

ウェアラブルデバイスを活用したナビゲーションシステムの構築 のための歩行者ダイナミクスシミュレータの開発

A Study on Pedestrian Dynamics Simulator for Navigation System with the use of Wearable Devices

篠田孝祐^{1*} 大山英明¹ 野田五十樹¹
Kosuke Shinoda¹ Emei Oyama¹ Itsuki Noda¹

¹ 産業技術総合研究所

¹ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract: It is important problem to take appropriate measures to ensure the safety of crowded spaces such as station's platform and concert venue. There are a lot of problematic situations that people encounter in real life, especially in emergency. There are some crowd simulations that perform the situation of disaster evacuation. Those simulations aim to design environment in order to realize effective refuge behavior. However, we would like to offer a difference approach to provide safety for the publics. That is, we assume the situation that some people used a personal navigation system. In this paper, we explain some wearable devices to use navigation system, and discuss the target situation of crowd simulation.

1 はじめに

歩行者ダイナミクスの分析は、災害時のような緊急時はもちろんのこと、デパートや駅のプラットフォーム、コンサート会場のように混雑が想定される状況における安心・安全を提供のために重要な研究課題である。この歩行者ダイナミクスに関する研究は、様々な分野で行われている [1, 2] が、実空間での実験は時間的・空間的なコストが高く、安全性の面からも難しい。そのため、コンピュータシミュレーションを用いた手法が注目されている。計算機を利用したシミュレーションを積極的に活用している研究の一つとして、災害時の避難シミュレーション [1, 3, 4] がある。既存研究では、避難行動の効率化などの環境の構築・設計を主な目的としており、効率的な避難行動のための適切な避難指示標識の設置場所の評価や、避難訓練のための仮想空間としてシミュレーションを利用されている [5]。本研究では、既存研究で行われているような環境の視点からの安全・安心の提供ではなく、個人の視点からの安心・安全の提供を主眼においた歩行者ダイナミクスのシミュレーションを利用する。具体的には、携帯電話をはじめとしたウェアラブルデバイスが利用されている環境を想定し、それらを直接的・間接的に活用することで可能となるナビゲーションシステムの

開発に必要な歩行者ダイナミクスシミュレータを開発する。

本論文の構成は以下のようになっている。2章では、本研究の主要素であるウェアラブルデバイスの概要、ならびに、対象とするデバイスに関してのべる。続いて、本研究にて作成している歩行者ダイナミクスシミュレータを概観する。そして、作成したシミュレータの妥当性の検証を行い、ウェアラブルデバイスを用いたナビゲーションの可能性をシミュレーションする。

2 ウェアラブルナビゲーション

我々は、現在、特定の個人を対象とした明示的、もしくは暗黙的なサポートを行うことを目的とした新しいデバイスを開発している。同様の目的をもつデバイスは多数開発されており、一般的にウェアラブルデバイスと呼ばれている。それらデバイスの実用化を目指しているウェアラブルコンピューティングの分野では、計算モジュールやセンサー、アクチュエータなどの小型化が試みられているだけでなく、このデバイスの実用化は、VRやロボティクスの分野においても注目を受けるなど、幅広い分野において研究の対象となっている [6, 7]。また、GPSを搭載した携帯電話が現在普及しているが、それらは主に室外での利用を想定されているため、その他のセンサなどを組み合わせたパーソナ

*連絡先：産業技術総合研究所 知能システム研究部門
〒305-8686 茨城県つくば市梅園1-1 第2事業所
E-mail: Kosuke.Shinoda@aist.go.jp

ルナビゲーションシステムがいくつか開発されている [7][8]。また、前田らは、同様のシステムとして、ウェアラブルロボティックシステム (Parasitic Humanoid, 以下 PH と呼ぶ) システムを開発した [9]。このシステムは、アクチュエータがないが、前庭感覚刺激 (GVS) を利用することで、装着者の歩行の簡単な誘導などを行える [10, 11]。つまり、PH の主な特徴の一つとして、装着者に暗黙的な指示によるサポートを行うことが考えられ、装着者は装着するという行為を通してそれら指示を受け入れを示す。このような、非明示的な支援を陽に行うことで、従来のデバイスとは異なるアプローチからのパーソナルナビゲーションシステムが可能となると考える。本研究では、現在開発されている PH デバイスなどウェアラブルデバイスを活用することで可能となる、安全な歩行者ナビゲーションシステムを開発するために、まず始めに歩行者ダイナミクスを再現するシミュレータの開発を行う。

