

路面におけるパーソナルトランスポートの安全領域の可視化

ZHANG WEIYI[†] 宍戸 英彦[‡] 北原 格^{*} 亀田 能成^{*}

[†] 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[‡] 筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] zhang.weiyi@image.iit.tsukuba.ac.jp

[‡] shishido@ccs.tsukuba.ac.jp *{ kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp,

あらまし 小型で一人乗りのパーソナルトランスポーター(PT)での交通参加が現実味を帯びつつある。PTは車輪走行のため、路面の凹凸に弱いという特徴がある。また、新しい形態の乗り物のため、PT搭乗者の周囲の歩行者や車両運転者が、PTにどのように接してよいかわかりにくいという問題がある。我々は、視覚障がい者の単独歩行時の前方安全領域の検出手法について研究してきた実績を利用して、PTの前方安全領域を検出し、かつPTの車速から安全に停止できる停止可能位置を求め、これらを路面に直接可視化することを提案する。路面への描画デバイスとして、レーザーとプロジェクタの2方法を考え、それらの可視化能力について予備実験を行った。

キーワード 前方安全領域, 視覚障がい者, 歩行支援, RGB-Dカメラ, 拡張現実感

1. はじめに

パーソナルトランスポーター(Personal Transporter, 以下PT)はコンピュータによる制御を前提とする1人乗りのコンパクトな移動支援機器であり、2001年にSegway社の製品として登場し、現在、Ninebot社などから様々な形態のモデルが販売されている。初期のPTは高価格ということもあり普及が容易に進まない状況であった。2015年4月19日に米国セグウェイ社が中国のNinebot社に買収されたことを契機として、10万円かそれ以下という、電動自転車と同価格帯かそれ以下の価格のモデルが日本で購入することができる。

日本の法整備状況ではまだPTで公道を走行することはできない。しかし、将来を見据えて、PTの安全性を確保する取り組みが望まれている。普及が先行する米国の2011年の調査[1]やそれ以降の報告によると、生死にかかわる事故も報告されている。事故の原因として、ユーザーが安全装備を怠ったことその他、路面に対する誤った判断や歩行者との関係の認識誤りが挙げられている。こうした事故要因を取り除くには、PT搭乗者とその周囲の歩行者らに、PTの安全領域を直接的に理解してもらうことが必要と考える。ここで安全領域とは、凹凸のない平面状の前方安全領域であり、かつ走行中のPTが安全に停止できる停止可能位置の情報が含まれているものを指す。

本稿では、この安全領域をPTから路面に直接可視化することを提案する。路面に安全領域の境界を描画することで、搭乗者自身のみならず、周囲の歩行者もPTに対してどの程度まで近接してよいかを知ることができるようになる。

安全領域を求める方法として、視覚障がい者の前方安全領域を自動検出する方法を応用する。我々はこれ

まで、全盲の視覚障がい者[2]の単独歩行[3]を支援する方法として、歩行時の前方に安心して歩ける平面領域があることをRGB-Dカメラによって検出し、それを音によるフィードバックで伝える方法を研究してきた[4]。この技術を応用することで、PTの安全領域を求める方法の確立を目指す。

以後、2節で関連研究について述べ、3節で構成するシステムの概論を示す。4節で路面描画に対する予備実験結果を示し、5節では本研究で解決すべき課題を整理する。

2. 関連研究

歩道などで経路の安全確保と誘導を図る方法として、視覚障がい者向けであれば、視覚障がい者誘導用ブロックがあり、それを元にした誘導システムも提案されている[5][6]。同様に、PTに対しても歩道内で専用レーンを設ける等の安全確保をするという方法が考えられるが、移動に制限が加わるため、望ましい解決策ではない[7]。

安全領域を求めるための手法として、視覚障がい者の前方安全領域を求める手法を転用することを考える。今井ら[4]はRGB-Dカメラと姿勢センサを用いた歩行安全領域の検出手法を提案している。この手法では、体の前面に位置させたタブレット端末にRGB-Dカメラを装着し、進行方向のデプス画像を取得する。また同時に、タブレット端末内の姿勢センサで装置の鉛直方向からの傾きを算出する。これら2つを組み合わせ、前方約3.3m先までの歩行安全領域を求める。視覚障害者から最も近い非歩行安全領域までの距離に応じたピープ音によって、利用者へのフィードバックを行う。PTの移動速度が歩行とそれほど変わらないと仮定で

