

スマートフォンのカメラを用いた通行人検出による歩きスマホの安全性向上

北村 尚輝[†] 横山 昌平^{††}

[†] 東京都立大 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

^{††} 東京都立大学/東京大学生産技術研究所 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

E-mail: †kitamura-naoki@ed.tmu.ac.jp, ††shohei@tmu.ac.jp

あらまし 近年スマートフォンが普及したことに伴って、歩きスマホによる衝突等の事故が問題になっている。また視覚障害者は周囲の障害物を認識することが健常者に比べて難しいため、一人で移動することが困難である。そのような背景から、本研究ではスマートフォンのカメラで撮影した画像から物体検出器を用いてリアルタイムに他の歩行者を検出し、警告音を発して回避行動を促すアプリを開発することで、歩きスマホを行う際や視覚障害者が一人で移動する際の安全性の向上を図った。撮影にはスマートフォンのカメラ、処理にはスマートフォンに搭載されている CPU およ軽量の物体検出器を用いることで、誰にでも簡単に利用できるようにした。

キーワード スマートフォン, 歩きスマホ, 物体検出, 歩行者支援

1 はじめに

近年、人間による操作なしに自動車を走行させる、あるいは人間の運転操作を補助するといったことを目的とした自動運転技術の研究が盛んに行われている。自動運転技術はカメラや深度センサを用いて周囲の状況をリアルタイムに把握し、それをもとに安全に走行するために必要な操作を行ったり、運転者に情報を提供したりする。これは本質的に人間の運転中の思考や知覚を外部のコンピュータやセンサに任せるものである。すなわち人間が目や耳で周囲の状況を把握し脳で運転操作を決定するという過程を、自動運転では各種センサおよびコンピュータがそれぞれ行うことで、人間に代わって運転を行う。

自動運転技術の進歩はめざましく、すでに運転操作の一部を人間に代わって行う自動車が実用化されている。例として、衝突しそうな場合に自動でブレーキをかけたり、歩行者との距離が近い場合に警告を出したりする機能の搭載された自動車が販売されている [1]。

ところでスマートフォンは今や世界全体において広く普及したデバイスとなり、街を歩いていると多くの人がスマートフォンを操作している様子が見受けられるが、その中には歩きながらスマートフォンを操作する、いわゆる歩きスマホを行う人も存在する。歩きスマホを行っているとき画面に集中して周囲への注意が散漫になってしまい [2]、そのことによって衝突や転倒等の事故が多く発生し、社会問題になっている。東京消防庁によると、東京消防庁管内で平成 27 年から令和元年までの 5 年間で歩きスマホに係る事故により、177 人が救急搬送されている [3]

また、同様に視覚を通じた情報の取得が困難な状態にある歩行者として、視覚障害者が挙げられる。安倍ら [4] の調査によると、視覚障害者の約 42% が過去 5 年の間に屋外歩行中の事故に見舞われている。

以上のことから、人間が周囲の状況を気にせずに歩きスマホを安全に行ったり、視覚障害者が単独で歩行するために、自動運転技術を取り入れて歩行者の思考や知覚を外部に任せるシステムを開発することにした。ここで、歩きスマホを行う際には必ずスマートフォンを手に持っているという点に着目し、またほとんどのスマートフォンにはカメラが搭載されていることから、スマートフォンのカメラを活用することを考えた。本研究ではその第一歩として、進路上の人間を検出することで、他の歩行者と接触する前に警告を発生し、衝突の回避を促すアプリケーションを実装した。

2 関連研究

2.1 歩行者支援システム

進路上の障害物を検知して歩行者を支援する研究については既にいくつかの提案がある。

野田口ら [5] は、スマートフォンのカメラを用いて撮影した画像から進路上の障害物を検出する研究を行ったが、画像を HSV 変換した SV 値やエッジ検出アルゴリズムをもとに障害物を検出しており、本研究では物体検出器を用いて人間のみを検出しているという点で異なる。

