

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

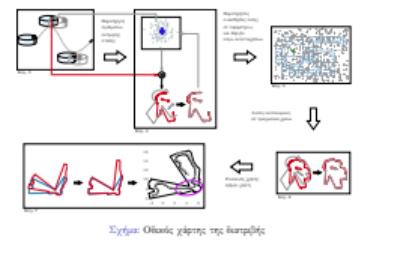
Μέθοδοι εκτίμησης στάσης  
αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων  
μέσω  
ευθυγράμμισης προγραμματικών με επενδυτικές σαρίσεις

Αλέξανδρος Φύλαθης

TUMUIT, AEG



## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



Αυτό που βλέπουμε εδώ είναι μία γραφική σύνοψη της δουλειάς μου. Αρχικά θα σας παρουσιάσω πώς μπορούμε να σχεδιάσουμε μία μέθοδο αξιολόγησης αυτόνομης πλοήγησης με τρέχουσες μεθόδους, και από εκεί θα οδηγηθούμε στο κύριο αντικείμενο της μελέτης μου, δηλαδή το πώς είναι δυνατό να μειώσουμε το σφάλμα κατάστασης παρατηρητών θέσης και προσανατολισμού για ρομπότ που αισθάνονται το περιβάλλον μέσω lidar, και συγκεκριμένα εδώ του φίλτρο σωματιδίων. Στη συνέχεια θα λύσουμε το πρόβλημα του global localisation για οποιοδήποτε περιβάλλον, χρησιμοποιώντας τον μοχλό στον οποίο βρίσκεται η συμβολή αυτής της διατριβής. Αυτό θα μας οδηγήσει στην εφεύρεση γενικότερων λύσεων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατά τη διάρκεια της κίνησης του αισθητήρα σε γνωστό περιβάλλον. Στο τέλος θα γενικεύσουμε αυτές τις μεθόδους όταν δεν γνωρίζουμε καν δηλαδή το περιβάλλον του, για παράδειγμα για την εκτίμηση της οδομετρίας ενός οχήματος.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ To έργο RELIEF: motivation

To έργο RELIEF: motivation

Αποθήκες προϊόντων: ανάγνωση για

- συναρχή απογευμάτων
- γνώση θέσης προϊόντων

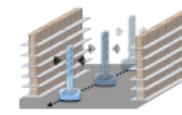


Συγχρόνως: Η BBC αναφέρεται στην τεχνολογία "final"  
<https://www.bbc.com/news/technology-48215673>

Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ To érgo RELIEF: η λύση

To érgo RELIEF: η λύση



- Τοποθέτηση RFID επιστών σε προϊόντα
- Αυτόνομη επίγεια εργάσια με RFID αναγνώστες

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλητικός αισθητήρας (lidar, rgl(d), sonar)
- Χάρτης  $M$  των περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$  (μέσω EKF/PF)
- Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- Τέλος συνθήκη στάσης  $p_n^M$



Συγγραφέας: Βαγγέλης Κατράκης

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλητικός αισθητήρας (lidar, rgl(d), sonar)
- Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- Τέλος συνθήκη στάσης  $p_n^M$



Συρίγιο: Ήγειρη λέπτη: //velociet.ekh.auth.gr/

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλουμένος αισθητήρας (lidar, rgl(d), sonar)
- Χάρτης  $M$  των περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- Τέλος συνθήκη στάσης  $p_n^M$



Συγχρόνως: Ήγειρη λέξη: //velenet.sch.aauw.gr/

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλουμένος αισθητήρας (lidar, rgl(d), sonar)
- Χάρτης  $M$  των περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- Τέλος συνθήκη στάσης  $p_n^M$



Σημείο: Ήγειρη λέξη: //velociet.ekh.auth.gr/

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλητικός αισθητήρας (lidar, rgl(d), sonar)
- Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- Άρχισες συνθήσης στάσης  $p_0^M$
- Τέλαιο συνθήσης στάσης  $p_0^M$



Συγχρόνως: Ήγειρη λέσχη //velenet.ekh.auth.gr/

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλουμένος αισθητήρας (lidar, rgl(d), sonar)
- Χάρτης  $M$  των περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- Λεγχών συνθήκη στάσης  $p_t^M$
- Τέλων συνθήκη στάσης  $p_t^M$



Συρέπετε: Ήγειρε λατρεια://velenet.sch.auth.gr/

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

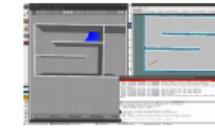
Αυτόνομη πλοιήγηση: Προαπαιτούμενα

- Εξαντλητικός αισθητήρας (lidar, rgbd(l), sonar)
- Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- Εκτίμηση στάσης  $\hat{p}_t$   
(μέσω EKF/PF)
- Αρχική συνθήκη στάσης  $p_0^M$
- Τέλος συνθήκη στάσης  $p_T^M$

Σελίδα: Ηγή κατρα://vellet.uob.auth.gr/

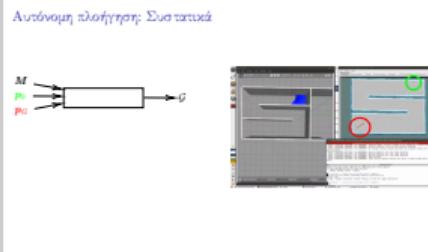
Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

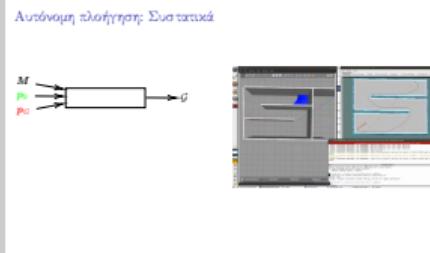
└ Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά



**M**

Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά

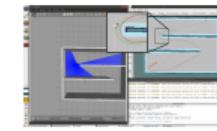
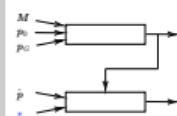


g

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά

Αυτόνομη πλοήγηση: Συστατικά

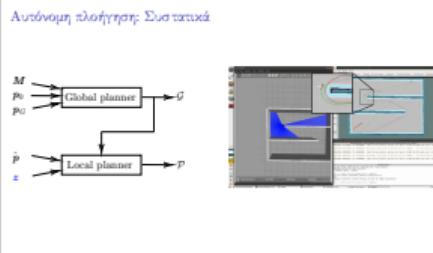


$\mathcal{P}$

$\mathcal{G}$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αυτόνομη πλοιήγηση: Συστατικά



$\mathcal{P}$

$\mathcal{G}$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global planners	Local planners
navfn	dsb
global_planner	ekfslam
asr_navfn	rob
Navlet!	
stpl_lattice_planner	
lattice_planner	
lattice_planner	
waypoint_global_planner	
voronoi_planner	

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
avr_navfn	?	?	?
Noveltiy	?	?	?
stochastic_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
wavefront_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	✓	✓	✓
global_planner			
avr_navfn	✓	✓	✓
Noveltiy			
stochastic_planner	✓	✓	✓
mp-dynamic-avr	✓	✓	✓
lattice_planner	✓	✓	✓
swypoint_global_planner	✓	✓	✓
voronoi_planner	✓	✓	✓

