

# ドローンネットワークにおける直線中継伝送のアクセス制御方式の検討

## A Study on Access Control Schemes for Rectilinear Relay Transmission in Drone Networks

T5-25 中村 優  
指導教員 設楽 勇

### 1 はじめに

ドローンを用いたネットワークにおいて、オーバーリーチの問題を解決するために送信信号の届く中継局まで一度に中継する CTR (Cooperation Through Relay) 方式 [1] が提案されている。本稿では、提案手法において干渉/誤りが生じた際のスループット特性を従来方式と比較し評価する。

### 2 従来方式の概要

図 1 に従来方式の概要を示す。従来の中継伝送では 1 ホップずつ中継するが、自由空間では、伝搬損失が少ないため送信信号が中継先のドローン (図 1#3) より遠くのドローン (図 1#4) に到達することで干渉が生じる。そのため、従来方式はオーバーリーチ干渉によってパケットの再送が起こりチャネル利用効率が低下する。また、従来方式で干渉が生じ、再送を行う際には、フォールバック制御により伝送レートを下げることによって SNR (Signal to Noise Ratio) が低くてもパケットを受信できるようにしているが、伝送レートの低下に伴って送信時間や再送によるオーバーヘッドが増加してしまう課題がある。

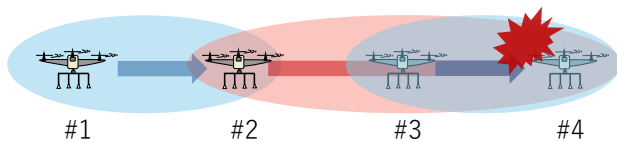


図 1 従来方式の概要

### 3 CTR 方式の概要

オーバーリーチ干渉は送信信号が中継局のドローンを超えて他のドローンに干渉することで発生する。そこで CTR 方式では直線状に存在する中継局が協調することによってオーバーリーチ干渉の問題を解決する。図 2 に示す CTR 方式は、送信信号の届く範囲の最終中継局 (図 1#4) まで一度に信号を送信し、通信経路の中継局 (図 1#3) も協調してパケットを受信する。最終中継局がパケットを正常に受信した場合は、以後、同様の手順で中継する。最終中継局がパケットの受信に失敗した場合は、直線経路の中継局 #3 が #4 の代わりに次の中継局へパケットを中継する。そのため従来方式ではオーバーリーチ干渉が生じる環境でも CTR 方式ではオーバーリーチ干渉が減り中継ホップ数も減るので中継オーバーヘッドも削減することができる。

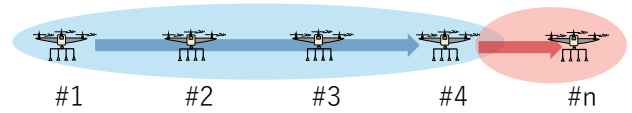


図 2 CTR 方式の概要

図 3 に CTR 方式の詳細なアクセス制御手順を示す。通常の CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) と同様に送信局はランダム時間の Backoff の後、ACK (ACKnowledgement) duration 時間が記述されたパケットを送信する。パケットを受信した中継局は送信局に対して ACK duration 時間後に ACK を返信する。このとき、ACK を受信した経路上の中継局は ACK の送信待ちをキャンセルする。最終中継局 (図 2#4) がパケットを受信できない場合は #3 が送信局の #1 に ACK を送信し、#4 の代わりに中継する。ACK duration はスロットタイム区切りとなっており、最終受信中継局が最も ACK duration が短く、送信局に近づくにつれて 1 ずつスロットタイム増加していく。したがって、この CTR 方式は信号が届く最大の範囲を推定する必要がある。そのため、送信電力の制御に加え各端末の SNR の受信電力閾値から自律的に判断し中継制御を行う。

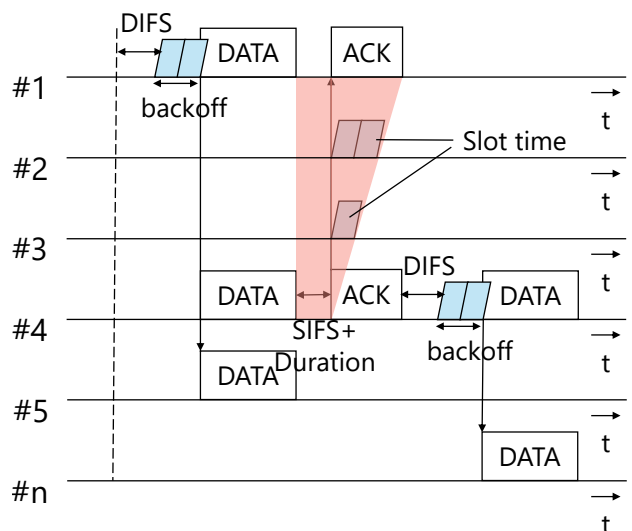


図 3 CTR 方式のアクセス制御

## 4 CTR 方式の評価

### 4.1 誤りが無い条件での CTR 方式の評価

CTR 方式の特徴である中継局をスルーすることによるスループットの向上を下記の条件で従来方式と比較する。中継の総伝送距離は 1000m とし、50m 間隔で直線状に 20 台のドローンを配置した。アンテナの送受信利得は 0dBi, 送信電力は 10dBm とした。周波数は 2.4GHz, 伝送レートは IEEE 802.11g を参考にし、伝搬損失は自由空間伝搬損失とした。評価内容は従来の 1 ホップ中継 (54Mbps) と中継局を 2 台スルー (24Mbps) した場合、および中継局を 3 台スルー (18Mbps) した場合におけるスループット特性を確認する。括弧内は使用可能な最も高い伝送レートである。これは受信電力より IEEE 802.11g の MCS (Modulation and Coding Scheme) index から選択する。図 4 に CTR 方式のスループット特性を示す。従来の 1 ホップ中継と比べて CTR 方式で中継局を 3 台スルーした条件では約 2 倍のスループットが得られた。ドローンをスルー場合は、通信距離が長くなり使用可能な伝送レートが低下するが、アクセス制御やプリアンプ等のオーバーヘッドとトレードオフになるのでネットワーク全体の通信効率では、

