

複数種 UAV による避難誘導システムの強化学習を用いた小型 UAV 再配置

Relocating Small UAVs Using Reinforcement Learning in Evacuation Guidance System Using Multiple Types of UAVs

伊吹 宏三郎¹

上山 憲昭²

Kozaburo Ibuki

Noriaki Kamiyama

立命館大学大学院 情報理工学研究科¹

Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

立命館大学 情報理工学部²

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

災害時の被害状況確認や被災者避難誘導において、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の活用が注目されている。多くの既存研究で地上のセンサー機器から情報を取得し、UAV を制御することが想定されている。しかし地上のセンサー機器の損傷や UAV のバッテリー容量の制約が課題とされてきた。これらの課題解決のため先行研究では、大型 UAV が小型 UAV を運搬しながら被災者を捜索し、被災者発見後に分離した小型 UAV が避難誘導するか、被災者の携帯端末と通信可能なら避難経路を送信する避難誘導システムを提案した [1]。本稿では、提案システムに対して想定被災地域の範囲を拡大するとともに、災害リスクや人口分布を考慮したベースステーション (BS) 配置の最適化手法を提案する。また、強化学習を活用して、避難誘導を完了した小型 UAV の再配置を効率化し、避難完了時間の短縮を目指す。

2. 先行研究

先行研究 [1] で提案した避難誘導システムの概要を述べる。小型 UAV を搭載した大型 UAV が、飛行開始前に設定された探索飛行経路に沿って避難者を捜索する。避難者発見時には飛行中に撮影した地表の画像をもとに火災や建造物の倒壊などで通行不可能となった場所を把握し、避難所までの安全な避難経路を作成する。避難者発見時に大型 UAV と避難者の持つスマートフォンなどの携帯端末が通信可能であればその端末に作成した避難経路を送信し、避難者自身による避難を支援する。その後、大型 UAV は探索飛行経路に戻り、避難者の捜索を再開する。避難者の持つ携帯端末と通信できない場合は大型 UAV から小型 UAV を分離し、小型 UAV によって避難者を避難所まで誘導する。その後、大型 UAV は最も近い BS へ向い、燃料の補充と小型 UAV を搭載し、避難者の捜索を再開する。小型 UAV は避難者の誘導が完了すると小型 UAV ごとに定められた BS へ移動する。小型 UAV は BS で充電され、大型 UAV に搭載されるまで待機する。これらの動作をすべての避難者の避難が完了するまで継続する。

3. 提案方式

先行研究では、大型 UAV の飛行経路や BS の配置位置に対して、災害リスクや避難者の需要が十分に考慮されていなかった。本稿では、避難者の捜索を迅速に行うため、国土地理院により公開されているハザードマップを基に 100m メッシュごとに災害リスクを数値化し、500m メッシュ単位で捜索優先度を設定し、優先度の高い 500m メッシュから順に避難者を捜索する大型 UAV の飛行経路を策定した。避難者の平均移動距離が最短かつ多くの避難者を經由できる位置に BS を配置し避難完了時間短縮を図るため、避難所-BS 間と BS-交差点間の経路長が最短となる組合せを計算し、避難者経路数の平均値が高い候補地を BS 配置位置とする。また、先行研究での小型 UAV の再配備先 BS と配備数は固定であるという制約により特定の BS 周辺に避難者が多く存在する場合、同時に避難誘導を実施できる小型 UAV の稼働数が不足し、避難者を発見したにも関わらず誘導を開始できず、避難完了時間が増大していた問題を解決するため、強化学習を用いて誘導完了後の小型 UAV の再配置先 BS と BS ごとの配備数を最適化する。学習環境の作成には、PettingZoo を用いた。PettingZoo は Python で開発されたシンプルなインターフェースで、一般的なマルチエージェント強化学習問題を表現することができる。本稿では、避難所と BS をランドマーク、UAV をエージェントと定義し、エージェントが BS に到達すると正の報酬を獲得し、BS で待機している場合に負の報酬を獲得する。残り避難者の予測数や、BS に待機中の小型 UAV の数によって報酬に重みづけがされる。避難誘導を完了した小型 UAV の再配置先 BS を決定する際の過程を強化学習により最適化することで避難完了時間の短縮を図る。

4. 性能評価

宮城県石巻市の 1 辺が 3km の正方領域を対象地域として提案方式の性能を評価する。Open Street Map の地図情報を用い、対象地域の交差点をノードとした道路ネットワークを作成した。道路ネットワークから任意のノードとエッジを削除し、災害による通行不可箇所として設定する。ただしシミュレーションの途中で道路の災害状況は変化しないものとする。避難者は大型 UAV に発見されるまでノード上から移動しないものとし、270 人の避難者を人口分布に基づいて確率的にノード上に配置する。大型 UAV は 4 機使用し、各大型 UAV 対象地域を 4 分割した正方領域を捜索範囲として割り当てる。対象地域を 9 分割した 1km 四方に存在する小、中、高等学校のうち 1 カ所を選び、計 9 カ所の避難所を定義し、BS は前節で述べた配置手法に基づき 12 カ所配置する。大型 UAV と携帯端末で通信可能な避難者の割合は 50% とする。これらの条件下で強化学習を適用しない小型 UAV の再配置先 BS が固定の場合と強化学習による小型 UAV の再配置先 BS の最適化を実施した場合のすべての避難者の避難完了まで時間を比較する。

図 1 に提案方式の性能評価結果を示す。グラフは避難完了時間の累積補分布を表している。強化学習を適用した場合は適用していない場合と比較して全避難者の避難完了時間の短縮が確認できた。これは学習によって避難者誘導の需要に基づいて BS ごとに配備される小型 UAV が適切に再配置され、避難誘導待ちの割合が低下したからである。

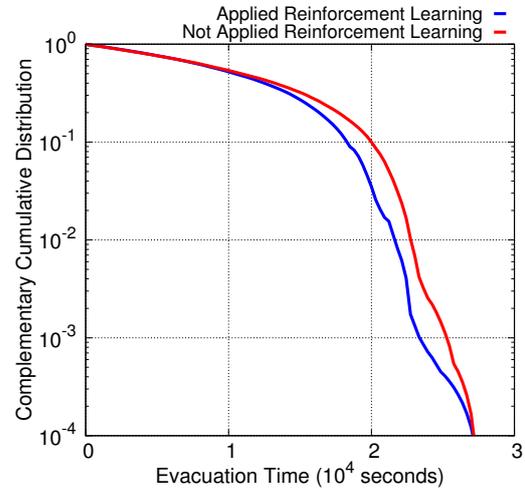


図 1: 避難完了時間の累積補分布

5. まとめ

本稿では、複数種の UAV と携帯端末を用いた避難誘導システムにおける災害リスクと人口分布に基づく BS 配置の最適化を実施し、強化学習を用いた避難者誘導完了後の小型 UAV の再配置先 BS の決定過程の最適化手法を提案した。今後は、強化学習のパラメータを調整し、更なる避難効率化に取り組む予定である。

謝辞 本研究成果は JSPS 科研費 23K11086, 23K21664, 23K28078 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

[1] Kozaburo Ibuki and Noriaki Kamiyama, "Evacuation Guidance System Using UAVs of Multiple Types at Disaster," IEEE CyberSciTech 2024