

# Visual SLAM に基づく室内での移動と手の誘導への支援

梁 梓龍<sup>§</sup> 宍戸 英彦<sup>†</sup> 北原 格<sup>†</sup> 亀田 能成<sup>†</sup>

<sup>†</sup> <sup>§</sup> 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: §liang.zilong@image.iit.tsukuba.ac.jp, †{shishido,kitahara}@ccs.tsukuba.ac.jp,  
 †kameda@iit.tsukuba.ac.jp

**あらまし** 本研究では、室内移動の誘導と作業に伴う手の誘導を Visual SLAM に基づいて精度よくリアルタイムに支援する方法を提案する。この支援のために、スマートフォンベースの技術で3次元空間中の一部を個別に登録し検索できる Azure Spatial Anchor を、移動経路と作業対象に適切に設置する。Azure Spatial Anchor の登録と検索は Visual SLAM 技術に基づいている。実験を行って、室内程度の経路までであれば、手の大きさ程度の精度で目的とする作業対象までリアルタイムに誘導できることを確認した。これにより、小規模屋内空間であれば、移動から始まり作業対象に手をかけるところまでを誘導できることになる。

**キーワード** Azure Spatial Anchors, マーカーレス AR, 経路誘導, 室内ナビゲーション, 作業支援

## 1. はじめに

人が歩いているときの誘導として、屋外では GNSS(Global Navigation Satellite System)に基づくサービスがすでに実用化されている。日本国内では準天頂衛星の運用開始により、屋外において更に高い精度でのサービスが期待されている。

屋内での移動やそこでの作業については、屋外より細かいレベルでの誘導が必要になることが多い。例えば、日常生活において、建物の中を通り抜けて、ある部屋にあるプリンタのボタンまで到達することや、建物に入って手洗いをするために洗面台の栓まで到達することなどを考える。こうした誘導では、人の移動を誘導するだけではなく、最終的には手の大きさの精度の空間的誘導が必要となる。こうした作業がどこでも生じうることを考えると、作業環境に空間的位置推定のための設備が備わっていることを常に期待することは難しい。

本研究では、誘導すべき経路に沿って屋内の小規模な三次元空間内に関心地点を連続して敷設することで、移動と手の誘導が可能な方法を示す。Microsoft 社の Azure Spatial Anchors を使い、適切に間隔を空けて関心地点を登録していくことで、Google Pixel3 モバイル機器で手の大きさに相当する誘導が可能であることを、実験を通して確かめた。

こうした手のひら大の誘導が至る所で可能になれば、作業指示や作業連携の高精度化と効率化が図れる。また、将来的には、視覚障がい者などに対して、単に行先の部屋の指示だけではなく、その室内に入るためのドアノブの位置や、その部屋の中にある機器のパネルの位置まで対象者の手を誘導していくことも十分可能になる。

## 2. 関連研究

### 2.1. 屋内測位技術

室内での移動のナビゲーションにおいて自己位置推定は重要な基礎技術である。GPS を用いれば屋外では2メートル以下の精度[3]で位置推定情報を取得できるとされる。一方で、室内や地下では衛星の電波が届かないことから、他の方法が求められている。

Kurata らは、3つの測位精度と3種の必要機器に大別して、屋内測位技術を概観している[14]。図1はその図示である。機器側から見れば、インフラ設置型、送受信機ペア型、移動体搭載型に分けられる。

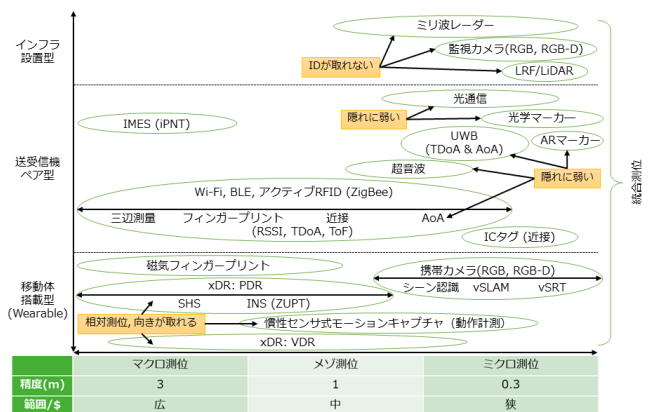


図1: 屋内測位技術マップ [14]

