

## 不審人物検出のための2次元点群情報による人物検出手法

永井悠人<sup>1</sup> 澤野雄哉<sup>1</sup> 寺島美昭<sup>3</sup> 鈴木孝幸<sup>2</sup> 清原良三<sup>2</sup>

**概要:** 自動運転技術の研究開発が活発であり、これらの技術の様々な分野への応用も期待されている。例えば、自動走行ロボットや台車など人以外のものを載せて運んだり、移動することに意味のある機能に活用することが期待されている。様々な応用が考えられる中、自律走行台車は、昼間は台車、夜間は警備、人が多いときにはデジタルサイネージなど複数の用途が期待される。そこで、神奈川工科大学では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目的として、自律運転機能を備えた台車型の自動走行ロボットを開発している。本論文では、カメラのように光度の影響を受けず3D-LiDARと比べ比較的安価で情報量の少なから処理の削減が見込める2D-LiDARを利用し人間を検知し、侵入や無許可滞在を抑止するために2D点群情報を用いて人間の分類を行った。

### 1. まえがき

施設内の外部からの侵入に対する犯罪対策として、様々な警備、対策手法がある。その中でも不審人物、不審物の対策や抑止力として監視カメラを設置、警備員が巡回を行い状況確認するという手法が一般的である。これらを設置、配置することで不審人物は警戒し犯罪抑止に繋がる。

施設の規模に応じた警備員を配置することが必要であるが、規模が大きくなるにつれて人員規模が増加し、費用も増加する。また、図1に示すように、自由に出入りできる時間帯や、そのエリアの広さも影響する。しかし、コストダウンのために、警備員の人員削減といった要求もあり、これをいかに実現するかは様々な施設で重要な課題となる。

神奈川工科大学では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年に1~3回ほど発生している。これは他の施設でも同様であると容易に推定され、今後高齢化者社会になるにつれ、このようなケースの増加は免れないと考えられる。

人材不足の解消策として、自律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。開発、導入が進められている警備ロボットは、画像処理や機械学習などにより不審物、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。

導入事例として、成田空港に2019年よりセコム(株)のセコム X2 が導入されている[1]。また、2020年よりSEQSENSE(株)のSQ-2 SECURITY ROBOT が導入されている[1]。このSQ-2は三菱地所本社にも運用されている[2]。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[1]。

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、高性能ではあるが、高価である。比較的自由に人が出入りできるような構造の場所は、公共機関や、教育機関など予算的に厳しい場合が多く、安価に導入できる器材の開発が望まれる。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での精度向上が大きな課題となる。

神奈川工科大学では、KAIT モビリティリサーチキャンパス[3]の構築の一環として、ローカル5Gを導入し、配送用の台車の自律走行化を行い昼間の学内配送に利用する予定で研究開発中である。また、様々な企業で予め走行ラインを準備しておきこれに従って自動走行を行う配送用のロボットが導入されている。そこで、このような自律走行台車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しつつ、さらに導入コストを削減することができる。

本論文では、比較的安価で取得する情報量が少ないLiDAR(Light Detection and Ranging)である2D-LiDARやGNSS, BLE(Bluetooth Low Energy)を用いて不審人物を発見し、悪意のない侵入を抑止するためにまず、2D-LiDARを用いて取得した2次元点群情報を用いた人物検出の可能性を示すことを目的とする。

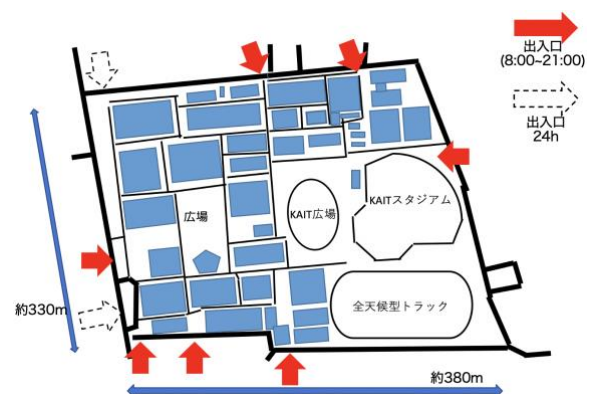


図1. 警備にコストのかかる例(神奈川工科大学構内図)

