

# 送信電力制御により制御メッセージの衝突を活用する無線マルチホップネットワークにおけるネットワークコーディング通信手法

安部 茜里<sup>†</sup> 梶垣 博章<sup>†</sup>

東京電機大学大学院 未来科学研究科 ロボット・メカトロニクス学専攻<sup>†</sup>

## 1 はじめに

無線マルチホップ配送経路を双方向にデータメッセージ群が配送される場合、各方向に配送されるデータメッセージが中継無線ノードに保持される頻度が高くなる。そこで、中継無線ノードのデータメッセージ転送にネットワークコーディングを導入することによって各データメッセージの配送遅延の短縮が期待される。このとき、各中継無線ノードの2ホップ隣接中継無線ノードのメッセージ送信を抑制することでデータメッセージと他のメッセージとの経路内衝突を回避することが必要である。しかし、従来の *RTS/CTS* 制御の導入手法では制御メッセージの配送手順が延長しており、データメッセージの配送遅延の延長が避けられない。本論文では、*CTS* メッセージ同士の衝突の検知をこれらの正しい受信と解釈する手法を提案する。ここでは、中継無線ノードがこの衝突を検出するために2つの *CTS* メッセージの受信電力差が閾値以下となることが必要である。そこで、これを可能とする経路探索プロトコルを設計する。

## 2 関連研究

無線マルチホップ配送経路に沿ってデータメッセージ群を配送する場合、隠れ端末問題によるデータメッセージの中継無線ノードにおける衝突を回避、削減することが求められ、*RTS/CTS* 制御の導入が必要とされる。このとき、ネットワークコーディングされたデータメッセージの送信に先立つ  $N_i$  から  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  への *RTS* メッセージ送信は、これらを送信先として  $N_i$  がブロードキャスト送信することによって実現される。しかし、 $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  がともに *RTS* メッセージ受信後に *SIFS* インターバルを置いて直ちに *CTS*

メッセージを送信すると、これらの *CTS* メッセージは  $N_i$  で衝突する。そこで、NC-MAC[1] および CSMA with *RTS/CTS* [3] では、*RTS* メッセージに *CTS* メッセージの送信順序情報を付与することによって、 $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  とが送信する *CTS* メッセージの  $N_i$  における衝突を回避している。しかし、制御メッセージの交換に要する時間が延長する。

## 3 提案手法

### 3.1 衝突を活用した *RTS/CTS* 制御

本論文では、*CTS* メッセージ同士の衝突の検出を2つの *CTS* メッセージの受信と解釈する手法を提案する。図1に示すように、ネットワークコーディングされたデータメッセージを送信する  $N_i$  は、データメッセージの転送先を  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  とした *RTS* メッセージをブロードキャスト送信する。この *RTS* メッセージを受信した  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  は、他の隣接無線ノードから *RTS* メッセージあるいは *CTS* メッセージを受信して待機状態となっていることがないのであるならば、*SIFS* インターバルの後に *CTS* メッセージを  $N_i$  ヘユニキャスト送信する。

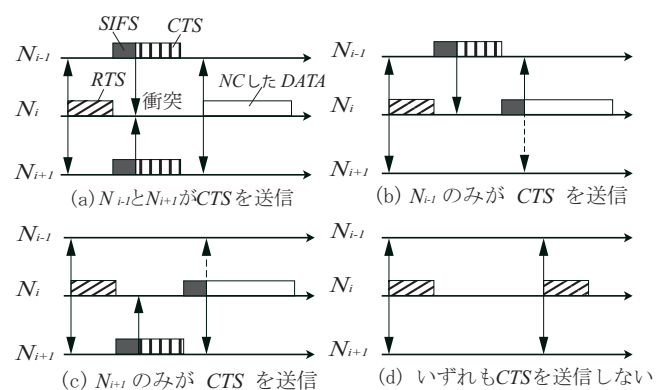


図1: *CTS* メッセージ同士の衝突による受信。

$N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  がともに *CTS* メッセージを送信する場合 (図1a), これらは  $N_i$  において衝突する。ただ

Network Coding Communication based on Collision of Control Messages by Transmission Power Control in Wireless Multihop Networks

<sup>†</sup>Akari Abe and <sup>†</sup>Hiroaki Higaki

<sup>†</sup>Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

し、残りの3つのいずれの場合でも  $N_i$  において CTS メッセージが衝突することはないことから、この衝突を検出することによって  $N_i$  は  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  がともに CTS メッセージを送信したものと判断することができる。そのため、 $N_i$  は CTS メッセージ同士の衝突を検出した場合、ネットワークコーディングされたデータメッセージを  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  を送信先としてブロードキャスト送信する。一方、 $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  のいずれかのみが CTS メッセージを送信する場合 (図 1b,c)、この CTS メッセージを衝突することなく受信する  $N_i$  は、受信した CTS メッセージのみが送信されたと判断できるため、CTS メッセージを送信した中継無線ノードのみデータメッセージを送信する。なお、 $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  のいずれも CTS メッセージを送信しない場合 (図 1d) には、 $N_i$  が DIFS インターバルの後に RTS メッセージを再送信する

