

警備向け自律走行台車での SLAM 実行時の位置補正方式

澤野 雄哉¹ 永井 悠人¹ 鈴木 孝幸² 清原 良三²

概要：自律走行する台車やロボットは、走行しながら動的に地図を作成する SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術を用いることが多い。SLAM では、走行時の周囲の状況と絶対位置の関係を保つため、頻繁に位置補正を行う。位置補正には、マーカを利用することで精度を保てるが、建物の内部や、道路といった場所では有効であるものの、敷地内といった広い範囲で自由に走行できる環境ではマーカの設置にもコストを要する。一方、GPS などの手法では建物の近くなどでの精度の問題がある。そこで、本研究では、GNSS(Global Navigation Satellite System)や、BLE(Bluetooth Low Energy)のビーコンといったマーカ、周囲の形状などを利用した位置補正方式提案し、評価したので報告する。

キーワード：自律走行, SLAM, 位置補正, BLE, GNSS

Estimation of Location for Autonomous Carts during SLAM

YUYA SAWANO^{†1} YUTO NAGAI^{†1}
TAKAYUKI SUZUKI^{†2} RYOZO KIYOHARA^{†2}

1. はじめに

自律走行ロボットの技術は自動運転技術とともに発展しており、多くの場所で導入が進められている[1]。特に、産業界では人件費削減、作業の質の均質化、質の向上などを狙っている。一般的な家庭では、掃除ロボットや高齢者や子供のなどの見守りロボットとして活用されている。また、警備においても古くからロボットが導入されている。

株式会社 ZMP は、警備ロボットや配送ロボットを開発し、日本郵便株式会社と共同で配送目的として自立走行ロボットの導入を進めており、公道実験が公開されている[2]。

神奈川工科大学では、KAIT モビリティリサーチキャンパスと呼ぶ企画を進めている[3]。自ら考えて行動するモビリティたちが学内を動き回り、生活や学びを豊かで楽しい物にすることを目的として研究開発中である。大学構内ではなく周辺地域とも協力していく予定で、導入されるモビリティとして自律走行台車を落葉完全清掃ロボット、学内メール自動配送ロボット、キャンパス見守りロボットを挙げている。落葉完全清掃ロボットは、画像処理技術によって落ち葉の判別、清掃を行う。学内自動メール配送ロボットは、荷物を目的まで運ぶ用途のロボットである。

キャンパス見守りロボットは、学内を巡回して不審人物や不審物の発見をして、警備員に伝達することが目的のロボットである。これらのロボットは、朝は落葉完全清掃ロボット、昼は学内メール自動配送ロボット、夜はキャンパ

ス見守りロボットの様に一日で同じロボットを別の用途で使い分けることを目的としている。

本論文では、キャンパス見守りの自律走行台車が構内を巡回して不審人物を派遣した際に位置情報を警備員に伝達する方式について検討する。自律走行台車は LiDAR(Light Detection and Ranging)を使用し、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術を使い、動的なマップを構成しながら走行する。しかし SLAM では移動量を計算から求めているため、計算の誤差が蓄積されるという問題点がある。そのため誤差の蓄積をなくすため位置測位し、補正を行うことが必要となる。

補正するにしても既に計測済みの地形から LiDAR のみで推定しようとする、特徴的な地形でしか行うことができない、マーカを利用して、決められた場所で誤差の補正を行う形が精度良いが、屋内や道路のような場合は有効であるが、広い敷地内では、必要とされるマーカの配置が問題となる。また、屋外では GNSS が使用されることが多いがマルチパスなどの問題があり、そのままでは精度が不明となる。

そこで、本論文では、GNSS の精度が良いと判断できる場所では、GNSS を利用し、建物の近くなどでは、BLE ビーコンとなるマーカを利用すること、および地形の特徴を利用することで、マーカの密度が道路や屋内並にした上で、広い敷地での位置情報の補正ができる方式を提案する。要求される精度としては、自律走行台車の位置から不審人物までの距離や方位で補正した上での、警備員が見つけられる程度の精度として、数 m 程度を想定している。

¹ 神奈川工科大学大学院

Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

² 神奈川工科大学

Kanagawa Institute of Technology

2. 見回り業務と不審人物特定

神奈川工科大学では、学内の見回りを数人で、夜間数回実施している。この業務に使う時間は結構あるため、他業務も考えると、1回でも減らせることは業務効率の向上に繋がるということである。見守り業務は主に、屋内では電気のつけっぱなし、滞在する人の状況を確認、施錠の確認などが主な業務になる。屋外では、建物の施錠確認や不審物、不審人物の発見および不審人物の進入の抑制効果が主な目的となる。

