

リアクティブ型 TDMA アドホックルーティングにおける 配送スケジュールを考慮したスロット割当て手法の効果*

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†
津村 周典 桧垣 博章‡

1 はじめに

無線マルチホップ配送によってデータメッセージを送信元無線ノードから送信先無線ノードへと配送するアドホックネットワーク、メッシュネットワーク、センサネットワークでは、エンドエンド配送遅延のより小さなデータメッセージ配送が求められている。ブロードキャストを基礎とする無線通信では、隣接無線ノードが通信媒体を共有しているために同時に送信した無線信号は衝突し、データメッセージを正しく配送することができない。衝突を回避する機構として CSMA/CA が多くの無線 LAN プロトコルに導入されているが、衝突回避のためにランダムに定められるバックオフ時間が配送遅延拡大の一因にもなり得るという問題がある。無衝突の無線マルチホップネットワークを構成する手法として TDMA (Time Division Multiple Access) の導入がある。これまでに無線マルチホップ配送経路の有無とは無関係にすべての無線ノードにスロットを割当てるプロアクティブ型スロット割当て手法と存在する無線マルチホップ配送経路に含まれる無線ノードにのみスロットを割当てるリアクティブ型スロット割当て手法とが提案されている。我々は、論文 [2] で割当て成功率を改善するリアクティブ型スロット割当て手法とその実現プロトコルを設計したが、ここでは各中継無線ノードが使用可能なスロットが複数存在する場合には任意に選択可能としている。本論文では、配送スケジュールを考慮することでよりエンドエンド配送遅延を短縮する割当てスロット選択手法を導入する。このような選択は、マルチホップ配送経路の有無とは無関係にスロットを割当てるプロアクティブ型スロット割当て手法を導入することは不可能であり、リアクティブ型手法の有効性をより高めることができるものである。

2 関連研究

プロアクティブ型スロット割当て手法では、隣接無線ノード間の衝突および隠れ端末の関係にある 2 ホップ隣接無線ノード間の衝突を回避するために、各無線ノードに隣接無線ノードおよび 2 ホップ隣接無線ノードとは異なるスロットを割当てる。このため、マルチホップ配送要求頻度とは無関係に、無線ノード密度の高い環境ではスロット割当て成功率が低下する問題がある。この問題を解決するために ASAP [1] ではスロット数を隣接ノード数に応じて動的に変更する手法を導入しているが、スロット周期が拡大し、配送遅延が延長する。一方、リアクティブ型スロット割当て手法では、

いずれの経路にも含まれない無線ノードにはスロットを割当てる必要がないため、割当て成功率が無線ノードの密度に依存しない。また、論文 [2] で提案した手法では、2 ホップ隣接無線ノードが使用しているスロットであっても衝突がマルチホップ配送経路に含まれない無線ノードでのみ発生する場合には同一のスロット割当てを可能とすることによって、より高い割当て成功率を実現する。

3 配送遅延短縮手法

各無線ノードは、各 TDMA スロット割当て手法における衝突、競合を発生しない条件を満足するスロットが複数ある場合には、それらのうちの任意のものを選択することができる。論文 [2] で提案したリアクティブ型スロット割当て手法では、アクティブな無線マルチホップ配送経路の各無線通信リンクに対してスロットを割当てる手法である。ここで、設計したスロット割当てプロトコルでは、無線マルチホップ配送経路 R の中継無線ノード M_i において、無線通信リンク $|M_{i-1}M_i|$ への割当てスロットが決定した後に無線通信リンク $|M_iM_{i+1}|$ への割当てスロットを決定する。 N_s 個のスロット $\{s_0, \dots, s_{N_s-1}\}$ があり、 $|M_{i-1}M_i|$ への割当てスロットが $s_{|M_{i-1}M_i|}$ 、 $|M_iM_{i+1}|$ への割当てスロットが $s_{|M_iM_{i+1}|}$ であるならば、各データメッセージは M_i において $T_w = (s_{|M_iM_{i+1}|} - s_{|M_{i-1}M_i|} \bmod N_s) \Delta$ (Δ はスロットタイム) だけの転送待ち時間を要することになる。したがって、割当て可能なスロットのうち $s_j - s_{|M_{i-1}M_i|} \bmod N_s$ を最小とするスロット s_j を $|M_iM_{i+1}|$ に割当てることによってマルチホップ配送遅延を短縮することができる。無線マルチホップ配送経路の有無とは無関係にすべての無線ノードにスロットを割当てるプロアクティブ型スロット割当て手法では、このようなマルチホップ配送遅延短縮を行なうことはできない。

