

## Απόπειρα ευθυγράμμισης sm2 δίχως αντιστοιχίσεις

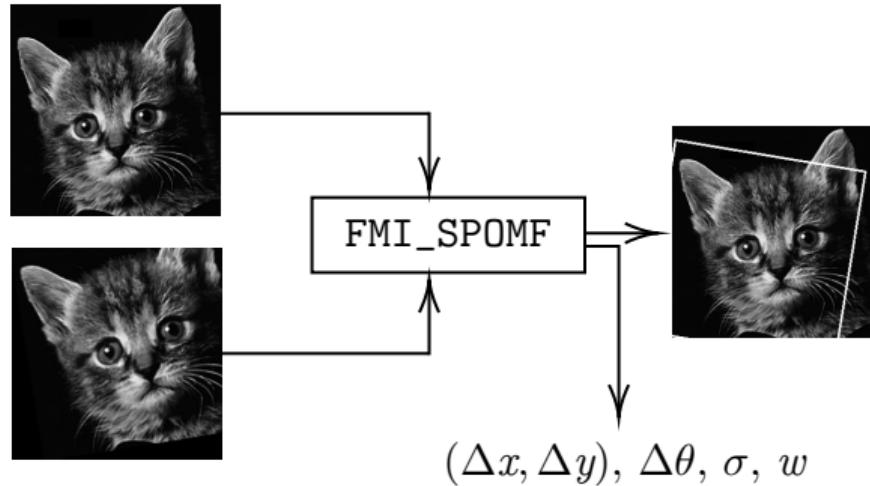
- Αναγκαία συνθήκη:  $\lambda = 2\pi \text{ rad}$
- Παραδοχή:  $t_{\text{exec}} \not\prec t_{\text{max}}$

## Απόπειρα ευθυγράμμισης sm2 δίχως αντιστοιχίσεις

Προβλήματα:

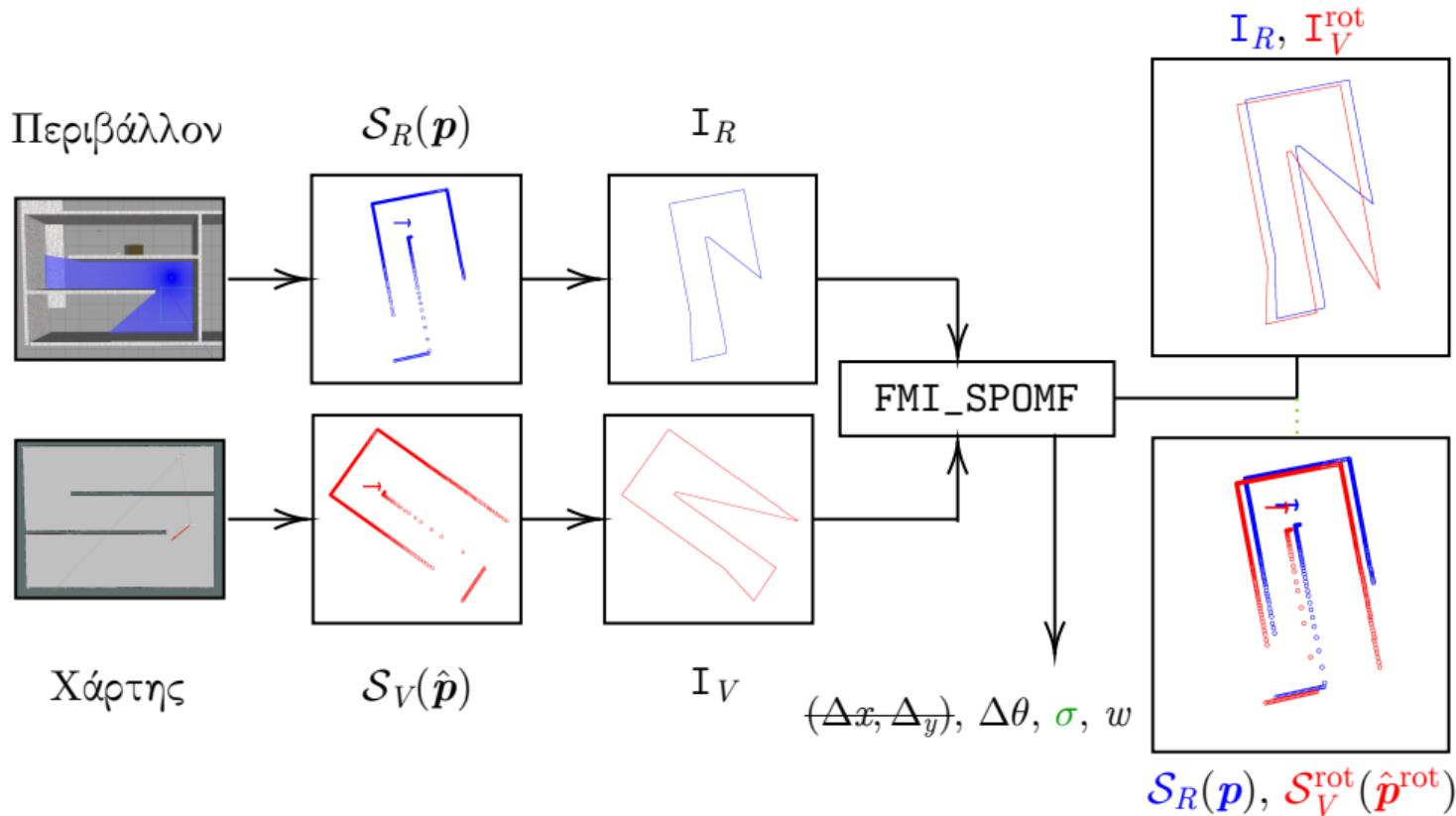
- Απούσα βιβλιογραφία στο συναφές πεδίο
- Εύρεση μεθόδου{ου,ων} εκτίμησης θέσης και προσανατολισμού

Ευθυγράμμιση πανοραμικών σαρώσεων από ευθυγράμμιση εικόνων;  
FMI\_SPOMF [1]: Fourier-Mellin Invariant (descriptor using) Symmetric Phase-Only Matched Filtering