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	shad	tob
navfn	✓	✓	✓
global_planner		✓	✓
avr_navfn	?	✓	✓
MoveIt!	?	?	?
stochastica_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner		?	?
wavefront_global_planner	?	✓	?
voronoi_planner	?	✓	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
avr_navfn	?	?	?
Noveltiy	?	?	?
stochastic_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
wavefront_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	obsnd	top
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
avr_navfn	?	?	?
Noveltiy	?	?	?
stochastic_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
wavefront_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
avr_navfn	?	?	?
MoveIt!	?	?	?
stochastica_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
swypoint_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	+	+	+
global_planner			
avr_navfn	?	?	?
MoveIt!			
stochastica_planner	+	+	+
mp-dynamic-avr			
lattice_planner	?	?	?
waypoint_global_planner	?	?	+
voronoi_planner	?	?	+

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
avr_navfn	?	?	?
Noveltiy	?	?	?
stochastic_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
wavefront_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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

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

Global Planners	Local planners		
	des	obsd	tob
navfn	✓	✓	✓
global_planner	✓	✓	✓
avr_navfn	✓	✓	✓
MoveIt!	✓	✓	✓
stochastica_planner	✓	✓	✓
mp-dynamic-avr	✓	✓	✓
lattice_planner	✓	✓	✓
wavefront_global_planner	✓	✓	✓
voronoi_planner	✓	✓	✓

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

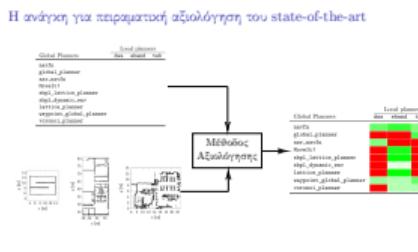
└ Η ανάγκη για πειραματική αξιολόγηση του state-of-the-art

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

Global Planners	Local planners		
	des	obstacles	top
navfn	?	?	?
global_planner	?	?	?
avr_navfn	?	?	?
Noveltiy	?	?	?
stochastic_planner	?	?	?
mp-dynamic-avr	?	?	?
lattice_planner	?	?	?
wavefront_global_planner	?	?	?
voronoi_planner	?	?	?

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

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



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Προκαταρκτική αξιολόγηση: ποιοτικά κριτήρια λογισμικού

Προκαταρκτική αξιολόγηση: ποιοτικά κριτήρια λογισμικού

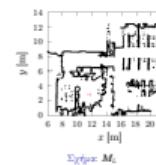
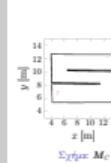
Planner	Ποιοτικά Μέτρα							Αναλογ.
	BOC	UTD	ENST	SC/U	PARAM	CON	COMP	
naive	•	•	•	•	•	•	•	•
global_planner	•	•	•	•	•	•	•	•
acc_neuro	•	•	•	•	•	•	•	•
Moretti	•••	•	••	•	•••	?	••	•
sgpl_lattice_planner	••	•	••	•	•	•	•	•
sgpl_sgpl	•	•	•	•	•	•	•	•
lattice_planner	•	•	•	•	•	•	•	•
evolution_global_planner	•	•	•	•	•	•	•	•
voronoi_planner	•	•	•	•	•	•	•	•
dnn_local_planner	•	•	•	•	•	•	•	•
shmem_local_planner	••	•	••	•	••	•	••	•
shmem_sgpl	•	•	•	•	•	•	•	•

Ποιοτικά: Αξιολόγηση ποιοτικών ΑΙΙΙ με αναπότομη ποσοτική αναλογία μεταξύ των διαφορετικών προγράμματος λογισμικού, ως αντίστροφη αναλογία των προγραμμάτων ποσοτικής αξιολόγησης. Οι αναλογίες υπολογίζονται παραπομπής σε σχέση με κάθε μέρη. Τα προγράμματα υπολογίζονται διαφορετικά

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματική αξιολόγηση: διάταξη

Πειραματική αξιολόγηση: διάταξη



## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματική αξιολόγηση: μετρικές

### Πειραματική αξιολόγηση: μετρικές

#### Global planners (8 μετρικές)

- ♦ Μίσο μέρος χρησιμότερων μετριασμών
- ♦ Μίση ελάχιστης απόσταση από φυσόδια
- ♦ ...

#### Local planners (8 μετρικές)

- Αριθμός απενεγύων διφορηγής ταχυτήσιμων προς συνολικά αριθμό κλήρουων
- ...

#### Global o Local (12 μετρικές)

- ♦ Χρόνος πλοήγησης
- ♦ Ολοκλ. ελάχιστης απόσταση από φυσόδια
- ♦ ...

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Πειραματική αξιολόγηση: Στόχος

Πειραματική αξιολόγηση: Στόχος

Απόδιση μίας τιμής-αξίας  $V(c_{ij})$  σε κάθε συνδεσμό  $c_{ij} = \text{goal}$  για όλα τα περιβάλλοντα με βάση μίας τις μετράσεων  $m_i$

Προβλήματα:

- Διαφορετικές μονάδες μέτρησης μετρουών
- Κατασκευή  $V(c)$  ↑ όπου  $c(m_0) \uparrow$  και  $c(mq) \downarrow$ ,  $m_0 \in Q, mq \in \overline{Q}, Q \cup \overline{Q} = \text{universe}$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Κατασκευή συνάρτησης απόδοσης αξίας V

Κατασκευή συνάρτησης απόδοσης αξίας V

- Κανονισμένη πιού μετρήσεις:

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

- V από παραβαλλόν/χάρτη M

$$V_M(c) \triangleq \sum_m L_Q(m) \cdot V_Q(c, m) + L_D(m) \cdot V_D(c, m)$$

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

$$V_D(c, m) \triangleq w_m \cdot I(c, m) \cdot (1 - N(m)), \quad m \in D$$

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

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Αποτελέσματα

### Αποτελέσματα

global planner	local planner	Vm <sub>0</sub>	Vm <sub>1</sub>	Vm <sub>2</sub>	V	Kardinalität
navfn	teb	21.41	20.09	18.74	60.15	1
globalplanner	teb	19.29	21.99	16.84	58.03	2
stpl	teb	20.13	12.27	13.37	46.00	3
navfn	oband	15.96	17.01	16.82	45.48	4
globalplanner	oband	14.70	11.95	14.26	49.91	5
stpl	oband	10.99	9.85	7.80	28.94	6
navfn	dua	6.46	9.31	8.10	28.64	7
globalplanner	dua	5.50	8.80	6.13	20.49	8
stpl	dua	6.56	4.85	6.47	17.88	9

Πληροφ.: Η επόμενη τιμή της V και η κατάταξη όλων των επιλεγμένων πλέοντων προτεραιών και ελεγχόμενων στο συστήματος πρωτοβουλίες και περίπτωση στα περιβάλλοντα της πρωτοβουλίας διατίθεται

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

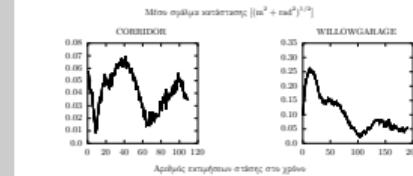
└ Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα  
είναι ευικτό

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι ευκτό

- Επεξεργασμός και παρατεταμένη μεθόδολος για αξιολόγησης μεθόδων αυτόνομης πλαστηρής
- Προσαρμογή μεθόδου αξιολόγησης με βάση ειδικές παρατήσεις ( $w_{\text{in}} \neq 1.0$ )
- Ενεργάλμαστη οπουανθήση μελλοντικών μεθόδων
- Ενεργάλμαστη ad hoc περιβάλλοντος

