

来店客の移動軌跡に基づく店舗内購買行動の分析

廣森 聡仁^{1,a)} 山口 弘純^{1,b)} 東野 輝夫^{1,c)}

概要: 近年のセンサ技術の発展に伴い、屋内環境における人の行動情報を活用した新しいサービスやシステムの開発が活発に行われている。筆者らが所属する研究グループにおいては、存在する物体までの距離を赤外線レーザーの反射を捉えて測定する測域センサを用いて、個人の移動軌跡を把握する「ひとたび」を実際のドラッグストアに設置し、来店客の移動軌跡を個人を特定しない形で収集する取組をすすめている。「ひとたび」により計測された来店客の移動軌跡に基づき、購買行動を分析した結果、その店舗においては医薬品に興味がある来店客と、日用品に興味がある来店客の二つに大きく分類でき、また、購買履歴を組み合わせた分析により、来店者のニーズへの対応の程度を定量的に把握できることを示す。

1. はじめに

近年のセンサ技術の発展に伴い、屋内環境における人の行動情報を活用した新しいサービスやシステムの開発が活発に行われている。商業施設やイベント会場、オフィスなど多数の人が集まり移動する閉空間において、人物の正確な位置情報を取得することにより、周辺の人々にイベントの開催を周知するなど、適切な対象に情報を伝達することができる。また、個々人の位置情報だけでなく、複数の人々の位置情報を集約することで建物内での人の分布情報を把握し、スポット混雑解消のための適切な誘導や行動変容なども実現できるだけでなく、そのような人の分布情報をエネルギー管理システムと連携させることで、無駄のない快適な空調や照明の提供といったスマートビルディングサービスなどへの展開が期待される [1]。

端末の位置情報を取得する手段の一つとして、屋外ではスマートフォンや携帯電話に搭載した GPS が挙げられるが、屋内環境では GPS 衛星からの電波を受信することが困難であり、正確な測位は期待できない。また、屋内では、RFID タグ [2] や Bluetooth ビーコン、無線 LAN [3] などを用いられるが、いずれも端末自身の位置情報取得を前提としており、不特定多数の人や群衆をトラッキングするためには不向きである。カメラを利用した測位技術も提案されているが、カメラは映像により情報を取得するために個人が特定されうることからプライバシー侵害の問題が存在する

ことに加え、人の正確な位置情報を取得するためには数 m 程度の間隔でデバイスを設置する必要があるなど、単一の機器によるカバレッジが必ずしも広くないことから、広い範囲を計測する際には多数の機器を設置する必要がある。一方、周囲の物体との距離を正確に測定することができる測域センサ (LRS) による人の位置推定及び軌跡推定が注目を集めている。測域センサは広範囲を高速かつ正確に計測することが可能であり、例えば、北陽電機株式会社製の LRS (UTM-30LX-EW) は検出保証距離 30m、走査角度度 270 度、距離精度 $\pm 50\text{mm}$ 、走査時間 25ms/scan の性能を備えている。また、LRS の計測データは LRS からの方位角と距離で表される計測対象物の位置情報のみであり、顔や服装といった個人情報あるいはプライバシー情報を一切含まないため、プライバシー侵害リスクは極めて小さい。我々の研究グループは、複数の LRS を用いた歩行者の位置推定及び軌跡推定システム「ひとたび」を開発しており [4]、グランフロント大阪内の展示施設 The Lab. における 4 年以上の展示 [5] や情報とメディアアートの世界最大の展示会 Ars Electronica 2015 への出展、海外企業の 1,000m² 超のオフィスへの導入や国内実店舗への導入等の実績がある (図 1)。また、LRS から得られる匿名軌跡とモバイル端末の WPAN 通信やモーションセンサを用いて、歩行者の端末特定ならびに軌跡推定を行う手法などを提案してきている [6], [7]。

これらの取組を発展させ、実際のドラッグストアに測域センサを複数設置し、来店客の移動軌跡を把握する取り組みを進めている。本稿では、「ひとたび」により計測された来店者の移動軌跡に、POS に蓄積されている購買履歴を組み合わせ、来店客の購買行動とし、フロア内の各エリアに

