

## 2023年度阪神高速研究助成(若手研究者助成) 研究概要書

申請者	所属 大阪大学 職名 助教	フリガナ ヒライ タケシ 氏名 平井 健士
共同研究者	所属 なし 職名 なし	フリガナ 氏名 なし
連絡先	所属 大阪大学 職名 助教	フリガナ ヒライ タケシ 氏名 平井 健士
	住所 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5 大阪大学大学院情報科学研究科 B 棟 5 階 501 室 電話 06-6879-4357	
研究課題名	多様な通信環境が生じる高速道路の移動体通信システムのためのドローン基地局と RIS を用いた高速大容量通信	
研究結果	<p>本研究では、将来の高速道路における高速大容量通信の実現に向けて、従来の地上固定基地局よりも低コストで展開可能なドローン基地局や RIS を組み合わせることで、コストを抑えながら、通信環境の改善を図る。この費用対効果を最大化するために、ドローン基地局と RIS の配置や台数を最適化するフレームワークを提案し、その基本的な効果を評価した。</p> <p><b>研究背景</b></p> <p>将来の高速道路では、自動運転やデジタルトランスフォーメーション化に向けた高速大容量通信を実現するために、通信インフラ、つまり、次世代移動通信システム (5G や 6G) の展開が求められる。高速道路上での 5G/6G では、各自動車通信端末を備え、基地局からまたは向けて、データを送受信することになる。そのため、一般的に、高速大容量通信を実現するためには、地上固定基地局の数を増やし、かつ、高密度に配置すればよい。</p> <p>しかし、高速道路における通信環境の多様性によって、従来の固定基地局を高密度に配置することで、高速大容量化を目指すアプローチでは、都市部よりも配置コストが高嵩でしまう。特に、時間帯により走行する自動車数が多かったり、山間部等で見通しが悪かったりする場所では、通信環境が悪くなるため、地上固定基地局を高密度に配置しなければならない。</p> <p><b>研究目的</b></p> <p>そこで、本研究では、高速道路における多様な通信環境においても、低コストで高速大容量通信を実現できる 5G/6G インフラの構築を目指す。そのために、従来の地上固定基地局よりも低コストで運用できるドローン基地局や可変電波反射板 (reconfigurable intelligent surface: RIS) を組み合わせ、固定基地局までの通信環境を改善するアプローチに取り組む。通信環境の改善と設置コストに関して、ドローン基地局と RIS は、以下のような特徴を持つ。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ドローン基地局: 自動車が多いところにピンポイントで配置したり、ドローンの高度を上げることで見通しを確保したりできるため、通信環境を状況に合わせて改善可能である。設置コストは基地局より低い、RIS より高い。</li> <li>○ RIS: 電波を反射させる角度や強さを自由に変更できるため、擬似的な見通しの確保等により、通信環境を改善できる。ただし、できることに制限があるため、ドローン基地局よりは通信環境の改善は限定的である。一方、設置コストはドローンよりも低い。</li> </ul> <p>以上の 2 つの特徴を踏まえた上で、ドローン基地局と RIS の台数と配置を最適化することで、高速大容量通信を実現しつつも、配置コストを最小化するフレームワークを構築する。</p>	

## 手法

本研究では、3つのパートに分けて、研究を進めた。

- ① ドローン基地局と RIS を用いた通信モデルを構築した。特に、本研究の要であるドローン基地局に関しては、その移動性と通信性能向上の基本的な関係性を掴むために、通信ユーザや通信トラフィック量の時空間変動に対する複数ドローン基地局の軌道を最適化するという研究にも取り組んだ[1][2]。
- ② 構築した通信モデルの下で、配置コスト最小化問題を定式化した。具体的には、各ユーザの通信トラフィック量以上の通信路容量を提供可能（つまり、カバー可能）な条件の下で、コスト（つまり、ドローン基地局と RIS の台数に対するそれぞれの配置コストの合計）を最小化する問題として定式化した。
- ③ 上記の最適化問題を解くフレームワークを提案した。このフレームワークは以下の 2 ステップで構成されている。まず、ドローン基地局と RIS の台数の組み合わせをそのコスト値によってソートし、コストが小さい組み合わせから順にその台数の組み合わせにおいてカバー可能なユーザ数を導出する。このカバー可能なユーザ数は、与えられたドローン基地局と RIS の台数において、最適な配置の場合に最大化される。そのため、このカバー可能なユーザ数の最大化問題を定式化して、この問題を解く。この最大化問題は、解空間が広く、厳密解を得ることが難しいため、本検討では、particle swarm optimization (PSO) を用いて、準最適解を導出するアプローチを取った。

## 成果

本研究の成果として、ユーザ分布を入力とし、ドローン基地局と RIS の配置コストを設定することで、与えたカバー可能ユーザ数を実現する必要最低限の配置コストとなるドローン基地局と RIS の台数と配置を出力するフレームワークを構築できた。図 1 は、このフレームワークの基本的な特性を評価している。横軸は RIS に対するドローン基地局の配置コスト比、縦軸はカバー可能ユーザ数が全体の 95%となるための最小配置コストを示している。ランダム探索



図 1—コスト比に対する合計コスト

では、カバー可能ユーザ数が全体の 95%となる配置を探索できなかったが、提案した PSO ベースのフレームワークを用いると、このような配置を発見でき、コストを抑えた配置を出力することができた。今後、さらに研究を発展させて、ユーザが移動する場合での評価も進める予定である。本成果の一部は、国内研究会 2 件[1][2]にて、すでに発表済みであり、国内研究会投稿予定 1 件、及び、これらを査読あり国際学会 2 件の投稿予定である。

- [1] 小崎満稀, 平井健士, “異種の通信要求を持つユーザ群のスループットを最大化させるための複数 ABS の配置”, Massive Connect IoT 時代の無線通信システムとハードウェアの統合設計研究会, 2023 年 11 月。
- [2] 小崎満稀, 平井健士, 小田怜, 若宮直紀, “トラフィックの時空間変動に対応する複数 ABS の軌道最適化”, 信学技報, vol. 123, no. 345, SeMI2023-68, pp. 100-105, 2024 年 1 月。