市木ら [6] は、iPhone の ARKit の機能である PeopleOcclusion を用いて人物を検出した深度画像を生成し、それをもとに他の歩行者と衝突の可能性がある場合に警告を出すシステムを開発している。本研究と比べると人間の移動をトラッキングしてより正確な衝突判定を行っている点や、iPhone の LiDAR センサを用いているという点、物体検出の際に bounding box ではなく segmentation で検出を行っているという点で異なる。

竹藤ら [7] は、視覚障害者の支援を目的として、ステレオカメラを用いて撮影した画像をもとに、YOLO アルゴリズムを用いて進路上の人間や車両を検出し、その存在を歩行者に知らせ

る装置を開発した。視覚障害者を対象とした実証実験を行い、装置が利用者の外出に対する自信の向上や移動時間の短縮につながることを示した。ステレオカメラや GPU といった特別な装置を利用している点で本研究とは異なる。工藤ら [8] も類似した装置を開発しており、こちらはクライアントサーバシステムを用いており、撮影した画像をサーバーに送信して処理している。

2.2 物体検出器

本研究で用いた物体検出器 EfficientDet [9] は、高速で高精度な物体検出器として知られている。また、TensorFlow Lite [10] は、モバイル端末などの限られた計算リソースしかもたない環境において TensorFlow を利用するためのフレームワークである。

本研究では一般に物体検出器で用いられている GPU を搭載した高性能なコンピュータを使わずにスマートフォンの CPU で物体検出を行うために、これらを利用した。

3 概要

3.1 基本的な動作

本研究で実装したアプリケーションの基本的な動作は、図 1 のような手順からなる。

まずスマートフォンに搭載されているカメラの起動などの初期化処理を行う。これはアプリケーションの起動時のみ一回だけ行われる。初期化処理が完了したら画像の撮影を開始する。簡単のため画像を撮影すると表現したが、実際には動画画像から必要なフレームのみを用いるという形で実装した。さらに物体検出器の入力サイズよりも画像が大きいため縮小する。次に物体検出器を用いて画像から人間を検出し、各検出結果について、スマートフォンを持った歩行者と被写体の距離を計算する。これについては 3.1 節および 3.2 節でそれぞれ詳しく述べる。そして近い位置にいる人間が検出された場合、警告音を発する。警告音には「ピピピッ」のような音の短い音声ファイルを用いた。ここまでの処理が完了したら画像を撮影するところまで戻り、繰り返す。

このような一連の処理により、端末を手を持って歩くことによって、他の歩行者と衝突の危険がある際に事前に警告を聞くことができ、回避行動につなげることができる。

3.2 人間の検出

撮影した画像から人間を検出する方法について述べる。本研究では歩行者を検出するために深層学習をもとにした物体検出器を用いたが、これには通常の場合 GPU を含む多くの計算リソースが必要となる。それをスマートフォン上で動作させるために、モバイル端末で深層学習モデルの推論を動作させるように設計されたフレームワークである TensorFlow Lite [10] を用いた。

また検出器のモデルには、EfficientDet-Lite0 [11] を TensorFlow Lite Model Maker Library [12] を用いて再学習したものをを用いた。EfficientDet [9] は高速で高精度な物体検出器とし

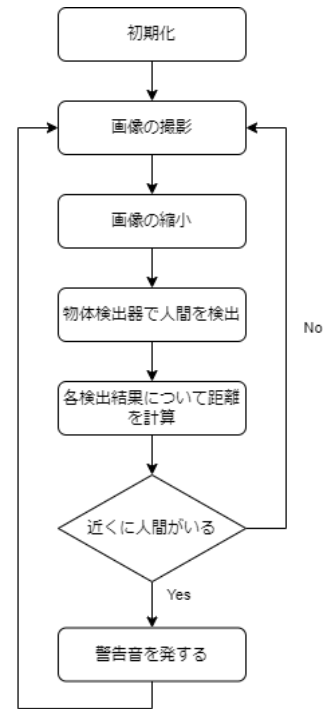


図 1 実装したアプリケーションの処理の流れ

て知られている。再学習する際のデータセットとして、OpenImagesDataset [13] の画像から Person クラスに分類されるものが写っているものをダウンロードして用いた。OpenImagesDataset は様々な物体が写った数百万枚の画像を集めたデータセットであり、それぞれの画像に人手のアノテーションあるいは機械学習で検出したものを人が確認したアノテーションがついており、画像処理の機械学習を行う際に利用することができる。

