Ευθυγράμμιση sm2 δίχως αντιστοιχίσεις, υπό χρονικούς περιορισμούς

Πρόβλημα:

Κατασκευή h: sm2 χωρίς αντιστοιχίσεις, δεδομένων:

- Πραγματική σάρωση $\mathcal{S}_R(\boldsymbol{p})$: FOV $= 360°$
- Χάρτης $\boldsymbol{M}$ του περιβάλλοντος
- Εκτίμηση $\hat{\boldsymbol{p}}(\hat{\boldsymbol{l}}, \hat{\theta})$
- Η εκτίμηση θέσης $\hat{\boldsymbol{l}} = (\hat{x}, \hat{y})$ είναι σε μία γειτονιά της $\boldsymbol{l} = (x, y)$

τέτοιας ώστε

(Σ1) $\hat{\boldsymbol{p}}' \leftarrow h(\mathcal{S}_R, \boldsymbol{M}, \hat{\boldsymbol{p}})$:

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

(ΣΤ) $f_{\text{exec}}(h) \geq f_{\text{exec}}(\texttt{pf})$

Αποσύνθεση προβλήματος

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

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

$$\hat{\boldsymbol{l}}[k+1] = \hat{\boldsymbol{l}}[k] + \boldsymbol{u}[k]$$

$$\boldsymbol{u}[k] = \frac{1}{N_s} \begin{bmatrix} \cos\hat{\theta} & \sin\hat{\theta} \\ \sin\hat{\theta} & -\cos\hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1,r}\left(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\right) \\ X_{1,i}\left(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\right) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_1\left(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\right) &= X_{1,r}\left(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\right) + i \cdot X_{1,i}\left(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\right) \\ &= \sum_{n=0}^{N_s-1} \left(\mathcal{S}_R[n] - \mathcal{S}_V[n]|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\right) \cdot e^{-i\frac{2\pi n}{N_s}} \end{aligned}$$

G. Vasiljević, D. Miklić, I. Draganjac, Z. Kovačić, P. Lista, “High-accuracy vehicle localization for autonomous warehousing”. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2016

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

- Όταν $\sigma_R = 0.0$ και $\boldsymbol{M} \equiv W$ τότε:
  $\hat{\boldsymbol{l}}[k]$ συγκλίνει ομοιόμορφα ασυμπτωτικά στην πραγματική θέση $\boldsymbol{l}$ καθώς $k \to \infty$

- Όταν $\sigma_R > 0.0$ ή/και $\boldsymbol{M} \not\equiv W$ τότε:
  $\hat{\boldsymbol{l}}[k]$ φράσσεται ομοιόμορφα σε γειτονιά της πραγματικής θέσης $\boldsymbol{l}$ όταν $k \geq k_0$

A. Filotheou, "Correspondenceless scan-to-map-scan matching of homoriented 2D scans for mobile robot localisation", *Robotics and Autonomous Systems*, 2022

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

$$\hat{\theta}[k+1] = \hat{\theta}[k] + \angle\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_R\} - \angle\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}|_{\hat{\boldsymbol{p}}[k]}\}$$

Επίλοιπο σφάλμα:

$$\phi = \angle\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\} - \tan^{-1}\frac{|\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}|\sin(\angle\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}) - N_s|\delta|\sin(\hat{\theta} + \angle\delta)}{|\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}|\cos(\angle\mathcal{F}_1\{\mathcal{S}_V\}) - N_s|\delta|\cos(\hat{\theta} + \angle\delta)}$$

Εκτίμηση προσανατολισμού όταν $\hat{\boldsymbol{l}} = \boldsymbol{l}$ (`rc_uf`—2/3)

$$\hat{\theta}' = \hat{\theta} + \xi\gamma, \text{ όπου}$$

$$\xi \triangleq \arg\max \mathcal{F}^{-1}\left\{ \frac{\mathcal{F}\{\mathcal{S}_V\}^* \cdot \mathcal{F}\{\mathcal{S}_R\}}{|\mathcal{F}\{\mathcal{S}_V\}| \cdot |\mathcal{F}\{\mathcal{S}_R\}|} \right\}, \text{ και}$$

$$\gamma \triangleq \frac{2\pi}{N_s}$$

Επίλοιπο σφάλμα:

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

Εκτίμηση προσανατολισμού όταν $\hat{\boldsymbol{l}} = \boldsymbol{l}$ (rc_fm—3/3)

Έστω

- $\boldsymbol{P}_R, \boldsymbol{P}_V$ οι προβολές των $\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V$ στο οριζόντιο επίπεδο
- $\boldsymbol{U}\boldsymbol{D}\boldsymbol{V}^\top = \mathtt{svd}(\boldsymbol{P}_R \boldsymbol{P}_V^\top)$
- $\boldsymbol{S} = \mathrm{diag}(1, \det(\boldsymbol{U}\boldsymbol{V}))$

Τότε $\mathrm{tr}(\boldsymbol{D}\boldsymbol{S})$ είναι μέτρο ευθυγράμμισης ανάμεσα στα σύνολα $\boldsymbol{P}_R, \boldsymbol{P}_V$ και