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

a) hiromori@ist.osaka-u.ac.jp

b) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp

c) higashino@ist.osaka-u.ac.jp



図 1 hitonavi



図 2 店舗内におけるセンサ設置

おける累積滞在時間と購買履歴の有無のデータをクラスタリングすることで、来店客を分類し、この店舗における来店者の購買行動の傾向を導出した。その結果、医薬品を求める来店客と、日用品を求める来店客の二つに大きく分類でき、また、購買履歴を組み合わせた分析により、来店者のニーズへの対応の程度を定量的に把握できることを示す。

2. 関連研究

人の存在を把握する技術として、位置検出技術が挙げられ、屋外の位置検出においては GPS が利用されているが、GPS が利用できない屋内や地下における位置推定手法も盛んに研究されており [8], [9], [10], Wi-Fi の電波強度を利用した手法、加速度センサや角速度センサを利用した Dead Reckoning, カメラなどの設置型センサを利用した手法など多くの手法が提案されている。Wi-Fi の電波強度を利用した位置推定手法は、アクセスポイントの距離と密度により推定精度が大きく変化し、環境の良い時で 10 メートルから 20 メートル、悪い時には 40 メートル程度の誤差が生じることが知られている [11], [12], [13], [14], [15], [16]. Dead-Reckoning は、加速度センサや角速度センサで取得されたデータに基づき、センサを保持する人の移動形態(徒歩, 自転車, 自動車)や、位置を逐次的に予測する技術であるが、身長や歩幅などの個人差から推定精度が大きく変化する [17], [18], [19], [20]. また、これらの手法は、Wi-Fi に対応した機器やセンサを搭載した機器を保持している人のみを対象とした位置推定手法であり、特定の人の位置を把握することはできるが、ある場所における人々の存在を把握する用途には不向きである。一方、設置型センサを利用した手法として、カメラを用いた位置推定手法が提案されており、歩行者の頭部や全身を撮影し、画像処理技術を応用することで、撮影範囲に滞在する人々の位置を把握することができる。既存の監視カメラを利用することが可能で、推定精度も比較的高いが、歩行者のプライバシー保護

の観点からカメラ撮影が困難である場所も少なくない。同様に、設置型センサを利用した手法として測域センサを用いる位置推定手法が提案されている。測域センサは赤外線レーザーにより、照射された箇所までの位置を正確に把握することが可能で、文献 [24], [25] では、赤外線レーザーを人の腰の高さで照射し、各時刻に計測される距離データの差分から人の移動軌跡を得る手法が提案されている。測域センサで計測されるデータは小さく、キャリブレーションも容易であるというメリットを持つが、見通し線上にない物体を検出することができず、障害物や別の人の陰に隠れてしまう人を捕捉することはできない。障害物による検出率低下を防ぐために、人の足首の高さにレーザー測域スキャナを設置し、人の歩幅を検出することで移動軌跡を抽出する手法も提案されている [26], [27] が、個々の人を継続して把握することは困難である。

一方、このような人の存在を把握する技術を活用し、店舗内の人の動きを把握する手法も提案されている。文献 [28] においては、来店客のより詳細な購買心理を分析するために、店舗内に Bluetooth ビーコンを設置し、スマートデバイスを携帯した来店客の店舗の位置を推定する手法を提案している。また、文献 [29] においては、来店客の行動を空間及び時間軸で分析するために、店舗のフロアの二次元と時間を加えた三次元の軸を使用した時系列可視化手法を提案している。

3. 購買行動の分析

本章では、店舗内における来店客の移動履歴と購買履歴を基に、来店客の購買行動を分析する事例を紹介する。我々の研究グループにおいて、図 2 に示すように、実際の店舗に測域センサを設置し、来店客の移動軌跡を計測する取組をすすめている。この店舗の広さは約 200 平方メートルで、図 3 に示すようなフロアレイアウトとなっている。この図に示されているように、陳列されている商品の種別

