

PDRワークショップ2021「屋内測位と地理空間インテリジェンス」 2021.9.29@オンライン

若手企画セッション 屋内測位の正解値計測と評価方法の事例調査

小木曾里樹（産業技術総合研究所）

吉田拓人（名古屋大学）



TMI

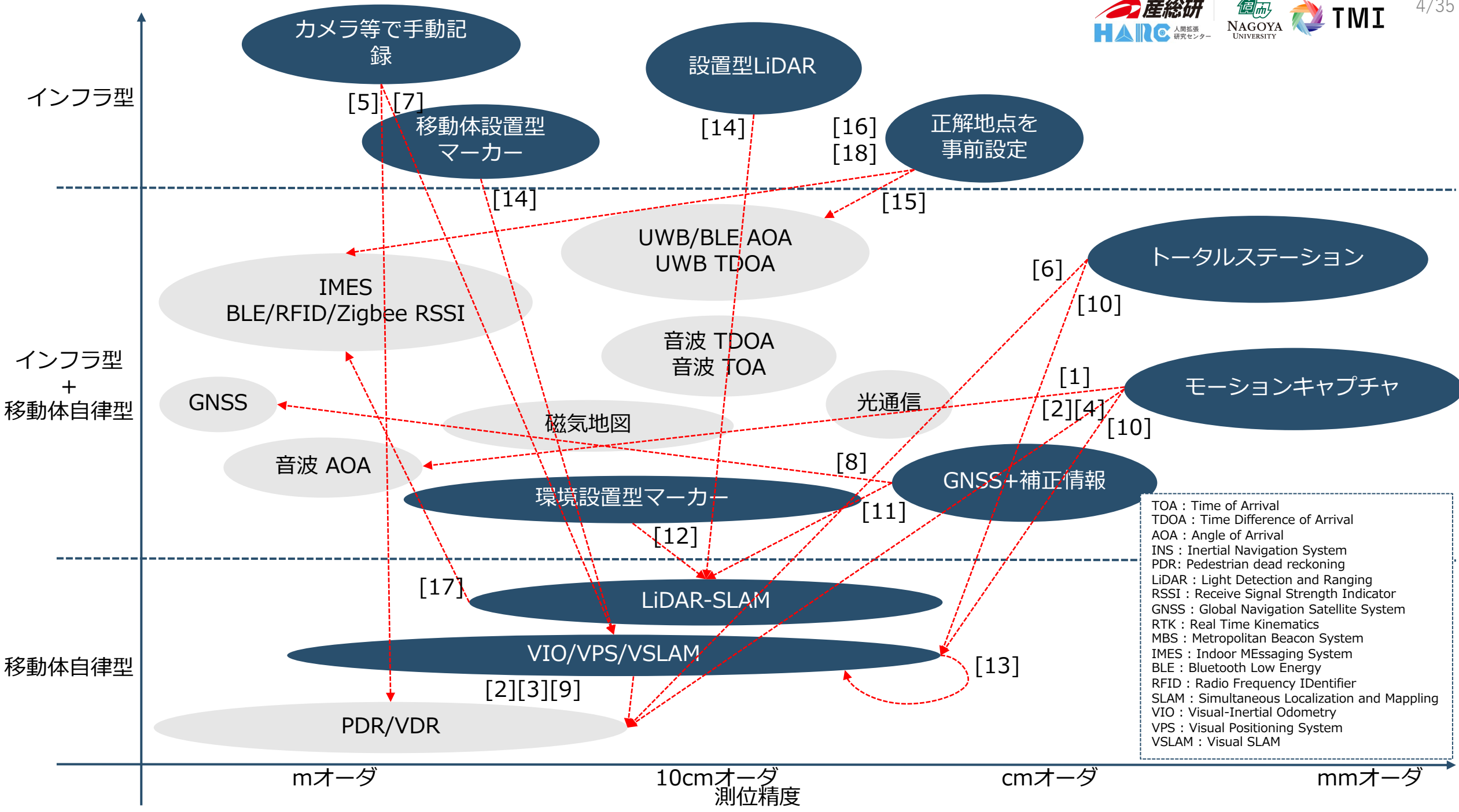
若手企画セッションの目的

- 測位システムを使う/研究開発する上で、どの程度正しく位置を推定できるか評価が必要
- 正解値計測方法についてまとまった資料はない
- これをまとめることで、測位システムに合った評価の参考に

- 本セッションでは以下の2点を対象に事例紹介
 - 正解値はどのように計測するのか
 - 正解値と測位結果の差はどのような指標で定量化するのか

正解値計測

- 測位を評価する上で，測位結果の正解値が必要
- どのような正解値計測法で，どの測位法を評価しているのか？
- 測位法/正解値計測法を技術マップとしてまとめ，個別事例を紹介



トータルステーション

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
機器を中心に 2~600m	~mm	3~20Hz	<ul style="list-style-type: none"> PDR^[7] VIO/SLAM^[11]

- 測量対象の距離を光波測距儀で、角度をセオドライトを用いて計測
- 距離と角度から測量対象の3次元位置を計算
- ✓ 広範囲を高い精度で測位
- × 遮蔽物がない環境に制限される

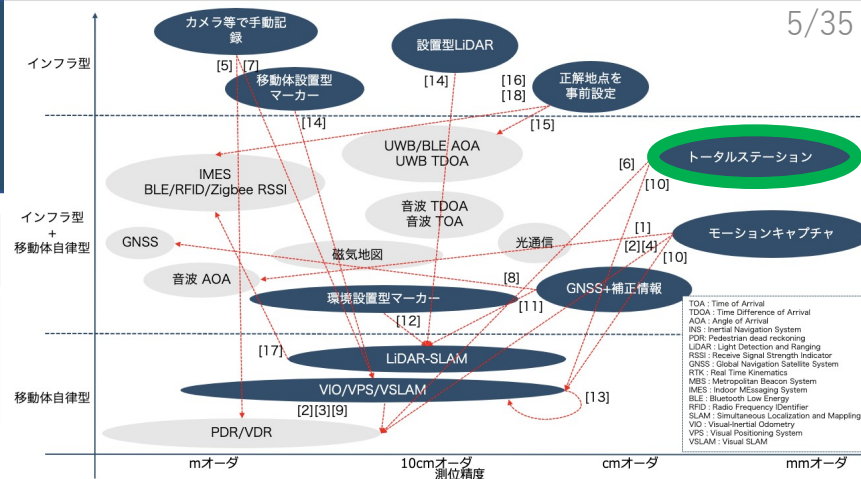


TOPCON GT1205^[7]



Leica Nova MS50^[10]

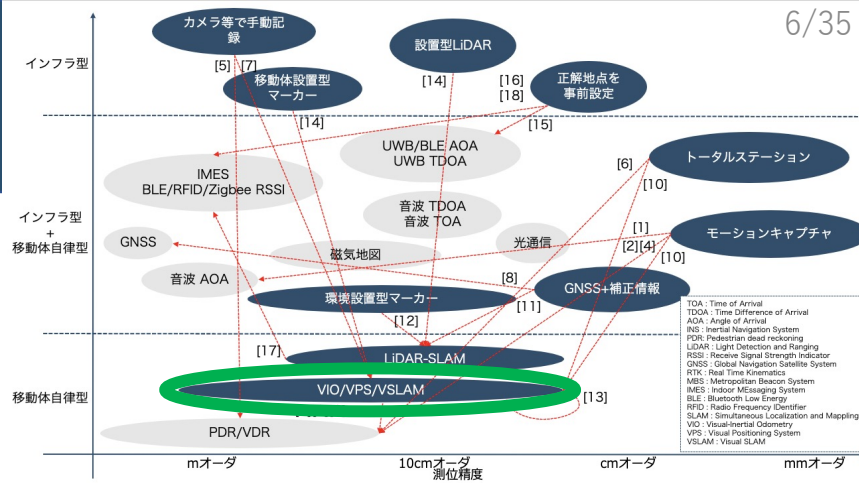
<http://www.kobeseiko.co.jp/product/MS50.html>



[6] 吉田 拓人, 浦野 健太, 青木 俊介, 米澤 拓郎, 河口 信夫, 加速度の時空間情報を考慮した進行方向推定手法の検討, DICOMO2021, 2021
 [10] Michael Burri, Janosch Nikolic, Pascal Gohl, Thomas Schneider, Joern Rehder, Sammy Omari, Markus W Achtelik, Roland Siegwart, The EuRoC micro aerial vehicle datasets, The International Journal of Robotics Research, 2016

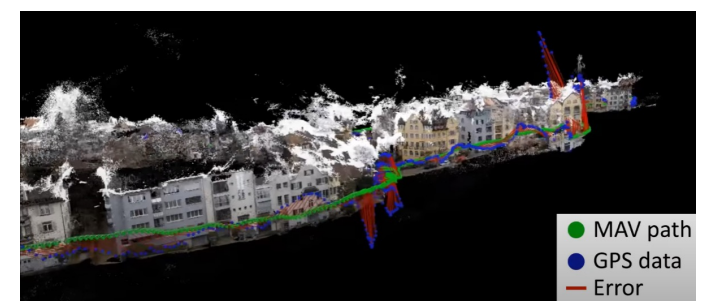
VIO/SLAM

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
<50m	10分間で誤差 0.3m 以下	<200Hz	<ul style="list-style-type: none"> • PDR[2][3][9] • VIO[13] • mono-VSLAM[13]



