

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24710187

研究課題名(和文) すれ違い時の歩行分節化モデルに基づいたパーソナルモビリティ搭乗者の安全な行動誘導

研究課題名(英文) Behavior Inducement of Personal Mobility Passenger Based on Walking Segmentation Model at Collision Avoidance

研究代表者

渡邊 紀文(WATANABE, Norifumi)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・助教

研究者番号：30534721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では歩行者の回避方向および搭乗者の回避判断タイミングを推定し、半自律制御を行うパーソナルモビリティを実装した。歩行者とモビリティが共存する空間では、搭乗者が回避判断する前にモビリティが左右に移動することで、安全で安心なすれ違いを実現することができると考えられる。そこでモーションセンサを利用して歩行者の両足の座標を取得し、その相対位置から回避方向を推定するモデルをモビリティに実装し、すれ違い行動実験を行った。アイカメラによる評価から、モビリティの半自律制御によって自律制御時よりも心理負荷を軽減できたことを確認し、その結果に基づき搭乗者の視覚誘導およびモビリティの回避制御のモデルを提案した。

研究成果の概要(英文)：We have implemented a personal mobility performing semiautonomous control by estimating the avoidance direction of pedestrian and the avoidance judgment timing of passenger. In a space of pedestrian and personal mobility coexist, it is possible to realize a safety collision avoidance by moving a mobility in the lateral before passenger's avoidance judgment. Therefore, we utilize a motion sensor which obtains coordinates of both feet of pedestrian. And we have collision avoidance experiments between a pedestrian and the mobility implemented a model estimating avoiding direction from feet's relative positions. We have evaluated by eye tracking camera. As a result, it is possible to reduce the mental stress by semiautonomous control of mobility than autonomous control. Furthermore, we have proposed a model of passenger's vision inducement and mobility avoidance.

研究分野：身体情報処理，認知科学

キーワード：すれ違い回避方向推定 パーソナルモビリティ 半自律制御 視覚誘導自己運動感覚 体性感覚 心理負荷

### 1. 研究開始当初の背景

コミュニケーションにおける協調的及び競合的行動は、一連の相互作用の集合の一部として構成され、その前後の時間における相互作用の文脈に依存する。この文脈の中で、我々はある特定の動作のタイミングにおいて他者の行動を推定し、自己の行動を決定して行動計画をする。ただし我々は言語情報のように、常に明示的な情報にのみ基づいて他者の行動を推定するのではなく、環境や身体情報などの暗黙的な情報を用いて行動を推定している。例えば一方向の通路をすれ違うという状況において、我々は対向者から明示的な方向選択の情報を得ずとも、周囲の環境及び対向者の身体的な特徴に基づいて行動を推定し、自己の回避判断を行う。このように他者の行動に基づいて自己の行動を決定するという過程は、人間のコミュニケーションの本質的な理解に必須の課題である。これについて、社会的場面での行動記述についてはこれまで多くの研究が存在するが、他者の行動推定まで考慮した自己の行動決定の理解は未だ端緒の状態である。

更に昨今電動スクータ「セグウェイ」などのパーソナルモビリティが社会へ進出し、我々の歩行空間に導入されつつある。このような歩行空間で利用される移動手段は、現在の所その動作に関しては操縦者に依存し、他者の行動推定及び自己の行動決定について、歩行や自転車など他の移動手段で我々が保持している動作プランを作り替えて操縦する必要がある。このような動作プランの作り替えは人間にとって大きな負担となり、それにより危険性を伴う可能性がある。これを解決するためには、パーソナルモビリティ自体に人間と同様の他者の行動推定及び自己の行動決定のモデルを保持し、対向者の行動を推定する必要がある。更に搭乗者である人間に対しても、強制的に回避行動をさせられる事による心理的な負担を軽減するため、自己の行動が自然に誘導されているという感覚を与える必要がある。この問題に対して、研究代表者は以下の研究を行ってきた。