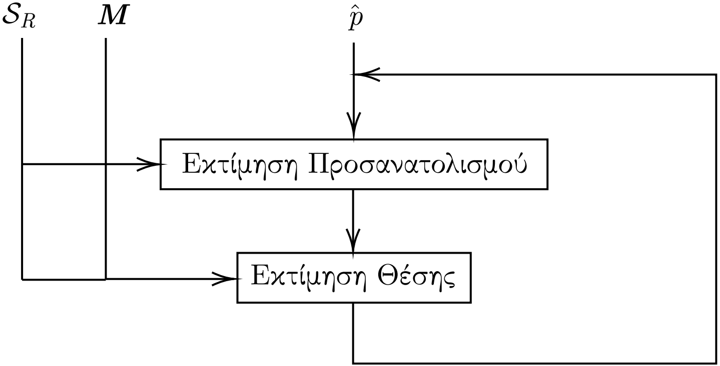
$$\boldsymbol{R}^\star = \boldsymbol{U}\boldsymbol{S}\boldsymbol{V}^\top = \arg\min_{\boldsymbol{R}} \|\boldsymbol{P}_R - \boldsymbol{R} \cdot \boldsymbol{P}_V\|_F^2$$

εάν θ *γνωστή* [1].
Όμως θ θεμελιωδώς άγνωστη $\Rightarrow$ περιστροφή $\boldsymbol{P}_V$ κατά $k \cdot \gamma$, $0 \leq k < N_s$.
Τότε εάν $\hat{\theta}' = \hat{\theta} + k^\star \gamma$, $k^\star = \arg\min_k \mathrm{tr}(\boldsymbol{D}\boldsymbol{S})$, το επίλοιπο σφάλμα:

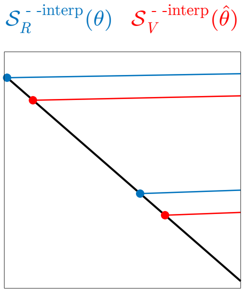
$$\phi \leq \frac{\gamma}{2}$$

[1] S. Umeyama, "Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Apr. 1991

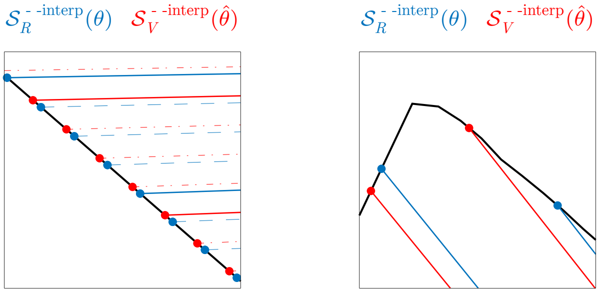
Το πρόβλημα του πεπερασμένου των ακτίνων: $\phi = f(N_s)$



Υπερδειγματοληψία πραγματικής σάρωσης σε γραμμικές περιοχές ✓



Υπερδειγματοληψία πραγματικής σάρωσης σε μη γραμμικές περιοχές x

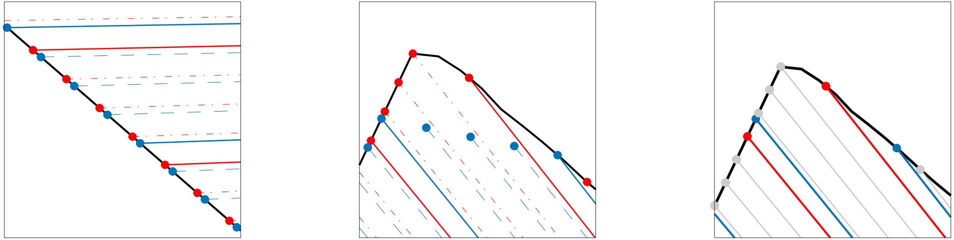


Λύση: Υπερδειγματοληψία του χάρτη $\Rightarrow$ παραγωγή 2^ν εκτιμήσεων

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

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

$\mathcal{S}_R(\theta)$ $\mathcal{S}_V(\hat{\theta} + \{0 \ldots 2^{\nu_{\max}} - 1\} \cdot \frac{\gamma}{2^{\nu_{\max}}})$

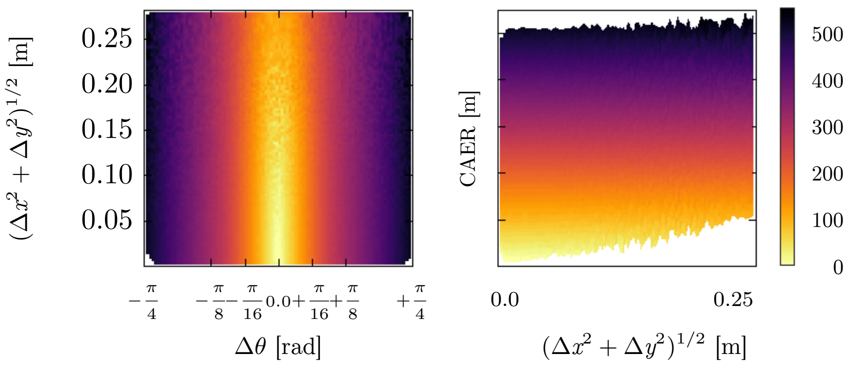


$$\phi' = \frac{\phi}{2^{\nu_{\max}}} \leq \frac{\gamma}{2^{1+\nu_{\max}}}$$

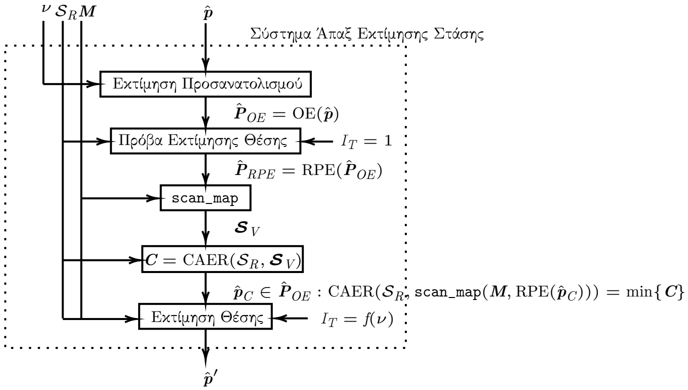
Ιεράρχηση σφαλμάτων εκτιμήσεων: η μετρική CAER*