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  
3 創価大学  
Soka University

## 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る、もちろん常時見ているわけではなく、映像の処理手法などによって、怪しい時を特定し、警備員が映像で確認することもできる。しかし、カメラの死角などに入る場合もあり、全域を網羅するのは難しい場合が多い。

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[4]。そこで、カメラとLiDARを組み合わせて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律走行し巡回を行い、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、自律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[5]。

Knightscope Inc.は屋外自律型セキュリティロボットのK5[5]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事が分かっている[6]。このように様々な会社で特定の用途に向けて警備ロボットが開発され、市場に投入されているという点からも警備ロボットにニーズがあり、犯罪の抑止

として効果が期待されていることがわかる。

## 3. 2D点群情報の有用性

物体認識を目的とした機械学習や深層学習では画像情報を用いることが多い。認識精度を向上させるためには、一定の解像度が求められる上の場合によっては色彩情報も必要となり情報量の増加が懸念される。これは、学習時だけでなく、検出の際にもその情報量の多さから処理を可能とする高性能コンピュータが必要となる。また、距離の情報を持たない、さらに夜間など一定の明るさを得ることができない場合、周囲の状況の取得が困難になる。

また、明るさに影響されない撮影方法として、サーモカメラがある。しかし、温度を計測する特性上、距離が離れた場合や人間の周囲に体温と同じ物体がある場合取得が困難になる。

そこで、周囲の明るさに影響されず、色彩情報を持たず形状の表現が可能かつ、距離情報を保持する点群情報に着目する。点群情報を取得する機材の種類として、単体レーザーを照射し1つの高さのみを点で表現する2D-LiDAR、複数レーザーを照射し複数の高さを点で立体的に表現することのできる3D-LiDAR、これにRGB情報を加えて表現することが可能であるKinect[7],iPadProがある。2D-LiDARより得られる2D点群情報は、情報量が少ないためリアルタイム処理に適しているが、特徴量が少ない。一方3D-LiDARやKinectより得られる3D点群情報は立体的な点群情報を取得することが可能であるため、その分特徴量も多くなる。しかし、情報量が多くなるため、リアルタイム処理を行うためには高性能なコンピュータが必要となる。

2D-LiDAR,3D-LiDAR,iPad Pro,カメラを用いて屋外と屋内で装置から2mの位置に人間を1人立たせた状態の情報を取得した。また、3D-LiDARはVLP16を使用し、取得範囲を直径6.0mに制限し、2D-LiDARと取得範囲を統一させている。画像は、一般的に深層学習や機械学習に用いられることの多いjpeg方式により保存され、解像度は480pxである。取得したデータの情報を比較したグラフをそれぞれ、屋内を図2、屋外を図3に示す。屋内と屋外を比較すると、画像以外屋外で取得した場合の方が情報量が少な

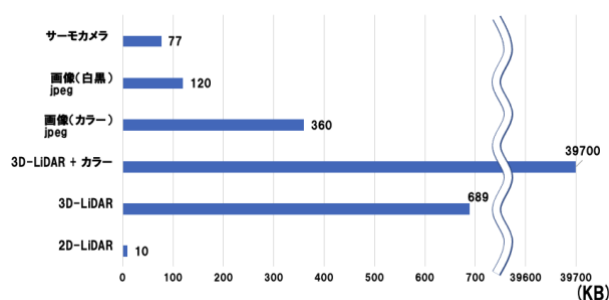


図2. 屋内で取得した場合の情報量

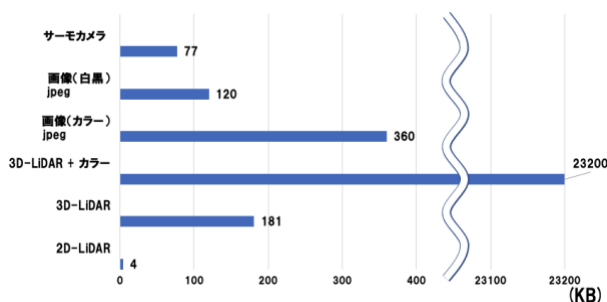


図3. 屋外で取得した場合の情報量

くなっている。これは、周囲に壁や柱などの物体に周囲を囲まれていないからである。一方、周囲を壁で囲まれている屋内の場合は、余分な情報を取得している。3D-LiDAR が得た情報を屋内と屋外で比較した場合、約4倍になっている。