A. Pitsikalis, E. Tsakalos, A. Dimakos, A. Spyrosidis, L. Petrou, "Quantitative and qualitative evaluation of RGB-enabled local and global planners in 3D static environments", Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2020

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



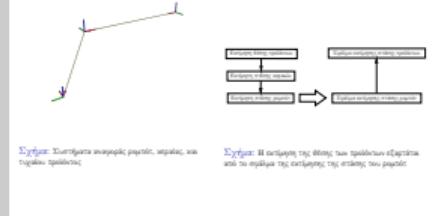
Εγγραφές έρευνας στάσης στα γράματα

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

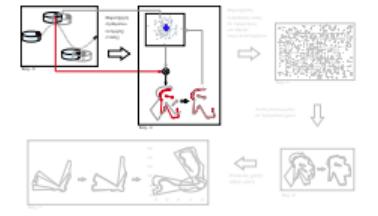
product\_n\_frame

antenna\_frame

base\_footprint



## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης στάσης  
ωίτων σωματιδίων

## Μέσα

- Εργασίες των ενθυγράμμισης πραγματικών σφάλματων με επονομές
- ανατροφοδότηρες
- θελητήρια σωματιδίων

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω διαλογής σωματιδίων

Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω διαλογής σωματιδίων

Εκτίμηση στάσης  $\hat{p} = [z \; \hat{y} \; \hat{\theta}]^\top$

$$p(\hat{p}_t | z_{1:t}, u_{0:t-1}, M) \propto \underbrace{p(z_t | \hat{p}_t)}_{\text{Μεταβολή σφάλματος}} \cdot \int p(\hat{p}_t | \hat{p}', u_{-1}) \cdot p(\hat{p}' | z_{1:t-1}, u_{0:t-2}, M) d\hat{p}'$$

Βάρος σωματιδίου είναι  $w_t = p(z_t | \hat{p}')$

Πλήθυσμας υποθέσεων  $\mathcal{P} = \{(\hat{p}_t, w_t)\}$

$$\text{Τελική εκτίμηση: } \hat{p}(\mathcal{P}) = \frac{\sum w_t \cdot \hat{p}_t}{\sum w_t}$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω  
διαλογής σωματιδίων

Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω διαλογής σωματιδίων

Ταύτιση T1:

Έστω

$\mathcal{P} = \{(\bar{p}_i, w_i)\}$  ο συνόλος στοχημάτων.

$\mathcal{Q} = \text{sort}(\mathcal{P}|w) = \{(\bar{p}_i, w_i)\} : w_0 \geq w_1 \geq \dots$

$\overline{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q} : \overline{\mathcal{Q}} = \{(\bar{p}_0, w_0), (\bar{p}_1, w_1), \dots\} \text{ και } |\overline{\mathcal{Q}}| < |\mathcal{Q}|.$

Tότε

$\|\hat{p} - \hat{p}(\overline{\mathcal{Q}})\| < \|\hat{p} - \hat{p}(\mathcal{P})\|$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω sm2

Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω sm2

Εισιγράμμιση πραγματικών σφάλματων με εικονικές σφάλματις χάρτη ( $m\Omega^2$ )  
 $\subseteq$   
Εισιγράμμιση πραγματικών σφάλματων ( $m^2$ )

'~~ρυπα-to-ρυπα~~ matching → ~~ρυπα~~ → ~~ρυπα~~  
'~~ρυπα~~ matching → ~~ρυπα~~

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ευθυγράμμιση πραγματικών σαρώσεων (sm)

$$\mathcal{S}(p_k) \quad \mathcal{S}(p_{k+1}) \quad \Delta p = sm(\mathcal{S}(p_k), \mathcal{S}(p_{k+1}))$$

Σημείωση: Η ευθυγράμμιση πραγματίζεται με την επίλεκτη σειρά σαρώσεων → σειρά με την μεγαλύτερη ποσότητα στάσης από την επίλεκτη σειρά σαρώσεων και την μεγαλύτερη στάση από την επίλεκτη σειρά σαρώσεων.

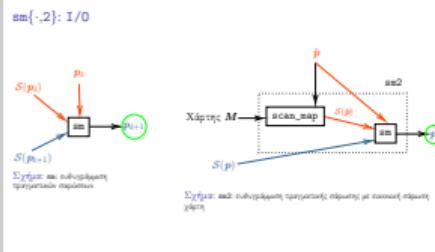
## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ sm: I/O



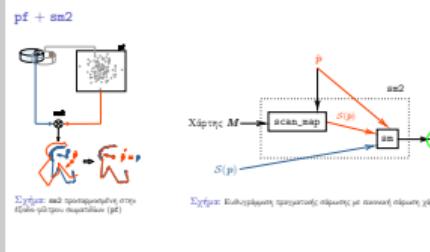
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ sm{·,2}: I/O



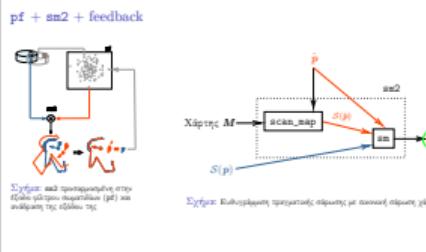
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ pf + sm2



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ pf + sm2 + feedback



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω  
ανάδοσης εξόδου sm2

- Ανάδοση με τη μερική πανάκμηξη απόθεσης  
→ αργή σύγκλιση / αυτόνομη συρρικνώση

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω  
ανάδοσης εξόδου sm2

Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω ανάδοσης εξόδου sm2

- ▲ Ανάδοση με τη μερική πανάκησης απόθεσης  
→ αργή σύγραψη / ακύρητα συριζμοί
- ▲ Εξ απολήγου αργυρεύοντης του γιγάντου  
→ απώλεια ανθεκτικότητας σε περίπτωση απονοίας sm2

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω  
ανάδοσης εξόδου sm2

Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω ανάδοσης εξόδου sm2

- ▲ Ανάδοση με τη μεριηγμένη πανάκηση ταύτισης  
→ αργή σύγκλιση / αυξημένα σφάλματα
- ▲ Εξ απολήξεων αρχιμεταλήρηση των γεμάτων  
→ αυξανόμενα ανθεκτιστήρες σε περίπτωση απονοίας sm2
- ▲ Ανάδοση με τη μεριηγμένη παλαιστινή υποθέσεων  
→ νηρή/αργή σύγκλιση και διατηρητήρια ανθεκτιστήρες

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω  
ανάδοσης εξόδου sm2

Ελάττωση σφάλματος εκτίμησης μέσω ανάδοσης εξόδου sm2

Έστω  $\mathcal{P} = \{(\hat{p}_i, m_i)\}$  ο συνόλος τάχησηρων του γηγενούς και  
 $\hat{p}^* \leftarrow \text{arg2}(S(p), M, \hat{p}(\mathcal{P}))$ . Τότε

Τούλιπη Τ2:

$$\|\hat{p} - \hat{p}^*\| < \|\hat{p} - \hat{p}(\mathcal{P})\|$$

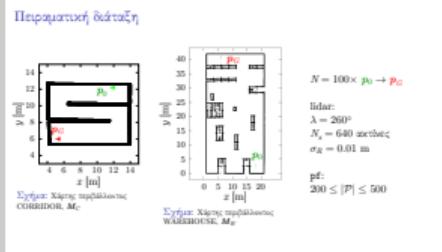
Τούλιπη Τ3:

Εάν  $\mathcal{P}^\odot = \mathcal{P} \cup \{\hat{p}^*\}_{q \in [\mathcal{P}^\odot]}$ , όπου  $q \gg 0.01$  και  $q \ll 1.0$ :

- $\|\hat{p} - \hat{p}(\mathcal{P}^\odot)\| < \|\hat{p} - \hat{p}(\mathcal{P})\|$
- $\|\hat{p} - \hat{p}(\mathcal{P}^\odot)\| < \|\hat{p} - \hat{p}(\mathcal{P} \cup \{\hat{p}^*\}_1)\|$
- $\mathcal{P} \cup \{\hat{p}^*\}_{q \in [\mathcal{P}^\odot]}$  ποι ανθεκτικός από  $\mathcal{P} \cup \{\hat{p}^*\}_{[\mathcal{P}^\odot]}$

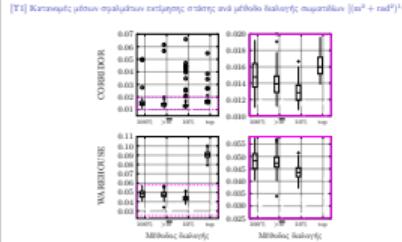
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Πειραματική διάταξη



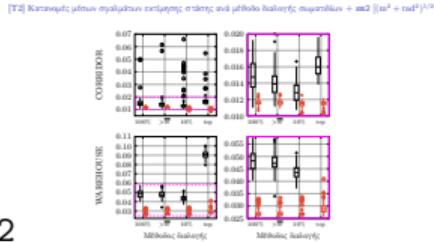
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ [Υ1] Κατανομές μέσων σφαλμάτων εκτίμησης στάσης ανά μέθοδο διαλογής σωματιδίων



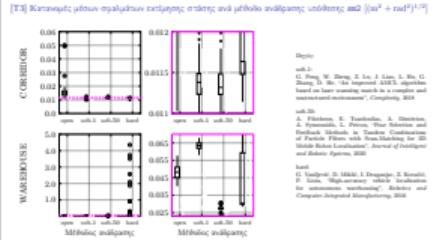
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ [Υ2] Κατανομές μέσων σφαλμάτων εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
στάσης ανά μέθοδο διαλογής σωματιδίων + sm2



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ [Υ3] Κατανομές μέσων σφαλμάτων εκτίμησης στάσης ανά μέθοδο ανάδρασης υπόθεσης sm2



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα  
είναι ευκινό

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι ευκινό

- Ελάττωση σφαλμάτων εκτίμησης στάσης ψηλοτρού συμπειρίων μέσω
- διεύρυνσης συμπειρίων
- ανάληψης αποφάσεων ακόμη γρήγορα απόλυτα ανθεκτικότερα για

A. Pitsikalis, E. Tsiorvas, A. Dimoula, A. Symeonidis, I. Petrou, "Prior Selection and Feedback Method in Tandem Combinations of Particle Filters with Beam-Searching for 3D Mobile Robot Localization", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2020.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

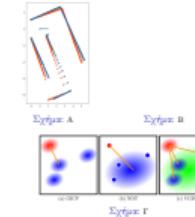
└ Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης:  
παραμετροποίηση



Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης

Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης



A: MCP en la aplicación (mayoría de  
casos)

Επί πλέον σημείο προς ευθύγραψία

II: (a) Каталогът прес издава

1996, 2000, 2002.

Deydy-  
An - Sos - Repulovskiy - An

[Kinderhaushalt](#) / [Top-40](#)

*metrix*, 2008 International Conference Robotics and Automation, 2008, pp. 19-23

17. R. Raman, M. Venkatesan, R. Vaidya and Banerjee, "Standard GICF for Fast and Accu-

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης



## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τρωτά σημεία με ψόδων ευθυγράμμισης:  
ψόουβος (απέλεις αντιστοιχίας)

Χώρος αντιστοιχίσεων

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

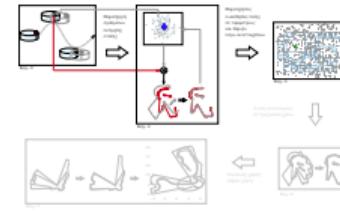
└ Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης: κενές  
αντιστοιγίσεις (αλλιώς outliers)

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τρωτά σημεία μεθόδων ευθυγράμμισης



## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Απόπειρα ευθυγράμμισης  $\text{sm}^2$  δίχως  
αντιστοιγίσεις

Απόπειρα ευθυγράμμισης  $\text{sm}^2$  δίχως αντιστοιγίσεις

- Αναγραφική συνθήκη:  $\lambda = 2\pi \text{ rad}$
- Παραίσχη:  $f_{\text{max}} \leq f_{\text{min}}$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Απόπειρα ευθυγράμμισης sm2 δίχως  
αντιστοιγίσεις

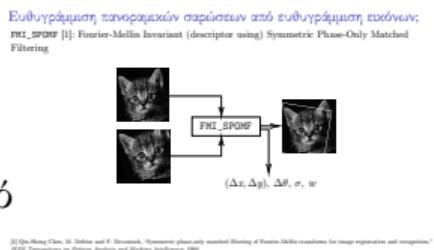
Απόπειρα ευθυγράμμισης sm2 δίχως αντιστοιγίσεις

Προβλήματα:

- Απούσες βιβλιογραφία στο συναρτήσεις πάνω
- Είχαμε μεθόδους {συναρτήσεις} εκτίμησης θέσης και προσανατολισμού

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

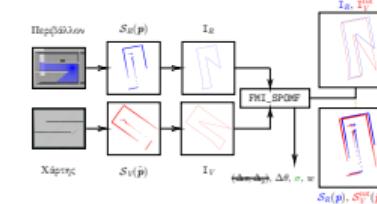
└ Ευθυγράμμιση πανοραμικών σαρώσεων από  
ευθυγράμμιση εικόνων:



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

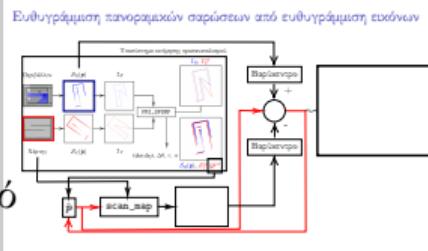
└ Ευθυγράμμιση πανοραμικών σαρώσεων από  
ευθυγράμμιση εικόνων

Ευθυγράμμιση πανοραμικών σαρώσεων από ευθυγράμμιση εικόνων



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ευθυγράμμιση πανοραμικών σφρώσεων από  
ευθυγροάπαιστη εικόνων



## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

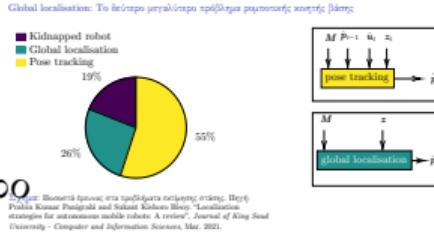
$t_{\text{time}}^{\text{FRT\_STOP}} > t_{\text{time}}^{\text{pose tracking}}$

⇒

από επέλευση του προβλήματος Global Localisation

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

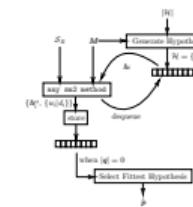
└ Global localisation: Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσόβλημα ουμποτικής κινητής Βάσης



