



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών

Παρουσίαση Διπλωματικής Εργασίας

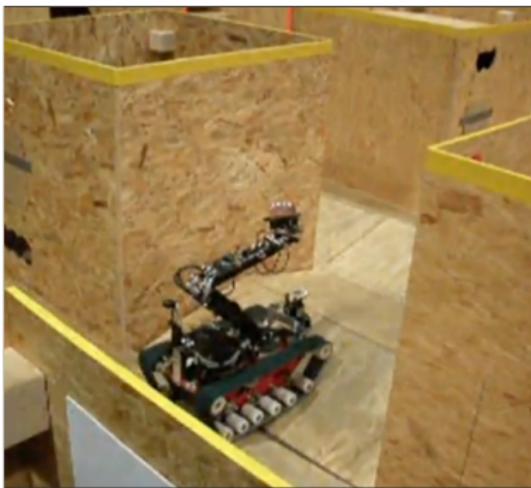
Ανάπτυξη Ρομποτικού Οχήματος Εδάφους με Κινηματικό Μοντέλο 4WS4WD και Υλοποίηση Συστήματος για Αυτόνομη Εξερεύνηση σε Άγνωστο Περιβάλλον

Εκπόνηση:
Γεώργιος Κούρος

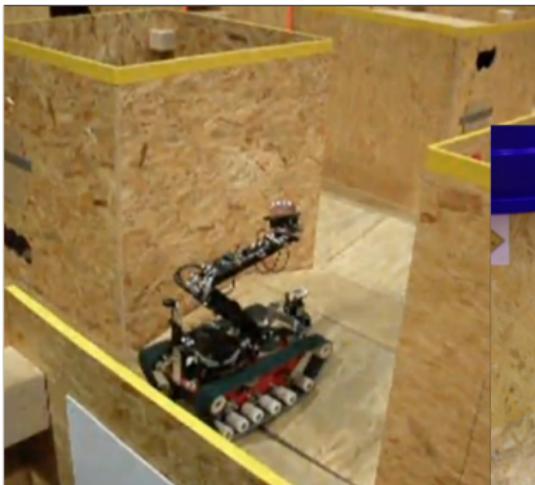
Επιβλέπων:
Λουκάς Πέτρου

24 Οκτωβρίου 2016

Κίνητρο



Κίνητρο



Κίνητρο



Πρόβλημα

Ανάπτυξη Αυτόνομου Ρομποτικού Οχήματος με Κινηματικό Μοντέλο
4WS4WD και Δυνατότητες Αυτόνομης Εξερεύνησης σε Άγνωστο
Περιβάλλον

- Ανάγκες σε εξοπλισμό

Πρόβλημα

Ανάπτυξη Αυτόνομου Ρομποτικού Οχήματος με Κινηματικό Μοντέλο
4WS4WD και Δυνατότητες Αυτόνομης Εξερεύνησης σε Άγνωστο
Περιβάλλον

- Ανάγκες σε εξοπλισμό
- Δυνατότητες και περιορισμοί κίνησης

Πρόβλημα

Ανάπτυξη Αυτόνομου Ρομποτικού Οχήματος με Κινηματικό Μοντέλο
4WS4WD και Δυνατότητες Αυτόνομης Εξερεύνησης σε Άγνωστο
Περιβάλλον

- Ανάγκες σε εξοπλισμό
- Δυνατότητες και περιορισμοί κίνησης
- **Αναπαράσταση περιβάλλοντος**

Πρόβλημα

Ανάπτυξη Αυτόνομου Ρομποτικού Οχήματος με Κινηματικό Μοντέλο
4WS4WD και Δυνατότητες Αυτόνομης Εξερεύνησης σε Άγνωστο
Περιβάλλον

- Ανάγκες σε εξοπλισμό
- Δυνατότητες και περιορισμοί κίνησης
- Αναπαράσταση περιβάλλοντος
- **Αυτόνομη πλοιήγηση**

Πρόβλημα

Ανάπτυξη Αυτόνομου Ρομποτικού Οχήματος με Κινηματικό Μοντέλο
4WS4WD και Δυνατότητες Αυτόνομης Εξερεύνησης σε Άγνωστο
Περιβάλλον

- Ανάγκες σε εξοπλισμό
- Δυνατότητες και περιορισμοί κίνησης
- Αναπαράσταση περιβάλλοντος
- Αυτόνομη πλοιήγηση
- Εργαλεία προς Αξιοποίηση

