



Πανεπιστήμιο
Δυτικής Μακεδονίας

1

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΑΡΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΡ. ΜΗΝΑΣ ΔΑΣΥΓΕΝΗΣ

ΚΟΖΑΝΗ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

Δομή παρουσίασης

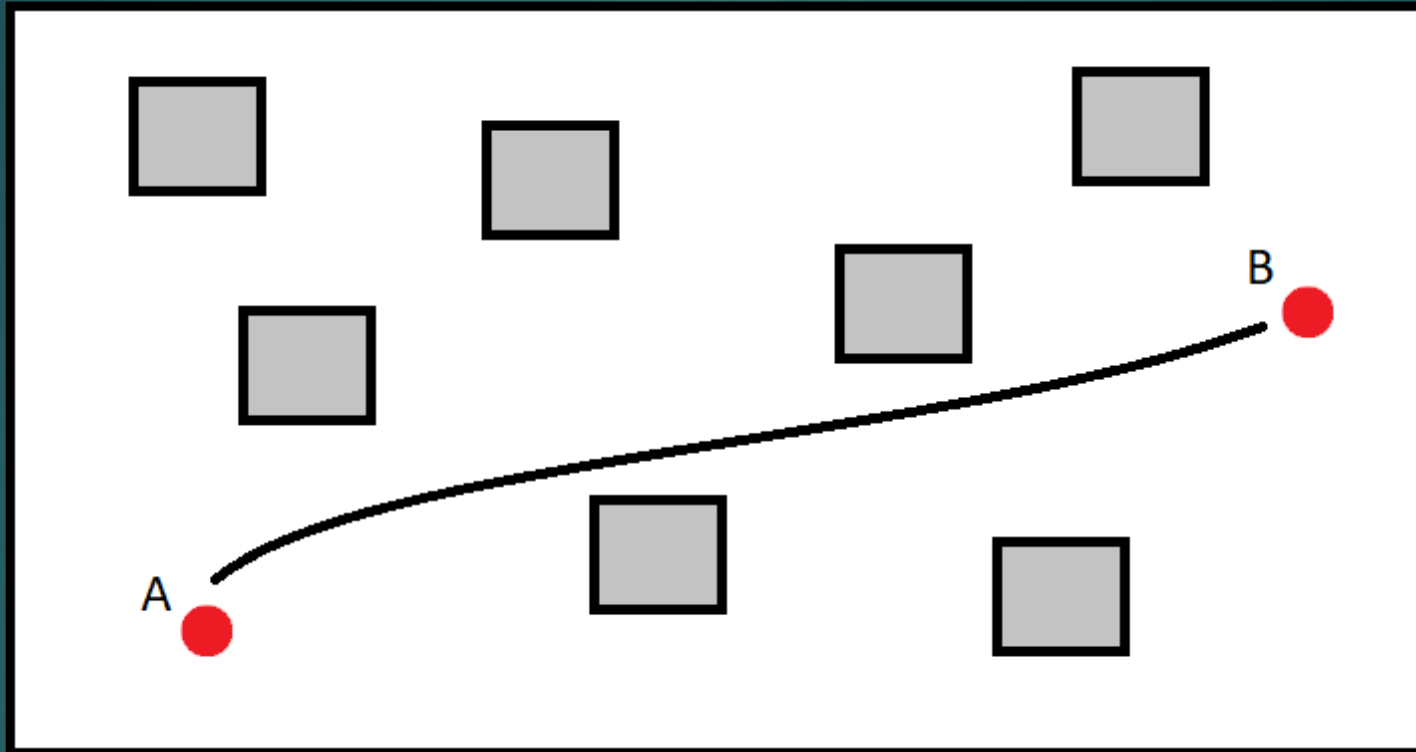
2

- ▶ Εισαγωγή
- ▶ Βιβλιογραφική ανασκόπηση
- ▶ Διαμοιρασμός χώρου σε προβλήματα πολλαπλών ρομπότ
- ▶ Βελτιστοποίηση των περιοχών για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
- ▶ Συμπεράσματα

Εισαγωγή

Εισαγωγή: Ορισμός πλοήγησης

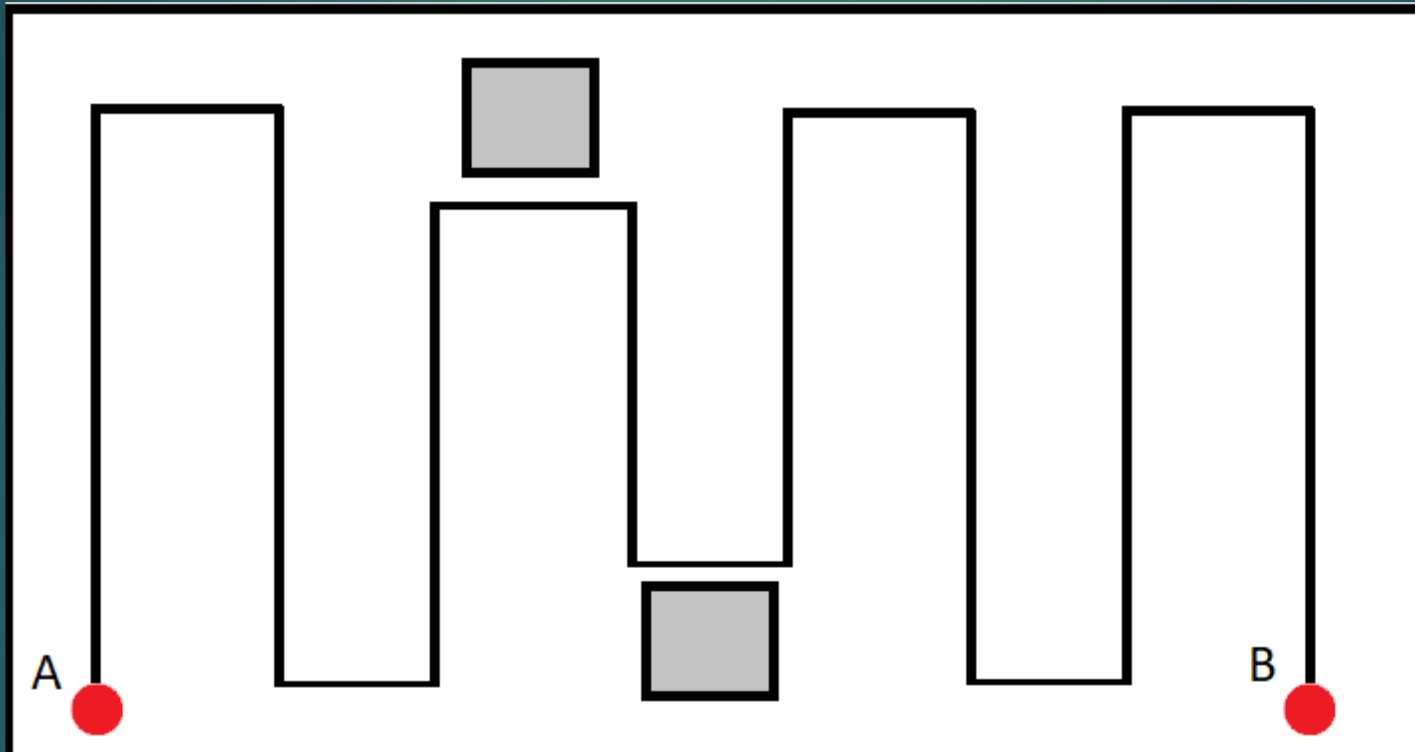
4



Πλοήγηση: Η τέχνη της μετάβασης από ένα σημείο σε ένα άλλο.