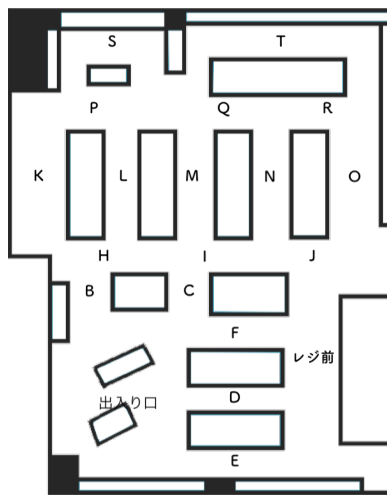


図3 フloorレイアウト



図4 「ひとたび」により導出された移動軌跡

や用途に応じて、「入り口」、「レジ前」、アルファベットの頭文字により、このフロアを複数のエリアに分割している。この図の上部に該当するエリア K から T においては、医薬品、洗剤、化粧品、美容製品など、ドラッグストア特有の商品が陳列されている。一方、この図の下部に該当するエリアには、食品、飲料、菓子、キッチン用品などの日用品が陳列されている。このフロアにおいて、店内における顧客の存在を常に把握できるように、14 個の測域センサが配置されており、これらの測域センサから得られた計測から、文献 [4] において提案する手法を利用し、図 4 に示すように、個々の来店客の移動軌跡を導出している。これらの移動軌跡に加え、POS に蓄積された購買履歴を組み合わせるものを購買行動とし、来店客の店舗内の行動を分析する。移動軌跡と購買履歴を組み合わせる際には、移動軌跡においてレジ前に滞在している時間と、購買履歴における時間が一致しているものを組み合わせている。また、これらのデータをそのままの形で分析するのではなく、移動軌跡に基づき求められる、それぞれのエリアにおける累積滞

在時間と、購買の有無を分析対象のデータとしている。対象とする来店客は、2018 年 6 月のある平日における午前 11 時から午後 1 時までの 2 時間の間に来店した 29 名で、このうち商品を購入した人数は 11 名であった。この 29 名のデータをスペクトラルクラスタリングにより 10 個のグループを導出した。これらのグループを図 5 から図 14 に示す 10。以下、個々のグループについての購買行動について説明する。

図 5 から図 14 のそれぞれの図における左の図は、個々の来店客の移動軌跡を色別に示している。一方、右の図は、フロアを 30cm 四方に区切った各グリッドにおける累積滞在時間をヒートマップとして示している。図 5 に示すグループ 1 に属する 2 名の来店客のうち、ある来店客は 15 分程度、別の来店客は 30 分程度、フロア全体を移動しているが、いずれの来店客も商品を購入していない。図 6 に示すグループ 2 に属する 2 名の来店客のうち、一人の来店客は 5 分程度、別の来店客は 10 分程度、中央部のヘルスケアのエリアを中心に移動しているが、いずれの来店客も商品を購入していない。図 7 に示すグループ 3 に属する 3 名の来店客は、15 分程度店内に滞在し、左上及び左中央部のホームケアとヘルスケアのエリアを中心に移動しており、いずれの来店客も滞在していたエリアに陳列されているホームケア及びヘルスケア関連の商品を購入している。図 8 に示すグループ 4 に属する 3 名の来店客のうち、一人は 10 分程度、残りの二名は 15 分程度店内に滞在し、店舗の右上部の医薬品のエリアを中心に移動しているが、いずれの来店客も商品を購入していない。図 9 に示すグループ 5 に属する 5 名の来店客のうち、5 分程度滞在した来店客は 2 名、10 分程度滞在した来店客は 1 名、15 分程度滞在した来店客は 2 名となっている。これらの来店客は、右上の医薬品のエリアと中央のヘルスケアのエリアを中心に滞在し、このうち 2 名が医薬品と化粧品を購入している。図 10 に示すグループ 6 に属する 2 名の来店客のうち、一名は 5 分程度、もう一名は 30 分程度、上半分のエリアを中心に移動しているが、このうち 1 名は下部のエリアに陳列されている食品を購入している。図 11 に示すグループ 7 に属する 2 名の来店客は 5 分程度滞在している。右上のエリアまで移動しているが、いずれのエリアも通過した程度であり、商品は購入していない。図 12 に示すグループ 8 に属する 4 名の来店客は 5 分程度店舗内に滞在し、出入口と食品と飲料が陳列されたエリアに留まっているが、いずれの来店客も商品を購入していない。図 13 に示すグループ 9 に属する 3 名の来店客のうち、2 名は 10 分程度滞在、残り 1 名が 15 分程度滞在し、下半分の食品、ホームケア、ヘルスケアの商品が陳列されたエリアを移動し、そのエリアに陳列された食品、ホームケア、ヘルスケアに関連した商品を購入している。図 14 に示すグループ 10 に属する 3 名の来店客のうち、2 名が 10 分程度、残り 1 名が 15 分程度、下半分

