

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar, rgb(d), sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$



Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

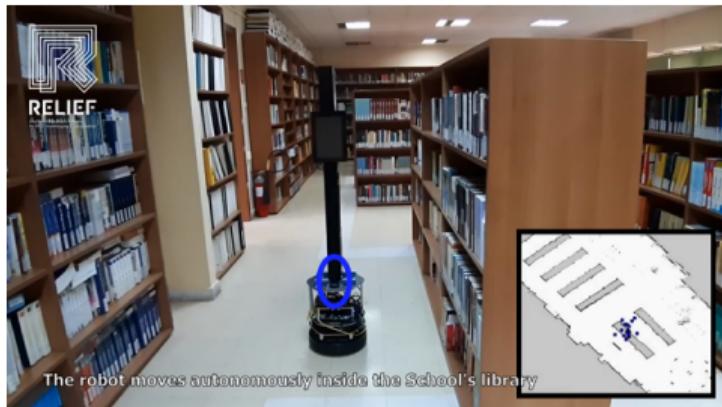
- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar, rgb(d), sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$



Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar, rgb(d), sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$



Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar, rgb(d), sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$



Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

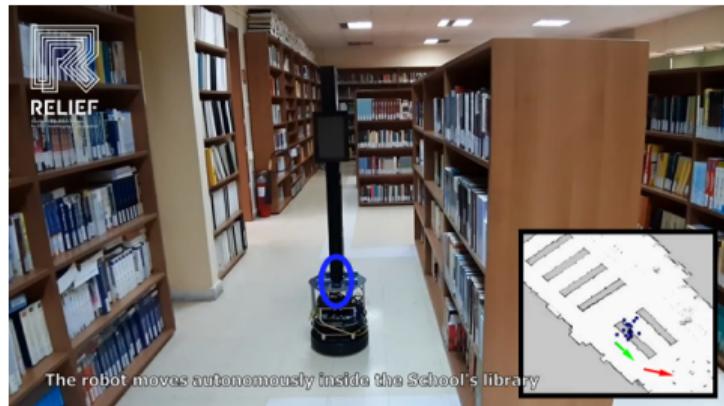
- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar, rgb(d), sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$



Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar, rgb(d), sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$



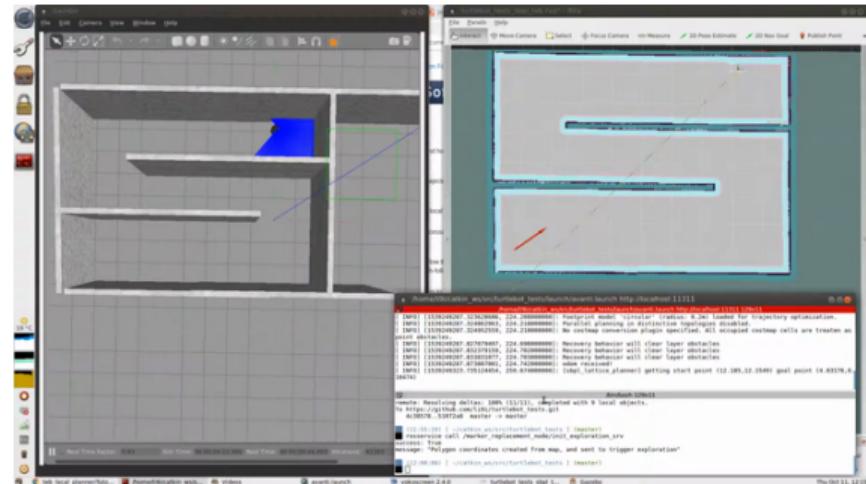
Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