- カメラで撮影された映像 (+IMU) から3次元地図の作成とカメラの位置姿勢の推定行う
 - VIO : ローカル最適化、SLAM : グローバル最適化

- ✓ 多くの場合xDRより測位精度が高い
- ✓ 環境の影響を強く受ける



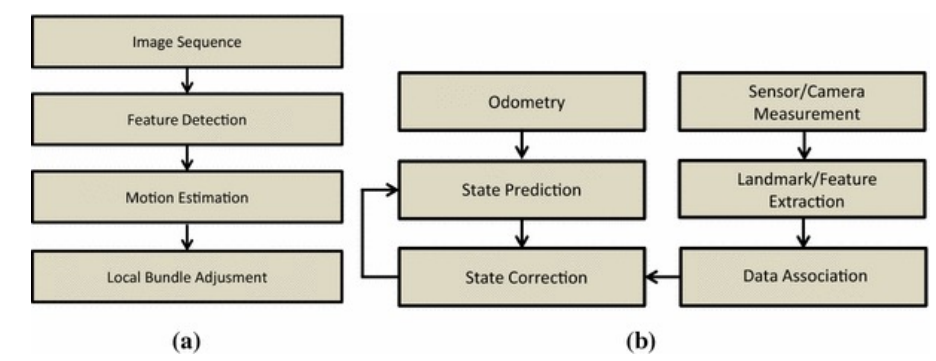
Pix4D[13]

<https://www.youtube.com/watch?v=7hTvWbxxmY0&t=5s>



Google Tango [3]

<https://ronin.cs.sfu.ca/>



VIO(a)とSLAM(b)のフロー

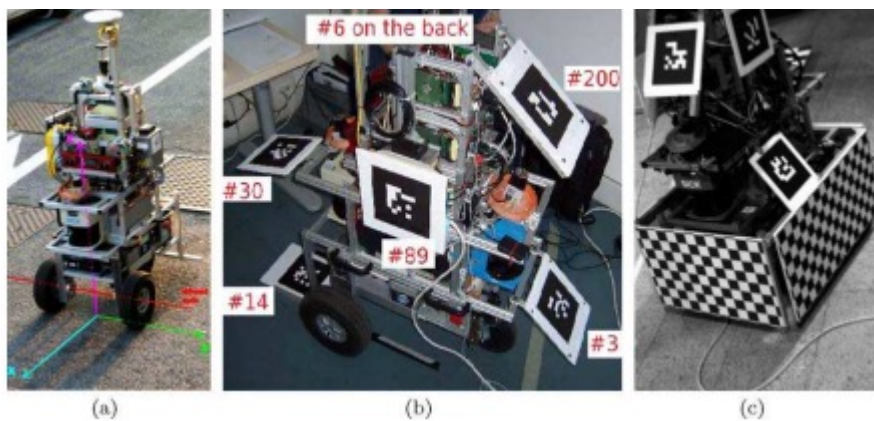
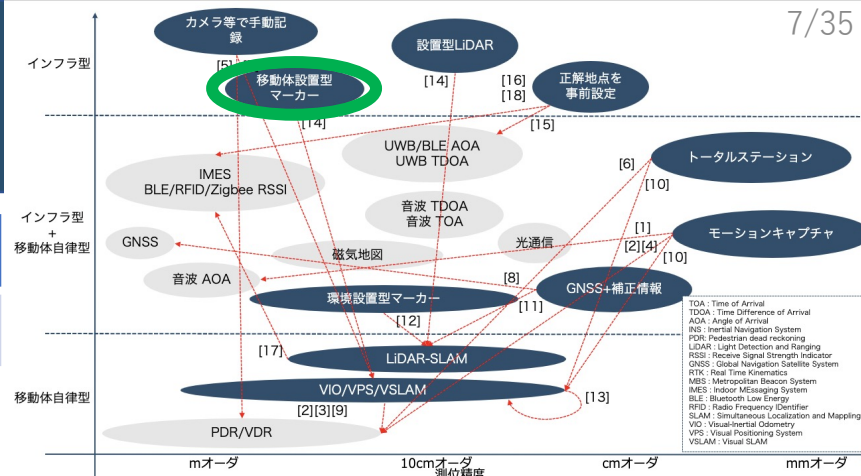
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40903-015-0032-7>

[2] Changhao Chen, Peijun Zhao, Chris Xiaoxuan Lu, Wei Wang, Andrew Markham, Niki Trigoni, OxIOD: The Dataset for Deep Inertial Odometry, arXiv, 2018
 [3] Hang Yan, Sachini Herath, Yasutaka Furukawa, RoNIN: Robust Neural Inertial Navigation in the Wild: Benchmark, Evaluations, and New Methods, arXiv, 2019
 [9] Nobuo Kawaguchi, Junto Nozaki, Takuto Yoshida, Kei Hiroi, Takuro Yonezawa, Katsuhiko Kaji, End-to-End Walking Speed Estimation Method for Smartphone PDR using DualCNN-LSTM, IPIN, 2019
 [13] Klemen Bregar, Mihael Mohor, Improving Indoor Localization Using Convolutional Neural Networks on Computationally Restricted Devices, IEEE Access, 2018

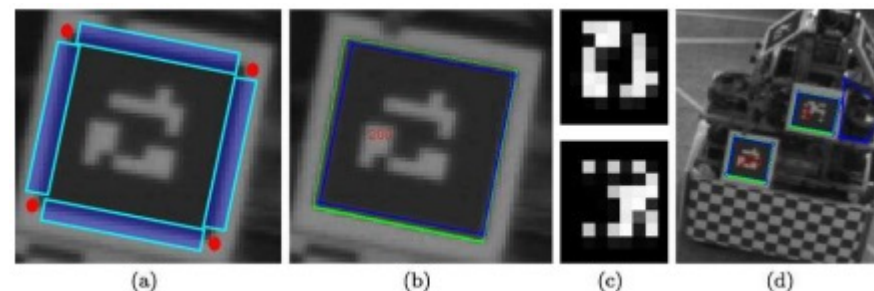
移動体設置型マーカ

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
<数十m	~dm	?	• VIO/SLAM[14]

- 測位対象に取り付けられたビジュアルマーカを環境側に設置した複数台のカメラで撮影
- 複数のカメラ映像から測位対象の位置姿勢を推定
- ✓ 測位結果が環境の影響を受けにくい
- × カメラのセットアップがハイコスト



移動体 (GTvision) [14]

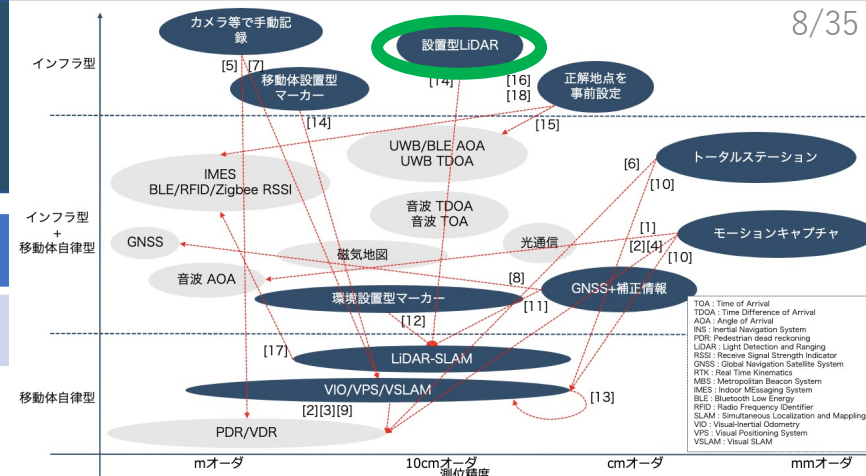


ビジュアルマーカの撮影 (GTvision) [14]

[14] Simone Ceriani, Giulio Fontana, Alessandro Giusti, Daniele Marzorati, Matteo Matteucci, Davide Migliore, Davide Rizzi, Domenico G. Sorrenti & Pierluigi Taddei, Rawseeds ground truth collection systems for indoor self-localization and mapping, Springer - Autonomous Robots, 2009

設置型LiDAR

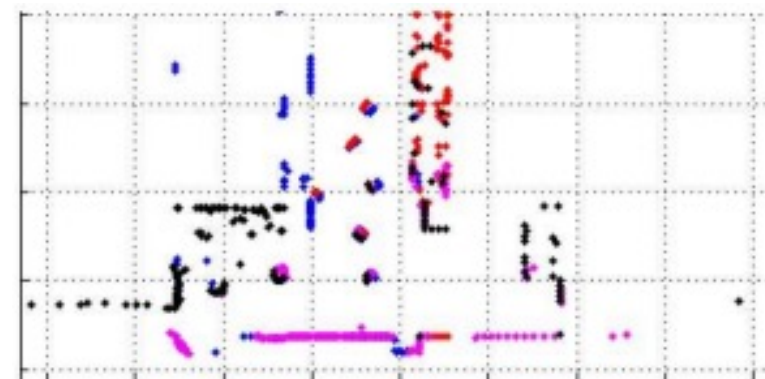
エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
<数十m	~cm	75Hz (LiDAR)	• LiDAR-SLAM[14]



- 複数のLiDARで環境と移動体の点群を収集
- 点群から環境方法を取り除き、移動体を測位
- ✓ 測位結果が環境の影響を受けにくい
- × 計測できるのは3軸自由度 (2次元位置+方向)



LiDAR (黒枠) が設置された部屋 (GTlaser) [14]



4つのLiDARによるスキャン結果 (GTlaser) [14]

[14] Simone Ceriani, Giulio Fontana, Alessandro Giusti, Daniele Marzorati, Matteo Matteucci, Davide Migliore, Davide Rizzi, Domenico G. Sorrenti & Pierluigi Taddei, Rawseeds ground truth collection systems for indoor self-localization and mapping, Springer - Autonomous Robots, 2009