不審人物には、悪意のある不審者と迷いこむような悪意のない不審者がいる。とくに、悪意のない不審者は、認知症を患っている高齢者などで、発見することで重大な事故を防ぐことに繋がっている例が毎年のようにある。そこで、本論文では、このような悪意のない不審者の発見、通報のために自律走行台車を活用し、とくに、位置の通報の精度の向上を主目的とする。

構内に滞在している人が不審者かどうかを見極めるのは難しい。例えば、顔を登録しておき、画像を活用することで特定できるかもしれないが、夜間での利用を想定すること、少し離れたところからでも確認できるとは言いがたい。神奈川工科大学では、深夜滞在する人に関して、事前に滞在許可の申請をして管理を行っている。滞在許可が出ている人かどうか判断するために専用のアプリをあらかじめダウンロードしてもらい、滞在許可が出ている人物は、サーバに登録しておく手法を想定している。

自律走行ロボットが構内を巡回し、不審人物である可能性があるものを発見した場合に、不審人物を発見する手段はLiDARを使用し、計測された点群のデータを基に人かどうかを判断する[4]。計測された点群データの特徴から人であると判断された場合、図1に示すように、その人物にBLE(Bluetooth Low Energy)を用いてアクセス要求を行う。アクセス要求した際、サーバに登録される人は問題な

いとし、登録されていない人またはアクセスできる端末を持ち合わせていない人物の場合不審人物だと判断する[5]。

不審人物だと判断された場合は、警備員に知らせその場に来てもらい現場の確認をするのが不審人物発見までの流れである。警備員に現場に来てもらうには不審人物の位置情報が必要である。LiDARを使用するため自律走行ロボットと不審人物との相対位置は測定することが可能である。そのため自律走行ロボットが自己位置推定し、学内の絶対位置を求めることで、不審人物の相対位置と組み合わせ不審人物の位置測位を行う。

また不審物の判別については、SLAMで作成した地図を基に行う。LiDARで計測された地形を過去の地図と比較し、普段はそこに置いていないものを判別する。一時的に置きたいものがある場合、申請してもらい、永続的に置きたいものがある場合は、地図を更新することで対応する。警備ロボットは、犯罪の抑制と不審人物の発見を目的としている。犯罪の抑制は警備ロボットが巡回していることを周りに周知させることで行う。

3. 大学内の自己位置推定

自律走行台車はLiDARを使用したSLAMで位置を把握しながら移動する。SLAMでは、一般にセンシングによる周辺情報の把握、自己の所有するマップとの比較によるマッピング、さらに動的な地図という意味での更新処理を繰り返す。このSLAMでの移動には以下に示すような課題が多数ある。

- 絶対位置の把握
- 移動不可領域の自動判定

最初にSLAMで地図を作成する際から、自己の移動距離方向の推定を間違えると地図そのものが実際の地図とずれることがある。また、既に作成済みの地図を利用している場合でも良く似た図形上では自己の移動距離、方向も使うためやはりずれが生じる。このための位置補正は重要となる。また、移動にあたり、階段や大きな段差などの把握や、LiDARのレーザの透過するガラスや、散乱しないために戻ってくるレーザがほとんどないガラス面などである[6]。

本論文では絶対位置の把握とその誤差に焦点を絞って検討する。そこで、神奈川工科大学内で自律走行台車は以下の様にポイントで補正する。

建物周辺では、特徴的な地形が多く位置の補正をしやすい。基本的に位置補正するタイミングは建物など特徴的な地形がある場合や自律走行台車が方向の転換をするとき、同じような地形の長い直線坂道を進行する前と進行した後に行う。特徴的な地形については、建物周辺には多くあるため自律走行台車が進行している方角さえわかれば位置補正が可能である。

方向転換をするタイミングについては、かなりの誤差が生じてしまう時があるが基本的に大学構内では道が整備さ

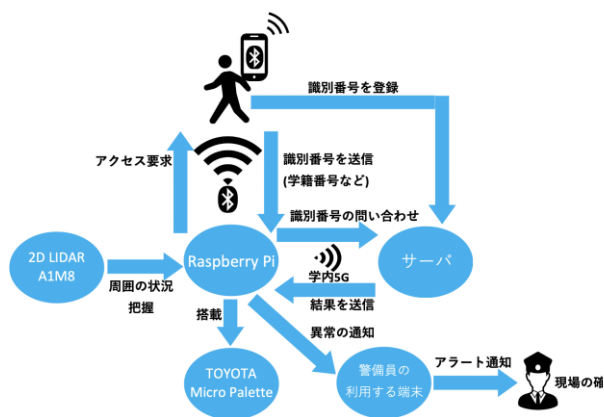


図1 BLEによる不審者判定

れているためこちらも位置補正が可能である。同じような地形の長い直線については、直線の途中では位置補正が難しい点が挙げられる。そのため直線を進む前に位置補正を行い、直線上で生じた誤差をなくす方式をとる。斜面に関しては誤差が生じやすい地形である。そのため斜面を進行した後に生じた誤差を補正する。