# Αυτόνομη πλοήγηση: Προαπαιτούμενα

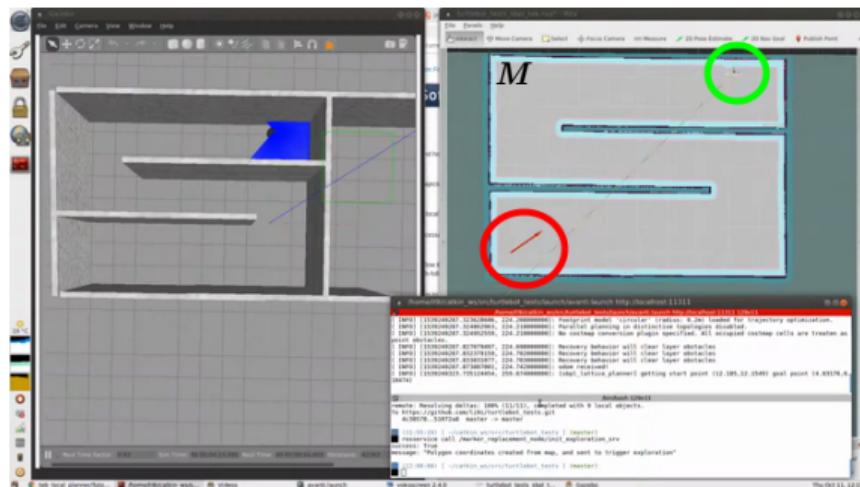
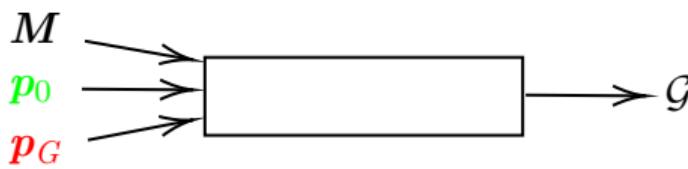
- ① Εξωδεκτικός αισθητήρας  
(lidar,  $rgb(d)$ , sonar)
- ② Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- ③ Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- ④ Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- ⑤ Τελική συνθήκη στάσης  $p_G^M$

Σχήμα: Πηγή: <https://relief.web.auth.gr/>

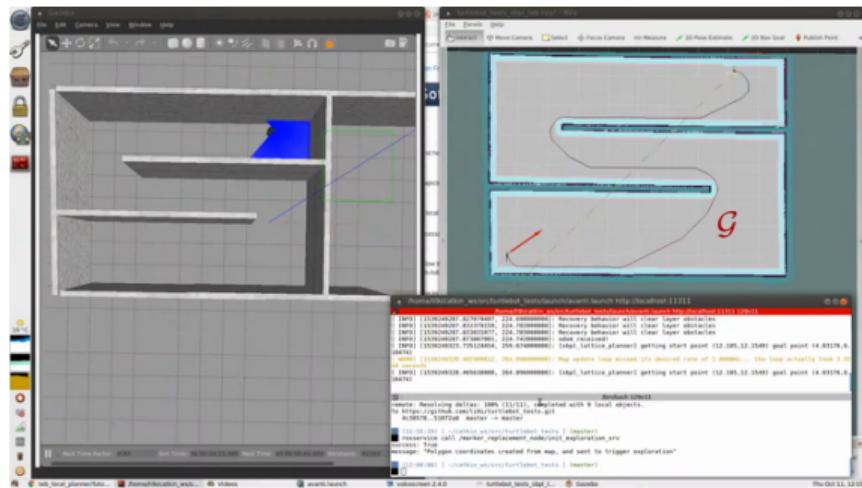
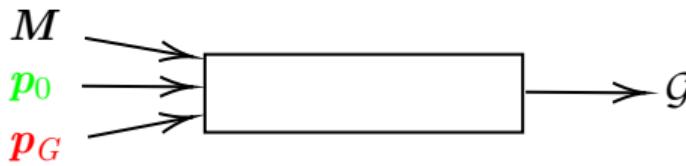
## Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