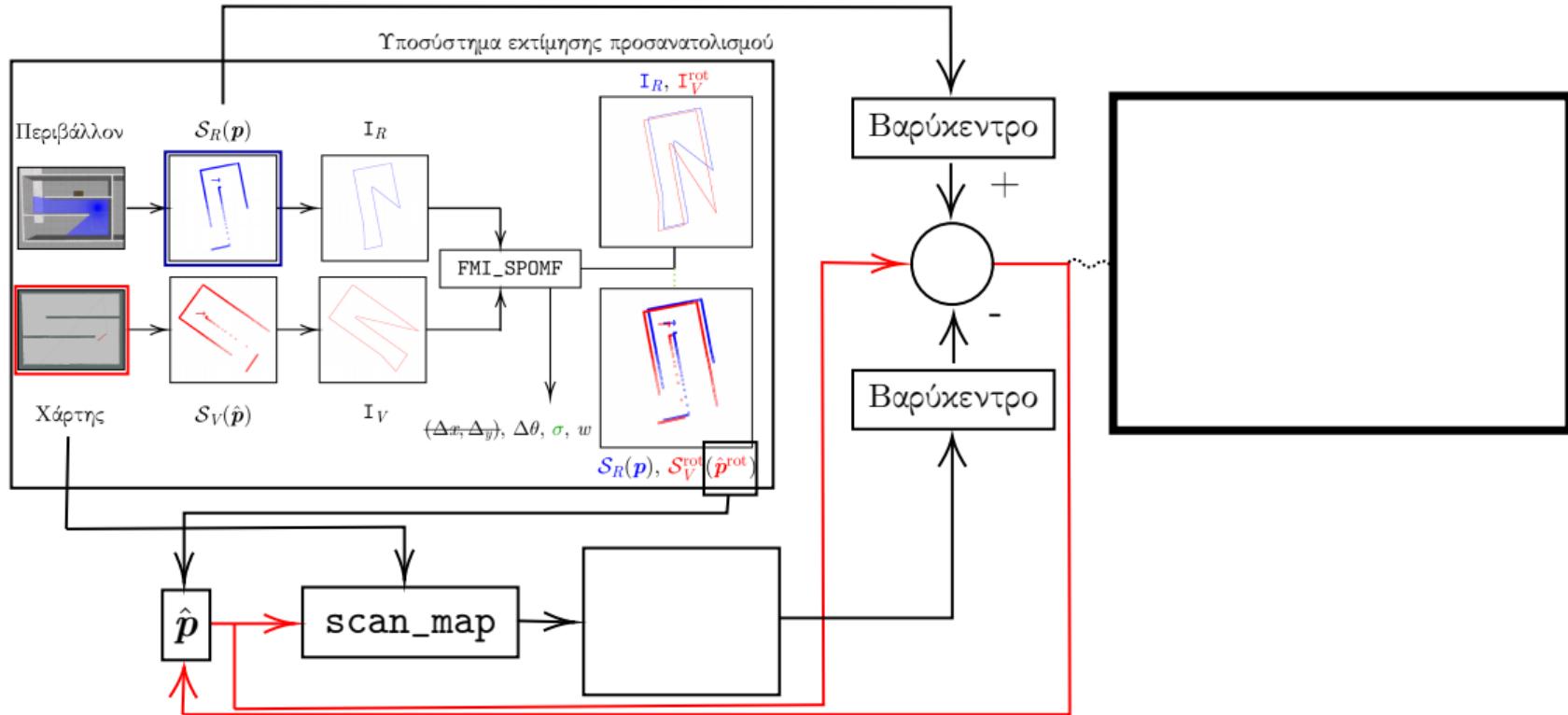


[1]: Qin-Sheng Chen, M. Deffrise and F. Deconinck, "Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 12, pp. 1156-1168, Dec. 1994

# Ευθυγράμμιση πανοραμικών σαρώσεων από ευθυγράμμιση εικόνων



# Ευθυγράμμιση πανοραμικών σαρώσεων από ευθυγράμμιση εικόνων

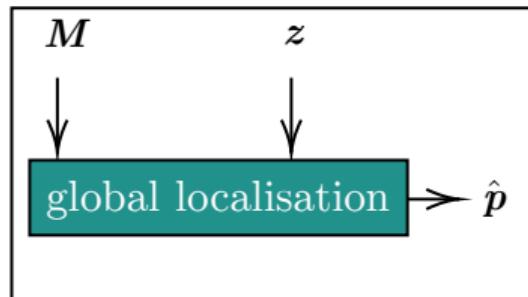
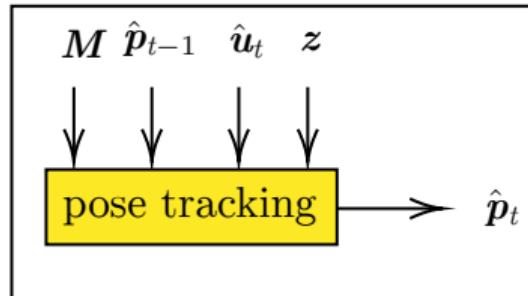
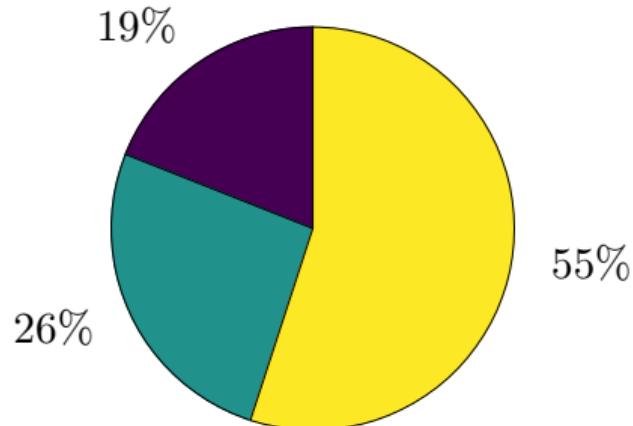


$$t_{\text{exec}}^{\text{FMI-SPOMF}} > t_{\text{exec}}^{\text{pose tracking}}$$
$$\Rightarrow$$