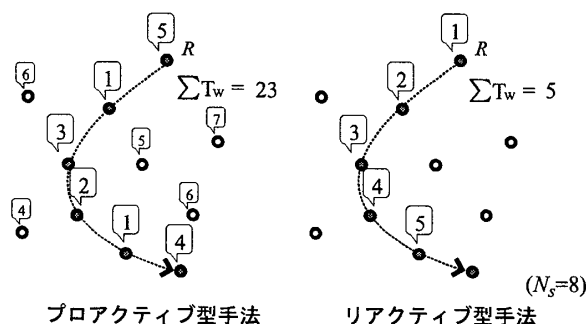


図 1: 転送待ち時間

*Evaluation of TDMA Slot Assignment for Shorter Transmission Delay in Reactive Protocol for MANETS

†Tokyo Denki University

‡Shusuke Tsumura and Hiroaki Higaki

4 スロット割り当てプロトコル

前章で提案した手法に基づく無線通信リンク $|M_i M_{i+1}|$ へのスロット割り当てプロトコルの概略は以下の通りである。ただし、 M_i およびその隣接無線ノードがデータメッセージを受信するために割り当てているスロットの集合を RS_i 、 M_{i+1} およびその隣接無線ノードがデータメッセージを送信するために割り当てているスロットの集合を SS_{i+1} とする。

- 1) M_i は RS_i および $|M_{i-1} M_i|$ に割り当てたスロット s を含む $Sreq$ メッセージを M_{i+1} にユニキャスト送信する。
- 2) M_{i+1} は $RS_i \cup SS_{i+1}$ に含まれないスロット s_j のうち $s_j - s \bmod N_s$ が最小となるスロット s_j を $|M_i M_{i+1}|$ の割り当てスロットとする。
- 3) M_{i+1} は RS_{i+1} を更新するとともに隣接無線ノードに RS の更新を要求する RS^+req メッセージをブロードキャスト送信する。
- 4) M_{i+1} は s_j を含む $Sreq$ メッセージを M_i へユニキャスト送信する。
- 5) M_i は SS_i を更新するとともに隣接無線ノードに SS の更新を要求する SS^+req メッセージをブロードキャスト送信する。□

5 評価

本章では、本論文で提案する配送スケジュールを考慮したリアクティブ型スロット割り当て手法が無線マルチホップ配送のエンドエンド配送遅延を短縮することをプロアクティブ型スロット割り当て手法と比較評価することで確認する。シミュレーション領域は $1,000\text{m} \times 1,000\text{m}$ の正方形領域とし、300-1,000 台の無線ノードを一様分布乱数を用いてランダムに配置する。各無線ノードの無線信号到達距離は 100m とし、無線マルチホップ配送経路は AODV を用いて探索するものとする。無線マルチホップネットワーク内では、通信要求が平均間隔 0.1 秒および 0.2 秒のポアソン過程によって発生し、送信元無線ノード、送信先無線ノードはランダムに決定されるものとする。また、通信時間は平均 1.0 秒の指数分布に従うものとする。提案するリアクティブ型スロット予約手法ではスロット数を 8 で固定、プロアクティブ型スロット割り当て手法のひとつである ASAP では最小スロット数を 4 として動的にスロット数を変更するものとする。