Επισκόπιση

Τμήματα:

- Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck

Επισκόπιση

Τμήματα:

- Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck
- Κινηματική Ανάλυση

Τμήματα:

- Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck
- Κινηματική Ανάλυση
- Εκτίμηση Κατάστασης και Χαρτογράφηση

Επισκόπιση

Τμήματα:

- Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck
- Κινηματική Ανάλυση
- Εκτίμηση Κατάστασης και Χαρτογράφηση
- **Αυτόνομη Πλοήγηση**

Τμήματα:

- Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck
- Κινηματική Ανάλυση
- Εκτίμηση Κατάστασης και Χαρτογράφηση
- Αυτόνομη Πλοήγηση
- **Αρχιτεκτονική Συστήματος**

Τμήματα:

- Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck
- Κινηματική Ανάλυση
- Εκτίμηση Κατάστασης και Χαρτογράφηση
- Αυτόνομη Πλοήγηση
- Αρχιτεκτονική Συστήματος
- Πειράματα

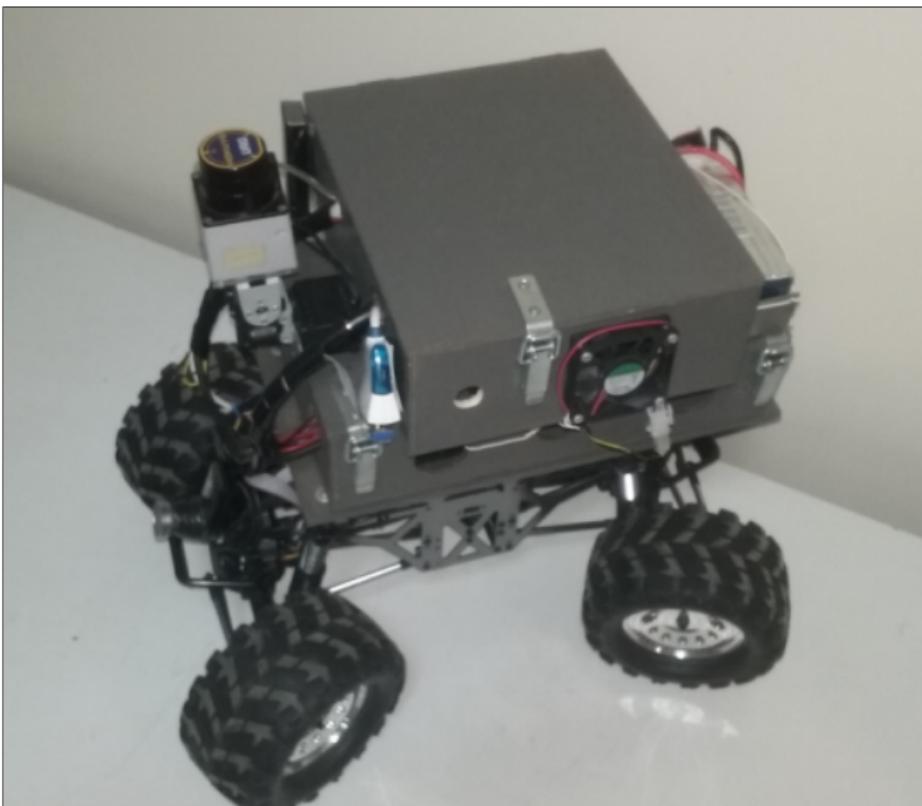
Ρομποτική Πλατφόρμα Monstertruck

Τηλεκατευθυνόμενο Όχημα Groundpounder, της Redcat Racing.



- Τετρακίνηση - 4WD
- Τετραδιεύθυνση - 4WS
- Αναρτήσεις
- Μεταλλικό Σασί
- Τροχοί Offroad

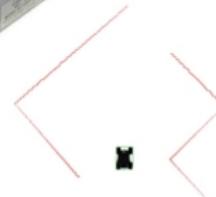
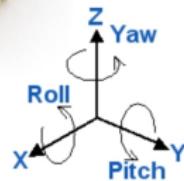
Τελική Ρομποτική Πλατφόρμα



