

令和元年6月3日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01288

研究課題名(和文) スマートフォンのライトを利用した地下街からの避難誘導方式の開発に関する研究

研究課題名(英文) Studies on Developing the Emergency Evacuation Guidance System in Underground Malls using Smartphone Lights

研究代表者

伊藤 実 (ITO, Minoru)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：90127184

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)： 停電時に地下街から避難するために避難誘導灯が設置されているが、必ずしも十分な役割を果たしておらず、本研究では、スマートフォンが発する光を用いた避難誘導方式の開発を目的とした。具体的には、ネオンサインのように避難すべき方向に光が流れるように各スマートフォンの光の制御を行う。地図情報およびWi-Fiによる屋内位置推定により各スマートフォンは避難口までの経路を求め、現在時刻に基づく同期を取ることで、協調して光の帯が避難方向に流れて見えるように光量の調整を行うアルゴリズムを開発した。シミュレータを用いて有効性を評価した結果、避難者が床を見て、避難方向に光が流れるように見えることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、国内では、地震、異常気象による集中豪雨、台風等の災害が頻発している。都市部での地下街の構造は複雑で、迷路のようになっている一方、非常に多くの人々が常時地下街を利用している。そのような状況で、災害時に地下街が停電した場合、避難誘導灯を頼りに避難することは最も信頼性が高く、効果的な避難の手段である。本研究の手法はそれほどコストの増加を招くことなく、補助的な避難手段として有効である。スマートフォンの普及率は非常に高く、都心の地下街ではほぼ全員が携帯していると言っても過言ではなく、避難手段として十分役立つと考える。

研究成果の概要(英文)： Emergency exit lights are essential to an emergency evacuation guidance in underground malls but a number of drawbacks are pointed out. In this research, we have proposed an evacuation guidance system using emitted lights of evacuees' smartphones. All the smartphones make a flow of lights, as a neon sign, indicating the direction for evacuation by coordinated on/off switching of lights. Evacuees' are guided out by following the direction to which the light flows. Each smartphone estimates its self position using Wi-Fi anchors and map information, which are provided in an emergency by the system. Coordination of on/off switching of the lights is performed by the estimated position and the smartphone's clock. We have evaluated the proposed system using the original 2D and 3D simulators and have confirmed that the system should be useful for an emergency evacuation guidance in underground malls.

研究分野：情報工学

キーワード：避難誘導 スマートフォン 位置推定

### 1. 研究開始当初の背景

近年、国内で地震、台風、集中豪雨等の災害が頻発しており、情報通信技術を用いて被災の軽減を図ることは重要な課題である。災害等の影響で都心の地下街が停電した際、迅速に避難誘導するために避難誘導灯を目印にするのが現状の唯一の方法である。しかし、先行研究によれば、a.誘導灯を頼りに避難した人の割合は20%程度である、b.誘導灯の標識の意味を正確に理解している人は約10%に留まる、c.周囲の人の動きに影響して移動する傾向にある、d.一見して分かりにくい出口が存在する、等の問題点が指摘されており、避難誘導灯は十分な機能を果たしているとは言えない。また、携帯電話のディスプレイに地図・避難経路を表示するシステムが提案されているが、GPSの使用を前提としており、GPSの電波が入りにくい地下街では必ずしも有効ではない。スマートフォンの普及は急速に進んでおり、都心部ではほぼ100%の普及率と考えても差し支えない。そこで、スマートフォンを利用した避難誘導方式の開発を考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、上記の背景を踏まえ、地下街での停電時に避難誘導灯による避難を補助するため、地下街でも多くの人が携行しているスマートフォンが発する光（バックライトやフラッシュライト）を用いた直観的に分かりやすい避難誘導方式の開発を目的とする。具体的には、多数のスマートフォンの発する光を強調して制御することで、ネオンサインのように避難すべき方向に光の帯が流れて見えるようにする。また、避難口付近では、光を同期点滅させることでその位置を明確にする。このような機能を実現するための必要な設備およびアルゴリズムを開発し、有効性の評価を行う。