のエリアを移動し、グループ9の来店客と同様に、食品、ホームケア、ヘルスケアを購入している。上記の分析結果から、上半分のエリアを中心に移動する来店客と、下半分のエリアを中心に移動する来店客の大きく二つに分類されることがわかる。上半分のエリアを中心に移動したグループ4から7に属する12名の来店客は、目的とするエリア以外には長い時間滞在せず、医薬品、化粧品、舞踊用品に興味を持つなど、明確な意図を持って来店されていることがわかるが、商品の購入は3名程度に留まっており、必ずしもその店舗の品揃えにより十分に対応できているとはいえない。一方、下半分のエリアを中心に移動したグループ8から10に属する11名の来店客は、店舗入口の店舗下部を中心に滞在し、食品、ホームケア、ヘルスケアの商品に興味をもっていることがわかる。また、図12から図14に示されるように、これらの来店客は店舗の上部にはほとんど訪問しておらず、ドラッグストアならではの医薬品に興味がなく、コンビニエンスストアやスーパーマーケットと競合する来店客であることがわかる。そのうち約半分の6名の来店客は商品を購入しており、来店客のニーズに十分に対応できているといえる。このように、店舗内の移動軌跡に基づき、購買行動を分析することにより、それらの傾向を導出するだけでなく、購買履歴を組み合わせることで、機会損失の把握など、店舗における状況を定量的に可視化することができる。

4. まとめと今後の課題

本研究においては、実際の店舗に設置された「ひとなび」の計測により得られた来店客の移動軌跡に、購買履歴を組み合わせたデータをクラスタリングすることにより、その店舗における来店客の購買行動に二つの大きな傾向があることを示した。今後は、より長期間のデータを対象に、滞在時間だけでなくエリアの訪問順を考慮した分析を実施するなど、来店客のより細かな購買行動についての傾向についての分析を実施する。また、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなど、業種によってフロアレイアウトが異なっており、これらを考慮した分析手法の検討についても取り組んでいきたい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP26220001 ならびに JP15H02690 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Chiguchi, M., Yamaguchi, H., Higashino, T. and Shimoda, Y.: Human thermal comfort estimation in indoor space by crowd sensing, *2016 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, pp. 45–50 (online), DOI: 10.1109/SmartGridComm.2016.7778736 (2016).



図5 移動軌跡とヒートマップ (グループ1)

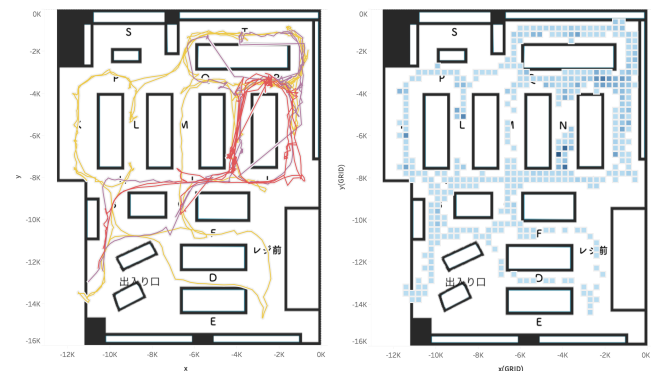


図6 移動軌跡とヒートマップ (グループ2)