Κινητήρες



Αισθητήρες



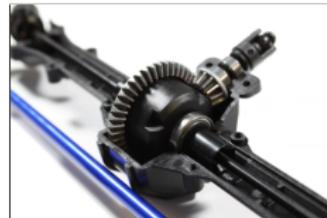
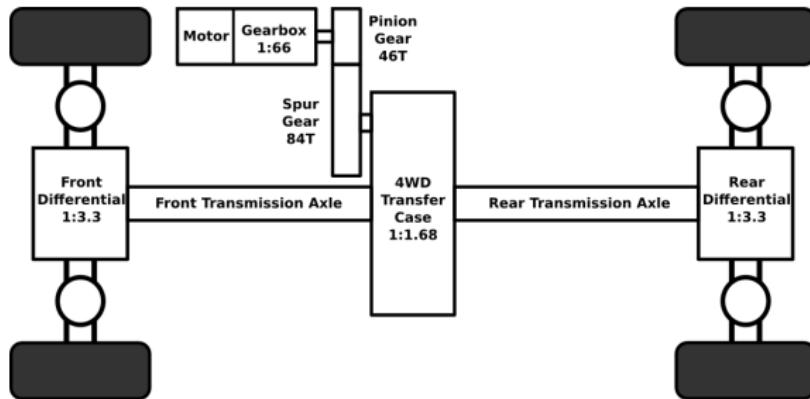
Υπολογιστής



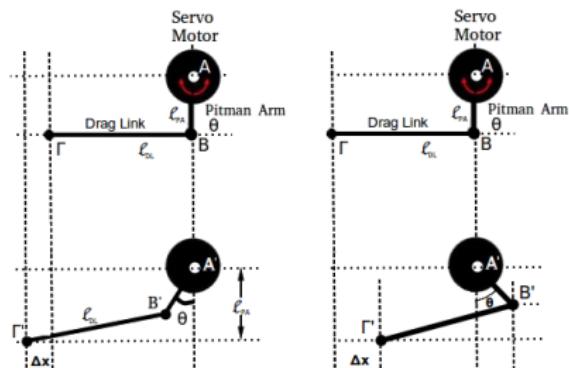
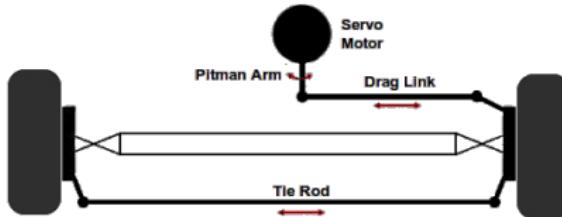
Προδιαγραφές	Odroid-XU4
CPU	Samsung Exynos5422 ARM® Cortex™-A15 Quad 2.0GHz/ Cortex™-A7 Quad 1.4GHz
GPU	Mali™-T628 MP6 OpenGL ES 3.0 / 2.0 / 1.1 and OpenCL 1.1 Full profile
Μνήμη RAM	2GB LPDDR3
Θύρες USB 2.0	1
Θύρες USB 3.0	2
Εικόνα	HDMI
Ήχος	HDMI Digital audio output
Αποθηκευτικός Χώρος	Micro SD ή eMMC 5.0
Ethernet	10/100/1000
Wifi	USB IEEE 802.11b/g/n 1T1R WLAN
Περιφερειακά - Διεπαφές	UART, 30-pin GPIO/IRQ/SPI/ADC 12-pin GPIO/I2S/I2C
Τροφοδοσία	5V, 4A
Διαστάσεις	82 × 58 × 22mm

Σύστημα Τετρακίνησης

$$\omega_{wheel} = \omega_{motor}/(\lambda_{gearbox} \times \lambda_{spur_pinion} \times \lambda_{transfer_case} \times \lambda_{differential}) = \omega_{motor}/644$$

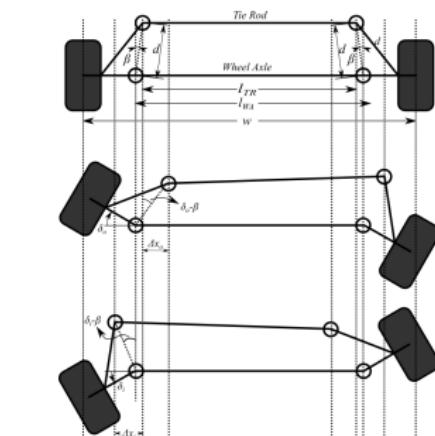


Σύστημα Τετραδιεύθυνσης



$$\delta_i = \beta + \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{l_{DL}^2 - l_{PA}^2(1 - \cos(\theta))} + l_{PA} \sin|\theta| - l_{DL} - d \sin \beta}{d} \right)$$

