Vol.2020-MBL-96 No.5
Vol.2020-UBI-67 No.5
Vol.2020-CDS-28 No.5
Vol.2020-ASD-19 No.5
2020/9/29

ロボットによる構内巡回時の不審者判定手法

永井悠人[1]　澤野雄哉[2]　鈴木孝幸[2]　清原良三[2]

概要：
神奈川工科大学では自動運転機能を備えた台車型の自動走行ロボットを導入検討している．昼間は配送ロボットとして活用し，夜は悪意のある侵入者への抑止効果と悪意のない侵入者の検知に利用することを検討している．本論文では，悪意のない不審者と許可されいる滞在者の判定手法を中心に検討を行った. 許可された人はスマートフォンアプリで許可情報を保持していることを前提とし，BLE を利用した絞りこみの検討結果を示す.

キーワード：警備システム 警備ロボット LIDAR BLE セキュリティ

A Robotic Method for Detecting Suspicious Persons When Patrolling the Premises

YUTO NAGAI[1]　YUYA SAWANO[2]
TAKAYUKI SUZUKI[2]　RYOZO KIYOHARA[2]

1. はじめに

施設による犯罪対策として様々な警備，対策手法がある. その中でも不審人物, 不審物の抑止力として監視カメラを設置し，警備員が状況を確認するという手法が一般的である.

施設の規模に応じた警備員を配置することが必要だが，規模が大きくなるにつれて人数が増加し費用も増加する．しかし近年，警備員の人材不足や費用増加が問題となっている．また，大学や病院などの施設では，多くの人が自由に出入りできるケースが多く，高齢者が認知症などによって学内に悪意なく侵入してしまう事案が発生している．人材不足の解消作として，自動走行の警備ロボットの導入が様々な企業で進められている.

一方で, 自動運転の技術も進歩していることから，これらの技術を小型の台車などに適用し，従来のような誘導路上を走るのではなく，自律的に走行できる技術も実用化されつつある.

開発, 導入が進められている警備ロボットは, 画像処理と AI により不審物，不審人物の感知や施設案内などのコミュニケーションを行うことができ，警備員の負担を減らしつつロボットと人間で業務を遂行することを目的としている.

また，導入事例として，成田空港に 2019 年よりセコム株式会社のセコム X2 が導入されており，2020 年より SEQSENSE 株式会社の SQ-2 SECURITY ROBOT が導入されている[1]．この SQ-2 は（株）三菱地所本社にて運用されている．さらに，成田空港は 2020 年中に多言語情報発信を行うサイネージロボットや案内ロボットを導入予定である.

既存の監視ロボットは高性能カメラや 3D LiDAR などを搭載しており，高性能故に価格が 1000 万円前後なものが多く導入することは，企業や施設にとって金銭的に大きな負担となり結果として費用の増加が考えられる. また, 主にカメラによる画像処理によってオブジェクトを認識しているため夜間の状況判断が困難となる.

また, これらのロボットは警備, 巡回やコミュニケーションを目的として開発されており，上記以上の機能の発展に乏しい.

神奈川工科大では, 学内の一部にローカル 5G を実験導入し,

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

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vol.2020-MBL-96 No.5
Vol.2020-UBI-67 No.5
Vol.2020-CDS-28 No.5
Vol.2020-ASD-19 No.5
2020/9/29

台車ロボットの自動走行化を行い，昼間は学内の配送に利用する想定をしている．そこで，このロボットを夜間に警備ロボットとして運用することができれば警備員の負担を減らす事ができ，さらに導入コストを削減できる．

本研究では，比較的安価な LiDAR である 2D LiDAR や GPS,BLE(Bluetooth Low Energy)を用いた構内における不審者，不審物の判定手法を提案する．

2. 監視システムの現状

現在の監視システムは，主に警備員の巡回警備と監視カメラによって行われている．監視カメラによる監視は有事の際の証拠や警備員が常に確認することにより不審物，不審人物を事前に発見し犯罪の抑制に努めるというものである．また，監視カメラが設置されていることや，警備員が定期的に巡回すること自体が犯罪の抑止につながっている．

