3U-07

# 無線マルチホップネットワークにおける双方向のデータメッセージ群配送のためのネットワークコーディング通信手法

青井 雄亮 † 桧垣 博章 †

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 †

## 1 はじめに

双方向のデータメッセージ群の無線マルチホップ配送における配送スループットを向上させる手法として, 中継無線ノードが双方向のデータメッセージを 1 つのデータメッセージにエンコードして転送するネットワークコーディング ($NC$) がある. $NC$ 適用時にも, 隠れ端末の関係にある 2 ホップ隣接中継無線ノードとのデータメッセージ同士の衝突を回避するために $RTS/CTS$ 制御を導入することが求められるが, 配送遅延の延長防止のために, この制御はより少ない追加オーバヘッドで実現されなければならない. そこで, 本論文では, $NC$ 適用時における配送遅延の延長を抑制する $RTS/CTS$ 制御メッセージの交換手法を提案する.

## 2 関連研究

データメッセージ群の単一経路に沿った双方向の無線マルチホップ配送において, 経路上の中継無線ノード $N_i$ が $NC$ したデータメッセージを隣接中継無線ノード $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ に転送する場合, $N_i$ は $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ に $RTS$ 制御メッセージを送信する. これを受信した $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ が直ちに $CTS$ 制御メッセージを返送すると, $N_i$ において $CTS$ 制御メッセージ同士の衝突が発生し, $N_i$ が正しく $CTS$ 制御メッセージを受信することができない (図 1). 同様に, $N_i$ からの $NC$ したデータメッセージを受信した $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ が直ちに $ACK$ 制御メッセージを返送すると, $N_i$ において $ACK$ 制御メッセージ同士が衝突してしまう.

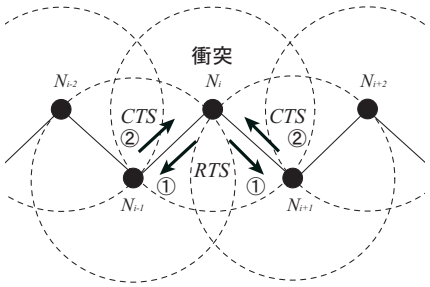


図 1: $CTS$ 制御メッセージの衝突.

COPE[2] では, $N_i$ からのデータメッセージを受信した $N_{i-1}$ , $N_{i+1}$ は次に $N_i$ に転送するデータメッセージに $ACK$ 制御メッセージをピギーバックすることで, $N_i$ における $ACK$ 制御メッセージ同士の衝突を回避する. しかし, $ACK$ 制御メッセージの返送タイミングがデータメッセージの転送要求発生タイミングに依存するため, 無用なデータメッセージの再送信が発生するという問題がある. NC-MAC[1] では, $NC$ したデータメッセージを転送する $N_i$ が, $N_{i-1}$ および $N_{i+1}$ の返送する $CTS$, $ACK$ 制御メッセージの送信順序を制御することで, $N_i$ における $CTS$ および $ACK$ 制御メッセージ同士の衝突を回避する. しかし, この手法は $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ が別々に制御メッセージを返送するため, 制御メッセージの交換に要する時間が延長するという問題がある.

## 3 提案手法

### 3.1 制御メッセージの衝突による受理

本提案手法では, $NC$ したデータメッセージを転送する $N_i$ が, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ を送信先とする $RTS$ 制御メッセージをブロードキャストする. これを受信した $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ はデータメッセージの受信が可能であるならば, $CTS$ 制御メッセージを $N_i$ へユニキャストする. ここで, $CTS$ 制御メッセージが返送されるパターンとして, 双方が $CTS$ 制御メッセージを返送する, 一方のみが $CTS$ 制御メッセージを返送する, 双方が $CTS$ 制御メッセージを返送しないという 3 通りが考えられる (図 2).

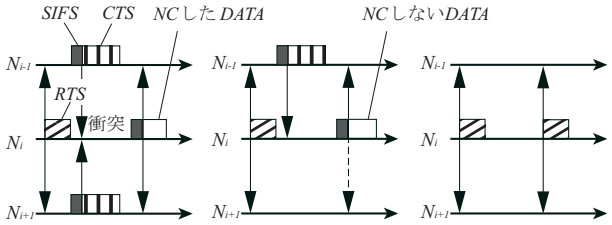


図 2: $CTS$ 制御メッセージの衝突による受理.