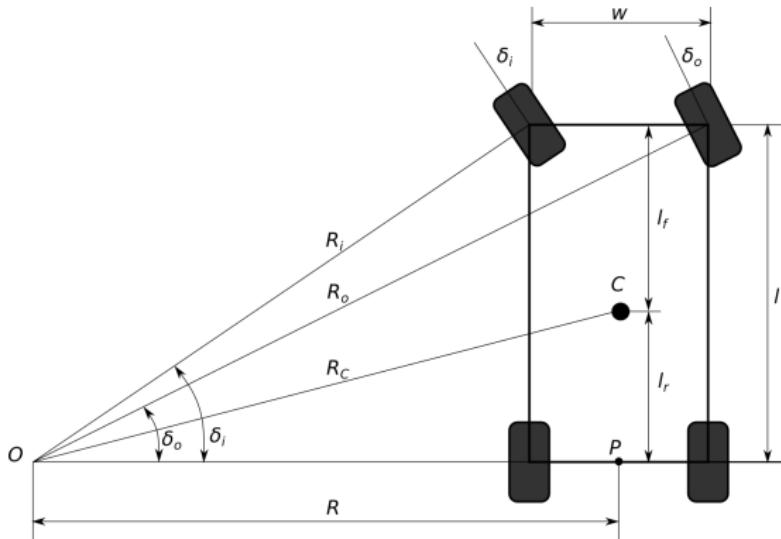
$$\delta_o = -\beta + \sin^{-1} \left(\frac{-\sqrt{l_{DL}^2 - l_{PA}^2(1 - \cos(\theta))} - l_{PA} \sin|\theta| - l_{DL} + d \sin \beta}{d} \right)$$



$$\sin(\beta + \delta_i) + \sin(\beta - \delta_o) = \frac{L}{d} + \sqrt{\left(\frac{L}{d} - w \sin \beta\right)^2 - \left(\cos(\beta - \delta_o) - \cos(\beta + \delta_i)\right)^2}$$

Κινηματική Ανάλυση

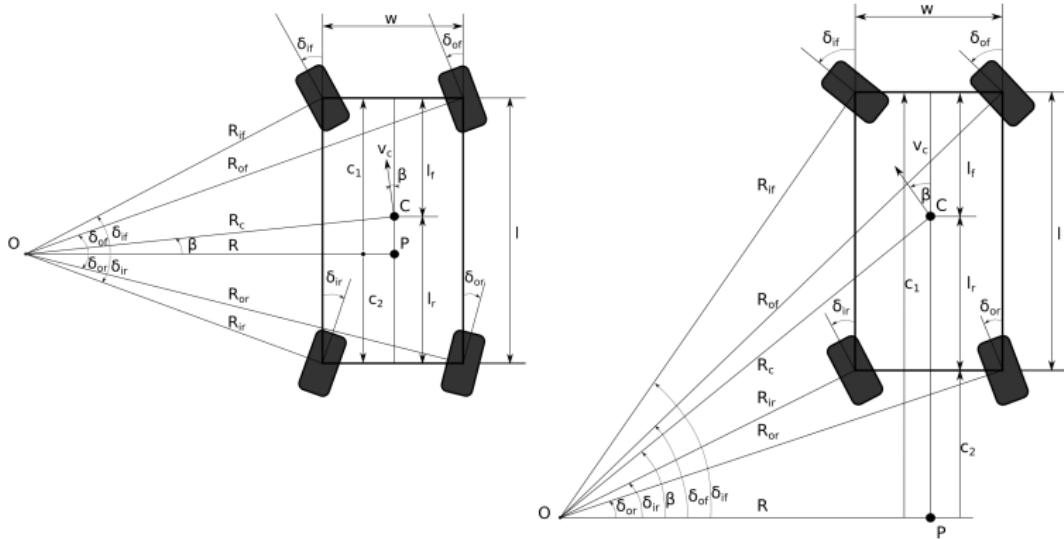
Κινηματικό Μοντέλο ACKERMANN



Συνθήκη Ackermann:

