

# 交差する無線マルチホップ配送経路における キャプチャエフェクトの考慮による配送性能改善

根岸 直希<sup>†</sup> 桧垣 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

無線マルチホップネットワークでは、送信元ノードから送信先ノードまでの隣接ノード列から構成される無線マルチホップ配送経路を検出、構築し、この経路に沿ってデータメッセージを配送する。ある中継ノードがデータメッセージを次ホップ中継ノードに転送するときに、同時並行にこの次ホップ中継ノードのいずれかの隣接ノードが無線信号を送信すると、この次ホップ中継ノードで衝突が発生し、転送されたデータメッセージの受信に失敗する。衝突を回避するために IEEE802.11 等の無線 LAN プロトコルでは、RTS/CTS 制御を導入している。しかし、衝突回避を隣接ノード群のメッセージ送信待機によって実現しているために、データメッセージの配送遅延の延長を逃れることはできない。

## 2 関連研究

無線マルチホップ通信では、データメッセージ群の配送要求の発生にともなって無線マルチホップ配送経路を探索、検出、構築するオンデマンド型のプロトコルが広く用いられている。複数の無線マルチホップ配送経路が近接する、すなわち、異なる配送経路を構成する中継ノードが互いに無線信号到達範囲に含まれる場合には、これらが送受信するデータメッセージが互いに衝突し、再送信されることによる配送遅延の延長を回避するために、CSMA/CA に加えて RTS/CTS 制御を導入するが、メッセージ送信待機による性能低下の問題がある。既存のルーティングプロトコルでは既存配送経路に対して交差する配送経路を検出するような送信元ノード、送信先ノード、既存配送経路の配置においては、送信元ノードから送信先ノードへの既存配送経路と交差しない迂回配送経路を探索、検出、構築するルーティングプロトコルが提案されている [2][3]。ここでは、構築された配送経路に沿ったデータメッセージ配送によって、異なる配送経路間の干渉を回避することは可能となるが、一般的には配送経路長が延長することによって配送遅延が延長し、電力消費量が增大する。

## 3 提案手法

### 3.1 交差点近傍における並行転送

図 2 に示すような 2 つの無線マルチホップ配送経路  $R, R'$  の無線リンク  $N_i N_{i+1}, N'_i N'_{i+1}$  で交差する場合を考える。このとき、 $N_{i+1}$  が  $N_i$  の無線信号到達範囲

に含まれることから、 $N'_i$  と  $N'_{i+1}$  とがともに  $N_i$  の無線信号到達範囲に含まれないことは稀であり、さらに多くの場合  $N'_i$  と  $N'_{i+1}$  とがともに  $N_i$  の無線信号到達範囲に含まれる。  $N_{i+1}$  に対しても同様の考察が可能であることから、 $N_i, N_{i+1}, N'_i, N'_{i+1}$  は互いに無線信号到達範囲に含まれる可能性が高い。この場合、例えば  $N_{i-1}$  から  $N_i$  へのデータメッセージ転送を行なうために RTS/CTS 制御を適用すると、 $N_i$  が送信する CTS を受信する  $N_{i+1}, N'_i, N'_{i+1}$  はすべて NAV (Network Allocation Vector) を設定してメッセージの送信を待機する。その結果、無線リンク  $|N_i N_{i+1}\rangle, |N_{i+1} N_{i+2}\rangle, |N'_{i-1} N'_i\rangle, |N'_i N'_{i+1}\rangle, |N'_{i+1} N'_{i+2}\rangle$  を通したデータメッセージ転送はすべて待機しなければならない。

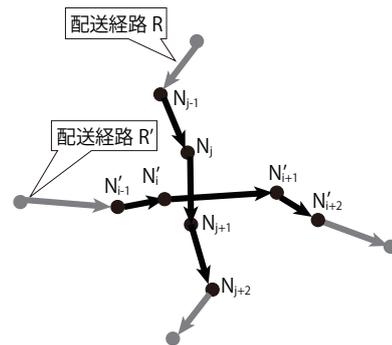


図 1: 交差点近傍の中継ノード間干渉。

ところが、SIR モデル [1] に示されるように、ノードが異なる隣接ノードから同時並行に送信される無線信号の到達範囲に含まれている場合においても、その受信電力に閾値以上の差異があれば、受信電力の大きな無線信号を受信することが可能となるキャプチャエフェクトが発生する。この影響を考慮すると、無線リンク  $|N_{i-1} N_i\rangle, |N_i N_{i+1}\rangle, |N_{i+1} N_{i+2}\rangle, |N'_{i-1} N'_i\rangle, |N'_i N'_{i+1}\rangle, |N'_{i+1} N'_{i+2}\rangle$  の一部は中継ノードの配置によってデータメッセージを同時並行に転送することが可能である。