3 歩行者ダイナミクスシミュレータ

我々は、ウェアラブルデバイスを用いることで可能となるナビゲーション手法の調査を目的とした、歩行者ダイナミクスシミュレータの開発に取り組む。本節では、本研究で採用する歩行者ダイナミクスのモデルの説明、ならびに、作成したシミュレータを概観する。

3.1 シミュレータの概要

歩行者ダイナミクスのモデルには、主に、粒子モデル、セルオートマトンモデル、マルチエージェントモデルなどが用いられている [2]。比較的安定した流れが想定される歩行者ダイナミクスを対象とする場合には粒子モデルが適用されることが多く、一方、災害時の脱出を対象としたシミュレーションでは、セルオートマトンモデルが用いられることが多い。その理由としては、粒子モデルやセルオートマトンモデルは、モデルの表現が比較的簡素でありながら全体の振る舞いの観察できるためである。一方で、そそれは、個体の個性の表現を内包することは難しく、歩行者に特定の条件を付加するような実験が求められている場合での利用は難しい。よって、近年では、マルチエージェントモデルも併用されることが多くなっている。

我々が対象とするウェアラブルデバイスを用いた歩行者ナビゲーションシステム (ウェアラブルナビゲーション) が、従来の歩行者ダイナミクスシミュレーションと異なる点は、歩行者の一部がウェアラブルデバイス

を所持していることを前提としている点である。これが意味するところは、指示板などを通しての全体の誘導だけでなく、各個人が直接的に誘導される場合も含まれる。

既存モデルをふまえた上で、本研究の目的を満たすような歩行者ダイナミクスを再現するために最低限必要とする要素として、

1. 単純な物理モデル
2. 単純な動作をするエージェント群
3. PH による支援を内包したエージェントモデル

の3要素が必要と考える。物理モデルとは本格的な三次元物理シミュレーションではなく、ナビゲーションの妥当性を示すのに必要となる最低限の現象の再現要素を含むモデルを意味する。そして、デバイスの有効性の検証が目的であるため、デバイスの効果を測定するには可能な限り単純なモデルが望ましい。さらに、本研究の対象であるウェアラブルナビゲーションシステムを装着することで、エージェントにどのような影響を与えるのかを表現する必要があるため、ウェアラブルデバイスの歩行者に与える影響をエージェントモデル内部で表現する必要がある。以上から、本研究では、空間を格子空間として表現し、歩行者の意思決定はエージェントモデルとして表現する。

3.2 エージェントの動作モデル

個々のエージェントは、エージェントの幅より狭い間隔で構成された格子空間を移動することで、擬似的な自由空間を移動する (図 1 参照)。エージェントの次の動作 (移動) は、自身の現在地を含め、前後左右のセルを移動選択肢とするが、障害物もしくは他のエージェントなどが近隣に存在する場合には除外する。移動先となるセルは、候補である選択肢からルーレット選択により選択するが、その選択確率は、群集を形成する力学モデルである Boid モデル [12] で定義される力 (図 2 参照) と、自身が目標とする地点がある場合にはその向きの単位ベクトルの各成分を選択確率として加算している。その際、一定の閾値以下の場合には、閾値の逆数を現在地に留まる選択確率として加算する。

