

2D-LiDAR による人物発見手法の一検討

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、カメラのように光度の影響を受けず3D-LiDARと比べ比較的安価な2D-LiDARを利用し人物を検知する事を目的とし、基礎的な取得実験を行いその結果から人物を検知するための手法の提案を行う。

キーワード：2D-LiDAR, 人物発見, セキュリティ

A Study of Person Detection with 2D-LiDAR

YUTO NAGAI¹ YUYA SAWANO²
TAKAYUKI SUZUKI² RYOZO KIYOHARA²

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、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。

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、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。

神奈川工科大学では、ローカル5Gを導入し、配送用の台車の自動走行化を行い昼間の学内配送に利用する計画がある。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。この様に別の用途で開発、運用されているロボットに不審人物を検出することのできるユニットを搭載することで警備ロボットとしての運用が可能になると考えた。神奈川工科大学で運用予定の自動運転台車は夜間の運用について

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
School of Kanagawa Institute of Technology

は検討されていない。そこで、このロボット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 GNSS,BLE(Bluetooth Low Energy)を用いて不審人物を発見するためにまず、2D-LiDAR を用いて人物の発見が可能かどうかを検討する。

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[7]。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と考ええる。

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[8]。レーザレーダを利用し、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と考える。

4. 不審人物発見手法

近年、スマートフォンは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ている場合も増加している。そこで、警備ロボットとアプリケーション間で BLE 通信を行う機能を実装することで通信圏内にいる人間を検出することができる。しかし、不審人物はアプリケーションをインストールしていなく BLE 通信を利用しての検知は困難である。そこで、2D-LiDAR を利用して周囲の状況を把握しその

情報と BLE 通信を元に不審人物の検知を行う。[9]

5. 提案手法

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。使用した 2D-LiDAR のスペックを表 1 に示す。

5.1 2D-LiDAR による物体検出

表 1 に示す 2D-LiDAR を利用し人間、木、柱のデータを取得した（図 1、図 2、図 3）。

人間は、体系の異なる成人男性 2 人を正面から。木は、幅 53cm で計測部分に小さな枝はない。柱は、大型建築物の柱であり幅 90cm である。また、LiDAR の高さは地面から 50cm の高さで計測を行った。人間の計測位置が地面から約 50cm の場合観測部位は、膝辺りとなる。

検出された人間の情報は大きな特徴は無くまた、取得距離は違うものの LiDAR に対して両者とも正面を向いているものの取得された情報には類似性はない。そこで、取得される情報に人間らしさが検出される高さの検討を行った。

5.2 2D-LiDAR による人の検出

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言える。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。

図 5 に側面から取得した場合、図 6 に背面から取得した場合

表 4.1 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

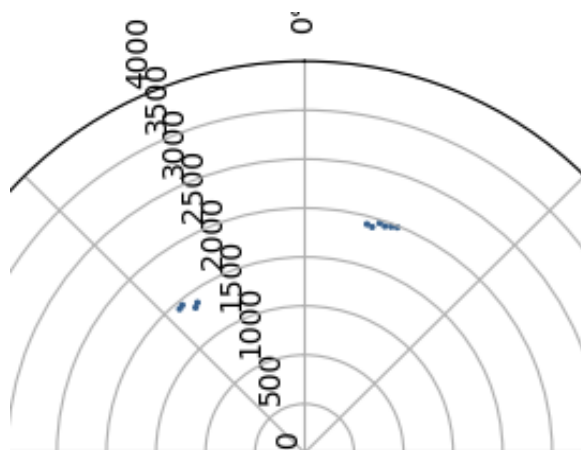


図 1.人間を計測した場合(2 名)