しかし、2D-LiDAR の場合は約3倍である。また、2D-LiDAR で得られた情報量と3D-LiDAR で得られた情報量を比較した場合、屋外で約45倍、屋内で約69倍となっており、3D-LiDAR の場合周囲に建物などがある場合その分取得される情報量が2D-LiDAR と比較して大幅に増加すると想定する。そのため、2D 点群情報は、処理速度の向上やコンピュータへの負荷低減に有用である。

#### 4. 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[8]。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人が移動した場合その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、その移動物体が人間であるかどうかの判断は不可能でありまた、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。

LiDAR を用いた形状的特徴による人認識について研究されている[9]。3D-LiDAR で取得した3次元データに対してクラスタリングを行いその中でも立体物に対して特徴点抽出を行い実時間性の高い人認識を行う。更に、得られた形状的特徴に対してSVMを用いて評価を行うことでより高精度な人認識を行い結果として人として認識された対象物体を候補に追跡することが可能であるとしている。LiDAR を利用し人の検出は可能であるが、3D-LiDAR を利用しているため費用の増加やデータ量の増加が考え

られるためこれらを削減することの出来る2D-LiDARでの検討が必要である。

センサフュージョンを用いたSLAMによる障害物検出に関する研究が行われている[10]。レーザレーダを利用して、SLAMを行いフレームマッチングを行うことで移動障害物の検出を行い検出された障害物をカメラの映像に投影し関心距離を検出し移動障害物と判断された場合は距離を表示するというものである。SLAMを利用することで高い精度での人及び障害物の検出を可能にしているが、マップマッチングを行うため事前にマップを取得していなければならない。また、前後のフレームでマップマッチングを行っているため、センサの移動をすることが不可能である。そこで移動し続ける場合であっても物体を検出できる手法を検討する必要がある。

不審人物を発見した際対象の場所を警備員に通知する際にGNSSなどを利用して位置情報を取得するがマルチパスによって正確な位置情報が取得できない可能性が考えられる。そこで、GNSSの他にBLEビーコン、LiDARを利用した位置情報測位の研究が行われている[11]。

2D点群情報を利用して人を検出し対象者を追跡する研究として、人検出タスクにおける単体LRF環境での深層学習モデルの提案とその評価が行われている[12]。ここでいうLRFとはLiDARと同じ装置を指している。単体LRFより取得したデータに対してPCL(Point Cloud Library)のクラスタリングを利用しこのデータをPointNet-AutoEncoderを用いて深層学習を行った結果、hand-crafted特徴量を利用した検出率と比較し胴体と足のそれぞれの検出率を向上し追跡対象者を検知し追跡が可能であると示している。胴体と足を別々に識別しており足の検出については一部hand-crafted特徴量と比較して劣る場合が存在する。

そこで、本論文では、低解像度な2D-LiDARを用いて人間を検出し、この検出率の向上を目指す。

#### 5. 不審物発見手法

本論文では昼間のみ運用を予定されている自律走行台車の有効活用を目的に夜間における不審人物の検出を目的とする。不審人物の検出には2D-LiDARから得られる点群情報及び、BLEを用いる。BLEを用いる理由として、現在、スマートフォンが広く普及し、学生証や社員証がアプリケーションとして管理される場合が増加しており、その中の昨日の一つとしてBLE通信機能を組み込むことが容易かつ、スマートフォンの消費電力を極力抑えることが可能だからである。

不審人物の種類として悪意のある不審人物、悪意のない不審人物の2種類が挙げられる。前者は、盗みや器物破損など意図して悪事を働こうとする者で、後者は、意図せずに侵入禁止区域や侵入禁止時間に侵入、滞在また、滞在の延長届やBLEが反応しない者などがある。



悪意のある不審人物は、警備に見つからぬよう行動するため警備員や警備ロボットの死角をつくよう行動するため検出が困難であるため、本論文では対象としない。

以下の(1)~(4)の手順で不審人物の検出を行う[13].

