

出口の危険度を考慮した 災害時の避難経路生成アルゴリズムの検討

家串 勇祐† 中山 雅哉‡

東京大学大学院 工学系研究科†

1. はじめに

近年、無線センサーネットワーク (WSN) の発展によって、様々なアプリケーションが開発されている。その一つとして、避難ナビゲーションシステムがある[1]。災害時に WSN によって被災者を安全にかつ素早く避難させるための経路探索についての研究が盛んになっている[2,3]。その多くの研究が現在地から最短の出口に向かう経路のみを考えており、出口の危険度を考慮していない。しかし、実際には最短の出口までの経路が安全であるという保障はないため、経路探索の際に出口を適切に選択するべきだと考えられる。

本研究では、出口の危険度を考慮することで、必ずしも最短ではない出口に向かって避難する経路を提示することで安全に被災者を避難させる手法を提案する。

2. 先行研究

先行研究として、災害の周りに複数の帯を形成して被災者がその帯を通ることで、災害をうまく回避しながら出口を目指すという手法がある[4]。この手法を適用した結果を図1に示す。図中では、災害を赤、出口を緑、紫を被災者としたとき、災害に近い順にピンク、黄、青の帯を作ることを考えている。このように、複数の帯を考えることで被災者が通るパスを分け、災害の近くでの混雑を緩和することができる。

本手法のアルゴリズムを説明する。基本的に現在のノードに隣接するノードのうち出口までの距離が近いノードに移動する。また、外から青色の帯に入ってきた場合、またはピンクから黄色の帯に入ってきた場合にはランダムで黄か青のどちらかの帯を決め、その帯に向かって進む。その後は出口までの距離が近い隣接ノードがある限り、現在の帯を進み続ける。そのようなノードがない場合は現在よりも外側の帯、あるいは帯の外側にある出口までの距離が近い隣接ノードへ進む。

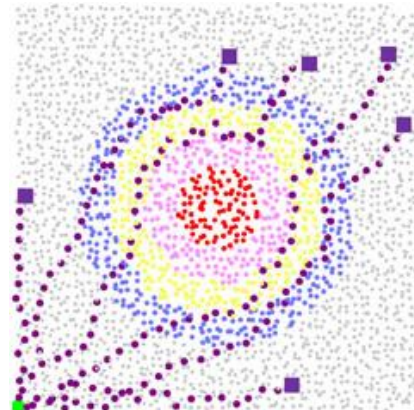


図1 Wang らの手法による避難経路[4]

3. 提案手法

すでに述べた通り、多くの従来研究では最短距離にある出口のみを考えているが、必ずしもそのパスの安全性が担保されるとは限らない。そこで、被災者 u からある出口 e までの経路上のノードを $v_0(=v_u), v_1, \dots, v_n(=v_e)$ としたときに、パス上のあるノード v_i を災害 D より早く通り抜けられるかどうかを表す指標を導入する。これをポテンシャルと呼び、以下の式で表す。

$$p_i = \min_{v_j \in D} (\text{dist}(v_i, v_j)) - \text{dist}(v_i, v_0)$$

現在地からある出口までの最短経路上のノード v_i について、災害からの最短距離と被災者 v_0 からの距離の差をとることで、ノード v_i に災害よりも被災者がどれくらい早く到達することができるかを表すことができる。そのため、 p_i が大きいほど安全性が高いと考えられる。これを出口までの最短経路上のすべてのノードでの和をとり、その値をその出口までのポテンシャル P とする。

$$P = \sum_{i=1}^n p_i$$

被災者は現在位置からすべての出口に対してポテンシャルを求め、その値が最も大きい出口へ進む。ただし、複数の経路でポテンシャルが正だった場合、振動してしまうことを回避するために経路長が最も小さい経路を選択することとした。

このポテンシャルの考え方を上記の従来手法に適用することを考える。従来手法では、現在のノードよりも出口までの距離が近い隣接ノードを選択していたが、各出口までのポテンシャルの

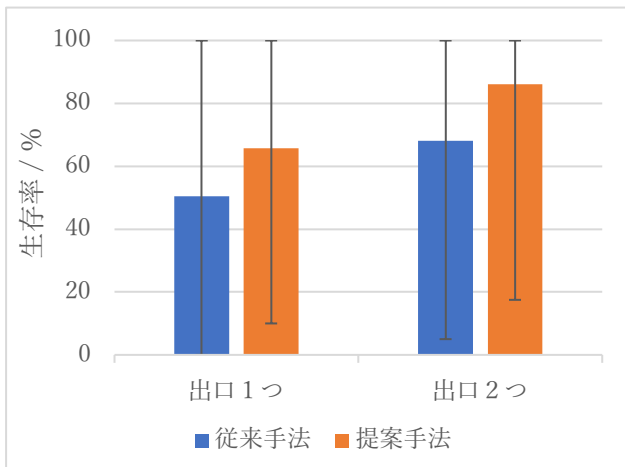


図2 生存者数の平均値の割合

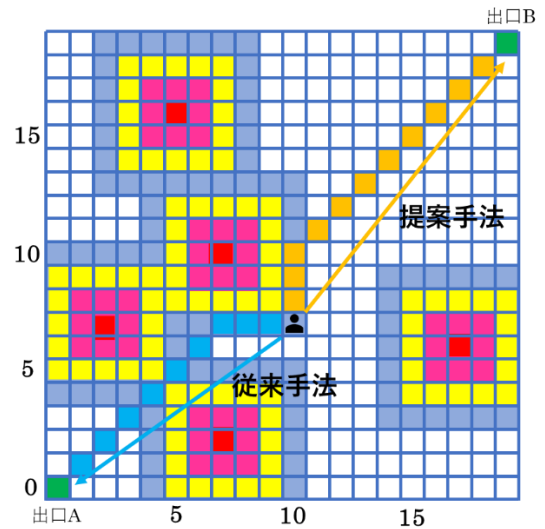


図3 経路選択の例

総和 P を求めることを考える。

4. 評価方法

縦 20, 横 20 の 400 ノードの二次元環境を考える。被災者や災害は縦横斜めの 8 方向に移動が可能である。被災者の数は全ノード数の 10% にあたる 40 人とし、災害の数の初期値は 5 個で行った。被災者と災害はランダムで座標を決定し、初期化した時点で両者が重なり合うことはない。ただし、被災者は 1 ノードに複数人が入ることが可能である。さらに、災害はランダムに選んだ隣接ノードに対して、災害の数の初期値だけ毎ステップ燃え広がるとした。出口の数は 1 つの場合は左下(0,0)に設定し、2 つの場合はそれに加えて右上(19,19)にも設置した。また、災害による負傷を考慮するために災害からの距離が 1 のノードに 5 ステップ以上いた場合、あるいは災害と重なった場合は死傷とした。

実験はランダムに生成した全 100 パターンの盤面状態でいった。両者の手法を比較するために、各パターンで最終的な生存者の数を算出してその平均をとり、被災者の人数に対する割合を求めた。

5. 実験結果

実験結果として生存者数の平均値の割合を図 2 に示す。出口の数が 1 つと 2 つの両者で提案手法が従来手法よりも多くの生存者を出していることが分かる。また、図 3 に従来手法と提案手法での経路選択の例を示す。図は初期化の段階で各手法が生成した経路を表しており、従来手法は水色、提案手法は橙色の経路を表している。従来手法では、被災者から最短の出口を選択するため出口 A

に向かって進んでいるのに対し、提案手法では災害の位置を考慮したことで、災害を通り抜けて出口 A にたどり着くよりも、出口 B を目指した方が安全だと判断していることが分かる。

6. おわりに

本研究では、避難経路上の各ノードについて災害からの距離と被災者からの距離の差をとり、その和を考えることでその経路の危険度を算出する手法を提案した。従来手法と比較した結果、提案手法では出口数が 1 つと 2 つの場合の両方で多くの生存者を出すことができ、その有効性を示した。今後は、より広大な環境や障害物のある実際の建物を模した環境、異なる広がり方の災害など、様々な条件での検証を行う予定である。

参考文献

- [1] E. Xu, Z. Ding, and S. Dasgupta, "Target tracking and mobile sensor navigation in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 12, no. 1, pp. 177–186, Jan. 2013.
- [2] C. Wang, H. Lin, R. Zhang, and H. Jiang, "SEND: A situation-aware emergency navigation algorithm with sensor networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 16, no. 4, pp. 1149–1162, Apr. 2017.
- [3] L.-W. Chen and J.-X. Liu, "Time-efficient indoor navigation and evacuation with fastest path planning based on Internet of Things technologies," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. Syst.*, early access, Jun. 11, 2019.
- [4] C. Wang, H. Lin, and H. Jiang, "CANS: Towards congestion-adaptive and small stretch emergency navigation with wireless sensor networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 15, no. 5, pp. 1077–1089, May 2016.