

イヤラブルデバイスを用いた 街歩き時におけるユーザの道迷い状態の検知

下条 和暉^{1,a)} 西山 勇毅^{2,b)} 瀬崎 薫^{2,1,c)}

概要: 街歩きにおいて、ユーザの迷い状態を検知できれば効率的で安全な道案内が実現出来る。イヤラブルデバイスは、耳に装着するウェアラブルデバイスであり、搭載された行動認知機構や音声インターフェースによってユーザの状態を把握することが出来る。イヤラブルデバイスを活用することによってユーザの街中における道迷い状態を検知し、音声案内が可能になると考えられるが、その手法についてはまだ明らかになっていない。そこで本研究では、イヤラブルデバイスに搭載されているモーションセンサから収集したデータを用いることで、ユーザの道迷い状態を検知する手法を提案する。

キーワード: イアラブルデバイス, 行動認知, ナビゲーション

1. はじめに

街歩きにおいてスマートフォンの画面を見ながら街を歩く人が増えている。GPSの高精度化に伴い、ユーザが目的地に向かう際に地図アプリを見て現在地を確認しながら、あるいは目的地の情報を収集しながら街を歩くことが一般的になっている。一方でこのような行為は、画面に集中することで前方や周囲への注意が不十分になり、事故につながる危険性が高い。実際に東京消防庁管内では平成27年から令和元年までの5年間で歩きスマホ等に係る事故により211人が救急搬送されており、また年齢区分別だと20歳代が46人と最も多い[1]。また発生場所についても道路・交通施設が全体の7割以上を占めている。ユーザがスマートフォンを操作しながら歩くことを防ぐために「歩きスマホ」を禁止する条例は令和2年7月に神奈川県大和市で全国で初めて施行された[2]。その後同様の条例を制定した自治体も存在するが、罰則が存在するものはまだなく、ユーザの歩きながらのスマートフォンの利用については引き続き課題が残る。そのため、ユーザの街歩きに対するサービスとしてユーザがスマートフォンの画面を見ることなくナビゲーションを受けられるようなサービスが求められて

いる。

近年、腕や頭部、腹部等の身体に装着して利用するウェアラブルデバイスが注目されている[3], [4], [5]。ウェアラブルデバイスに搭載された多種多様なセンサ群を用いることで心拍数や歩行数、消費カロリーといった日常生活の様々な活動情報をより簡単に、詳細に検知・収集することが可能になった。また、ウェアラブルデバイスの小型化・軽量化・低価格化は日々進んでおり、これまで以上にウェアラブルデバイスを日常的に装着しながら生活する環境が到来すると考えられる。ウェアラブルデバイスの中でも、耳に装着する形式のものはイヤラブルデバイス[5]と呼ばれる。イヤラブルデバイスにはモーションセンサとマイクが搭載されており、それらを用いた行動・音声認識機能と音声インターフェースを組み合わせることで、ハンズフリーでの新たなユーザ支援環境を実現出来ると考えられる[6], [7]。このような新たなユーザ支援について、イヤラブルデバイスを用いることで街歩きにおけるユーザの迷い状態を検知出来れば、音声案内と組み合わせることなどにより効率的で安全な道案内が実現出来ると考えられる。一方でユーザの迷いの状態について把握する手法についてはまだ明らかになっていない。また、音声案内についてもユーザにとって適切なタイミングで行われなければならない場合、ユーザ体験の低下につながってしまう可能性がある。そのため、実現のために高い精度でユーザが音声案内が必要であるタイミングを検知する必要性は大きいといえる。

本研究の目的は、イヤラブルデバイスに搭載されたモーションセンサから収集したデータと機械学習を用いること

¹ 東京大学生産技術研究所
IIS, The University of Tokyo, Chiyoda, Tokyo 101-0062, Japan

² 東京大学空間情報科学研究センター
CSIS, The University of Tokyo

a) shimojo@mcl.iis.u-tokyo.ac.jp

b) yuukin@iis.u-tokyo.ac.jp

c) sezaki@iis.u-tokyo.ac.jp

で、ユーザの道迷い状態を検知することが出来るかを検証することである。

本稿の貢献は以下の通りである。

- 街歩きにおけるユーザ状態の検知におけるイアラブルデバイスの活用について示したこと
- 街歩きにおける迷いの状態について着目したこと
- 迷いの状態の検知において、Tobii のアイトラッキングのデータを利用した評価方法について検討したこと
-