この方法は不審物，不審人物の判断などを全て警備員が行う必要があり，時間に大きな制約が生まれる．また，カメラの映像の場合，対象物までの距離が不明なことや夜間，悪天候時に遠距離にある物を見ることが困難である．そこで，LiDAR を使用することで，悪天候時に捕捉しづらいという点は変わらないが，昼夜問わず正確な測定をすることが可能となり，さらに，高性能な物を利用した場合その物の形を認識できる程になる．低解像度の LiDAR を利用した場合，その場所に物体があることや，そこまでの距離は認識可能である[2]．そこで，カメラと LiDAR を組み合わせることで短所を補完することができる．

カメラや様々なセンサを搭載したロボットに警備員の業務の一部を置き換えることが検討されており様々なロボットが開発されている．株式会社セコムは障害物を回避しながら自立走行し巡回を行い，カメラによる映像の取得，監視や取り付けられたアームにより不審物やゴミ箱などを赤外線センサ，熱画像センサ，金属探知機を使用して点検を行う X2，自動走行だけでなく人とのコミュニケーションや AED を搭載し周りの人に使用を促す機能が搭載されている X3 が開発されている[3]．

Knightscope Inc.は屋外自律型セキュリティロボットの K5[4]を開発している．これは，カメラ，LiDAR，熱画像センサなど様々なセンサが搭載されており周囲の異音や環境の変化，指名手配者などを認識しコントロールセンターに知らせることができる．警官の代替えや病院，商業施設，空港などへの配備が想定されており実際に 2018 年 6 月から 12 月の期間にハンティントンパーク警察はソルトレイクパーク地域では 48 件の犯罪または事件の報告，11 人の逮捕者があったが，導入後の 2019 年 6 月から 12 月の期間では 26 件の犯罪または事件報告，14 人の逮捕者となり警備ロボットは犯罪の抑止に繋がることが分かっている[5]．

3. 関連研究

車載レーザレンジセンサによる複数移動物体の検出・追跡法が研究されている[6]．屋内環境において，2 次元レーザレンジセンサを全方向移動ロボットに搭載し，走行時における観測地情報を独自のルールと占有グリッド法を利用して壁，静止物体と移動物体を区別し，カルマンフィルタを用いて移動物体の追跡をするというものである．ロボットの視野から出ないように人間 2 人がどうした場合その 2 人を移動物体として認識した．しかし，より大きな移動物体を検出，追跡を行う場合対象を剛体として取り扱い形状と位置などを認識する必要があるとしている．移動物体の検出は可能であるものの，その移動物体が不審者かどうかの判断は不可でありまた，不審物の様に移動しない物体に対しては背景として削除されてしまうためこれらを考慮し検討する必要がある．

焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた匿名者と非匿名者の位置検出に関する検討が行われている[7]．

デバイスを所有し，自分が誰で現在どこにいるかを伝える人物を非匿名者，そうでない人物を匿名者としそれぞれを屋内で検出することを目的としている．焦電型赤外線センサと iBeacon を統合した検知装置を屋内の天井に設置し人物の検出及び匿名者か非匿名者かの検出をおこなう．人物の有無を検知するために焦電型赤外線センサを利用し，匿名者かそうでないかの判断を iBeacon で行う．人物の検知については約 1ｍの精度で検出する事ができるが，iBeacon の RSSI 値については距離に対して値が比例していないとの実験結果を得ている．屋内における人物の検出は可能だが，屋外の場合天井が存在する場所が少ないため天井のない場所に置いての人物検出について検討する必要がある．

4. 不審者の判定

本研究では，構内における”悪意の無い”不審者の発見を行う．”悪意の無い”とは，故意に犯罪を行おうとする人物以外を指す．例として，誤って侵入してしまった者や申請が必要な時間帯に申請を忘れその時間以降も滞在してしまった者などである．悪意を持った人物の場合，警備を警戒し巡回ロボットなどを発見した場合検出範囲外に常に存在された場合，検出は不可能であり巡回ロボットのみを利用しての対策は困難である．

