

搭乗者のすれ違い回避方向判断タイミングに基づいた パーソナルモビリティの半自律制御

Semiautonomous Control of Personal Mobility Based on
Passenger's Judgment Timing of Collision Avoidance

渡邊紀文^{*1}
Norifumi Watanabe

吉岡裕彬^{*2}
Hiroaki Yoshioka

宮本賢良^{*2}
Kensuke Miyamoto

今仁順也^{*1}
Junya Imani

^{*1}東京工科大学
Tokyo University of Technology

^{*2}慶應義塾大学
Keio University

In the space of pedestrian and personal mobility coexist, it is necessary to realize a safety collision avoidance. We have implemented the personal mobility performing semiautonomous control by estimating the avoidance direction of pedestrian. And we have tested collision avoidance experiments between a pedestrian and the mobility with the implemented model estimating avoiding direction from the feet's relative positions. We have evaluated the important body site in avoiding judgment and avoidance judgment timing. Based on the results, we have proposed a model of mobility avoidance based on passenger's judgment timing.

1. はじめに

近年パーソナルモビリティ「セグウェイ」を中心とした一人乗りの移動機器の開発が進み、今後人の歩行空間への進出が増加すると考えられる。一方で人と空間を共有する機会が増加することで衝突の危険性も増加し、歩行者またパーソナルモビリティ搭乗者の安全性の確保が必要になる。そこで我々は、パーソナルモビリティ搭乗者の操縦を考慮した半自律制御可能なパーソナルモビリティを開発した。更に歩行者とのすれ違い行動実験を行い、搭乗者による操作および半自律制御時の搭乗者の視線を分析することで、回避判断をする際に注視する歩行者の身体部位が半自律制御時には下半身へ移動し、更に回避判断タイミングが歩行者の約1歩分遅れるという結果を得た。これらの結果を基に、搭乗者の回避判断を考慮したパーソナルモビリティの回避制御モデルを提案する。



図 1: パーソナルモビリティ搭乗時の被験者の様子

2. パーソナルモビリティの半自律制御

パーソナルモビリティはオープンハードウェアである Selfi を利用した。Selfi には搭乗者の乗り降り判断する圧力センサ、バランス制御のための2軸加速度センサおよび1軸角速度センサが搭載されている。Selfi は搭乗者の前後方向の体軸の移動でタイヤを回転させてバランスをとり、ステアリングを利用して左右方向へ移動する(図1)。

回避制御は Microsoft Kinect を利用して両足の座標を取得し、その相対位置に基づいて行った。搭乗者の操作のみで行った実験でモビリティと人の回避タイミングが約3mであったため、歩行者と3m以上離れている時は、直進時と同様に制御をせず搭乗者の操作で回避可能とした。3m以内では Kinect の回避方向の推定結果が右回避もしくは左回避の場合には、その結果に基づき回避制御を行う。回避制御を行う際は、モビリティが直進移動をしている時には左右回避と推定した時に10~15degで旋回し、搭乗者がハンドル操作した時には搭乗者の操作とモビリティの回避制御の両方を行った。例えば、モビリティが右回避と判断した場合には、ハンドルを左に一定角度傾けた状態をパーソナルモビリティの直進方向とし、ハンドルを地面と垂直にした時に右回避を行い、搭乗者がハンドルをより

左に傾けることで左回避を行った。

2.1 足の相対位置を利用した回避方向の推定

本研究では Microsoft Kinect のカメラ画像を OpenCV を利用して色検出し、歩行者の両足に装着したマーカの座標を取得した。両足の座標を取得した状態で、直進時には足の幅が10cm以上、30cm以下の範囲で変化しており、回避時には足の幅が10cm以下、もしくは30cm以上の場合が見られ、足の幅が40cm以上になることはなかった。そこで、計測した足の幅が10cm以下もしくは30cm以上の場合に歩行者が回避行動を開始したと判断し、その時の座標が変化した方向によって左右どちらに回避しているかを推定した。

また特定のタイミングでの誤検出による移動を避けるため、パーソナルモビリティが移動するタイミングは、推定結果を加算することで決定した。具体的には、右回避として推定した場合には+1、左回避時には-1とし、直進時に値を半分にした。数値が2以上の場合には右回避をし、-2以下の場合には左回避をした。なお歩行者との相対距離は Kinect の赤外線カメラを利用し、フレーム間でのマーカの移動距離が2m以上になった場合は誤検出をしたとして、前のフレームの位置をマーカの座標とした。本推定アルゴリズムを用いて回避制御を行ったところ、8割程度の精度で正しい方向に回避することができた[Yoshioka 15]。

連絡先: 渡邊紀文, 東京工科大学コンピュータサイエンス学部,
東京都八王子市片倉町140-4-1, watanabenr@stf.teu.ac.jp

3. 歩行者とのすれ違い行動実験

歩行者とのすれ違い行動実験では、搭乗者自身がパーソナルモビリティを操作し歩行者とすれ違う条件および、半自律制御により歩行者とすれ違う条件で行った。スタート地点での搭乗者と歩行者の相対距離は6m、通路幅は1.9mである。またパーソナルモビリティ搭乗者は約0.6m/s、歩行者は約0.5m/sで移動し、歩行者は右回避および左回避を5試行ずつランダムで行った。なおパーソナルモビリティに搭乗する被験者は2名、歩行者は1名で実験を行った。

