

UWB を用いたサービスロボットの自己位置推定と BIM モデルを活用した デジタルツインの構築に関する研究

A Study on Self-Positioning Estimation of Cleaning Robots Using UWB and Construction of Digital Twin Using BIM Models

○谷口 青空^{*1}, 坂本 柚乃^{*2}, 杉田 宗^{*3}, 杉田 洋^{*4},
大谷 幸三^{*5}, 大城戸 朋希^{*6}, 山見 朋也^{*7}, 古屋 敬太^{*8}
Seiku TANIGUCHI^{*1}, Yuzuno SAKAMOTO^{*2}, So SUGITA^{*3}, Hiroshi SUGITA^{*4},
Kozo OHTANI^{*5}, Tomoki OHKIDO^{*6}, Tomoya YAMAMI^{*7} and Keita FURUYA^{*8}

*1 広島工業大学大学院工学系研究科 博士課程前期

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology.

*2 広島工業大学大学院工学系研究科 博士課程前期

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology.

*3 広島工業大学環境学部建築デザイン学科 准教授 博士(工学)

Associate Professor, Dept. of Architectural Design, Hiroshima Institute of Technology, Ph.D.

*4 広島工業大学環境学部建築デザイン学科 教授 博士(工学)

Professor, Dept. of Architectural Design, Hiroshima Institute of Technology, Ph.D.

*5 広島工業大学情報学部情報工学科 教授 博士(工学)

Professor, Dept. of Computer Science, Hiroshima Institute of Technology, Ph.D.

*6 株式会社 NTT データ中国

NTT Data Chugoku Co., Ltd.

*7 株式会社キーレックス

Keylex Co., Ltd.

*8 株式会社エネコム

Enecom Co., Ltd.

キーワード：屋内自己位置推定; UWB; BIM; ロボット; デジタルツイン; ゲームエンジン

Keywords: Indoor localization; UWB; BIM; robot; digital twin; game engine.

1. はじめに

1.1. 研究背景

今日の日本において、少子化や超高齢社会を迎えたことによる慢性的な人手不足や新型コロナウイルスの感染拡大などといった社会背景により、清掃ロボットの活用機会が増加してきている。そして、それに伴い国内での清掃ロボットの開発や、海外の清掃ロボットの参入が活発化している。国の政策として、2019年に経済産業省はさらなるロボットの社会実装を推進するため、「ロボットによる社会変革推進会議」¹⁾を発足した。これにより、今後はさらなるロボットの普及が考えられる。

ところが、現状としてビルメンテナンスを行う清掃ロボットの普及は低調である。主な原因の一つとして、導入コストが高いことが挙げられる。一台数百万円するものも存在し、採算性を考えると導入までに至らないケー

スが発生している。清掃ロボットの原価の多くは自己位置推定技術に関するセンサーなどである。杉田洋はこのことについて建築討論²⁾で、「建物側に各ロボットの位置情報を共有するシステムを設置して、各ロボットには、その受信機と緊急ブレーキだけつけばいいのでは？」と話し、あらかじめ建物にセンサーを設置することでロボットの導入コストを低くできると述べている。

ここで、着目したのがBuilding Information Modeling(以下BIM)との連携である。広島工業大学建築保全業務ロボット研究センター³⁾では、BIMの維持管理段階での活用は、「維持管理行為との連携」にあると考えている。具体的には、デジタルツインという技術を活用し、現実空間で行われるロボットのメンテナンス行為をデジタル上に構築することで、建物内の状況を逐一確認することができる。属性情報を含むBIMモデルを活用する

ことで、より膨大なデータに基づく効率的なメンテナンス行為が可能となる。これは、今まで行われてきたアナログなメンテナンス行為のデジタル化といえる。

デジタルツインの構築において最も重要になるのが、リアルタイムで現実空間を走行するロボットの位置を取得する自己位置推定技術である。屋外を走る自動運転ではGPSに代表されるGNSSが自己位置推定に用いられるが、衛生からの信号が受信できない建物内では異なる自己位置推定システムが必要となる。

そこで本研究では、Ultra-WideBand(以下UWB)を用いた屋内の自己位置推定技術に焦点を当てる。建築分野においてUWBの有用性について研究を行っている事例は少なく、検証の余地が多く残っている分野である。さらに、この自己位置推定技術を用いて建物内でも動作するロボットに焦点を当てる。