4.1 BLE を用いた判定

学生証や社員証などがスマートフォンにアプリとされて管理されていることを前提とし，そのスマートフォンと通信を行う事で不審者の判断が出来ると考える．スマートフォンは日常生活で多用されるため通信が原因でバッテリーの負担となってしまい結果として普及の妨げになると考える．そこで，通信には消費電力の少ない BLE での通信が有効だと考える．図 1 に判定手法を示す．

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vol.2020-MBL-96 No.5
Vol.2020-UBI-67 No.5
Vol.2020-CDS-28 No.5
Vol.2020-ASD-19 No.5
2020/9/29

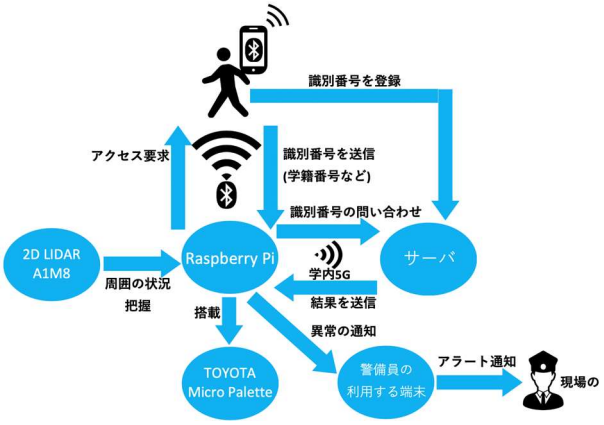

図 1 BLE による不審者判定

図 1 のそれぞれの役割は以下である．

- Raspberry Pi
  BLE 通信におけるセントラルを担い，スマートフォンより識別情番号の取得を行いサーバへ問い合わせを行う．
- スマートフォン
  BLE 通信におけるペリフェラルを担い，固有の識別番号を持つ．また，サーバに自らの情報の登録，入稿許可の申請を行う．
- サーバ
  予め登録されている情報と Raspberry Pi より送信された情報の照会を行う．

これらを利用し，不審者の判定を行う．図 2 にフローチャートを示す．

4.2 通信不可の不審者

BLE 通信によりスマートフォンを所有する者の判定及び大凡の位置は取得する事ができるが，高齢者や子供などスマートフォンを持たない人物，専用アプリケーションをインストールしていない人物の検出は不可能である．そこで，2D LIDAR を利用して周囲の状況を取得し通信が出来ない不審者を発見する事が出来ると考える．また，これを利用する事で，同時に不審物の検出を行う事が出来るようになる．利用する 2D LIDAR[8]のスペックを表 1 に示す．

4.3 2D LiDAR と BLE の組み合わせによる不審者の判定

2D LiDAR を利用して室内(図 3)のスキャンを行った結果，図 4 ような結果を得た．タンスが壁から突起していることが確認できる．次に，このタンスの前に人間を 3 名並べた．(図 4.5)タンスのある場所の前に 3 つの点群オブジェクトを確認することができた．例えば，図 4 を正常な状態の地図としてシステムに記憶し，図 5 の状態と比較することで本来存在するはずのない物を発見することが可能