インフラ設置型としては、ミリ波レーダー(5G)を用いる手法[6]、LRF/LiDARを用いる手法[7]などが挙げられる。精度が高いが、コストも高くなる傾向がある。

送受信機ペア型として、代表的ものは RFID を用い

る手法[4], Wi-Fi の信号強度を用いる手法[5]などがある。歩行したいと思う範囲すべてで利用可能にするためには, [4]では RFID タグをその範囲に設置して回る必要があり, コストが高くなる。Wi-Fi の信号強度を用いる手法[5]では, ホットスポットやアクセスポイントから信号が届く範囲での利用に限られる。これらの手法は信号が届く範囲では精度と頑健性とを両立できるが, 街にある建物内全てでこうした設備があるとまでは期待できない。

これらに対して, 移動体搭載型としては, 屋内でカメラを用いて自己位置推定と地図作成を同時に行う Visual SLAM についての研究[8][9]が進められている。精度よくかつ高速に位置推定を行えるだけの技術革新が近年急速に進んでいる。

## 2.2. 手の誘導への支援

Visual SLAM の技術革新に伴い, ARCore や ARKit に代表されるような, スマートフォンで実行できるリアルタイムかつ高精度の AR 技術が実現されてきている。このような ARCore と ARKit などを利用する屋内ナビゲーションの研究[1][2]も進められている。こうした技術では, AR 実現を想定しているため, カメラの位置推定精度は高い。一方で, 誘導を想定する目的とはしていないため, 手の誘導への活用は限定的なものとなる。

手の誘導への応用可能な技術として, 拡張現実技術と触覚提示を用いたターゲットまでの誘導が考えられる。作業現場にて AR マーカなどを設置したり, 様々なセンサから対象の位置情報を認識したりすることにより実現される[10]。

視覚障がい者に対して, Zientara らはスマートグラスと触覚提示手袋に設置したカメラから物体認識により商品を特定し, 手に着用した触覚提示手袋の振動刺激により, 目的の商品を手にするまで誘導システムを提案している[15]。室内の物体配置に着目したアプローチとしては無人店舗の Amazon Go なども挙げられるが, 商品までの誘導はサービスの主眼になっていない。

## 3. 関心地点の連続登録による誘導

Microsoft 社の Azure Spatial Anchors プラットフォーム[13]は, AR コンテンツを複数ユーザと共有できるクラウドサービスである。簡単な概念としては以下の通りである。

まず, 空間中の特定地点の 3D 点群を事前にクラウド上でデータ登録しておく。この 3D 点群の獲得にはモバイルデバイスのカメラを用いる。あるユーザがその同じ空間で 3D 点群を獲得したとして, それをもってクラウド上の 3D 点群と照合し, 合致する部分があ

ればそれに付随した登録データを得る(図 2)。

アンカー(Anchor)とは, 複数のユーザが同じ物理的な場所にデジタルコンテンツを配置できるようにするための共通座標系であり, バーチャルランドマークとしての役割がある。さまざまなデバイスで, 環境を基準に同じ位置と向きでコンテンツを表示できる。