- (1). すれ違い時の歩行者の視線計測
- (2). すれ違い時の回避判断タイミングに対する、歩行者の観察する身体部位の影響
- (3). 視覚誘導自己運動感覚と身体動揺を利用した歩行者の誘導

(1)及び(2)の研究から、我々はすれ違い行動における歩行者の視線移動と回避判断タイミングの評価及び、回避判断に影響する歩行者の身体部位を特定した。(3)は視線誘導による行動誘導のプロトタイプ研究であり、誘導者にオプティカルフロー刺激を提示して自己運動感覚の錯覚を与え、更に足元への振動刺激により身体動揺を引き起こすことにより歩行を誘導する研究である。そこで本研究では、パーソナルモビリティ搭乗者への装着

を目的とし、光学式シースルー型HMDへオプティカルフロー刺激を提示することで搭乗者の自己運動感覚を制御し、モビリティが移動する際の搭乗者への知覚的負担を回避する誘導提示方法を検討する。

### 2. 研究の目的

本研究では視線データからすれ違い時の動作の分節化及び自己の行動決定のモデル化を行い、パーソナルモビリティを用いた行動誘導を行う。具体的には

- (1). 視線データから歩行時のすれ違い行動における行動決定のタイミングを求める。
- (2). すれ違い時のモーションキャプチャ計測から歩行者の動作の分節化を行い、分節に応じた動作プランの推定と回避判断のタイミングを用いることで、行動決定モデルを構築する。
- (3). 行動決定のモデルをパーソナルモビリティへ実装し、人間と同様の行動推定及び行動決定のモデルを保持させる。
- (4). パーソナルモビリティの回避行動と同様のタイミングで、搭乗者に対してHMDを用いた行動誘導を実現し、その心理評価を行う。

パーソナルモビリティが従来のモビリティと大きく異なるのは、我々が生活している歩行空間に進出するという点である。ここで注目すべきは、同一空間に存在するものが人間であり、搭乗者は自動車のウィンカーのような直接的な情報交換ではなく、身体情報などの暗黙的な情報から歩行者の行動を推定する必要があるという点である。そこで本研究では、モビリティ自体が対向する歩行者の行動を推定する人間行動モデルを搭載し、搭乗者の自己運動感覚を利用することで安全な行動誘導の実現を目指す。

本研究は、行動のモデル化による抽象化された数理モデルの構築及び、パーソナルモビリティを用いた実社会での実装を目指した構成的研究など、複数のアプローチを用いる独創性のある研究であると考えられる。

### 3. 研究の方法

歩行者すれ違い時におけるパーソナルモビリティを用いた行動誘導を実現するため、次の方法で研究を実施した。

- (1). パーソナルモビリティ搭乗者の心理負担軽減を目指した視線及び体性感覚の誘導の研究

歩行者にヘッドマウント型周辺視ディスプレイ(図1)を装着し、左右方向のオプティカルフロー刺激を提示することで歩行者の自己運動感覚を制御し、視線方向を誘導した。更に前脛骨筋に振動を提示することで体性感覚の信頼性を低下させ、視覚刺激に対す

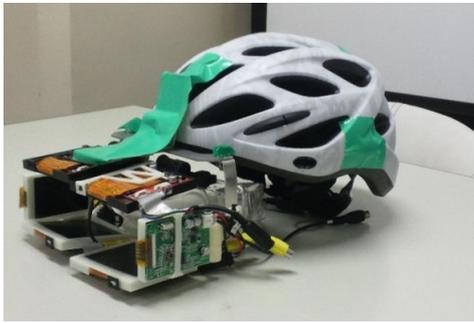


図 1 頭部装着型周辺視ディスプレイ

る感受性を増加させることで、その状態での歩行者への誘導効果を評価した。計測では視覚刺激及び身体動揺刺激の影響を評価するため、モーションキャプチャによる全身計測を行った。