Εισαγωγή: Ορισμός Σχεδιασμού Διαδρομής Κάλυψης (ΣΔΚ) χώρου

5



ΣΔΚ: Η διαδρομή που διέρχεται από όλα τα προσπελάσιμα σημεία ενός χώρου.

Εισαγωγή: Ερευνητικοί στόχοι

6

1. Ανασκόπηση αλγορίθμων ΣΔΚ: Κριτική αξιολόγηση, χαρακτηριστικά και προκλήσεις
2. Προσδιορισμός αποδοτικών αλγορίθμων ΣΔΚ: Εντοπισμός πλεονεκτημάτων
3. Περιορισμοί και προκλήσεις σε διάφορα περιβάλλοντα
4. Αξιολόγηση και επεκτασιμότητα αλγορίθμων
5. Παραμετροποίηση και εφαρμογή αλγορίθμων στο ΣΔΚ
6. Ανάπτυξη μεθόδων για εξοικονόμηση ενέργειας

Εισαγωγή: Ερευνητικά ερωτήματα

7

1. Ποιες είναι οι ιδιαιτερότητες της πλοήγησης των ρομπότ και γιατί ο ΣΔΚ αναδεικνύεται ως κεντρική στρατηγική;
2. Ποιες είναι οι εγγενείς προκλήσεις και οι περιορισμοί των υφιστάμενων αλγορίθμων ΣΔΚ σε διαφορετικά και σύνθετα περιβάλλοντα;
3. Μπορούν νέες καινοτόμες στρατηγικές και βελτιώσεις των αλγορίθμων ΣΔΚ να παρέχουν πιο ισχυρές λύσεις σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών;

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

9

1. Αρχική φάση έρευνας:

Συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση σε αλγορίθμους ΣΔΚ και τεχνικές αναπαράστασης χώρου

2. Βιβλιογραφική επισκόπηση - Ευρήματα:

Κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης του ΣΔΚ, αναγνώριση κενών και περιορισμών στις υφιστάμενες προσεγγίσεις

Πρόκληση: αποτελεσματικός διαμοιρασμός περιοχής σε πολλαπλά ρομπότ

3. Ανάπτυξη Προτεινόμενης Προσέγγισης:

Διαμόρφωση νέας προσέγγισης για διαμοιρασμό χώρου σε πολλαπλά ρομπότ

4. Επικύρωση μέσω Πειραμάτων:

Πειραματική αξιολόγηση σε προσομοιώσεις

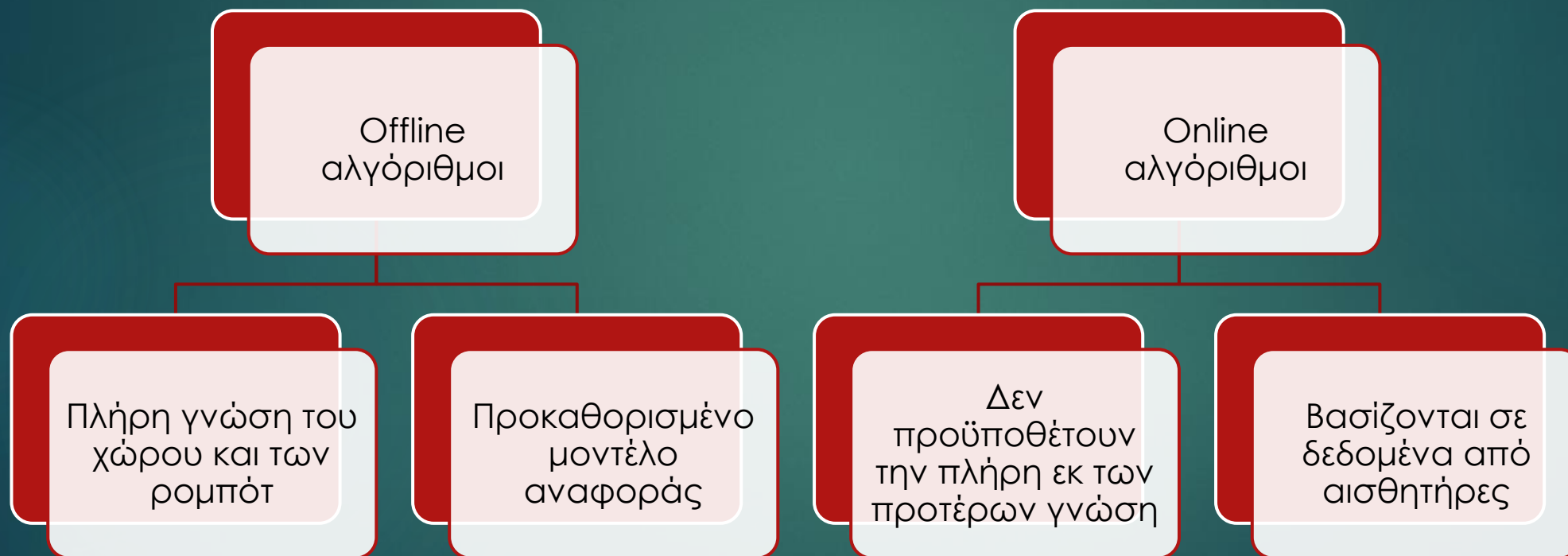
Χρήση ποσοτικών και ποιοτικών μετρήσεων: ποιότητα διαμοιρασμού, κατανάλωση ενέργειας

Βιβλιογραφική ανασκόπηση: Κατηγορίες αλγορίθμων ΣΔΚ

- ▶ Κατηγοριοποίηση βάσει προϋπάρχουσας γνώσης
 - ▶ Online και offline αλγόριθμοι
- ▶ Κατηγοριοποίηση βάσει τρόπου αναπαράστασης του περιβάλλοντος
 - ▶ Ακριβής κυτταρική αποσύνθεση
 - ▶ Τραπεζοειδής αποσύνθεση
 - ▶ Boustrophedon αποσύνθεση
 - ▶ Προσεγγιστική κυτταρική αποσύνθεση
 - ▶ Κυματοειδής κάλυψη πλέγματος
 - ▶ Κάλυψη πλέγματος με γράφους
 - ▶ Κάλυψη πλέγματος με δέντρα κάλυψης χώρου
- ▶ Αλγόριθμοι ανταμοιβής

Online και offline αλγόριθμοι

11



Διαφορές online και offline αλγορίθμων

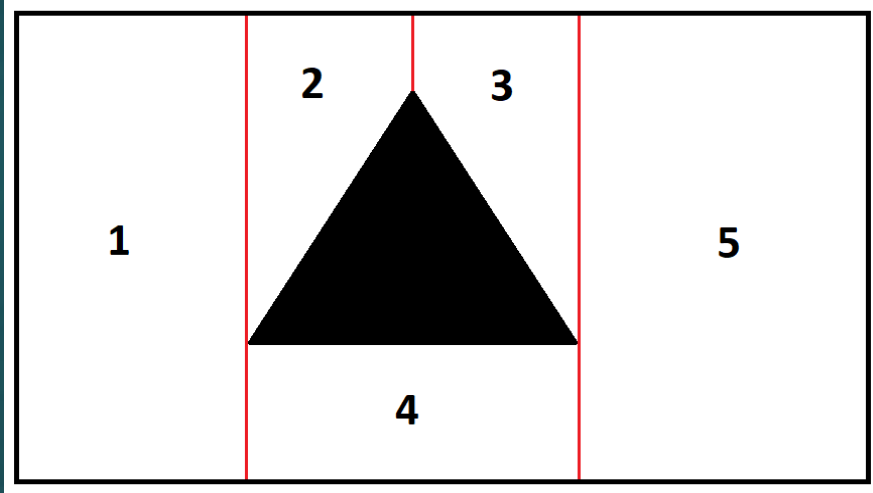
12

- ▶ 1. Προσαρμοστικότητα και αντιδράσεις σε πραγματικό χρόνο
- ▶ 2. Εξάρτηση από αισθητήρες
- ▶ 3. Υπολογιστικές απαιτήσεις
- ▶ 4. Πληρότητα και αποδοτικότητα
- ▶ 5. Καταλληλότητα σε συγκεκριμένες συνθήκες