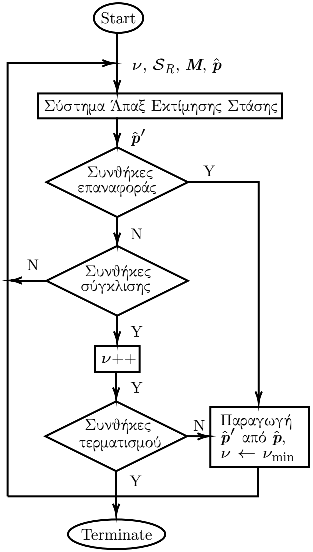
* Cumulative Absolute Error per Ray

$$\mathrm{CAER}(\mathcal{S}_R, \mathcal{S}_V) \triangleq \sum_{n=0}^{N_s-1} \Big| \mathcal{S}_R[n]|_{\boldsymbol{p}} - \mathcal{S}_V[n]|_{\hat{\boldsymbol{p}}} \Big|$$



Το σύστημα fsm2





Πειραματική διαδικασία

Στόχοι:

(Σ1) $\|\hat{\boldsymbol{p}}' - \boldsymbol{p}\| < \|\hat{\boldsymbol{p}} - \boldsymbol{p}\|$

(Σ2) $f_{\text{exec}}^{\texttt{fsm2}} \geq f_{\text{exec}}^{\texttt{pf}}$

Πέντε benchmark περιβάλλοντα δοκιμής

Σύνολο δεδομένων D	Πληθικότητα
`aces`	7373
`fr079`	4933
`intel`	13630
`mit_csail`	1987
`mit_killian`	17479
	$\sum \lvert D \rvert = 45402$

Πίνακας: Πηγή: SLAM evaluation datasets, Dept. of Computer Science, University of Freiburg

Πειραματική διαδικασία

Στόχοι:

(Σ1) $\|\hat{\boldsymbol{p}}' - \boldsymbol{p}\| < \|\hat{\boldsymbol{p}} - \boldsymbol{p}\|$

(Σ2) $f^{\texttt{fsm2}}_{\text{exec}} \geq f^{\texttt{pf}}_{\text{exec}}$

Πέντε benchmark περιβάλλοντα δοκιμής

Σύνολο δεδομένων D	Πληθικότητα
`aces`	7373
`fr079`	4933
`intel`	13630
`mit_csail`	1987
`mit_killian`	17479
	$\sum \lvert D \rvert = 45402$

Πίνακας: Πηγή: Σύνολα δεδομένων αξιολόγησης SLAM, Τμήμα Επιστήμης των Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο του Φράιμπουργκ

Τυπική απόκλιση θορύβου μέτρησης και συντεταγμένων χάρτη

$$\sigma_R = \{0.01, 0.03, 0.05, 0.10, 0.20\} \text{ [m]}$$
$$\sigma_M = \{0.0, 0.05\} \text{ [m]}$$

Παραγωγή τυχαίων αρχικών συνθηκών σφάλμάτων στάσης

$$\Delta\hat{x}_0 \sim U(-0.20, +0.20) \text{ [m]}$$
$$\Delta\hat{y}_0 \sim U(-0.20, +0.20) \text{ [m]}$$
$$\Delta\hat{\theta}_0 \sim U(-\frac{\pi}{4}, +\frac{\pi}{4}) \text{ [rad]}$$

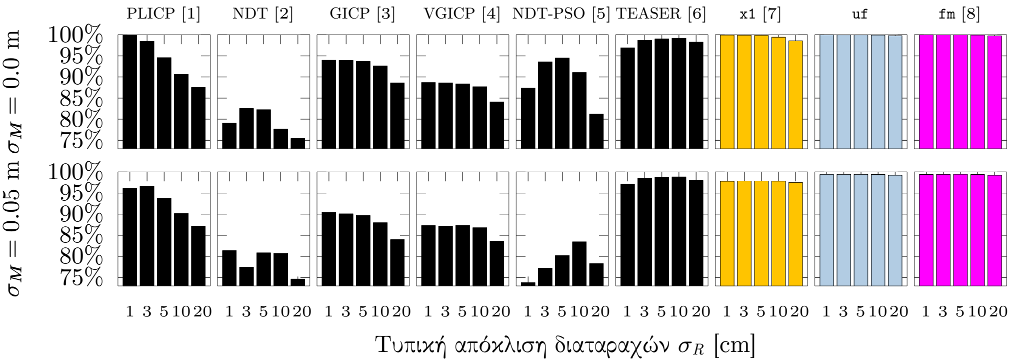
Συνολικός αριθμός ευθυγραμμίσεων ανά μέθοδο:
$10 \times \sum |D| \times |\sigma_R| \times |\sigma_M| \simeq 4.5 \cdot 10^6$