### 3.2 衝突活用のための送信電力制御と経路探索

3.1 節の手法を実現するためには、 $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  から同時並行に送信された CTS メッセージを含む無線信号の衝突を  $N_i$  が検出可能であることが求められる。このとき、 $N_i$  におけるキャプチャエフェクト [2] の発生を回避するためには、これらの無線信号の受信電力差が閾値  $\Delta E$  以下でなければならない。そこで、図 2 に示すように、各中継無線ノードが制御メッセージとデータメッセージを送信するときの送信電力を調整することによって、 $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  から同時並行に送信されたメッセージ含む無線信号の衝突を  $N_i$  が検出できるようにする。

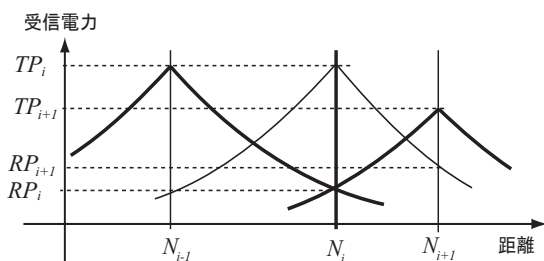


図 2: 送信電力調節によるキャプチャエフェクトの回避.

中継無線ノード  $N_{i+1}$  におけるメッセージ送信電力  $TP_{i+1}$  は、送信元無線ノード  $N_0$  から順次定めることが可能である。すなわち、 $N_i$  における  $N_{i-1}$  からの無線信号の受信電力を  $RP_i$ 、 $N_i$  において定められた無線信号の送信電力  $TP_i$  で送信した無線信号の  $N_{i+1}$  における受信電力を  $RP_{i+1}$  とすると、受信電力が無線信号の伝達方向とは無関係に距離の  $\gamma$  乗に比例して減衰

すると仮定すると、 $RP_i/TP_{i+1} = RP_{i+1}/TP_i$  が成り立つことから、 $TP_{i+1} = TP_i RP_i / RP_{i+1}$  と定めることができる。ただし、すべての中継無線ノードにおいて  $TP_i$  は  $N_i$  が無線信号を送信することが可能な電力、すなわち、上限送信電力以下であることが必要であり、 $RP_i$  は  $N_i$  が無線信号を受信することが可能な電力、すなわち、下限受信電力以上であることが必要である。

#### [電力制御経路探索プロトコル]

- 1)  $N_{i-1}$  の送信電力  $TP_{i-1}$  と受信電力  $RP_{i-1}$  を含む経路探索要求メッセージ  $Rreq$  を  $N_i$  が  $N_{i-1}$  から受信する。
- 2)  $N_i$  が  $Rreq$  メッセージをブロードキャスト送信済みであるならば終了。
- 3)  $N_i$  が  $Rreq$  メッセージをブロードキャスト送信済みでないならば、この  $Rreq$  メッセージの受信電力  $RP_i$  から自身の無線信号送信電力  $TP_i = TP_{i-1} RP_{i-1} / RP_i$  を算出する。
- 4)  $N_i$  の送信電力の最大値  $maxTP_i$  に対して、 $TP_i > maxTP_i$  であるならば、 $Rreq$  メッセージを送信せずに終了。
- 5)  $N_i$  は  $TP_i$  と  $RP_i$  を含む  $Rreq$  メッセージをブロードキャスト送信する。□

## 4 まとめ

本論文では、双方向にデータメッセージ群が配送される無線マルチホップ配送において、中継無線ノードのデータメッセージ転送にネットワークコーディングを導入するための RTS/CTS 制御手法を提案した。ここでは CTS メッセージ同士の衝突検知をそれらの受信と解釈する。これを可能とするために、各中継無線ノードの隣接中継無線ノードから同時並行に送信された制御メッセージの受信電力の差が閾値以下となるような送信電力制御を可能とする無線マルチホップ配送経路を検出するルーティングプロトコルを設計した。

## 参考文献

- [1] Deng, X. and Yang, Y., "An Efficient MAC Multicast Protocol for Reliable Wireless Communications with Network Coding," Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (2011).
- [2] 高橋, 小畑, 村瀬, 石田, "複数無線 LAN が密集した環境におけるキャプチャエフェクトを考慮したスループット向上に関する検討," 電子情報通信学会技術報告, vol. 114, no. 207, pp. 111-116 (2014).
- [3] 梅原, 田野, 寺倉, 杉山, "2 ホップ無線 CSMA ネットワークコーディングにおける RTS/CTS の効果," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 109, no. 276, pp. 65-70 (2009).