LiDAR-SLAM

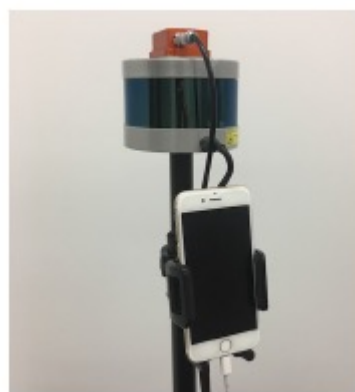
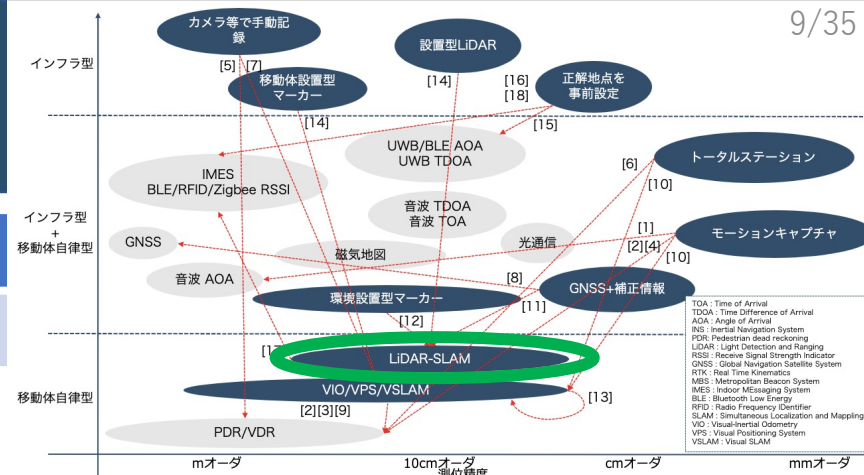
エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
屋内（建物1棟）	~cm	20Hz（LiDAR）	• BLE-RSSI [17]

- 測位対象とLiDARを移動させ、位置・姿勢を正解値とする
- 多くの場合、IMUも使用する（LiDARの縮退対策）

✓ 移動経路を比較的自由に設定可能

✓ 同時に2D/3Dの環境地図を作成

× 動き方/見え方によって位置座標・地図生成に失敗する場合（アルゴリズム依存）



LiDAR (VLP-16) + IMU (Mti-30) [19]

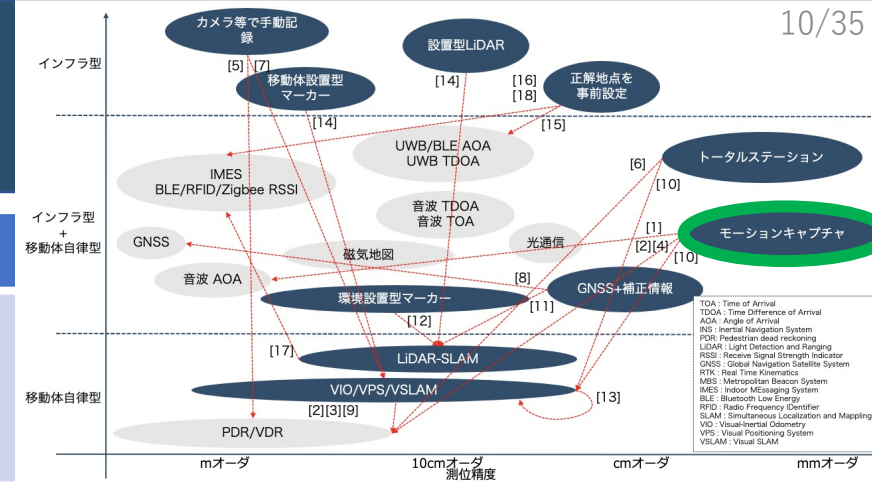


計測例[19]

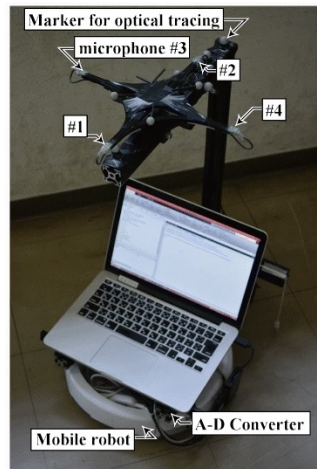
[17]M. Murata, D. Ahmetovic, D. Sato, H. Takagi, K. M. KitaniとC. Asakawa, 「Smartphone-based Indoor Localization for Blind Navigation across Building Complexes」, 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2018, 2018, pp. 1–10. doi: [10.1109/PERCOM.2018.8444593](https://doi.org/10.1109/PERCOM.2018.8444593).

モーションキャプチャ

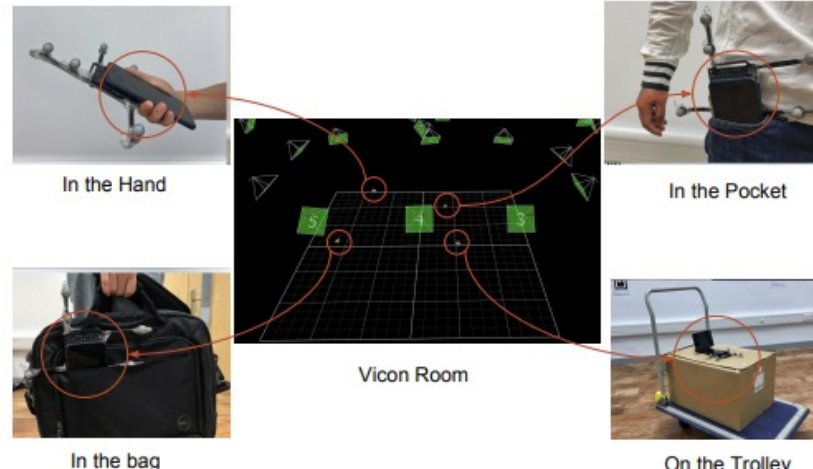
エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
建物内1部屋程度	~mm	~180Hz程度	<ul style="list-style-type: none"> 音波AoA [1] PDR/VDR [2][4] VIO/VSLAM[10]



- 計測対象にマーカ, 周囲にカメラを設置し, マーカの位置を計測.
- ✓ 高精度(mmオーダー)・高サンプリング周波数
- × 計測対象にマーカが必要/計測対象が見通し内である必要/反射物が少ない環境



移動体にマーカ装着[1]



携帯端末にマーカ装着[2]

[1]Satoshi Ogiso; Koichi Mizutani; Naoto Wakatsuki; Tadashi Ebihara Robust Indoor Localization in a Reverberant Environment Using Microphone Pairs and Asynchronous Acoustic Beacons, IEEE Access, 2019
 [2] Changhao Chen, Peijun Zhao, Chris Xiaoxuan Lu, Wei Wang, Andrew Markham, Niki Trigoni, OxiOD: The Dataset for Deep Inertial Odometry, arXiv, 2018
 [4] David Schubert, Thore Goll, Nikolaus Demmel, Vladyslav Usenko, Jörg Stückler, Daniel Cremers, The TUM VI Benchmark for Evaluating Visual-Inertial Odometry, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018
 [10]Michael Burri, Janosch Nikolic, Pascal Gohl, Thomas Schneider, Joern Rehder, Sammy Omari, Markus W Achtelik, Roland Siegwart, The EuRoC micro aerial vehicle datasets, The International Journal of Robotics Research, 2016

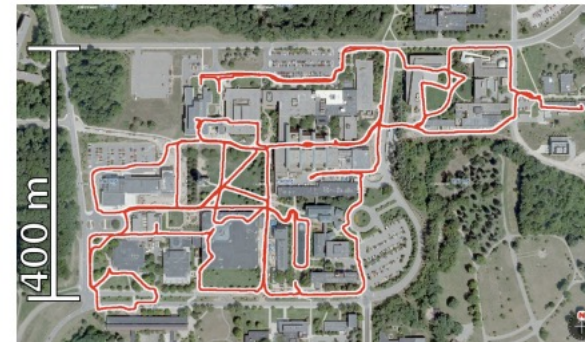
GNSS+補正情報

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
屋外エリア	~cm	75Hz (LiDAR)	<ul style="list-style-type: none"> GNSS[8] LiDAR-SLAM[11]

- GNSSを用いて位置計測 (~数m)
- より詳細に計測したい場合は補正情報を用いる
- ✓ 屋外の広範囲で計測可能
- × 要求精度により補正情報を得る手段が必須 (例|RTK : 基地局, SLAS/CLAS : 専用受信機)
- × 屋内の正解値は計測不可

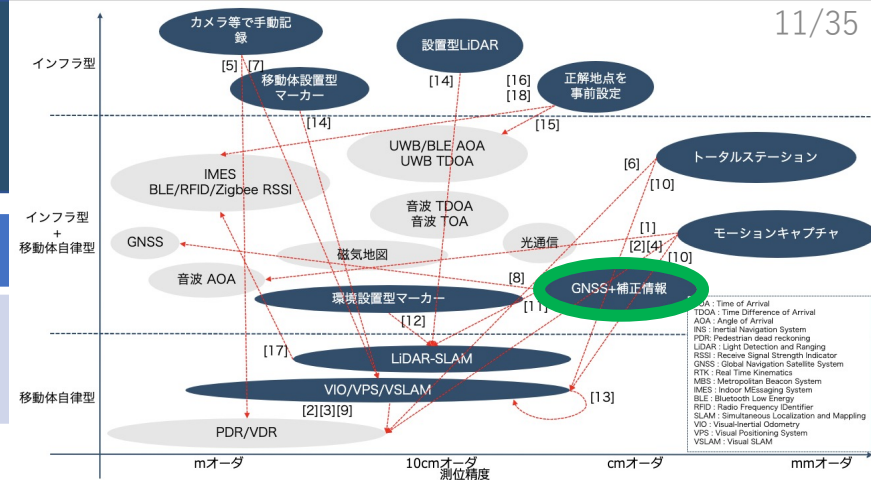


(a) Segway robot



(b) Sample trajectory

屋外での正解値計測(RTK GPS + LiDAR SLAM)[11]