$N_i$ において衝突が発生するのは, 双方が $CTS$ 制御メッセージを返送する場合のみであることから, $CTS$ 制御メッセージ同士の衝突を検出した $N_i$ は, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ がともに $CTS$ 制御メッセージを返送したものと判断し, $NC$ し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する. 一方, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ のいずれかのみが $CTS$ 制御メッセージを返送する場合, $N_i$ はこの $CTS$ 制御メッセージを他の $CTS$ 制御メッセージと衝突することなく受信する. この時, $N_i$ は $CTS$ 制御メッセージを返送した隣接中継無線ノードにのみデータメッセージを転送する. また, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ のいずれも $CTS$ 制御メッセージを返送しない場

**Network Coding Protocol for Bi-directional Traffic Flows in Wireless Multi-hop Network**

†Yusuke Aoi and †Hiroaki Higaki

†Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University



Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

合には, $N_i$ が $RTS$ 制御メッセージを再送信する.

$ACK$ 制御メッセージについても衝突を検知することによって受理することができる. $NC$ したデータメッセージを $N_i$ が $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ へ転送する場合, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ はデータメッセージの受信に成功したならば $N_i$ に $ACK$ 制御メッセージを返送する. ここで, $ACK$ 制御メッセージが返送されるパターンとして, 双方が $ACK$ 制御メッセージを返送する, 一方のみが $ACK$ 制御メッセージを返送する, 双方が $ACK$ 制御メッセージを返送しないという 3 通りが考えられる. $N_i$ において $ACK$ 制御メッセージが衝突するのは $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ がともに $ACK$ 制御メッセージを返送する場合のみであることから, 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 $ACK$ 制御メッセージを返送したものと判断することができる. 一方, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ のいずれかのみが $ACK$ 制御メッセージを返送する場合, $N_i$ はこの $ACK$ 制御メッセージを正しく受信する. そこで, $ACK$ 制御メッセージを正しく受信した $N_i$ は $ACK$ 制御メッセージを返送した隣接中継無線ノードにのみデータメッセージが正しく転送されたと判断し, もう一方の隣接中継無線ノードに $RTS$ 制御メッセージを再送信する. また, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ のいずれも $ACK$ 制御メッセージを返送しない場合には, $N_i$ が 双方の隣接中継無線ノードに対して $RTS$ 制御メッセージを再送信する.

このように, 提案手法では $N_i$ が, $CTS$ および $ACK$ 制御メッセージが $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ の双方から送信されたことをこられの衝突によって検出する. これによって, 前章で述べた従来手法のようなデータメッセージの配送遅延の延長を回避することができる.

### 3.2 $ACK/RTS$ の重畳による連続コーディング

無線マルチホップ配送では, $N_i$ からのデータメッセージを受信した $N_{i+1}$ は, $N_i$ に $ACK$ 制御メッセージを送信後, $N_{i+2}$ へこのデータメッセージを転送するが, $N_{i+2}$ はこの $ACK$ 制御メッセージを傍受可能である. また, $N_{i+1}$ が $N_i$ へのデータメッセージをバッファに保持するならば, $NC$ を適用してこれらのデータメッセージを転送する. そこで, この $ACK$ 制御メッセージに $RTS$ 制御メッセージの役割を重畳し, $ACK/RTS$ 制御メッセージとして送信することで, データメッセージ転送のオーバヘッドを削減する手法を提案する. しかし, $N_i$ が $NC$ したデータメッセージを $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ に転送し, $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ が $ACK/RTS$ 制御メッセージを送信する場合を考えると, $N_i$ において $ACK/RTS$ 制御メッセージが衝突するため, $N_i$ における $CTS$ 制御メッセージの返送方法の決定が問題となる.