sm2 προς επίλυση του προβλήματος Global Localisation

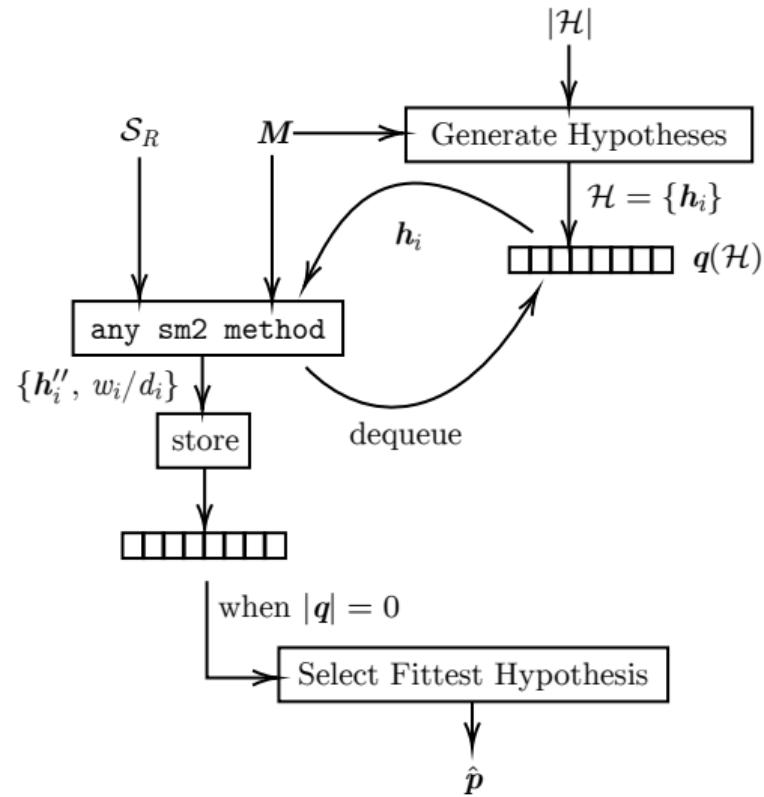
## Global localisation: Το δεύτερο μεγαλύτερο πρόβλημα ρομποτικής κινητής βάσης

- Kidnapped robot
- Global localisation
- Pose tracking

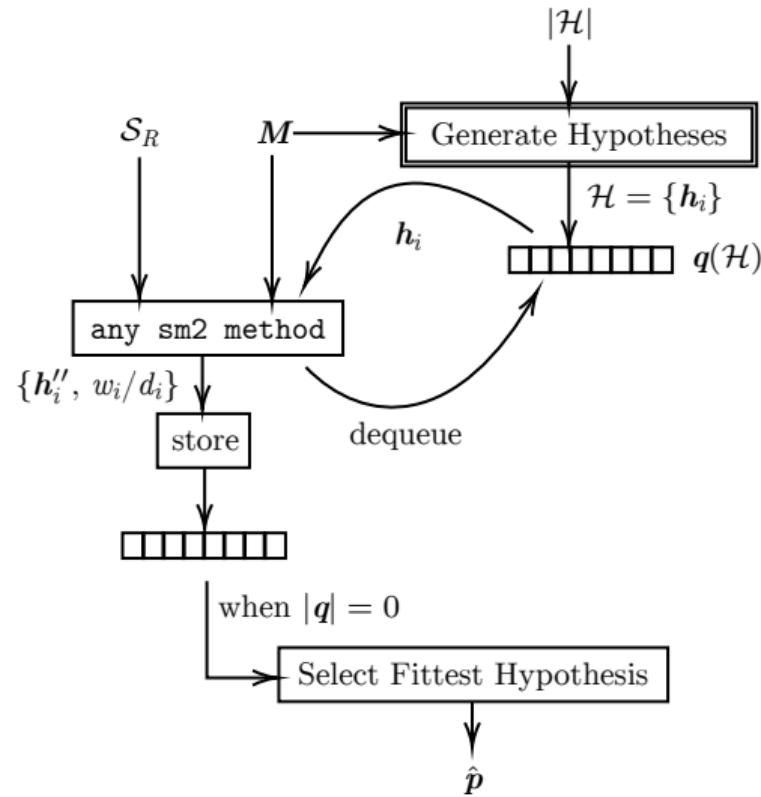


**Σχήμα:** Κατάτμηση του προβλήματος της εκτίμησης στάσης σε κατηγορίες και τα ποσοστά έρευνας σε αυτές. Πηγή: Prabin Kumar Panigrahi and Sukant Kishoro Bisoy. “Localization strategies for autonomous mobile robots: A review”, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Mar. 2021.

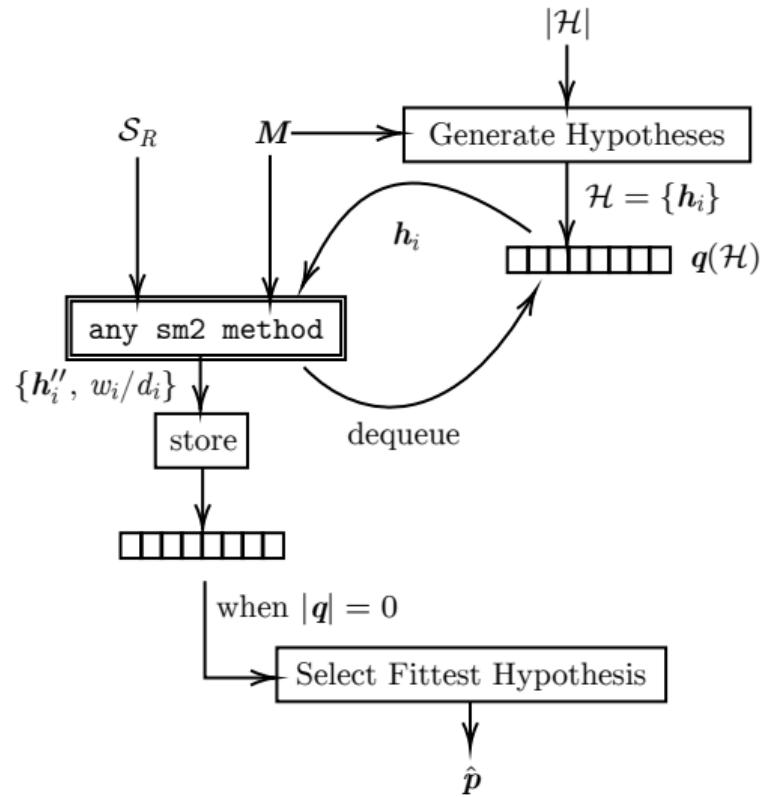
## Global localisation: επιλύσιμο μέσω sm2