位置測位をする際には、一時停止しなければならないため補正する場所が多い場合、時間がかかることになる。そのため、事前に地図情報の活用は必須である。なるべく位置補正をする回数が少なくなるように補正場所候補を決めておく必要がある。

また LiDAR の性質上、広い空間や同じような地形が続く特徴的でない地形の場合、位置補正は難しい。それらの区間で不審人物を見つけてしまった場合、誤差が生じた位置情報のデータを警備員に送らなければならない。そのため SLAM を使用しない自己位置推定手法との組み合わせが必要となる。

4. 関連研究

屋外では、位置推定の手法として多くの場合、GNSS が使用できる。GNSS では、マルチパスを考慮しなければならないが、カーナビのようなデバイスでは走行方向や速度と道路上といった制約条件からマップマッチング技術により推定するが、どうしても同じような条件で満足するようなケースがあると間違えることがある。鈴木ら[7]は、RTK-GNSS(Real Time Kinematic-GNSS)のように基準点を置かずにマルチパスが起きる環境下での位置推定精度の向上を行っている。赤外線全周映像 (IR-ODV: Infrared Omnidirectional Vision) を使用することで GNSS 受信機で除去することが困難なマルチパスの影響を除外し、精密単独測位 (PPP: Precise Point Positioning) を使用することで GNSS 受信機単体での高精度かつ信頼性の高い位置推定を実現する研究である。不可視衛生からのマルチパスを除外し、可視衛生のみの情報を基にマルチパスの影響を受けずに精度が高い位置推定を可能とした。しかし、台車に赤外線などによる全周映像を取得するカメラがないと利用できない。

また木内ら[8]は、マルチパスが発生する環境下でオドメトリを使用した際、長時間の間 GNSS が使えない場合、積算誤差に対応することはできないとして LiDAR と電子地図をマッチングさせることで対応した。ジャイロセンサとオドメトリのみ結果より高精度で走行させることが可能であることを示している。しかし、ジャイロセンサの搭載が必須となる。

本論文では、既存の設備としてある GNSS の測位環境と学内の BLE ビーコンと 3DLiDAR の情報で位置補正を試みることとした。

5. 基礎実験

神奈川工科大学内全体では施設が密集している場所や道幅が狭い通路などもあれば、広い広場や道幅が広い通路など疎らな場所もある。そのため、どのような手法を行えば位置測位を行えるかを知るために基礎実験を行う。神奈川工科大学の全体図を図 2 に示す。施設が密集しており、周辺に通路や広い空間がある情報学部棟の周辺で実験を行った。情報学部棟周辺の建物は、講義棟、看護医療棟、講義棟の 3 つの施設が近くにあり、少し離れた場所には、学生サービス棟が位置している。また、学生サービス棟の近くには中央広場があり大きな空間がある。大学構内は広い空間があるため、そこでは GNSS が使用できる。

しかし、GNSS を使う際には、マルチパスや広い角度での衛星の補足ができないなどの問題が起きる点を考慮しなければならない。マルチパスは建物の間や建物の壁際、屋根の下などの環境で発生する。GNSS で計測した際に地図に表示されるが、地図に表示された結果がマルチパスの発生しない環境で正しく表示されているか、マルチパスや衛星の角度が要因でずれた結果、現在の位置が表示されているのか判断しなければならない。

そのため GNSS 単独では正しい位置であるかどうかの判断が難しい。時系列で連続的に測位する場合にはある程度判断できそうであるが、ロボットのように必ずしも走行方向が一定でなく、頻繁に向きを変更するような場合には推定が難しい。

そこで、屋内での位置推定に用いることが多い BLE ビーコンを使用して位置測位を行う方法も基礎実験を行うこととした。ロボット搭載の BLE 機器が建物にある機器の情報を受信した際の RSSI を使い、距離を求めることで位置測位を行う。なお、BLE デバイスは学内には多数存在していることが予測できるが、決まった ID のみを対象とする予定で無関係の BLE は排除できると考えている。