### 3. 研究の方法

停電時にすべてのスマートフォンが協調して光の点滅を制御するためには、すべてのスマートフォンが時刻同期し、かつ、自身の現在位置を特定する必要がある。実際には、光の流れに若干のずれが生じても人は十分認識可能であると考えられるので、ある程度の誤差は許容できると仮定する。時刻同期に関して、地下街でも基地局からの電波は届くことが多く、また、それ以外でも地下街に入るまでは正確な時刻をスマートフォンは保持しており、各スマートフォンの時刻の誤差は無視しても差し支えない。スマートフォンの現在位置の特定に関して、屋外であればGPSによりかなり正確に位置を認識できるが、地下街ではGPSの電波が届く保証はなく、GPSを利用することは期待できない。そこで、停電時であっても避難誘導灯は自主電源で動作することから、避難誘導灯にWi-Fi機能を持つ避難誘導装置を設置する。それをアンカーとし、複数のアンカーからのWi-Fi電波の受信強度値(RSSI)を用いた屋内位置推定を行う。併せて、避難誘導装置は、停電時に、地下街の地図情報、本システムのアプリケーションプログラム、プログラム起動を促すパケット等をWi-Fiにより近隣のスマートフォンにブロードキャストする役割を持つ。これらの機能はワンボードで十分実装可能である。

### 4. 研究成果

(1) 地図情報、位置推定、および、時刻同期により各スマートフォンが光量の制御を行うためのアルゴリズムを開発した。本アルゴリズムは、センターによる集中型制御ではなく、各スマートフォンが独立して動作する分散型アルゴリズムである。その際、各スマートフォンの位置推定や時刻同期には誤差が生じることを前提とし、本手法が有効に働くことを確認するため、地下街を天井から見下ろす2Dシミュレータを作成した。シミュレーションの条件を以下に示す。縦横100m×50mの地下街に500名避難者が存在し、全員右手にスマートフォンを所持している。避難者の半数は光の流れに沿って移動し、残りの半数は従わずに移動する。各スマートフォンの位置推定誤差は、既存研究から平均3.7m、標準偏差3.4mとした。以上の条件はかなり厳しいと考えられるが、2Dシミュレーションの結果、避難口に向かって光の流れが移動するように見えることが確認できた。

(2) 次に、避難者の視点から避難方向に向かって光の流れが移動して見えるかどうか調べるために、2Dシミュレーションの結果を用いて避難者視点の3D動画を作成することで3Dシミュレーションを実施した。比較のために、本手法を用いない避難者視点の動画、すべてのスマートフォンのライトを全点灯した場合の避難者視点の動画、本手法を用いた避難者視点の動画の3種類の3D動画を作成した。手法の有効性を客観的に評価するために、10人の被験者に対して作成した3種類の3D動画を視聴してもらい、その結果のアンケートによる調査を実施した。アンケートの項目として、a.壁と床がはっきり見えた、b.不安感がない、c.床の上を光が流れていく様子が見えた、d.出口が分かりやすかった、の4項目を選び、3種類の3D動画に対してそれぞれ5点満点で点数をつけてもらった。その結果、「a.壁と床がはっきり見えた」の項目では他の手法が優位であった。これは、本手法では光の総量が少なく、そのため他の手法に比べて周囲が暗くなったためと考えられる。しかし、それ以外の項目では本手法が最も高評価であった。特に、本手法の眼目である「c.床の上を光が流れていく様子が見えた」の項目はほぼ全員が最高評価をしており、手法の有効性が確認できた。

(3) 上記のシミュレーションでは、既存研究に基づいてスマートフォンの位置推定の誤差を仮

定していた。次に、その仮定の妥当性を検証するために、実機実験によりスマートフォンの位置推定の精度の調査を行った。Wi-Fi環境でRSSIを測定するため、アンカーとしてXBee Wi-Fi S6B、端末としてiPhoneをそれぞれ用いた。実験では、静止時と歩行時の2種類のパターンでRSSIの測定を行った。位置推定手法として、フィンガープリンティングアルゴリズムを採用した。これは、あらかじめ各地点で測定したRSSIをデータベース化しておき、位置推定する際に測定したRSSIとマッチングをとることで、誤差が最小になる地点を推定位置とする手法である。本学の廊下に約10m間隔で7個アンカーを設置し、実験を行った。あらかじめ1.5m間隔のグリッドでRSSIを測定し、データベースを作成した。次に、ランダムに40地点を選び、RSSIを測定し、フィンガープリンティングアルゴリズムにより位置推定を行った。その結果、位置推定の平均誤差は3.40m、標準偏差は2.46mと実測された。以上のことから、本手法を実現するために十分な精度が得られることが確認できた。