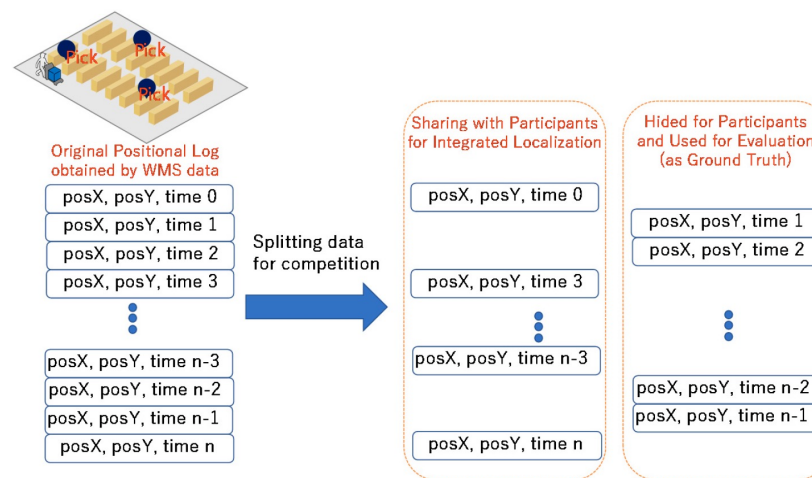
[8]Fu, Guoyu (Michael), Khider, Mohammed, van Diggelen, Frank, Android Raw GNSS Measurement Datasets for Precise Positioning, Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)), 2020

[11]Nicholas Carlevaris-Bianco, Arash K Ushani, Ryan M Eustice, University of Michigan North Campus long-term vision and lidar dataset, The International Journal of Robotics Research, 2016

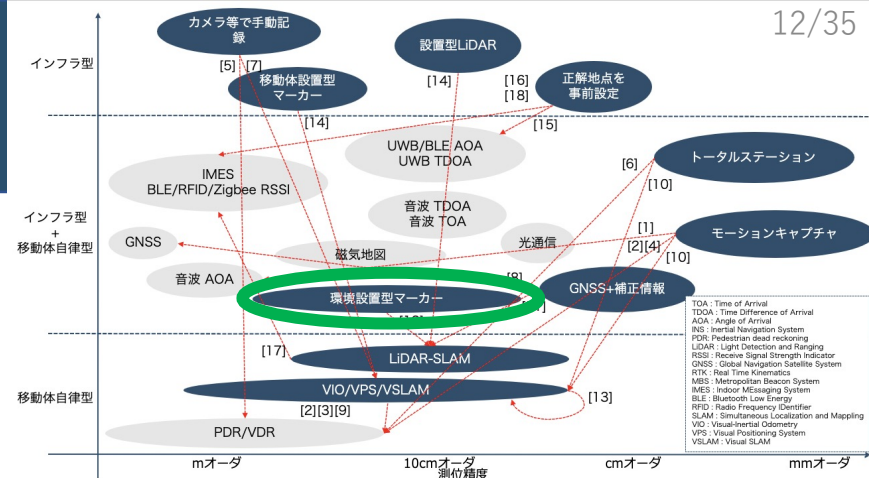
環境設置型マーカ

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
建物内など	~cm	-	• BLE, PDR [16]

- 対象となる環境中にマーカを設置し、読み取り装置（RFIDリーダ/カメラなど）でこれを読み取り位置/姿勢情報を得る
- ✓ 測位結果が環境の影響を受けにくい
- ✗ 環境中に多数マーカの設置が必須



WMS*読み取り時の位置情報を正解値とする[16]
 *Warehouse management system

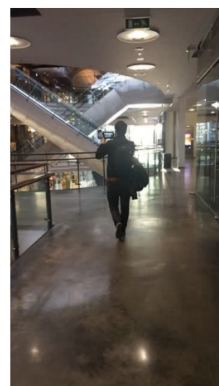
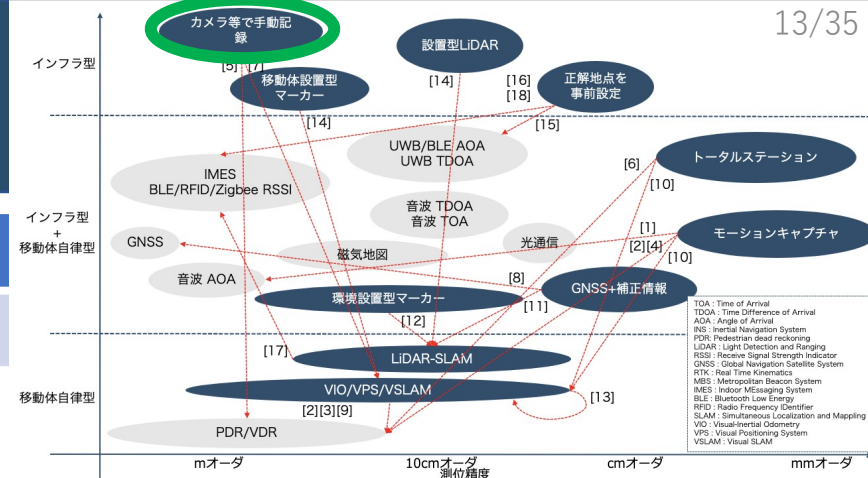


[16]Ryosuke Ichikari , Katsuhiko Kaji, Ryo Shimomura, Masakatsu Kouroggi, Takashi Okuma and Takeshi Kurata, "Off-Site Indoor Localization Competitions Based on Measured Data in a Warehouse" Sensors, vol.19, no.4, 763, 2019

カメラ等で手動記録

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
商業施設, オフィス等	~m	-	• VIO/VSLAM[5]

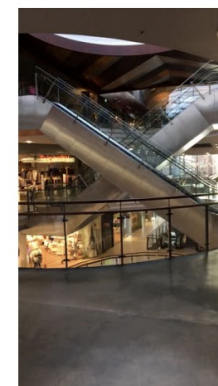
- 後ろからビデオレコーダを持って移動, ビデオカメラを設置など
- 記録映像を見ながら適当な時間間隔・位置間隔で正解値を記録
- ✓ 事前の機器設置なし, 対象者の拘束なしで正解値を計測可能
- × 作業者により正解値にばらつき
- × 特徴的な物が少ない場合, 正確な位置座標は計測不可 (広場など)



(a) Reference



(b) Tango (fisheye lens)



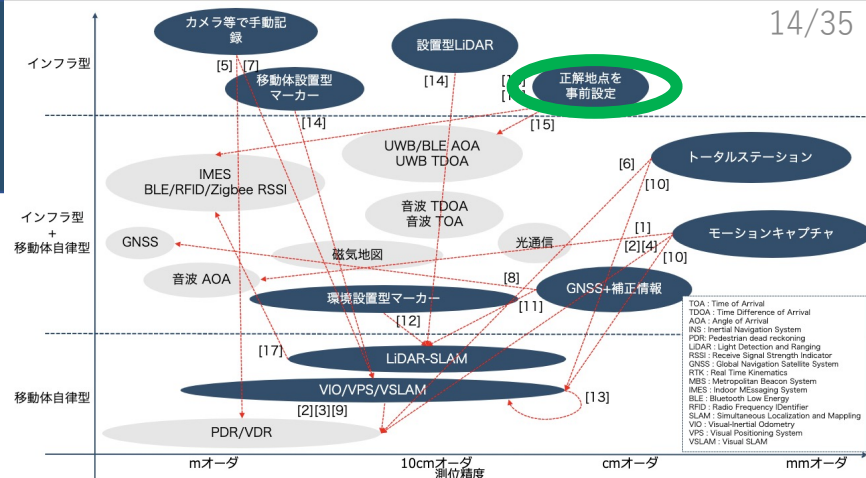
(c) iPhone

背後から撮影し(a)位置を記録[5]

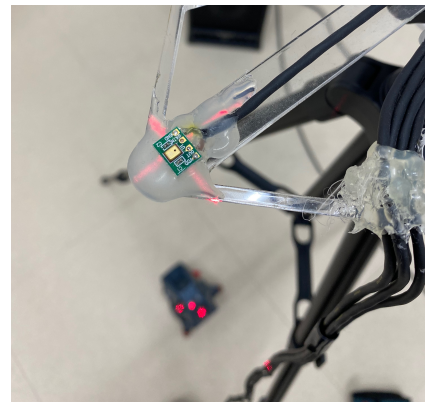
[5]Cortes, Santiago and Solin, Arno and Rahtu, Esa and Kannala, Juho ADVIO: An authentic dataset for visual-inertial odometry Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV) 2018

正解地点を事前設定

エリア規模	精度	周波数	評価対象の例
部屋, 倉庫1フロア等	~cm	-	<ul style="list-style-type: none"> UWB[15] RSSI[16][18] PDR[16]



- グリッド状などに区切って正解地点を決め, 各点で静止して計測
- 移動を評価したい場合, 事前に正解地点を決めておき, 通過時刻を記録
- ✓ 事前に正解地点を定めておけば特別な機材無く実験可能
- × 計画した位置以外では計測不可



事前に計画した位置に設置

[15]KLEMEN BREGAR AND MIHAEL MOHOR Improving Indoor Localization Using Convolutional Neural Networks on Computationally Restricted Devices IEEE Access 2018