大学構内の建物の付近では Wi-Fi が使用できる。本学では、講義室に Wi-Fi が設置していることが多いが、それだけではなくフリーの Wi-Fi や研究室にも Wi-Fi が配置されている。BLE ビーコンと同様に RSSI を使い、距離を求めることで位置測位を行う。

不審人物発見のための手段や、自律走行のために LiDAR を使用している。この LiDAR には測定範囲があるが、範囲内なら周辺の地形を測定し可視化することが可能である。しかし LiDAR の性能によって測定範囲が変わることが挙げられる。そのため、どの範囲まで利用可能かを基礎実験にて明らかにする。

5.1 GNSS の誤差の測定

GNSS を使用するにはマルチパスが発生しない場所で計測しなければ正しい位置情報を得ることができない。そのため大学構内での計測場所によっての誤差を調べるために

基礎実験を行った。測定場所は、図2における講義棟と看護医療棟の間、情報学部棟壁沿い付近、情報学部棟と先端研究所の間の三ヶ所で計測を行った。計測を行った場所については、マルチパスが発生しやすい建物の間、建物の陰になる場所、建物からある程度離れている場所の三ヶ所で測定を行った。Android アプリ[9]を使用し、実際にいる地点とGNSSで表示される誤差はどれくらいあるかを測定した。

講義棟と看護医療棟間で計測した結果、実際の位置と計測された位置では、30mほど誤差が生じた。情報学部棟壁沿い付近で計測した結果、講義棟と看護医療棟の間ほどの誤差は生じなかったが20mほどの誤差が生じた。情報学部棟と先端研究所の間で計測した結果、建物からある程度離れた芝生上で計測したため、GNSSの誤差は10mほどであり、ほかの測定地点よりも誤差がかなり小さかったためマルチパスが発生しない場所であると推測される。それでも、10mの誤差が発生している。しかし、建物から離れているので不審者を見つけやすい場所にいると推測できる。そのため大学構内では、GNSSを使う際には、建物から十分離れていることと建物間でないことが判断できればGNSSを使用することが可能である。

5.2 BLE ビーコンの測定

BLE ビーコンを屋外で使用した際の精度を調査するための実験をした。情報学部棟の入り口付近の柱にBLE ビーコンを張り付け、受信する側のデバイスはBLE ビーコンの方角を向けた状態で測定を行った。使用したBLE ビーコンの設定を表1に示す。

計測したRSSIを基に距離を算出した。RSSI大きさは以下で求めることができる。

$$RSSI = TxPower - 20 \times \log D \quad (1)$$

式(1)よりDは、距離であり距離を求める式は以下のようになる。

$$= 10^{((TxPower - RSSI)/20)} \quad (2)$$

計測する環境によってRSSIは、増減するが今回は考慮

表1 BLE ビーコンの設定

通信規格	Bluetooth 4.0
通信距離	50m
通信インターバル	900ms
対応規格	iBeacon
Txpower	-59dBm

しないので計算を行った。

測定方法はBLE ビーコンから5mと10m離れた距離に立ち一分間RSSIを測定した。計測して得られたRSSIを基に、式(2)から距離を求めた。5m離れた位置で測定し、RSSIから得られた距離を図3、10m離れた位置で測定しRSSIから得られた距離を図4に示す。結果より5m離れた場所での計測結果の平均は、5.87mとなり、10m離れた場所での計測結果の平均は、11.30mとなった。測定距離が延びるにつれて誤差が大きくなっていく傾向がある。平均値の誤差では両方とも、1m程ではあったが、10m地点では最小値と最大値の差が10m程となるため5m以内の値(-72dBm)を使用する。

5.3 施設周辺のWi-Fiの計測

大学構内でのWi-FiもAP(アクセスポイント)が多数あるため、位置測位に使えるかを念のために確認する目的で計測した。計測場所は測定場所は、講義棟と情報学部棟の間、情報学部棟と先端研究所の間、情報学部棟と学生サービス棟の間の三ヶ所で計測した。