2. 関連研究

本章では、既存の街歩きにおける迷いとナビゲーションシステム、並びにウェアラブルデバイスを用いた行動認識に関する関連研究について述べる。

2.1 街歩きにおける迷いとナビゲーションシステム

街歩きと迷いについての研究はこれまでも行われている。迷いを解決するための方法としては音声ガイドの他に、記憶しやすい地物（ランドマーク）を用いる方法が提案されている。この方法は太古より人が地図を使わずに経路案内をする際に用いられてきた方法であり、現在でもランドマークを利用した案内地図は多く使用されている。一方でランドマークを頼りに街歩きを行うためにはユーザが視認性の高い有効なランドマークを記憶する必要が生まれる。竹田ら [8] は既存の歩行者ナビゲーションにおける迷いやすさについて調査し、GPS の即位誤差といった原因を解決するため、可視ランドマークに基づく屋外歩行者ナビゲーションを生成することで効果的な歩行者ナビゲーションの実現を目指した。また森永らは経路や自己位置をなるべく確認しないで済むように人が記憶しやすく視認性の高いランドマークを用いたナビゲーションシステムを提案することで GPS が利用出来ない状況においても道に迷いにくいナビゲーションの実現を目指した。GPS が利用出来ないような状況について、新田ら [9] や飯田ら [10] は屋内におけるナビゲーションについての提案を行った。新田らは屋内測位のインフラが十分でない場所として、地下街においてその場に詳しい人が携帯電話越しに迷っている人を案内するようにシステムとユーザがランドマークの視認性確認の対話を行って現在地を推測する対話型歩行者ナビゲーションを提案し、このナビゲーションにおいて部分的な屋内即位や、加速度センサを用いた移動距離の推定である Pedestrian Dead Reckoning (PDR) を加えることでユーザに安心感を与えることが出来ることを示した。このナビゲーションについて、地図案内及びユーザが画面に送られてくるタイムライン表示インターフェースとの交流を頻繁に行う必要があることから、ユーザが画面に集中し周囲への注意が不十分になる可能性が考えられるといった懸念もある。飯田らは、ユーザが周囲に目を向けて安全に移動する

ことを実現するために、ランドマークの認識テストを行うことでランドマークを用いた音声のみでのナビゲーションについての提案を行った。音声によるナビゲーションにおいてはランドマークの認識度はユーザの属性によって異なるため、ランドマーク認識の可否を学習データとして利用し、ユーザの情報によってユーザに有効なランドマークの提示を目指している。神山ら [11] は街歩きの際のユーザの視線について着目し、視線のログデータを分析することで迷子になりやすい人が自分と同じ進行方向の人間を見てしまっていたり、景観や建物を見ている時間の割合が長いことが分かった。このようにナビゲーションの手法についての研究は多く行われており、今後も新たな手法が生まれることが予想される。

