - Σκοπός είναι να βρεθεί η καλύτερη κατάσταση σύμφωνα με μία **αντικειμενική συνάρτηση**

Τοπική αναζήτηση

■ Τοπίο χώρου καταστάσεων

αντικειμενική συνάρτηση



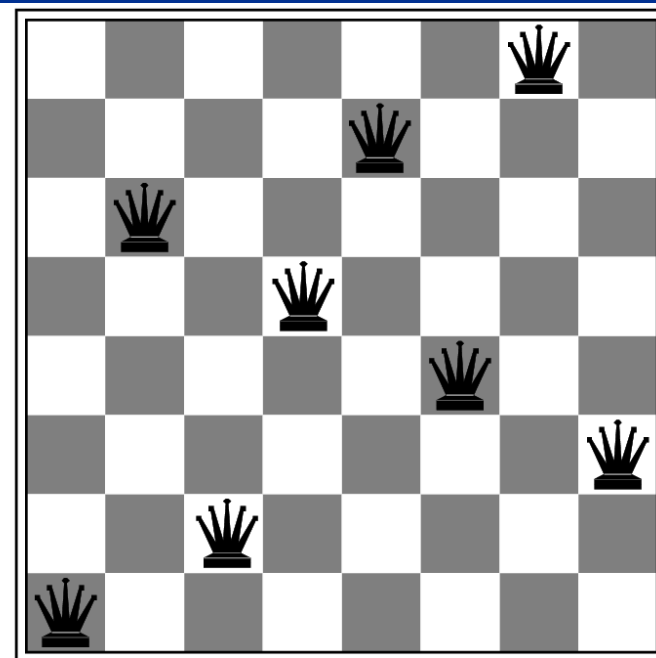
Αναρρίχηση λόφων (hill-climbing)

- Μετακινείται συνεχώς στην καλύτερη γειτονική κατάσταση.
 - Συνήθως διατύπωση με πλήρεις καταστάσεις

18	12	14	13	13	12	14	14
14	16	13	15	12	14	12	16
14	12	18	13	15	12	14	14
15	14	14	♔	13	16	13	16
♔	14	17	15	♔	14	16	16
17	♔	16	18	15	♔	15	♔
18	14	♔	15	15	14	♔	16
14	14	13	17	12	14	12	18

(α)

Τρέχουσα τιμή $h=17$

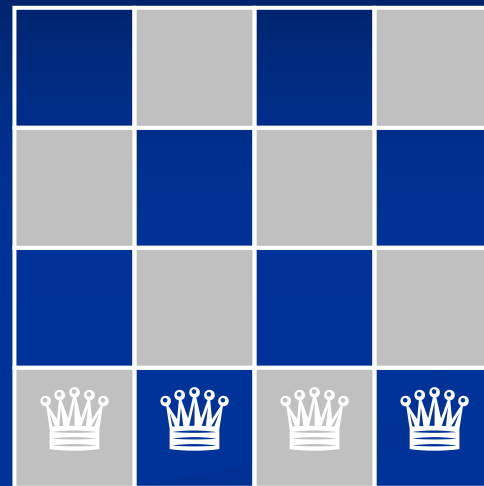


(β)