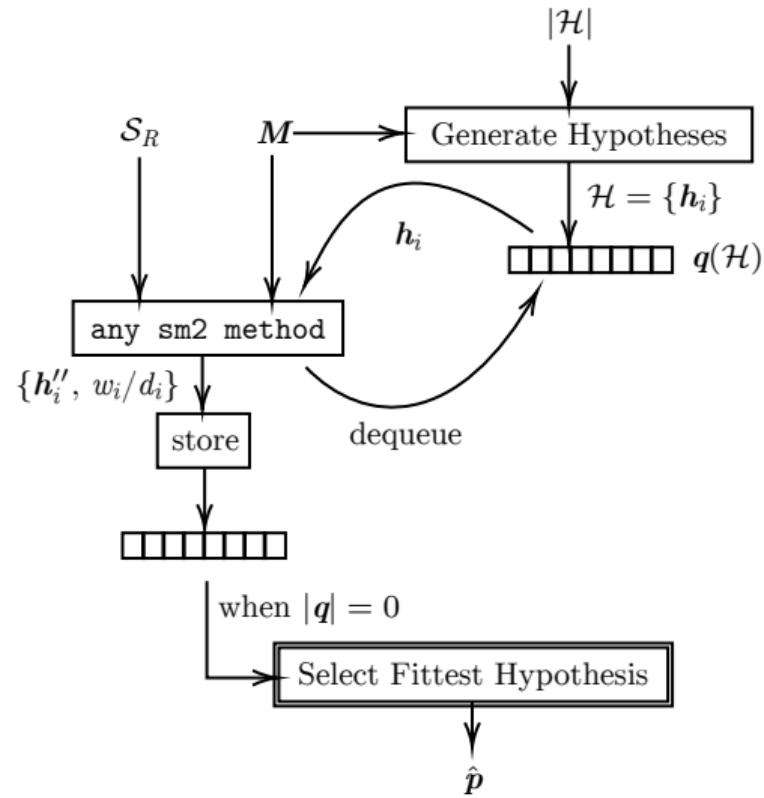
## Global localisation: επιλύσιμο μέσω sm2



## Global localisation: επιλύσιμο μέσω sm2



Global localisation: επιλύσιμο μέσω sm2



# Πειραματική διαδικασία

- Πέντε προσομοιωμένα περιβάλλοντα / ένα πραγματικό
- Προσομοιωμένα:
  - ▶ 38 δοκιμαστικές στάσεις
  - ▶ 100 επαναλήψεις ανά στάση
  - ▶ LIDAR:  $\sigma_R = \{0.01, 0.02, 0.05\}$  cm,  $r_{max} = 10.0$  m
- CSAL AUTH:
  - ▶ 11 δοκιμαστικές στάσεις
  - ▶ 5 επαναλήψεις ανά στάση
  - ▶ LIDAR: YDLIDAR TG30,  $r_{max} = 30.0$  m



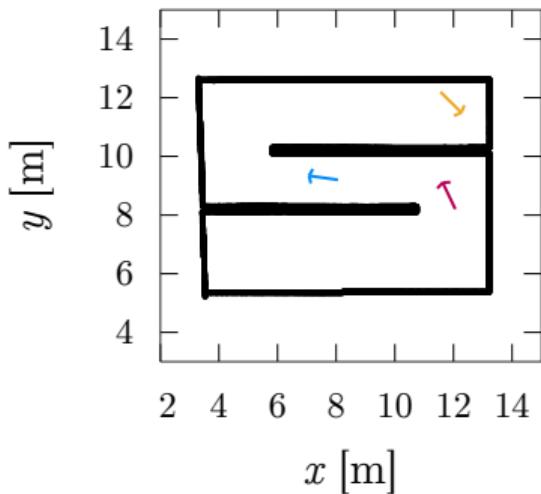
Απόσταση $d$ [mm]	Μέσο σφάλμα [mm]
50-5000	$\leq \pm 60$
5000-20000	$\leq \pm 40$
20000-30000	$\leq \pm 100$