(2). 歩行者の足の形状およびバイオロジカルモーションから回避方向を推定する自律移動ロボットの開発

対向者の足の向きを強化学習により学習し、リアルタイムに計測した結果とのテンプレートマッチングを行うことで回避方向を推定して移動する自律移動ロボットとのすれ違い歩行実験を行った(図2)。またMicrosoft Kinectで2人の歩行者がすれ違う行動データを計測し、そのバイオロジカルモーションデータから歩行者を弁別して歩行動作を認識するシステムを開発した(図3)。

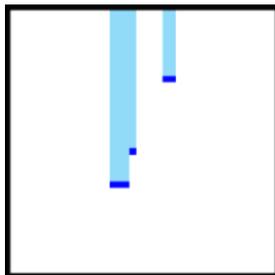


図 2 足のテンプレート画像

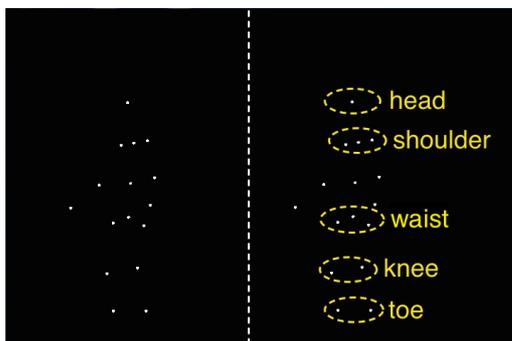


図 3 バイオロジカルモーションで分類した身体部位

(3). パーソナルモビリティと歩行者のすれ違いの実現を目指した、歩行者の行動意図を推定する自律移動ロボットの開発

追従の対象となる歩行者を観察し、その行動意図を推定して歩行していると考えられる人間の追従行動を分析することで、その経路と左右方向への移動タイミングの特徴を明らかにした。その特徴を、自律移動ロボットにより強化学習を用いて学習し、追従行動の実装を行った。

更に受動的および能動的に移動する歩行ロボットに対し、歩行者がどのように行動意図を切り替えて行動するのかを、仮想環境であるSIGVerseを利用して実験および評価し、パーソナルモビリティとのすれ違い時の歩行者の行動意図推定方法を検討した(図4)。



図 4 SIGVerse でのすれ違い歩行実験

(4). 歩行者の回避方向を推定しすれ違い行動をするパーソナルモビリティの実装

搭乗者の重心の移動で前後方向に加速し、ハンドルで左右方向に移動するパーソナルモビリティを作成した(図5)。更にモビリティに赤外線及びRGBカメラを搭載し、歩行者の左右の足の位置と足先の向きから回避方向を推定するアルゴリズムを実装した。



図 5 パーソナルモビリティ Selfi

(5). パーソナルモビリティ搭乗者の心理負荷低減を目指した半自律制御モデルの実装

歩行者の回避方向推定結果に基づいて自律的に回避を行う制御モデルおよび、搭乗者の左右方向へのハンドルの移動を考慮し、半自律的に回避を行う制御モデルを構築した。

(6). 視覚刺激提示に対し優位に注意を向け、回避方向の意思決定に影響を与えるための知覚モデルの構築

視覚と体性感覚の感覚統合と視線方向への誘導可能性について、排他的及び重ね合わせによる知覚条件の議論および、視覚的注意課題時に活動が高まるといわれている第4次視覚野のニューラルネットワークを構築し、視覚刺激の誘導効果を優位に高めるためのモデルを構築した。

#### 4. 研究成果

本研究について実施した項目毎に成果をまとめる。

(1) パーソナルモビリティ搭乗者の心理負荷軽減を目指した視線及び体性感覚の誘導の研究については、視覚刺激による誘導効果は足が着地している状態から遊脚状態へ移行する歩行周期で発生し、視覚刺激提示から3sec後に100~150mm程度歩行者が誘導されることが確認された(渡邊 2012, Watanabe2012)。また体性感覚刺激デバイスの小型化に取り組み、従来の8個モータでの振動デバイスから小型モータ1個に変更することで重量を減らし、歩行時の負担を減らした。また従来の左方向への視覚刺激に対し右方向への刺激を提示することで、利き足の違いにより誘導効果の違いがあることを明らかにした(渡邊 2013)。更にオプティカルフローを前進方向及び水平左方向へランダムに提示したときの誘導効果を評価し、視覚と体性感覚の統合機構をモデル化した(森 2012)。また視覚と体性感覚を制御するための統合モデルを構築し、本研究成果が論文誌に採録となった(渡邊 2013)。