(4) 災害時には車で避難する人も多い。災害時の避難誘導の関連研究として、信号制御により渋滞を軽減する手法の開発を行った。交通量に応じて動的に信号制御を行う手法はこれまでに数多く提案され、一部実現もされている。しかし、大多数は局所的な情報に基づいた信号制御を行うもので、交通網全体の最適化は考えていない。また、全体の最適化を目指した方式の多くは集中制御型で、大規模な交通網に適用するのは困難である。そのため、分散型アルゴリズムであるバックプレッシャー法を交通流の制御に適用する既存研究がある。もともとバックプレッシャー法は無線通信ネットワークにおけるパケットの滞留に応じて配送経路を動的に制御する手法である。これを信号制御に適用したもので、交通流の改善が報告されている。しかし、既存研究では、車の移動は最短経路に固定されている、車が道路を通過する時間を考慮していない等により、信号制御による交通の予想と実際の交通に大きなずれが生じるという問題点がある。そこで、車の目的地に基づき交差点での進行方向の制御、および、車の流量に応じた信号制御を行うことで、できる限り渋滞を減らし、かつ、到着時間を短縮するアルゴリズムを開発した。シミュレーション実験により、既存手法と比較して、平均到着時間に関して67%から83%短縮できることを確認した。さらに、現在、深層学習を取り入れて車の移動時間の予想を加えることで、アルゴリズムの改善を図ることを考察している。

(5) 関東大震災から約90年以上経過し、首都直下型地震はいつ発生してもおかしくない状況である。その間、地下街は大きく発展し、非常に多くの人々が常時利用している。スマートフォンの普及率は非常に高く、都心の地下街ではほぼ全員が携帯していると言っても過言ではない。従って、本手法は避難誘導灯の補助となる避難手段として十分役立つものと考えている。さらに、本手法は近隣にも見える光を用いる点で、スマートフォンの携帯者だけでなく、何も持たない子供や老人等も避難手段として利用できることは大きな利点である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

- (1) Satoru Matsumoto, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami and Yuuichi Teranishi, "A Distributed Internet Live Broadcasting System Enhanced by Cloud Computing Services," International Journal of Informatics Society, vol.10, no.1, pp21-29, 2018. 査読有
- (2) Babatunde Ojetunde, Naoki Shibata and Gao Juntao, "Monitoring-Based Method for Securing Link State Routing against Byzantine Attacks in Wireless Networks," Journal of Information Processing, vol.26, pp.98-110, 2018. 査読有
- (3) Takuya Yoshihiro, Daichi Araki, Hiroki Sakaguchi and Naoki Shibata, "Providing Reliable Communications over Static-node-assisted Vehicular Networks Using Distance-vector Routing," Mobile Networks and Applications, vol.23, pp1376-1393, 2018. 査読有
- (4) Ei Khaing Win, Tomoki Yoshihisa, Yoshimasa Ishi, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi and Shinji Shimojo, "A Lost Sensor Data Recovery Scheme for Sensor Data Stream Multicasting," Journal of Information Processing, vol.26, pp.612-624, 2018. 査読有
- (5) Babatunde Ojetunde, Naoki Shibata and Gao Juntao, "Secure Payment System Utilizing MANET for Disaster Areas," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics: Systems, vol.PP(99), pp.1-13, 2017. 査読有
- (6) Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami and Yusuke Gotoh, "A Zero Interruption -Oriented Mobile Video-on-Demand System by Hybrid Broadcasting Environments," International Journal of Informatics Society, vol.9, no.2, pp85-93, 2017. 査読有
- (7) 石 芳正, 川上 朋也, 義久 智樹, 寺西 裕一, "コンシステントハッシュ法を用いた複数センサデータストリーム配信システムの実現と評価," 情報処理学会論文誌, vol.58, no.2, pp.343-355, 2017. 査読有
- (8) 上田 知幸, 孫 為華, 柴田 直樹, 伊藤 実, "EVTour:電気自動車の乗換スケジューリング

- 法の提案と性能評価,” 情報処理学会論文誌, vol.58, no.2, pp308-319, 2017. 査読有
- (9) Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa and Yuuichi Teranishi, “A Sensor Data Stream Delivery Method to Accommodate Heterogeneous Cycles on Cloud,” IEICE Transactions on Communications, vol.E99-B, no.6, pp1331-1340, 2016. 査読有

[学会発表](計 20 件)