**Πίνακας:** Μέσο σφάλμα μέτρησης αισθητήρα ανά επιστρεφόμενη τιμή απόστασης. Πηγή: datasheet κατασκευαστή

## Πειραματική διαδικασία

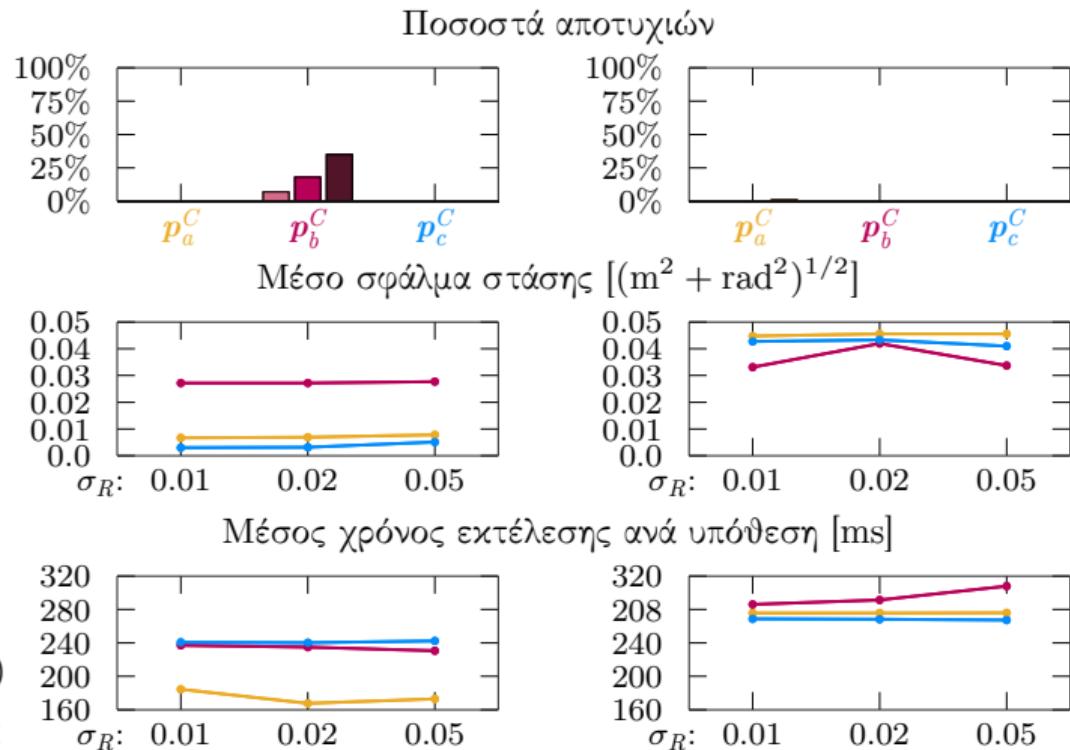
Καταγραφή σφάλματος εκτίμησης θέσης  $\hat{l}$  και προσανατολισμού  $\hat{\theta}$  τελικής στάσης  $\hat{p}$   
inliers / επιτυχημένη εκτίμηση στάσης:  $\hat{l} < 1.0$  m  
καθώς  
global localisation  $\Rightarrow$  (probabilistic) pose tracking

# Πειραματικά αποτελέσματα: CORRIDOR (sim; 1/6)



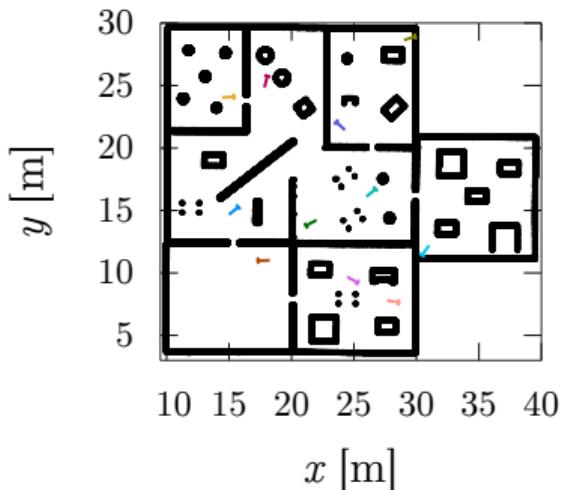
$|\mathcal{H}_C| = 100$  υποθέσεις (1.1 υπ./1.0 m<sup>2</sup>)  
 $100 \times \{p_i\} = 300$  απόπειρες εκτίμησης

Μέσω PLICP



## Πειραματικά αποτελέσματα: HOME (sim; 2/6)

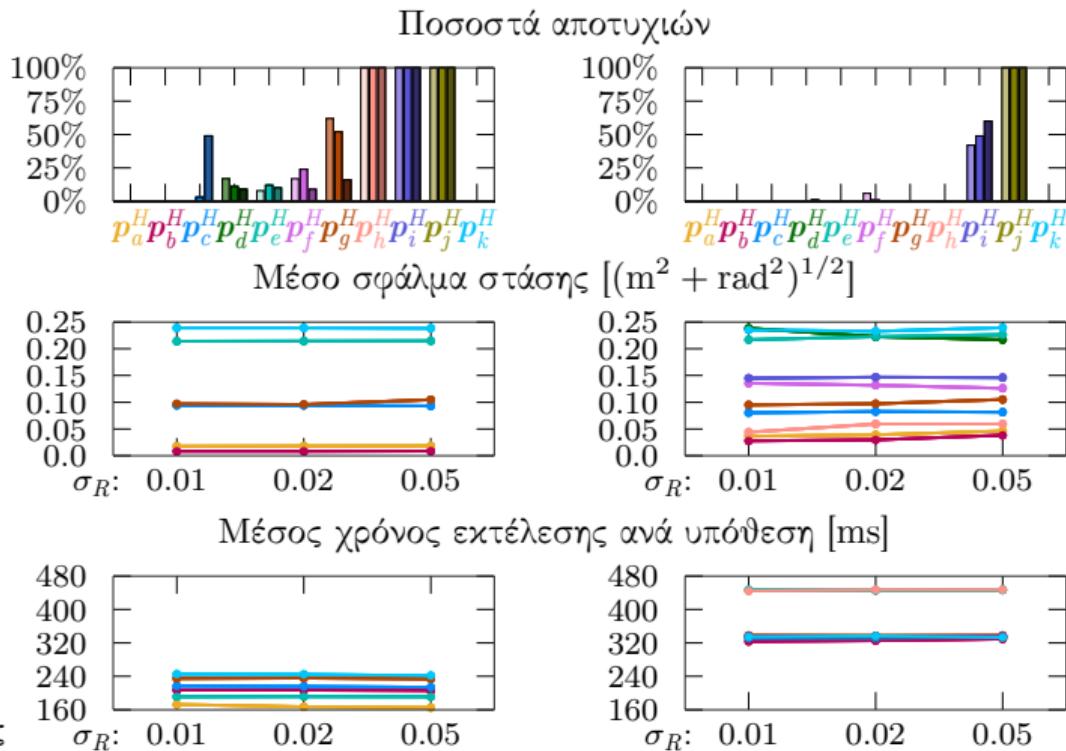
Mέσω PLICP



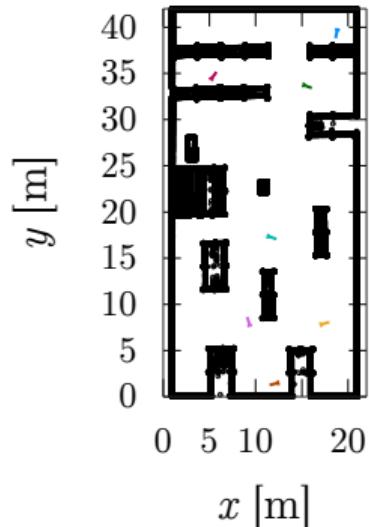
$|\mathcal{H}_H| = 200$  υποθέσεις (1 υπ./3.0 m<sup>2</sup>)