2.2 ウェアラブルデバイスを用いた行動認識

近年ではスマートフォンに加え、ウェアラブルデバイスに搭載されたセンサを用いてユーザの行動を推定する研究が行われている [3], [4]。また、AirPods のような耳に装着するデバイスであるイアラブルデバイスが今後のウェアラブルデバイスの開発において重要となることが予想されており、将来的には人間の行動の継続的な感知、音による拡張現実の実現への寄与、Alexa や Siri のような AI の音声アシスタントによる情報伝達、ユーザの健康状態の追跡など様々なサービスが提供されると考えられている。イアラブルデバイスを通じた人間の行動や身体活動の把握の実現のためには、イアラブルデバイスによって収集されたオープンデータの集約が必要とある。これについては 2018 年にケンブリッジ大学のノキアベル研究所が研究・開発用プラットフォームである eSense を開発し [5]、イアラブルデバイスの研究の活性化を促進している。イアラブルデバイスを用いた行動認識について、ポケットに入っていることにより振動するスマートフォンや、腕の振りに影響を受けるスマートウォッチと比べて、イアラブルデバイスは耳につけていることで安定性が高いと考えられている。実際にイアラブルデバイスを用いた頭部の動きの検出精度について、エネルギー効率の良い加速度センサーのみでの特徴量の検出精度が、加速度センサーと角速度センサーの両方を用いた場合と比べても高い精度で行えるといった結果が得られている [12]。この結果から、イアラブルデバイスにおけるセンシング設計の有用性が示された。また、イアラブルデバイスが頭部の状態の正確な追跡に優れていることを活かし、慣性計測ユニットを用いたイアラブルデバイスでの慣性航法システムを通じて、視覚が不自由な人の視覚を代理し音声でのナビゲーションが可能になることを示す研究もある [13]。