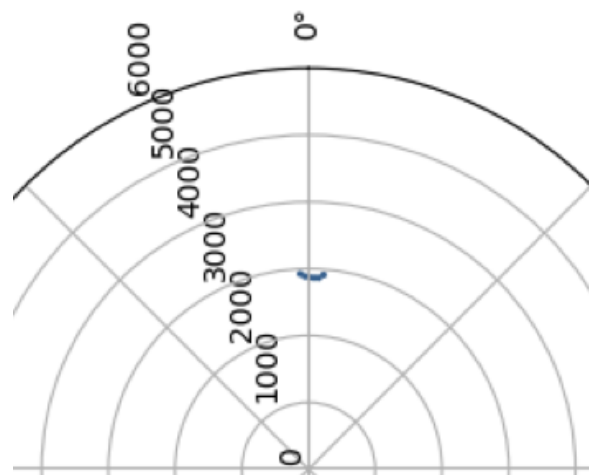


図 2.木を計測した場合

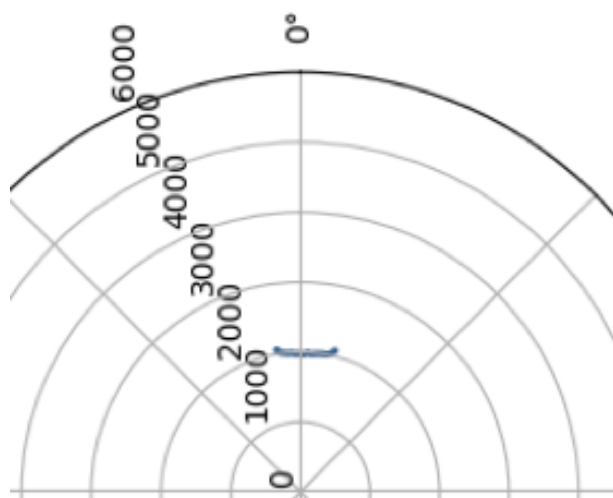


図 3.柱を計測した場合

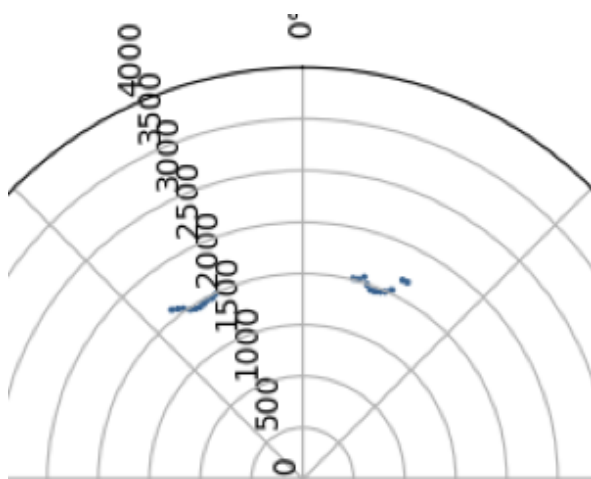


図 4.人間を 2m の位置で正面から取得した場合

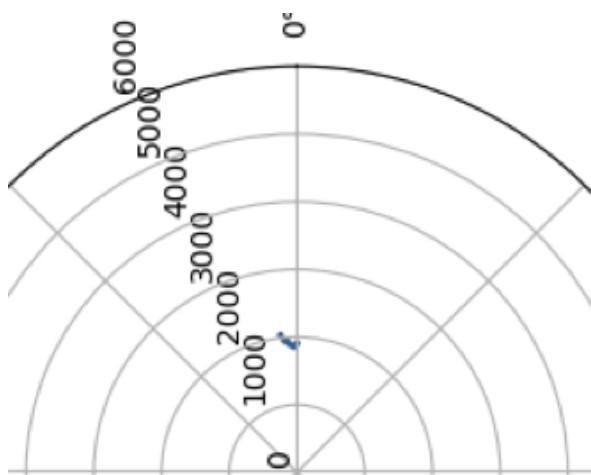


図 5.人間を 2m の位置で側面から取得した場合

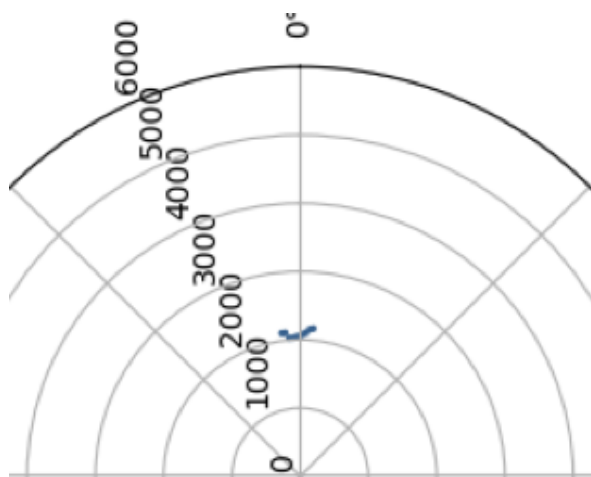


図 6.人間を 2m の位置で背面から取得した場合

合を示す。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端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考えられる。

5.3 2D-LiDAR の取得情報の有効範囲の検討

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（図 7、図 8、図 9、図 10、図 11）

2m～5m では人間は“凸”の字の字に見える。しかし、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。

5.4 人間の検知方法