3.3 シミュレータの妥当性の検証

本節では、作成したシミュレータの妥当性の検証を、歩行者ダイナミクスで観測される代表的な現象などの再現を通して調べる。

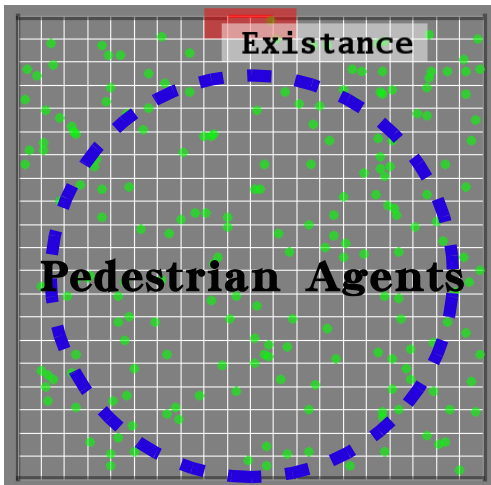


図 3: 排除体積効果の実装の検証

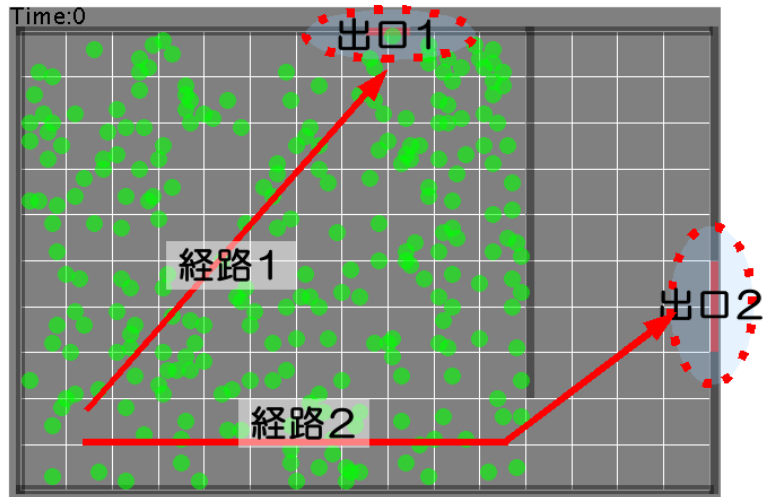


図 4: 実験 1: シミュレーション環境

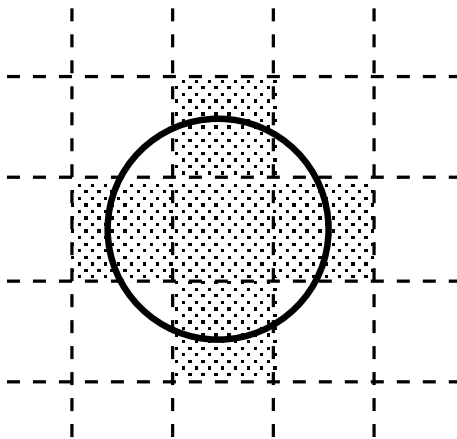


図 1: Grid Space as Free Space

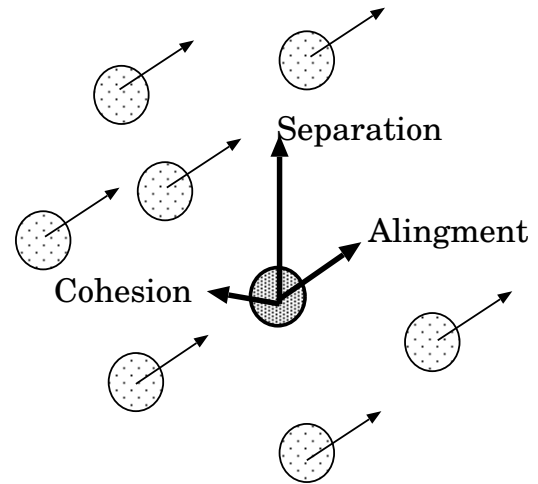


図 2: Boid Model

3.3.1 ブリッジ現象，排除体積効果の確認

一般的なマイクロレベルでの歩行者ダイナミクスシミュレータで扱われる現象の一つとして，ブリッジ現象がある．この現象は，主に出口など，広い空間から狭い空間への群の移動において，群が半円状に詰まって移動できない状況のことである [2]．同様の現象の再現を確認している (図 5 参照)．

既存研究 [2] では，この現象が生じる要因として，排除体積効果をあげている．本研究のモデルも，同効果が適切に実装されているかを，図 3 の状況下で検証した．このシミュレーションでは，出口の大きさを変えることでの避難時間の変化を調べる．排除体積効果が適切に実装されている場合には，ある程度の密度を越えたところで出口付近が過剰に混雑することが予測される．

図 6 は，そのシミュレーション結果であり，横軸はエージェントの密度，縦軸は避難完了時間の平均であ

る．この結果から，エージェントの避難完了時間は，出口の大きさに関わらず一定以上のエージェントの数を境として急激に上昇すること，そして，その閾値は出口の広さとにより異なっていることが分かる．これより，先ほどのブリッジ現象と合わせて本シミュレーションにおいて，排除体積効果が生じていることが確認できた．

3.3.2 ウェアラブルナビゲーションの可能性の検討

避難状況でのウェアラブルナビゲーションシステムの有用性の検証として，2つの実験を行った．実験 1 は，ナビゲーションを行う必要性の有無を検討するために，環境の状態に適した経路指示の分配の最適解の有無を検討する．具体的には，環境として図 4 のように複数出口ある場合を想定する．この環境では視認が