きるならば[7]、本手法はほぼそのまま PT 搭乗者に適用できる。

乗り物を操縦している者に運転支援を行う研究としては、自動車運転者に対するものが挙げられる。例えば、交差点での右折や直進時に、前方視界を遮る車両のために見えない前方の交通状況を提示する方法が提案されている[8][9]。

また、自分の車がどこまで進み、どこで停止できるかをより正確に知ることができるよう、自車の進む方向と停止可能位置をヘッドアップディスプレイ(HUD)で示す AR 手法も提案されている[10]。こうしたアプローチは運転者に対する支援とはなるが、周囲の運転者へは情報提供がない。PT には HUD は搭載できないし、HMD やメガネ型情報提示端末も視野を阻害するという点で望ましくない。PT 搭乗者に対する安全情報の提供は重要であるが、同じ内容を周囲の歩行者等に明確に伝えることも重要である。そこで、[10]と同様に安全に停止できる範囲の表示を行うが、それを HUD ではなく路面上で可視化することを考える。

3. システムの構成

3.1. 安全領域

本研究では、PT 走行時に、路面上に光を照射することで、安全領域の境界を可視化する。

まず平面検出に相当する前方安全領域を求める方法を述べる。図 1 は[4]に基づく前方安全領域の検出の概念図である。[4]では歩行者の胸部に RGB-D カメラを装着することとしていた。本研究では他に、PT にマウントポイントを設けて装着することも検討する。この場合は、路面に対してカメラが近くなること、路面からの振動が映像に直接影響を与えることから、その対処が必要になる可能性がある。

PT の停止可能位置は、その車速から求める。歩行程度の速度であれば、前方安全領域内に停止可能位置を示す停止線を表すことになる。

発展形として、目的地への方向の情報も安全領域内に提示することも考えられる。安全領域は平らな路面に相当するため、単純な図形であれば視認性を確保しやすい。

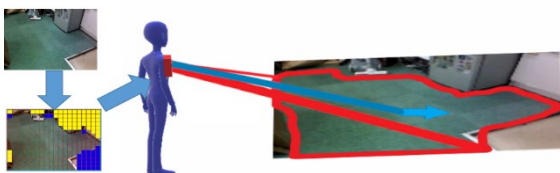


図 1 前方安全領域

3.2. 路面への投影

路面への投影を行う方法としては、レーザー光とプロジェクタ光が考えられる。PT が日中屋外など明るいところも走行することを考えるのであれば、路面上での単位面積当たりの光量を確保できるレーザー光を利用することが望ましい。一方で、レーザー光はその投影点を動的に制御する必要があり、描画可能なのは線状のものだけである。

これらの事情を踏まえ、安全領域の可視化に当たっては、線情報のみを用いる。具体的には、前方安全領域の境界線と、その中での停止線を可視化する。

デバイスの搭載位置については、RGB-D カメラと同様、搭乗者の胸部か、PT マウントを考える。搭乗の容易さは重要[7]である。そのため、PT マウントのほうが望ましい。このときは、路面に対して低い位置になるため、路面上での可視化時の分解能を確保することが難しくなる恐れがある。

プロトタイプシステムでは、レーザー照射方向の制御には、OpenLase[11]を利用し、人間から見やすいグリーンレーザー光を照射する。OpenLase はレーザースキャナーを制御するためのオープンソースライブラリである。レーザーユニット中の DAC ボードとガルバノミラーを制御し、リアルタイムでレーザー光の線状照射を行う。

4. 路面投影の予備実験

本提案手法では、線図形で構成された安全領域の投影像が、PT 搭乗者や周囲の歩行者に視認できるかどうか重要である。線図形の路面投影を行ってその視認性について議論する。

投影デバイスとして、レーザーユニットに Lighting Craft 社の W-400ES、プロジェクタに iCODIS 社の RD-813 を用意した。W-400ES は 400mW のレーザー照射を 2次元の自由度で制御することができる。残念ながら本機材は動的に提示内容を変更できないため、そのままプロトタイプシステムに組み込むことはできない。しかし、筐体の大きさやレーザー照射の仕組みは想定するシステムに近いため、予備実験ではこれを利用する。一方、RD-813 は 500ANSI ルーメンのモバイルプロジェクタである。バッテリー内蔵であること、縦横高さが 17.5cm, 14.5cm, 3.0cm 程度と小型であることはプロトタイプシステムには望ましい点であるが、照射時の明るさが問題となりうる。