- (1) Arnan Maipradit, 高 俊涛, 川上 朋也, 伊藤 実, “Back-Pressure および Q-Learning に基づく適応的交通制御アルゴリズム,” 情報処理学会 DPS 研究会, 2019.
- (2) Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa and Yuuichi Teranishi, “A Load Distribution Method for Sensor Data Stream Collection Considering Phase Differences,” International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems in Conjunction with International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 2018.
- (3) Ying Liu, Gao Juntao and Minoru Ito, “Back-Pressure Based Adaptive Traffic Signal Control and Vehicle Routing with Real-Time Control Information Update,” IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, 2018.
- (4) 川上 朋也, 石 芳正, 義久 智樹, 寺西 裕一, “大規模センサデータストリーム収集のための位相調整を用いた負荷均等化手法の検討,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, 2018.
- (5) 范 嘉瑩, 川上 朋也, 柴田 直樹, “遠隔共同作業における異なる視野角を持つカメラの効果比較のための被験者内実験,” 情報処理学会 CDS 研究会, 2018.
- (6) Gao Juntao, Yulong Shen, Minoru Ito and Norio Shiratori, “Bias Based General Framework for Delay Reduction in Backpressure Routing Algorithm,” Workshop on Computing, Networking and Communications, 2018.
- (7) Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa and Yuuichi Teranishi, “A Skip Graph-Based Collection System for Sensor Data Streams Considering Phase Differences,” International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems in Conjunction with International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 2017.
- (8) Gao Juntao and Minoru Ito, “Consideration on Applying Q-Learning to Backpressure Routing Algorithm to Improve Delay Performance,” 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2017.
- (9) Ying Liu, Gao Juntao, Yishan Lin and Minoru Ito, “Application of Back-Pressure Algorithm to Traffic Signal Control in Road Networks of Finite Road Capacity,” 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2017.
- (10) 田中 雄大, 川上 朋也, 柴田 直樹, 柴田 義孝, “被災地におけるリアルタイム性を考慮したリバランシングを実現する物資配送計画方式,” 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2017.
- (11) Tomoya Kawakami, “Smart Sensor Data Stream Delivery: Geographical Overlay Networks and Those Applications,” International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, 2017.
- (12) Babatunde Ojetunde, Naoki Shibata and Gao Juntao, “Securing Link State Routing for Wireless Networks against Byzantine Attacks: A Monitoring Approach,” IEEE Computer Society International Conference on Computers, Software & Applications, 2017.
- (13) 川上 朋也, 増田 健一, 柴田 直樹, 伊藤 実, “ロードプライシングにおける需要分布に基づく料金決定手法の提案,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, 2017.
- (14) Lin Yi Shan, Liu Ying, Gao Juntao and Minoru Ito, “Back-Pressure Based Traffic Scheduling Algorithm for Urban Vehicular Networks with Self-Driving Vehicles,” 情報処理学会 MPS 研究会, 2017.
- (15) Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa and Yuuichi Teranishi, “A Design of a Video Effect Process Allocation Scheme for Internet Live Broadcasting,” International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems in Conjunction with International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 2016.
- (16) 政野 博紀, 柴田 直樹, Gao Juntao, 南 和宏, 伊藤 実, “オンデマンドバスのための乗り換えを含むリアルタイムルートスケジューリング,” 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2016.
- (17) Ojetunde Babatunde, Naoki Shibata, Gao Juntao and Minoru Ito, “Consideration on Monitoring Scheme to Secure Link State Routing against Byzantine Attacks,” 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 2016.
- (18) Naoki Shibata, Tomoyuki Ueda and Minoru Ito, “EVTour: Online Scheduling System for Tours with Multiple Destinations by One-Way EV Sharing,” IEEE Vehicular

Technology Conference VTC2016-Fall, 2016.

- (19) Gao Juntao, Minoru Ito and Norio Shiratori, "Optimal Scheduling for Incentive WiFi Offloading under Energy Constraint," IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2016.
- (20) 川上 朋也, 石 芳正, 義久 智樹, 寺西 裕一, "スキップグラフを用いたスケーラブルなセンサデータストリーム収集システムの評価," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, 2016.

## 6 . 研究組織

### 研究分担者

研究分担者氏名：柴田 直樹

ローマ字氏名：(SHIBATA, Naoki)

所属機関名：奈良先端科学技術大学院大学

部局名：先端科学技術研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：40335477

研究分担者氏名：高 俊涛

ローマ字氏名：(GAO, Juntao)

所属機関名：奈良先端科学技術大学院大学

部局名：先端科学技術研究科

職名：助教

研究者番号(8桁)：30732961

研究分担者氏名：川上 朋也

ローマ字氏名：(KAWAKAMI, Tomoya)

所属機関名：奈良先端科学技術大学院大学

部局名：先端科学技術研究科

職名：助教

研究者番号(8桁)：30710470

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。