人間の目で人間だと判断できるという点から人間の特徴を持つ情報を画像として扱いこれを基に教師あり学習を行い、LiDAR から得られる情報を一定間隔で画像として保存しその画像を利用し人間を検出する。これにより自動かつ精度良く 2D-LiDAR で人間を検出することが可能になると考えられる。人間が検出された場合、検出された座標を基にその発見された人間の方向や距離などの情報を出力する。

しかし、毎回画像として保存し認識を行うためリアルタイム性に欠けるといった点や画像の段階で人間に近似している物はかなりの確率で誤認識することが考えられる。

6. まとめと今後の課題

2D-LiDAR を利用し人間の検知手法についての検討を行った。価格が安価である点や取得する情報の少なさからデータ量を削減することができるメリットがあるが、情報が少ないこと故に人間の検知が困難であるということがわかった。しかし、少ない情報量の中から人間らしさを特徴点とすることで、2D-LiDAR から得られた情報を人間が確認した場合 2 点の特徴から人間であるということが判断することができた。この結果から目視をで把握できる状態になれば機械学習を利用することで人間を感知することは十分に可能であると考えられる。しかし、距離による取得できる情報量の低下から認識精度の低下が懸念される。また、形状として近似している物体に関しては誤検知してしまうことが十分に考えられる。距離での情報量低下位についてはより高性能な 2D-LiDAR を利用することで解決できるであろうと考えるが、より高性能になるに連れて 3D-LiDAR に匹敵する情報量や価格となってしまうため、トレードオフが必要である。