(1)2D-LiDAR から得られる情報より周囲の人間の有無を検出する。

(2)人間の可能性がある場合は確実性を向上させるため自律走行によって近づいたり様々な角度から観測する。

(3)人間であると判断された場合、自律走行台車とスマートフォンの BLE 通信を行い許可されている人間かを判定する。

(4)許可されていないことが判明した場合、自らの位置情報と不審人物検出の通知を警備員の端末に送信する。

自律走行台車は、走行のための周囲情報の測位、処理に加えこれを行うコンピュータ、走行に用いるモータの駆動などを搭載されているバッテリーによって行っている。また、制御を行うコンピュータはその処理に処理能力を利用しなければならないため、追加の処理を行うには性能不足である。そこで、不審人物の検出処理を行うコンピュータの導入が必要となる。しかし、画像処理や3D点群情報の処理を行うことのできるコンピュータは、高性能になるため消費電力が大きい。これは、自律走行台車の連続行動時間の短縮に繋がり、好ましくない。また、人間は動き続けるためリアルタイム処理が求められる。そこで、低性能コンピュータでリアルタイム処理のできる低情報量の人間の情報が必要となる。そこで、2D点群情報を得ることのできる2D-LiDARを利用する。

## 6. 提案手法

低性能コンピュータで高速処理が可能である情報量の2D点群情報を用いた人間の形状学習を行う。また、情報量、金銭的コストを削減、周囲の光度の影響に左右されなくするため、低解像度2D-LiDARを用いる。

### 6.1 2D点群情報を利用した人間の検出

LiDARはカメラのように光度の影響を受けづらいため夜間における人間や物体を検出することに適していると考えられる。LiDARの中でも2D-LiDARは比較的安価であり3D-LiDARと比較してデータ量も少なく高速処理に向いていると考えられる。しかし、データ量の少なさから個々の特徴を抽出することが困難と考えられるため、2D-LiDARの認識精度の調査を行いその結果から人間を認識するために必要な手法の検討を行った。[12]2D-LiDARから取得したデータを可視化した際、その形状から人間だと判断することが可能であったため、画像として扱い機械学習を行った。

人間を認識することは可能であったが、多くの誤認識が検出されたため、画像による認識は不向きであることがわかった。そこで、点群情報そのものを学習することで精度

の向上を目指す。使用した2D-LiDARのスペック[14]を表1に示す。

### 6.2 2D点群情報の取得

まず、点群情報を取得するにあたって、最適な高さの検討を行った。2D-LiDARの高さを変更しながら人間の情報を取得し続けた結果、地上から約90cmで取得される情報が他の物体と明確な差が生まれたためこの高さが2D-LiDARを利用して人間を検知するのに適しているといえる。LiDARからの距離は2mで正面から取得を行った。取得した情報を図4に示す。90cmは殆どの成人の腰ほどの位置となり、腰、腕が情報の対象になっている。これにより、取得される情報は”凸”の様な形になった。

これは、人間と大きさや形の似ている木や柱などとの相違点でありこの特徴から人間を検知できるのではないかと考える。また、側面から取得した場合は”く”の字に見えることが多い。また、歩行する際左右で手を振る際両腕に腕が振られている動作を確認することが出来た。背面から取得した場合は、正面から取得した時同様”凸”の字に見える。これらのことから”く”の字と”凸”の字という点を特徴とすることで2D-LiDARで人間を検知することが可能であると想定した。

つぎに、LiDARのデータ取得有効範囲の検討を行った。LiDARは構造上、物体との距離が遠くなるほど計測データが減少するため距離に比例して精度が低下するという問題がある。そこで、地面から90cmの高さにLiDARを設置

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             |

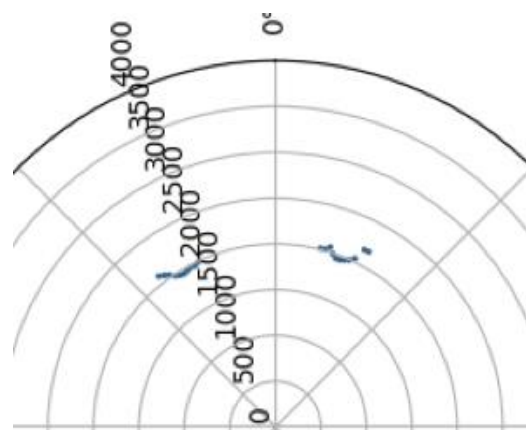


図4. 2D-LiDARによる点群情報の取得例

し計測距離を 1m~6m 変化させた場合の取得状態の確認を行った。2m~5m では人間は“凸”の字の様に見えている。6m になると“凸”の字には見えなくなった。このことから、距離による計測データの減少により取得できる情報が減少しているため必ずしも同じ条件で取得できることではないことが分かった。

