

# 平成 30 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	梅崎 太造	研究室	舟橋研究室
入学年度	平成 29 年度	学籍番号	29414047	氏名	木村 健

論文題目 避難者分布と避難障害を考慮したリアルタイム分散避難誘導システムの開発  
Real-time distributed evacuation guidance system considering obstacle and evacuee location

## 1 はじめに

防災対策として避難訓練の実施や避難経路の提示および告知などが行われている。しかし、建物からの避難口やそこへたどり着くまでの道のりは事前に行うことができるが、実際にその避難口から脱出しようとしている避難者数や、その道のりに殺到する避難者数は災害発生後でなければ知ることができない。適切な避難を行うためには、避難者の流れによる影響を考慮しなければならないだろう。本研究室では、ボトルネックとなりやすい階段または出入口に着目し、これらの場所において発生しやすい渋滞の予防のため、分散避難を行うための手法を構築した [1]。分散避難によって、特定の状況下では避難時間を短縮することができる。しかし、災害発生後にのみ知りうる情報で避難に影響を与えるのは避難者の流れだけではない。二次災害によって建物内の環境が変化し、一部の避難経路が使用不可になってしまうことも考えられる。火災などの想定される環境の変化に対応しつつ分散避難するためには、災害発生後の環境を推定し、推定した環境に基づいて避難経路の再選出を行う必要がある。本論文では、避難者の動きから避難障害を推定し、避難障害を考慮したリアルタイム分散避難誘導システムの構築について述べる。なお、避難者の動きの推定には、名古屋工業大学で出席確認などに利用されている BLE ビーコンを用いる。

## 2 分散避難のための経路選択手法

文献 [1] では、全避難者の位置が既知であるという条件のもとで、避難経路の選択手法を提案している。まず、経験則的に迅速に避難できると期待される、各避難者が最短の移動距離で避難する経路を考える。この経路をもとに各避難者の位置に応じて各階段または出入口へ避難者を分散させることで、渋滞による避難時間の長期化を防いでいる。避難者の分散は一部の階段または出入口に避難者が集中している場合に行う。式 1 により、同一の階に存在する全ての階段または出入口の中から任意の二つを選び出し、避難者の集中の度合いを比較する。差が閾値  $\epsilon_t$  以上であれば、差が縮まるように避難者の行先を変更することで、集中を緩和し、渋滞の発生を抑制する。ただし、行先の変更によって

かえって避難時間が長くなることを防ぐため、式 2 より悪影響を評価し、閾値  $\epsilon_d$  以下である場合のみ行先の変更を行う。

$$\left| \frac{n_X}{\alpha w_X} - \frac{n_Y}{\alpha w_Y} \right| \geq \epsilon_t \quad (1)$$

$$\frac{d}{S} + \frac{n}{\alpha w} \leq \epsilon_d \quad (2)$$

## 3 避難者への避難経路の提示方法

選出した避難経路を避難者に提示するため、避難経路の画像化を行う。避難経路を表す画像には、建物の各階の見取り図に加え、その階の避難経路を示す矢印が描画される。加えて、避難経路画像を、階の上下関係を保持したまま避難者に提示するために Web ページを生成する。また、避難経路画像により避難者を避難誘導するため、スマートフォン用のアプリケーションを作成する [2]。なお、本研究では、全避難者がスマートフォンを所持し、本アプリケーションをインストールしているものとする。本アプリケーションは避難者の操作により、避難経路画像を管理するサーバへ、避難経路画像を請求する。サーバより受信した Web ページを、アプリケーションに表示させることで避難者の避難誘導を行う。

## 4 BLE ビーコンによる避難者の動向の監視

避難障害を推定するため、避難経路提示アプリケーションに避難者の位置を推定するための機能を搭載する。位置推定には BLE ビーコンを用いる。図 1 は BLE ビーコンが設置されている場所の一例である。避難者の所持しているスマートフォンが検知した BLE ビーコンのうち、避難者に最も近いビーコン付近に避難者が居るとする。具体的には、0.1 [s] 間隔で BLE ビーコンの探索を行い、1.0 [s] ごとに過去 50 回分の探索履歴から検知された回数が最も多い BLE ビーコンを最も近いビーコンとする。その後、このビーコン情報をサーバへ送信する。