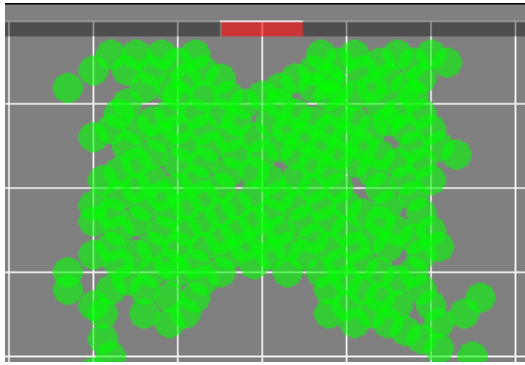


図 5: An arching at exit

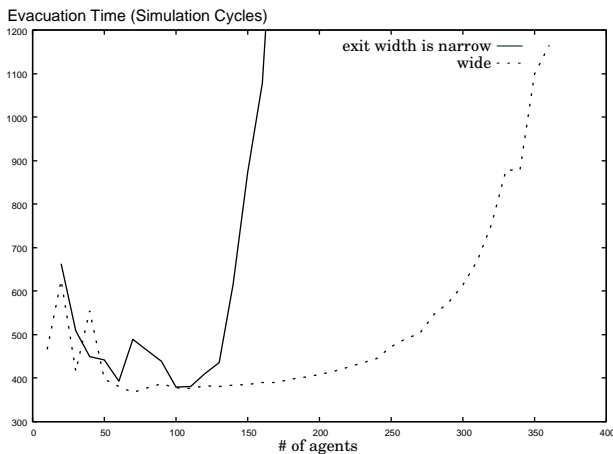


図 6: Evacuation Time

容易であるが狭い出口である経路 1 と、視認が難しいが出口が広い経路 2 があり、もっとも単純な選択肢としては経路 1 が選択されやすいであろう状況となっている。この状況下で、各エージェントが知識としていずれかの出口を既知であることをランダムに与えたときの、避難時間を観測する。

図 7, 図 8 の横軸は、出口 2 を選択割合であり、図 7 の縦軸は避難完了時間の平均、図 8 の縦軸は避難完了割合を示している。図 7 では、横軸の両端、つまりいずれかの経路が極端に選択された場合に、出口が混雑していることを示している。図 7 から、およそ、均等に分けた場合に平均的に短い時間での避難が行えることが分かる。そして、図 8 では、出口 1 を選択した場合が、出口 2 よりも避難完了割合がすくないことを意味している。これらから、視認しやすい出口 1 の方が、短時間での避難も期待できるが、場合によっては混雑で避難が完了しない場合があり、そのような場合には、出口 2 につながる経路に適切な割合で誘導することが望ましいことがわかる。