3. 迷いの検知

本章では、ユーザの道迷い状態を集めるために行った街

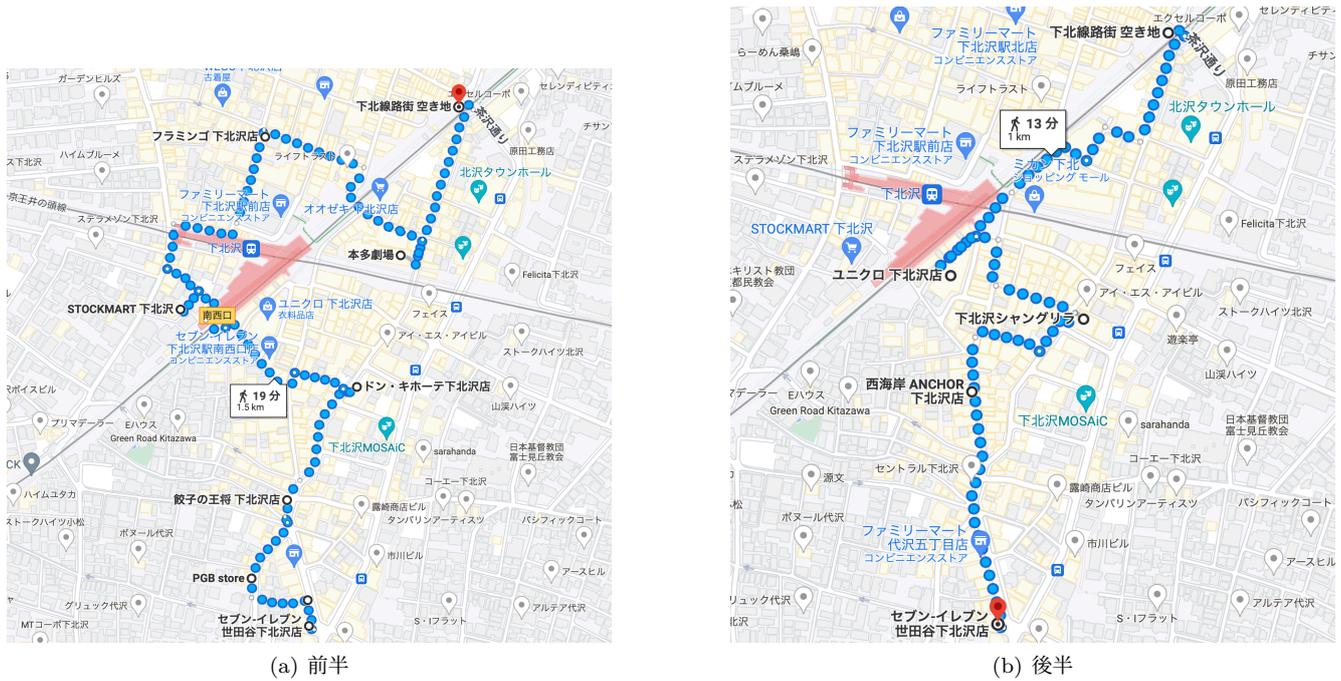


図 1 移動経路

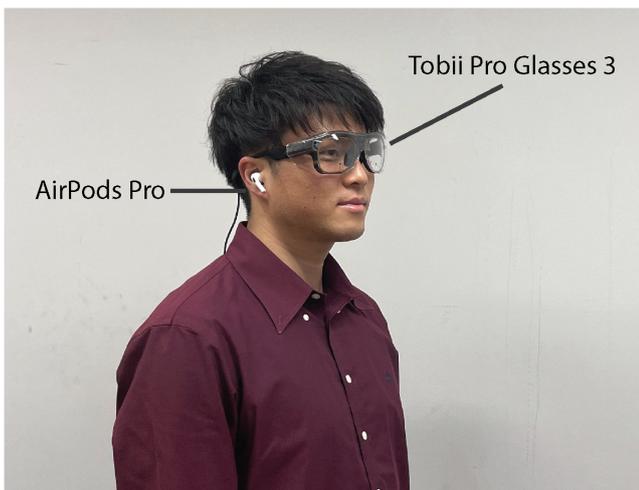


図 2 Tobii Pro Glasses 3 と AirPods Pro の装着

歩きの実験についての説明を行う。

3.1 迷いの定義

本実験において検知することを目指すユーザーの道迷い状態について、「ユーザーが自分の目的地を確認するために地図を確認している状態」と定義する。ユーザーがこの状態になる直前におけるモーションセンサの特徴量を特定することが出来れば、ユーザーの道迷い状態に対して案内のようなサービスを提供出来ると考えられる。この道迷い状態を集めるための実験方法は以下でより詳細に記載する。

3.2 実験装置

ユーザーの状態を検知するモーションセンサを搭載したイ

アラブルデバイスとして、本実験では AirPods Pro *1 を被験者には装着してもらった。AirPods Pro には、加速度センサとジャイロセンサが搭載されており、iOS の CoreMotion API 経由でリアルタイムにモーションデータを収集できる。本実験では、AirPods のモーションデータを AWARE Framework の iOS 版 [14]*2 を用いて、継続的に収集・蓄積した。このイアラブルデバイスから得られるデータを用いて分析を行う。また、本実験ではユーザーが地図を見る直前のデータを集める必要があるため、ユーザーが地図を見たタイミングについて把握する必要がある。そこでユーザーには AirPods に加えて Tobii Pro Glasses 3 [15] を装着してもらう。これは精度の高いアイトラッキングデータの収集を行うことの出来るグラス型のウェアラブルデバイスであり、本実験においては Tobii Pro Glasses 3 を用いてユーザーの視線映像を録画すること、でユーザーが地図を確認したタイミングを把握することとした。Tobii Pro Glasses 3 と AirPods Pro の装着例を図 2 に示す。また、図 3 に、Tobii より収集した動画と視線位置のサンプル画像を示す。

3.3 実験方法

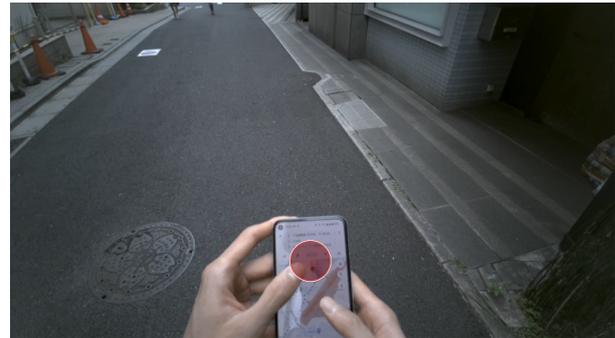
被験者として 5 人の大学生に協力してもらい、東京都世田谷区の下北沢駅周辺のルートの街歩きを行ってもらった。今回の実験においてはルートを前半後半の 2 つに分け、スタート地点とゴール地点までの間に前半は 6 個、後半は 3 個の目的地を設定した。図 1 に実験に利用したルートを示す。被験者には目的地を通るルートの地図を与え、その地