[16]Ryosuke Ichikari, Katsuhiko Kaji, Ryo Shimomura, Masakatsu Kouroggi 1,

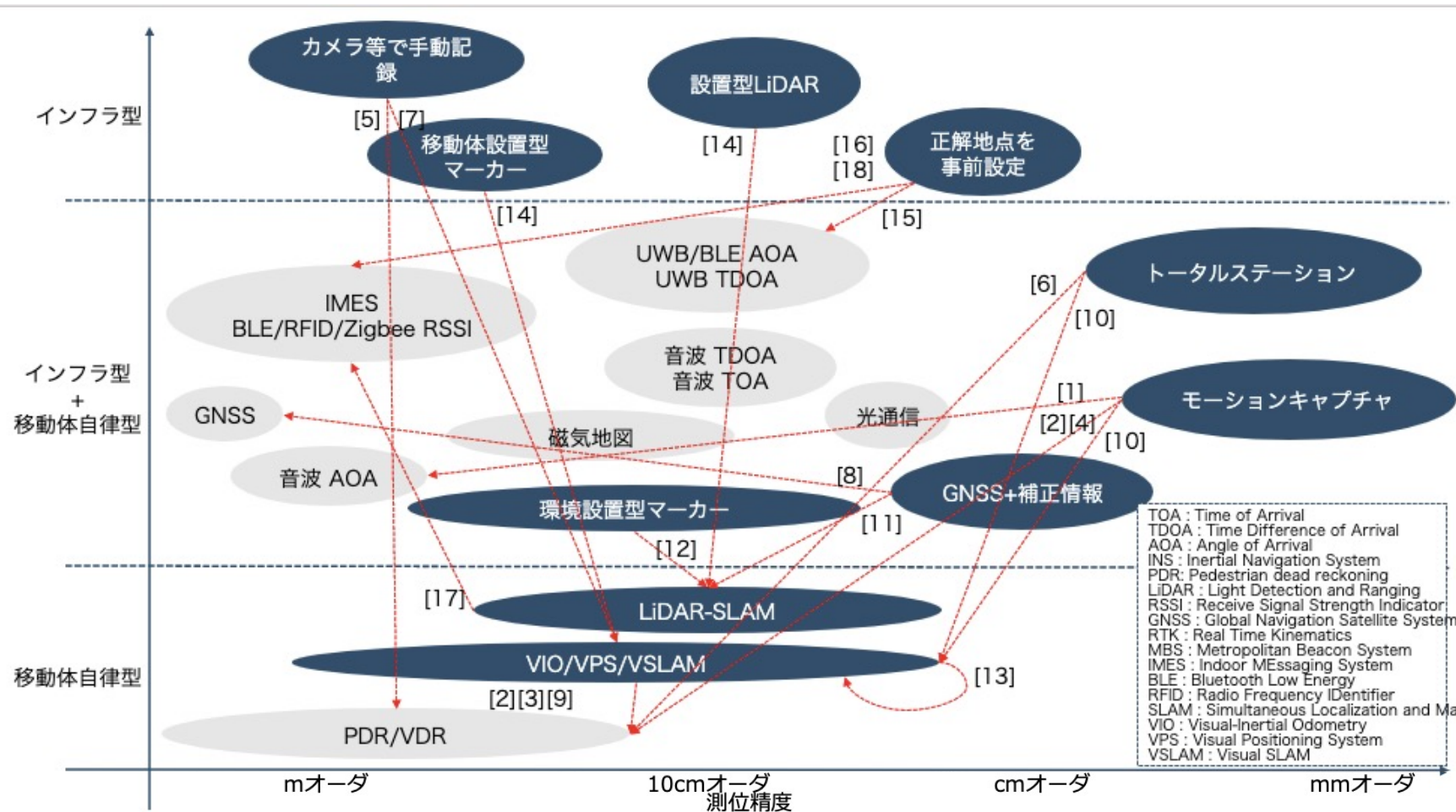
Takashi Okuma 1 and Takeshi Kurata Off-Site Indoor Localization Competitions Based on Measured Data in a Warehouse Sensors 2019

[18]H. Ketabalian, M. BigueshとA. Sheikhi, A Closed-Form Solution for Localization Based on RSS, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 56, no. 2, pp. 912–923, 2020,

測位精度評価の正解値

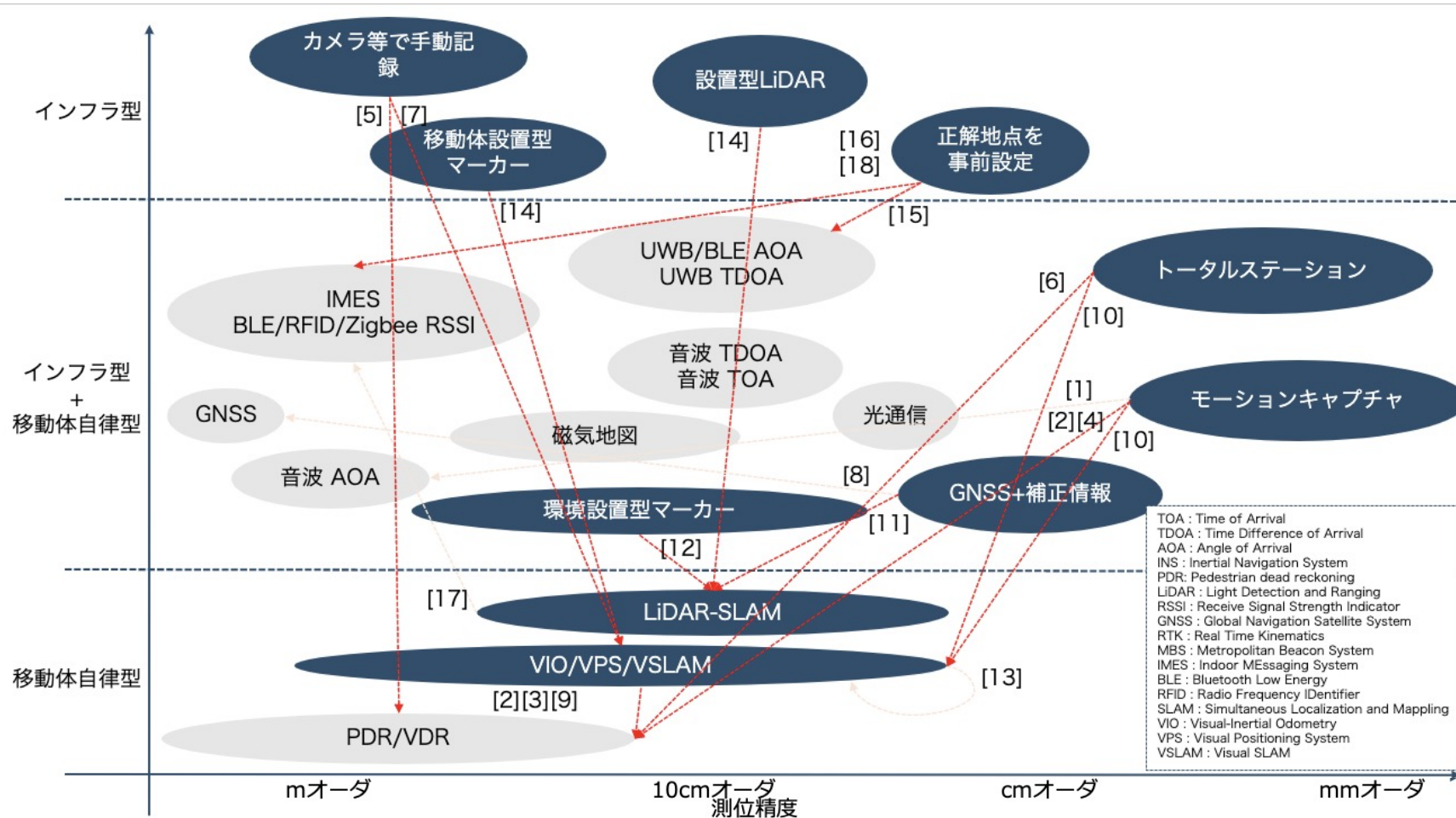
- 評価対象で期待される精度より十分に高い精度の測位法で評価。測位精度に焦点を当てた正解値計測

- 原則としてより高精度な測位法で評価（図の右から左への矢印）



測位頑健性評価の正解値

- 各手法特有の外乱に対する頑健性を評価するため、異なる種類の測位法を正解値として利用
- よりグローバルな情報を使う測位法（インフラ型）で評価するケースが多い（図の上から下への矢印）



評価指標

- 正解値と測位結果の差をどのように定量化するか
- 評価したい特性に合った評価方法が必要。

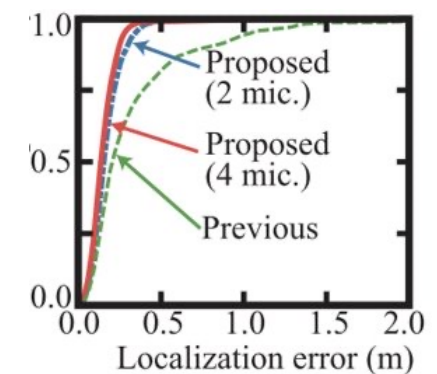
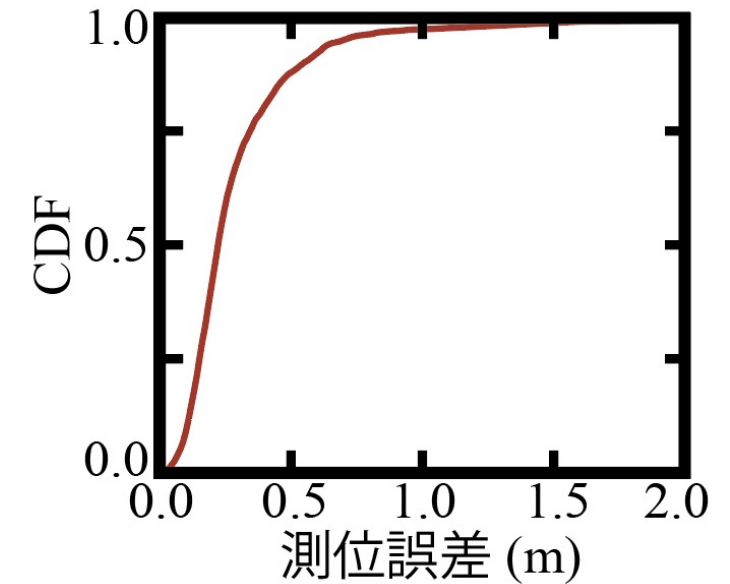
- 以下の分類で評価指標の事例を紹介
 - 絶対位置評価
 - • • 位置座標が正解値に近いか評価
 - 相対位置評価
 - • • 位置座標の相対値が正解値の相対値に近いか評価
 - シナリオ依存評価
 - • • 個別のシナリオを想定，それに合った指標を定義し評価