また搭乗者の回避判断をアイカメラ(NAC EMR-8B)を利用して計測した。具体的には搭乗者は移動中歩行者を注視し、回避行動前に自身が回避する方向に視線を移動し、すれ違いを行っていた。そこで搭乗者が回避方向に視線を移動する前に注視する歩行者の身体部位を回避判断に利用した情報とし、特に歩行者の上半身および下半身に分類して評価した。また搭乗者の回避判断タイミングについては、パーソナルモビリティの移動速度は一定ではないため、歩行者の歩行周期にあわせて評価した。具体的には歩行者の歩行を足が地面に接地しているところから離れるところまでの遊脚前期、足が地面から離れているところから踵が接地するまでの遊脚期、踵が接地するところからつま先が接地するまでの遊脚後期に分類した。この歩行周期に基づき、搭乗者の視線が歩行者の身体から回避方向へ移動したタイミングを回避判断タイミングとした。

3.1 回避判断で注視する歩行者の身体部位

実験の結果、搭乗者が操作した条件では、回避判断で注視する歩行者の身体部位は、被験者Aが9試行で上半身、1試行で下半身、また被験者Bも同様に9試行で上半身、1試行で下半身であった。一方半自律制御条件では、被験者A、B共に10試行全てで下半身を注視していた。

3.2 搭乗者が回避判断をした時の歩行者の歩行周期

被験者2名が回避判断をしたときの歩行者の歩行周期を図2に示す。x軸の数値は歩数を示し、「3」は3歩目、「4」は4歩目を示す。また数値の後の「F」は遊脚前期、「I」は遊脚期、「L」は遊脚後期を示す。グラフから、搭乗者が操作をした条件では3歩目遊脚前期から回避判断が行われ、最も多いタイミングは歩行者の4歩目の遊脚前期であった。一方半自律制御条件では4歩目遊脚前期から判断が行われ、最も多いタイミングは歩行者の5歩目の遊脚期であった。

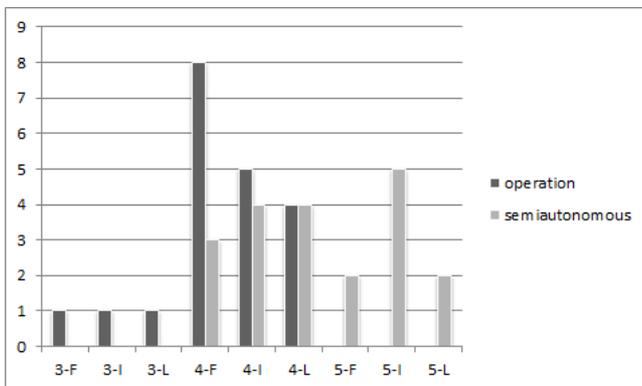


図2: 回避判断時の歩行者の歩行周期(搭乗者による操作: operation, 半自律制御: semiautonomous. X軸: 歩行者の歩行周期, Y軸: 試行数.)

4. 搭乗者の回避判断を考慮した回避制御のモデル

実験結果から、搭乗者による操作では、被験者2名の視線の動きの特徴として主に歩行者の上半身を注視していた。一方半自律制御時は、注視点が下半身に移動していた。また搭乗者の回避判断タイミングは、搭乗者が操作した時と比較し、半自律制御時は歩行者の歩行周期で約1歩分遅れているとの結果を得た。これらの結果から、搭乗者による操作では回避方向を推定するために多くの情報を得る必要があるため、歩行者の上半身、更に周辺視野で下半身および周辺へ注意を向けていると考えられる。一方半自律制御時は、パーソナルモビリティが8割以上の精度で回避制御を行うためその移動方向に依存し、歩行者の回避運動が最も早く現れる下半身、特に足に注意を向けていると考えられる。よって本実験結果から、半自律制御により搭乗者の注意負荷を減少し、より安全なすれ違い回避行動が実現できたと考えられる。

一方で、搭乗者の回避判断タイミングが自身の操作時に比べ1歩分遅れていることは、パーソナルモビリティの移動方向と、自己運動感覚が一定期間異なり、それより搭乗者に不安を与えることが考えられる。ここで先行研究において、オプティカルフローを利用することで歩行者の自己運動感覚を制御し、行動を誘導する研究が行われている[Watanabe 13]。そこでパーソナルモビリティによる回避方向推定後に、搭乗者に対してオプティカルフロー刺激を提示することで視線を誘導し、自己運動感覚を制御することが可能であると考えられる。具体的にはKinectで回避方向を推定したタイミングで、搭乗者の視線を回避方向に誘導し、パーソナルモビリティの推定方向と搭乗者の自己運動感覚を一致させる。更に搭乗者が回避制御を行う、歩行者との相対距離が3m以下になるまでのタイミングでモビリティの回避制御を行い、搭乗者の移動を支援する。

5. まとめ

本研究では、半自律制御を行うパーソナルモビリティを利用し、すれ違い行動時の搭乗者の視線を分析した。分析結果から、半自律制御時は歩行者の回避運動が最も早く現れる下半身に注意を向け、搭乗者の注意負荷を軽減することが出来た。

一方半自律制御により、搭乗者の回避判断タイミングが遅れるという結果が得られ、それによるパーソナルモビリティの移動方向と自己運動感覚の不一致の可能性が示された。それに対し、視覚誘導による自己運動感覚の制御および回避制御のモデルを提案した。今後、提案した視覚誘導と制御方法のモデルに基づいたすれ違い実験を行い、安全で安心なパーソナルモビリティと歩行者のすれ違い行動を実現する。

参考文献

- [Yoshioka 15] 吉岡裕彬, 宮本賢良, 今仁順也, 渡邊紀文, 武藤佳恭, "人とパーソナルモビリティのすれ違い行動を目指した歩行者の行動推定モデルの実装", 電子情報通信学会技術研究報告, NC2014-127, pp.337-342 (2015).
- [Watanabe 13] 渡邊紀文, 森文彦, 大森隆司, "周辺視へのオプティカルフロー刺激と身体動揺を利用した歩行者の誘導モデル", 映像情報メディア学会誌, vol.67, no.12, pp.J434-J440 (2013).