計測した結果、講義棟と情報学部棟の間では、講義室で使用されるAPが多く表示されたほか、情報学部棟のフリーの無線LANのAPが表示された。また、研究室で使用さ

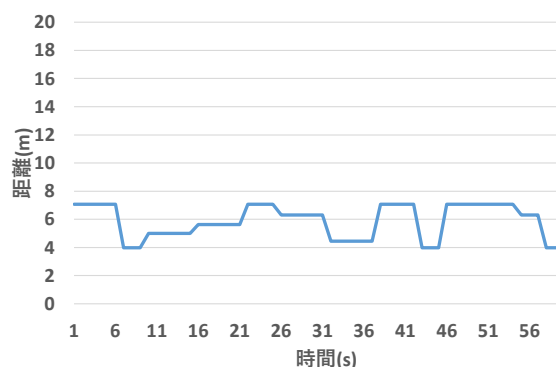


図3 5m 地点での計測結果

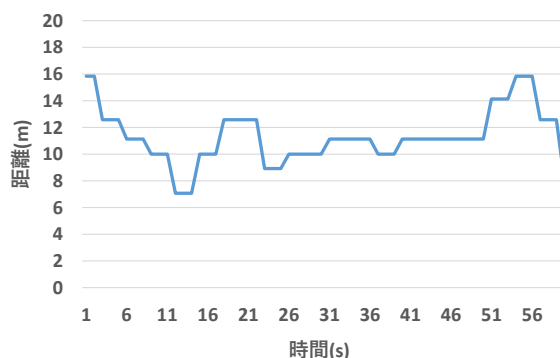


図4 10m 地点での計測結果

れている Wi-Fi の AP が多く表示された。情報学部棟と先端研究所の間では、情報学部棟のフリーの無線 LAN の AP が表示されたほか、研究室で使用されている Wi-Fi の AP が多く表示された。情報学部棟と学生サービス棟の間では、情報学部棟と先端研究所の間の計測結果と変わりがなかった。計測した三ヶ所は情報学部棟の周辺だったため、情報学部棟内の研究の AP が表示されることが多かった。しかし、毎回計測できる保証がないことや、BLE ビーコンと同様に RSSI を使って距離を求める方法もあるが、Wi-Fi の配置場所は、公開されておらず、変更される場合も多いため、距離を計算することは難しいと判断した。

5.4 LiDAR の性能調査

LiDAR の性能調査のため基礎実験を行った。使用した LiDAR は、RPLiDAR A1M8 を使用し、性能を表 2 に表す。360° 計測できる 2D-LiDAR であり、測定可能距離は直径 12m である。情報学部棟周辺で計測を行った。計測を行った場所は、マルチパスが発生しやすいと考えられる、建物の間や建物周辺で測定を行った。計測した結果を図 5 と図 6 に示す。図 5 は講義棟と看護医療棟の間で計測を行った結果である。通路の中心で計測したため、通路の両端を表示させることが可能であった。ある程度広い空間であり方角がわかっているなら点群情報だけでも位置測位可能であった。また、通路の端でも計測を行ったが LiDAR の性能の影響で遠い側の壁が表示されなかった。図 6 は情報学部棟の壁沿い付近の柱の間で計測した結果である。情報学部棟はガラス製の壁であるため、透過率の影響で表示されることはなかった。また柱の間での計測は、同じような地形だったため図 6 のような点群で表示されることが多かった。

計測結果より、遠くのもの測定は難しいが物体までの距離を測定することは可能なため、施設から離れているかを判断に利用する。

6. 提案手法

基礎実験の結果から大学構内での位置測位の手法を提案する。位置推定までの流れを図 7 に示す。屋外であるため GNSS が使用できる箇所があるが基礎実験の結果から建物周辺はマルチパスが発生しやすい環境である。そのためマルチパスに考慮した位置測位の手法を提案する。