絶対位置評価

Cumulative Distribution Function (CDF)

- ・ 概要
 - ・ 測位誤差の生じる確率を評価する
- ・ 算出方法
 - ・ 真の座標 p
 - ・ 推定された座標 \hat{p}
 - ・ 測位の誤差 $e = \|\hat{p} - p\|_2$
 - ・ ある測位誤差が生じる確率 $P(e)$
 - ・ CDF : $F(x) = P(e \leq x)$
- ・ 特徴
 - ・ 誤差の大きさとその生じる割合を評価できるので、測位法の特徴を理解しやすい
 - ・ 確率密度関数での表現なので、良し悪しの判断には定性的な議論が必要

補足:実測した誤差で求めたCDFをとくにempirical CDF (eCDF)と呼ぶ



CDFをベースとする指標 (CE95, CEP)

- 概要
 - 全測位誤差のうちある値以下になる確率を評価する

Circular Error 95 (CE95)

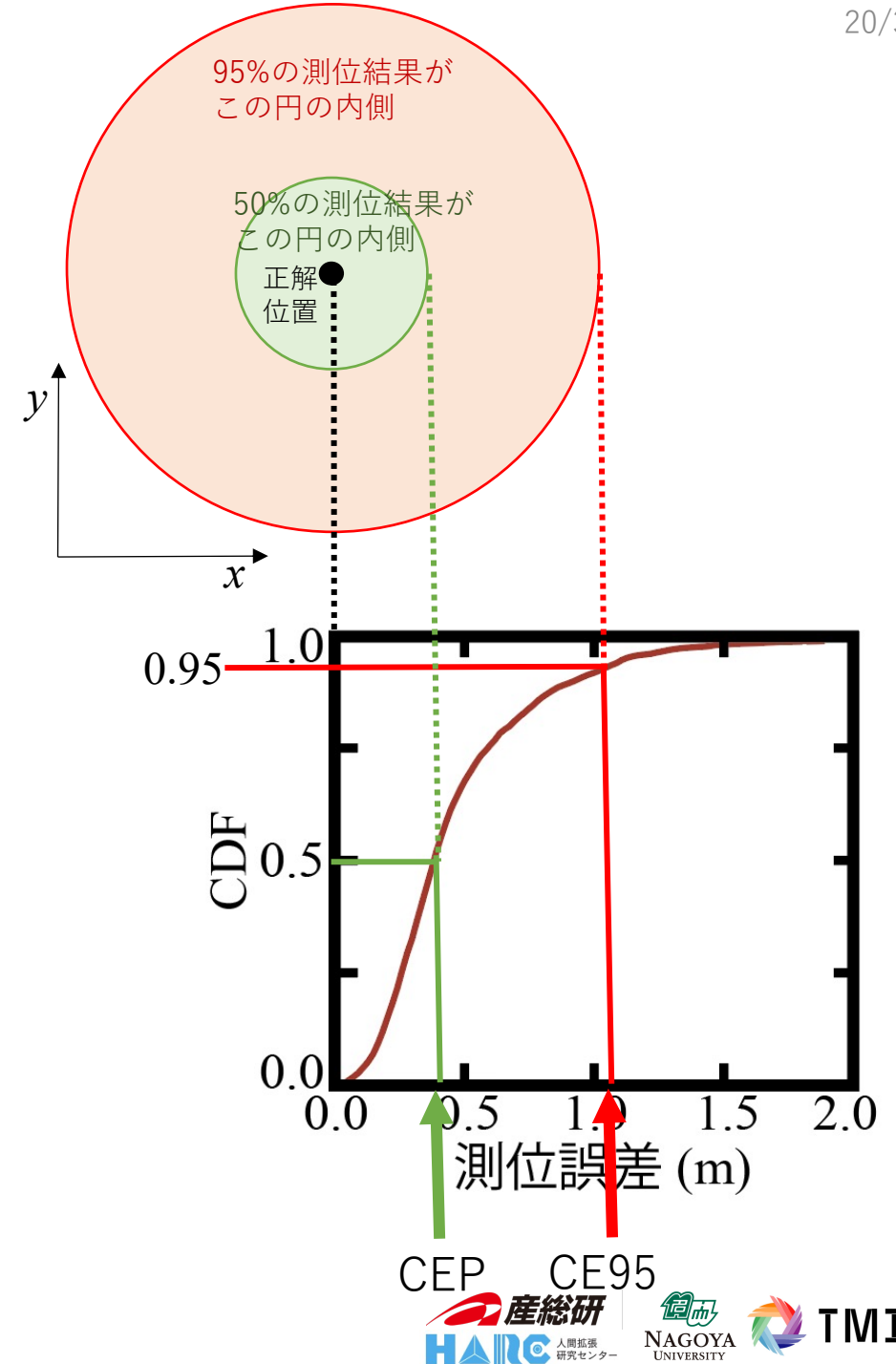
測位結果が2次元の場合、前項の測位誤差 $e = \|\hat{p} - p\|_2$ は Circular Error (CE) とよばれる。
測位誤差(CE)のうち95%がこれ以下になる値

Circular Error Probable (CEP)

測位誤差(CE)のうち50%がこれ以下になる値
中央値と同義

- 特徴
 - 評価したいケースによって必要な指標を選べる
 - CE95: 概ねこの誤差以内になると期待できる
 - CEP: 典型的な誤差の値. 大きくなる場合もある

このほかにもCE90などでの評価例も



Absolute Trajectory Error (ATE)

概要

- 推定軌跡全体をRMSEで評価する

算出方法

- p_i : 真値の座標
- \hat{p}_i : 推定座標
- I_{gt} : 真値のインデックス集合
- $T \in SE(3)$: 最適化された変換行列

$$ATE = \sqrt{\frac{1}{|I_{gt}|} \sum_{i \in I_{gt}} \|p_i - \hat{p}_i\|^2}$$

$$ATE = \min_{T \in SE(3)} \sqrt{\frac{1}{|I_{gt}|} \sum_{i \in I_{gt}} \|Tp_i - \hat{p}_i\|^2} \quad (\text{座標同期})$$

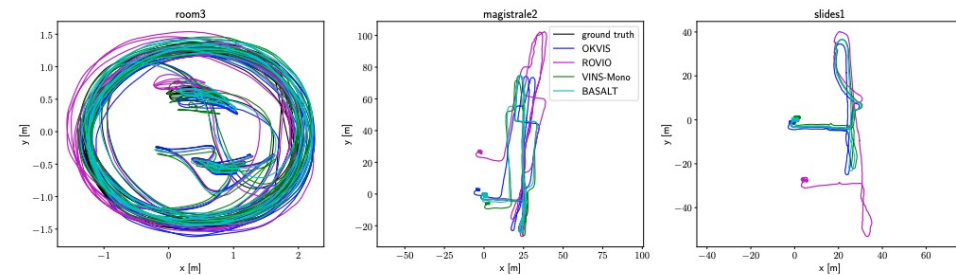
- 最適化の際は軌跡全体を使う必要はない[3]

事例紹介

- PDR[3]
- VIO[4][12]

特徴

- RMSEを採用しているため単位が評価対象と同じなので直感的にわかりやすい
- 不規則な移動や急激なドリフトが発生する軌跡（発散したシーケンス）においてはATEが急激に大きくなるためATEの結果は参考程度に留める必要がある



真ん中と右の経路の最終地点において誤差が数十mとなっているため ATEは参考程度となる [3]

Sequence	OKVIS	ROVIO	VINS	BASALT	length [m]
corridor1	0.33	0.47	0.63	0.34	305
corridor2	0.47	0.75	0.95	0.42	322
corridor3	0.57	0.85	1.56	0.35	300
corridor4	0.26	0.13	0.25	0.21	114
corridor5	0.39	2.09	0.77	0.37	270
magistrale1	3.49	4.52	2.19	1.20	918
magistrale2	2.73	13.43	3.11	1.11	561
magistrale3	1.22	14.80	0.40	0.74	566
magistrale4	0.77	39.73	5.12	1.58	688
magistrale5	1.62	3.47	0.85	0.60	458
magistrale6	3.91	X	2.29	3.23	771
outdoors1	X	101.95	74.96	255.04	2656
outdoors2	73.86	21.67	<u>133.46</u>	64.61	1601
outdoors3	32.38	26.10	<u>36.99</u>	38.26	1531
outdoors4	19.51	X	16.46	17.53	928
outdoors5	13.12	54.32	<u>130.63</u>	7.89	1168
outdoors6	96.51	149.14	<u>133.60</u>	65.50	2045

発散したATEの例[3]

- 下線** : 経路の末端で2m以上誤差のある
- X** : 経路の末端で1000m以上誤差のある

[3] Hang Yan, Sachini Herath, Yasutaka Furukawa, RoNIN: Robust Neural Inertial Navigation in the Wild: Benchmark, Evaluations, and New Methods, arXiv, 2019

[4] David Schubert, Thore Goll, Nikolaus Demmel, Vladyslav Usenko, Jörg Stückler, Daniel Cremers, The TUM VI Benchmark for Evaluating Visual-Inertial Odometry, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018

[5] Cortes, Santiago and Solin, Arno and Rahtu, Esa and Kannala, Juho ADVIO: An authentic dataset for visual-inertial odometry Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV) 2018

[12] Pfrommer, Bernd and Sanket, Nitin and Daniilidis, Kostas and Cleveland, Jonas, PennCOSYVIO: A challenging Visual Inertial Odometry benchmark, 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2017

相対位置評価

Path Independent Evaluation Metrics (PIEM)