1.2. 研究目的

本研究では、BIM から得られる情報に基づいてロボットを制御するとともに、ロボットから得られる様々な情報を位置情報とともにストックするシステムの開発を目指している。具体的には、ビルメンテナンス情報などを含む BIM モデルで構築されたデジタルモデルに、UWB を用いて取得したロボットの位置情報をリンクさせデジタルツインを実現する Building Positioning System(以下 BPS)の構築を目指す。

1.3. 既往研究

GNSS によらないロボットの自己位置推定に関する研究として、井戸田ら⁴⁾は、MR グラスに MR 情報を投影し、操縦者が目標とする飛行経路を表示しながらドローンを飛行させるシステムを開発した。この研究では、トラッキングカメラによる画像認識によってドローンの自己位置推定を行っている。本研究ではトラッキングカメラによる自己位置推定ではなく、UWB の有用性を検証している点で新規性を有している。

UWB を活用した自己位置推定に関する研究として、河野ら⁵⁾は、UWB センサーネットワークを用いて、オフィス内でワーカーがいつ、どこで、移動行為あるいは滞在行為を行っているかという長時間に渡る連続的な客観データを収集し、ワーカーの行動を把握し分析した。この研究では、UWB を用いて情報を収集し、処理を行うことで人の行動や姿勢を判断している。本研究では、清掃ロボットを用いて自己位置推定を行うと共にリアルタイムでコンピュータ上に表示させる。BIM モデルを活用したデジタルツインの構築について研究する点で新規性がある。

1.4. 研究概要

BPSの構築は以下の通りを行う。(図1)

- ①UWBの到達時間から3点測位の原理で位置算出(Poxyz)
- ②位置データをボードコンピュータ(Raspberry pi)へ転送(csv形式ファイル)

- ③位置データをWi-Fiでホストコンピュータと共有

- ④BIM モデルを用いたゲームエンジン環境をホストコンピュータ上に構築し、共有した位置データをもとにロボットを表示する

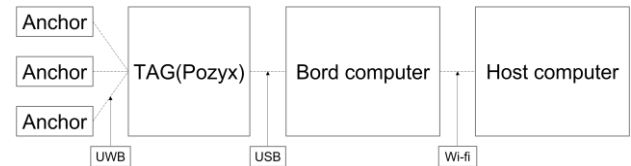


図 1 BPS 概要

2. BPS の構築と BIM 情報の可視化

2.1. 環境整備

本研究では、BPS 構築の検証のため、広島工業大学 Nexus21 の 10 階スカイテリア前のロビーを実験空間として検証を進めた。デジタルツインの構築にあたっては、デジタル空間となる 3D モデルが必要となる。そこでまずは LiDAR による現実空間の計測を行い 3D モデルの作成を行った。また、作成した 3D モデルをもとに属性情報を付加した BIM モデルを作成し、デジタルツイン環境を整備した。

2.2. 実験に使用する機器整備

あらかじめ定められたルートを走行する清掃ロボットを2台用意した。また、リアルタイムで自己位置推定を行うための技術としてPozyxを用いた。Pozyxとは前述したUWBを活用したハードウェア・ソフトウェアソリューションで、これにより誤差数センチメートルという正確な位置とモーション情報を取得することができる。Pozyxのシステムはリアルタイムで自己位置を認識できる「タグ」と、電波を送信する「アンカー」から構成される。現実空間で走行するロボットにタグを取り付けることで、コンピュータ上でロボットの位置を正確に表現することができる。

デジタルツインの構築をホストコンピュータ、Pozyxから直接情報を受け取るコンピュータをボードコンピュータと呼称する。また、ボードコンピュータは移動体にも搭載しやすい点からRaspberry Piを採用した。

2.3. データ連携

データ連携は大きく、①Pozyx から Raspberry Pi の連携、②Raspberry Pi から Windows の連携、③Windows から Unreal Engine の連携、の3つの段階に分け検証を進めた。(図2)

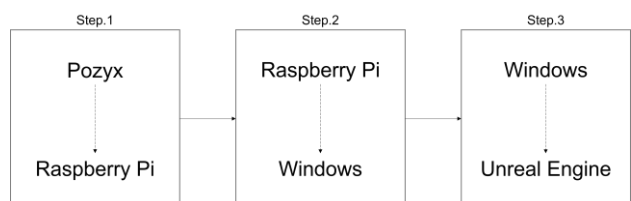


図 2 データ連携の構成

①PozyxからRaspberry Piの連携では、3点測位の原理で算出された位置データをボードコンピュータのRaspberry Piへ送る際にcsv形式を採用した。これにより取得する様々なデータを一元化することができるため、データ連携の複雑化を予防できた。また、Windowsと連携を行うため、ボードコンピュータのIPアドレスを指定しWindowsからRaspberry Piのフォルダを随時参照できるようにした。