自律走行台車が大学構内を巡回し、不審人物を見つけた際、配置されている BLE ビーコンの RSSI を測定する。RSSI

表 2 LiDAR の性能

レーザ	360° 無指向性
スキャン周波数	5.5-10Hz
サンプル周波数	4000 - 8000Hz
距離の範囲	0.15 - 12m

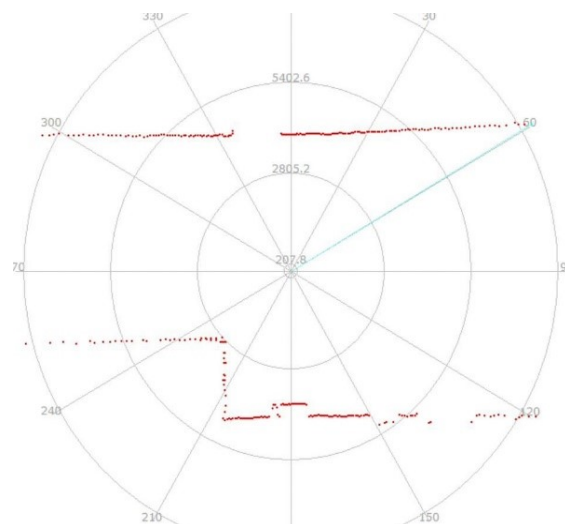


図 5 看護医療と講義棟での計測

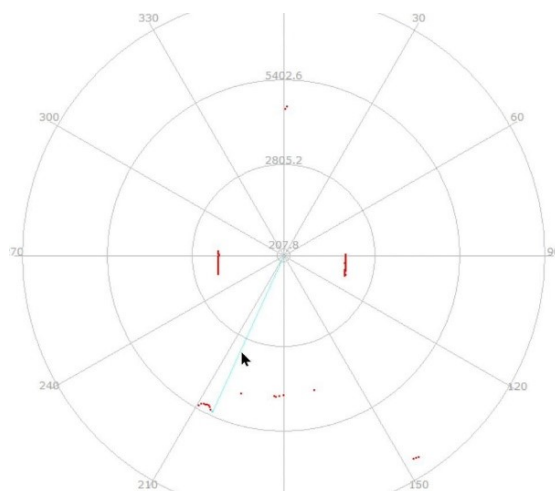


図 6 情報学部棟の柱の間での計測

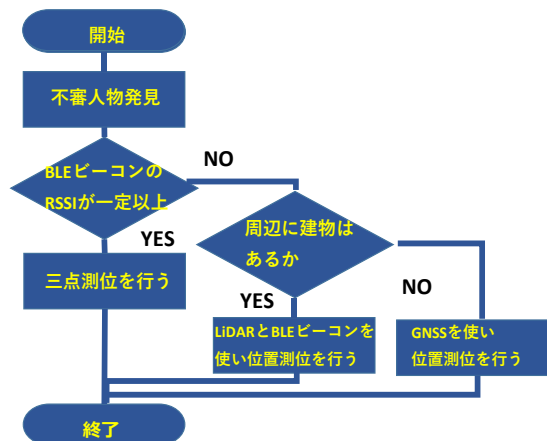


図 7 提案手法

を測定し、一定の値以上だった場合、BLE ビーコンからある程度近いと考えられるため、RSSI が大きい順に BLE ビーコンを3つ使用し、三点測位を行う。一定以上の値とは基礎実験示したように-72dBm を閾値とする。RSSI を測定し一定以上の値でなかった場合、搭載されている LiDAR を使用し、周辺の地形を測定する。周辺の地形が近くに表示された場合、建物の周辺にいますと考えられるため、LiDAR と BLE ビーコンを使用して位置測位を行う。周辺の地形が近くに表示されなかった場合、建物から十分離れていると判断できるため、マルチパスが発生しない環境にいますと考えられるため GNSS を使用して位置測位を行う。

具体的には予めどこであれば精度がでるのかを場所ごとにできるだけ細かく測定しておく。それとともに、その場所がマルチパスや衛星の見える数が少ないなどの影響がないことを確認するために、BLE および LiDAR の情報で確認する。一方、影響があることが確認できると、BLE の情報や建物の形状を元に場所を判断する。LiDAR を使用する際には、建物のガラスはカーテンの有無や屋内の机の配置の影響が大きいので、柱の形状を利用して場所を把握する。しかし、同一の構造が続くような場合もあるため、BLE ビーコンの強さである程度の位置を絞ったうえで、LiDAR を用いて位置を正確に把握するという手法をとる。

7. 実験

7.1 実験概要

提案した手法を基に神奈川工科大学内で実験した。実験した場所は図8に示す。情報学部棟周辺で計測を行い、施設周辺の26ヶ所で計測した。また BLE ビーコンを全体で6ヶ所に配置を行った。図8内で黄色で示している個所は、測定を行った場所を示している。赤色で示している個所は BLE ビーコンの配置場所を表しており、青色で示している部分は柱や建物などの侵入不可能な場所を示している。使用した機材は基礎実験で使用したものを使用し、設定なども同様に設定した。

計測方法は以下の手順で行われる。はじめに一分 RSSI の測定を行い、そのあと LiDAR を使い周辺の地形の計測をする。LiDAR を使いで計測した際、周辺に何も表示されなかった場合、建物から十分離れていると判断し、GNSS を使用して位置測位を行う。

測定の仕方として、RSSI を測定する際は測定地点から一番近い BLE ビーコンの方角を向き測定を行った。LiDAR で測定する際、1m の高さで地面と平行になるように計測した。また実際に位置測位を行う際に、自律ロボットの進行方向により LiDAR の向きが状況によって変わる。同じ場所で計測した場合でも表示される物体の位置が変わってしまう。磁気センサを搭載すれば方角などがわかるが今回は、わかりやすくするために 2D-LiDAR で測定した際、向きは先端技術研究所や看護医療棟方面が上に表示され、