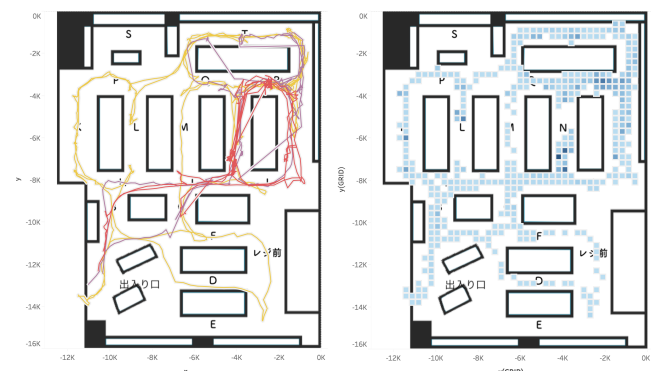


図7 移動軌跡とヒートマップ (グループ3)

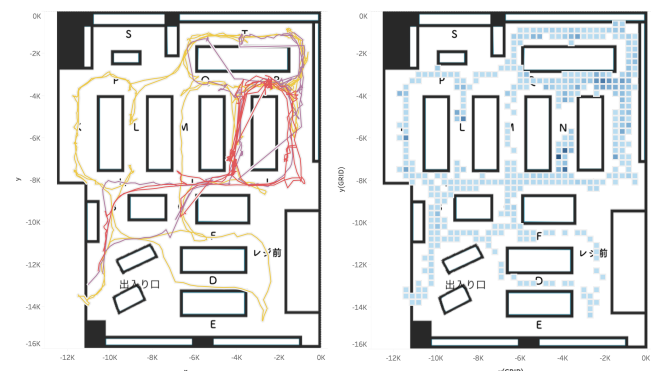


図8 移動軌跡とヒートマップ (グループ4)

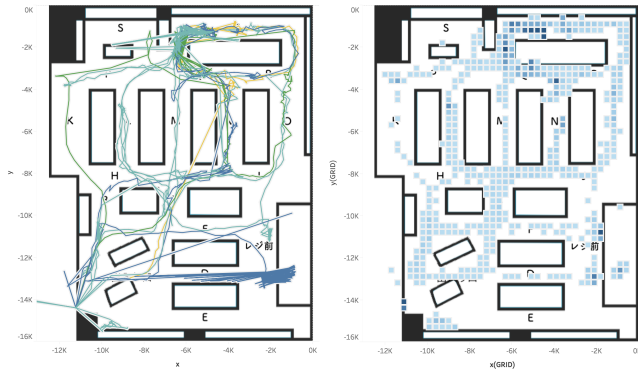


図 9 移動軌跡とヒートマップ (グループ 5)

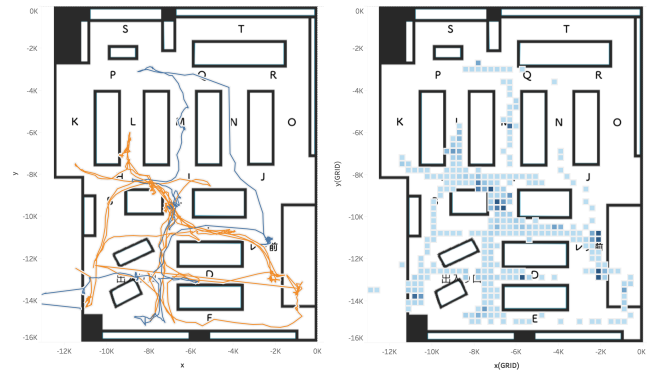


図 13 移動軌跡とヒートマップ (グループ 9)