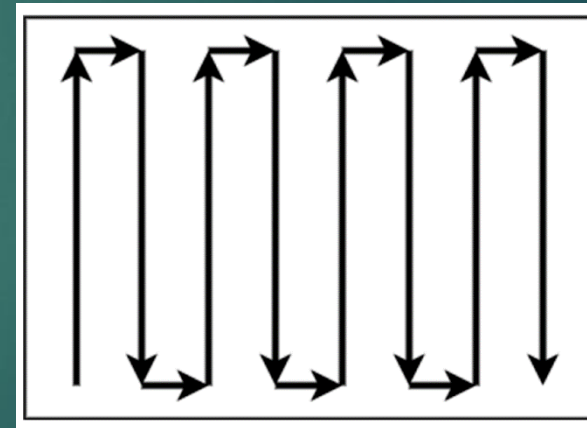
Κατηγοριοποίηση βάσει τρόπου αναπαράστασης του χώρου: Ακριβής κυτταρική αποσύνθεση

13

- ▶ Κατάτμηση του χώρου σε απλούστερα τμήματα
- ▶ Προσπέλαση των τμημάτων με απλές κινήσεις



A



B

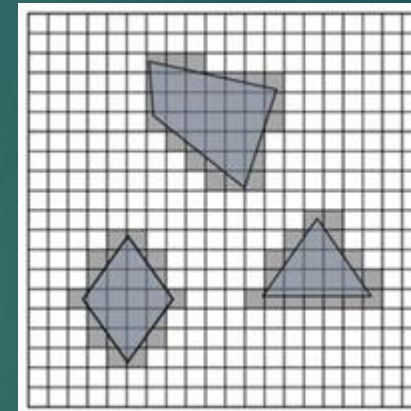
Κατηγοριοποίηση βάσει τρόπου αναπαράστασης του χώρου: Αλγόριθμοι ανταμοιβής

- ▶ Αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα
- ▶ Βιο-εμπνευσμένες στρατηγικές κάλυψης χώρου
 - ▶ Ant Colony Optimization (ACO)
 - ▶ Bees algorithm
 - ▶ Whale Optimization Algorithm (WOA)
- ▶ Γενετικοί αλγόριθμοι
 - ▶ Flood fill αλγόριθμοι
- ▶ Υβριδικοί αλγόριθμοι

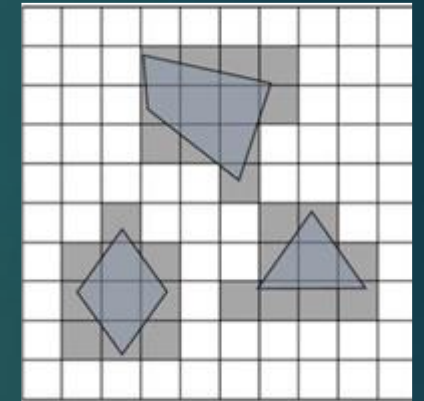
Κατηγοριοποίηση βάσει τρόπου αναπαράστασης του χώρου: Προσεγγιστική κυτταρική αποσύνθεση

15

- ▶ Κατάτμηση του χώρου σε απλούστερα τμήματα που μοιάζουν με πλέγμα
 - ▶ Μικρότερο μέγεθος κελιού οδηγεί σε αυξημένη ακρίβεια
 - ▶ Ενδείκνυται για περιβάλλοντα χωρίς περίπλοκη μορφολογία και διαστάσεις
- ▶ Δημοφιλείς αλγόριθμοι:
 - ▶ Κυματοειδής κάλυψη πλέγματος
 - ▶ Κάλυψη πλέγματος με γράφους
 - ▶ Κάλυψη πλέγματος με Δέντρα Κάλυψης Χώρου (ΔΚΧ)



A



B

Προκλήσεις σε προβλήματα πολλαπλών ρομπότ

- ▶ Διαμοιρασμός της περιοχής σε πολλαπλά ρομπότ
 - ▶ Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
 - ▶ Προσαρμοσμένος διαμοιρασμός βάσει των χαρακτηριστικών των ρομπότ
 - ▶ Διαμοιρασμός χώρου βάσει χαρακτηριστικών του χώρου
- ▶ Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
 - ▶ Βελτίωση των περιοχών των ρομπότ
 - ▶ Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που απαιτείται για την πλήρη προσπέλαση του χώρου

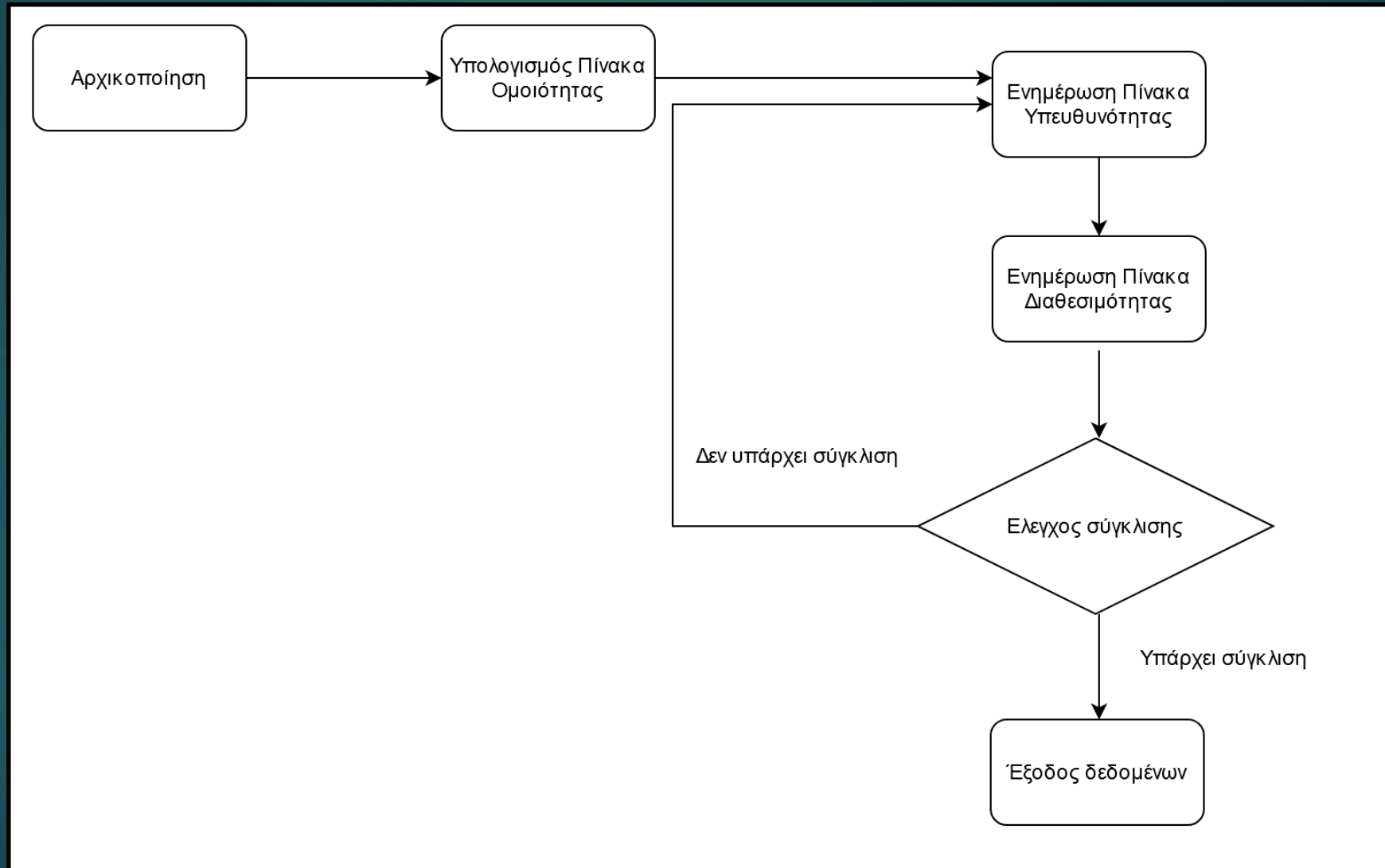
Διαμοιρασμός της περιοχής
σε προβλήματα πολλαπλών
ρομπότ