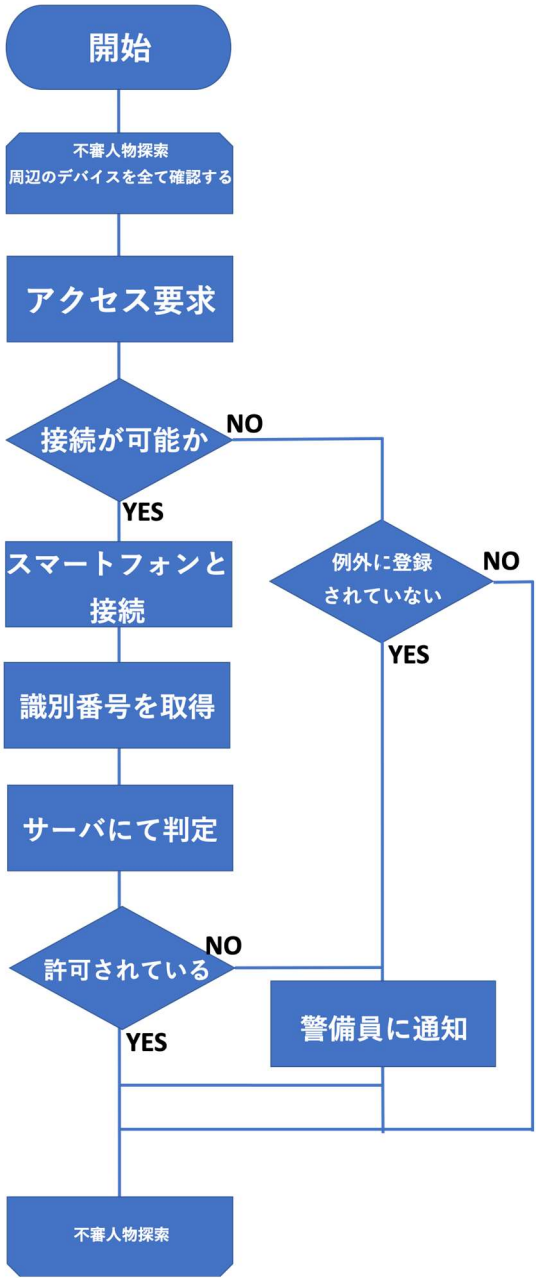

図 2 BLE による不審者判定のフローチャート

表 1 2D LIDAR のスペック

機種	RPLIDAR A1M8
サイズ	98.5mm x70mm x60mm
測定可能距離(半径)	0.15-6.0m
測定範囲	0-360°
サンプリング周波数	2000~2010Hz
サンプリング間隔	0.5ms
スキャンレート	1~10Hz

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vol.2020-MBL-96 No.5
Vol.2020-UBI-67 No.5
Vol.2020-CDS-28 No.5
Vol.2020-ASD-19 No.5
2020/9/29

図 3 2D LiDAR での状況取得 1

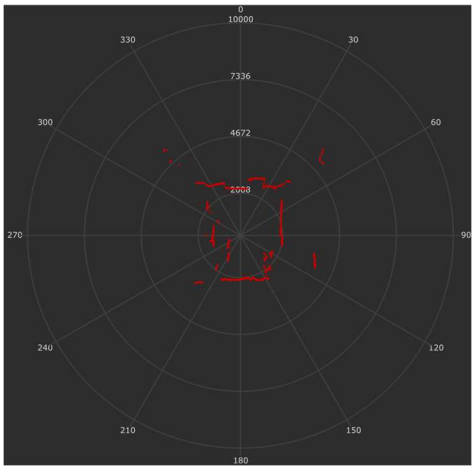

図 4 2D LiDAR での状況取得 1

である．

人間は，構造上正面及び後面から測位したとき”V”字の様に見える．そこで，この特徴を利用することで，2D LiDAR を利用し人間とそうでないオブジェクトを判断することが可能である．

2D LiDAR と BLE を組み合わせ，そのセンサを移動させることで BLE 端末を持たない不審者を発見できると考える．2D LiDAR の検出可能距離は直径 12m であり BLE の検出可能距離を直径 10m に制限する．また，周辺状況を把握するために正解マップを保持している．図 6 の場合 BLE 通信できる圏内に 4 つのオブジェクトがありその中のどれか 1 つは通信のできる人物だということがわかる．また，圏外には通信ができるか定かではないが 1 つのオブジェクトが存在することが 2D LIDAR によって確認できる．この状態の場合 BLE 通信のできない不審者を判定は以下の手順で可能だと考える．

① 正解マップと照らし合わせ本来その場所に存在するオブジェクトは無視する．

② ランダムに検出されているオブジェクト方向へ移動する．

③ RSSI 強度や新たに見つかるオブジェクトなどから判断し新たに違う方向へ移動する．これを BLE 通信ができなく移動しているオブジェクトが特定できるまで繰り返す．