つづいて、Case2 として、追従行動を行うエージェントが含まれる場合のナビゲーションの可能性を検討する。携帯電話など通信可能なデバイスを日常的に所

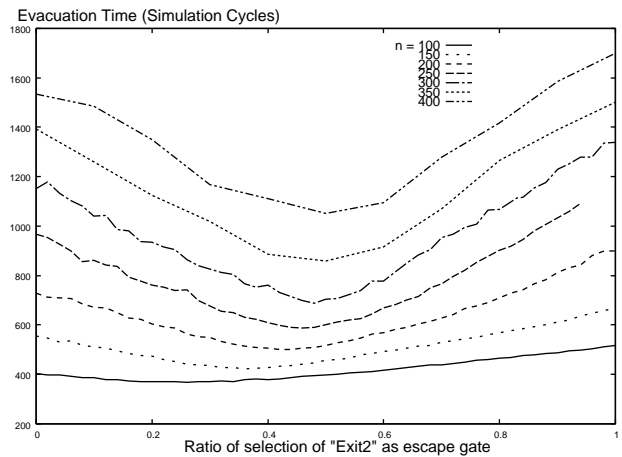


図 7: Case1: Evacuation Time

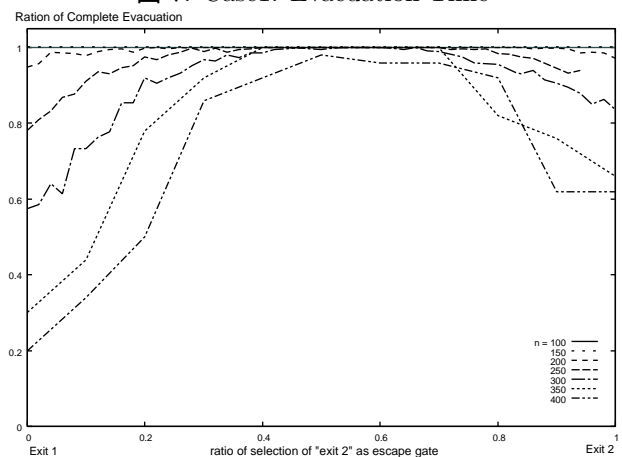


図 8: Case1: Complete Ratio

持している人は増えている。しかしながら、避難という状況下で有用なアプリケーションの開発や普及はまだまだ少なく、将来的にも、全ての人が利用できる状況を想定することは難しい。だが、ウェアラブルデバイスを用いたナビゲーションは、状況の変化にリアルタイムに対応できる可能性があるなど、指示版による避難誘導に比べ柔軟性があると考えられる。この実験における環境条件は、図 9 となっており、図 4 とほぼ同じであるが、エージェントに出口を知らず追従行動をとるエージェントを加えた。これにより、ウェアラブルナビゲーションシステムにてそれぞれの出口に誘導された各エージェントと、手近な出口 1 に脱出するか、近隣のエージェントに追従するエージェントの 2 種類のエージェントからエージェント群は構成されている。

図 10 は、横軸をナビゲーションされるエージェント群の割合、縦軸は避難完了時間の平均、ならびに、避難完了割合を示している。この実験結果から言えることは、人の追従行動を有効に利用するようにウェアラブルナビゲーションの利用者を誘導することで、避難効率の改善が期待できることを示している。また、そ

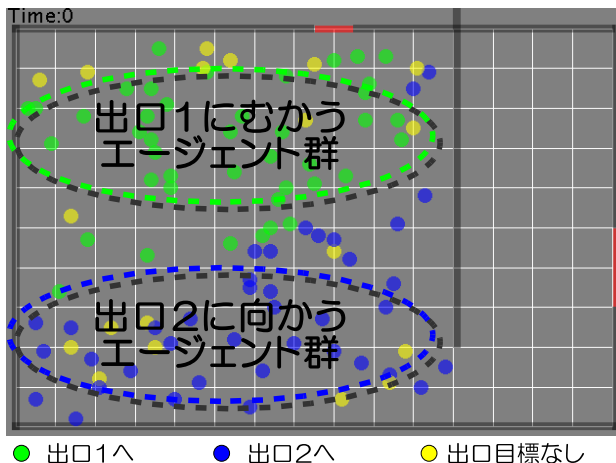


図 9: Case2: considering wandering pedestrian

のときのウェアラブルナビゲーションの利用者は、半数以下であっても過剰な混雑によって出口が詰まる状況を回避できていることが示されている。

4 まとめ

我々は、ナビゲーションの開発をするにあたり、単純な歩行者ダイナミクスシミュレータの開発、妥当性の検証を行った。本論文で、想定した環境は非常に単純な状況ではあるが、集団の一部が、ウェアラブルデバイスを活用した誘導を受けることで、避難状況が改善される可能性があることを示せたと考えている。今後は、現実的な環境下において、ナビゲーションが必要となる条件を探るとともに、より有効なナビゲーションシステムを開発できるよう、シミュレータの開発に取り組みたい。さらに、日常生活でウェアラブルデバイスを全てのユーザが利用する状況を想定するのは難いため、利用者が少ない状況下であっても、利用者以外の人々への安全・安心の提供が可能となるナビゲーションも想定したシミュレータの開発を行う予定である。

謝辞

本研究は、科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業 (CREST) における研究領域「パラサイトヒューマンネットによる五感情報通信と環境センシング・行動誘導」のもとに推進されました。