Μέγεθος σαρώσεων: $N_s = 360$

$\nu \in (\nu_{\min}, \nu_{\max}) = (2, 5)$

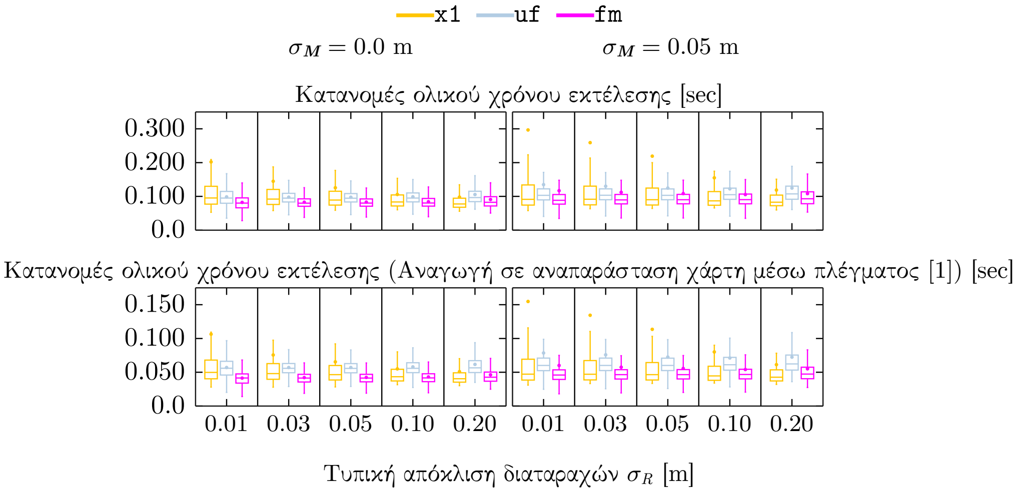
$I_T = 1 + \nu$

Ποσοστά επίτευξης στόχου Σ1

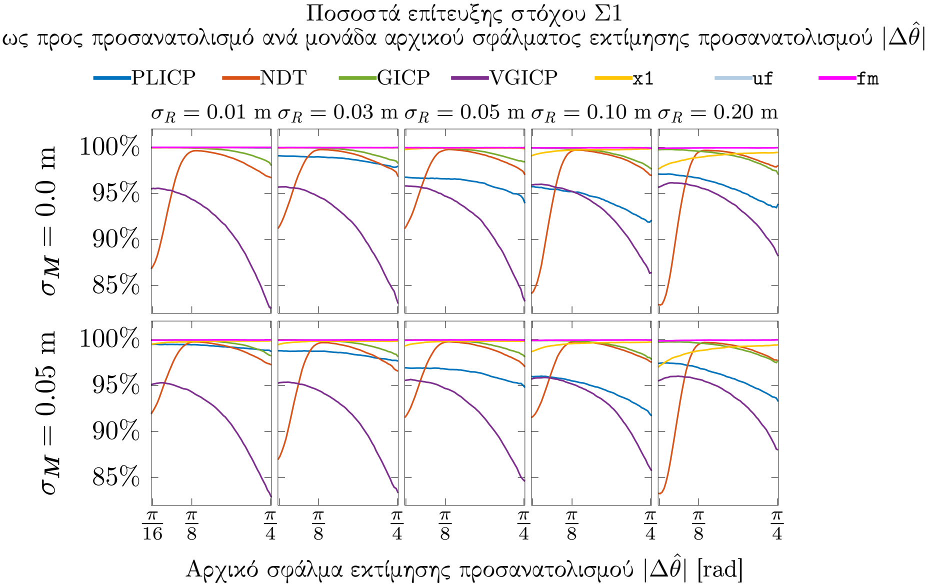


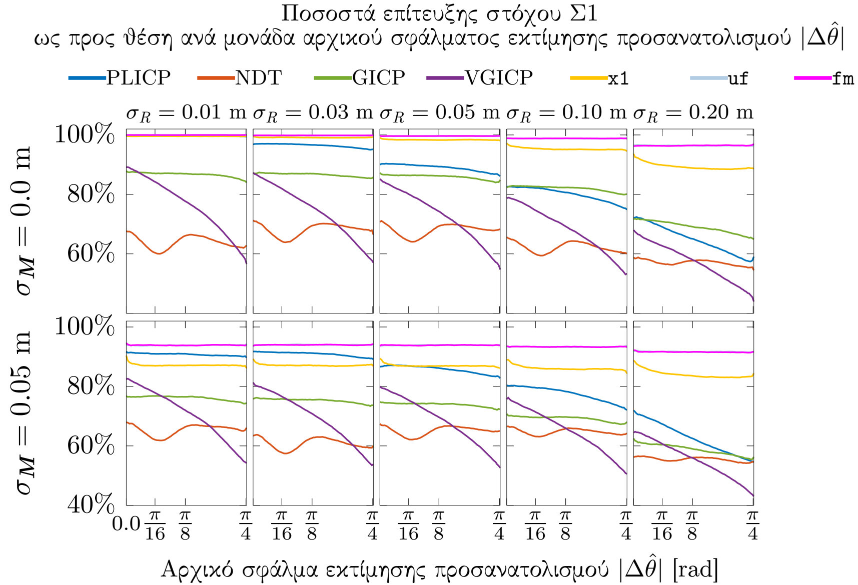
[1] A. Censi, "An ICP variant using a point-to-line metric", *ICRA* 2008
[2] P. Biber, W. Strasser, "The normal distributions transform: a new approach to laser scan matching", *IROS* 2003
[3] A. Segal, D. Hähnel, S. Thrun, "Generalized-ICP", *Robotics: Science and Systems*, 2009
[4] K. Koide, M. Yokozuka, S. Oishi, A. Banno, "Voxelized GICP for Fast and Accurate 3D Point Cloud Registration", *ICRA* 2021
[5] S. Bouraine, A. Bougouffa, O. Azouaoui, "Particle swarm optimization for solving a scan-matching problem based on the normal distributions transform", *Evolutionary Intelligence*, 2021
[6] H. Yang, J. Shi, L. Carlone, "TEASER: Fast and Certifiable Point Cloud Registration", *IEEE Transations on Robotics*, 2021
[7] A. Filotheou, A. Symeonidis, G. Sergiadis, A. Dimitriou, "Correspondenceless scan-to-map-scan matching of 2D panoramic range scans", *Array*, Under review
[8] A. Filotheou, G. Sergiadis, A. Dimitriou, "FSM: Correspondenceless scan-matching of panoramic 2D range scans", *IROS* 2022