(2) 歩行者の足の形状およびバイオロジカルモーションから回避方向を推定する自律移動ロボットの開発については、足の向きを強化学習により学習し、回避方向を推定して移動する自律移動ロボットを実装した(吉岡 2013)。またバイオロジカルモーションデータから歩行者を弁別して歩行動作を認識するシステムを開発し、本研究成果が論文誌に採録となった(清水 2016)。

(3) パーソナルモビリティと歩行者のすれ違いの実現を目指した、歩行者の行動意図を推定する自律移動ロボットの開発については、歩行者の移動経路と左右方向への移動タイミングの分析から、歩行者は追従の対象となる歩行者が左右へ移動する1~2歩前で相対距離を約50mm広げることで移動方向を推定し、強化学習を用いて学習することで学習前と比較し短距離で追従対象者に追従することが可能となった(吉岡 2012)。更に受動的および能動的に移動する歩行ロボットに対し、歩行者が行動意図を切り替えて移動するのかを評価するため、仮想環境を利用した実験を行い、能動的な回避を行うことで歩行者の行動を誘導し、回避タイミング及びそ

の移動距離を変化させることに成功した。本研究成果を国際会議にて発表した(Miyamoto2015)。

(4) 歩行者の回避方向を推定しすれ違い行動をするパーソナルモビリティの実装については、搭乗者の重心の移動で前後方向に加速し、ハンドルで左右方向に移動するパーソナルモビリティを作成し、歩行者の左右の足の位置と足先の向きから回避方向を推定するアルゴリズムを実装した。歩行者との行動実験を行った結果、7割の精度でモビリティが回避することに成功し、本研究成果が論文誌に採録となった(Watanabe2015)。

(5) パーソナルモビリティ搭乗者の心理負荷軽減を目指した半自律制御モデルの実装については、歩行者の回避方向推定結果に基づいて自律的に回避を行う制御モデルおよび、搭乗者の左右方向へのハンドルの移動を考慮し、半自律的に回避を行う制御モデルを構築した。行動実験による評価から、自律制御時は搭乗者は周囲に注意を向けておらず危険な状態であったが、半自律制御時は周辺にも視線を移動しており、注意を分散しより安全に回避行動を取っていることが示された(吉岡 2014)。またモビリティ搭乗者の注視点分析結果に基づいた、回避制御および視覚誘導タイミングの制御のモデルを提案し、本研究成果が論文誌に採録となった(Watanabe2015)。

(6) 視覚刺激提示に対し優位に注意を向け、回避方向の意思決定に影響を与えるための知覚モデルの構築については、視覚的注意課題時に活動が高まるといわれている第4次視覚野のニューラルネットワークを構築し、視覚刺激の誘導効果を優位に高めるためのモデルを構築した(長野 2013)。更に視覚刺激に対する脳のトップダウンのモジュレーションにより注意制御を向上させるニューラルネットワークモデルを構築し、本研究成果を国際会議にて発表した(Nagano2014)。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

- [1] 渡邊紀文, 森文彦, 大森隆司: 周辺視ディスプレイと振動デバイスを利用した歩行誘導効果と感覚統合のモデル構築, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), 査読有り, Vol.28, 1-8(2016)
- [2] 清水友樹, 渡邊紀文, 久保村千明, 亀田弘之: バイオロジカルモーション映像を用いた複数対象物の動作認識システムの構築, 21世紀科学と人間シンポジウム論文誌, 査読有り, Vol.7, 1-7(2016)
- [3] N. Watanabe, H. Yoshioka, K. Miyamoto, J. Imani: Semiautonomous Control of Personal Mobility Based on Passenger's Collision Avoidance