本提案手法ではこの問題を解決するために, 衝突した $ACK/RTS$ 制御メッセージにおいて自身への $RTS$ 制御メッセージが重畳されていないと $N_i$ が推定する場合は $CTS$ 制御メッセージを返送しない (図 3). このとき, $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ は $N_{i-2}$, $N_{i+2}$ から正しく受信 $CTS$ 制御メッセージを受信できるため, データメッセージの転送を開始する. なお, $N_i$ においてデータメッセージの衝突が発生するが, 衝突するデータメッセージは $N_i$ を転送先とするデータメッセージではないため, この衝突は問題とならない. また, 少なくとも一方の $ACK/RTS$ 制御メッセージに自身への $RTS$ 制御メッセージが重畳されていると $N_i$ が推定する場合は, $N_i$ が $CTS$ 制御メッセージを返送する. (図 3). このとき, $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ において $CTS$ 制御メッセージの衝突が発生する. $CTS$ 制御メッセージの衝突を検知した $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ は $N_i$ から受信した $NC$ したデータメッセージを参照する. 自身の $MACAddress$ が $DestinationAddress1$ に書かれている場合はデータメッセージの転送を開始し, $DestinationAddress2$ に書かれている場合はデータメッセージの転送を待機することで, $N_i$ におけるデータメッセージの衝突を回避する.

衝突した $ACK/RTS$ 制御メッセージに自身への $RTS$ 制御メッセージが重畳されているかを $N_i$ が推定する手法として, $ACK$ 制御メッセージの傍受を用いる. $N_i$ からの $NC$ したデータメッセージを受信した $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ が $N_i$ への $RTS$ 制御メッセージを $ACK/RTS$ 制御メッセージに重畳するのは, $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ があらかじめ $N_{i-2}$, $N_{i+2}$ からデータメッセージを受信し, バッファに保持している場合のみである. ここで, $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ が $N_{i-2}$, $N_{i+2}$ に返送する $ACK$ 制御メッセージは $N_i$ が傍受可能であることから, $N_i$ はこの傍受記録と $N_{i-1}$, $N_{i+1}$ から $N_i$ へのデータメッセージ転送記録とを比較することで, $N_{i-1}$ と $N_{i+1}$ のバッファを推定することができる.

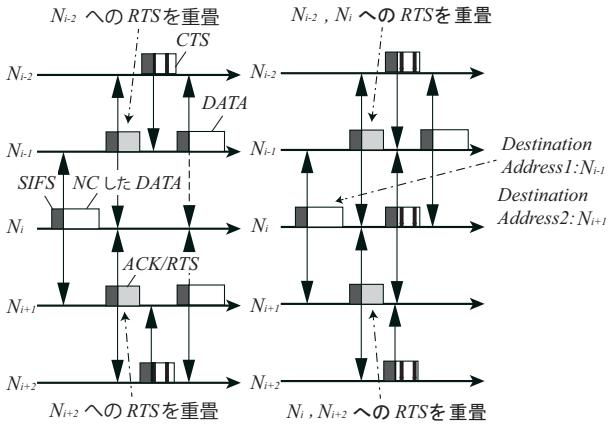


図 3: $ACK/RTS$ 重畳による連続コーディング.

## 4 まとめ

本論文では, $NC$ 導入時における配送遅延の延長を抑制する $RTS/CTS$ 制御メッセージ交換を実現する手法として, $CTS$ および $ACK$ 制御メッセージ同士の衝突を検知することで, 隣接中継無線ノードからこれらの制御メッセージが返送されたと判断する手法を提案した. また, $NC$ したデータメッセージを受信した隣接中継無線ノードがその次ホップ隣接中継無線ノードへとデータメッセージを転送するための制御メッセージ交換を削減する手法を提案した.

## 参考文献

[1] Deng, X. and Yang, Y., "An Efficient MAC Multicast Protocol for Reliable Wireless Communications with Network Coding," IEEE Global Telecommunications Conference (2011).

[2] Katti, S., Rahul, H., Hu, W., Katabi, D., Medard, M. and Crowcroft, J., "XORs in The Air: Practical Wireless Network Coding," Proceedings of the International Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, vol. 36, no. 4, pp. 243–254 (2006).



Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.