$100 \times \{p_i\} = 1100$  απόπειρες εκτίμησης

Mέσω FMI-SPOMF



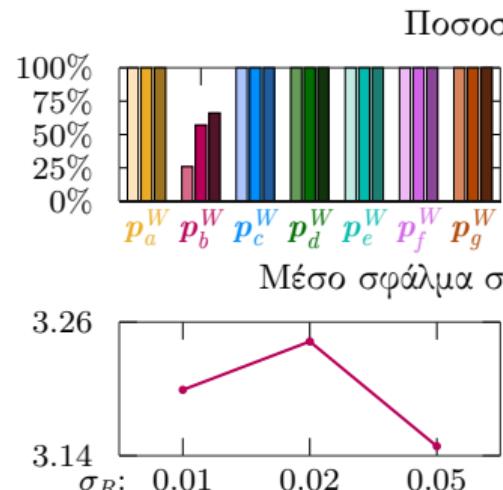
# Πειραματικά αποτελέσματα: WAREHOUSE (sim; 3/6)



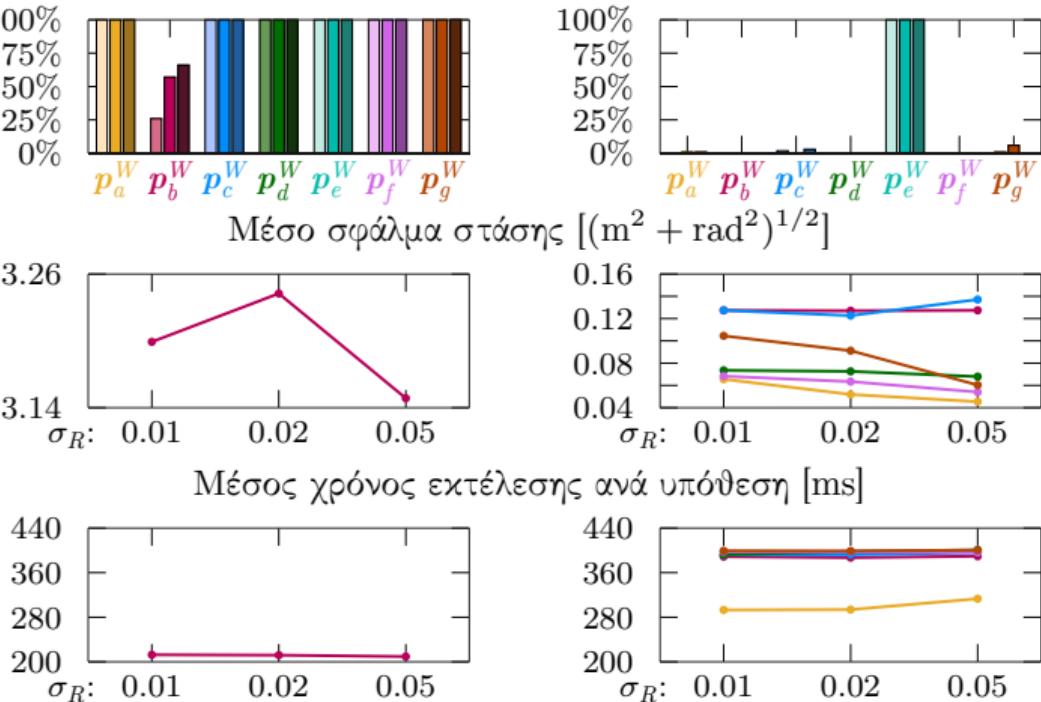
$$|\mathcal{H}_W| = 200 \text{ υποθέσεις} \quad (1 \text{ υπ.}/4.0 \text{ m}^2)$$

$$100 \times \{p_i\} = 700 \text{ απόπειρες εκτίμησης}$$

Μέσω PLICP

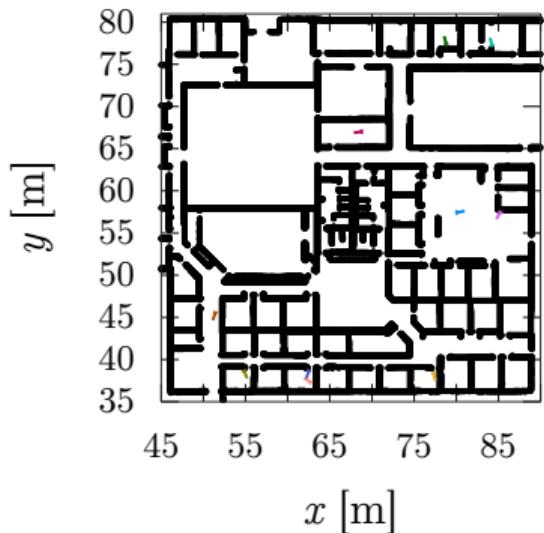


Μέσω FMI-SPOMF



# Πειραματικά αποτελέσματα: WILLOWGARAGE (sim; 4/6)

Μέσω PLICP

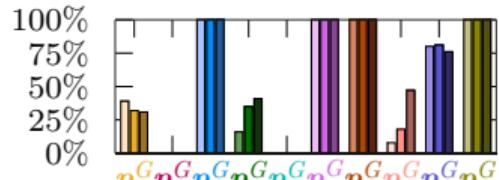


$$|\mathcal{H}_G| = 500 \text{ υποθέσεις} \quad (1 \text{ υπ.}/4.0 \text{ m}^2)$$

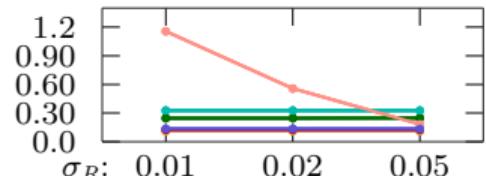
$$100 \times \{p_i\} = 1000 \text{ απόπειρες εκτίμησης}$$