目的地の周辺にアンカーを配置し, 物理的な目的地に結び付けることで, ユーザは必要な場所で必要ときにデータを取得できる。

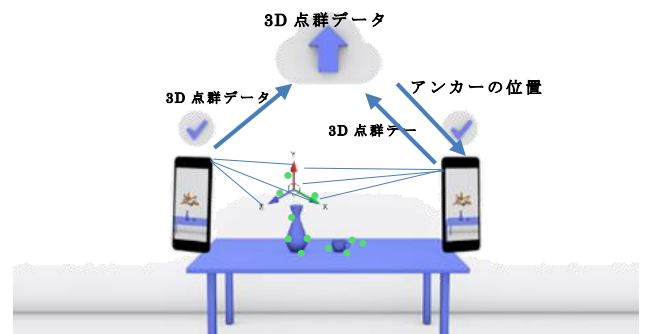


図 2 Azure Spatial Anchors の概念

## 4. システムの試作と検証

Azure Spatial Anchors を用いた, 移動と手の誘導を行えるシステムを Android OS 上で試作した。作成したアプリを Pixel3(OS:Android 10, CPU:Snapdragon845, GPU:Adreno 630, RAM:4GB) にインストールし動作させた。

### 4.1. 室内での実験

日常生活のよくあるシーンを想定して, 廊下のある地点から, プリンタが置いてある部屋に入り, そのプリンタ上端のパネルまでを誘導するシナリオを用意した。実験は筑波大学内の建物 3L 棟 5 階で行った。図 3 左に開始地点から見た廊下, 図 3 右に廊下から室内に入ったあとのプリンタまでの室内の様子を示す。赤線が想定する移動経路である。開始地点は靴を履き替える場所になっている。

関心地点の設置は, 到達目標から開始地点に向かって順に行う。1つの関心地点の設置のためには, その周囲を含めた区域で, 平面上に広がった 3D 点群を獲得する必要がある。これはモバイルデバイスのカメラを対象部分空間に対してある程度動かしながら撮影することで可能になる(図 4)。プリンタ上端のパネルに 1 番目の関心地点を登録する。そこからおよそ 1 メートルおきに関心地点を床に設置し登録していく。登録を終えた 15 個の連続する関心地点を図 5 に示す。上段左から右へ関心地点が連続して登録されており, 続いて中段, そのあとさらに下段となる。関心地点 1 つつまり目標地点のみ, AR 表示では球体とし, 経路上の

他の関心地点は立方体で表現している．15 個の関心地点それぞれに固有の ID をつける．

登録が全て済んだあと，開始地点の廊下から，誘導実験を開始する．関心地点を探し当てた結果を図 6 に示す．検索して得られた関心地点の AR 提示は黄色の仮想物体で示されている．図 5 と対応させるため，開始地点からの関心地点の認識結果は，下段右からはじまり左へ，次いで中段，最後に上段と並べてある．図 6 左上の関心地点 1 を図 5 のそれと比べると，ほぼ同じ位置を示していることがわかる．



図 3 廊下からプリンタまでのシーン



図 6 移動と誘導の実行

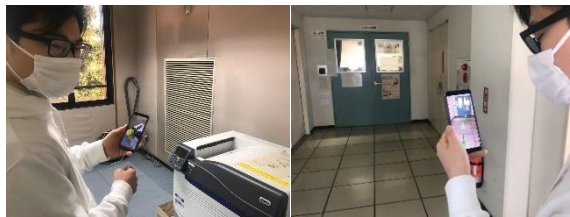


図 4 関心地点登録の様子



図 7 目標への到達



図 5 登録した 15 個の関心地点

#### 4.2. 屋外から室内までの実験

もう一つ日常で想定しうるシーンとして，建物の入り口から手を洗える洗面台の蛇口までの誘導を用意した．実験は筑波大学内の 3L 棟のホール入口から手洗いまでで行った．図 8 にシーンの様子と想定した経路を示す．前節のシーンより経路が長いので，関心地点は 20 個用意した．到達目標は手洗いの蛇口である．前節の実験と同じ要領で登録した関心地点を図 9 に示す．登録が済んだ後，移動と誘導の実験を行った結果を図 10 に示す．