Χρόνοι εκτέλεσης—Στόχος Σ2

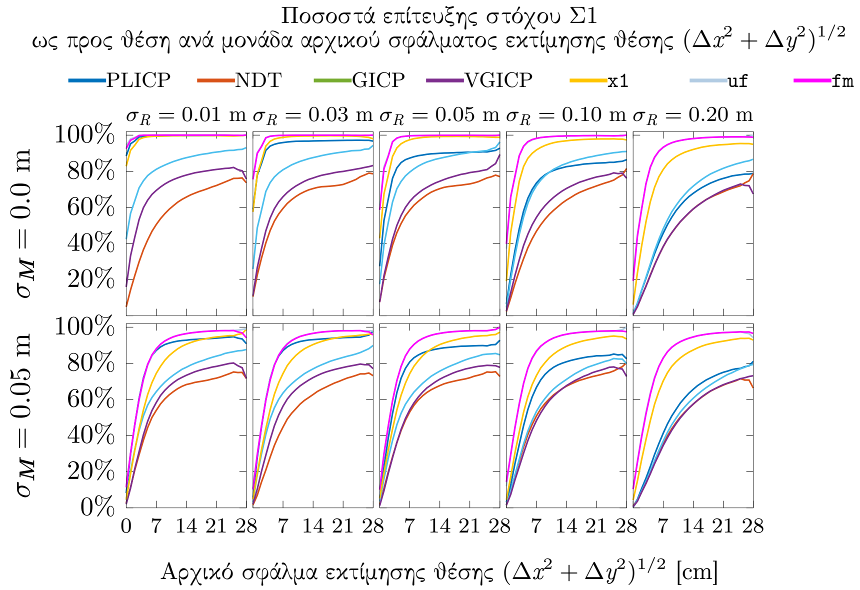


[1] C. H. Walsh and S. Karaman, "CDDT: Fast Approximate 2D Ray Casting for Accelerated Localization,", *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2018*

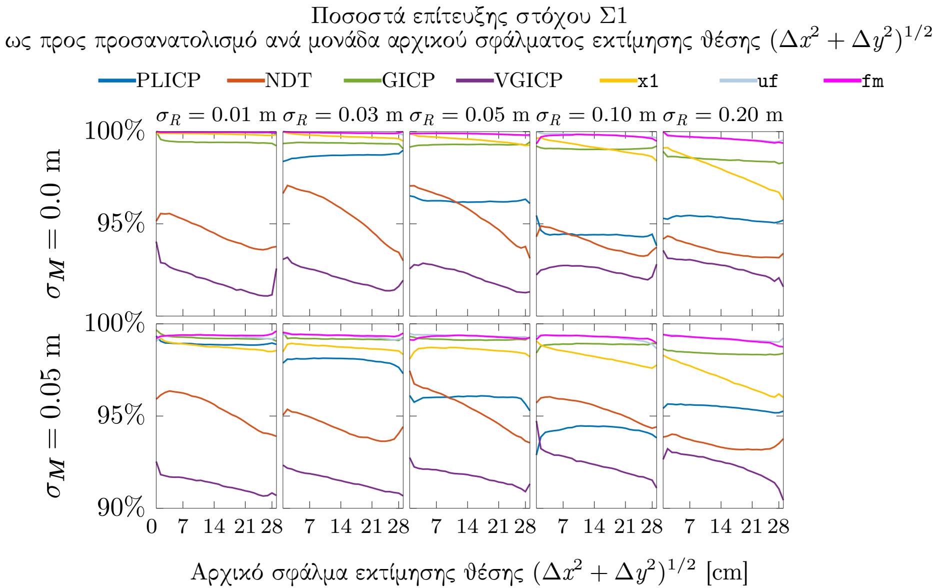

Ποσοστά επίτευξης στόχου Σ1
ως προς προσανατολισμό ανά μονάδα αρχικού σφάλματος εκτίμησης προσανατολισμού $|\Delta\hat{\theta}|$
PLICP
NDT
GICP
VGICP
x1
uf
fm
$\sigma_R = 0.01$ m
$\sigma_R = 0.03$ m
$\sigma_R = 0.05$ m
$\sigma_R = 0.10$ m
$\sigma_R = 0.20$ m
$\sigma_M = 0.0$ m
$\sigma_M = 0.05$ m
100%
95%
90%
85%
$\frac{\pi}{16}$
$\frac{\pi}{8}$
$\frac{\pi}{4}$
Αρχικό σφάλμα εκτίμησης προσανατολισμού $|\Delta\hat{\theta}|$ [rad]