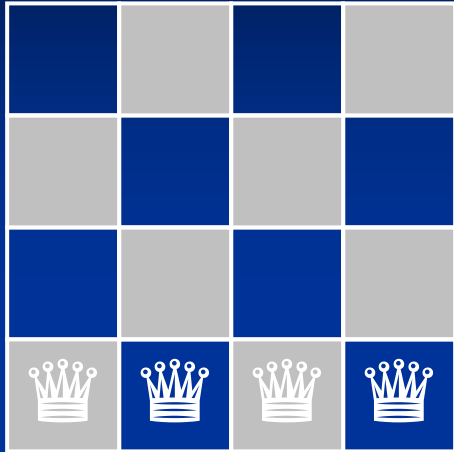
Τοπικό ελάχιστο με $h=1$

Παράδειγμα με 4 βασίλισσες

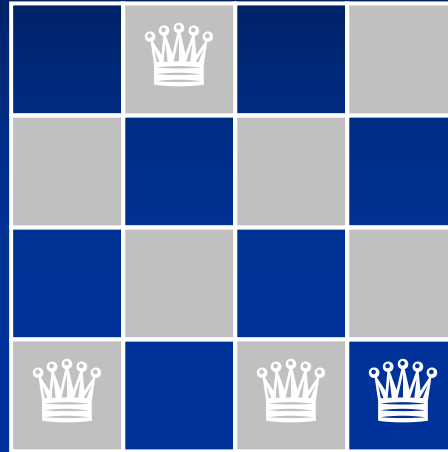
- Σε κάθε στήλη θα υπάρχει μία μόνο βασίλισσα
- Ξεκινάμε με όλες τις βασίλισσες στην κάτω γραμμή
- Σε κάθε βήμα μπορούμε να μετακινήσουμε μια βασίλισσα σε μια άλλη θέση στη στήλη της, άρα οι δυνατές κινήσεις είναι $4 \times 3 = 12$
- Χρησιμοποιούμε ως ευρετική συνάρτηση το πόσες απειλές υπάρχουν κάθε φορά (όλες οι απειλές είναι διπλές, εμείς όμως τις μετράμε ως μία απειλή κάθε φορά)