図 6 にあるオブジェクト A,B を既存の設置物とすると正解マップとのマッチングにより探索対象から排除され図 7 の状態となる．次に，現在検出されている移動物体 A,B,C のどれかに向けて移動する．図 8 の様に移動した場合移動物体 A は新たに BLE 通信可能範囲に入り通信できる者は 2 人で通信できない物即ち不審者は 1 人であることがわかる．また，A の方向に移動し新たに通信可能者が増えたため A は不審者ではないこととなり，B 若しくは C が不審者ということとなる．したがって，図 9 の様に，このどちらかの BLE 通信不可能域に本体を配置することで BLE 通信のでき

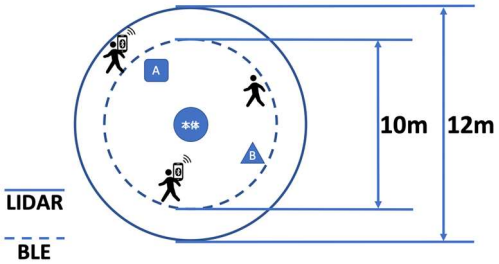

図 6 センサ周辺の状況例

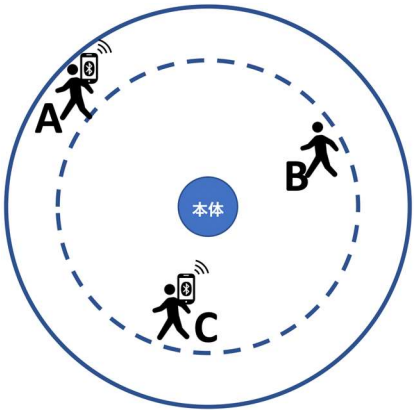

図 7 一定のオブジェクトの削除

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vol.2020-MBL-96 No.5
Vol.2020-UBI-67 No.5
Vol.2020-CDS-28 No.5
Vol.2020-ASD-19 No.5
2020/9/29

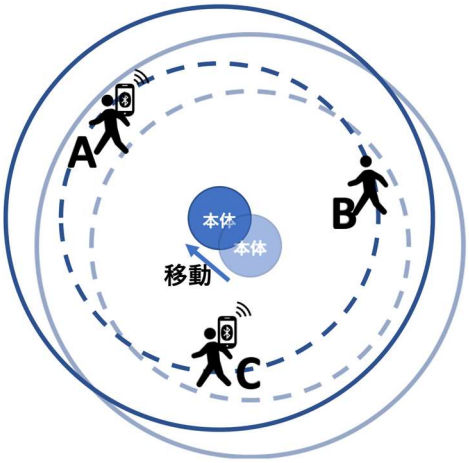

図 8 検出オブジェクト方面へ移動

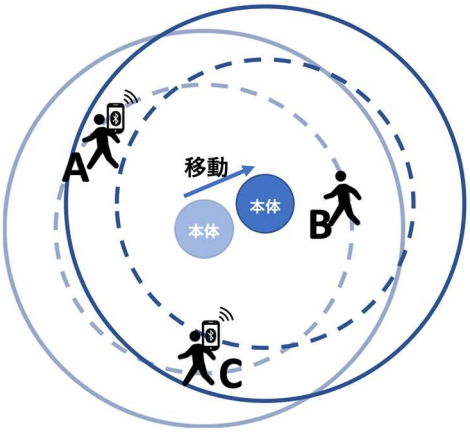

図 9 再移動

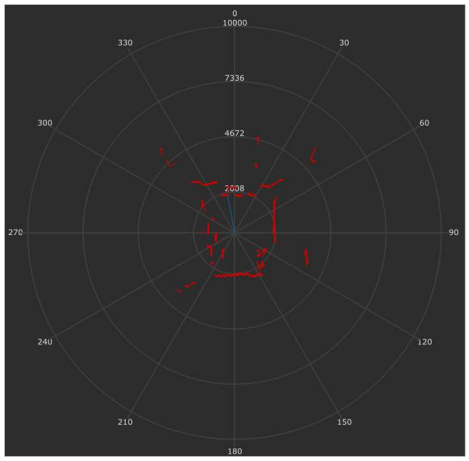

図 5 2D LIDAR での状況取得 2

ない不審者を発見することができる.