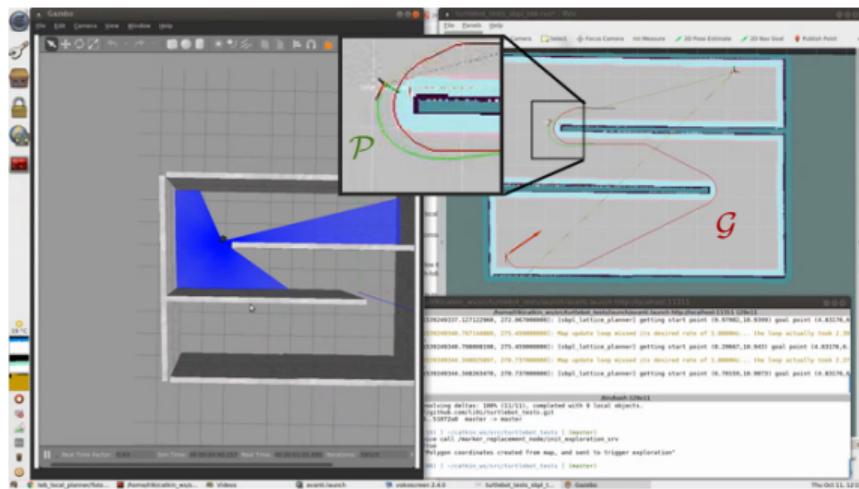
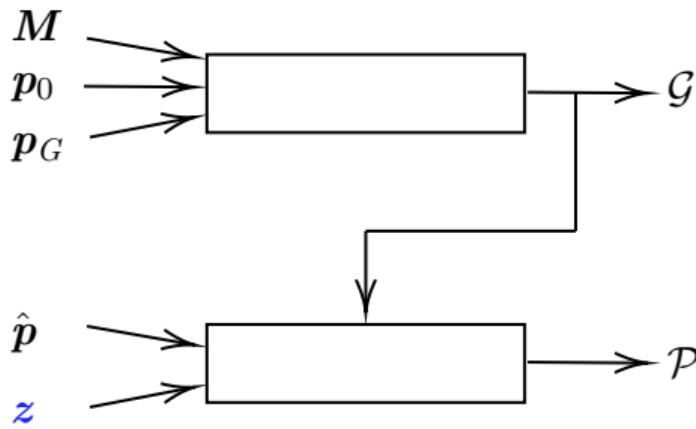
## Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



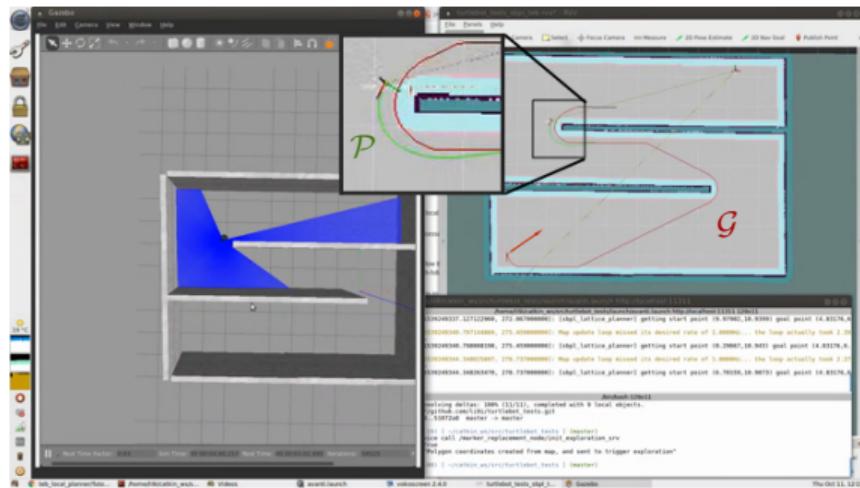
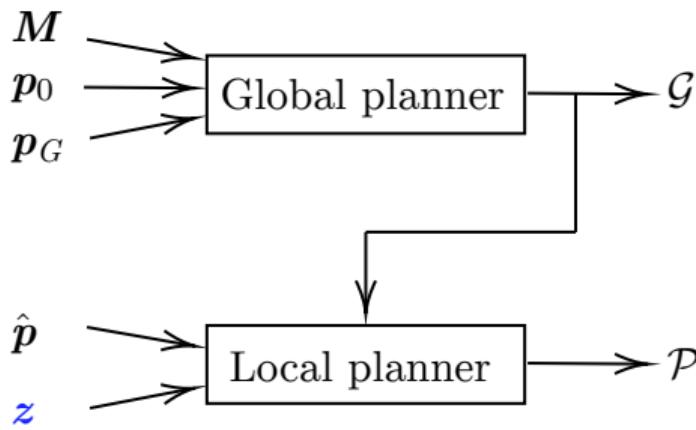
## Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



# Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



## Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



## Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn			
global_planner			
asr_navfn			
MoveIt!			
sbpl_lattice_planner			
sbpl_dynamic_env			
lattice_planner			
waypoint_global_planner			
voronoi_planner			

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

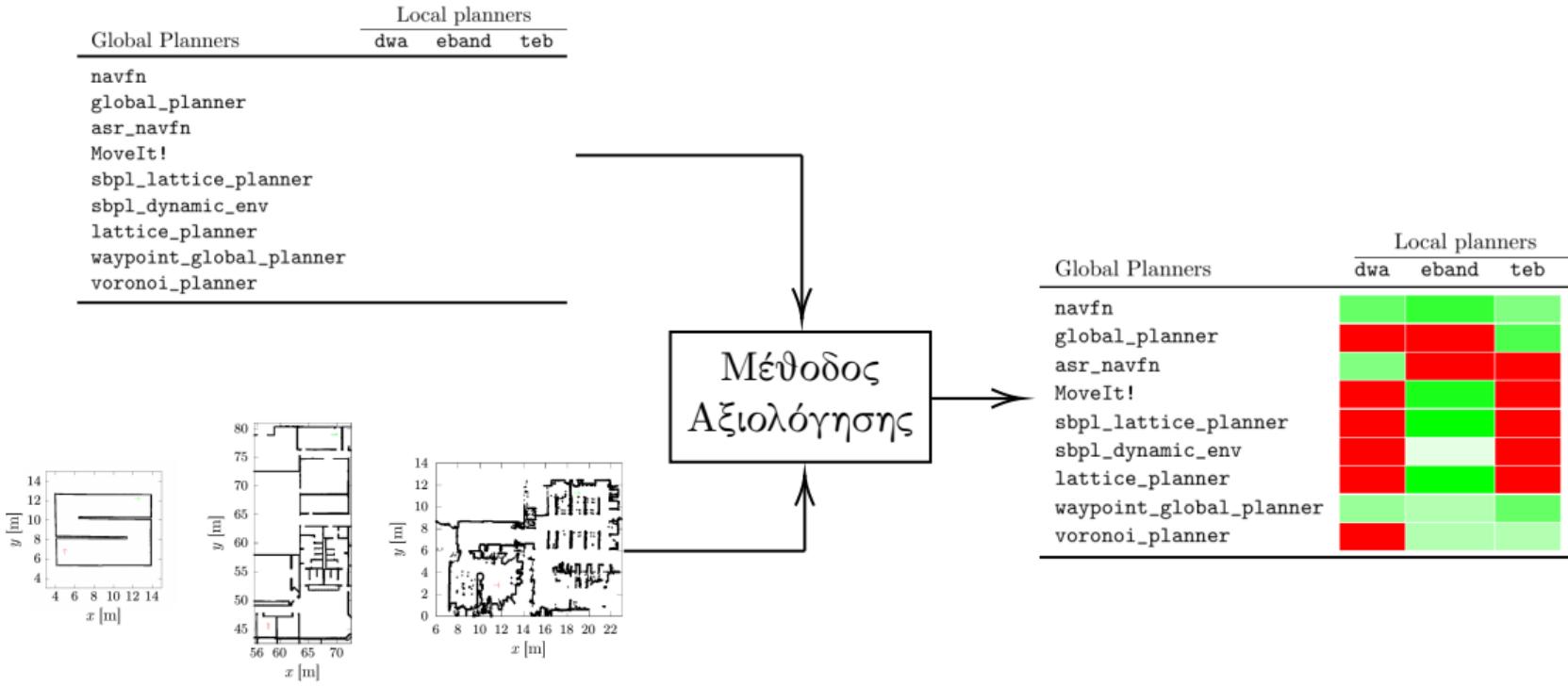
# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

Global Planners	Local planners		
	dwa	eband	teb
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
asr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
sbpl_lattice_planner	?	?	?
sbpl_dynamic_env	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