検出器の入力画像のサイズが撮影画像のサイズよりも小さいことから、撮影時のアスペクト比を維持したまま画像をモデルの入力サイズに収まるように縮小したものを入力とした。

3.3 距離の計算

歩行者がスマートフォンを持った歩行者の近くにいる場合にはすぐに衝突する危険があるため警告を出す必要がある。一方離れた位置に歩行者がいる場合には衝突するまでには時間があり、両者は離れていって接近しない可能性もある。道には多くの人間が歩いていることを考慮すると、撮影した画像から検出した全ての人間について警告するのではなく、すぐ近くに人間がいて衝突の危険性が高いときにのみ警告を出すことが望ましい。したがって画像から人間が検出された際に、検出結果から撮影者と被写体との距離を概算し、それに基づいて警告を出すようにした。

以下にその計算方法を示す。ただし、地面は平坦で被写体は撮影者のちょうど正面に立っており、撮影者の持っているスマートフォンのカメラの地面からの高さが一定であると仮定した。被写体とスマートフォンのカメラは図 2 のような位置関係になっているものとする。まず、画像の縦方向のピクセル数を y 、検出した bounding box の底辺と画像中央の高さの差を b 、

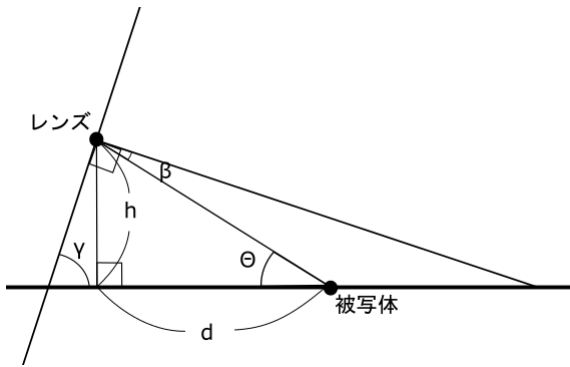


図2 レンズと被写体の位置関係

カメラの垂直方向の画角を α 、レンズと被写体の立っている点を結ぶ直線とレンズの光軸のなす角を β とすると、式1が成り立つ。

$$y/2 : b = \tan \alpha / 2 : \tan \beta \quad (1)$$

α は画素数とレンズの焦点距離および大きさから計算することができるので、画像と検出結果から式1より β の値を計算することができる。ここでレンズと地面のなす角を γ 、レンズと被写体の立っている点を結ぶ直線と地面のなす角を θ とすると、式2が成り立つ。

$$\gamma + \pi/2 - \beta + \theta = \pi \quad (2)$$

レンズと地面のなす角はスマートフォンと地面のなす角であるから、これはスマートフォンに搭載されているジャイロセンサから取得することができる。したがって式2より、 θ を求めることができる。さらに、レンズの地面からの高さを h 、撮影者と被写体の距離を d とすると、式3が成り立つ。

$$d \tan \theta = h \quad (3)$$

h は定数であるから、式3より d が求まる。このような計算によって求めた撮影者と被写体の距離 d が一定の値以下であった場合に警告を出すものとした。この値は変更可能なパラメータとして、個人のスマートフォンを持つ高さや警告に対する反応速度に応じて設定することができるようにした。