Μέσω FMI-SPOMF

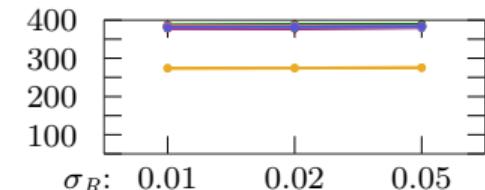
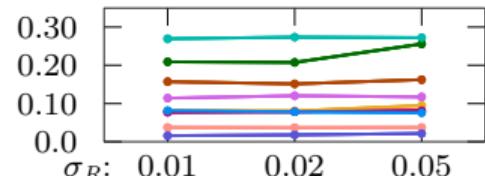
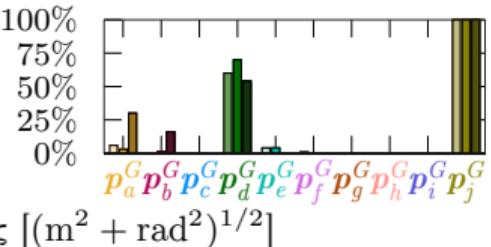
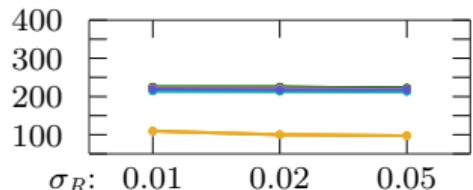
Ποσοστά αποτυχιών



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

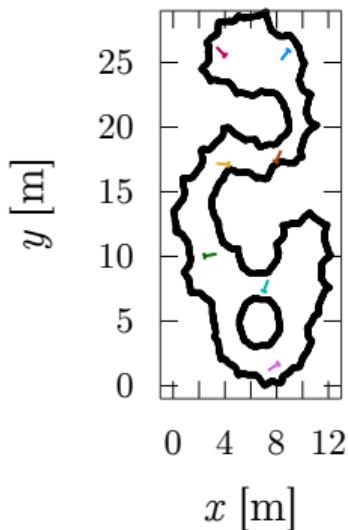


Μέσος χρόνος εκτέλεσης ανά υπόθεση [ms]



Πειραματικά αποτελέσματα: LANDFILL (sim; 5/6)

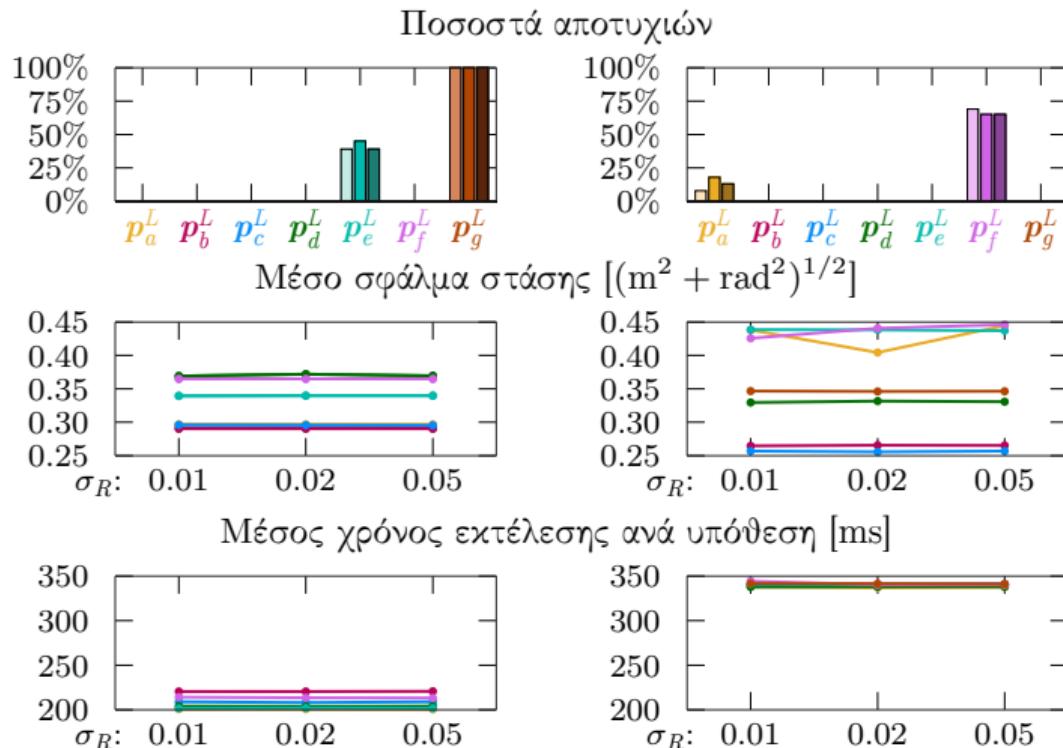
Mέσω PLICP



$|\mathcal{H}_L| = 100$  υποθέσεις ( $1$  υπ./ $2.4$  m $^2$ )

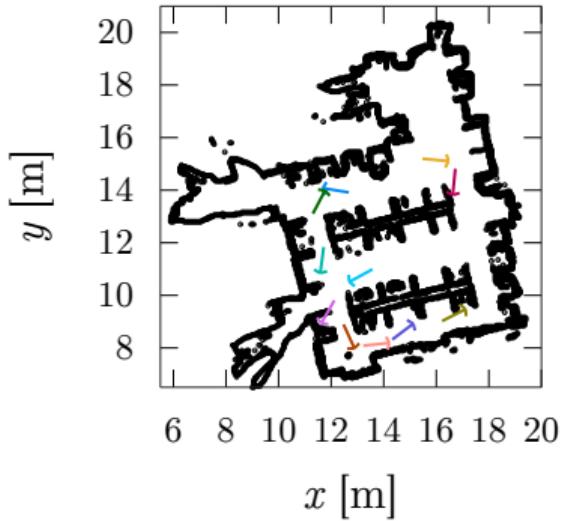
$100 \times \{p_i\} = 700$  απόπειρες εκτίμησης