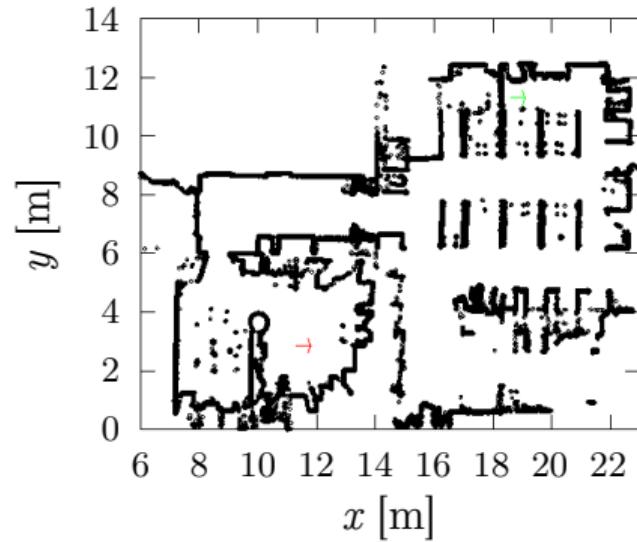
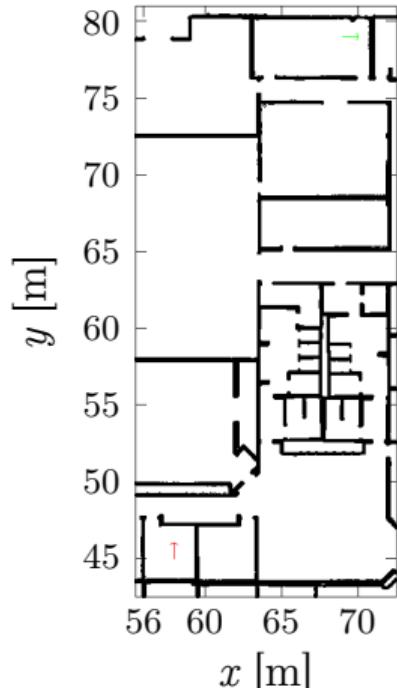
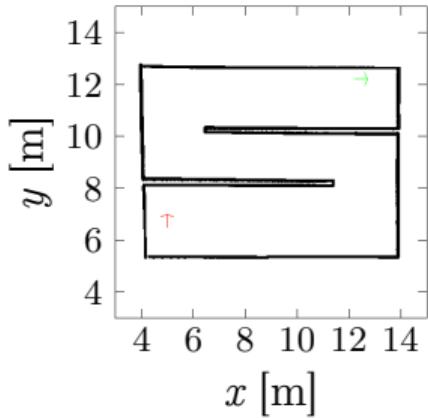


# Προκαταρκτική αξιολόγηση: ποιοτικά κριτήρια λογισμικού

Planner	Ποιοτικές Μετρικές								Αποδοχή
	DOC	UTD	INST	SC/C	PARAM	CON	COMP		
navfn	•	•	••	•	•	•	•		•
global_planner	•	•	••	•	•	•	•		•
asr_navfn	•	○	•	•	•	•	•		○
MoveIt!	•••	•	••	•	•••	?	•••		○
sbpl_lattice_planner	••	•	••	•	•	•	•		•
sbpl_dynamic_env	•	○	•	○	•	?	•		○
lattice_planner	•	○	•	•	•	•	•		○
waypoint_global_planner	•	○	•	○	○	•	•		○
voronoi_planner	•	○	•	•	•	•	•		○
dwa_local_planner	•	•	••	•	•	•	•		•
eband_local_planner	•	○	••	•	••	•	••		•
teb_local_planner	•••	•	••	•	•••	••	••		•

**Πίνακας:** Αξιολόγηση των πακέτων ROS που αποτελούν συνιστώσες αυτόνομους πλοιήγησης με βάση ποιοτικές μετρικές λογισμικού, και απόφαση αποδοχής για συμπερίληψη στην πειραματική αξιολόγηση. Οι κενές κουκκίδες υποδηλώνουν ανεπάρκεια σε σχέση με κάθε μετρική. Τα ερωτηματικά υποδηλώνουν άγνωστη κατάσταση

# Πειραματική αξιολόγηση: διάταξη



## Πειραματική αξιολόγηση: μετρικές

### Global planners (8 μετρικές)

- Μέσο μήκος χαραχθέντων μονοπατιών
- Μέση ελάχιστη απόσταση από εμπόδια
- ...