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Global localisation: επιλύσιμο μέσω sm2

Global localisation: επιλύση μέσω sm2



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Πειραματική διαδικασία: διάταξη

Πειραματική διαδικασία: διάταξη

- Ήπια προσωματικά αποτέλεσμα / Ένα πραγματικό
- Προσωματικά:
  - 38 διακριτικές στάσης
  - 100 επαναλήψεις ανά στάση
  - LIDAR:  $\sigma_d = \{0.01, 0.02, 0.05\}$  cm,  $r_{max} = 10.0$  m
- CSAL AUTO:
  - 11 διακριτικές στάσης
  - 5 επαναλήψεις ανά στάση
  - LIDAR: YDLIDAR TG30,  $r_{max} = 30.0$  m



Axistream d [mm]	Mean median [mm]
20-2000	$\leq +40$
5000-20000	$\leq +40$
20000-30000	$\leq +100$

Πληροφ.: Μόνο σύβια μετρήσεις από τον επαγγελματικό πυλό απόστασης. Σημείωση: Διασταθεροποίηση.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

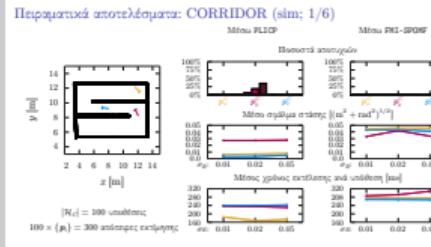
└ Πειραματική διαδικασία: μη αποδεκτές λύσεις

Πειραματική διαδικασία: μη αποδεκτές λύσεις

Καταγραφή σημάντων εκτίμησης θέσης  $\hat{t}$  και προσανατολισμού  $\hat{\theta}$  τιμώντς  $\hat{p}$   
inliers / επιπρόσθιη εκτίμηση στάσης  $t < 1.0$  m  
καθώς  
global localisation  $\Rightarrow$  (probabilistic) pose tracking

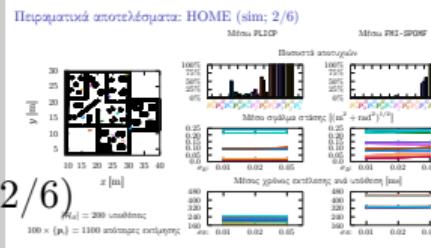
Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματικά αποτελέσματα: CORRIDOR  
(sim: 1/6)



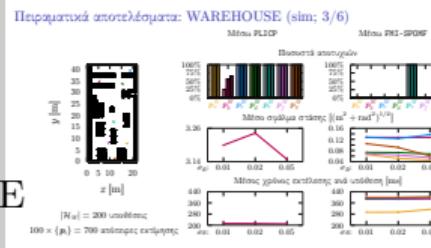
Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

#### └ Πειραματικά αποτελέσματα: ΗΟΜ



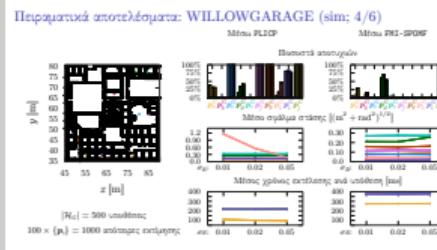
Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματικά αποτελέσματα: WAREHOUSE  
(sim: 3/6)



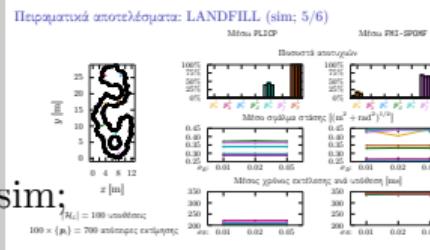
Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματικά αποτελέσματα:  
WILLOWGARAGE (sim: 4/6)



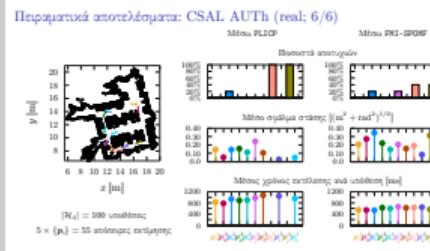
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματικά αποτελέσματα: LANDFILL (sim;  
5 / 6)



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματικά αποτελέσματα: CSAL AUTH  
(real: 6/6)



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Συμπεράσματα πειραμάτων

### Συμπεράσματα πειραμάτων

- Μόδουλοι με αντανακλάσεις:
  - Ευανθρώπια λέντες σε παραγόντες—π.χ. αποστολές @ WAREHOUSE
  - Ευανθρώπια λέντες σε αρχεία συσθήματα μετατόπισης—π.χ. 1 υπόθεση ανά 4 m<sup>2</sup> @ WAREHOUSE, WILLOWGARAGE
- Σημάδια πατατίμησης απ2: μέση FPI-SPOOF ~ μέση μεθόδων με αντανακλάσεις

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

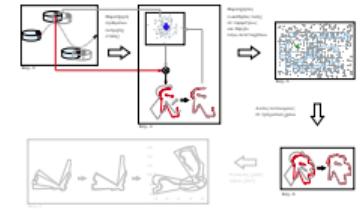
└ Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα  
είναι ευικτό

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι ευικτό

Ευθυγράμμιση πραγματικών με εικονικές περιόδεις πανοραμικού lidar  
ρυθμίζοντας την επίλογη μεταποίηση

A. Pitsikalis, A. Tsiotsis, E. Tsamouras, I. Dimakos, A. Kyriacou, G. Angelidis, L. Petrou, "Faster Global Localization of Mobile Robot via 3D Feature-Motion Matching", In Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2022

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ευθυγράμμιση sm2 δίχως αντιστοιχίσεις, υπό  
γνωνικούς πεοιοσιμούς

Ευθυγράμμιση sm2 δίχως αντιστοιχίσεις, υπό χρονοκούς περιορισμούς  
Πρόβλημα:

- Καπανεάδη: sm2 γιατίς αναστοργέας, ιδιομοτύπια:
- Πρωταρχική άποψη  $S_{\text{lf}}(p)$ : FOV =  $360^\circ$
- Χάρτης  $M$  του περιβάλλοντος
- Εκάμπηση  $\hat{p}(L, \theta)$
- Η εκάμπηση θέτει  $\hat{l} = (x, \hat{y})$  είναι σε μία γεωμετρική της  $L = (x, y)$

πέντεκας άστεγος

$$(\Sigma 1) \quad \hat{p}' \leftarrow h(S_{\text{lf}}, M, \hat{p});$$

$$\|\hat{p}' - p\| < \|\hat{p} - p\|$$

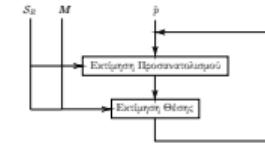
$$(\Sigma 2) \quad f_{\text{out}}(h) \geq f_{\text{out}}(\hat{p}')$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Αποσύνθεση προβλήματος

## Αποσύνθεση προβλήματος

- Εκτίμηση θέσης  $\hat{I}(x, y)$  όταν  $\hat{\theta} = \theta$
- Εκτίμηση προσανατολισμού  $\hat{\theta}$  όταν  $\hat{I} = I$



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Εκτίμηση θέσης όταν  $\hat{\theta} = \theta$