測定結果を図 2 と図 3 に示す。提案手法では、ASAP に対して一貫してマルチホップ配送遅延が短縮されている。これは、3 章で述べた通り、提案手法が各中継無線ノードにおける転送待ち時間が最小となるスロットを選択して割り当てているのに対して、ASAP がマルチホップ配送経路の有無に無関係にスロットを割り当てていることによるものである。また、提案手法におけるマルチホップ配送遅延はノード密度によらずほぼ一定であるのに対して、ASAP ではノード密度が高い環境ではより大きなマルチホップ配送遅延を要することが分かる。これは、ASAP が通信要求の有無に無関係にスロットを割り当てる一方、2 ホップ隣接無線ノードとは同一のスロットを割り当てることはできないという制約から、ノード密度が高い環境ではスロット数を増加させる必要が生じ、スロット周期が延長することによ

て各中継無線ノードにおける転送待ち時間が延長することによるものである。測定範囲全体の平均では、提案手法は送信要求発生頻度によらず 83.6% の配送遅延短縮を実現している。

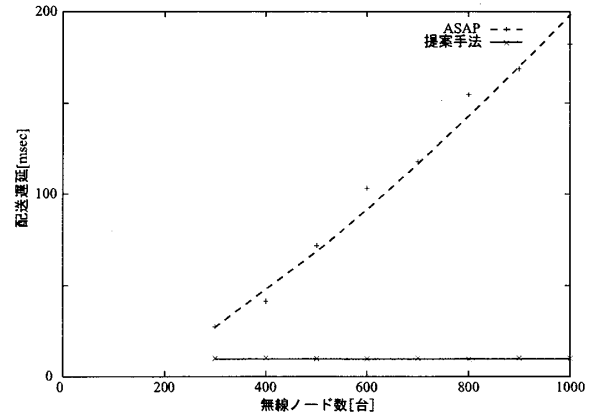


図 2: 通信遅延の測定結果 (通信要求平均間隔 0.1 秒)

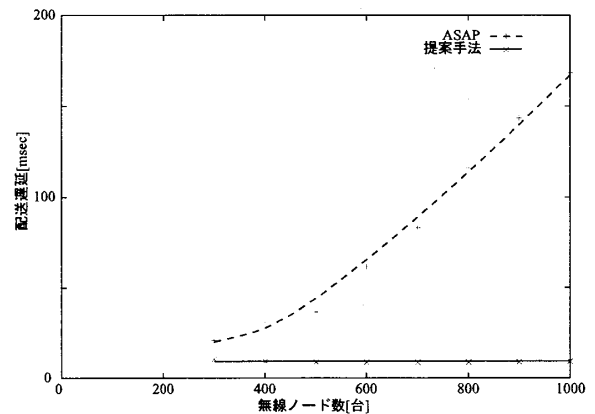


図 3: 通信遅延の測定結果 (通信要求平均間隔 0.2 秒)

6 まとめ

本論文では、無線マルチホップネットワークにおける無衝突データメッセージ配送を実現するための TDMA 手法の導入において、高いスロット割り当て成功率を実現するリアクティブ型スロット割り当て手法を対象としてマルチホップ配送遅延を短縮するための配送スケジュールを考慮したスロット割り当て手法を提案した。本手法は、従来のプロアクティブ型スロット割り当て手法には適用することができない。シミュレーション実験によってマルチホップ配送遅延を平均 83.6% 短縮することを確認した。

参考文献

- [1] 神崎, 上向, 原, 西尾, “アドホックネットワークにおける端末数の変化に応じた TDMA スロット割り当て手法,” 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 3, pp. 824-837 (2004).
- [2] 津村, 桧垣, “マルチホップ経路の存否に基づく TDMA スロット割り当て手法,” 情報処理, Vol. 2007, No. 91, pp. 73-78 (2007).