### Local planners (8 μετρικές)

- Αριθμός αποτυχιών ένρεσης ταχυτήτων προς συνολικό αριθμό κλήσεων
- ...

### Global $\circ$ Local (12 μετρικές)

- Χρόνος πλοήγησης
- Ολικά ελάχιστη απόσταση από εμπόδια
- ...

# Πειραματική αξιολόγηση: Στόχος

Απόδοση μίας τιμής-αξίας  $V(c_{i,j})$  σε κάθε συνδνασμό  $c_{i,j} = g_i \circ l_j$  για όλα τα περιβάλλοντα με βάση όλες τις μετρικές  $m_k$

Προβλήματα:

- Διαφορετικές μονάδες μέτρησης μετρικών
- Κατασκευή  $V(c) \uparrow$  όταν  $c(m_q) \uparrow$  και  $c(m_{\bar{q}}) \downarrow$ ,  $m_q \in Q, m_{\bar{q}} \in \overline{Q}, Q \cup \overline{Q} = \cup m$

## Κατασκευή συνάρτησης απόδοσης αξίας V

- Κανονικοποίηση τιμών μετρικής  $m$ :

$$N(m) \triangleq \frac{m - \min m}{\max m - \min m} \in [0, 1]$$

# Κατασκευή συνάρτησης απόδοσης αξίας $V$

- Κανονικοποίηση τιμών μετρικής  $m$ :

$$N(m) \triangleq \frac{m - \min m}{\max m - \min m} \in [0, 1]$$

- $V$  ανά περιβάλλον/χάρτη  $M$

$$V_M(c) \triangleq \sum_m I_Q(m) \cdot V_q(c, m) + I_{\bar{Q}}(m) \cdot V_{\bar{q}}(c, m)$$

$$V_q(c, m) \triangleq w_m \cdot I(c, m) \cdot N(m), \quad m \in Q$$

$$V_{\bar{q}}(c, m) \triangleq w_m \cdot I(c, m) \cdot (1 - N(m)), \quad m \in \bar{Q}$$

$$I(c, m) \triangleq I_S(c) \parallel I_D(m)$$

# Αποτελέσματα

global planner	local planner	$V_{M_C}$	$V_{M_W}$	$V_{M_L}$	$V$	Κατάταξη
navfn	teb	21.41	20.00	18.74	60.15	1
globalplanner	teb	19.29	21.90	16.84	58.03	2
sbpl	teb	20.35	12.27	13.57	46.19	3
navfn	eband	15.96	11.76	14.77	42.49	4
globalplanner	eband	14.70	11.95	14.26	40.91	5
sbpl	eband	10.99	9.85	7.80	28.94	6
navfn	dwa	6.46	9.31	8.10	28.64	7
globalplanner	dwa	5.50	8.86	6.13	20.49	8
sbpl	dwa	6.56	4.85	6.47	17.88	9

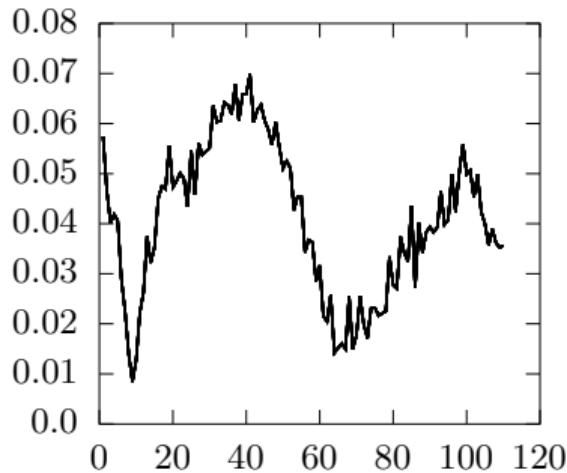
**Πίνακας:** Η σύνθετη τελική τιμή  $V$  και η κατάταξη όλων των συνδυασμών αλγορίθμων χάραξης μονοπατιών και ελεγκτών κίνησης σε επαναληπτικές προσομοιώσεις και πειράματα στα περιβάλλοντα της πειραματικής διάταξης