図 8 ホール入口から手洗いまでのシーン

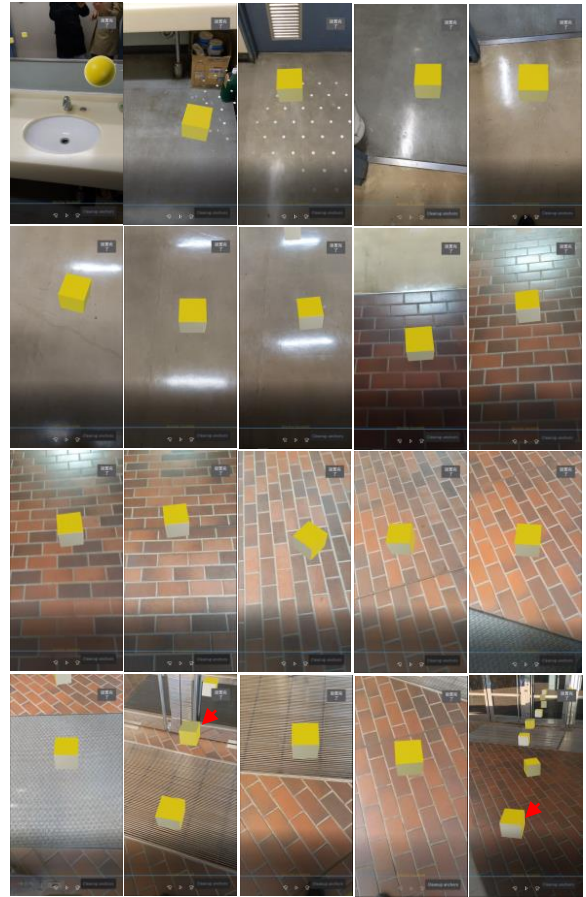


図 10 移動と誘導の実行

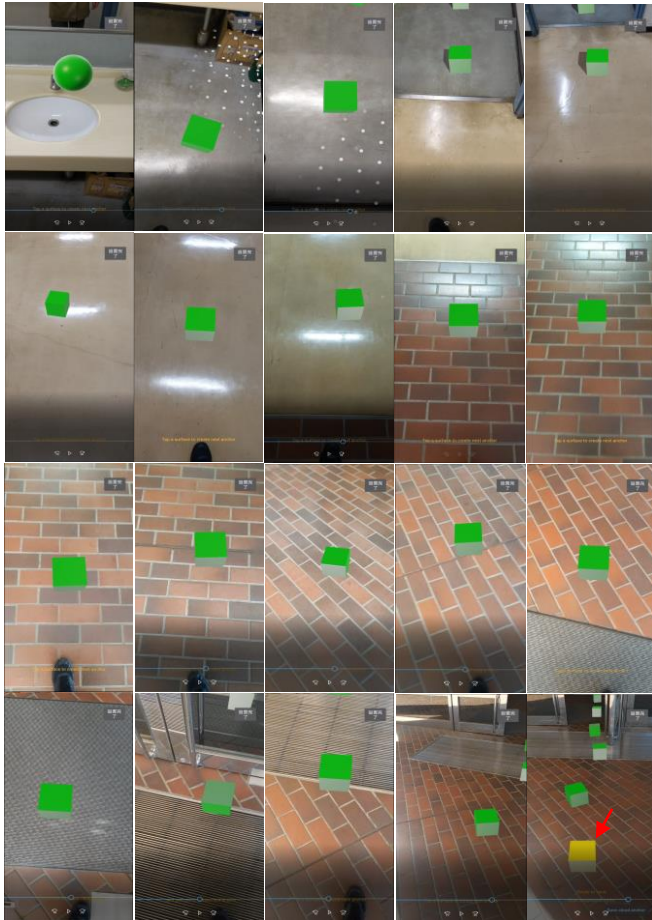


図 9 登録した 20 個の関心动点

目標に到達した時点で、ややずれているものの、手を伸ばせば蛇口を探すのが容易な程度には誘導が出来る様子が確認できる(図 9 左上と図 10 左上)。目標地点の登録時の様子と、到達時の様子を図 11 に示す。スクリーン上では目標が AR 提示できている。