*1 <https://www.apple.com/jp/airpods-pro/>

*2 <https://github.com/tetujin/AWAREFramework-iOS>



(a) 通常時の視点



(b) 迷い時（地図確認時）の視点

図 3 Tobii Pro Glasses 3 より取得した視線映像（画像内の赤色のエリアが装着者の視点を意味する）

図を見ながら正しいルートを歩いてもらった。街歩きの際には以下のルールを設定した。

- 被験者は地図を見ながら歩くことは出来ない。地図を確認する際は立ち止まり、道を把握することが出来たら地図を閉じて歩く。
 - 地図を見るタイミングは自分が進む道を忘れてしまったり、迷ってしまったタイミングに限る。
 - 地図を見るときには時間をかけ過ぎず、おおよそ 20 から 30 秒で把握出来る程度の自分の進む道を確認する。
- 以上のルールに従い街歩きを行ってもらうことで、ユーザが自分の行き先を見失い地図を確認する直前のデータを集めた。

4. 分析手法と結果

本章では、前章で詳述した実験より得られたデータの概要と分析手法、及び結果について述べる。

4.1 実験データ

本実験においては 5 名の被験者に協力を得たが、データとして Tobii による視線ログ、及び視線映像が正しく収集出来たのは 3 名分であったため、この 3 名分のデータについての評価を行う。3 名の被験者をそれぞれ Subject1, Subject2, Subject3 と名付ける。Tobii の前章で定義した道迷いの状態について、Tobii の視線データから得られた道迷いの状態について、Subject1 が 20 個、Subject2 と Subject3 が 16 個の合計 52 個のデータが得られた。以下ではこの 52 個のデータについての評価を行うことで道迷いにおける状態の検知手法を考える。この 52 個のデータには Tobii に記録されている時刻と動画の時間より、それぞれのデータについての時間がラベル付けされているものとなっている。

4.2 視線ログの移動量

52 個のデータについて、道迷い状態として定義した「ユーザが自分の目的地を確認するために地図を確認している状

態」の直前の視線ログに着目した評価について考える。道迷い状態の特徴量として、迷っている挙動が得られると考えた道迷い状態の直前の 5 秒間について着目し評価を行うこととした。この 5 秒間における、Tobii Pro Glasses 3 により得られるアイトラッキングデータの中で、視線の横方向の移動量を表す指標である「Gaze X」について着目した。52 個のデータそれぞれについて、直前の 5 秒間における横方向の移動量が一定の数値以上 (1200px) である場合を true、一定の数値以上でない場合を false として分類を行った。この数値の選定理由は、ユーザが明らかに迷っている状態においてみられる数値であるというものであった。この分類の結果は以下の通りとなった。合計としては true が 24 個で全体の 46.2 %となった。

4.3 モーションセンサによって得られた特徴量

52 個のデータの中から、モーションセンサによって得られた特徴量によって迷いの検知を行うことの出来る可能性のあるものについて図 4 に示す。これらのデータにおいては被験者が地図を見る直前において、イアラブルデバイスのローテーションに大きな動きが見られるものとなっている。

5. 考察

5.1 視線ログの移動量について

視線ログにおける横方向の移動量によって評価を試みた結果、道迷いの状態について検知が行えるような指標を得られることは出来なかった。今回設定した数値は視線動画に基づいた主観的な数値であったため、今後はより多くの道迷いの状態についてのデータセットを基に得られた、道迷いの検知において妥当と考えられる移動量の数値を設定することや、縦方向の移動量をはじめとした他の特徴量を加味した堅固な評価手法について検討していく必要がある。