$$\cot \delta_i - \cot \delta_o = w/l$$

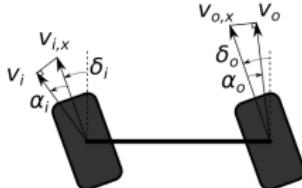
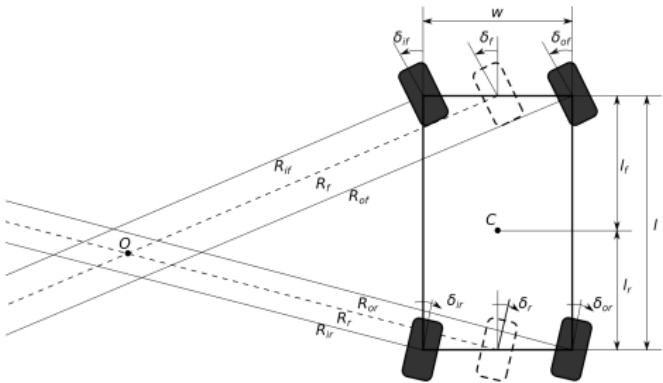
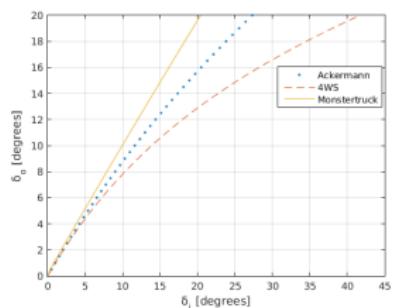
Κινηματικό Μοντέλο Τετραδιεύθυνσης (4WS)



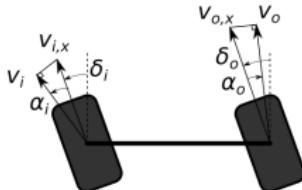
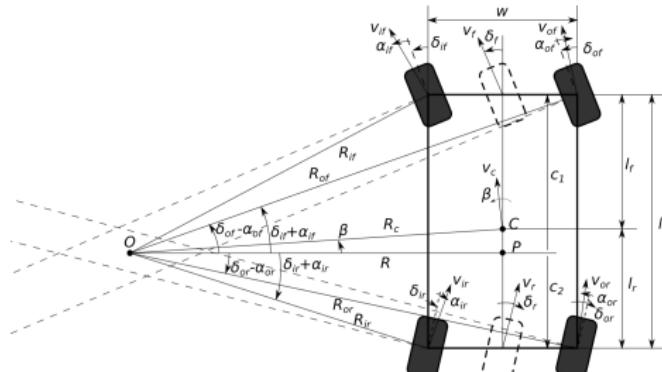
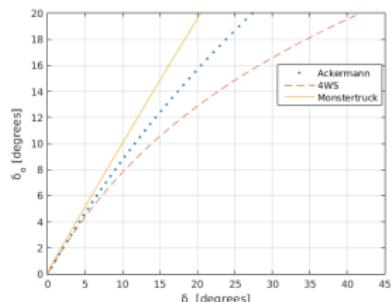
Συνθήκη Τετραδιεύθυνσης:

$$\frac{1}{\cot \delta_{of} - \cot \delta_{if}} + \frac{1}{\cot \delta_{or} - \cot \delta_{ir}} = \frac{l}{w}$$

Κινηματικό Μοντέλο Ρομποτικής Πλατφόρμας MONSTERTRUCK



Κινηματικό Μοντέλο Ρομποτικής Πλατφόρμας MONSTERTRUCK



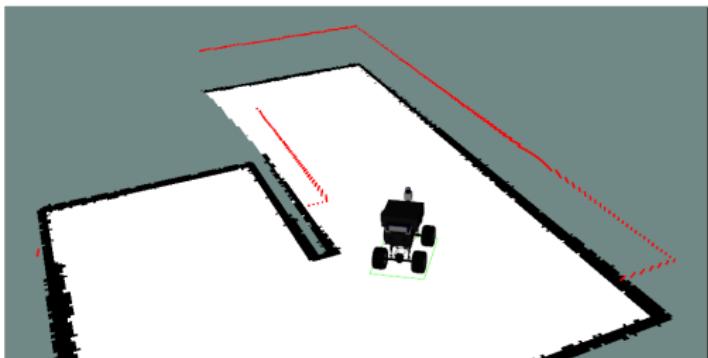
Μη Ιδανική Συνθήκη Τετραδιεύθυνσης:

$$\frac{1}{\cot(\delta_{of} - \alpha_{of}) - \cot(\delta_{if} + \alpha_{if})} - \frac{1}{\cot(\delta_{or} - \alpha_{or}) - \cot(\delta_{ir} + \alpha_{ir})} = \frac{l}{w}$$