本予備実験では、より条件が厳しいと思われる PT マウントを想定して、投影デバイスの高さを約 80cm とする。前方 300cm までの範囲に矩形の線図形を描画することで、安全領域の描画の代わりとする。このとき、矩形の路面での横幅は、近端で 40cm 程度、遠端

で 130cm 程度となる。投影の様子を図 2 に示す。

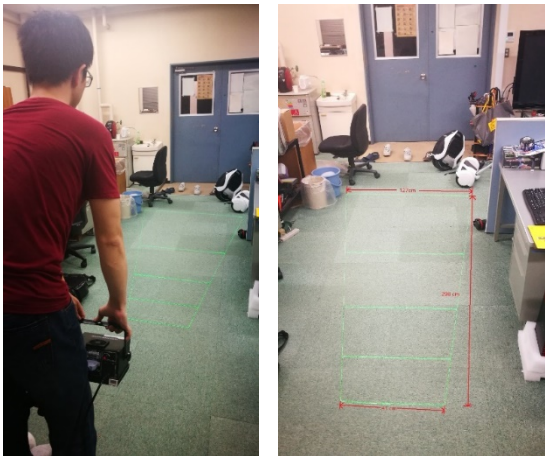


図 2. 路面投影する線図形

4.1. 明るい屋外

外光が明るいときに視認性の確保にとって最も厳しい状態である。日なたから日かげにかけて、10月上旬の晴天時に筑波大学筑波キャンパスにて投影実験を行った。撮影は、成人男性の視点位置を想定して 160cm 程度の高さから行った。図 3、図 4 にレーザー光投影の様子を示す。キャプションに実験時の路面付近の光量を付記する。

図ではわかりにくいですが 5000lx 以下になれば、レーザー光を視認することができるようになる。なお、路面特性から、どの方向から見ても見やすさはそれほど変わらない。これは以降のどの予備実験でもほぼ同様である。

これに対して、プロジェクタ光の様子を図 5 に示す。路面での単位面積当たりの照射光量が少ないため、描画された線図形を視認することは困難である。

4.2. 明るくない屋外

外光が弱まると、屋外での視認性は向上する。図 6 はレーザー光投影の様子を示しているが、肉眼で鮮明に視認できる。

4.3. 屋内

屋内は屋外に比べて暗いが、窓などから外光が入ると視認性は低くなる。図 7、図 8 はレーザー光とプロジェクタ光とで可視化した様子である。プロジェクタ光の場合、線を描いていない背景部分でも一定の光量が照射されてしまう。このことは視認性を下げる一因となっている。

5. おわりに

本稿では、PT の前方安全領域を検出し、かつ PT の

車速から安全に停止できる停止可能位置を求め、これらの安全領域の情報を路面に直接可視化する方法を提案した。屋内外のどちらでも、レーザー光を用いれば、PT 搭乗者だけでなく周囲の歩行者等も路面の線図形を視認できる可能性が高いことを確認した。今後はレーザー光を動的に制御し、PT の状態に合わせて適切に安全領域を可視化できるプロトタイプシステムを用いて、様々な評価実験を行っていきたい。

本研究の一部は、科研費 18H03480, 17H01773 の支援を得て行われた。ここに謝意を表する。



図 3. レーザー光 (アスファルト)
(8000lx, 4800lx)

文 献

- [1] Keith Boniface, Mary Pat McKay, Raymond Lucas, Alison Shaffer, Neal Sikka, "Serious Injuries Related to the Segway® Personal Transporter: A Case Series", *Annals of Emergency Medicine*, vol.57, Issue 4, pp.370-374, Apr. 2011.
- [2] Rupert R A Bourne et al, "Magnitude, Temporal Trends, and Projections of the Global Prevalence of Blindness and Distance and Near Vision Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis", *The Lancet Global Health*, vo.5, issue 9, pp.888-897, Sep. 2017.
- [3] 田内雅規, 大倉元宏, "視覚障害者支援技術の現状と問題点: 単独歩行について", *計測と制御*, vol.34, no.2, pp.140-146, Feb. 1995.
- [4] Kenta Imai, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda, "Detecting Walkable Plane Areas by Using RGB-D Camera and Accelerometer for Visually Impaired People", *IEEE 3DTV Conference*, pp.1-4, 2017.
- [5] 長谷川孝明, "ITS プラットフォーム"EUPITS"-実現へのアプローチ", *信学技報 ITS*, vol.103, no.86, pp.41-47, May 2003.
- [6] 山下清司, 長谷川孝明, "視覚障害者誘導用ブロックを用いた M-CubITS 歩行者ナビゲーションシステムについて", *信学論 A*, vol.88, no.2, pp. 269-276, Feb. 2005.
- [7] 亀田能成, "立ち乗り型パーソナルトランスポート