$[|N_{i-1} N_i\rangle$  と  $|N'_{i-1} N'_i\rangle]$   $N_i$  と  $N'_i$  とが互いに無線信号到達範囲に含まれることから、これらが送信する CTS, ACK とこれらが受信するデータメッセージとがこれらのノードで衝突することが考えられる。ただし、 $|N_{i-1} N_i\rangle < |N_i N'_i\rangle$  であるならば、 $N_{i-1}$  と  $N'_i$  とが同時並行にメッセージを送信しても  $N_i$  は  $N_{i-1}$  からのメッセージをキャプチャエフェクトによって受信することが可能であり、 $|N'_{i-1} N'_i\rangle < |N_i N'_i\rangle$  であるならば、 $N'_{i-1}$  と  $N_i$  とが同時並行にメッセージを送信しても  $N'_i$  は  $N'_{i-1}$  からのメッセージをキャプチャエフェクトによって受信することが可能である。

Performance Improvement of intersecting wireless multihop transmissions under Consideration of Capture Effect

<sup>†</sup>Naoki Negishi and <sup>†</sup>Hiroaki Higaki

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

$[|N_{i+1}N_{i+2}|$ と $|N'_{i+1}N'_{i+2}|]$   $N_{i+1}$ と $N'_{i+1}$ とが互いに無線信号到達範囲に含まれることから、これらが送信するデータメッセージとこれらが受信する *CTS*, *ACK* とがこれらのノードで衝突することが考えられる。ただし、 $|N_{i+1}N_{i+2}| < |N_{i+1}N'_{i+1}|$  であるならば、 $N_{i+2}$ と $N'_{i+1}$ とが同時並行にメッセージを送信しても $N_{i+1}$ は $N_{i+2}$ からのメッセージをキャプチャエフェクトによって受信することが可能であり、 $|N'_{i+1}N'_{i+2}| < |N_{i+1}N'_{i+1}|$  であるならば、 $N'_{i+2}$ と $N_{i+1}$ とが同時並行にメッセージを送信しても $N'_{i+1}$ は $N'_{i+2}$ からのメッセージをキャプチャエフェクトによって受信することが可能である。 $[|N_{i-1}N_i|$ と $|N'_{i+1}N'_{i+2}|]$   $N_i$ と $N'_{i+1}$ とが互いに無線信号到達範囲に含まれることから、 $N_i$ が送信する *CTS*, *ACK* と $N'_{i+1}$ が受信する *CTS*, *ACK* が $N'_{i+1}$ で衝突する、あるいは、 $N'_{i+1}$ が送信するデータメッセージと $N_i$ が受信するデータメッセージが $N_i$ で衝突することが考えられる。ただし、 $|N'_{i+1}N'_{i+2}| < |N_iN'_{i+1}|$  であるならば、 $N'_{i+2}$ と $N_i$ とが同時並行にメッセージを送信しても $N'_{i+1}$ は $N'_{i+2}$ からのメッセージをキャプチャエフェクトによって受信することが可能であり、 $|N_{i-1}N_i| < |N_iN'_{i+1}|$  であるならば、 $N_{i-1}$ と $N'_{i+1}$ とが同時並行にメッセージを送信しても $N_i$ は $N_{i-1}$ からのメッセージをキャプチャエフェクトによって受信することが可能である。なお、[4]では、経路内におけるキャプチャエフェクトを考慮した並行転送のための条件、すなわち、無線リンク $|N_{i-1}N_i|$ と $|N_{i+1}N_{i+2}|$ とで同時並行のデータメッセージを配送するための条件が示されている。

### 3.2 交差経路探索

前節で述べたように、交差配送経路間でデータメッセージを並行転送する機会をより多くすることによって、配送遅延の延長をより縮小した交差配送経路を実現することができる。既存配送経路 $R'$ に交差する配送経路 $R$ を経路探索制御メッセージ *Rreq* のフラッディングによって探索、検出、構築するためには、 $|N'_iN'_{i+1}|$ と適切に交差する無線リンク $|N_iN_{i+1}|$ を選択することが求められる。そこで、*Rreq*を受信した $N_i$ ,  $N_{i+1}$ が並行転送機会の提供という観点から自身の優先度を評価し、それに応じて *Rreq* の受信から *Rreq* のブロードキャスト送信までの待ち時間を設定する手法を提案する。