②Raspberry PiからWindowsの連携では、ボードコンピュータからホストコンピュータへSambaを用いてファイルを参照できるようにした。また、Windowsの標準機能であるXcopyを使用して、Raspberry Piの指定されたフォルダからWindowsの指定されたフォルダへファイルの転送が繰り返されるように設定を行った。

③WindowsからUnreal Engineの連携では、ホストコンピュータまで送られた位置データをブループリントと呼ばれる専用のプログラム環境を用いることでゲームエンジンに送ることができた。また、取得した位置データをゲームエンジン内のロボットの位置情報として利用することで、位置データの可視化を行った。

これら①から③のデータ連携を実行し、BPSの構築の検証を行った。その結果、およそ0.5秒程度のタイムラグがあるものの現実空間で走行するロボットの様子をコンピュータ上でリアルタイムに表現できた。ここで発生しているタイムラグはXcopyとブループリントによるループ処理の間に挿入したdelayによるものが原因である。これによりBPSの土台の構築が完了した。

2.4. BIM情報の可視化

Unreal EngineとBIMの相性はよく、Datasmithと呼ばれる専用の書き出しファイルを使用することで、BIMの属性情報を取り込むことができ、高度なデータ連携を行うことができる。本研究では、照明器具や空調設備、非常灯などの設備機器に着目し、あらかじめBIMモデルで名称、系統、設置日などの属性情報を付加した。

Unreal Engineでは、BIMモデルの属性情報を3Dモデル上でタグを使って可視化を行った。例えば、空調機では名称、系統、設置日、点検日、備考などの項目を含めたタグを作成した。一般的に、建物内の設備機器には一定期間ごとの点検が法令で定められている。そこで、設備機器に付加された設置日から、次の点検日を算出し、点検日まで1ヶ月を切った設備には備考欄で通知する仕組みを作成した。(図3)

これにより、BIMの属性情報を活用したデジタルツイン環境の構築ができた。



図3 BIM情報の可視化

3. BPSを活用したロボット制御とセンサー情報の可視化

3.1. ロボット制御の概要

BPSの土台が構築されたことで、次の段階ではこのシステムを活用し、実際に建築空間で指定した場所の位置情報とともにセンサー情報を取得できるかの検証を行った。

まず、任意の位置へ走行させる移動体として、新たに2台のロボットを用意し、それぞれ清掃ロボットと警備ロボットの役割を与えた。2種のロボットは、役割が異なるため、それに伴い走行方法も異なる。以下にその違いを示す。(図4)

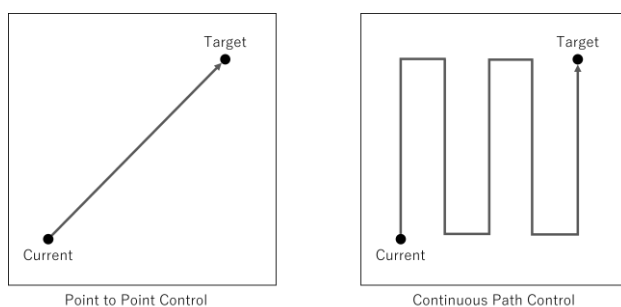


図4 2種類のロボット制御

警備ロボットでは、現在の位置から目的座標が指定された場合、直接点から点へ走行する「Point to Point Control」の制御が行われる。また、清掃ロボットでは現在の位置から目的座標が指定された場合、現在位置から目的座標までの距離を対角線とした四角形を塗りつぶすような「Continuous Path Control」の制御が行われる。

これらの異なる制御を活用し、ホストコンピュータ上でセンサー情報の可視化を検証していく。

3.2. センサー情報の可視化

①警備ロボットには顔認証機能を取り付けたカメラ、②清掃ロボットには部屋の汚れ具合がわかるダストセンサーならびに照度センサーを取り付け、位置情報とともにこれらのセンサー情報がホストコンピュータ上で可視化できるか検証した。(図5)