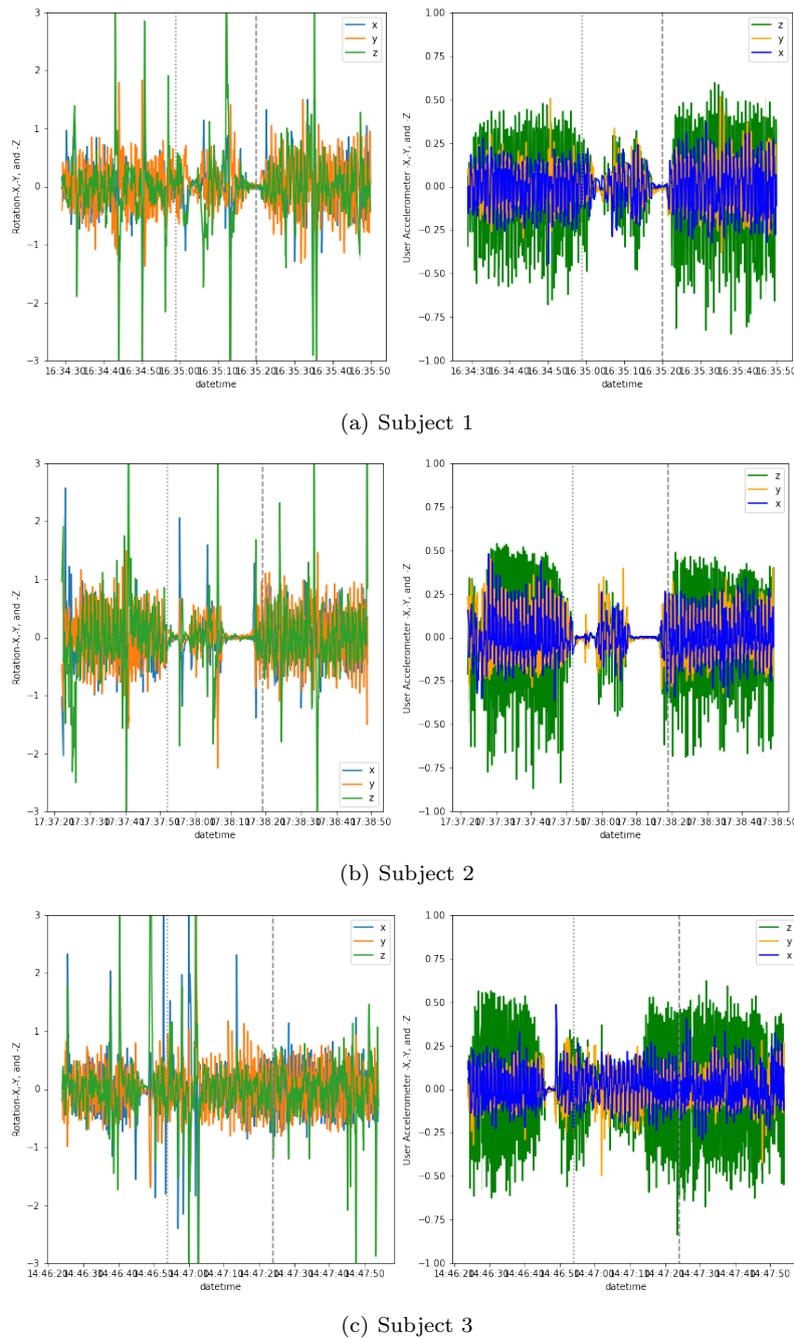


図 4 Subject 1 から 3 迷い状態前後の加速度・ジャイロデータ

5.2 モーションセンサによる特徴量について

本実験においてはモーションセンサを用いて評価手法を確立することの出来る可能性を示すことにとどまった。今後はイアラブルデバイスを通じて得られた特徴量を、機械学習モデルを用いて評価する必要がある。

6. おわりに

本稿では、イアラブルデバイスをはじめとしたウェアラブルデバイスを用いた街歩きにおける道迷い状態の検知について、実際の被験者の街歩きからモーションデータを収集し、複数のアプローチによって道迷い状態の検知の実現

に繋がるような評価手法の提案を行った。

今後の展望としては、本稿で得られたデータからより多角的なモーションデータの活用を行い、精度の高い道迷い状態の検知を目指す。また、イアラブルデバイスを活用したサービスである音声アシスタント等と組み合わせることで、新たなナビゲーションシステムの提案を目指す。