- Judgement Timing, *Procedia Computer Science*, 査読有り, Vol. 71, 50-55(2015), 10.1016/j.procs.2015.12.195
- [4] N. Watanabe, F. Mori, T. Omori: Walk Assistance Interface by Sensory Superposition Fusion of Vision and Somatosensor, *Procedia Computer Science*, 査読有り, Vol. 99, 588-594(2014)
- [5] Y. Nagano, N. Watanabe, A. Aoyama: Analysis of Neural Circuit for Visual Attention using Lognormally Distributed Input, *Lecture Notes in Computer Science*, 査読有り, Vol. 8681, 467-474(2014), 10.1016/j.procs.2015.12.210
- [6] 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*, 査読有り, Vol. 67, No. 12, J434-J440(2013), 10.3169/itej.67.J434
- [7] N. Watanabe, T. Omori: Unconscious Guidance of Pedestrians Using Vection and Body Sway, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 査読有り, Vol. 196, 351-359(2013), 10.1007/978-3-642-34274-5\_59
- [2015年9月, 電気通信大学(東京都調布市)]
- [6] 渡邊紀文, 吉岡裕彬, 宮本賢良, 今仁順也: 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, 2015年度人工知能学会全国大会(第29回), ROMBUNNO. 113-OS-10b-4, 2015年5月, 公立はこだて未来大学(北海道函館市)
- [7] 糸田孝太, 渡邊紀文, 古谷知之, 永野智久, 武藤佳恭: ゴール型ボールゲームにおける選手の連携を生み出す行動の因果性分析, 2015年度人工知能学会全国大会(第29回), ROMBUNNO. 1L2-OS-15a-5, 2015年5月, 公立はこだて未来大学(北海道函館市)
- [8] 宮本賢良, 吉岡裕彬, 渡邊紀文, 武藤佳恭: 自律エージェントとのすれ違い行動におけるメタ戦略モデルに基づいた歩行者の行動分析, 2015年度人工知能学会全国大会(第29回), ROMBUNNO. 2K4-OS-14a-3, 2015年5月, 公立はこだて未来大学(北海道函館市)
- [9] 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実装, *電子情報通信学会技術研究報告*, NC2014-127, 337-342, 2015年3月, 玉川大学(東京都町田市)
- [10] 長野祥大, 渡邊紀文, 青山敦: 視覚的注意時の神経活動を誘起するトップダウンモジュレーションの計算論的検証, *日本生体医工学会専門別研究会第12回マルチモーダル脳情報研究会*, 15, 2015年1月, 明治大学(東京都千代田区)
- [11] K. Miyamoto, H. Yoshioka, N. Watanabe, Y. Takefuji: Modeling of Cooperative Behavior Agent Based on Collision Avoidance Decision Process, *Proceedings of the second international conference on Human-agent interaction*, 257-260, October 2014, University of Tsukuba(Ibaraki, Japan)
- [12] 渡邊紀文, 吉岡裕彬, 宮本賢良: すれ違い行動決定過程に基づく協調行動エージェントのモデル化, 2014年度人工知能学会全国大会(第28回), ROMBUNNO. 1E4-OS-23a-7, 2014年5月, ひめぎんホール(愛媛県松山市)
- [13] 長野祥大, 渡邊紀文, 青山敦: 視覚的注意課題における対数正規分布を用いた入力と神経回路の分析, *電子情報通信学会技術研究報告*, NC2013-146, 47-52, 2014年3月, 玉川大学(東京都町田市)
- [14] N. Watanabe, F. Mori, T. Omori: Pedestrian Guidance and Sensory Fusion Using Peripheral-Vision-Stimulus and Vibratory Stimulus, *IEEE*
- [学会発表](計30件)
- [1] 長野祥大, 唐木田亮, 渡邊紀文, 青山敦, 岡田真人: 発火不規則性と集団振動現象を両立する神経回路モデルとその機能的意義, 2016年度人工知能学会全国大会(第30回), ROMBUNNO. 1G5-OS-11b-3in1, 2016年6月, 北九州国際会議場(福岡県北九州市)
- [2] 長野祥大, 唐木田亮, 渡邊紀文, 青山敦, 岡田真人: 不規則自発発火活動を示す神経回路モデルの外部入力応答, 『電子情報通信学会技術研究報告』, 電子情報通信学会, Vol. 115, No. 514, pp. 89-94, 2016年3月, 玉川大学(東京都町田市)
- [3] 長野祥大, 唐木田亮, 渡邊紀文, 青山敦, 岡田真人: 対数正規重みを持つ自発発火回路モデルの外部入力応答, *日本物理学会第71回年次大会*, 21pBS-4, 2016年3月, 東北学院大学(宮城県仙台市)
- [4] K. Miyamoto, N. Watanabe, Y. Takefuji: Pedestrian Meta-Strategy Analysis of Collision Avoidance with Two Autonomous Agents, 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, 467-469, October 2015, Grand Cube Osaka(Osaka, Japan)
- [5] 長野祥大, 唐木田亮, 渡邊紀文, 青山敦, 岡田真人: 不規則自発発火回路が示す入力駆動の集団振動, *日本神経回路学会第25回全国大会(JNNS2015)*, P-36,