4 実験

4.1 実験方法

前の章で説明したシステムを Android で動作するアプリケーションとして実装し、実機で動作することを確認する実験を行った。屋内において、被写体となる人間がカメラ正面に映るようにスマートフォンを持って立ち、警告音が鳴ることの確認とスクリーンショットの撮影を行った。また推定した距離によって警告音が発せられていることを確かめるために、被写体が目の前にいる場合と遠くにいる場合のそれぞれで実験した。実験に用いた端末は Xiaomi 製のスマートフォン Mi 11 Lite 5G [14] である。ただしメイン、超広角、テレマクロの3台のカメラが搭載されているうちのメインカメラを用いた。



図3 人間が近くに写っている場合

4.2 実験結果

図3および図4に実際にアプリケーションを用いて人物を検出した際のスクリーンショットを示す。図3のように人間が近くにおり、カメラで撮影した画像に大きく写っている状態であるときに、スマートフォンからは警告音が継続して発せられていた。図4のように人間を検出しているが遠くにいるために小さく写っているような場合には、警告音は発せられなかった。

また、他のアプリケーションをバックグラウンドで動作させていない場合、物体検出器の画像処理1回あたりの処理時間はおおよそ 50ms から 80ms であった。

4.3 考察

実験の結果より、スマートフォンの CPU という限られた計算リソースでも十分なフレームレートで人間を検出し、警告を

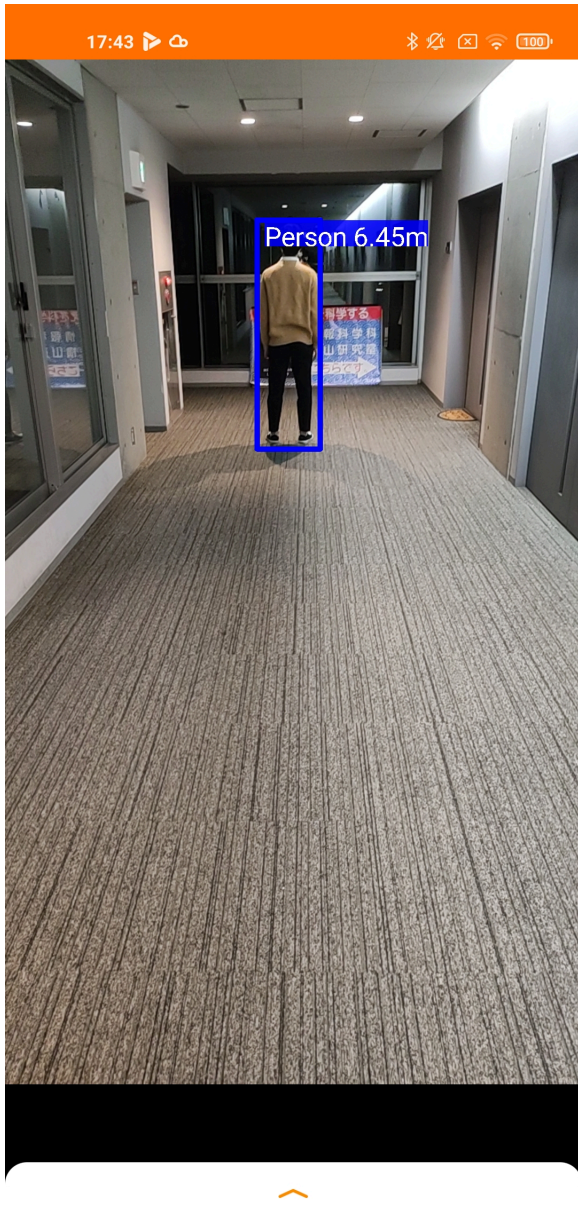


図4 人間が遠くに写っている場合

出し続けることが可能であるといえる。また、LiDAR センサ等の特別な装置を用意しなくても検出結果である bounding box の座標および一般的なスマートフォンに搭載されているジャイロセンサからでも距離の推定が可能であることがわかった。

しかし、スマートフォンを操作しながら歩くことを想定した場合、歩行者の姿勢が悪かったり、坂道を上る際にはカメラが地面を向いてしまい、カメラに歩行者の正面にある物体が写らないことがある。このような場合には本研究で提案している手法では対応することは困難である。