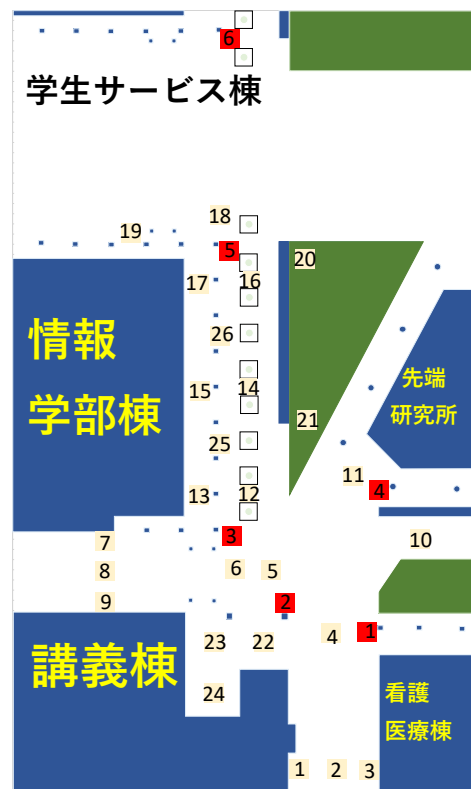


図8 測定場所

情報学部棟方面や講義棟が下に表示される方角で計測した。

7.2 RSSI の測定結果

一分間 RSSI を計測した結果、5m 以内の大きさが表示された計測場所は、計測地点 2,4,6,10,11,16,25 であった。BLE ビーコンからの距離が 5m 以内の計測場所は、計測地点 4,5,6,11,22 であるため、計測地点 2,10,16,25 が実際の距離と違う結果が出た。計測地点 5,22 は、BLE ビーコンからの距離が 5m 以内の測定地点であったが RSSI が 5m 以内の大きさが計測されることはなかった。計測地点 22 は、間近な BLE ビーコン 2 ではなく、BLE ビーコン 4 の値が大きく表示された。これは BLE ビーコンが配置されているのが柱の逆面であったことと、配置した方向が原因だと考えられる。

7.3 LiDAR を使った計測結果

LiDAR を使用し、計測した結果を表3に示す。同じような地形が計測された場所は、計測地点 12,14,16 と計測地点 13,17, 計測地点 25,26 の3通りであった。計測地点 12,14,16 では、植えられた木の間での計測であったため、同じような地形が計測された。計測地点 14,16 の周辺にはベンチが設置してあるが高さの関係上計測されることはなかった。計測地点 13,15,17 は、情報学部棟の壁沿いでの計測であり、情報学部との壁は、ガラスで構成されているため、情報学部棟内部の地形が計測された。計測地点 13,17 は、施設の自動ドアの前だったため、同じような地形が計測された。計測地点 25,26 は、施設の柱であったため、同じような地

表 3 LiDAR を使用した計測結果

	計測地点		
同じ形状の地形	12,14,16	13,17	25,26
傾斜	11,20,21		
それ以外	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,15,18,19,22,23,24		

形が計測された。

計測地点 11,20,21 は、計測場所が傾いていた。そのため LiDAR を地面に平行になるように傾けて計測を行った。計測地点 11 は、先端研究所に近かったため柱が表示されたが、計測地点 20,21 は、周辺に何か施設があるわけではなかったが、傾斜だったため、地面のみが計測された。GNSS に関しては、今回周辺に何も表示されない地形はなかったため使用しなかった。実際には、計測地点 20,21 は傾斜なため地面が計測されてしまったが、建物から十分離れた計測場所であったため、GNSS を使用した際にはマルチパスは発生しなかった。それ以外の計測場所は、特徴的な地形だったため、LiDAR のみでも判別可能であった。

7.4 BLE ビーコンを利用した三点測位

RSSI の測定結果から、RSSI の大きさが 5m 以内の大きさが表示され、BLE ビーコンとの距離が 5m 以内の計測場所である計測地点 4,6,11 の三ヶ所で三点測位をした。使用した BLE ビーコンは計測地点 4,6 では、BLE ビーコン 1,2,3 を使用し、計測地点 11 では、BLE ビーコン 1,2,4 を使用した。計測地点 4,6 は三点測位をした範囲内に表示された。計測地点 11 では、三点測位をした範囲内に表示されることはなかったが、誤差は、最小で 7m であり、最大でも誤差は約 10m であった。