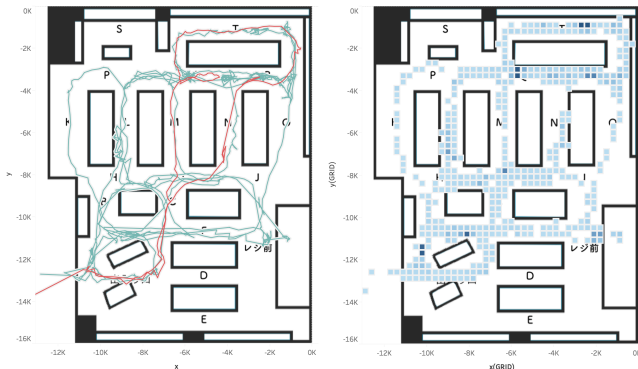


図 10 移動軌跡とヒートマップ (グループ 6)

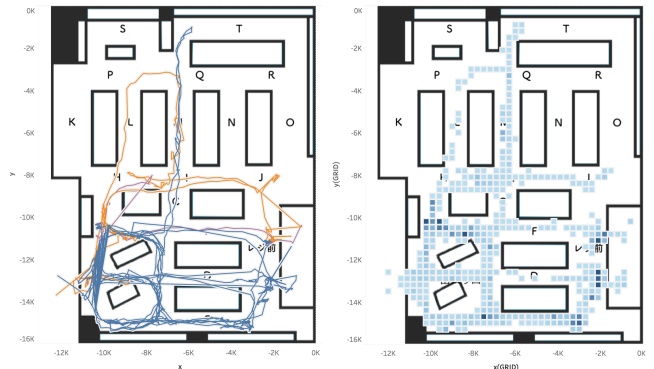


図 14 移動軌跡とヒートマップ (グループ 10)



図 11 移動軌跡とヒートマップ (グループ 7)

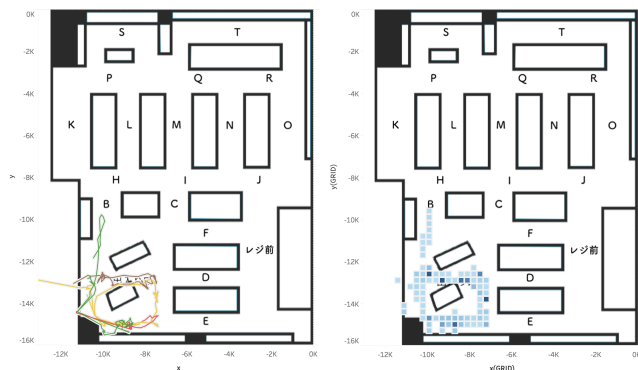


図 12 移動軌跡とヒートマップ (グループ 8)

- [2] Schulz, D., Fox, D. and Hightower, J.: People tracking with anonymous and ID-sensors using Rao-Blackwellised particle filters, *Proceedings of the 18th international conference on Artificial intelligence (IJCAI'03)*, pp. 921 – 926 (2003).
- [3] Figuera, C., Rojo-Álvarez, J. L., Mora-Jiménez, I., Guerrero-Curienes, A., Wilby, M. and Ramos-López, J.: Time-Space Sampling and Mobile Device Calibration for WiFi Indoor Location Systems, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 10, No. 7, pp. 913 – 926 (2011).
- [4] 上嶋祐紀, 藤田和久, 樋口雄大, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫: ひとつにつながるなび—位置と気持ちと空間の共有—, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム論文集, pp. 2105–2115 (2013).
- [5] ひとつなび: https://youtu.be/noSHVvBQd_Q.
- [6] Wada, Y., Higuchi, T., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Accurate Positioning of Mobile Phones in a Crowd Using Laser Range Scanners, *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communication (WiMob '13)*, pp. 430–435 (2013).
- [7] Takafuji, T., Fujita, K., Higuchi, T., Hiromori, A., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Indoor Localization utilizing Tracking Scanners and Motion Sensors, *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC '14)*, pp. 112–119 (2014).
- [8] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. and Liu, J.: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol. 37, No. 6, pp. 1067 –1080 (2007).