Διαμοιρασμός της περιοχής σε προβλήματα πολλαπλών ρομπότ

- ▶ Προσέγγιση διαμοιρασμού χώρου χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ομαδοποίησης Affinity Propagation (AP)
- ▶ Αποδόμηση του προβλήματος ΣΔΚ πολλαπλών ρομπότ σε ένα σύνολο υποπροβλημάτων του ενός ρομπότ
- ▶ Πλεονεκτήματα:
 1. Δεν απαιτείται ο αυθαίρετος προσδιορισμός του πλήθους των ρομπότ (και άρα των υποπεριοχών)
 2. Δεν απαιτούνται οι αρχικές θέσεις των ρομπότ
 3. Η συνάρτηση ομοιότητας (Similarity Function) λαμβάνει υπόψη χαρακτηριστικά του χώρου

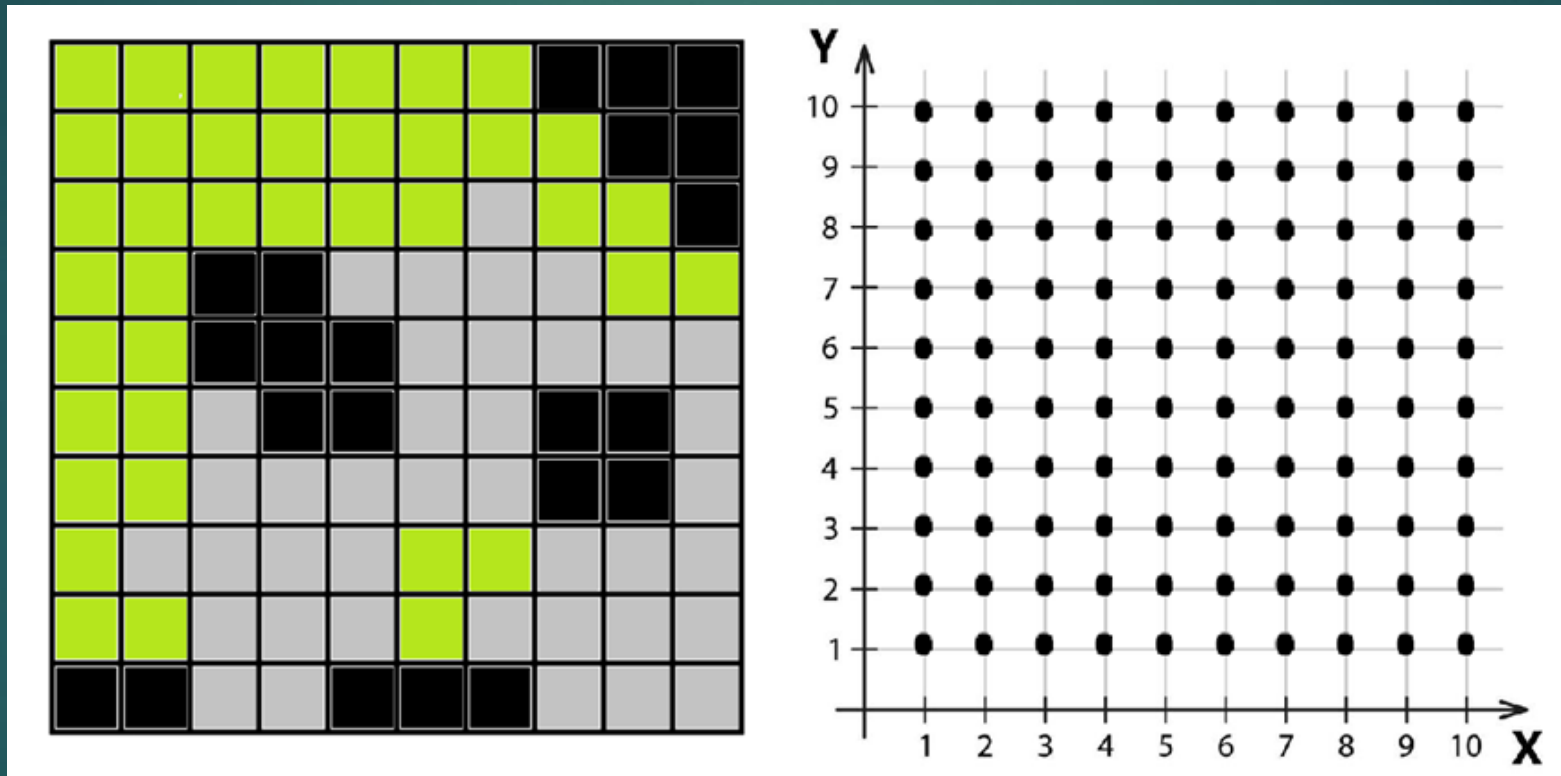
Αλγόριθμος Affinity Propagation

19



Αναπαράσταση του χώρου ως ένα σύνολο σημείων δεδομένων

20



A

B

Υπολογισμός απόστασης

21

1. Είσοδος: Δυναδικός πίνακας A με διαστάσεις X, Y . Το αρχικό σημείο (x_1, y_1) , και το σημείο στόχου (x_2, y_2)
2. Έξοδος: Η ελάχιστη απόσταση D μεταξύ του αρχικού και του τελικού σημείου
3. Συνάρτηση $4_neighbor_distance(A, x_1, y_1, x_2, y_2)$:
4. Βήμα 1: Αρχικοποίηση του πίνακα D με διαστάσεις X, Y . Ορισμός όλων των πεδίων σε μια πολύ μεγάλη τιμή
5. Βήμα 2: Αρχικοποίηση σειράς Q
6. Βήμα 3: Υπολογισμός $D[x_1, y_1] = 0$ και πρόσθεσε (x_1, y_1) στο Q
7. Βήμα 4: Όσο το Q δεν είναι άδειο:
8. Βήμα 4.1: Αφαίρεσε το σημείο (x, y) από το Q
9. Βήμα 4.2: Για κάθε γείτονα του (x_n, y_n) στο περιβάλλον A , επανάλαβε:
10. Βήμα 4.2.1: Αν το (x_n, y_n) είναι ένα εμπόδιο ($A[x_n, y_n] = 0$), τότε παρέλειψε το συγκεκριμένο γείτονα
11. Βήμα 4.2.2: Αν $D[x_n, y_n] > D[x, y] + 1$:
12. Βήμα 4.2.2.1: Ανανέωσε την απόσταση με $D[x_n, y_n] = D[x, y] + 1$
13. Βήμα 4.2.2.2: Πρόσθεσε το (x_n, y_n) στο Q
14. Βήμα 5: Επέστρεψε το $D[x_2, y_2]$ ως την ελάχιστη απόσταση D μεταξύ του αρχικού και τελικού σημείου
15. Τέλος συνάρτησης