概要

- 相対測位手法のための経路に依存しない評価指標
- 誤差の散布図から求めた最小二乗直線の傾きを評価指標として利用

算出方法

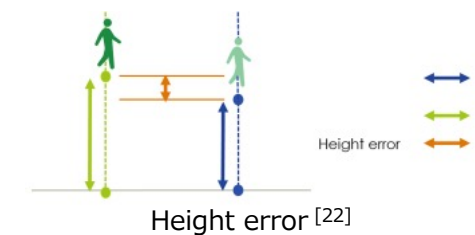
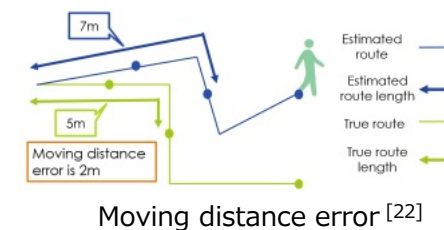
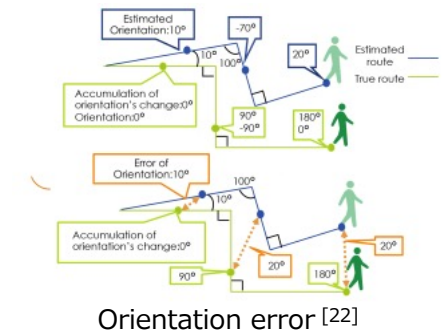
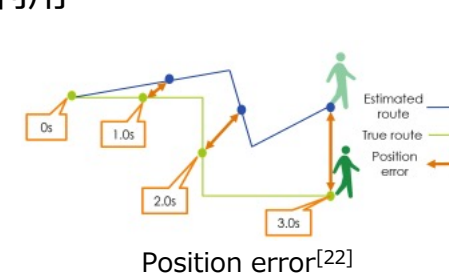
- Position error
 - 座標間の距離誤差[m]と時刻[秒]の散布図から求めた傾き
- Moving distance error
 - 移動距離誤差[m]と真値の移動距離[m]の散布図から求めた傾き
- Orientation error
 - 角度誤差[deg]と1秒あたりの真値の累積角度変化[deg]散布図から求めた傾き
- Height error
 - 高さ誤差[m]と真値の基準点からの高さ[m]の散布図から求めた傾き

事例紹介

- PDR^[9][22]

特徴

- 経路の複雑さ（距離、方向、高さ）を考慮
- PDRのような相対測位手法を評価するときに評価結果が経路に依存しにくい

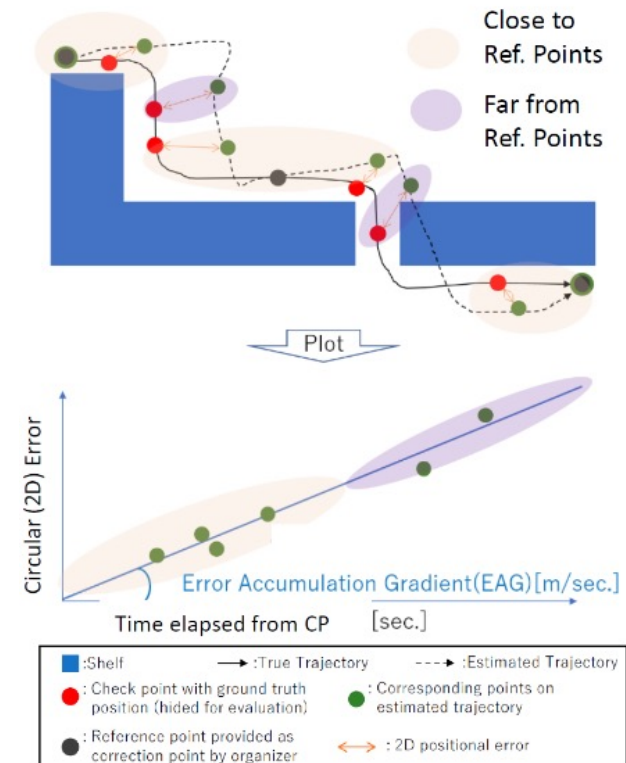


[9] Nobuo Kawaguchi, Junto Nozaki, Takuto Yoshida, Kei Hiroi, Takuro Yonezawa, Katsuhiko Kaji, End-to-End Walking Speed Estimation Method for Smartphone PDR using DualCNN-LSTM, IPIN, 2019

[22] Masaaki Abe, Katsuhiko Kaji, Kei Hiro, Nobuo Kawaguchi, PIEM: Path Independent Evaluation Metric for Relative Localization, 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016

Error Accumulation Gradient (EAG)

- 概要
 - PIEMのうちPosition error
- 事例紹介
 - PDR/VDR [20][23]
- 特徴
 - 相対測位手法の一定時間あたりの累積誤差を評価できる



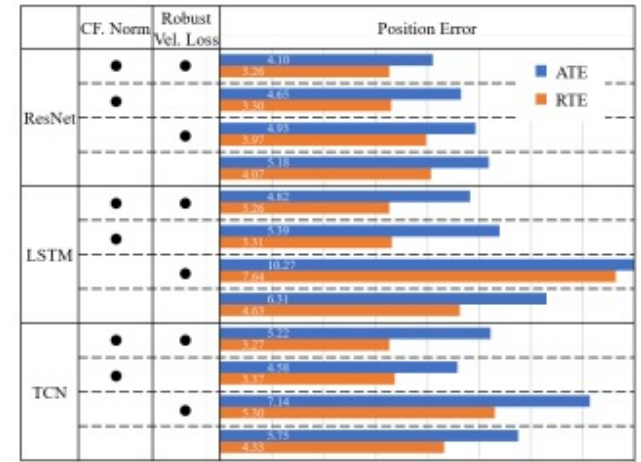
xDR-Challenge資料PDRBM.pdf

[20] Potorti et al. Off-line Evaluation of Indoor Positioning Systems in Different Scenarios: The Experiences from IPIN 2020 Competition, IEEE Sensors, 2021

[23] Ryosuke Ichikari, Katsuhiko Kaji, Ryo Shimomura, Masakatsu Kourogi, Takashi Okuma, Takeshi Kurata: Off-Site Indoor Localization Competitions Based on Measured Data in a Warehouse, Sensors, vol. 19, issue 4, article 763, 2019.

Relative Trajectory Error (RTE)

- 概要
 - 一定時間間隔における局所的な軌跡の精度を評価
 - 時間間隔：1分
- 算出方法
 - ATEの計算を1分間隔で行う^[3]
 - 最初の5秒分の軌跡データを使って座標同期を行う
- 事例紹介
 - PDR^[3]
- 特徴
 - 軌跡全体が長い場合、任意の時間間隔に分けてのRMSEを計算できる



ATEとRTEで評価した結果^[3]

[3] Hang Yan, Sachini Herath, Yasutaka Furukawa, RoNIN: Robust Neural Inertial Navigation in the Wild: Benchmark, Evaluations, and New Methods, arXiv, 2019

Relative Pose Error (RPE)

概要

- 一定時間間隔における局所的な軌跡の精度を評価
- 時間間隔：数秒

算出方法

- $\hat{P}_i \in SE(3)$ ：推定姿勢（多分、同次座標系？）
- $P_i \in SE(3)$ ：真値の姿勢
- $I_{gt,\Delta}$ ：短い時間間隔内の真値のインデックス集合
- $trans(\cdot)$ ：SE(3)を3次元並進ベクトルに変換する関数

$$RPE = \sqrt{\frac{1}{|I_{gt,\Delta}|} \sum_{i \in I_{gt,\Delta}} \|trans(E_i)\|^2}$$

$$E_i = (\hat{P}_i^{-1} \hat{P}_{i+\Delta})^{-1} (P_i^{-1} P_{i+\Delta})$$

事例紹介

- VIO [4]
- RGB-SLAM [21]

特徴

- 軌跡のドリフトを評価できる

Sequence	OKVIS	ROVIO	VINS
room1	0.013m / 0.43°	0.029m / 0.53°	0.015m / 0.44°
room2	0.015m / 0.62°	0.030m / 0.67°	0.017m / 0.63°
room3	0.012m / 0.63°	0.027m / 0.66°	0.023m / 0.63°
room4	0.012m / 0.57°	0.022m / 0.61°	0.015m / 0.41°
room5	0.012m / 0.47°	0.031m / 0.60°	0.026m / 0.47°
room6	0.012m / 0.49°	0.019m / 0.50°	0.014m / 0.44°

RPEによる評価結果($\Delta = 1$ 秒)[4]

ATEのように値が発散することなく

数cm単位の誤差（軌跡のドリフト）を評価できている

[4] David Schubert, Thore Goll, Nikolaus Demmel, Vladyslav Usenko, Jörg Stückler, Daniel Cremers, The TUM VI Benchmark for Evaluating Visual-Inertial Odometry, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018

[21] Jürgen Sturm, Nikolas Engelhard, Felix Endres, Wolfram Burgard, Daniel Cremers, A benchmark for the evaluation of RGB-D SLAM systems, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012

シナリオ依存評価

ピッキング時動作指数($E_{picking}$)

- ピッキング時の動作の自然さを判定
- ピッキング動作時は、静止しているはずだという前提
- ピッキング時の前後1.5秒の動きが合計1m以下だと止まっていると判定

【Metric for motions during picking work: E_p 】

Given, $Flag_i^p$ is assigned 1 when target stops and is assigned 0 when target does not stop at the i -th checking points.

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^{N_{pick}} Flag_i^p}{N_{pick}} \times 100$$

, where N_{pick} is the number of all checking points.

