

自律走行型台車を活用した 2D-LiDARによる人物発見手法

永井悠人¹ 澤野雄哉² 寺島美昭³ 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と比べ比較的安価で情報量の少なさから処理の削減が見込める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結果から取得データを画像情報として扱い、カスケード分類器を作成しこれを利用して人間の検知が可能であるかの検証を行った。

キーワード：2D-LiDAR,人物発見,セキュリティ

A Method for Detecting People Using 2D-LiDAR with Autonomous Cart

YUTO NAGAI¹ YUYA SAWANO² YOSHIAKI TERASHIMA³
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。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したり、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。

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、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年に1~3回ほど発生している。人材不足の解消策として、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年よりセコム株式会社のセコム X2 が導入されている。また、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は三菱地所本社にも運用されている。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、高性能故に価格は1000万円前後なものも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専用開発されており、機能の発展に乏しい。

神奈川工科大学では、KAIT モビリティリサーチキャンパス[2]の構築の一環として、ローカル5Gを導入し、配送用の

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
3 創価大学
Soka University

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。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しつつ、さらに導入コストを削減することができる。

本研究では、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するためにまず、2D-LiDARを用いて取得した情報から画像を作成し画像認識にて人間を検知することが可能であるかの検証を行う。

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[3]。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[4]。

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ことが分かっている[6]。

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[7]。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である。

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[8]。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[9]。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である。

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[10].

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[11]. ここでいう LRF とは LiDAR と同じ装置を指している. 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皮革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出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.

4. 不審人物発見手法

現在、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 通信を利用した検知は困難である. 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[12].

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. 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[13]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

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

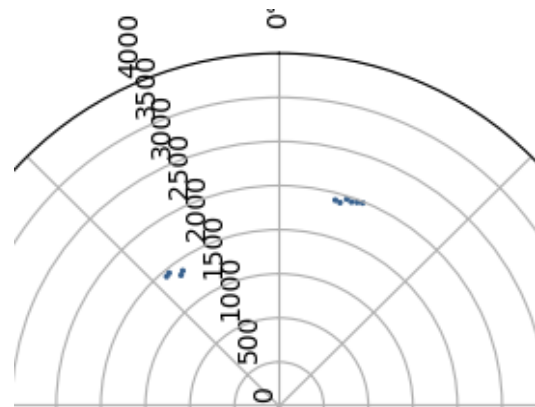


図 1.人間を計測した場合(2名)

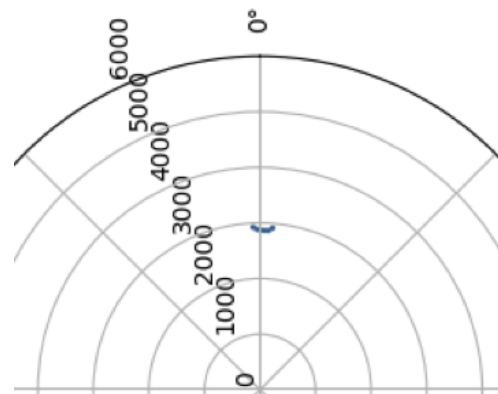


図 2.木を計測した場合

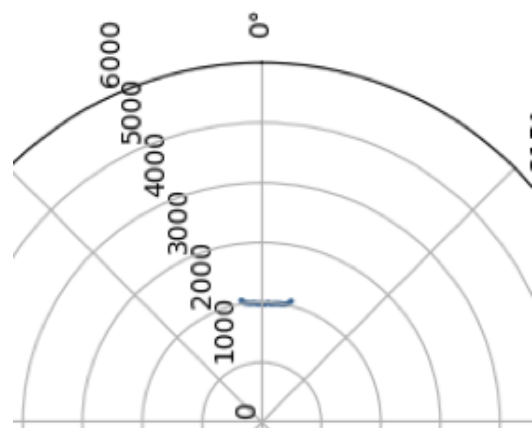


図 3.柱を計測した場合

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。

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”の様に見える。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。

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。2m～5m では人間は“凸”の字の様に見える。6m になると“凸”の字には見えなくなり看板や木に類似する形になった。(図 7) これらのことから、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。

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想定される。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想定される。

6. 実験

人間を 2D-LiDAR にて取得したデータを人間が目視で人間と判断できることから OpenCV[14]のカスケード分類器作成機能を利用し画像認識で人間を検出することが可能であるか検証を行った。