7.5 BLE と LiDAR を組み合わせた位置測位

LiDAR で計測した結果、同じような地形が表示された計測場所では、LiDAR のみで判断することは不可能なため、BLE ビーコンと組み合わせることで判断を行った。比較した結果を表 4 に示す。近くにある BLE ビーコンを 2 つ使用し、一分間計測し平均を求めた。表 3 で示した通り、計測地点 12,14,16 と計測地点 13,17、計測地点 25,26 の三通りが同じ地形が表示されたため比較を行った。同じような地形が表示された場所はすべて情報学部棟周辺だったため、情報学部棟の両端に配置した BLE ビーコン 3 と BLE ビーコン 5 を使用した。

計測地点 12,14,16 では、近い BLE ビーコンの RSSI が大

表 4 RSSI 値の比較

	計測地点12	計測地点13	計測地点14	計測地点16	計測地点17	計測地点25	計測地点26
BLEビーコン3	-77.63	-85.03	-89.72	-89.25	-92.18	-86.58	-93.78
BLEビーコン5	-89.87	-93.57	-91.42	-69.32	-81.71	-88.60	-82.96

きく表示され、計測地点 14 では、2 つの BLE ビーコンから等しい距離の計測場所であり、RSSI の差は、約 2dBm であった。計測地点 13,17 では、近い方の BLE ビーコンの RSSI が大きく計測された。計測地点 25,26 でも近い方の RSSI が大きく表示されたが、計測地点 25 では、RSSI の差は約 2dBm と大きくなかった。

8. まとめと今後の課題

LiDAR と BLE ビーコンと組み合わせることで屋外における、マルチパスを考慮した位置測位手法を提案し実験した。

情報学部棟の周辺で測定を行ったため、LiDAR のみで位置即位できる特徴的な地形が多かったが、柱などの地形では位置測位不可能であった。柱の近くでは施設の壁があったがガラスであったため、施設内部の机などが表示されてしまった。

BLE ビーコンを使用した三点測位に関しては、一つの BLE ビーコンの RSSI が大きいと実際の距離が 5m 以内の場所では、10m 程の精度で位置測位をすることが可能であった。しかし、計測地点 2 や 25 の様に BLE ビーコンからある程度離れた計測場所で RSSI が比較的大きく表示されることもあった。

LiDAR と BLE ビーコンを組み合わせた位置測位に関しては、どちらの BLE ビーコンに近いかわかりか判断できなかったため、別の方法を使用するか、他のものと組み合わせる必要がある。また柱が近くにある個所では、建物の壁はガラスでできていることが多いほか、柱とガラスの壁の間の通路は、5m 程しかないため高精度な位置測位を行う必要がある。

今後の課題について、BLE ビーコンの出力の設定などを変えて計測を行いその場所にあった設定にする必要がある。LiDAR で計測した際にガラスが検知されなかったが神奈川工科大学では、壁がガラスである施設もいくつかあるため、解決していく必要がある。また SLAM 実行時に置ける誤差がある状態で、今回提案した手法を行った際に、実際の台車の位置精度の検証をしていく必要がある。

参考文献

- [1] 浅間 一, “ロボットの自律性,” 学術の動向, Vo.25, No.5, pp.28-29 (2020).
- [2] ZMP, “日本初! 物流分野での配送ロボットの活用に向けた公道走行実証実験の動画を公開,” https://www.zmp.co.jp/news/pressrelease_20210122 (2021/4/12 参照).
- [3] 神奈川工科大学, “KAIT モビリティリサーチキャンパスの構築,” <https://www.kait.jp/topics/atrc/report07.html> (2021/4/12 参照).
- [4] 永井悠人, 澤野雄哉, 鈴木孝幸, 清原良三, “自律走行台車を活用した 2 次元点群情報による人物検出手法,” 第 29 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp123-128, 2021.
- [5] 永井悠人, 澤野雄哉, 鈴木孝幸, 清原良三, “ロボットによる構内巡回時の不審者判定手法,” 情報処理学会研究報告

2020-CDS-28, 2020.

- [6] クオン ヒョクジン, 永井悠人, 澤野雄哉, 鈴木孝幸, 清原良三, “3DLiDAR による SLAM 実行時の危険領域判定手法, 第 29 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp203-206, 2021..
- [7] 鈴木太郎, 北村光教, 天野嘉春, 橋詰匠, “GNSS マルチパス波判別を複合した精密単独測位による屋外移動ロボットの位置推定”, 2012 年 48 巻 7 号 pp. 399-405
- [8] 木内健太郎, 黒田洋司, “LIDAR と電子地図を用いたマッチングによる積算誤差の軽減,” ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2014, _2A2-R06_1-_2A2
- [9] GPSTest, ver3.8.4, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.android.gptest&hl=en_US&gl=US