図 11 目標地点での様子 (左)登録時 (右)到達時

いずれの実験でも、室内での位置推定と手の誘導には、十分と見なすことができる。今回の試作システムでは、関心动点の登録において、3D 点群が平面状に広がっていることを前提としたため、複雑な形状の対象を関心动点にすることができない。経路設定の柔軟性を確保するためには、この点を改良する必要がある。

## 5. おわりに

本研究では、アンカーを利用して、室内の移動と作業のナビゲーションを検証した。今後では、視覚障害者ためのシステムを開発し、室内のアンカーの位置情報を合わせる音声提示の機能を追加する予定である。本研究の一部は科研費 17H01773 の助成を受けて行われた。ここに謝意を表する。

## 文 献

- [1] X. Zhang, X. Yao, Y. Zhu, F. Hu, "An ARCore based user centric assistive navigation system for visually impaired people," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 5, pp. 989-1003, Mar. 2019.
- [2] R. Cervenak and P. Masek, "ARKit as indoor positioning system," 2019 11th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Dublin, Ireland, pp. 1-5, 2019.
- [3] W. J. H. T. Center, "Global positioning system (gps) standard positioning service (sps) performance analysis report", NJ: Federal Aviation Administration, September 2017, [online] Available: [http://www.nstb.tc.faa.gov/reports/PAN96\\_0117.pdf](http://www.nstb.tc.faa.gov/reports/PAN96_0117.pdf).
- [4] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," *Proceeding IEEE International Conference Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 1015-1020, 2004.
- [5] J. Biswas and M. Veloso, "WiFi localization and navigation for autonomous indoor mobile robots," 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, AK, 3-7 May 2010, pp. 4379-4384, 2010.
- [6] H. Wymeersch, G. Seco-Granados, G. Destino, D. Dardari and F. Tufvesson, "5G mmWave positioning for vehicular networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 6, pp. 80-86, Dec. 2017.
- [7] S. Liu, M. Atia, T. Karamat, A. Noureldin, "A LiDAR-aided indoor navigation system for UGVs," *The Journal of Navigation*, vol. 68, no. 2, pp. 253-273, Mar. 2015.
- [8] M. Achtelik, A. Bachrach, R. He, S. Prentice, N. Roy, "Stereo vision and laser odometry for autonomous helicopters in GPS-denied indoor environments," *Proc. SPIE Unmanned Systems Technology XI*, vol. 7332, 733219, 10 pages, Apr 2009.
- [9] B. Li, J. P. Muñoz, X. Rong, J. Xiao, Y. Tian, A. Arditi, "ISANA: Wearable context-aware indoor assistive navigation with obstacle avoidance for the blind," *Proceeding European Conference Computer Vision*, pp. 448-462, 2016.
- [10] FUJITSU Software Interstage AR Processing Server, <https://www.fujitsu.com/jp/products/software/middleware/business-middleware/interstage/products/arprocessserver/>, viewed in Mar. 2020.
- [11] Google ARCore, <https://developers.google.com/ar>, viewed in Mar. 2020.
- [12] Apple ARKit <https://developer.apple.com/augmented-reality/>, viewed in Mar. 2020.
- [13] Microsoft Spatial Anchors, <https://azure.microsoft.com/ja-jp/services/spatial-anchors/>, viewed in Mar. 2020.
- [14] T. Kurata, T. Maehata, H. Hashimoto, N. Tada, R. Ichikari, H. Aso, Y. Ito, "IoH technologies into indoor manufacturing sites," *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Cham, vol. 567, pp. 372-380, Aug. 2019.
- [15] P. A. Zientara, S. Lee, G. H. Smith, R. Brenner, L. Itti, M. B. Rosson, J. M. Carroll, K. M. Irick, V. Narayanan, "Third Eye: A shopping assistant for the visually impaired," *Computer*, vol. 50, no. 2, pp. 16-24, Feb. 2017.