Εκτίμηση Κατάστασης και Χαρτογράφηση

Κατάσταση και Χαρτογράφηση

- 6D Κατάσταση: $s = (x, y, z, \phi, \psi, \theta)$ ή $(x, y, z, roll, pitch, yaw)$
- SLAM: Simultaneous Localization And Mapping
- 2D αλγόριθμοι SLAM → 3D πόζα $p = (x, y, \theta)$
- Χάρτες Πλέγματος Κατάληψης (OGM)
- Χαρτογράφηση, Εκτίμηση Κατάστασης → αλληλένδετα
- Αξιοποίηση πληροφορίας από σαρωτές λέιζερ
- Σταθεροποίηση του σαρωτή λέιζερ στο επίπεδο



CRSM: Critical Rays Scan Matching

- Απαιτούμενα δεδομένα: σκαναρίσματα σαρωτή λέιζερ
- Αντιστοίχιση σκαναρισμάτων του σαρωτή λέιζερ
- Εντοπισμός πόζας → υπολογισμός μετασχηματισμού διαδοχικών σκαναρισμάτων
- Προεπεξεργασία σκαναρισμάτων → επιλογή κρίσμων ακτίνων
- Αντιστοίχιση τρέχοντος σκαναρίσματος με ολικό χάρτη
→ Random Restart Hill Climbing (RRHC)



- Σωματίδια (particles)
- Rao-Blackwellized Φίλτρα Σωματιδίων
- Εκτίμηση κατάστασης μέσω συνδυασμού
 - Οδομετρίας
 - Αντιστοίχισης σκαναρίσματων σαρωτή λέιζερ
- Υψηλή εξάρτηση χαρτογράφησης από αξιόπιστη εκτίμηση κατάστασης

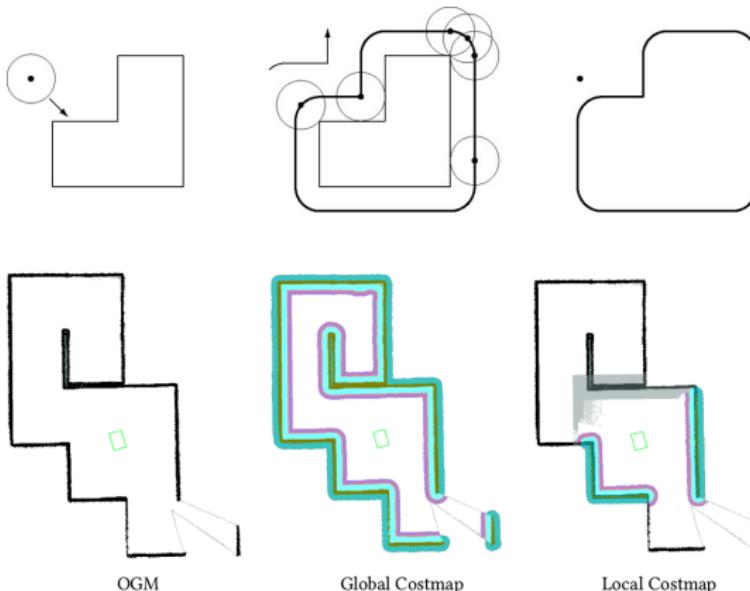
Εκτίμηση Κατάστασης μέσω συνδυαστικής αντίληψης

- EKF: Extended Kalman Filters
- Συνδυασμός πληροφορίας από
 - οδομετρία τροχών $\rightarrow (x, y, \theta)$
 - πυξίδα $\rightarrow (roll, pitch, yaw)$
 - οπτική οδομετρία $\rightarrow (x, y, z, roll, pitch, yaw)$

Αυτόνομη Πλοήγηση

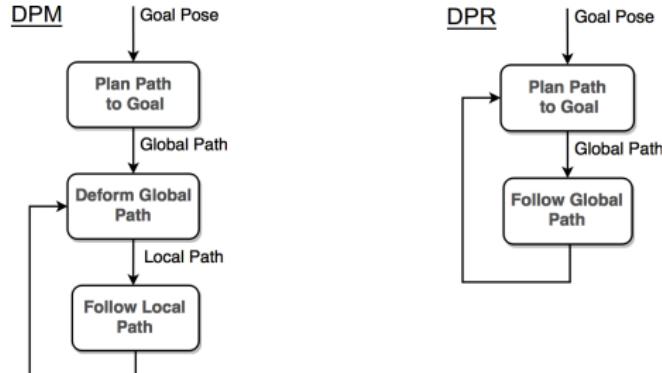
Αυτόνομη Πλοήγηση

- Στόχος: Μετάβαση από μία αρχική πόζα p_{init} σε μία τελική p_{final}
- Αναζήτηση λύσης σε Χάρτες Κόστους
→ αναπαράσταση ρομπότ ως σημείο
- Διάσπαση Προβλήματος → Ολικό και Τοπικό πρόβλημα
- Κινηματικοί περιορισμοί → δυσκολότερο πρόβλημα