5 おわりに

本研究では、スマートフォンのカメラで撮影した画像から物体検出器で人間をリアルタイムに検出して警告を出すことに

よって、歩きスマホや視覚障害者の単独歩行における安全性の向上を図るシステムのプロトタイプを実装した。実験の結果、軽量の物体検出器を用いればスマートフォンの限られた計算リソースやセンサでも十分なフレームレートで人間を検出し、歩行者に警告を出すことが可能であることがわかった。これにより、広く普及したデバイスであるスマートフォンを利用して視覚障害者等の歩行支援を行うことが可能になると考えられる。

今後の展望として、歩きスマホ中の安全確保という当初の目的を達成するために、バックグラウンドで動作するように実装を変更したり、また実際の路上で歩行を行い、有効性を検証する実験を行いたいと考えている。さらに、その他の障害物を対象とした画像処理や、経路案内等の全く異なる機能との統合によって、より充実した歩行者支援のアプリケーションの開発を目指す。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 19K11982 の助成を受けたものです。

文 献

- [1] Honda 公式サイト. 安全運転支援システム honda sensing. <https://www.honda.co.jp/hondasensing/>. Accessed:2021-1-11.
- [2] 小塚一宏. 歩行中・自転車運転中の“ながらスマホ”時の視線計測と危険性の考察. 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, Vol. 10, No. 2, pp. 129-136, 2016.
- [3] 東京消防庁. 東京消防庁<安全・安心><トピックス><歩きスマホ等に係る事故に注意!>. <https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/topics/201602/mobile.html>. Accessed:2021-1-6.
- [4] 信行安部, 典久橋本. 視覚障害者の歩行環境整備のための歩行事故全国調査. 八戸工業大学紀要, Vol. 24, pp. 81-92, feb 2005.
- [5] 野田口宗, 赤池英夫, 角田博保ほか. 歩行中のスマートフォン使用時における障害物検出および提示手法の提案と評価. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2013, No. 3, pp. 1-7, 2013.
- [6] 市木誠也, 金井敦. 歩きスマホ時の衝突事故を回避するための歩行者支援方式の提案. In *IEICE Conferences Archives*. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2020.
- [7] 竹藤輝, 河野英昭, 志摩嵐. 視覚障害者のための歩行支援装置の検討. 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, Vol. 2019, pp. 292-292, 2019.
- [8] 工藤啓史郎, 竹藤輝, Sarakon Pornthep, 河野英昭. クライアントサーバーシステムに基づいた視覚障がい者向けの歩行支援装置の開発. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集, Vol. 36, pp. 389-394, 2020.
- [9] Mingxing Tan, Ruoming Pang, and Quoc V Le. Efficientdet: Scalable and efficient object detection. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 10781-10790, 2020.
- [10] Robert David, Jared Duke, Advait Jain, Vijay Janapa Reddi, Nat Jeffries, Jian Li, Nick Kreeger, Ian Nappier, Meghna Natraj, Shlomi Regev, et al. Tensorflow lite micro: Embedded machine learning on tinymml systems. *arXiv preprint arXiv:2010.08678*, 2020.
- [11] Tensorflow hub. <https://tfhub.dev/tensorflow/efficientdet/lite0/detection/1>. Accessed:2021-1-6.
- [12] Tensorflow lite model maker. <https://www.tensorflow.com>.

org/lite/guide/model_maker. Accessed:2021-1-7.

- [13] Alina Kuznetsova, Hassan Rom, Neil Alldrin, Jasper Uijlings, Ivan Krasin, Jordi Pont-Tuset, Shahab Kamali, Stefan Popov, Matteo Mallocci, Alexander Kolesnikov, et al. The open images dataset v4. *International Journal of Computer Vision*, Vol. 128, No. 7, pp. 1956–1981, 2020.
- [14] Xiaomi Japan. Xiaomi mi 11 lite 5g - 軽量、5g のスピード. <https://www.mi.com/jp/product/mi-11-lite-5g/>. Accessed:2021-1-6.