Εκτίμηση θέσης όταν  $\hat{\theta} = \theta$

$$\tilde{t}[k+1] = \tilde{t}[k] + u[k]$$

$$\dot{u}[k] = \frac{1}{N_v} \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} & \sin \hat{\theta} \\ \sin \hat{\theta} & -\cos \hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1,i}(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V[\mu_R]) \\ X_{1,i}(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V[\mu_V]) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_1(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V[\mu_R]) &= X_{1,i}(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V[\mu_R]) + i \cdot X_{1,i}(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V[\mu_R]) \\ &= \sum_{n=0}^{N_v-1} (\mathcal{S}_R[n] - \mathcal{S}_V[n][\mu_R]) \cdot e^{-j\frac{2\pi n}{N_v}} \end{aligned}$$

G. Van Gool, D. Mihale, I. Draganov, Z. Kovacic, P. Liros, "High-accuracy vehicle localisation for autonomous warehousing", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Εκτίμηση θέσης όταν  $\hat{\theta} = \theta$

Εκτίμηση θέσης όταν  $\hat{\theta} = \theta$

- ♦ Όταν  $\sigma_B = 0.0$  και  $M = W$  τότε:  
    [!] συγχέουν αριθμόρραγα αποφεύγονταν στην πραγματική θέση  $I$  καθώς  $k \rightarrow \infty$
- ♦ Όταν  $\sigma_B > 0.0$  ή/και  $M \neq W$  τότε:  
    [!] ορθόστατη αριθμόρραγα σε γενικούς της πραγματικής θέσης  $I$  όταν  $k \geq k_0$

A. Pitsikalis, "Correspondences-aware image matching of unoriented 3D scans for mobile robot localization", Robotics and Autonomous Systems, 2022.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Εκτίμηση προσανατολισμού όταν  $\hat{l} = l$   
 $(rc\_x1=1/3)$

Εκτίμηση προσανατολισμού όταν  $\hat{l} = l$  ( $rc\_x1=1/3$ )

$$\begin{aligned}\hat{\theta}[k+1] &= \hat{\theta}[k] + \angle \mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\} - \angle \mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_{[\hat{p}][k]}\} \\ \text{Επόμενο σημείο:} \\ \phi &= \angle \mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\} - \tan^{-1} \frac{|\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}| \sin(\angle \mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}) - \textcolor{red}{N}_z[\delta] \sin(\hat{\theta} + \angle \delta)}{|\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}| \cos(\angle \mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}) - \textcolor{red}{N}_x[\delta] \cos(\hat{\theta} + \angle \delta)}\end{aligned}$$

Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Εκτίμηση προσανατολισμού όταν  $\hat{l} = l$   
 $(rc\_fm=2/3)$

Εκτίμηση προσανατολισμού όταν  $\hat{l} = l$  ( $rc\_fm=2/3$ )

$$\begin{aligned}\hat{\theta}' &= \hat{\theta} + \xi\gamma, \text{ έπειτα} \\ \xi &\triangleq \arg\max_{\xi} \mathcal{F}^{-1} \left\{ \frac{\mathcal{F}(\mathcal{S}_U) * \mathcal{F}(\mathcal{S}_B)}{|\mathcal{F}(\mathcal{S}_U)| \cdot |\mathcal{F}(\mathcal{S}_B)|} \right\}, \text{ και} \\ \gamma &\triangleq \frac{2\pi}{N_t}\end{aligned}$$

Επόμενο σημείο:

$$\phi \leq \frac{\gamma}{2}$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Εκτίμηση προσανατολισμού όταν  $\hat{l} = l$   
(rc uf—3/3)

Εκτίμηση προσανατολισμού όταν  $\hat{l} = l$  (rc\_uf—3/3)

Επίπεδα:

♦  $P_B, P_V$  οι προβολές των  $S_B, S_V$  στο αριζόντιο επίπεδο

♦  $UDV^T = \text{svd}(P_B P_V^T)$

■  $S = \text{diag}(1, \det(UV))$

Τότε  $\text{tr}(DS)$  είναι μέγεθος γεγράμματος ανάμετρα στα σύνολα  $P_B, P_V$  και

$$R^* = USV^T = \arg \min_R \|P_B - R \cdot P_V\|_F^2$$

αν δ. γνωστή [1].

Ομας θ διαθέσιμος γνωστή ⇒ περιστροφή  $P_V$  κατά  $k \cdot \gamma$ ,  $0 \leq k < N_p$ .

Τότε είναι  $\hat{\theta}' = \theta + k' \gamma$ ,  $k' = \arg \min_k \text{tr}(DS)$ , το επίμετρο σχέδιμο:

$$\phi \leq \frac{\gamma}{2}$$

[1] H. Umeyama, "Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, April 1988.

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Το πρόβλημα του πεπερασμένου των ακτίνων:  
 $\phi = f(N_e)$

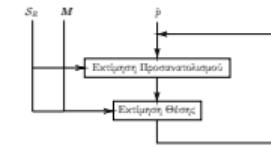
Το πρόβλημα του πεπερασμένου των ακτίνων:  $\phi = f(N_e)$

- rc\_x1
  - rc\_fm
  - rc\_uf
- } επίλογο σημάνε  $\phi = f(N_e)$

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Το πρόβλημα του πεπερασμένου των ακτίνων:  
 $\phi = f(N_e)$

Το πρόβλημα του πεπερασμένου των ακτίνων:  $\phi = f(N_e)$



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Υπερδειγματοληψία πραγματικής σάρωσης σε  
γραμμικές περιονύμες ✓

$$\mathcal{S}_R^{-\text{-interp}}(\theta) \quad \mathcal{S}_V^{-\text{-oversamp}}(\hat{\theta})$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



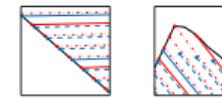
└ Υπερδειγματοληψία πραγματικής σάρωσης σε  
μη γραμμικές περιογές  $X$

$$\mathcal{S}_R^{-\text{-interp}}(\theta) \quad \mathcal{S}_V^{-\text{-oversamp}}(\hat{\theta})$$

$$\mathcal{S}_R^{-\text{-interp}}(\theta) \quad \mathcal{S}_V^{-\text{-oversamp}}(\hat{\theta})$$

Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

Λύση: Υπερδειγματοληψία του χάρτη  $\Rightarrow$  παραγωγή  $2^\nu$  εκτιμήσεων



└ Λύση: Υπερδειγματοληψία του χάρτη  $\Rightarrow$   
παραγωγή  $2^\nu$  εκτιμήσεων

$$\mathcal{S}_R^{-\text{-interp}}(\theta) \quad \mathcal{S}_V^{-\text{-oversamp}}(\hat{\theta}) \quad \mathcal{S}_R^{-\text{-interp}}(\theta) \quad \mathcal{S}_V^{-\text{-oversamp}}(\hat{\theta}) \quad \mathcal{S}_R(\theta) \quad \mathcal{S}_V(\hat{\theta} + \{0 \dots 2^{\nu_{\max}} - 1\} \cdot \frac{\gamma}{2^{\nu_{\max}}})$$

$$\phi' = \frac{\phi}{2^{\nu_{\max}}} \leq \frac{\gamma}{2^{1+\nu_{\max}}}$$

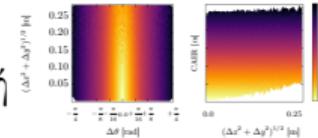
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ιεράρχηση σφαλμάτων εκτιμήσεων: η μετρική  
CAER\* \* Cumulative Absolute Error per Ray