参考文献

- [1] Adriana Braun, Soraia R. Musse, Luiz P. L. de Oliveira, and Bardo E. J. Bodmann. Modeling individual behaviors in crowd simulation. In *Proceeding of International Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA 2003)*, pp. 143–148, 2003.
- [2] Dirk Helbing, Illés Farkas, and Tamás Vicsek. Simulating dynamical features of escape panic. *Letters to Nature*, No. 407, pp. 487–490, 2000.
- [3] Satoshi Tadokoro, Hiroaki Kitano, Tomoichi Takahashi, Itsuki Noda, Hitoshi Matsubara, Atsushi Shinjoh, Tetsuhiko Koto, Ikuo Takeuchi, Hironao Takahashi, Fumitoshi Matsuno, Mitsunori Hatayama, Masayuki Ohta, Masayuki Tayama, Takeshi Matsui, Toshiyuki Kaneda, Ryosuke Chiba, Kazunori Takeuchi, Jun Nobe, Kazuhiko Noguchi, and Yoshitaka Kuwata. Robocup rescue project. *Advanced Robotics*, Vol. 14, No. 5, pp. 423–425, 2000.
- [4] Jian xun Chu, Jing jing Li, Meng Xu, and Li Zhao. Simulating escape panic based on the mechanism of asymmetric information distribution. In *Complex Systems Summer School Final Project Papers*, 2005.
- [5] Franziska Klügl and Guido Rindsfüser. Large-scale agent-based pedestrian simulation. In *MATES*, pp. 145–156, 2007.
- [6] M. Hirose, K. Hirota, T. Ogi, H. Yano, N. Kakehi, M. Saito, and M. Nakashige. Hapticgear: The development of a wearable force display system. In *Proc. of IEEE Virtual Reality (IEEE VR) 2001*, pp. 123–129, 2001.
- [7] Takeshi Kurata, Masakatsu Kourogi, Nobuchika Sakata, Umi Kawamoto, and Takashi Okuma. Recent progress on augmented-reality interaction in aist. In *The 2nd International Digital Image Forum: The Future Direction and Current Development of User-centered Digital Imaging Technology and Art*, 2007.
- [8] Takashi Okuma, Masakatsu Kourogi, Nobuchika Sakata, and Takeshi Kurata. 3-d user interfaces for indoor exhibits navigation and reliving experiences on-and-off the spot. In *In Proc. International Workshop on Ubiquitous Virtual Reality (IWUVR2008)*, 2008.
- [9] Taro MAEDA, Hideyuki ANDO, Maki SUGIMOTO, Junji WATANABE, and Takeshi MIKI.

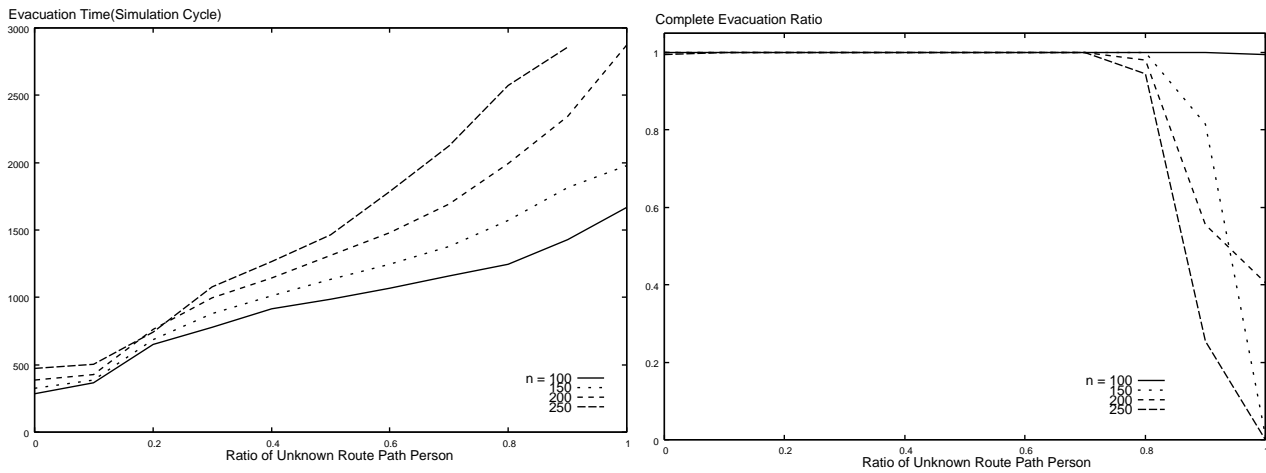


Figure 10: Case2: Ratio of Wearable Navigation Device User

Wearable robotics as a behavioral interface -the study of the parasitic humanoid. In *Proc of 6th International Symposium on Wearable Computers*, pp. 145–151, 2002.

- [10] Taro MAEDA, Hideyuki ANDO, and Maki SUGIMOTO. Virtual acceleration with galvanic vestibular stimulation in a virtual reality environment. In *Proceedings of IEEE VR 2005*, pp. 289–290, 2005.
- [11] Hideyuki ANDO, Maki SUGIMOTO, and Taro MAEDA. Wearable moment display device for nonverbal communications. *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol. E87-D, No. 6, pp. 1354–1360, 2004.
- [12] Craig W. Reynolds. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. In *Computer Graphics*, Vol. 21, pp. 25–34, 1987.