Mέσω FMI-SPOMF



# Πειραματικά αποτελέσματα: CSAL AUTh (real; 6/6)

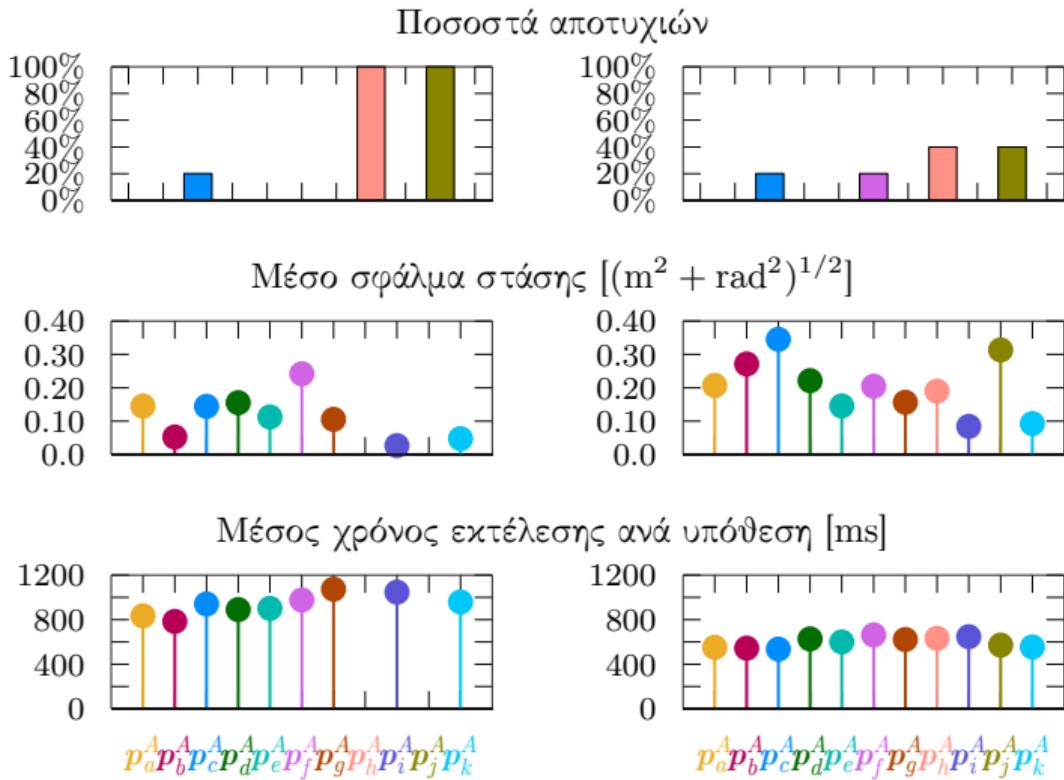
Μέσω PLICP



$$|\mathcal{H}_A| = 100 \text{ υποθέσεις} \quad (1 \text{ υπ.}/1.0 \text{ m}^2)$$

$$5 \times \{p_i\} = 55 \text{ απόπειρες εκτίμησης}$$

Μέσω FMI-SPOMF



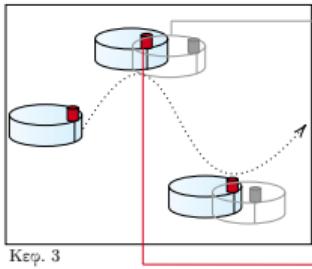
## Συμπεράσματα πειραμάτων

- Μέθοδοι με αντιστοιχίσεις:
  - ▶ Ευαισθησία λύσης σε παραμέτρους—π.χ. αποτυχίες @ WAREHOUSE
  - ▶ Ευαισθησία λύσης σε αρχικές συνθήκες μετατόπισης—π.χ. 1 υπόθεση ανά  $4 \text{ m}^2$  @ WAREHOUSE, WILLOWGARAGE
- $$\frac{dt_{\text{exec}}^{\text{FMI-SPOMF}}}{d|\mathcal{S}|} < \frac{dt_{\text{exec}}^{\text{PLICP}}}{d|\mathcal{S}|}$$
- Σφάλματα εκτίμησης sm2: μέσω FMI-SPOMF  $\sim$  μέσω μεθόδων με αντιστοιχίσεις

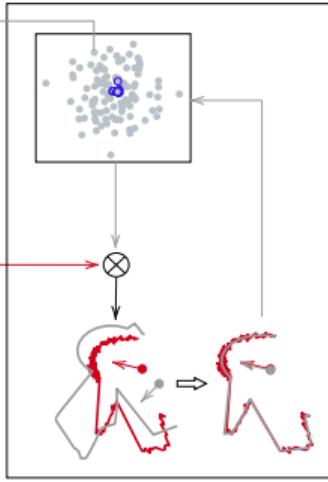
Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι εφικτό

Ευθυγράμμιση πραγματικών με εικονικές σαρώσεις πανοραμικού lidar  
χωρίς τον υπολογισμό αντιστοιχίσεων

(αλλά με χρόνο εκτέλεσης ακατάλληλο για γενίκευση σε pose tracking)



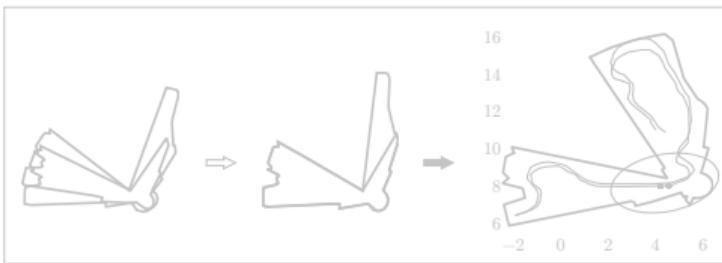
Παρατήρηση  
σφάλματων  
εκτίμησης  
στάσης



Παρατηρήσεις  
ευαισθησίας λύσης  
σε παραμέτρους  
και θόρυβο  
λόγω αντιστοιχίσεων



Λύσεις εκτελούμενες  
σε πραγματικό χρόνο



Γενίκευση χρήσης  
ερήμην χάρτη