- [9] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I.: A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Vol. 11, No. 1, pp. 13–32 (2009).
- [10] Zekavat, S. A. R. and Buehrer, R. M.(eds.): *Handbook of Position Location*, IEEE Press (2012).
- [11] Cheng, Y.-C., Chawathe, Y., LaMarca, A. and Krumm, J.: Accuracy characterization for metropolitan-scale Wi-Fi localization, *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '05)*, pp. 233–245 (2005).
- [12] Bahl, P. and Padmanabhan, V. N.: RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, *Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM '00)*, pp. 775–784 (2000).
- [13] Youssef, M. and Agrawala, A.: The Horus WLAN location determination system, *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '05)*, pp. 205–218 (2005).
- [14] Otsason, V., Varshavsky, A., LaMarca, A. and de Lara, E.: Accurate GSM indoor localization, *Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp'05)*, pp. 141–158 (2005).
- [15] Chung, J., Donahoe, M., Schmandt, C., Kim, I.-J., Razavai, P. and Wiseman, M.: Indoor location sensing using geo-magnetism, *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '11)*, pp. 141–154 (2011).
- [16] Azizyan, M., Constandache, I. and Roy Choudhury, R.: SurroundSense: mobile phone localization via ambience fingerprinting, *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '09)*, pp. 261–272 (2009).
- [17] Beauregard, S. and Haas, H.: Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning, *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC' 06)*, pp. 27–35 (2006).
- [18] Jirawimut, R., Ptasinski, P., Garaj, V., Cecelja, F. and Balachandran, W.: A method for dead reckoning parameter correction in pedestrian navigation system, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 52, No. 1, pp. 209–215 (2003).
- [19] 吉川毅：視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発(第2報)-機能モジュールの開発と自律走行試験-, 北海道立工業試験場報告, Vol. 296, pp. 113–121 (1997).
- [20] R.Jirawimut, P.Ptasinski, V.Garaj, F.Cecelja and W.Balachandran: A method for dead reckoning parameter correction in pedestrian navigation system, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 52, No. 1, pp. 209–215 (2003).
- [21] Higuchi, T., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Clearing a Crowd: Context-supported Neighbor Positioning for People-centric Navigation, *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive '12)*, pp. 325–342 (2012).
- [22] Jin, Y., Toh, H.-S., Soh, W.-S. and Wong, W.-C.: A robust dead-reckoning pedestrian tracking system with low cost sensors, *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom '11)*, pp. 222–230 (2011).
- [23] Teixeira, T., Jung, D. and Savvides, A.: Tasking networked CCTV cameras and mobile phones to identify and localize multiple people, *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing (Ubicomp '10)*, pp. 213–222 (2010).
- [24] Fod, A., Howard, A. and Mataric, M. J.: Laser-Based People Tracking, *In Proc. of the IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA)*, pp. 3024–3029 (2002).
- [25] 李在勲, 金容植, 川田浩彦, 大矢晃久, 油田信一: 測域センサを用いたセキュリティーシステムの開発—人物追跡・計数アルゴリズム—, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2B22 (2006).
- [26] 中村克行, 趙 卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴木尚毅: 複数のレーザーレンジキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価 (画像認識, コンピュータビジョン), 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理, Vol. 88, No. 7, pp. 1143–1152 (2005).
- [27] H.Zhao and R.Shibasaki.: A Novel System for Tracking Pedestrians Using Multiple Single-Row Laser-Range Scanners, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, Vol. 35, No. 2, pp. 283–291 (2005).
- [28] 瑞樹酒井, 裕之森田: BLE ビーコンを活用した巡回行動ログデータの取得と移動軌跡推定手法の提案, 経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, Vol. 2017, pp. 14–17 (2017).
- [29] 岡田佳也, 伊藤貴之, 緒方貴紀, 日熊悠太: 店舗内の歩行者行動分析のための3次元時系列可視化, 第45回可視化情報シンポジウム, pp. A5–3 (2017).