一刈, 霜村, 長江, 太田, 蔵田: "屋内測位コンペxDRChallenge," PDRBenchmark標準化委員会, 2020より抜粋

歩行者らしい移動速度指数(E_{velocity})

- ・人間らしい移動速度は1.5m/sec.であるとの前提のもと、全軌跡の各時刻の移動速度を算出して、1.5m/sec.以下かを判定

【Metric for naturalness of travel speed : E_v 】

Given, $Flag_i^v$ is assigned 0 when target moves faster than the threshold 1.5 m/sec and is assigned 1 when it is below the threshold at the i -th frame in the trajectory's frames.

$$E_v = \frac{\sum_{i=1}^{N_{traj_frame}} Flag_i^v}{N_{traj_frame}} \times 100$$

, where N_{traj_frame} is the number of total frames of the trajectory.

一刈, 霜村, 長江, 太田, 蔵田: "屋内測位コンペxDRChallenge," PDRBenchmark標準化委員会, 2020より抜粋

障害物衝突指数(E_{obstacle})

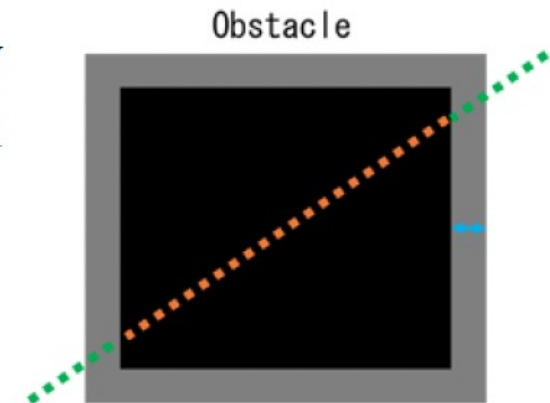
- 理想的な軌跡は，侵入負荷エリアに侵入することはないはずという前提で，軌跡の各画素が属するエリアを判定
- 些細な，侵入負荷エリアの侵入による減点をさけるため，0.17mの猶予エリアを侵入禁止エリアの境界に定義

【Metric for collision with obstacles: E_o 】

Given, $Flag_i^o$ is assigned 1 when target pixel on the trajectory is not in obstacle areas, and is assigned 0 when the target pixel is in the obstacle areas at the i -th pixels in the trajectory.

$$E_o = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{traj_pixel}}} Flag_i^o}{N_{\text{traj_pixel}}} \times 100$$

,where the total number of pixels in trajectory is $N_{\text{traj_pixel}}$.



周波数指数($E_{\text{frequency}}$)

- 理想的な軌跡は一定以上の頻度で提出されるとの前提
⇒最低でも1Hzで提出しなければ減点
- 精度（確信度）の高い点だけを低周期に提出されることへの対策としての位置づけ（減点する）
- 各提出された軌跡のフレームの前提出結果からの時間より局所的な周波数を算出

【Metric for position measurement output frequency : E_f 】

Given, $Flag_i^f$ is assigned 1 when the temporal frequency is more than 1Hz and assigns 0 when the frequency is less than 1Hz at the i -th frames in the submitted trajectory.

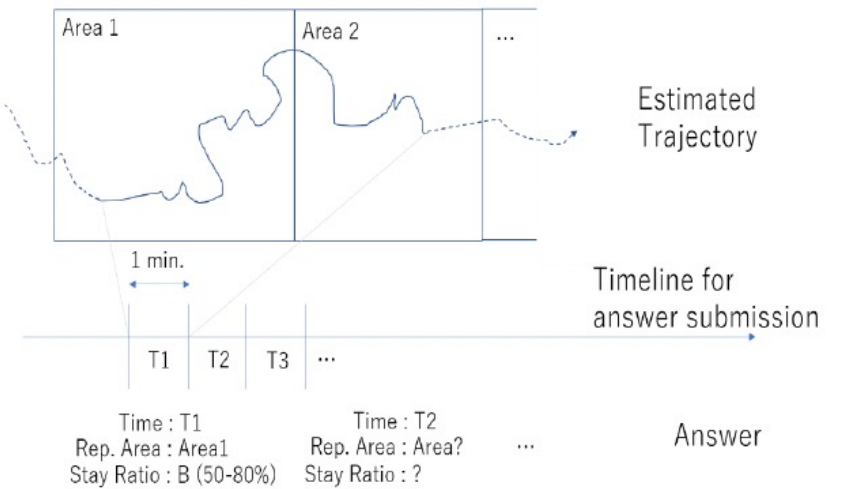
$$E_f = \frac{\sum_{i=1}^{N_{traj_frame}} Flag_i^f}{N_{traj_frame}} \times 100$$

一刈, 霜村, 長江, 太田, 蔵田: "屋内測位コンペxDRChallenge," PDRBenchmark標準化委員会, 2020より抜粋

滞在エリア指標($E_{\text{staying_area}}$)

滞在エリアの正しさを測る指標

- 1分に1回滞在エリアを回答させ、正解値と比較して評価
- 1分のうちに回答エリアにいたかエリア滞在率も評価 (A:80%以上, B:50-80%, C:50%以下)



【 $E_{\text{staying_area}}$ の求め方】

$Area_EV_i$ は1分ごとの評価 :

- 1 (滞在エリアとエリア滞在率が両方正解)
- 0.75 (滞在エリアだけ正解)
- 0.25 (エリア滞在率だけ正解)
- 0 (両方間違い)

$$E_{\text{staying_area}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{time_slots}}} Area_EV_i}{N_{\text{time_slots}}} \times 100,$$

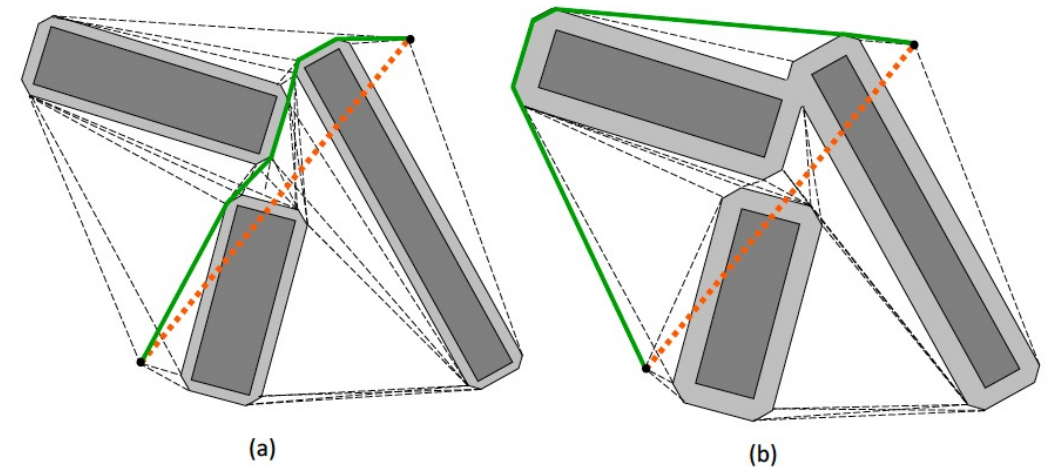
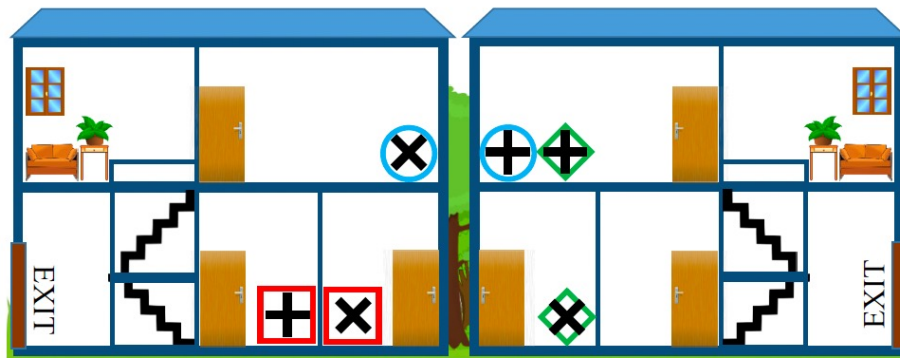
ここで, $N_{\text{time_slots}}$ は, 評価区間(1分毎)の数



一刈, 霜村, 長江, 太田, 蔵田: "屋内測位コンペxDRChallenge," PDRBenchmark標準化委員会, 2020より抜粋

地図制約を入れた最短距離^[24]

- 概要
 - ユークリッド距離ではなく、地点間を移動する最短距離を誤差とする
 - 建物内の移動を想定した時、実際の移動距離に対応
- 算出方法
 - 地図上の移動可能領域で2地点を結ぶ最短パスを計算
- 事例紹介
 - 2次元測位+階層の違い
- 特徴
 - 地図情報を積極的に用いて、建物での誤差の影響を評価



[24] German M. Mendoza-Silva, Joaquín Torres-Sospedra, Joaquín Huerta, A More Realistic Error Distance Calculation for Indoor Positioning Systems Accuracy Evaluation, 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2017

正解値計測～評価の課題

- 論文にも不記載のノウハウがある
 - 時刻・座標同期
 - e.g. 歩行者(1m/s)で1秒ずれると1mの誤差
 - NTPなどでの同期例はあるものの、多くは不記載
 - 初期位置・姿勢の計測方法
- 評価指標自体の課題
 - 姿勢の評価指標
 - 測位の文脈では位置と姿勢を推定しても、位置のみの評価が多い
(アプリケーションとして不要?)
 - 測位結果の確率分布(事後分布)の評価
 - 経路非依存の誤差評価

まとめ

- 目的：正解値計測法と評価指標の事例紹介
- 正解値計測法は概ね2通り
 - 測位精度評価の正解値
 - 測位頑健性評価の正解値
- 評価指標
 - 絶対位置評価型
 - 相対位置評価型
 - シナリオ依存型
- 事例から見える評価指標の課題
 - 論文にも不記載のノウハウがある（時刻・座標同期，初期位置など）
 - 評価指標自体の課題
（姿勢の評価指標，事後分布の評価，経路非依存の評価）