ターによる移動様式の変革”, 信学技報 MVE, vol.118, no.266, pp.37-40, Oct. 2018.

- [8] Fumihito Taya, Yoshinari Kameda, Yuichi Ohta, “Naviview: Virtual Slope Visualization of Blind Area at an Intersection”, Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, 8 pages, Nov. 2005.
- [9] Hao Li, Fawzi Nashashibi, “Multi-Vehicle Cooperative Perception and Augmented Reality for Driver Assistance: A Possibility to ‘See’ Through Front Vehicle”, IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.242-247, Oct. 2011.
- [10] Marcus Tonnis, Christian Lange, Gudrun Klinker, “Driving Assistance in the Head-Up Display of Cars”, 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, pp.91-94, Nov. 2007.
- [11] OpenLase, <https://github.com/marcan/openlase>

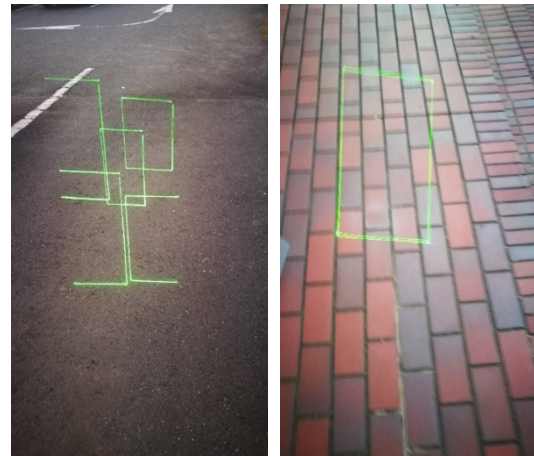


図 6. プロジェクタ光
(370lx, 200lx)

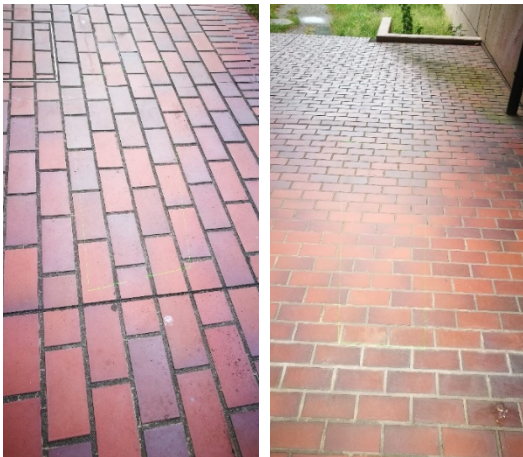


図 4. レーザー光 (ブロック)
(3900lx, 3100lx)

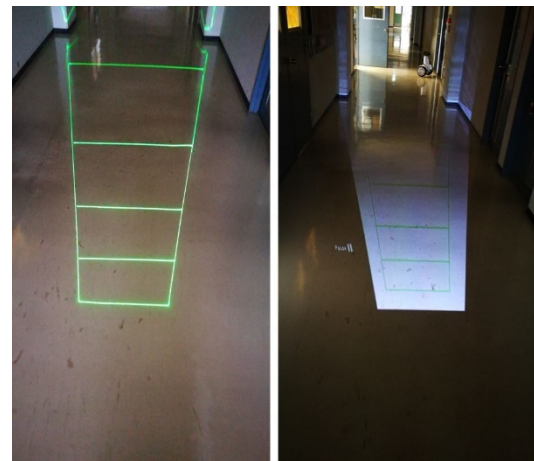


図 7. 屋内-1
(左: レーザー光 60lx 右: プロジェクタ光 30lx)



図 5. プロジェクタ光
(4800lx, 3100lx)



図 8. 屋内-2
(左: レーザー光 120lx 右: プロジェクタ光 100lx)