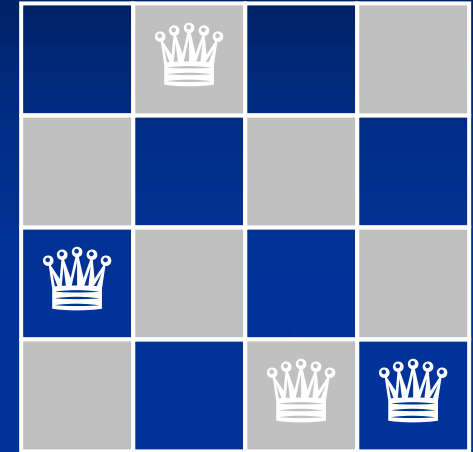
Παράδειγμα με 4 βασίλισσες



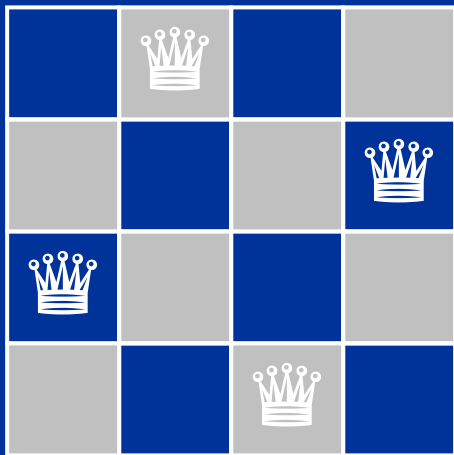
6



3



1

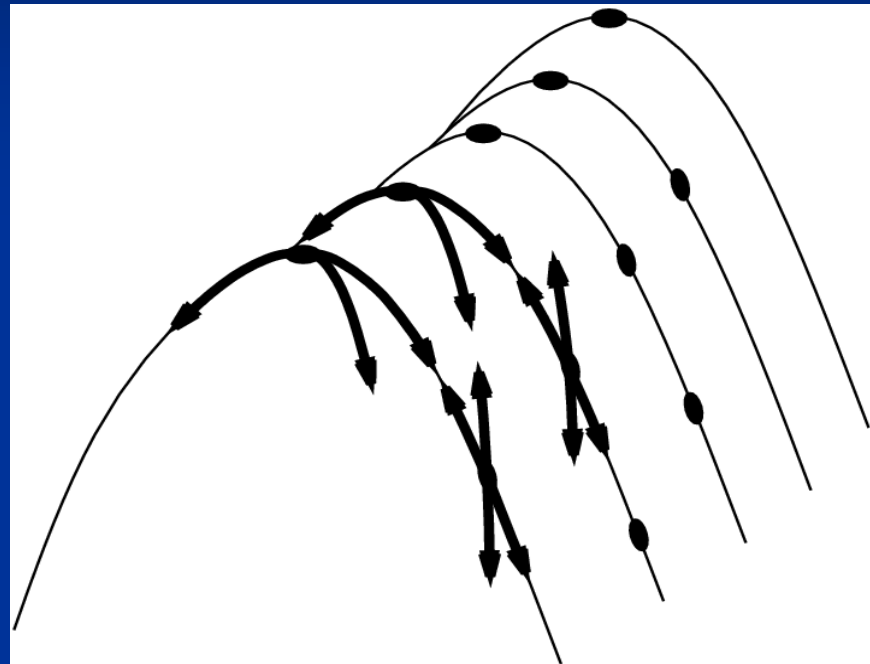


0

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ήμασταν τυχεροί, μιας και όλες οι επιλογές μας βγήκαν σωστές

Προβλήματα της μεθόδου αναρρίχησης λόφων

- Προβλήματα
 - Τοπικά μέγιστα
 - Κορυφογραμμές
 - Οροπέδια



Προβλήματα της μεθόδου αναρρίχησης λόφων

- Αντιμετώπιση
 - Πλάγιες κινήσεις (για οροπέδια)
 - Στοχαστική αναρρίχηση λόφων
 - Επιλέγει τυχαία κάποια από τις «καλές» διαθέσιμες κινήσεις
 - Αναρρίχηση λόφων με την πρώτη επιλογή
 - Παράγει διαδοχικές καταστάσεις τυχαία, μέχρι να παραχθεί κάποια που να είναι καλύτερη από την τρέχουσα κατάσταση
 - Τυχαίες επανεκκινήσεις (πλήρης αλγόριθμος)

Προσομοιωμένη ανόπτηση (Simulated annealing)

- Προ-επιλέγει τυχαία μια κίνηση
- Αν αυτή βελτιώνει τα πράγματα, γίνεται αποδεκτή
- Αν τα χειροτερεύει, γίνεται αποδεκτή με πιθανότητα $P=e^{-\Delta E/T}$
 - $\Delta E < 0$, η χειροτέρευση
 - $T > 0$, «θερμοκρασία»
- Η θερμοκρασία μειώνεται με την πάροδο του χρόνου

Τοπική ακτινική αναζήτηση (local beam search)

- Επιλέγονται k τυχαίες αρχικές καταστάσεις
- Εκτελούνται k αναζητήσεις παράλληλα
- Σε κάθε βήμα επιλέγονται τα k καλύτερα παιδιά (καταστάσεις) από όλα τα παιδιά του προηγούμενου βήματος
- Διαφέρει από την εκτέλεση k τυχαίων επανεκκινήσεων παράλληλα

Τοπική ακτινική αναζήτηση (local beam search)

■ Κίνδυνος

- Συγκέντρωση όλων των αναζητήσεων γύρω από την ίδια περιοχή του χώρου καταστάσεων