ここで、各ノードは隣接ノードとの間の最新の距離情報を取得していることを仮定する。経路 $R'$ が構築される時 $N_i$ は、 $N'_{i+1}$ および $N'_i$ が送信する経路探索応答制御メッセージ *Rrep* を傍受する。この *Rrep* に、 $R'$ における前後ホップの無線リンク長(中継無線ノード間距離)をビジーバックすることによって、 $|N'_{i-1}N_i|$ ,  $|N'_{i+1}N_{i+2}|$ を得る。 $|N'_{i-1}N_i|$ ,  $|N'_{i+1}N_i|$ は保持していることから、 $N'_i$ ,  $N'_{i+1}$ におけるキャプチャエフェクトによる衝突回避を考慮したデータメッセージ並行配送の可能性を評価することができる。そして、 $N_i$ が $N_{i-1}$ から *Rreq*を受信したならば、 $|N_{i-1}N_i|$ が定められることから、 $N_i$ におけるキャプチャエフェクトによる衝突回避を考慮したデータメッセージ並行配送の可能性を評価することができる。これらの評価に基づいて $N_i$ 自身がデータメッセージの並行配送機会をより提供するノードであると判断したならば、短い待機時間の後に *Rreq* をブロードキャスト送信する。この待機時間は、フラッディングを用いたルーティングプロトコルの性質から、短く設定するほど自身を含む配送経路が検出

され易くするように作用する。すなわち、既存配送経路のデータメッセージ配送と無線リンク $|N_{i-1}N_i|$ を用いたデータメッセージ転送とがより並行に実施することが可能となるような $N_i$ を選択し易くする。

$N_{i+1}$ についても同様に、経路 $R'$ が構築される時に $N'_{i+1}$ および $N'_i$ が送信する *Rrep* を傍受し、 $|N'_{i-1}N_i|$ ,  $|N'_{i+1}N_{i+2}|$ を得る。 $|N'_{i-1}N_{i+1}|$ ,  $|N'_{i+1}N_{i+1}|$ は保持していることから、 $N'_i$ ,  $N'_{i+1}$ におけるキャプチャエフェクトによる衝突回避を考慮したデータメッセージ並行配送の可能性を評価することができる。そして、 $N_{i+1}$ が $N_i$ から *Rreq*を受信したならば、この評価に基づいて $N_{i+1}$ 自身がデータメッセージの並行配送機会をより提供するノードであると判断したならば、短い待機時間の後に *Rreq* をブロードキャスト送信する。この待機時間は、フラッディングを用いたルーティングプロトコルの性質から、短く設定するほど自身を含む配送経路が検出され易くするように作用する。すなわち、既存配送経路のデータメッセージ配送と無線リンク $|N_{i+1}N_{i+2}|$ を用いたデータメッセージ転送とがより並行に実施することが可能となるような $N_{i+1}$ を選択し易くする。

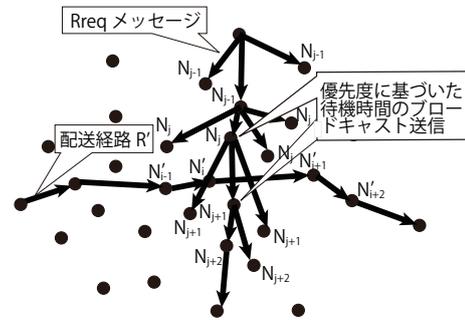


図 2: ルーティングプロトコル

## 4 まとめ

本論文では、既存配送経路と交差する新規配送経路を検出する手法を提案した。これらの経路の交差無線リンクの前後無線リンクにおけるデータメッセージ配送の並行性を経路検出の指標とすることを提案し、これを用いるルーティングプロトコルの概略を示した。これらの経路に沿ったデータメッセージ配送には[?]の2種類のNAVを導入することによって拡張されたRTS/CTS制御手法を用いる。本手法によるデータメッセージ配送性能を従来ルーティングによる交差配送経路を用いる場合、迂回配送経路を用いる場合と比較評価することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Gupta, P. and Kumar, P.R., "The Capacity of Wireless Networks," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, pp. 388-404 (2000).
- [2] Kaji, K. and Yoshihiro, T., "Adaptive Rerouting to Avoid Local Congestion in MANETs," 2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1-6 (2017).
- [3] Sungoh, K., "Energy-Efficient SINR-Based Routing for Multihop Wireless Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 8, No. 5, pp. 668-681 (2009).
- [4] 山崎, 松垣, "キャプチャエフェクトの考慮による無線アドホック通信の並行性向上手法," 情報処理学会研究報告 (2022).