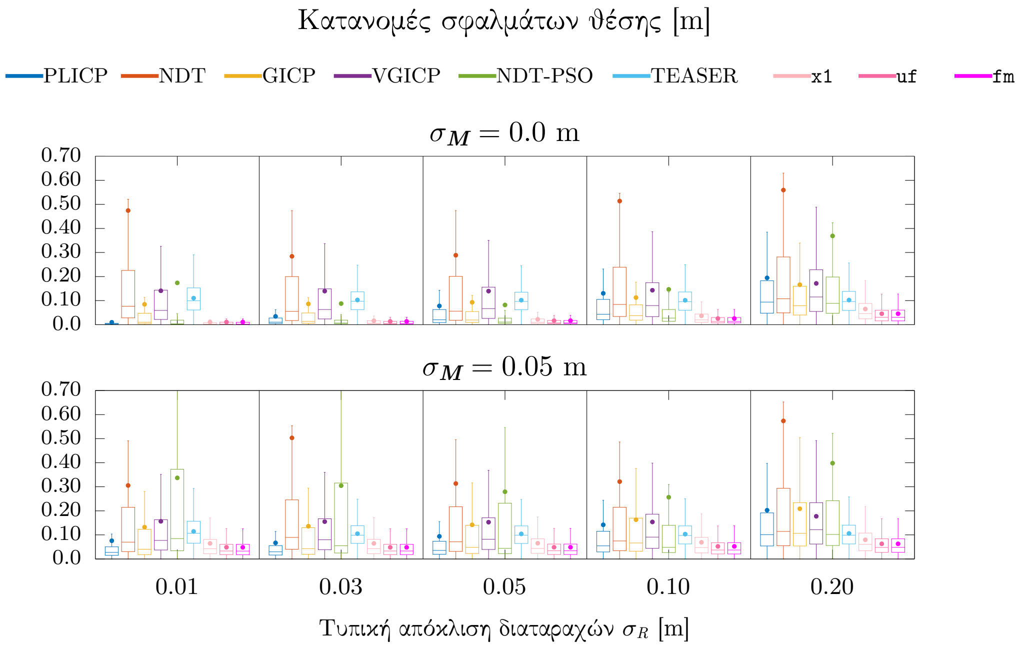
Ποσοστά επίτευξης στόχου Σ1
ως προς θέση ανά μονάδα αρχικού σφάλματος εκτίμησης προσανατολισμού $|\Delta\hat{\theta}|$
PLICP
NDT
GICP
VGICP
x1
uf
fm
$\sigma_R = 0.01$ m
$\sigma_R = 0.03$ m
$\sigma_R = 0.05$ m
$\sigma_R = 0.10$ m
$\sigma_R = 0.20$ m
$\sigma_M = 0.0$ m
$\sigma_M = 0.05$ m
100%
80%
60%
40%
0.0
$\frac{\pi}{16}$
$\frac{\pi}{8}$
$\frac{\pi}{4}$
Αρχικό σφάλμα εκτίμησης προσανατολισμού $|\Delta\hat{\theta}|$ [rad]

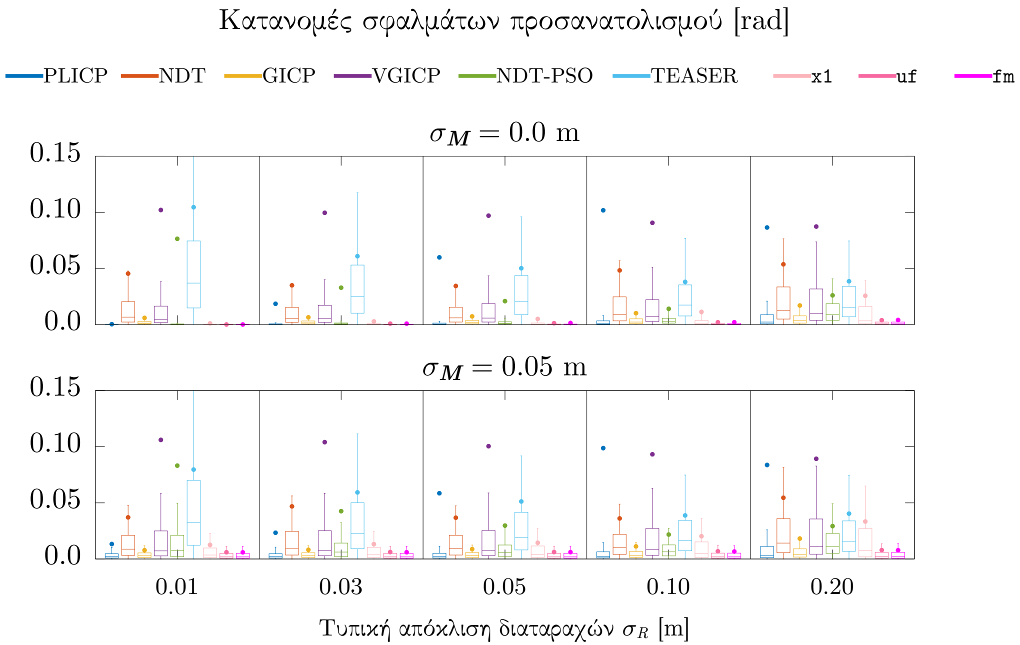


Ποσοστά επίτευξης στόχου Σ1
ως προς θέση ανά μονάδα αρχικού σφάλματος εκτίμησης θέσης $(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$
PLICP
NDT
GICP
VGICP
x1
uf
fm
$\sigma_R = 0.01$ m
$\sigma_R = 0.03$ m
$\sigma_R = 0.05$ m
$\sigma_R = 0.10$ m
$\sigma_R = 0.20$ m
$\sigma_M = 0.0$ m
$\sigma_M = 0.05$ m
100%
80%
60%
40%
20%
0%
0
7
14
21
28
Αρχικό σφάλμα εκτίμησης θέσης $(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$ [cm]