サーバは、受信したビーコン情報に基づき、避難者の位置を監視する。ただし、受信した BLE ビーコンが実際の避難者の位置にそぐわないビーコンである可能



図 1: BLE ビーコン設置場所一例

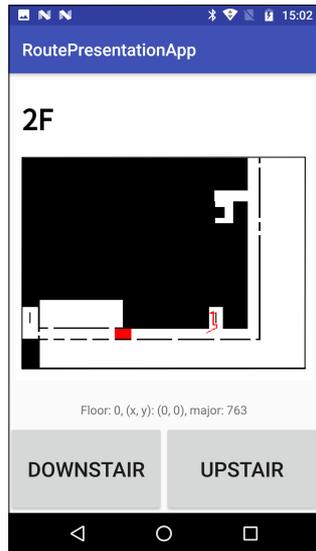


図 2: 避難経路再選択後のアプリケーション画面例

性がある。そこで、5回（実時間相当で5.0 [s]）連続で同一の BLE ビーコン付近にいると判定された場合のみ、避難者の位置を更新する。このとき、移動先の BLE ビーコンが提示された避難経路を通過する際に通らない BLE ビーコンであった場合は、避難者が避難経路から逸れたと判断する。また、移動先の BLE ビーコンが過去に通過した BLE ビーコンと同一であった場合は、避難者が避難経路を U ターンしたと判断する。上述の進路変更が検出された場合は、次に通過するはずであった BLE ビーコンの付近に避難障害が存在すると判断する。

その後、避難障害が存在する区画は通過できないものとして2節の方法により避難経路の再選択を行う。ただし、再選択する際の各避難者の位置は、避難障害が存在すると判断された時点でサーバに記録されている BLE ビーコンの位置とする。図2は再選択された避難経路がアプリケーション画面に表示されている様子の一例である。図2中の建物の見取り図内に表示されている赤い区画は、推定された避難障害によって封鎖された区画を示している。

## 5 システム評価実験

### 5.1 動作確認実験

以下の2点について、動作確認実験を行う。

1. 避難者の U ターンおよび経路からの逸れを検出することができるかどうか確認する。
2. 避難者の U ターンおよび経路からの逸れが検出されてから再選択された新しい避難経路が避難者に提示されるまでにかかる時間を計測する。

実際に U ターンをしてから約 24 秒後に U ターン動作が検出され、さらに約 5 秒後に再選択された避難経路が提示された。また実際に経路を逸れてから約 15 秒後に逸れた動作が検出され、さらに約 5 秒後に再選択された避難経路が提示された。結果より、実際に回避行動を行った避難者が混乱してしまう可能性はあるが、後続の避難者は避難障害に感わされることなく、迅速に避難できることが期待できる。

### 5.2 評価シミュレーション実験

本手法によって再選択された避難経路の有効性を検証するため、以下の2通りのシミュレーションを行う。

1. 避難障害が避難経路上に存在する避難者のみ進路を変更する。
2. 避難障害を考慮し、全避難者の避難経路を再選択する。

避難障害を認識した避難者の行先だけを変更した場合の総避難時間は 452 [s] であり、避難障害を検出後に全避難者の避難経路を再選択した場合の総避難時間は 420 [s] であった。避難経路を再選択することで避難時間が約 7% 短縮された。本手法によりとくに避難障害によって提示された避難経路が使えなくなった避難者が流入する階段や出入口の渋滞が緩和され、避難時間を短縮できることがわかった。

## 6 むすび

本研究では、BLE ビーコンを用いて避難障害を推定し、避難障害を考慮した分散避難誘導システムを構築した。また、評価シミュレーションの結果から、本システムによって避難時間を短縮できることがわかった。今後の課題として、本研究では一定の値として定めていた階段または出入口の通過時間の閾値  $\epsilon_t$  および許容する行先の変更による悪影響の閾値  $\epsilon_d$  の決め方の確立が挙げられる。

## 参考文献

- [1] Takeru Kimura, Kenji Funahashi, Hirotaka Itoh, "Distributing evacuee method to appropriate routes according to variation of person number," Proceedings of IEEE-GCCE 2017, pp.488-491, 2017
- [2] 木村 健, 伊藤 宏隆, 舟橋 健司, "分散避難のための避難ルートを避難者に提示するシステムの構築," 平成 30 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, K3-1, Sep. 2018