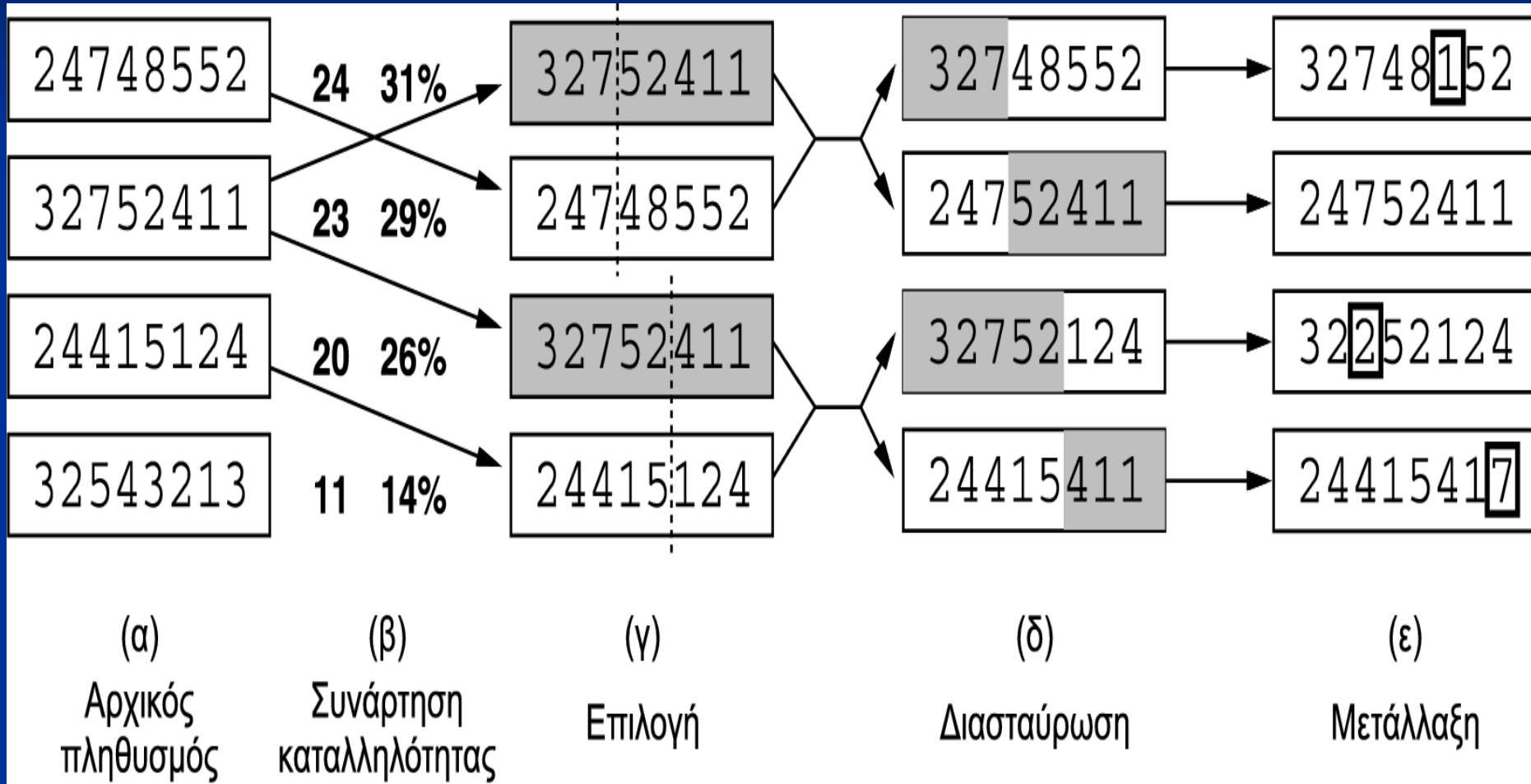
■ Αντιμετώπιση

- Στοχαστική επιλογή των k παιδιών (καταστάσεων)

Γενετικοί αλγόριθμοι

- Οι διάδοχες καταστάσεις παράγονται με το συνδυασμό δύο γονικών καταστάσεων, και όχι με την τροποποίηση μιας μεμονωμένης κατάστασης
- Αρχικός πληθυσμός
- Στοχαστική επιλογή γονέων για αναπαραγωγή
- Τελεστές αναπαραγωγής
 - Διασταύρωση
 - Μετάλλαξη
- Συνάρτηση καταλληλότητας
 - Ευρετική συνάρτηση

Γενετικοί αλγόριθμοι



Γενετικοί αλγόριθμοι