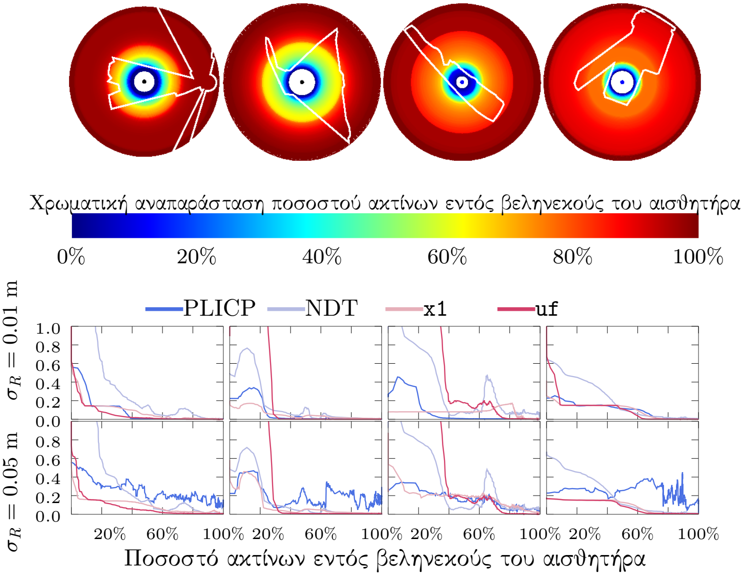
Ποσοστά επίτευξης στόχου Σ1
ως προς προσανατολισμό ανά μονάδα αρχικού σφάλματος εκτίμησης θέσης $(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$
PLICP
NDT
GICP
VGICP
x1
uf
fm
$\sigma_R = 0.01$ m
$\sigma_R = 0.03$ m
$\sigma_R = 0.05$ m
$\sigma_R = 0.10$ m
$\sigma_R = 0.20$ m
$\sigma_M = 0.0$ m
$\sigma_M = 0.05$ m
100%
95%
90%
0
7
14
21
28
Αρχικό σφάλμα εκτίμησης θέσης $(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$ [cm]


Κατανομές σφαλμάτων θέσης [m]
PLICP
NDT
GICP
VGICP
NDT-PSO
TEASER
x1
uf
fm
$\sigma_M = 0.0$ m
$\sigma_M = 0.05$ m
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.0
0.01
0.03
0.05
0.10
0.20
Τυπική απόκλιση διαταραχών σ_R [m]



Κατανομές σφαλμάτων προσανατολισμού [rad]
PLICP
NDT
GICP
VGICP
NDT-PSO
TEASER
x1
uf
fm
σ_M = 0.0 m
σ_M = 0.05 m
0.15
0.10
0.05
0.0
0.01
0.03
0.05
0.10
0.20
Τυπική απόκλιση διαταραχών σ_R [m]

Σφάλμα εκτίμησης στάσης υπό περιορισμούς βεληνεκούς



Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι εφικτό

Τρεις μέθοδοι ευθυγράμμισης πραγματικών με εικονικές (δισδιάστατες και πανοραμικές) σαρώσεις *χωρίς τον υπολογισμό αντιστοιχίσεων*: $\hat{\mathbf{p}}' \leftarrow h(\mathcal{S}_R, \boldsymbol{M}, \hat{\boldsymbol{p}})$:

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι εφικτό

Τρεις μέθοδοι ευθυγράμμισης πραγματικών με εικονικές (δισδιάστατες και πανοραμικές) σαρώσεις *χωρίς τον υπολογισμό αντιστοιχίσεων*: $\hat{\mathbf{p}}' \leftarrow h(\mathcal{S}_R, \boldsymbol{M}, \hat{\mathbf{p}})$:

- Εύρωστη βελτίωση ακρίβειας pose tracking ($\Rightarrow$ navigation) σε πραγματικό χρόνο: $f_{\text{exec}}(h) \geq f_{\text{exec}}(\texttt{pf})$

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι εφικτό

Τρεις μέθοδοι ευθυγράμμισης πραγματικών με εικονικές (δισδιάστατες και πανοραμικές) σαρώσεις *χωρίς τον υπολογισμό αντιστοιχίσεων*: $\hat{\mathbf{p}}' \leftarrow h(\mathcal{S}_R, \boldsymbol{M}, \hat{\mathbf{p}})$:

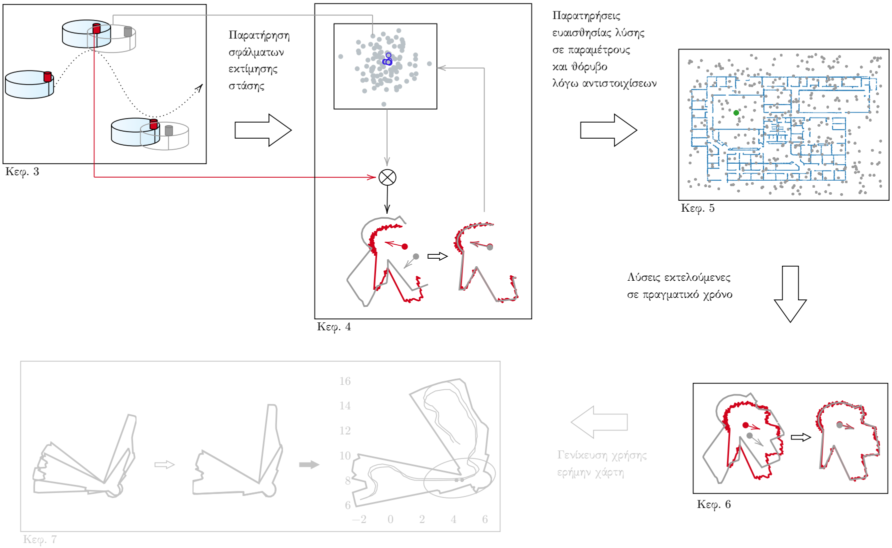
- Εύρωστη βελτίωση ακρίβειας pose tracking ($\Rightarrow$ navigation) σε πραγματικό χρόνο: $f_{\text{exec}}(h) \geq f_{\text{exec}}(\texttt{pf})$
- Global localisation
  - Χωρίς ad hoc παραμετροποίηση (features ή μεταβλητές)
  - Ταχύτερα από `FMI-SPOMF` ($\Rightarrow$ περισσότερες υποθέσεις)