警備ロボットに取り付けたカメラは一般的に販売している安価なカメラを用いて検証を行った。また、顔認証に

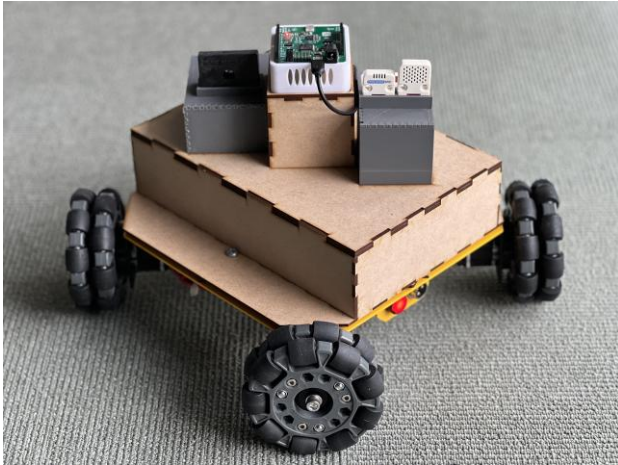


図5 清掃ロボットに取付られたセンサー類

は Python の face-recognition というライブラリを用いた。あらかじめ人の顔をボードコンピュータにトレーニングさせておき、記憶している顔と照合率が 20%以上のときに画像を保存し、名前、照合率、日付、時間を格納した csv データをホストコンピュータへ送信するプログラムを作成した。

ホストコンピュータは顔認証の情報を受け取った場合、3D モデル上の警備ロボットの位置に、画像と付属した情報をパネル形式で表示させるようにした。これにより、誰が、いつ、どこにいたのかという情報をホストコンピュータで確認することができた。

②清掃ロボットは、「Continuous Path Control」を活用したセンサー情報の可視化を検証した。あらかじめダストセンサと照度センサには、1 秒毎にセンサー情報を取得できるプログラムを作成した。またその情報を csv ファイルに格納し、ホストコンピュータへ送信した。ホストコンピュータは、受信したセンサー情報をそれぞれ 6 段階で色分けを行い、清掃ロボットが走行した範囲の状況をグリッド状のセルでプロットしていく形で可視化を行った。また、グリッドの一边を 50cm としたが、これは一般的に床仕上げで使用されているタイルカーペットをもとにしている。(図 6)



図6 センサー情報の可視化

意図的にドライアイスで空気の汚れを表現した検証の結果、ダストセンサで空間内の空気の汚れの変化を可視化することができた。また、照度センサで照明器具や窓に近い場所で照度の変化を可視化できた。

これらの結果から、位置情報とともにセンサー情報もホストコンピュータ上で十分可視化できることがわかった。

4. まとめ

本研究の目的であった、UWB によって取得した位置情報と BIM モデルを統合し、コンピュータ上にリアルタイムで表示させつつ、BIM 情報を活用した BPS の構築を成功することができた。また、ロボット制御の特徴を生かしたセンサー情報の可視化についても十分な検証結果を得ることができた。

今回の検証では Wi-Fi を用いてデータ連携やセンサー情報の送受信を行ったが、今後はクラウドサービス活用し、オンライン上でデータ連携が可能か検証を進めたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり協力頂いた、広島工業大学環境学部建築デザイン学科杉田宗研究室の梶川飛鳥君、同情報学部情報工学科大谷研究室の志々目慧大君、大室昂太君に謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 経済産業省：ロボットによる社会変革推進会議
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/robot/shakaihenkaku/index.html (参照 23-8-29)
- 2) 杉田洋：ディフェンスとオフenseから捉える建築の清掃管理、建築討論
<https://medium.com/kenchikutouron> (参照 23-8-29)
- 3) 広島工業大学建築保全業務ロボット研究センター
https://www.it-hiroshima.ac.jp/docs/28_kenchikuhozen_gyoumurobot_2020.pdf (参照 23-8-29)
- 4) 井戸田和也、宮内博之、柏木雄平、二村憲太郎：ドローンによる建物点検調査を支援する MR 技術の開発 その 2 Visual SLAM によるドローンの自己位置推定精度の検証、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp. 1067-1068、2021
- 5) 河野直、屈小羽、湯川晃平、立岡優介、宗本順三、石川真実、松下大輔、平野克彦、張昕楠、高井啓明 “ワークプレイスにおける行動調査方法とデータベースの作成、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp. 771-772、2009