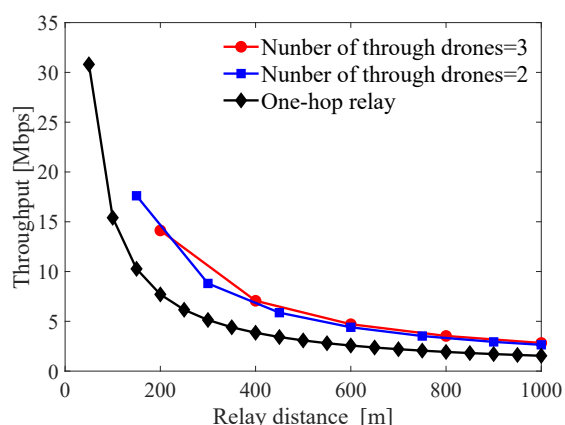


図 4 CTR 方式のスループット特性

### 4.2 誤りを生じる条件での CTR 方式の評価

CTR 方式のもう一つの特徴である中継時に誤りが生じたときに経路上の中継局が代替して受信することによる効果を下記の条件で従来方式と比較する。条件は 4.1 と同じ条件を用いる。また 4.1 より中継局を 3 台スルー (18Mbps) したとき最もスループットが高いことから伝送レートは 18Mbps とする。従来方式では再送時のフォールバック制御により伝送レートを一つ下の 12Mbps で再送は必ず成功するとする。この時パケットの誤り率を 0% から 100% まで変化させたときの 1000m 地点での最終的なスループット特性をを従来の方式と CTR 方式のスループットで比較した。

図 5 に誤り率が増加したときスループットを示す。従来方式では誤り率が増加するにつれスループットが一定の割合で減少しているが、CTR 方式ではスループットが緩やかに減少する部分があることが分かる。これはパケットの送信回数が関係していると考えられる。図 6 には誤り率に対しての 1000m 地点に辿り着くまでの平均送信回数を示す。図 6 より従来方式の送信回数は誤り率に

して線形的に変化しているが、CTR 方式の送信回数は非線形的に増加している。これは、CTR 方式で誤りが生じた際に、一つ前の中継局が通信を代替するからで、その結果、パケットの誤り率が変化しても送信回数の増加は緩やかに抑えられる。この送信回数の抑制により CTR 方式のスループットは従来の方式と比較して減少が緩やかになる部分があると考えた。またこの結果から、誤り率が増加するほど従来方式よりスループットが高くなっているため、従来方式よりも CTR 方式は局所的に誤り率が上がる条件でも高速に中継伝送が可能であることを確認した。

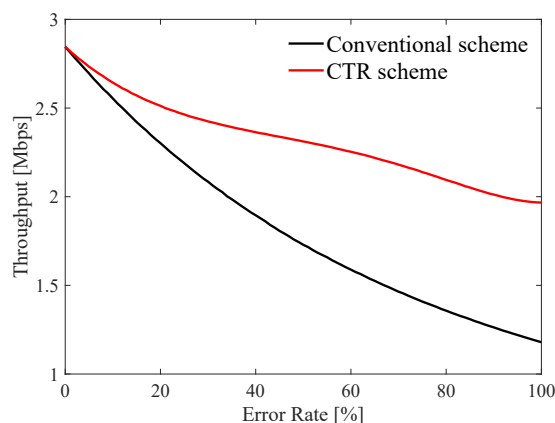


図 5 誤り率に対するスループット特性

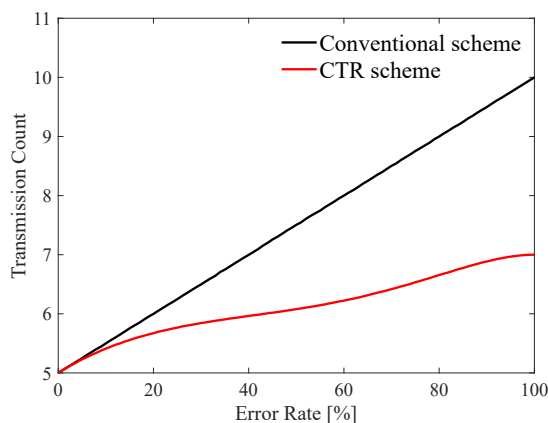


図 6 誤り率に対する総送信回数の変化

## 5 まとめ

本稿では、直線に配置されたドローン中継伝送におけるオーバーリーチ干渉の影響を解決するために、送信信号の届く中継局まで一回で中継する CTR 方式を検討した。CTR 方式と従来の方式で誤りが生じたときとそうでないときのスループット特性を計算し比較した。この結果からいずれの条件でも CTR 方式が従来方式よりも高いスループットが得られることを確認した。

### 参考文献

- [1] 設楽, 他, “ドローンの直線中継伝送におけるアクセス制御方式の一検討,” 電子情報通信学会大会講演論文 B - 11 - 2, 2018 年 9 月