謝辞 本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構と JSPS 科研費 JP20K19840 に支援いただいた。

参考文献

- [1] 東京消防庁: 日常生活における事故情報 | 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> (最終アクセス日: 2022年5月1日).
- [2] 神奈川県大和市: 「大和市歩きスマホの防止に関する条例」について, https://www.city.yamato.lg.jp/gyosei/soshik/71/bosai_anzenanshin/kotsuanzen/5105.html (最終アクセス日: 2022年5月1日).
- [3] Zhan, K., Faux, S. and Ramos, F.: Multi-scale Conditional Random Fields for first-person activity recognition, *2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pp. 51–59 (online), DOI: 10.1109/PerCom.2014.6813944 (2014).
- [4] Pires, I. M., Garcia, N. M., Pombo, N., Flórez-Revuelta, F. and Spinsante, S.: Approach for the Development of a Framework for the Identification of Activities of Daily Living Using Sensors in Mobile Devices, *Sensors*, Vol. 18, No. 2 (online), DOI: 10.3390/s18020640 (2018).
- [5] Kawsar, F., Min, C., Mathur, A., Montanari, A., Acer, U. G. and Van den Broeck, M.: ESense: Open Earable Platform for Human Sensing, *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers*, UbiComp '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 381–383 (online), DOI: 10.1145/3267305.3267640 (2018).
- [6] Nishiyama, Y. and Sezaki, K.: Experience Sampling Tool for Repetitive Skills Training in Sports Using Voice User Interface, *Adjunct Proceedings of the 2021 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers*, UbiComp '21, Virtual, USA, Association for Computing Machinery, p. 54–55 (online), DOI: 10.1145/3460418.3479283 (2021).
- [7] 下条和暉, 西山勇毅, 瀬崎薫: 常時装着型イヤブルデバイスにおける割り込み可能タイミングの検討, *CSIS DAYS 2021*, 東京大学空間情報科学研究センター, p. 40 (オンライン), 入手先 (<https://www.csis.u-tokyo.ac.jp/blog/research/csis-days-2021-program/> <https://www.csis.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2021/12/days21all.pdf>) (2021).
- [8] 健吾竹田, 政生柳澤, 望 戸川, 知之新田, 大介進藤, 清貴田中: 迷いにくい可視ランドマークに基づく屋外歩行者ナビゲーションシステム, 組込みシステムシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 102–107 (2014).
- [9] Nitta, T., Miyazaki, K., Yoshimi, S., Tabata, R., Arai, I., Azumi, T. and Nishio, N.: 視認性確認対話ベースの地下街ナビゲーションシステム, *Interaction (2EXB-27)* (2013).
- [10] 啓量飯田, 健 櫻田, 慧 廣井, 信夫河口: 音声ナビゲーションにおけるユーザ属性を考慮したランドマーク提示手法の提案, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 782–788 (2016).
- [11] 神山拓史, 中村聡史: 街歩き時の視線ログ分析による迷子特徴に関する調査, 技術報告, 一般社団法人情報処理学会 (2017).
- [12] Min, C., Mathur, A. and Kawsar, F.: Exploring audio and kinetic sensing on earable devices, *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Wearable Systems and Applications*, pp. 5–10 (2018).
- [13] Ahuja, A., Ferlini, A. and Mascolo, C.: PilotEar: Enabling In-ear Inertial Navigation, *Adjunct Proceedings of the 2021 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 139–145 (2021).
- [14] Nishiyama, Y., Ferreira, D., Eigen, Y., Sasaki, W., Okoshi, T., Nakazawa, J., Dey, A. K. and Sezaki, K.: iOS Crowd-Sensing Won't Hurt a Bit!: AWARE Framework and Sustainable Study Guideline for iOS Platform, *Distributed, Ambient and Pervasive Interactions* (Streitz, N. and Konomi, S., eds.), Vol. 12203, Cham, Springer International Publishing, pp. 223–243 (2020).
- [15] Tobii Pro AB: Tobii Pro Lab, <http://www.tobiipro.com/> Computer software (2014).