

構内巡回警備自動ロボット向け自己位置推定方式

澤野雄哉¹ 永井悠人² 鈴木孝幸¹ 清原良三¹

概要: 神奈川工科大学では、構内向けの自動配送台車の導入のための研究開発を実施している。昼間は配送や案内業務、時には掃除機の牽引への活用を視野に入れているが、夜間は警備用に利用できないか検討している。本論文では、構内巡回自動ロボット（台車）により、悪意のない不審者の発見への活用を想定して、不審者発見時の自己位置推定手法を検討している。GNSS だけでは、RTK-GNSS を利用しても、マルチパス問題や屋根の下などで精度が出せないときがある。そこで、建物にあり BLE ビーコンを活用し、自己位置の推定精度の向上を検討する。不均質でしかも疎に配置した BLE ビーコンを活用して精度を向上する方式を提案する。

キーワード: BLE, 屋外位置推定, GNSS, 不審者発見

xSelf Location Estimation Method for Autonomous Robotic Vehicle

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

1. はじめに

現在、神奈川工科大学では防犯に夜間に警備することで対策をしている。不審な行動をする人物を発見することだけでなく警備をしていることを周知させることで不審人物の行動の抑制をすることができる。また年に何回か大学構内に高齢者が迷い込んでしまう場合があり、そのような悪意のない不審者も発見する必要がある。しかし、現在新型コロナウイルスの影響のため少人数で警備を行わなければならない他一晩で大学構内を複数回警備しなければならないためかなりの労力になる点が問題として挙げられている。そこで自動走行ロボットの深夜の警備させることで負担を減らす手法を提案する。神奈川工科大学では将来、自動走行ロボットの導入が予定されている。主に昼間の荷物の運送などの用途で使われるが夜間では使用されないので警備ロボットとして活用する。夜間は許可のあるものだけが滞在して良いが、実際には許可がなくても入ることが可能である。構内に入ることは可能であるが建物の中には許可がないと入れない仕組みになっている。そのため、構内で人を発見した際に不審者かどうかを判断し、不審者と判断された場合、警備室に通報することにより不審者の発見につながる。しかし不審者を特定した際に警備室に位置情報を送る必要があるためある程度の精度が必要である。

不審者の発見は以下に示す手順を想定している。

- (1) 構内巡回時に人を発見する。人の発見には、コストを安く実現するため、2D-LiDAR, カメラ (360 度も含む), 温度センサーを検討している。
- (2) 人の存在を把握したら、その人が許可者かどうかを判別する。モバイル学生証やモバイル教員証というアプリ (図 1) を利用して、BLE を活用した方式を検討している。BLE の RSSI の変化などから不審者の方向なども特定することにより、どこにいる人物が不審者なのかを特定する。
- (3) 特定後、自己位置を推定し、位置情報とともに不審者の発見の情報を警備室に送る。

本論文では、(3)に焦点を絞った検討を行う。(1)(2)に関しては文献[1][2]で検討を進めている。



図 1 神奈川工科大学モバイル学生証アプリ

¹ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology
² 神奈川工科大学大学院
Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

本提案では、台車も 3D-LiDAR を搭載しているため、台車からの情報を取得できれば位置情報の推定は簡単のように考えられるが、台車は自己が作成した地図に従って動くことを想定しており、警備員に通知する場合に必ずしもわかりやすい情報にはならない。そこで、警備員の持つ地図上の位置情報での位置推定、即ち、緯度、経度などを推定すべきである。しかし屋外の RTK-GNSS を利用したとしても建物の間や、屋根が覆うような場所での精度は期待できないと考えており、なんらかの補助的手段で推定する必要がある。

本論文では、基礎的な実験による学内での GNSS の精度の確認と、BLE ビーコンによる距離測定を実施し、不均質で疎な環境に BLE ビーコンを設置することにより位置推定精度がどの程度向上できるかを検討する。

2. 関連研究

位置推定に関する研究は多数ある。PDR などの精度の向上方式もあれば、本提案のように近距離無線通信の電波を用いた位置推定の研究が多数ある。屋内の位置推定などでは電波強度のマップを作ることにより位置推定を行う[3]。屋内の壁の影響やマップ作成時のコスト削減などの研究もある[4]。これらの研究はいずれも屋内を想定しており、そのまま屋外で不均質に配置される BLE を想定したものではなく、手法をそのままは適用できない。また、文献[5]では、障害に強い方式を提案しているが、屋外ではそのままは使えない。

そこで、本研究では基礎データを取得した上で、疎で、不均質に配置された BLE を活用する方式を検討する。

3. 基礎検討

屋外の位置推定をまずは、GNSS を利用して行う。ここで、既知の BLE のビーコンの値による距離がすべて遠距離である場合は、建物から遠い、即ち、マルチパスの影響が少なく、衛星が見渡せる状態と判断し、GNSS の精度は、ロボットが不審者がここにいると判断して、警備室に情報を発信して警備員が来た時に十分発見できる精度である数 m 程度であると考えられる。

一定の強度の BLE ビーコンが見える場合は、建物に近い、GNSS による位置の情報精度の範囲内でさらに BLE を活用して場所を絞り込む。ただし、BLE からの距離が一定以上、即ち RSSI の強度が弱い場合は誤差も大きくなるため利用しない。一定の強度より強いものがあり、自動運転の台車が徐々に近づくという時系列の情報を活用して位置を推定する。なお、RSSI,GNSS に関しては以下 3.1,3.2 に記述する。

3.1 RSSI 強度による距離の測定

RSSI は無線 LAN や Bluetooth が受信されたときの電波の強さを表す。また RSSI 強度を求める式は以下のように

なる。

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

TxPower はビーコンが発する電波の強さを示す。iBeacon の場合は 1m 離れた地点で、Eddystone の場合は 0m 地点で電波の強さが使われる。D は距離を表す。

(1) の式より距離を求める式は以下ようになる。

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

20 という数値は障害がない場合の最大値であり実際障害物など障害されるものと増加し、電波が反射されるような場所であると減少する[6]。また RSSI 強度は近いほど大きな変化がみられるが特になっていくにつれて変化が少なくなっていく。

3.2 GNSS による位置測位

屋外では主に GNSS を使って位置測位が行われる。GNSS は複数の衛星から電波を受信することで場所を特定する。一般的に使われている GPS はアメリカの衛星を使用したものである。

また高精度位置測位の方法 RKT-GNSS が挙げられる。固定局と移動局の 2 つの受信機で電波を受信する技術で、2 つの受信機の間で情報をやりとりしてズレを補正することで、単独測位よりも精度の高い位置情報を得ることが可能である。衛星から電波を受信するため手法のため野外にいる時ではほとんどの場合使用することができる。しかし高い建物の間や屋根の下などではマルチパス(多重波伝播)が起こってしまう。マルチパスは送信した電波が建物や地形などによって妨害されることで起き、受信側で多重に受け取ってしまう現象である。マルチパスが起こる場所は主に建物が密集している地帯で生じる。

4. 基礎実験

本実験では、本学内での誤差や精度などを把握するため BLE ビーコンを使用する実験と GNSS を使用して行う実験の 2 種類を行った。建物の密集地帯である講義棟、情報学部棟、看護医療棟付近で実験を行った(図 2)。オープンキャンパスに来る人のために BLE ビーコンの配置を予定し



図 2 大学の見取り図

ている。大学構内の施設を理解しやすくするために、BLE ビーコンで URL を送りどのような施設かを解説したりする取り組みが行われる予定である。そのため建物の入り口付近に BLE ビーコンを配置し実験を行った。(図 3)BLE の障害要素として気候などが影響するはが考慮しないで実験を行った。

4.1 BLE ビーコンを使った実験

BLE ビーコンを情報学部棟入り口付近の柱にテープを使って設置し、物理的に 5m と 10m の距離に立ち一分間 RSSI 強度を測定し、距離を推定した。5m 離れた位置で測



図 3 情報学部棟の入り口

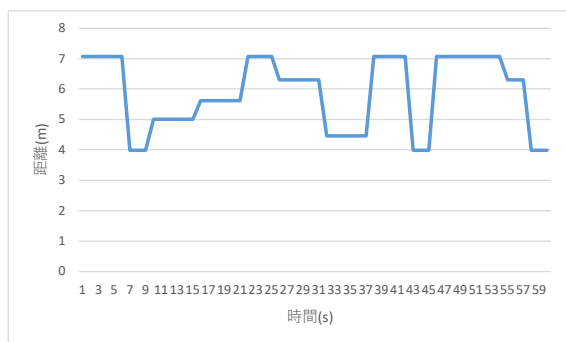


図 4 5m の距離で計測



図 5 10m の距離で計測

定し RSSI 強度から得られた距離を図 4, 10m 離れた位置で測定し RSSI 強度から得られた距離を図 5 に表す。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ことが分かった。また 10m 以上離れた距離でも測定したが実際の位置とのズレが平均値で 3m 程と大きいので位置測定を行うことが困難だと判断した。また情報学部棟入り口と講義棟入り口の 2 点に BLE ビーコンを配置し測定を行った。10m 以内であれば 2 点からの距離はおおよそ測定でき、10m 以上間隔があいている場合も RSSI 強度の大きさを比較することでどちら側に近いか程度は判断可能であった。

4.2 GNSS を使った実験

GNSS を使用して位置測定を行った。Google map などでも測定することは可能であるが、どのぐらいの位置ずれが起こるかわかりやすくするため、現在地を指定し誤差を測定することができる GPSTest というアプリを使い位置を測定した。測定した結果、講義棟と看護医療棟の間の区間で実際の位置に比べて 30m ほど誤差が生じてしまった。(図 6)。情報学部棟の屋根の下でも同じぐらいの誤差が生じたほか、時間によっては情報学部棟の屋根の下だけでなく 10m ほど離れた場所でも位置のズレが生じた。しかしマルチパスが起こらない場所では比較的大きな誤差は生じなかった。

このことから、BLE のビーコンの電波強度が一定以上ある場所では、BLE を利用し、そうでない場所では、GNSS を利用することで一定の精度を保てると考えられる。

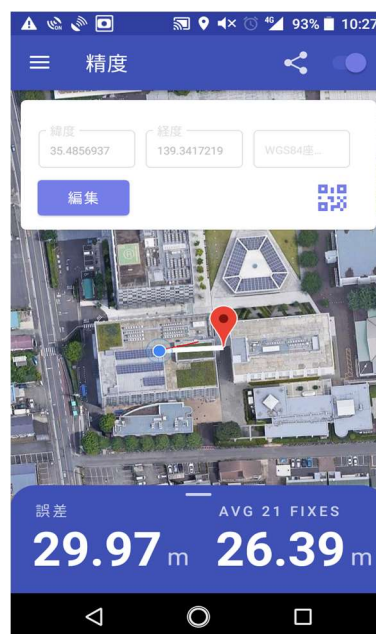


図 6 建物間で起きるマルチパスの誤差

4.3 提案手法

自己位置推定を行う際には BLE ビーコンの測定結果から 10m 以内にビーコンがある場合ある程度の精度で距離が測定できることが分かった。大学構内の広い場所では GPS を使って位置測位をおこなうことができるが建物の付近ではズレが生じてしまう。そのため RSSI の強度が一定になった際に BLE ビーコンを使った位置測位を行う。しかし建物内入り口に配置するビーコンは近くても 20m ほどであるため一般的に使われる三点測位を行うことは困難である。そこで 1 つの BLE ビーコンの距離が 10m 以内で測位が可能である際に遠くの BLE ビーコンを使って位置測位を行う手法を提案する。RSSI 強度を取得した際に得られる距離の最大値と最小値を測定範囲とする。3 つの BLE ビーコンの測定範囲が重なる場所に端末があることになる (図 7)。

図 8 のようにマルチパスが生じる場所であり RSSI 強度も小さい地点では LiDAR を使用して測定する。LiDAR は、360° レーザーを飛ばし反射して帰って来た光を受光することで距離を測定し周辺の地形を測定する。特徴のない地形の場合に判断することは困難になってしまうが加速度センサーを併用することで位置測位を行う。

まとめると以下の手順を取る。

- (1) GNSS での測位を行う。事前の測定で精度の得られる場所の場合はそのまま利用する。

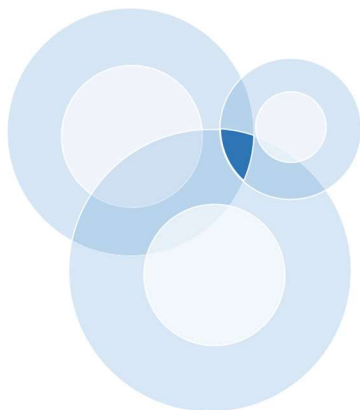


図 7 距離が離れた三点での計測



図 8 GNSS が使えず RSSI 強度も小さい場合

- (2) GNSS で精度の得られない場所の場合は、周辺の BLE の電波強度を強い方から 3 点一定時間測定し平均をとる。
- (3) 3 点測量の方式で場所を絞りこむが、どの電波も基準より弱い場合は、ロボットの移動の軌跡を利用する。
- (4) さらに LiDAR の情報を利用したマッチングを行う。

RSSI 強度が強いほど近いほどの入り口の近くにいることになるためマルチパスが起こる可能性が高い逆に小さいほど建物から離れていると考えられ GNSS が使えると判断する。

5. おわりに

GNSS と BLE ビーコン基礎実験の結果を基に位置測位の手法について提案した。BLE ビーコンに関しては天候や電波の干渉等阻害される要素を考慮しないで実験を行ったため、今後異なった条件で測定していく必要がある。RSSI 強度をもとにして測定方法を決めるため多くの場所で測定しなければならない。RSSI 強度をもとに GNSS を使うかどうかを判断するがマルチパスが発生する範囲も建物によって違うため多くの場所で測定しなければならない。また LiDAR で測定しなければならない場合は図 8 のような建物の壁沿いが予測される。LiDAR にも測定可能な範囲がありその距離より遠くだと測定することができないためそれらを考慮していく必要がある。

参考文献

- [1] Yuto Nagai, Yuya Sawano, and Ryoza Kiyohara, “A Study of Patrol System by Automated Robotic Car,” International Workshop on Informatics 2020.
- [2] 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, Vol. 2020-MBL-96, No. 5
- [3] 久保田僚介, 田頭茂明, 荒川豊, 北賀輝明, 福田晃, “無線 LAN を用いた屋内位置推定における学習コスト削減のための高精度データ保管手法,” 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1609-1618
- [4] Baniukevic, A., Sabonis, D., Jensen, C.S, and Lu, H., “Improving WiFi Based Indoor Positioning Using Bluetooth Add-ons,” Proc. 2011 IEEE 12th International Conference on Mobile Data Management, Vol 01, MDM 2011
- [5] 佐野博之, 塚本昌克, 片桐雅二ほか, “BLE タグを用いた屋内位置推定手法における耐障害性の向上,” 情報処理学会論文誌 Vol. 58, No. 5, pp. 1138-1150
- [6] 中井 若菜, 川濱 悠, 勝間 亮 “単位 RSSI 値の強弱の推定による位置推定精度の向上” 2017 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集