3	4	5	6
2	3	4	5
1		5	6
0		6	7

Υπολογισμός του πίνακα ομοιότητας

22

$$S(p_1, p_2) = -(D_w \cdot d(p_1, p_2) + E_w \cdot |E[x_1, y_1] - E[x_2, y_2]| + F_w \cdot |F[x_1, y_1] - F[x_2, y_2]|)$$

όπου:

- $S(p_1, p_2)$ είναι η ομοιότητα μεταξύ δυο σημείων p_1 και p_2
- D_w είναι το βάρος της απόστασης μεταξύ δυο σημείων p_1 και p_2
- $d(p_1, p_2)$ είναι η απόσταση μεταξύ δυο σημείων p_1 και p_2
- E_w είναι το βάρος της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δυο σημείων p_1 και p_2
- $E[x_1, y_1]$ και $E[x_2, y_2]$ είναι τα υψόμετρα των σημείων p_1 και p_2
- F_w είναι το βάρος της διαφοράς του δαπέδου μεταξύ δυο σημείων p_1 και p_2
- $F[x_1, y_1]$ και $F[x_2, y_2]$ είναι οι τιμές που εκφράζουν τον τύπο δαπέδου των σημείων p_1 και p_2

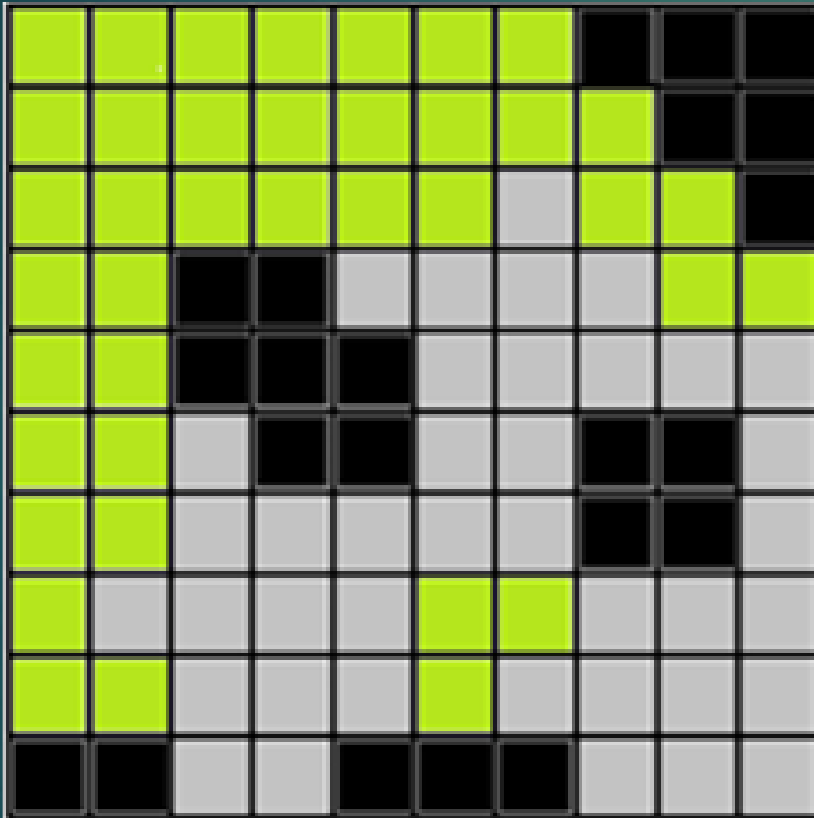
Προσαρμοσμένη ανταλλαγή μηνυμάτων

23

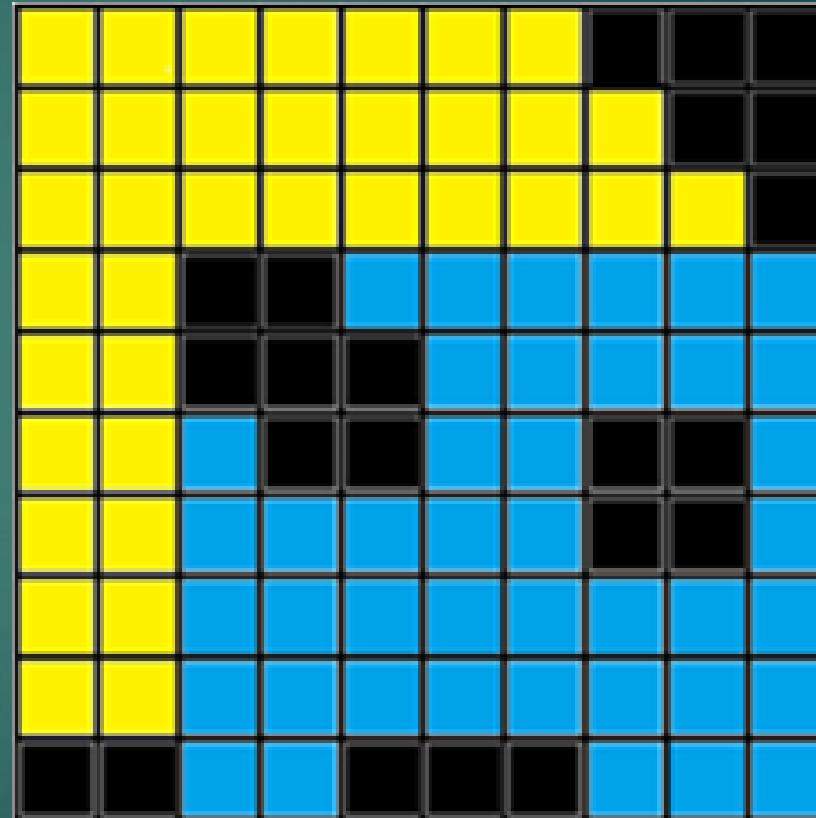
1. Είσοδος: S
2. Αρχικοποίηση των πινάκων R και A
3. $R = 0$
4. $A = 0$
5. Συνάρτηση $\text{APSpatialConstraint}(S, \text{max_iterations}, \text{damping_factor})$:
6. Για $\text{iteration} = 1$ μέχρι $\text{iteration} = \text{max_iterations}$
7. ανανέωση του πίνακα υπευθυνότητας R
8. για κάθε κελί i :
9. για κάθε j :
10. αν i και j έχουν γειτνίαση τεσσάρων επιπέδων (i, j) :
11. $R[i, j] = S[i, j] - \max(S[i, k] + A[i, k] \text{ για όλα τα } k \neq j)$
12. αλλιώς:
13. $R[i, j] = 0$
14. ανανέωση του πίνακα διαθεσιμότητας A
15. για κάθε κελί i :
16. για κάθε κελί j :
17. αν i και j έχουν γειτνίαση τεσσάρων επιπέδων (i, j) :
18. $A[i, j] = \min(0, R[j, j] + \sum(\max(0, R[k, j]) \text{ για όλα } k \neq i, j))$
19. αλλιώς:
20. $A[i, j] = 0$
21. εφαρμογή περιορισμού σύγκλισης
22. $R = \text{damping_factor} * R + (1 - \text{damping_factor}) * \text{προηγούμενο_R}$
23. Τέλος συνάρτησης

Παράδειγμα εκτέλεσης του αλγορίθμου

24



A



B

Πειραματικά αποτελέσματα (I)

25

Αξιολόγηση ως προς την ποιότητα της ομαδοποίησης (SC)