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

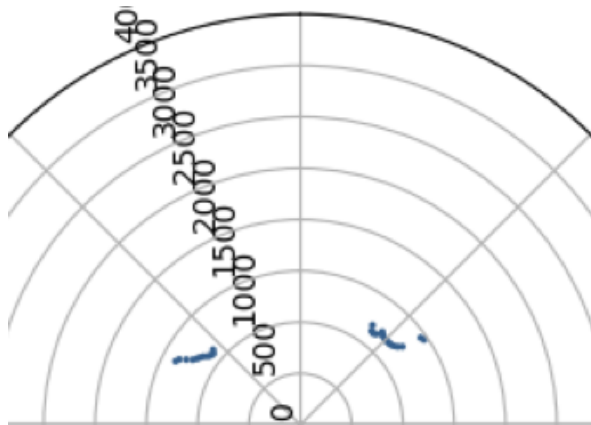


図 7.人間を 1m の位置で正面から取得した場合

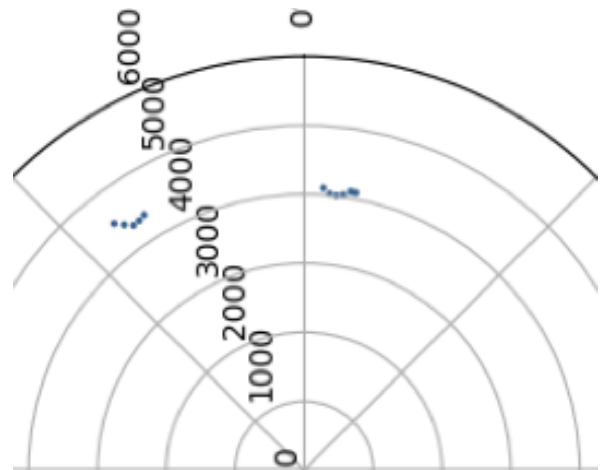


図 10.人間を 5m の位置で正面から取得した場合

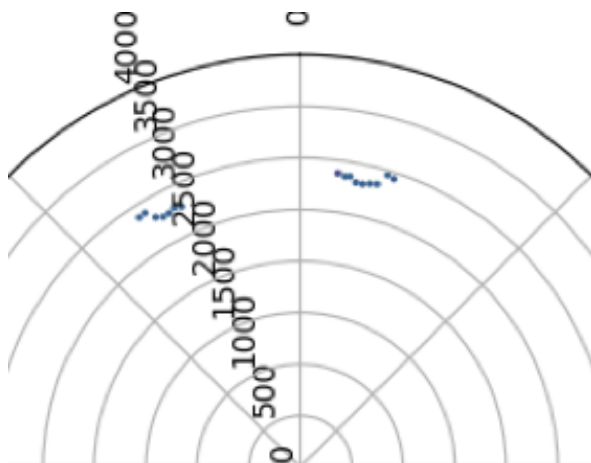


図 8.人間を 3m の位置で正面から取得した場合

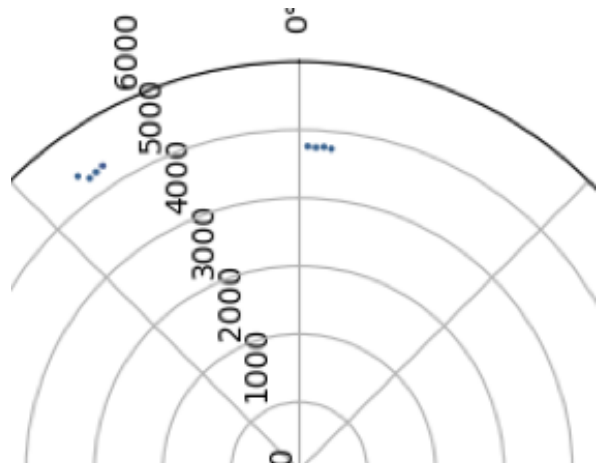


図 11.人間を 6m の位置で正面から取得した場合

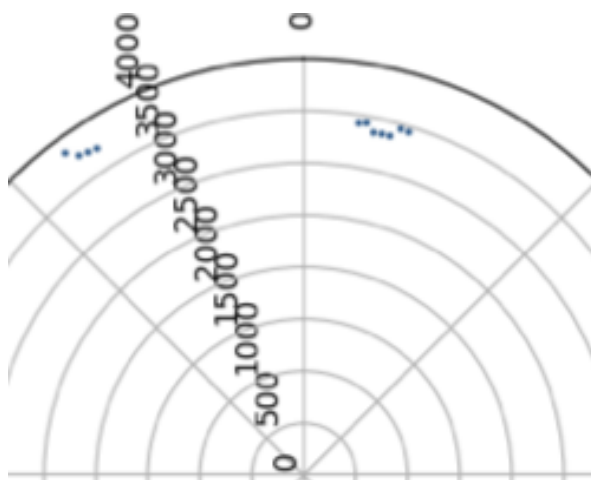


図 9.人間を 4m の位置で正面から取得した場合

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、自らのコストの安い 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。

今後の課題として、実際に人間の特徴を利用し機械学習を行い様々な画像認識手法を利用し適切な手法の検討を行う。誤検知を防止するため、学習させる画像にも一定の敷居を設けることが必要だと考え、2S-LiDAR で得ることのできる情報での人間らしさとはどのような物なのかをさらに検討する必要があると考える。また、画像認識では目視の情報以上の精度を求めることが困難である為、点群情報を直接利用した判断手法を検討する必要があると考える。

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] 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)
- [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 pp162-169(2006)
- [7] 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)
- [8] 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<2020/11/18 accessed>
- [9] 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)
- [10] 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>