Ιεράρχηση σφαλμάτων εκτιμήσεων: η μετρική CAER\*

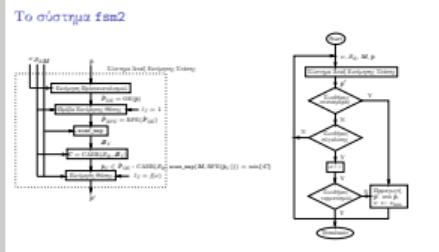
\* Cumulative Absolute Error per Ray

$$\text{CAER}(\mathcal{S}_B, \mathcal{S}_V) \triangleq \sum_{n=0}^{N_r-1} \left| \mathcal{S}_B[n]_p - \mathcal{S}_V[n]_p \right|$$



Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ To σύστημα fsm2



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία

- Έληξε
- (31)  $\|y^{\text{fit}} - p\| < \|y - p\|$
- (32)  $f_{\text{train}}^{\text{true}} \geq f_{\text{train}}^{\text{fit}}$

Ηγήτε λεπτομερείς περιβόλια στα δεδομένα:

Χωρίστε δεδομένα D	Πληροφορία
ασεσ	7.773
ρεστ9	4953
αστε1	11.630
αστ_εστι	1.997
αστ_κιλιαν	17.479
	$\sum  D  = 45.402$

Πληροφορίες:  
Στοιχεία: Μετρήσεις αισθητήρα πλατώνα.  
Ελάσσονα: Ταχύτης πλατώνα και θερμοκρασία του πλατώνα.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία

Έλιξη

- (31)  $\|\hat{p} - p\| < \|p - p^*\|$
- (32)  $\hat{x}_{\text{start}}^{\text{lidar}} \geq x_{\text{start}}^{\text{lidar}}$

Ηλικιών διαδικαστική διαδικασία

Όνομα	Περιγραφή
age	7.73
female	4953
male	11630
ant_cassil	1.007
ant_kiliam	17.679
$\sum  D  = 45492$	

Ηλικιών διαδικαστική διαδικασία

Επιπλέον πληροφορίες:

Ηλικιών διαδικαστική διαδικασία

Τελική πειραματική διαδικασία για την

$$\sigma_x = \{0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.20\} \text{ [m]}$$

$$\sigma_y = \{0.0, 0.05\} \text{ [m]}$$

Περιενεγκ η τελική διαδικασία

$$\Delta x_0 \sim \{-10, 20, +8, 20\} \text{ [m]}$$

$$\Delta y_0 \sim \{-10, 20, +8, 20\} \text{ [m]}$$

$$\Delta \delta_0 \sim \{-1, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}\} \text{ [rad]}$$

Συνολική αριθμός εργαζομένων για την πειραματική διαδικασία:

$$10 \times \sum |D| \times |\sigma| \times |\delta| \approx 4.5 \cdot 10^6$$

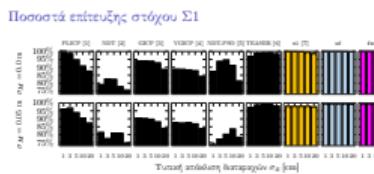
Μέγιστης περιόδου:  $N_t = 360$

$$\nu \in [\nu_{\min}, \nu_{\max}] = [2, 5]$$

$$\delta_T = 1 + \nu$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ποσοστά επίτευξης στόχου  $\Sigma 1$

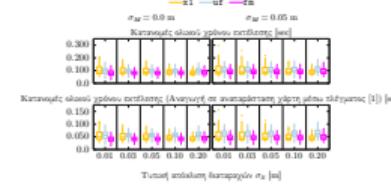


- [1] A. Craciu, "An ICP variant using a polar nuclear norm", ICRA 2009
- [2] P. Hähn, M. Sonnen, "The normal distribution transform - a new approach to local point matching", ISPRS 2002
- [3] K. T. Rohr, "Registration of medical images", Proc. IEEE, vol. 89, no. 3, pp. 332-351, 2001
- [4] K. Kaino, M. Yamada, S. Okai, & S. Matsui, "Unified GCP for Fast and Accurate 3D Point Cloud Registration", ICRA 2011
- [5] A. Filakov, G. Simeonidis, G. Sengulci, A. Dimiceli, "Correspondence-aware-to-map-area matching of 3D panoramic range-scan", EUSIPCO 2022
- [6] A. Filakov, G. Simeonidis, G. Sengulci, A. Dimiceli, "Correspondence-aware-to-map-area matching of 3D panoramic range-scan", Arxiv, Under review
- [7] A. Filakov, G. Simeonidis, G. Sengulci, "Wide Correspondence-aware matching of panoramic 3D range scans", MMV 2022

Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar  
δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Χρόνοι εκτέλεσης—Στόχος Σ2

Χρόνοι εκτέλεσης—Στόχος Σ2



[3] C. H. Walin and S. Karaman, “CEET: Fast Approximate 3D Ray Casting for Accurate Localization”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2020.

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

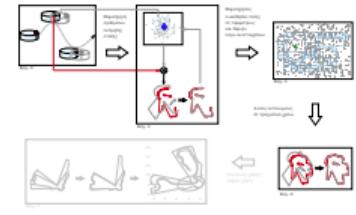
└ Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα  
είναι ευκινό

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι ευκινό

Τρεις μέθοδοι ευθεγράμμισης πραγματικών με πικνοειδές (πολυπλοκές και πανοραμικές) περιόδους χρήσης των παλαιότερων αισθητήρων:

- Εξισωτική μετρίσεις {pose tracking, θέσην προϊόντων} σε πραγματικό χρόνο
- Άλση global localisation
  - Χαρίζει ad hoc παραμετρούς (θέσην ή μεταβλήτα)
  - Ταχεία προς PNT-SIMD (⇒ παραπλές υποθέσεις → λιγότερες απονομές εκτίμησης)

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Μετά το sm2 τι;

Μετά το sm2 τι;

Επιλεγόμενη από λίστας αναπτυγμένης και διανομείς περιφερειακής εργασίας: Αναπτυγμένη από πολλές εργασίες, περιλαμβάνει: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποτελεί λίστα Zeigler: PDE = 100'</li> <li>• Αποτελεί λίστα ημέρας προβολής,</li> <li>• Αποτελεί pLD</li> <li>• Επιπλέον λίστα: t = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100</li> </ul>
$\  \hat{\mathbf{l}}_0 - \mathbf{l} \  < \delta$ $\left. \begin{array}{l} \ \hat{\mathbf{l}}_0 - \mathbf{l}\  < \delta \\ \mathcal{S}_V(\hat{\mathbf{p}}_0) \text{ πανερή προσέγγυση } M \text{ (άρα } W) \end{array} \right\}$ Εάν $M \leftarrow \mathcal{S}_B(\mathbf{p}_2) \Rightarrow \delta \lambda\text{-όντας sm};$ στα γκωνιά της $p_i$ , $\forall p_i, i = 0, 1, \dots, N$

$$\rightarrow \mathcal{S}_R(\mathbf{p}_1) \\ \left. \begin{array}{l} \mathcal{S}_V(\hat{\mathbf{p}}_0) \\ \|\hat{\mathbf{l}}_0 - \mathbf{l}\| < \delta \end{array} \right\}$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Ευθυγράμμιση sm

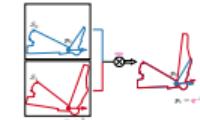
## Ευθυγράμμιση sm

Πρόβλημα:

- Καπνούσιο ή αλ. δεδομένων:
- Πρωτευτοί σύμβολοι  $S_0(p_0)$ : FOV =  $360^\circ$
  - Πρωτευτοί σύμβολοι  $S_1(p_1)$ : FOV =  $360^\circ$
  - $p_0$  γνωστή (ανθεκτική)

τέλος:

- $q^{-1} = h(S_0, S_1)$
- $p_1 = q^{-1} \cdot p_0$



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Βαρύτητα μετατροπής fsm2 σε fsm

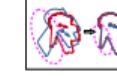
- απ λίμνη fsm2 → λίστη pose tracking & global localisation
- απ λίμνη περιγραφής οδηγήσιμα μέσα lidar → απλήτερη από
  - Απολύτως οδηγεύια τροχιά / δρόμο
  - Συνθήρες τροχής ως προς επιφάνεια επαργής
- ▼ Πρώτη μέθοδος απ χαρκ υπόλογημά αντανακλάσεων

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Προκλήσεις μετατροπής fsm2 σε fsm

Προκλήσεις μετατροπής fsm2 σε fsm

- $t_{\text{vom}} \leq \frac{1.0}{20 \text{ Hz}} = 50 \text{ ms}$  ( $\tilde{\tau}_{\text{max}}^{\text{tau}} = \tau_{\text{vom}}^{\text{tau}} \approx 100 \text{ ms}$ )
- $S_V(\hat{p}_0)$  πιλήξεις προσέγγισης του χάρτη  $M \Rightarrow$  απώληση ευφυειάς σε "κανάλια αντανακλάσεων"



$$\mathcal{S}_R(\textcolor{red}{p})$$

$$\mathcal{S}_V(\hat{p}_0)$$

fsm2

$$\mathcal{S}_V(\hat{p}_N)$$

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

## └ Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία

Επίλογο:

- (Ω1)  $\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{ref}}} - qf \leq \frac{1}{2} \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{ref}}} - qf$
- (Ω2)  $V_{\text{out}} \leq 50.0 \text{ mV}$

Ημερησιακή περιόδος δοκιμής:

Εύνοια Σύστημα D	Ημερησιακή
asce	7373
intel	14500
intel	13630
int_casill	1987
int_billiam	17479
$\sum_{i=1}^n d_i = 45492$	

Πληροφορίες: Ημερησιακή περιόδος δοκιμής:  
ΩΣ: Ημέρα Τρίτη 16 Μαΐου 2023  
Ημερησιακή περιόδος δοκιμής:  
ΩΣ: Ημέρα Τρίτη 16 Μαΐου 2023

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία

Επίπεδο:
(Ω1) $\ \hat{q}^{true} - q\  \leq \frac{1}{2}\hat{q}^{true} - q\ $
(Ω2) $\hat{q}^{true} \leq 50.0 \text{ ms}$

Ημερησιακές περιόδους διαφορά:

Εύκολο λέξισμα D	Ημερησιακός
acee	7272
adobe	14500
intel	13630
ant_casill	1987
ant_billiam	17470

Ημερησιακές περιόδους διαφορά:  
 $\Delta t_1, \Delta t_2 \sim (T_{D_1}, T_{D_2}) \text{ [ms]}$   
 $\Delta t_3 \sim (T_{D_1}, T_{D_2}, T_{D_3}) \text{ [ms]}$

Συνολικός χρόνος περιόδου διαφοράς:

$$\sum_i |\Delta t_i| = 45402$$

Ημερησιακές περιόδους διαφορά:  
 $\Delta t_1 = (0.05, 0.450)$   
 $\Delta t_2 = (0.15, 0.470)$   
 $\Delta t_3 = (0.25, 0.490)$   
 $\Delta t_4 = (0.35, 0.510)$   
 $\Delta t_5 = (0.45, 0.530)$

Επιπλέον περιόδος περιόδου διαφοράς:

$$|\Delta t| = 12.4 \cdot 10^6$$

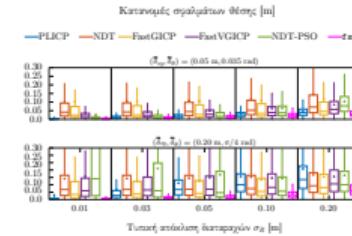
Ημερησιακές περιόδους διαφοράς:  $N_t = 360$

$\sigma \in [0, 8] \text{ ms}$ ,  $\lambda \in [0, 1] \text{ ms}$

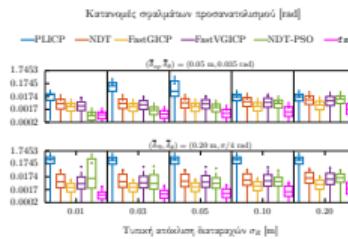
$\delta_t = 1 + \delta \sigma$

Τυπική ανάληση δημόσια πλέγμα	
$\mu_D = \{0.44, 0.43, 0.45, 0.44, 0.43\}$ [ms]	
Βαρύτερη γενική αγορά περιόδου περιόδου διαφοράς:	
$\Delta t_1, \Delta t_2 \sim (T_{D_1}, T_{D_2})$ [ms]	
$\Delta t_3 \sim (T_{D_1}, T_{D_2}, T_{D_3})$ [ms]	
<hr/>	
$\Delta t_1$	$\sigma = (0.05, 0.450)$
$\Delta t_2$	$\sigma = (0.15, 0.470)$
$\Delta t_3$	$\sigma = (0.25, 0.490)$
$\Delta t_4$	$\sigma = (0.35, 0.510)$
$\Delta t_5$	$\sigma = (0.45, 0.530)$
<hr/>	
$\sum_i  \Delta t_i $	$\sigma = (0.45, 0.530)$
<hr/>	
Επιπλέον περιόδος περιόδου διαφοράς:	
$\sigma \in [0, 8] \text{ ms}$	$\lambda \in [0, 1] \text{ ms}$
<hr/>	
Ημερησιακές περιόδους διαφοράς: $N_t = 360$	
$\sigma \in [0, 8] \text{ ms}$ , $\lambda \in [0, 1] \text{ ms}$	
$\delta_t = 1 + \delta \sigma$	

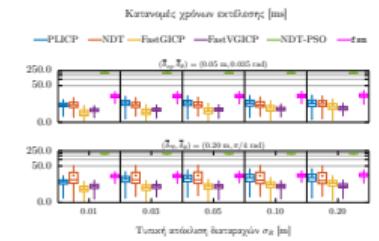
# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

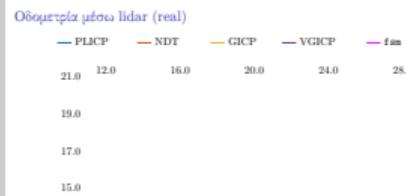


# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Οδομετρία μέσω lidar (real)



# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

fsm: Ευρωστία

└ fsm: Ευρωστία

# Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

└ Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα  
είναι εωικτό

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι εωικτό

- Ευθυγράμμιση προγραμμάτων (διδάσκαλων πανοραμών) σερίζουσαν
- ♦ χαράς ανταπογέννησης
  - ♦ με τρόπο (διασυνθηκές, προσφέτωση) παραχθέντων

## Μέθοδοι εκτίμησης στάσης αισθητήρα lidar δισδιάστατων μετρήσεων ...

Σάς ευχαριστώ για τον χρόνο και την προσοχή σας