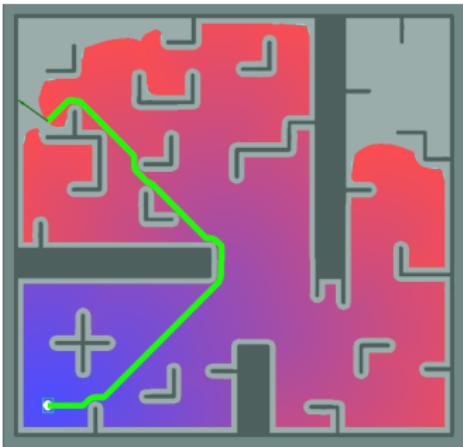
Προτάσεις

1. Αυτόνομη Πλοήγηση με Δυναμική Παραμόρφωση Μονοπατιού (DPM)
 - 1.1 Κατασκευή στατικού ολικού μονοπατιού → Dijkstra / A*
 - 1.2 Παραμόρφωση ολικού μονοπατιού σε τοπικό → Reeds-Shepp Band
 - 1.3 Διάσχιση τοπικού μονοπατιού με ελεγκτή ασαφούς λογικής
2. Αυτόνομη Πλοήγηση με Δυναμική Ανακατασκευή Μονοπατιού (DPR)
 - 2.1 Δυναμική ανακατασκευή ολικού μονοπατιού → SBPL Lattice Planner
 - 2.2 Διάσχιση τοπικού μονοπατιού με ελεγκτή ασαφούς λογικής

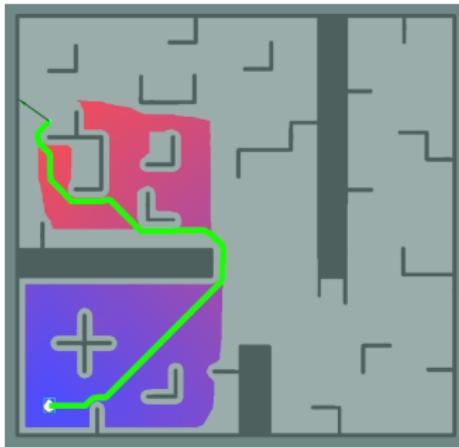


DPM (1/3): Ολικό Μονοπάτι μέσω Dijkstra ή A*

- Αντιμετώπιση του ολικού χάρτη κόστους ως γράφο
- Κατασκευή ολικού μονοπατιού μεταξύ αρχικής θέσης και στόχου
- Dijkstra → Breadth-First Search → $f(n) = g(n)$
- A* → μεταξύ Breadth-First, Best-First Search → $f(n) = g(n) + h(n)$
- Dijkstra → πάντα βέλτιστη λύση, αλλά A* → αποδοτικότερος
- Κινηματικά μη εφικτό μονοπάτι για Car-Like Robots



Dijkstra



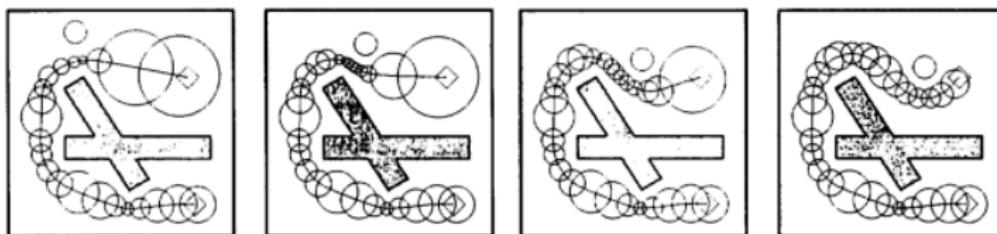
A*

- Μετατροπή σε ελαστική ζώνη → σημείο σε Φούσκα (Bubble)
- Φούσκα: Μέγιστο τοπικό, προσβάσιμο τμήμα γύρω από μία θέση b
 $\rightarrow B(b) = \{q : \|b - q\| < \rho(b)\}$
- Παραμόρφωση μέσω τεχνητών
 - εσωτερικών ελκτικών δυνάμεων → τάση για ευθυγράμμιση

$$f_c = k_c \cdot \left(\frac{\mathbf{b}_{i-1} - \mathbf{b}_i}{\|\mathbf{b}_{i-1} - \mathbf{b}_i\|} + \frac{\mathbf{b}_{i+1} - \mathbf{b}_i}{\|\mathbf{b}_{i+1} - \mathbf{b}_i\|} \right)$$