Τι ήταν προηγουμένως αδύνατον και τώρα είναι εφικτό

Τρεις μέθοδοι ευθυγράμμισης πραγματικών με εικονικές (δισδιάστατες και πανοραμικές) σαρώσεις *χωρίς τον υπολογισμό αντιστοιχίσεων*: $\hat{\mathbf{p}}' \leftarrow h(\mathcal{S}_R, \boldsymbol{M}, \hat{\mathbf{p}})$:

- Εύρωστη βελτίωση ακρίβειας pose tracking ($\Rightarrow$ navigation) σε πραγματικό χρόνο: $f_{\text{exec}}(h) \geq f_{\text{exec}}(\texttt{pf})$
- Global localisation
  - Χωρίς ad hoc παραμετροποίηση (features ή μεταβλητές)
  - Ταχύτερα από `FMI-SPOMF` ($\Rightarrow$ περισσότερες υποθέσεις)
- {Αναγνώριση, ευθυγράμμιση} κλειστών (convex ή non-convex) 2D σχημάτων (π.χ. computer vision [1])

[1] G. Doğan, J. Bernal, C. Hagwood, "FFT-based Alignment of 2D Closed Curves with Application to Elastic Shape Analysis", *Proceedings of the 1st International Workshop on DIFFerential Geometry in Computer Vision for Analysis of Shapes, Images and Trajectories 2015*; British Machine Vision


Κεφ. 3
Παρατήρηση
σφάλματων
εκτίμησης
στάσης
Κεφ. 4
Παρατηρήσεις
ευαισθησίας λύσης
σε παραμέτρους
και θόρυβο
λόγω αντιστοιχίσεων
Κεφ. 5
Λύσεις εκτελούμενες
σε πραγματικό χρόνο
Κεφ. 6
Γενίκευση χρήσης
ερήμην χάρτη
16
14
12
10
8
6
−2
0
2
4
6
Κεφ. 7

Μετά το sm2 τι;

Ευθυγράμμιση sm2 δίχως αντιστοιχίσεις, υπό χρονικούς περιορισμούς

Πρόβλημα:

Κατασκευή h: sm2 χωρίς αντιστοιχίσεις, δεδομένων:

- Πραγματική σάρωση $\mathcal{S}_R(\boldsymbol{p})$: FOV $= 360°$ $\rightarrow \mathcal{S}_R(\boldsymbol{p})$
- Χάρτης $\boldsymbol{M}$ του περιβάλλοντος $\}\mathcal{S}_V(\hat{\boldsymbol{p}}_0)$
- Εκτίμηση $\hat{\boldsymbol{p}}(\hat{\boldsymbol{l}}, \hat{\theta})$
- Η εκτίμηση θέσης $\hat{\boldsymbol{l}} = (\hat{x}, \hat{y})$ είναι σε μία γειτονιά της $\boldsymbol{l} = (x, y)$ $\|\hat{\boldsymbol{l}}_0 - \boldsymbol{l}\| < \delta$

τέτοιας ώστε

(Σ1) $\hat{\boldsymbol{p}}' \leftarrow h(\mathcal{S}_R, \boldsymbol{M}, \hat{\boldsymbol{p}})$:

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

Εάν $\|\hat{\boldsymbol{l}}_N - \boldsymbol{l}\| \ll \delta$ τότε

$$\left.\begin{array}{l} \bullet\ \|\hat{\boldsymbol{l}}_{0:N} - \boldsymbol{l}\| < \delta \\ \bullet\ \mathcal{S}_V(\hat{\boldsymbol{p}}_0) \text{ τοπική προσέγγιση } \boldsymbol{M} \\ \quad \text{στη γειτονιά της } \boldsymbol{p},\ \forall \hat{\boldsymbol{p}}_i, i = 0, 1, \dots, N \end{array}\right\} \boldsymbol{M} \leftarrow \mathcal{S}_V(\hat{\boldsymbol{p}}_0) \quad \Rightarrow h \text{ λύνει } \texttt{sm;}$$

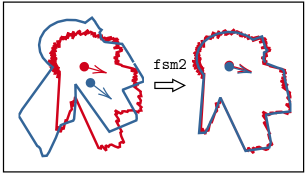
Βαρύτητα μετατροπής `fsm2` σε `fsm`

- `sm` ως μέσο `sm2` ⇒ λύση pose tracking & global localisation
- `sm` ως μέσο παραγωγής οδομετρίας μέσω lidar ⇒ απεξάρτηση από
  - Αποκλίνουσα οδομετρία τροχών / άκρων
  - Συνθήκες τριβής ως προς επιφάνεια επαφής
- Πρώτη μέθοδος `sm` χωρίς υπολογισμό αντιστοιχίσεων

Προκλήσεις μετατροπής fsm2 σε fsm

- $\mathcal{S}_V(\hat{\boldsymbol{p}}_0)$ ατελής προσέγγιση του χάρτη $\boldsymbol{M} \Rightarrow$ απαίτηση ευρωστίας σε "κενές αντιστοιχίσεις"

$\mathcal{S}_R(\boldsymbol{p})$

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

- $t^{\texttt{sm}}_{\text{exec}} \leq \dfrac{1.0}{20\ \text{Hz}} = 50\ \text{ms} \quad (\bar{t}^{\,\texttt{fsm2}}_{\text{exec,min}} = \bar{t}^{\,\texttt{fm}}_{\text{exec}} \simeq 100\ \text{ms})$