International Conference on. Systems, Man, and Cybernetics 2013, 4254-4258, October 2013, Midland Hotel (Manchester, UK)

- [15] 清水友樹, 渡邊紀文, 久保村千明, 亀田弘之: バイオロジカルモーション映像を用いた複数対象物の動作認識パラメータの分析, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2013年12月, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)
- [16] 吉岡裕彬, 宮本賢良, 渡邊紀文, 武藤佳恭: 足のブロックマッチングを用いたすれ違い回避方向の推定, 計測自動制御学会システム・情報部門講演会2013, 2013年11月, ピアザ淡海(滋賀県大津市)
- [17] 渡邊紀文, 森文彦, 大森隆司: 周辺視ディスプレイを用いた左右方向のオプティカルフロー提示による歩行者の誘導, 日本知能情報ファジィシステムシンポジウム, Vol.29, 536-541, 2013年9月, 大阪国際大学(大阪府枚方市)
- [18] 宮本賢良, 吉岡裕彬, 渡邊紀文, 武藤佳恭: 仮想環境でのすれ違い移動における歩行者の意図推定のモデル化, 日本知能情報ファジィシステムシンポジウム, Vol.29, 505-508, 2013年9月, 大阪国際大学(大阪府枚方市)
- [19] 森文彦, 渡邊紀文, 大森隆司: 周辺視刺激と振動刺激による歩行誘導と感覚統合, 電子情報通信学会技術研究報告, NC2012-138, 25-30, 2013年3月, 玉川大学(東京都町田市)
- [20] 吉岡裕彬, 宮本賢良, 渡邊紀文, 武藤佳恭, 石崎俊: 人間の行動意図の推定を目指した自律ロボットの追従行動, 電子情報通信学会技術研究報告, NC2012-152, 107-112, 2013年3月, 玉川大学(東京都町田市)
- [21] 渡邊紀文, 大森隆司: 周辺視へのオプティカルフロー刺激呈示による歩行者の誘導, 日本知能情報ファジィシステムシンポジウム, Vol.28, 512-515, 2012年9月, 名古屋工業大学(愛知県名古屋市)

〔その他〕

ホームページ等

[http://aiit.ac.jp/master\\_program/isa/professor/n\\_watanabe.html](http://aiit.ac.jp/master_program/isa/professor/n_watanabe.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡邊 紀文 (WATANABE Norifumi)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・助教

研究者番号: 30534721