Μέγεθος Περιβάλλοντος	Αλγόριθμος	Πλήθος Υποπεριοχών	Ποιότητα Ομαδοποίησης
24 × 24	DARP n=2	2	0.66
24 × 24	wDARP n=2	2	0.84
24 × 24	X. Huang n=2	2	0.89
24 × 24	Προτεινόμενος	2	0.91
100 × 100	DARP n=2	2	0.39 (συχνά δε βρήκε λύση)
100 × 100	wDARP n=2	2	
100 × 100	X. Huang n=2	2	0.92
100 × 100	Προτεινόμενος	6	0.94

Πειραματικά αποτελέσματα (II)

26

Αξιολόγηση ως προς την ομοιογένεια εδάφους

Περιβάλλον	Δείκτης Σημαντικότητας (E_w, F_w)	Ομοιογένεια Ύψους	Ομοιογένεια Εδάφους
100 × 100	(0, 0)	0.61	0.49
100 × 100	(0.8, 0)	0.75	0.45
100 × 100	(0.8, 0.8)	0.59	0.53
100 × 100	(0, 0.8)	0.53	0.78

- ▶ Χρήση του αλγορίθμου AP για τον διαμοιρασμό του χώρου σε προβλήματα πολλαπλών ρομπότ
- ▶ Δεν βασίζεται στον αυθαίρετο προσδιορισμό του αριθμού των ρομπότ και των αρχικών τους θέσεων
- ▶ Πληθώρα εφαρμογών:
 - ▶ Γεωργία ακριβείας (σπορά, η λίπανση και η συγκομιδή)
 - ▶ Επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης
 - ▶ Επιχειρήσεις εξερεύνησης αγνώστων περιοχών (π.χ. διαστήματος)

Βελτίωση των περιοχών κάλυψης

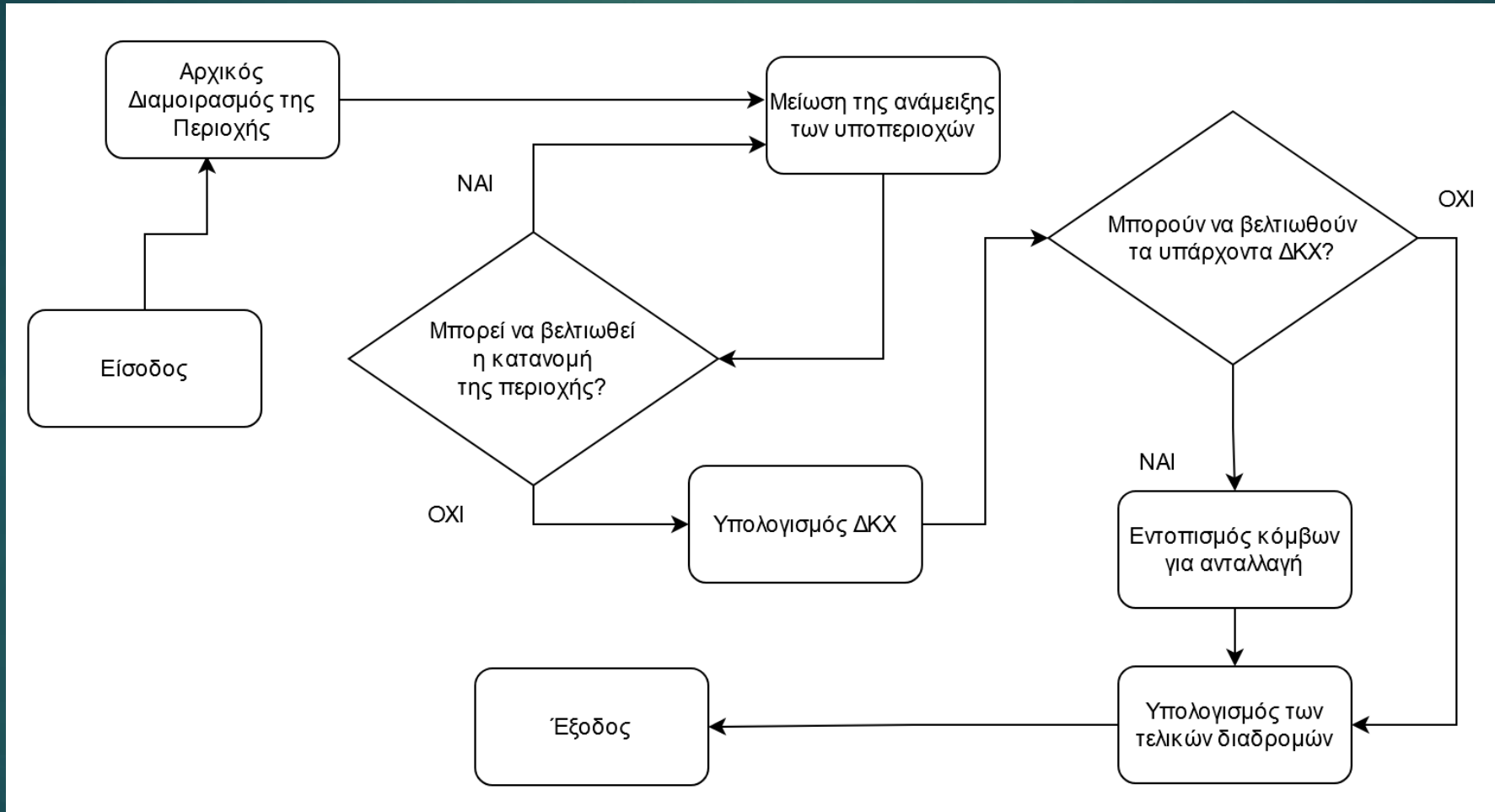
Βελτίωση των περιοχών κάλυψης

29

- ▶ Αυτόνομα ρομποτικά οχήματα
 - ▶ Μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια στροφής
 - ▶ Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε ευθεία πορεία
- ▶ Στόχος:
 - ▶ Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε προβλήματα ΣΔΚ πολλαπλών ρομπότ
 - ▶ Μείωση του αριθμού των ελιγμών (στροφές) από τη διαδρομή κάλυψης χώρου
- ▶ Δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας σε απλά περιβάλλοντα

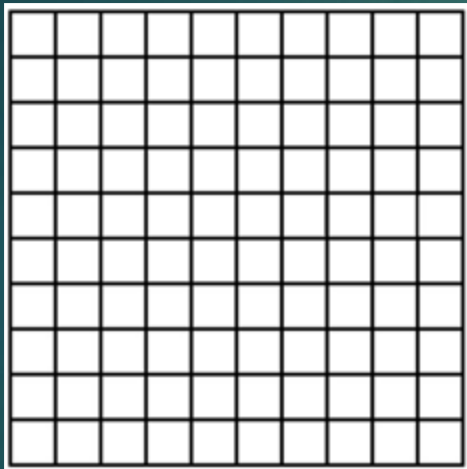
Διάγραμμα αλγορίθμου

30

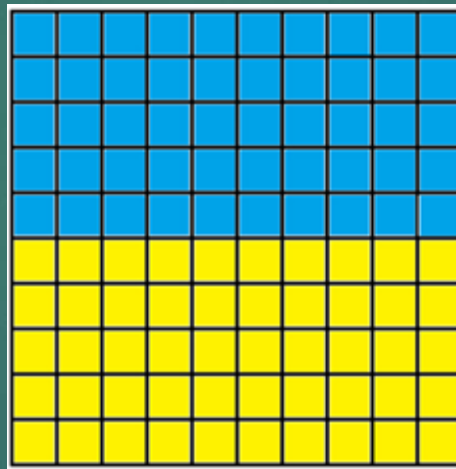


Διαμοιρασμός και βελτίωση υποπεριοχών (I)

31



A



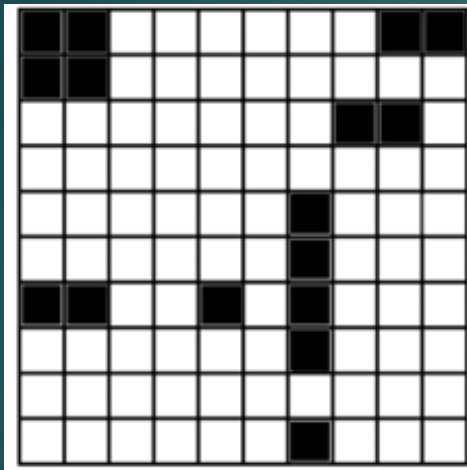
B



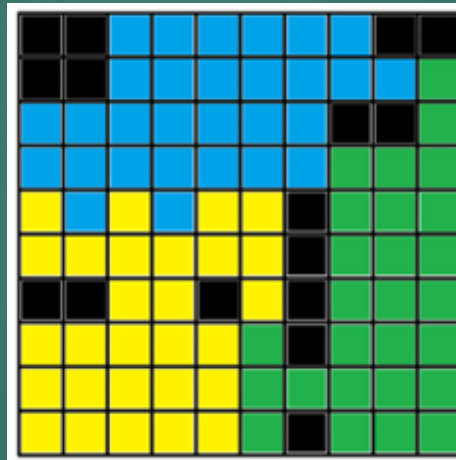
Γ

Διαμοιρασμός και βελτίωση υποπεριοχών (II)

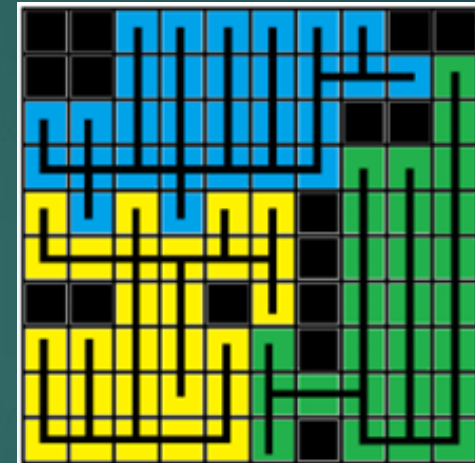
32



A



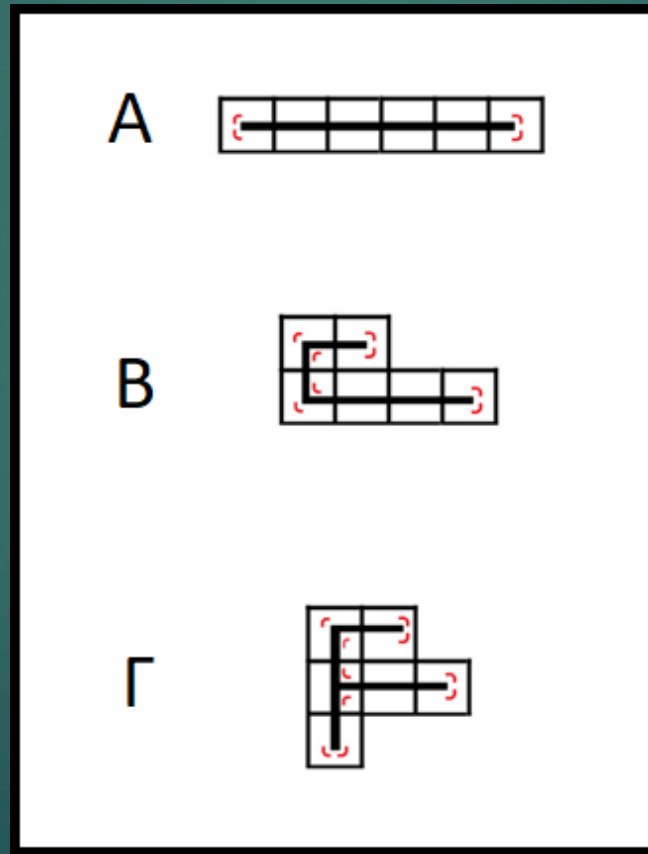
B



Γ

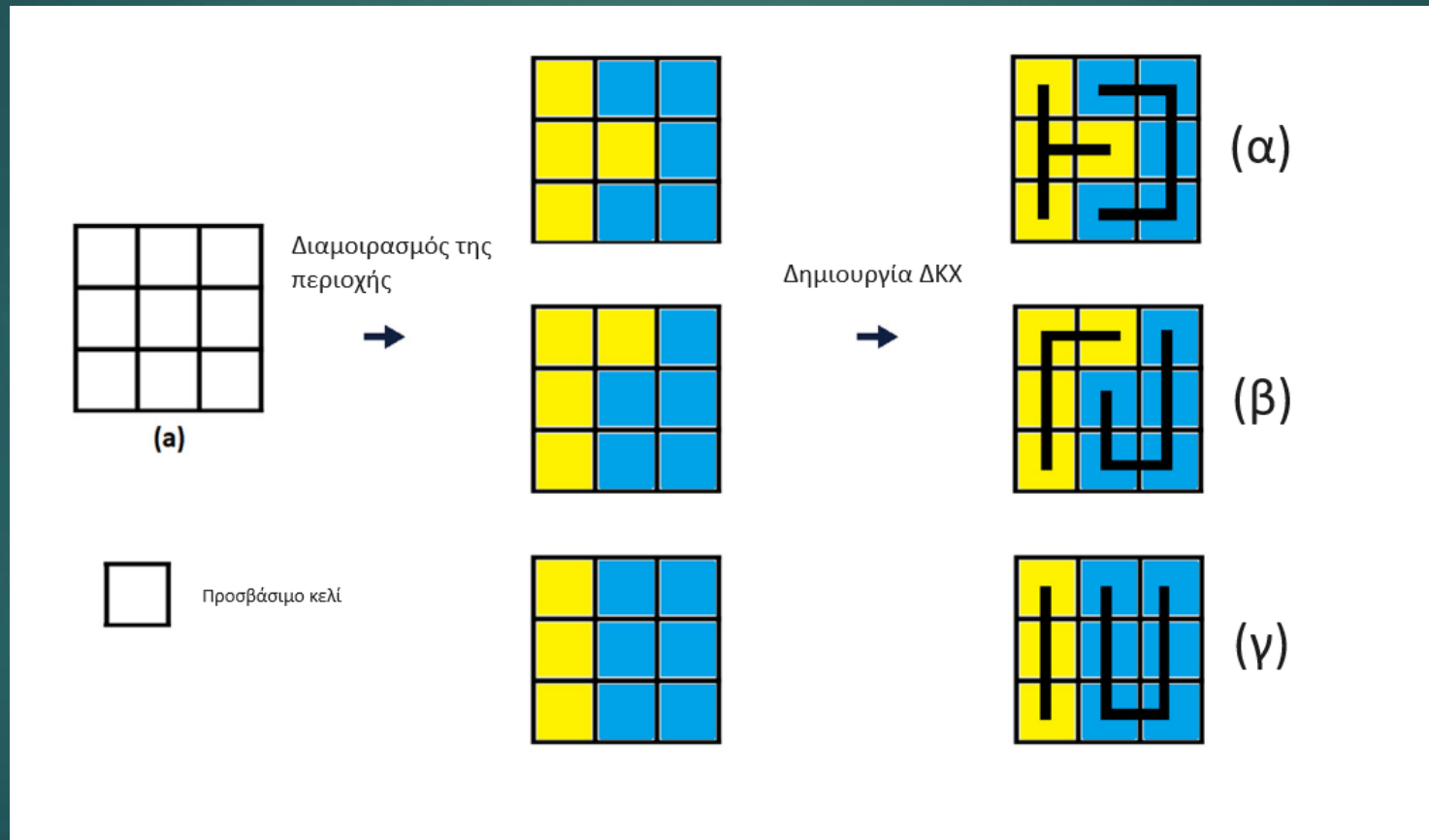
Επιρροή του χώρου στο πλήθος των στροφών

33



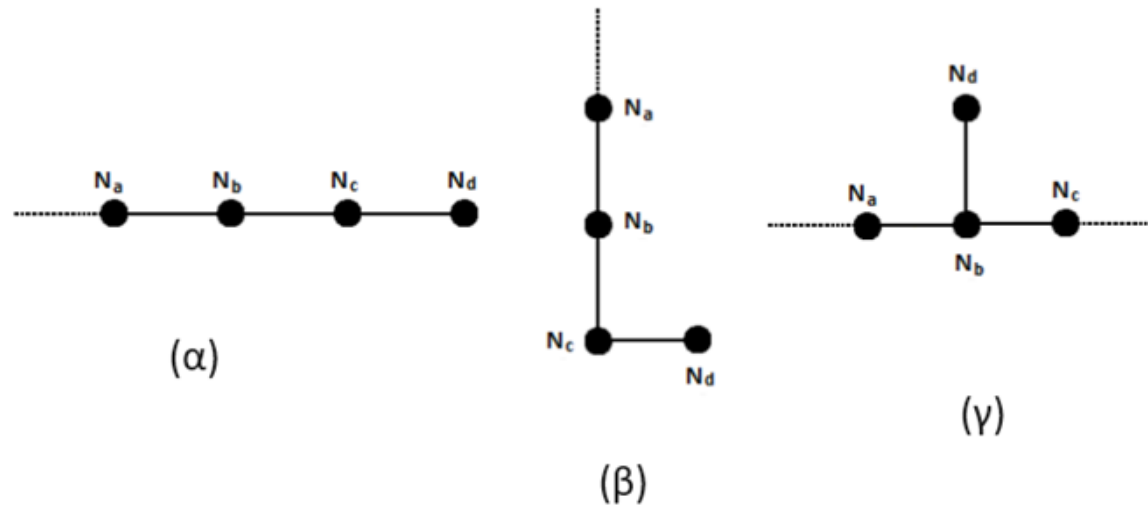
Επιρροή του χώρου στο πλήθος των στροφών

34



Διαδικασία ανταλλαγής κόμβων (I)

35



Γραφική αναπαράσταση διαδικασίας:

(α) Αρχικό περιβάλλον

(β) Αρχικός διαμοιρασμός περιοχής

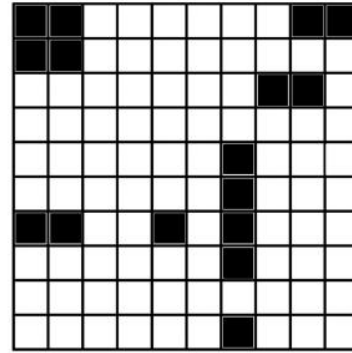
(γ) Υπολογισμός αρχικών ΔKX

(δ) Διαδικασία μείωσης ανάμειξης υποπεριοχών

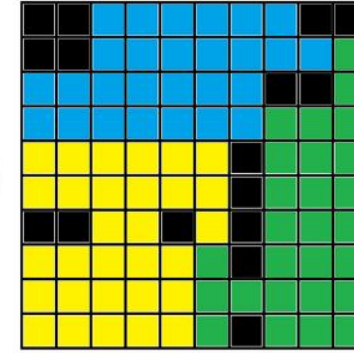
(ε) Ανταλλαγή κόμβων

(στ) Υπολογισμός νέων ΔKX

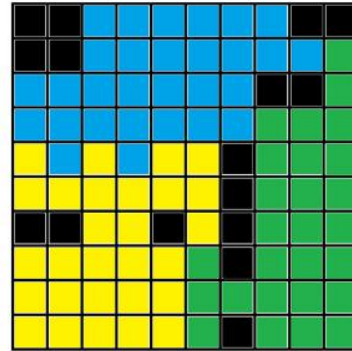
(α)



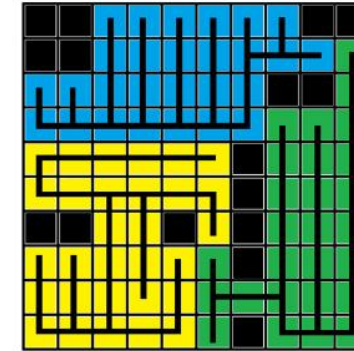
(δ)



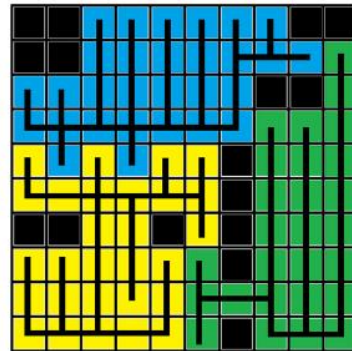
(β)



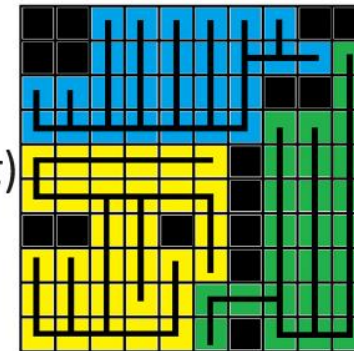
(ε)



(γ)



(στ)



Πειραματικά αποτελέσματα

37

Περιβάλλον	Πλήθος Ρομπότ	A *-DARP+STC		X. Huang		AP + Kruskal + Βελτιστοποίηση Περιοχών
		Συνολικές Διαδρομές	Συνολικές Στροφές	Συνολικές Διαδρομές	Συνολικές Στροφές	Συνολικές Στροφές Διαδρομή ς Αλλαγή Κελιών Και κόμβων
a	3	522		545		485
	4	510		532		476
	5	469		459		430
b	3	564		543		492
	4	530		489		470
	5	523		435		493
c	3	456		498		401
	4	440		464		405
	5	442		540		424

- ▶ Η πρώτη συνεισφορά της παρούσας διατριβής είναι η εφαρμογή του αλγορίθμου ομαδοποίησης Affinity Propagation (AP) για τον διαμοιρασμό της περιοχής στο πρόβλημα το ΣΔΚ χώρου πολλαπλών ρομπότ. Παραδοσιακά, ο διαμοιρασμός της περιοχής στα επιμέρους ρομπότ για την ταυτόχρονη πλοήγηση τους αποτελούσε μια διαρκή πρόκληση στη ρομποτική. Η πρόκληση αυτή γίνεται ακόμη μεγαλύτερη όταν εξετάζουμε ετερογενή εδάφη, όπου το καθένα έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.
- ▶ Η δεύτερη συνεισφορά αυτής της διατριβής είναι η μεθοδική βελτιστοποίηση των υποπεριοχών των ρομπότ με στόχο την ελαχιστοποίηση του αριθμού των στροφών στις διαδρομές τους. Το σκεπτικό πίσω από αυτή τη διαδικασία είναι σαφές: κάθε στροφή που πραγματοποιεί ένα ρομπότ δεν συνεπάγεται μόνο μια μηχανική ενέργεια, αλλά μεταφράζεται και σε κατανάλωση ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου, ειδικότερα σε καταστάσεις πολλαπλών ρομπότ, αυτές οι στροφές μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική κατανάλωση ενέργειας, περιορίζοντας δυνητικά τον χρόνο λειτουργίας και την αποδοτικότητα των ρομπότ.

Ερωτήσεις