6.1 カスケード分類器の作成

2D-LiDAR で取得したデータで人間が目視で人間だと判断できるものは 1~5m の範囲であるためこの範囲の人間の正

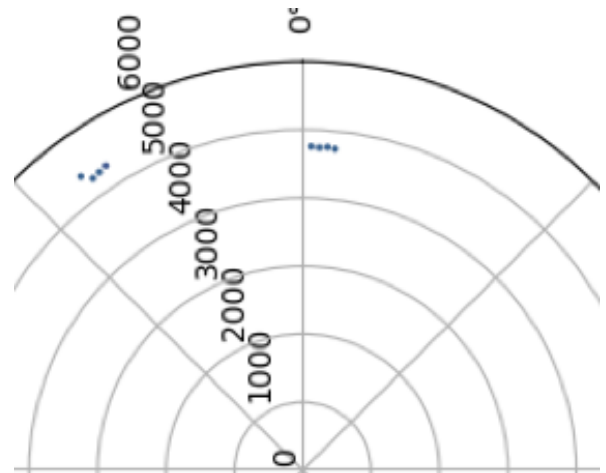


図 7.人間を 6m の位置で正面から取得した場合

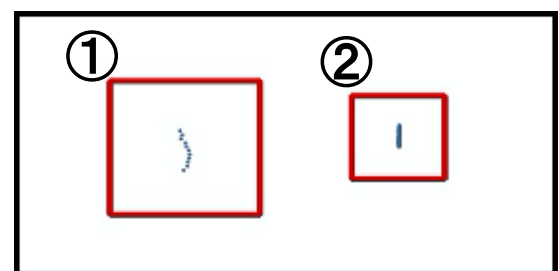


図 8. 人間が存在する場面での認識

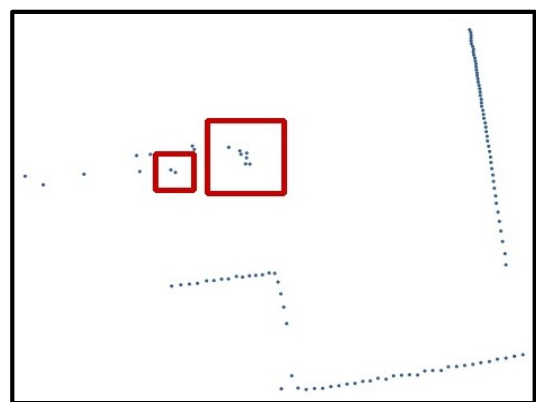


図 9. 人間が存在しない場面での認識

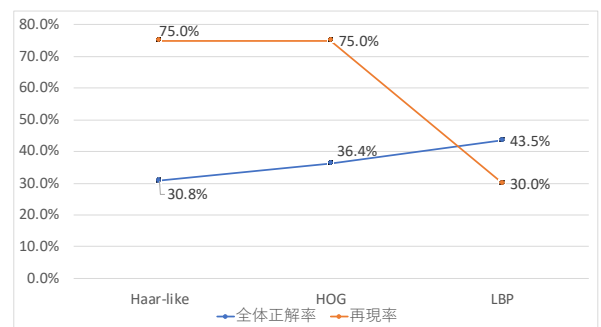


図 10. 各アルゴリズムにおける人間検知率

面、側面、後面を取得した 100×100px の画像を正解画像としそれを 92 枚、それ以外の壁や木などを不正解画像として 103 枚を Haar-like, HOG, LBP アルゴリズムを用いてカスケード分類器の作成を行った。

6.2 結果と考察

作成したカスケード分類器を利用して人間が存在している場面(図 8)と人間が存在しない場面(図 9)の画像をそれぞれ認識させたところ Haar-like, HOG アルゴリズムを用いたカスケードで検出した場合再現率は 75%, LBP アルゴリズムを用いた場合 43.5%であった。しかし、全体正解率ほどのアルゴリズムでも 30%~40%前後という結果(図 10)となり人間の検知は可能であったとしても多くの誤検知をするということがわかった。図 8 における①は人間で②は小さな看板である。しかし人間だと検知してしまっている。図 9 は人間そのものが存在しないが形状は関係なく人間と同じくらいの大さの集合に対して人間として誤検知している。この結果から点群情報を画像として扱うことは色情報などもないことから情報量不足である。

警備員の負担を軽減させるためには運用する施設や年間の不審者の数にもよるが年に 1~5 回ほどの不審者の発見がある施設で運用する場合 85%以上の全体再現率が必要である。不審者が多く発見される施設については全体再現率はある程度低下しても警備員の負担は変化しないと想定される。

7. まとめ

2D-LiDAR を利用し取得したデータを画像として扱いその画像を利用して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、消費電力の少なさ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画像として扱った場合人間を検知することは可能であるが、人間と同じ大きさの点集合がある場合高確率で誤認識することがわかった。誤認識が多い場合、警備員に不要な通知が頻発し結果として通常の巡回業務以上の負担が考えられることや通知に対する不信感や慣れが生まれてしまい結果としてセキュリティレベルの低下が考えられる。そこで、全体正解率の向上をさせることが必要である。そこで 2D-LiDAR から取得することのできる点群情報そのものを利用し 3D 点群の機械学習手法 [15]を用いることで人間の検知の精度を向上させることが可能だと想定する。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。形状として近似している物体に関しては人間の特徴である歩行時に左右の手が動くという点に着目すること

で正常に検知が可能であると想定する。

自動走行の台車に取り付ける場合は、部分的な判断ではなく、ロボット自体が移動することで例えば正面と側面の様に時系列と形状または複数台の LiDAR で取得した情報を学習、認識させることで人間の検知率の向上が想定される。また、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。しかし、殆どがバッテリー駆動であり消費電力の面などを考慮する必要がある。

今後の課題として、実際に 2D 点群情報の機械学習を行いその結果から人間を検知するために必要な LiDAR のスペックや情報量、利用する 2D-LiDAR の台数などの検討を行う必要がある。

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
<https://www.naa.jp/jp/20200123-keibirobot.pdf?fbclid=IwAR1t1SJNO3N16NfAfb6J3146YbylyYMKKAfXFPrgRYIaeAG8LZP-KqFMIY<2020/5/28 accessed>>
- [2] 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>>
- [3] 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)
- [4] 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>
- [5] KNIGHTSCOPE K5
<https://www.knightscope.com/knightscope-k5<2020/5/29 accessed>>
- [6] Knightscope Credited for Reducing Crime
- [7] 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)
- [8] 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)
- [9] 黒木研太郎, 胡振程: 「センサフュージョンを用いた SLAM 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>
- [10] 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)
- [11]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)
- [12]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)
- [13]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>
- [14]OpenCV <https://opencv.org><2021/1/12 accessed>
- [15]PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and
Segmentation <https://arxiv.org/abs/1612.00593><2021/1/12 accessed>