Τι ήταν αδύνατον προηγουμένως και τώρα είναι εφικτό

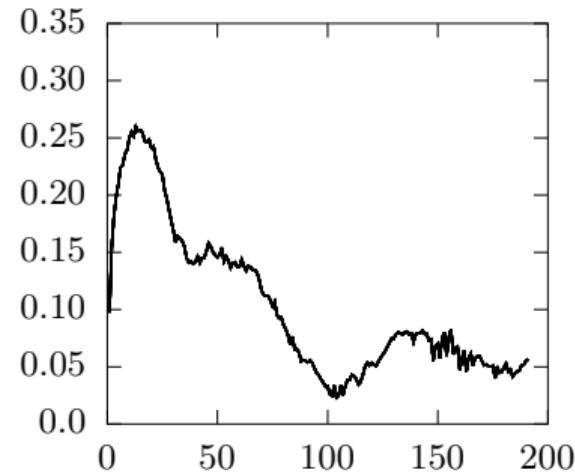
- Επιλογή συνδυασμού planners off-the-shelf
- Προσαρμογή μεθόδου αξιολόγησης με βάση ειδικές απαιτήσεις ( $w_m \neq 1.0$ )
- Ενσωμάτωση οποιωνδήποτε μελλοντικών μεθόδων
- Ενσωμάτωση ad hoc περιβάλλοντος

Μέσο σφάλμα κατάστασης  $[(m^2 + rad^2)^{1/2}]$

CORRIDOR

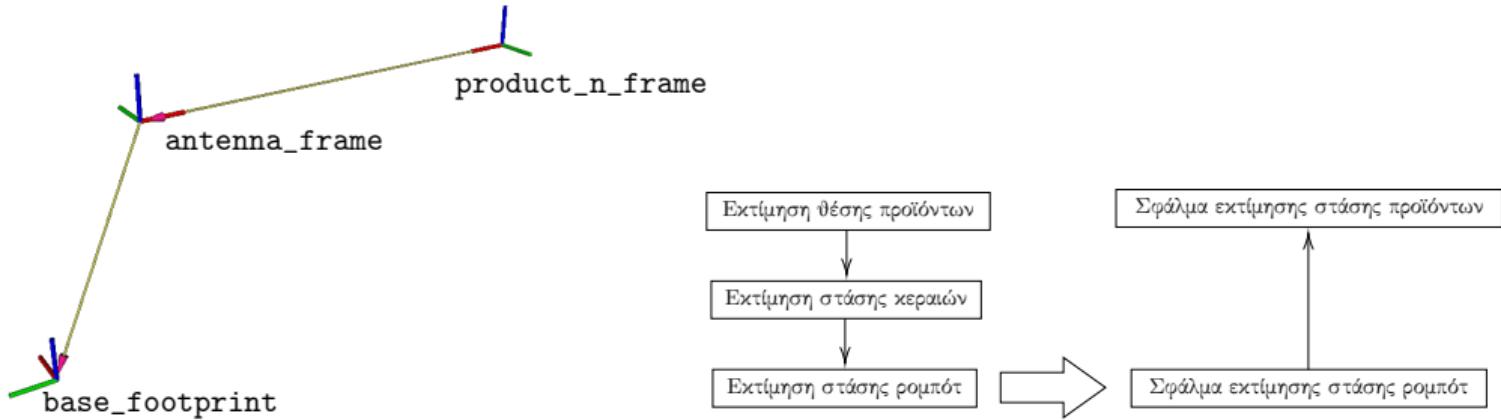


WILLOWGARAGE



Αριθμός εκτιμήσεων στάσης στο χρόνο

**Σχήμα:** Μέσος όρος σφαλμάτων εκτίμησης στάσης κατά τη διάρκεια του χρόνου σε δέκα πειράματα αυτόνομους πλοιήγησης με τη χρήση φίλτρου σωματιδίων στα προσομειωμένα περιβάλλοντα CORRIDOR και WILLOWGARAGE



**Σχήμα:** Συστήματα αναφοράς ρομπότ, κεραίας, και τυχαίου προϊόντος

**Σχήμα:** Η εκτίμηση της θέσης των προϊόντων εξαρτάται από το σφάλμα της εκτίμησης της στάσης του ρομπότ