- εξωτερικών απωστικών δυνάμεων → απομάκρυνση από εμπόδια

$$f_r = \begin{cases} k_r \cdot (\rho_0 - \rho \frac{\partial \rho}{\partial b}) & \rho < \rho_0 \\ 0 & \rho \geq \rho_0 \end{cases}$$

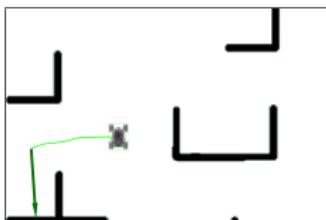


Μονοπάτι Reeds-Shepp: βέλτιστο μονοπάτι για ένα αυτοκίνητο που κινείται και μπρος και πίσω

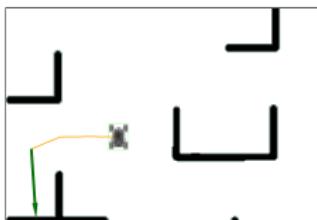
- 48 τύποι μονοπατιών Reeds-Shepp βάσει των λέξεων:

$$\begin{aligned} & \{C|C|C, CC|C, C|CC, CSC, CC_\beta|C_\beta C, C|C_\beta C_\beta|C, \\ & C|C_{\frac{\pi}{2}} SC, CSC_{\frac{\pi}{2}}|C, C|C_{\frac{\pi}{2}} SC_{\frac{\pi}{2}}|C\}, \quad C \in \{R, L\} \end{aligned}$$

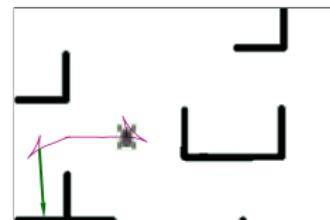
- Σύνδεση των κέντρων των φουσκών της ελαστικής ζώνης με μονοπάτια Reeds-Shepp → **Ζώνη Reeds-Shepp**
→ Κινηματικά εφικτό μονοπάτι



Ολικό Μονοπάτι



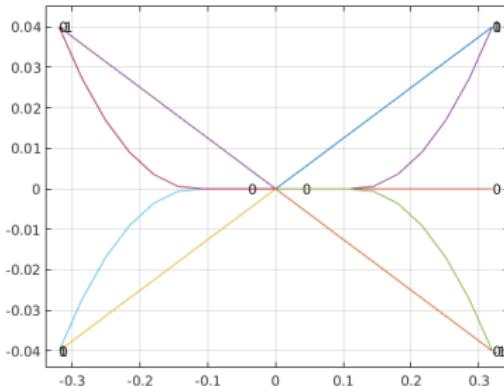
Ελαστική Ζώνη



Ζώνη Reeds-Shepp

DPR(1/2): SBPL LATTICE PLANNER

- Κατάσταση $s = (x, y, \theta, v)$
- Δικτύωμα Καταστάσεων
 - διακριτοποίηση χώρου καταστάσεων + συνδέσεις καταστάσεων
- Σύνδεση μεταξύ δύο καταστάσεων
 - κινηματικά και δυναμικά εφικτό μονοπάτι
- Χώρος Κινήσεων: κινηματικά εφικτές κινήσεις
- Μονοπάτι στο δικτύωμα → συνδυασμός εφικτών κινήσεων
- Κατασκευή Μονοπατιού → αναζήτηση σε γράφο → ARA* ή AD*



ARA*: Anytime Repairing A*

AD*: Anytime Dynamic A*

- A^* σε Μεγάλο πρόβλημα → παραβίαση χρονικών περιορισμών
→ παραλλαγές του A^* (ARA*, AD*)
- ARA*: γρήγορη εύρεση μη βέλτιστης λύσης και συνεχή βελτίωση, σε στατικό περιβάλλον
- $\epsilon > 1$: παράγοντας διαστολής αποδεκτού κόστους μονοπατιού
- Επαναχρησιμοποίηση πληροφορίας από προηγούμενες αναζητήσεις
- AD*: ARA* + D*/D* Lite → προσαρμογή σε δυναμικά εμπόδια

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ?