



Μάθημα: "Ρομποτική II: Ευφυή Ρομποτικά Συστήματα" (8^ο εξάμηνο, Ακαδ. Έτος: 2021-22)

Διδάσκων: Κων/νος Τζαφέστας

2^η Σειρά Αναλυτικών Ασκήσεων

Άσκηση 2.1

*Διακριτό φίλτρο Kalman για σύμμιξη αισθητηριακών δεδομένων και εκτίμηση θέσης κινητού ρομπότ
(Discrete Kalman filter for sensor fusion and mobile robot localisation)*

Έστω ολόνομο (holonomic) ρομποτικό όχημα (βλ. Σχήμα 1). Η θέση του κέντρου του οχήματος σε κάθε χρονική στιγμή t περιγράφεται από το διάνυσμα:

$$\underline{x}^{(t)} = [x^{(t)} \quad y^{(t)}]^T$$

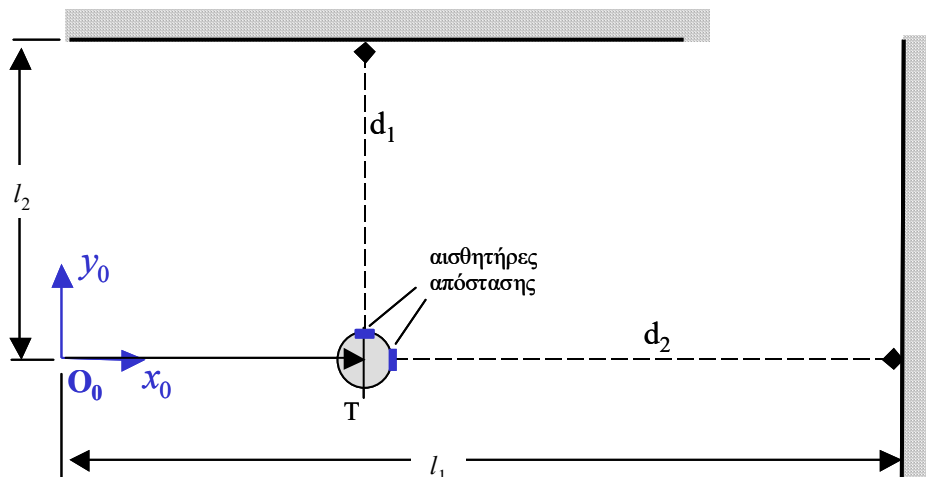
Έστω $\underline{v} = [v_x \quad v_y]^T$ η ταχύτητα του οχήματος. Υποθέτουμε ότι μια ένδειξη για την ταχύτητα του οχήματος παρέχεται από ένα σύστημα οδομετρίας, με σφάλματα μετρήσεων τα οποία ακολουθούν (ασυσχέτιστα) κανονική κατανομή μηδενικής μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης 5 cm/sec.

Θεωρούμε ότι το όχημα ξεκινά (με απόλυτη βεβαιότητα) από τη θέση $[0, 0]^T$, και εκτελεί μια κίνηση κατά το χρονικό διάστημα $[0, T_1]$ (όπου $T_1=1\text{sec}$), με ενδείξεις οδομετρίας $v_x^{(1)}=20\text{ cm/sec}$ και $v_y^{(1)}=10\text{ cm/sec}$.

Έστω ότι το όχημα είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες απόστασης (τοποθετημένους κυκλικά σε απόσταση $r=15\text{cm}$ από το κέντρο του ρομποτικού οχήματος). Οι αισθητήρες αυτοί παρέχουν ενδείξεις απόστασης από γνωστούς τοίχους, όπως εικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα (l_1 και l_2 γνωστές αποστάσεις, με $l_1=5\text{m}$ και $l_2=2\text{m}$). Υποθέτουμε ότι τα σφάλματα μετρήσεων απόστασης ακολουθούν κανονική κατανομή μηδενικής μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης 10 mm. Υποθέτουμε ότι τη χρονική στιγμή T_1 λαμβάνεται μια μέτρηση: $d_1^{(1)}=180\text{ cm}$ και $d_2^{(1)}=475\text{ cm}$.

Να περιγραφεί αναλυτικά η εφαρμογή ενός διακριτού φίλτρου Kalman εκτίμησης θέσης του ρομποτικού οχήματος (localisation) και να προσδιορισθεί η βέλτιστη εκτίμηση θέσης που επιστρέφει τη χρονική στιγμή T_1 .

Παρατήρηση: Όπου χρειάζεται, μπορούν να γίνουν υποθέσεις γραμμικοποίησης για να εφαρμοσθεί ένα γραμμικό Γκαουσιανό φίλτρο.



Σχήμα 1: Κινούμενο ρομποτικό όχημα εφοδιασμένο με αισθητήρες απόστασης

Άσκηση 2.2

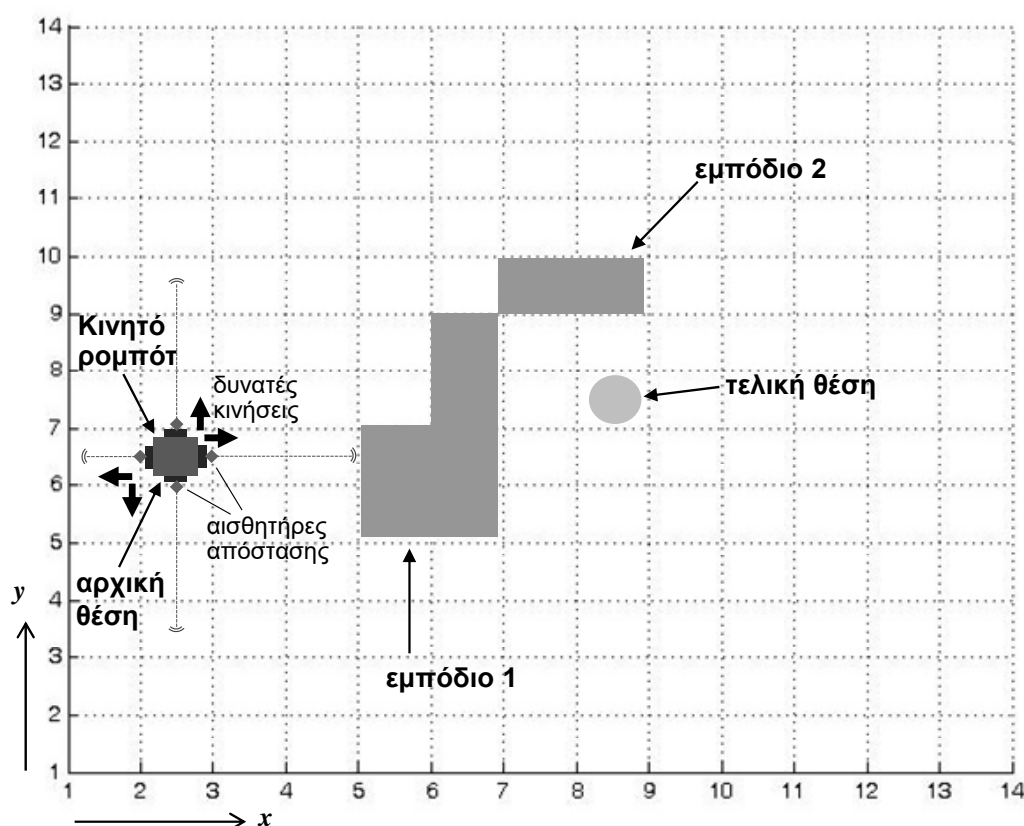
Αλγόριθμος σχεδιασμού δρόμου κινητού ρομπότ (με χρήση τεχνητών δυναμικών πεδίων και επανιχνηλάτηση)
Mobile robot path planning (using artificial potential fields and backtracking)

Στο ακόλουθο Σχήμα 2 εικονίζεται ο διακριτοποιημένος χώρος κάλυψης (occupancy grid) ενός ολόνομου κινητού ρομπότ στο επίπεδο. Σημειώνονται τα κελιά (cells) του χώρου κίνησης που αντιστοιχούν σε μη επιτρεπτές θέσεις (εμπόδια), καθώς και αυτά που αντιστοιχούν στην αρχική και τελική θέση μεταξύ των οποίων καλείται να μεταβεί το ρομποτικό όχημα. Σημείωση: η θέση των εμποδίων γίνεται σταδιακά αντιληπτή από το ρομποτικό σύστημα μέσω αισθητήρων απόστασης, όπως εικονίζεται στο Σχήμα.

Ζητείται η εφαρμογή ενός αλγορίθμου *σχεδιασμού δρόμου* (path planning), ο οποίος θα εξασφαλίζει την εύρεση *διαδρομής μετάβασης* του ρομπότ από την αρχική στην τελική θέση, στη βάση μιας μεθοδολογίας τάχισης κατάβασης (steepest descent) βάσει τεχνητού δυναμικού πεδίου (artificial potential field) και επανιχνηλάτησης (back-tracking).

- Να επεξηγηθούν αναλυτικά τα *τρία* (3) πρώτα βήματα υλοποίησης του αλγορίθμου, επισημαίνοντας σε κάθε βήμα τις τιμές που παίρνουν οι ενδιαμέσες μεταβλητές και δομές δεδομένων που απαιτούνται κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου.
- Να δειχθεί ποιά «διαδρομή» αναμένεται να επιστρέψει ο αλγόριθμος και να σχολιαστεί εάν ο αλγόριθμος αυτός είναι *πλήρης* και *βέλτιστος*.

Υποθέσεις: Θεωρούμε συνεκτικότητα 4 (4-connectivity), Ευκλείδεια απόσταση, πλήρως κατειλημμένα κελιά για τον υπολογισμό ελάχιστης απόστασης του ρομπότ από εμπόδια, συντελεστές $K_{att}=20$ και $K_{rep}=80$ για τις συναρτήσεις δυναμικού πεδίου (ελκτικού και απωστικού), και κατώφλι απόστασης από εμπόδια $\rho_0=2$. Οι υπόλοιπες παράμετροι υλοποίησης του αλγορίθμου είναι της επιλογής σας.



Σχήμα 2: Διακριτοποιημένος χώρος κάλυψης (occupancy grid) ολόνομου κινητού ρομπότ στο επίπεδο.