データの取得には、表 1 に示した 2D-LiDAR を用いて点群情報の取得を行う。2D-LiDAR を地上より 90cm の高さに設置し、正面 1m から 5m にかけてそれぞれの距離で立ち止まったまま 10 秒間の間に 1 回転したデータを保存する。次に、人間の形状を 2D-LiDAR を用いて点群情報を取得し、直接学習及び実験に利用するために、人間のみのデータを取得するためクラスタリング処理を行った。周囲に映り込んだ人間以外の情報を削除する。

クラスタリングには PCL のクラスタリングを使用した。設定として、その点が所属するクラスタを判断する許容範囲を 0.06m、クラスタの点の最小値を取得距離 1m~3m までを 10,4~5m を 5 とし、最大値を 200 とした。距離に応じてクラスタの最小値を変化させる理由として、本研究で利用する 2D-LiDAR は低画質であり距離による劣化が顕著であり点群情報が取得できなくなるからである。クラスタリングを施し人間部分を抽出した点群情報を可視化したものを図 5 に示す。

### 6.3 点群情報の学習手法

取得した点群情報のデータ順を入れ替える。点群情報は画像情報などと違いデータの入力について順序を持たない。そのため、深層学習や機械学習を行う上で対等に比較できない問題がある。そこで、学習の前処理として X 軸若しくは Y 軸に着目しデータの順序を並び替える

## 7. 実験

2D-LiDAR より取得される 2 次元点群情報を用いて SVM により人間の分類を行った結果 93.6% の精度を確認した。

### 7.1 2 次元点群情報による人間の分類

6.3 節で作成した点群情報を用いて SVM にて 2 クラス分類を用いて人間の検知を行った。6.2 節で取得したものを正解データとして扱いこれを 321 個、不正解データとして木や柱など人間以外のデータ 543 個を用いた。また、不正解データについてもデータ順の入れ替えを行う。テストデータとしては、学習に使用していない正解データ 179 個、不正解データ 165 個を用いた。カーネルには RBF を利用しパラメータはグリットサーチを用いて最適化を行った。

テストデータを用いて分類を行った結果正解率は 93.6% であった。また、2 次元点群情報で計測した場合形状が人間と酷似している木のみを取得し製作したデータセットを用いて分類を行った結果正解率 99.0% であった。使用したデータの一例を図 6 に示す。

自律走行ロボットに搭載予定である Jetson nano 上で分

類を行った結果、実行時間は 322ms であり十分に動作することを確認した。

## 7.2 考察

誤分類の主な要因として、取得距離が遠くなるに連れて 2 次元点群情報は疎となり人間の特徴と酷似してしまうためである。

しかし、2 次元点群情報で取得した際に人間と形状が酷似している木などの円柱状の物体のみで分類を行った結果精度は 99.0% であった。これは、腕に相当するものが検出不可であるためである。また、目視による形状が人間と酷似したものであったとしても、点群情報には座標として距離情報が含まれているため誤分類が発生しないと想定する。

これらの結果から、程解像度 2D-LiDAR を用いて取得した 2 次元点群情報を用いた人間検知は十分に可能である。

## 8. むすび

夜間構内における不審人物侵入の発見及び抑止を目的とした人間の検知を行うために 2 次元点群情報により人間の分類が可能であるかの実験を行った。

2 次元点群情報に入力順をつけ SVM にて分類を行った結果 93.6% の精度を確認した。このことから、本論文の手法を用いて人間を検知することは可能である。また、jetson nano のような低性能コンピュータ上にて処理を行えることから、自律走行ロボットへの搭載は容易であると想定す