5. まとめと今後の課題

BLE,2D LIDAR,GPS を利用し構内における悪意のない不審者の判定手法について検討した．BLE 端末を持つ者の判定は周辺に多数存在する既存の BLE 端末との差別化を行い正確に判断する必要がある．BLE 端末を持たない者の判定は実機に搭載し実験を行い改良を加える必要がある．BLE 端末を保持するが，判定用アプリケーションをインストールしない者の判定は周囲の BLE 端末との差異をつけることが不可能であるため，BLE 端末を持たない者と同様に LiDAR での判定が必要になり効率の低下が考えら得る.

端末ごとにおける強度の差についても検討する必要があると考える．また，2D LIDAR で人間と判断するためには，正面または後面から即位する必要があり，側面より測位した場合は判断が困難だと考えられる．これを解決するために他のセンサなどを組み合わせることが必要だと考え適切なものを検討する必要がある.

また，自動走行の台車に取り付ける場合は，自動走行機能実現するために，台車に 3D LiDAR が搭載されている場合が想定されるが，本研究では，台車が誘導路上でしか動かない場合も想定し，自らもコストの安い 2D LiDAR で動作することを念頭にしている．3D LiDAR が搭載されている場合はその情報をマップ情報とともに活用できると考えている.

想定している状況として，すべての滞在許可者はスマートフォンを保持し，アプリをインストールしていることが前提となっている．持っていないだけで不審者扱いされるが，その頻度がどの程度かによって提案方式が実用化できるどうか左右されることになる.

しかし，多くの学生がスマートフォンを保持している現状では妥当な仮定ではないかと考えられる．アプリのインストールに関しても大学内では，アプリを使うことによる出席確認や，さまざまな割引サービスを実現したこともあり問題ないと考えられるが，現実的にはスマートフォンの進化，OS の度重なる更新などにより，すぐにアプリが動作しなくなるなど，開発，修正が頻繁に起こるこは懸念事項であり，将来の検討課題の一つとなる.

さらに，利用されはじめると，悪意のない人を対象にして，ある程度間違っても良いという前提が覆され，より厳しい高いレベルの目標に変わることも十分想定しなければならない．そのため，監視カメラの搭載などの検討も必要になると考えられる.

また，BLE，LiDAR の進歩も激しいため，その対応も考える必要があり，安定した機能のみを活用することを想定していく必要がある.

参考文献

[1]成田空港 第 3 ターミナルへの最新型警備ロボット導入による更なる館内警備の強化

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

https://www.naa.jp/jp/20200123-keibirobot.pdf?fbclid=IwAR1t1SJNO3N16NfAfb6J3146YbylyYMkKAfXFPrgRYYiaeAG8LZP-KqFMlY<2020/5/28 accessed>

[2]画像センサーと LiDAR によるセンシング融合技術を用いた現場監視ソリューション
OKI テクニカルレビュー第 230 号 Vol.84 No2.p14-17.(2017-12)

[3]不審物点検およびコミュニケーションが可能な自律走行型セキュリティロボットを２種開発
https://www.secom.co.jp/corporate/release/2017/nr_20180305.html<2020/5/29 accessed>

[4]KNIGHTSCOPE K5
https://www.knightscope.com/knightscope-k5
<2020/5/29 accessed>

[5]Knightscope Credited for Reducing Crime

[6]橋本雅文,緒方聡，大場史憲，岡田三郎：「車載レーザレンジセンサによる複数移動物体の検出・追跡法」 日本機械学会論文集(C 編)72 巻 717 号 p162-169(2006)

[7]秦淑彦,加川航大,久保貴志,物部佑樹：「焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた匿名者と非匿名者の位置検出に関する検討」情報処理学会研究報告書 Vol.2015-ASD-2 No.14 p1-8(2015)

[8]SLAMTEC RPLIDAR A1 Introduction and Datasheet
https://www.generationrobots.com/media/rplidar-a1m8-360-degree-laser-scanner-development-kit-datasheet-1.pdf<2020/8/5 accessed>

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan