

■受領No.1401

安全安心な自律飛行ドローンシステムを構築するための 車両間無線通信性能の発展に関する研究

代表研究者

平井 健士

大阪大学大学院情報科学研究科 助教



Performance Evaluations and Improvements of Vehicle-to-Everything Communications for Safe Autonomous Drone Network Systems

Principal Researcher

Takeshi Hirai,

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Assistant professor

本研究では、安全安心な自律飛行ドローンシステムを構築するための車両間無線通信 (V2X: vehicle-to-everything) の性能を高めるために、非直交多元接続 (NOMA: non-orthogonal multiple access) を用いたパケット中継手法を提案した。本手法では、各ドローンは、自身のパケットをブロードキャストすると同時に、他のドローンが以前に送信したパケットを中継する。これにより、追加の周波数帯域を消費せずに、パケットを再ブロードキャストすることが可能になり、V2X 通信の品質向上が狙える。評価の結果、提案手法は従来の V2X の通信品質を 50% 程度向上することが可能であることが明らかになった。

In this study, we propose a cooperative superposed transmission using the non-orthogonal multiple access (NOMA) for vehicle-to-everything (V2X) for safe autonomous drone network systems. In the proposed method, each drone broadcasts own packet and rebroadcasts a packet transmitted by another drone at a spectrum resource based on the superposition coding technique using NOMA. The proposed method enables each drone to improve its packet reception ratio without additional spectrum resources. The simulation results highlighted that the proposed method outperformed the existing V2X by 50%.

1. 研究背景

近年、ドローンを用いることにより、交通・輸送といった様々な分野での人手不足解消が期待されている。人手不足解消のためには、現在のマニュアル操縦に代わって、自律飛行するドローンが必要となる。自律飛行するドローンの登場によって、ドローンによる無人貨物輸送などの先進的なシステムが実現され、これらのドローンシステムが、Society5.0 が目指す交通・輸送インフラの鍵となることが予想される。

自律飛行するドローンを安全に飛行させるために、自律飛行するドローン (以下、ノード) 同士が車両間の自律分散的な無線通信技術 (V2X: vehicle-to-everything) を使って、衝突事故を回避する機能が不可欠である。高精度な衝突事故回避を実現するためには、それぞれのノードが他のノードのリアルタイムかつ正確な位置情報を認識する必要がある。そのために、各ノードは、自身の位置情報をパケットに詰め込み、それを 100 ミリ秒ごとに V2X を用いて同報し、周囲のノードがそ

の packets を高確率で受信できなければならない。

しかしながら、たくさんのドローンが飛び交うようになると、V2Xの周波数帯域が混雑してしまい(輻輳)、お互いの通信が電波干渉となるため、packetエラーが頻発し、結果的に、各ノードは周囲のノードの位置情報を取得できなくなってくる。つまり、衝突事故を高精度に回避できないという問題が発生する。これを輻輳問題と呼ぶ。限りある周波数資源の中で、ドローンの安全な自律飛行を実現するためには、無線区間の輻輳問題を解決する必要がある。輻輳下でのpacket受信率に関しても本研究を通して評価した [1][2][3][4]。

2. 研究目的

そこで、本研究では、たくさんのノードが存在し、無線区間が輻輳している状況でのpacket受信率を高めるために、各ノードが協調してpacketを中継する仕組みを検討する。この手法を確立することで、各ノードは、あるpacketを2度受信する機会が得られる。例えば、ノードAは、ノードBが自身で同報したpacketをエラーしてしまった場合でも、他のノードCがそのpacketを中継して再同報し、その中継されたpacketをノードAが受信できれば、ノードBのpacketの受信率が高まる。

ただし、輻輳環境において、単にpacketを中継するだけでは、追加の周波数帯域を必要とし、輻輳を助長することになってしまうため、複数のpacketの同時受信を可能にする非直交多元接続(NOMA: non-orthogonal multiple access)を用いることを考える。NOMAを用いることで、各ノードは、「他のノードのpacketの中継」と「自身のpacket」を電力軸で重畳し(=送信電力の一部を中継に配分する)、同時に送信することが可能になる。本手法のメリットは、自身のpacketの送信に用いる周波数帯域を使って、他のノードのpacketも中継できるため、追加の周波数帯域を消費せずに、中継によるpacket受信率の向上が見

込める。しかし、中継したノードは、電力を中継に配分した分だけ、自身が同報したpacketの受信率を低下させてしまうというデメリットもある。特に、中継は、中継したノードの周囲のノードへのpacket受信率を高める効果が期待できるだけであるため、中継されたpacketを受信できず、最初の同報packetのみを受信できるノードのpacket受信率を著しく下げてはいけない。

3. アプローチと提案手法

NOMAを用いた中継手法において、上記の条件を踏まえると、自身で同報するpacketの受信率の低下を最低限に抑えつつ、その制約の下で中継の効果を高めるアプローチが適切であると考えた。このアプローチを実現するために、各ノード k が以下の2つを自律分散的に考えて中継する新たな中継手法を提案した[5]。

- (1)重畳電力比(全体の送信電力に対する中継の送信電力): 中継をしない場合と同等のpacket受信率となるほど小さい電力比に設定する。
- (2)中継するpacket: (1)の重畳電力比の下で、あるpacketを受信したときに、そのpacketの送信元ノードが希望する範囲(例えば、進行方向にある距離進んだ位置等)に対して、送信元ノードが同報したときの受信電力よりも、 k が中継したときの受信電力が高いと推察されるほど、 k がそのpacketを中継する確率を高める。

また、本研究では、この中継手法の提案と並行して、packet受信率が低いノードほど、(2)の確率が高くなる傾向にあることに着目し、そのようなノードがどのような位置に存在するのかを明らかにするために、ドローン間通信におけるpacket受信率のための確率幾何を用いた解析も進め、8月に開催される電子情報通信学会情報ネットワーク研究会にて発表する予定である。

4. 評価

本研究では、ランダムに分布する端末配置を用

いて、提案した中継手法の packets 受信率と輻輳の特性を明らかにした。図 1 は、重畳電力比に対する packets 受信率を示している。評価の結果、提案手法において、重畳電力比を 1/50 以下に抑えおけば、自身の同報した packets が周囲に十分届くことが明らかになった。また、図 2 は、ノード数に対する packets 受信率を示しており、輻輳に対する耐性を評価している。従来の V2X では、輻輳を起こさないようにするための最大ノード数は 280 台までだったのに対し、重畳電力比を 1/50 に設定した提案手法を使うことで、420 台までのノードが存在しても輻輳が生じないことが明らかになり、輻輳問題を 50% 程度緩和できることが明らかになった。ただし、重畳電力比を 1/5 のような不適切な設定にすると、自身の同報した packets が周囲に届かず、packets 受信率が従来の V2X と比べて大きく低下してしまうことが明らかになった。

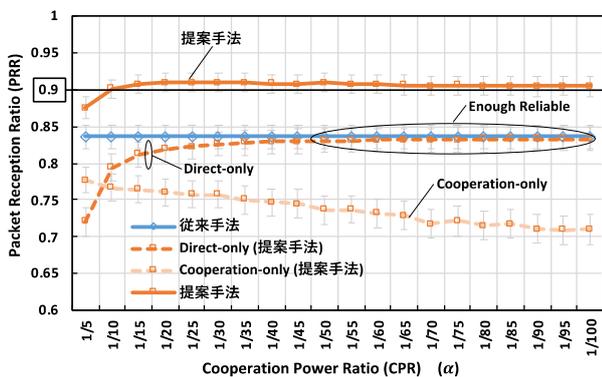


図 1. 重畳電力比に対する packets 受信率
(研究成果の発表[5]より)

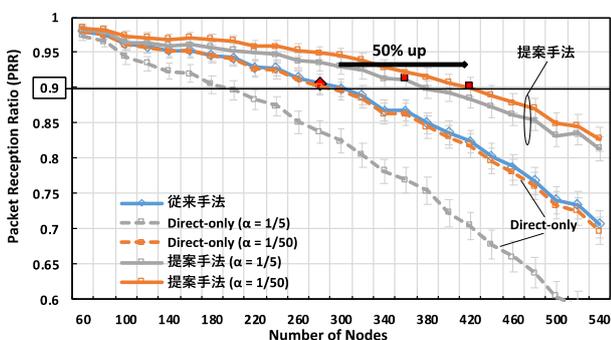


図 2. ノード数に対する packets 受信率
(研究成果の発表[5]より)

本研究を通して、NOMA を用いた中継手法を提案し、その特性を明らかにすることで、ドローン間通信の発展に貢献することができた。今後は、さらにドローン間通信を高品質にするために、確率幾何による解析の結果を提案した中継手法に応用する方法を検討していくといった研究テーマを予定している。

5. 発表 (研究成果の発表)

[1] Takeshi Hirai and Predrag Spasojevic, “Link-level Performance Evaluations of Sparse Code Multiple Access for PC5-based Cellular-V2X with Heterogeneous Channel Estimation Errors,” 2021 93rd IEEE Vehicular Technology Conference (IEEE VTC2021-Spring), online, Apr. 2021.

[2] 平井健士, 村瀬勉, “衝突警告システムにおけるインフラレスセルラ車車間通信のためのチャンネル推定エラーを考慮した NOMA の性能評価,” 信学技報, vol. 120, no. 414, IN2020-78, pp. 144-149, 2021 年 3 月.

[3] Takeshi Hirai and Tutomu Murase, “Performance Evaluation of NOMA for Sidelink Cellular-V2X Mode 4 in Driver Assistance System with Crash Warning,” IEEE Access, vol. 8, pp. 168321–168332, Sep. 2020.

[4] Takeshi Hirai and Tutomu Murase, “Performance Evaluations of PC5-based Cellular-V2X Mode 4 for Feasibility Analysis of Driver Assistance Systems with Crash Warning,” MDPI Sensors, vol. 20, no. 10, pp. 2950–2966, May 2020.

[5] Takeshi Hirai and Tutomu Murase, “NOMA-aided Probabilistic Cooperative Transmission for PC5-based Cellular V2X Mode 4 for Crash Warning,” IEEE Access, vol. 9, pp. 62602-62615, Apr. 2021.