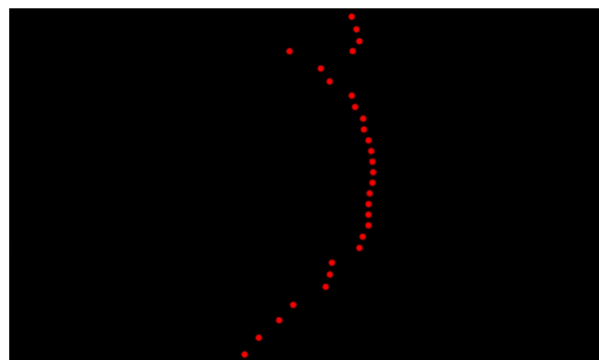


図 5. クラスタリングによって取り出された人間の点群

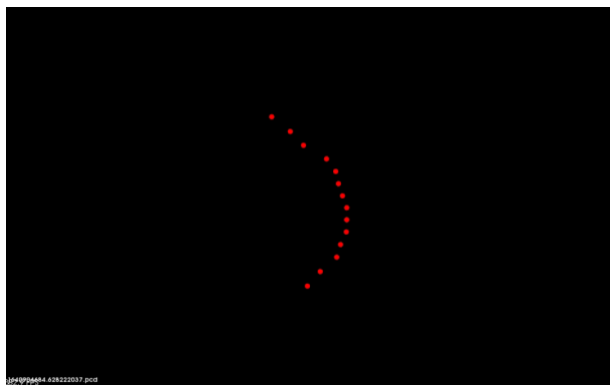


図 6. 木の 2 次元点群情報

る。

課題として、点群情報の並び替えが必要になることや、検知することのできる範囲が限定的なため、PointNet[15]を用いた低解像度 2 次元点群情報を用いた検知が必要だと考える。また、人間は歩行する際に腕を振るといった特性があるためこの特徴を用いることでさらに検知率の向上が可能であると考えられる。さらに、人間の形状特徴をより取得するために低解像度 2D-LiDAR を複数台用いて複数の高さの特徴を用いることでも検知率の向上が見込める。しかし、取得する情報量が増加すると処理に高性能コンピュータが求められるため、検知率とコンピュータ処理能力のトレードオフが重要である。

## 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 <https://www.naa.jp/jp/20200123-keibirobot.pdf?fbclid=IwAR1t1SJNO3N16NfAfb6J3146YbylyYMkKafXFPrgRYYiaeAG8LZP-KqFMiY><2020/5/28 accessed>
- [2] SEQUENCE が開発する自律移動警備ロボット「SQ2」東京・大手町のオフィスビルにて8月末より全国初の運用開始 [https://www.mec.co.jp/j/news/archives/mec190827\\_sq2opb.pdf](https://www.mec.co.jp/j/news/archives/mec190827_sq2opb.pdf)<2021/5/10 accessed>
- [3] 神奈川工科大学 先進技術研究所 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><2021/1/6 accessed>
- [4] 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 No.2, pp14-17.(2017-12)
- [5] 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](https://www.secom.co.jp/corporate/release/2017/nr_20180305.html)<2020/5/29 accessed>
- [6] KNIGHTSCOPE K5 <https://www.knightscope.com/knightscope-k5><2020/5/29 accessed>
- [7] Microsoft Azure Kinect DK <https://azure.microsoft.com/en-us/services/kinect-dk/><2020/5/10 accessed>
- [8] 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 pp162-169(2006)
- [9] 横田隆之, 黒田洋司: 「LIDAR を用いた形状的特徴による人認識」 ロボティクス・メカトロニクス講演会演習概要集 3P1-K04(2014)
- [10] 黒木研太郎, 胡振程: 「センサフュージョンを用いた SLAM による障害物検出に関する研究」 [http://www.iri.pref.kumamoto.jp/sgk/2011/cdrom/thesis/04\\_hall/05\\_session/453.pdf](http://www.iri.pref.kumamoto.jp/sgk/2011/cdrom/thesis/04_hall/05_session/453.pdf)<2020/11/18 accessed>
- [11] 澤野雄哉, 永井悠人, 鈴木孝幸, 清原良三: 「構内巡回警備自動ロボット向け自己位置推定方式」 情報処理学会研究報告 MBL-97 pp1-4(2020)
- [12] 小原裕輝, 中沢実: 「人検出タスクにおける単体 LRF 環境での深層学習モデルの提案と評価」 情報処理学会論文誌 Vol.62 No.1 246-251(2021)
- [13] 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 MBL-96 No5 pp1-6(2020)
- [14] 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>
- [15] R. Q. Charles, H. Su, M. Kaichun and L. J. Guibas, "PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 77-85(2017)