

無線マルチホップネットワークのための自律分散型 QoS 保証方式

代表研究者 小室 信喜 千葉大学大学院融合科学研究科 助教

1 はじめに

無線マルチホップネットワークは、ノードを中継局として利用することで、固定インフラに依存せずに、より広い範囲にネットワークサービスを提供することができる。しかし、無線マルチホップネットワークでは、無線シングルホップネットワークと比較して、隠れ端末によるフレーム衝突やチャネルの共有による送信機会の現象によって、ネットワーク容量が大幅に低下するおそれがある。ネットワーク容量以上の負荷が与えられた場合、ロスや遅延が発生し、安定したネットワークサービスの提供が困難になる。

一方、音声や動画などのマルチメディア通信の普及に伴い、優先データの品質を保証する、QoS (Quality of Service) 制御の実現が課題となっている。このため、IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function) [1] の QoS への拡張として、IEEE 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) [2] が規定されている。しかし、IEEE 802.11e EDCA は優先クラスの最大数が 4 に限定されているため、同じクラスのデータ間の優先制御が困難である。高負荷時には QoS の保証が困難であるという課題もある。

また、IEEE 802.11e EDCA のようにデータごとに送信頻度パラメータを変更することによって QoS 制御を行う方式は、非優先データが流入する割合が高くなってしまふ可能性がある。無線マルチホップネットワークにおいては、トラフィックがネットワーク容量を超える負荷であった場合、ネットワーク内で副層が派生する。そのため、ネットワークに流入したフレームが破棄され、多くの通信が無駄になる。ネットワークリソースが多く消費され、QoS の維持が困難となる。したがって、ネットワークの末端に位置する端末において、トラフィック量を制御することが効率的であると考えられる。

本研究では、無線マルチホップネットワークにおいて、非優先トラフィックに対して流量制御を行うことによって、優先データの QoS を保証する方式を提案する。提案方式では、ネットワーク容量を推定し、それに応じて送受信機会を制御し、動的に QoS を制御する。提案方式では、トラフィック状況に応じて非優先トラフィックの流量が制限され、優先トラフィックの QoS が保証される。計算機シミュレーションにより、提案方式の有効性を示す。

2 関連研究

2-1 送受信機会制御

送受信機会制御とは、受信端末が意図的に確認応答信号(ACK)を返信しないことによって、QoS 制御を行う方式である[3]。送信端末は、ACK が返信されない場合、送信が失敗したと判断し、フレームを再送する。このとき、DCF の機能によって、バックオフ時間を増大させ、ACK が返信されなかった送信端末の送信機会が減少する。非優先データに対して、意図的に ACK を返信しないことによって、結果的に優先データの送信機会が増大する。ここでは、ACK を返信しない制御を確率的に行う。ACK を返信しない確率を変更することによって、柔軟に QoS を制御することができる。しかし、ACK を返信しない確率はあらかじめ設定しておく必要があるため、設定した値が高い場合、非優先トラフィックを必要以上に制限してしまう場合がある。このため、ネットワーク全体のスループットが低下する可能性がある。

2-2 RTCP

RTCP とは、無線マルチホップネットワークにおいて、送受信間で End-to-End のフィードバック情報をやり取りするためのプロトコルである。音声や動画を想定した優先データのサービスでは、トランスポート層のプロトコルとして、UDP (User Datagram Protocol) と RTP (Real-time Transport Protocol) が用いられる。RTP ヘッダにタイムスタンプやシーケンス番号を付加して送信することで、受信側でフレームロス率や遅延等を測定することができる。このとき、送信側では、ネットワークの状況を確認することができないため、RTCP を用いて受信側のフレームロス率や遅延等、通信品質に関する情報をフィードバックする。送信側

は、RTCP から得られるフィードバック情報によって、ネットワークの状況に適した送信レート制御が可能になる[4]。

しかし、RTP を用いない非優先データがネットワークを圧迫することによって、非優先データの送信レートよりも先に優先データの送信レートが低下してしまう可能性がある。そのため、非優先データに対して、流量を制御する必要がある。

3 提案方式

提案方式では、ネットワークの末端に位置する端末が RTCP を用いてネットワーク容量を推定し、そのネットワーク容量以上のトラフィックを流さない、かつ優先データのトラフィックを圧迫しないように送受信機会制御を行う。解析モデルを用いて ACK を返信しない確率を設定し、ネットワークトラフィックの変化に対応して非優先データの流量を制限し、優先データの QoS を保証する。

3-1 RTCP を利用したネットワーク容量の推定

提案方式では、ネットワークの末端に位置する端末が、受信端末から送信端末への RTCP パケットのフィードバック情報をモニタリングすることで、ネットワーク容量を推定する。末端端末は、受信側から定期的に送信される RTCP パケットをモニタリングし、優先データの End-to-End のパケットロス率を取得する。 i 番目のフィードバックされた RTP パケットに記載されているロス率 L_i のうち、最大値 (L_{max}) を計算に用いる。末端端末は、送受信機会制御前のトータルスループットを Th を計測し、ネットワーク容量を式(1)により決定する。

$$Th_{NW} = Th \times (1 - L_{max}) \quad (1)$$

3-2 ACK を返信しない確率の決定

文献[5]、[6]:では、IEEE 802.11 DCF シングルホップネットワークにおける飽和トラフィックの最大スループット解析がされている。提案方式では、このモデルを用いて、ネットワーク容量を最大限利用できるように、ACK を返信しない確率を決定する。

端末 i のフレーム衝突率を p_i 、端末に対して ACK を返信しない確率を x_i とすると、端末 i の送信確率 P_i は式(2)で表わされる。

$$P_i = \frac{2(1-2p_i)}{(1-2p_i)(W+1) + p_i W(1-(2p_i)^b)}$$

$$p_i \approx x_i \quad (2)$$

$$W = CW_{\min}$$

ここで、 b は最大バックオフステージ数を示す。本解析では、以下を仮定する。

(1) フレーム衝突率 p_i が x_i に近似できる。これは、無線マルチホップネットワークの容量が無線シングルホップネットワークの容量と比較して、極端に小さくなるため、送受信機会制御を行う場合に x_i を大きく設定することになり、非優先データのスループットが減少することによって、トラフィックが余る。その結果、フレーム衝突が起こる確率が非常に低くなるためである。

(2) 非優先トラフィックは飽和している。つまり、常に送信すべきデータを持っていることを仮定する。これは、文献[5]のスループット解析モデルの仮定と同様である。

最大スループット S は式(3)で表わされる。

$$S = \sum_{i=1}^M \frac{P_{si} E[P]}{P_c T_c + P_{idle} ST + P_s T_s} + \sum_{i=1}^N Th_i \quad (3)$$

$$P_{si} = (1 - x_i) P_{ti} \prod_{j \neq i}^M (1 - P_{tj}),$$

$$P_s = \sum_{i=1}^M P_{si},$$

$$P_{idle} = \prod_{i=1}^M (1 - P_{ti}),$$

$$P_c = 1 - P_{idle} - P_s,$$

$$T_s = DATA + SIFS + ACK + DIFS,$$

$$T_c = DATA + DIFS,$$

$$ST = SlotTime$$

ここで、 Th_i は優先端末 i に対する要求スループット、 M は非優先端末数、 N は優先データ数、 P_{si} は端末 i の送信成功確率、 P_s は任意のスロットにおける送信成功確率、 P_{idle} は任意のスロットにおけるアイドル確率、 P_c は任意のスロットにおける送信失敗確率、 ST はスロット時間、 $E[P]$ はペイロード長、 T_s は送信成功時間、 T_c は送信失敗時間を示す。式(3)の S に、式(2)で求めた Th_{NW} を代入し、数値的に解くことによって送受信機会制御における確率 x_i を求める。 x_i は、優先端末の要求スループットを確保するための、非優先データに対するACKを返信しない確率である。提案方式では、設定した感覚ごとに、 x_i を求める。その結果、トラフィックに応じて非優先データの流量が制限され、優先端末が要求するスループットが満足される。

4 シミュレーション評価

4-1 シミュレーション環境

提案方式の有効性を示すため、シミュレーションによる評価を行う。シミュレーションで用いるネットワークポロジを図1に示す。送信端末数は6台(優先端末数1台、非優先端末数5台)とする。表1にシミュレーション諸元を示す。優先端末の要求スループットは、0.5 [Mbps] (0 から 30 秒)、0 [Mbps] (30 秒から 60 秒)、0.5 [Mbps] (60 秒から 90 秒)とする。

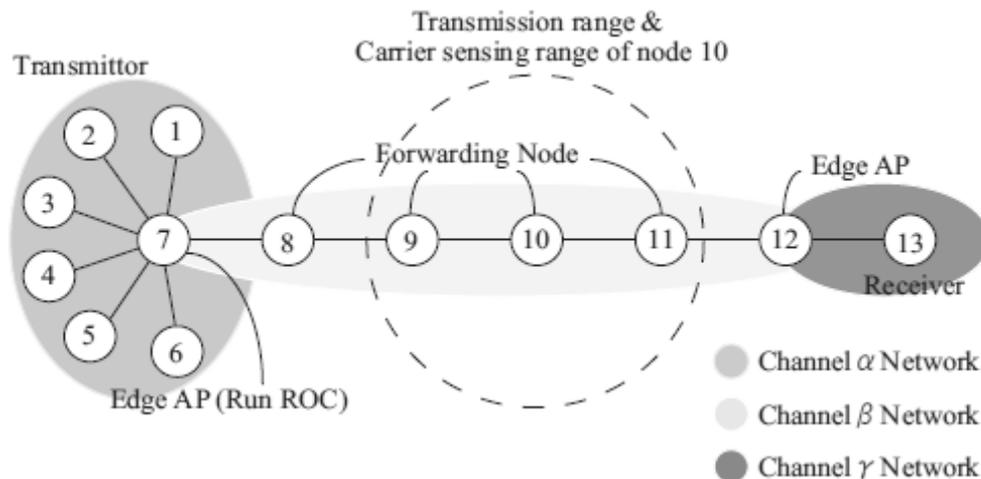


図1 : シミュレーショントポロジ

表 1：シミュレーション諸元

Parameter	Value
PHY Protocol	IEEE 802.11b
MAC Protocol	IEEE 802.11 DCF
Transport Protocol	UDP
Data Rate	11 [Mbps]
Retransmission Limit	7
Data Payload	1000 [byte]
ACK	14 [byte]
SlotTime	20 [μ sec]
DIFS	50 [μ sec]
SIFS	10 [μ sec]
CWmin	31
CWmax	1023
RTCP Report Interval	1 [sec]
Update Interval	1 [sec]

図 2、3 に、経過時間に対するスループットを示す。図 2 は従来方式（送受信機会制御なし）、図 3 は提案方式のスループットを示す。非優先端末のスループットは、5 台の平均値を示す。図 2 より、従来方式は、優先端末が要求するスループットを満たすことができない。これは、IEEE 802.11 DCF によって、各端末に公平なチャネルアクセス権が割り当てられているためだけでなく、ネットワーク容量を超える負荷をそのままネットワークに流すため、非優先トラフィックが優先トラフィックを圧迫するためである。一方、図 7 から、提案方式は、優先端末の要求するスループットを満たしていることがわかる。これは、送受信機会を制御することによって、非優先端末のチャネルアクセス権が減少し、結果的に優先端末がチャネルアクセスする頻度が増加するためである。また、ネットワーク容量を超える負荷を流さないため、非優先トラフィックが優先トラフィックを圧迫することがないためである。

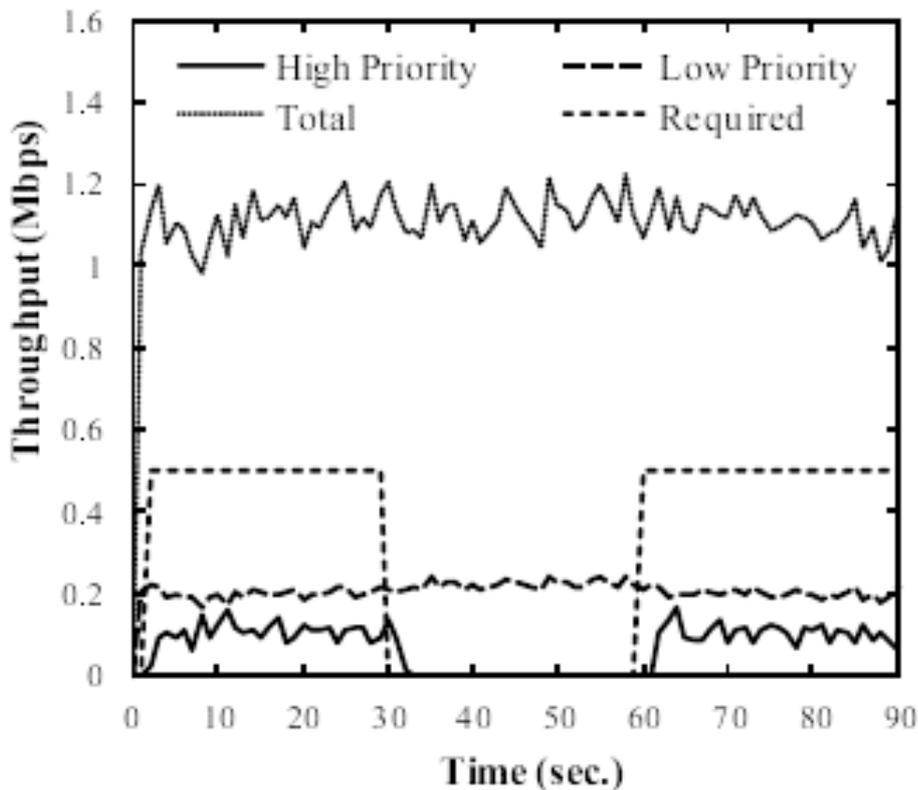


図 2 : 経過時間に対するスループット (制御なし)

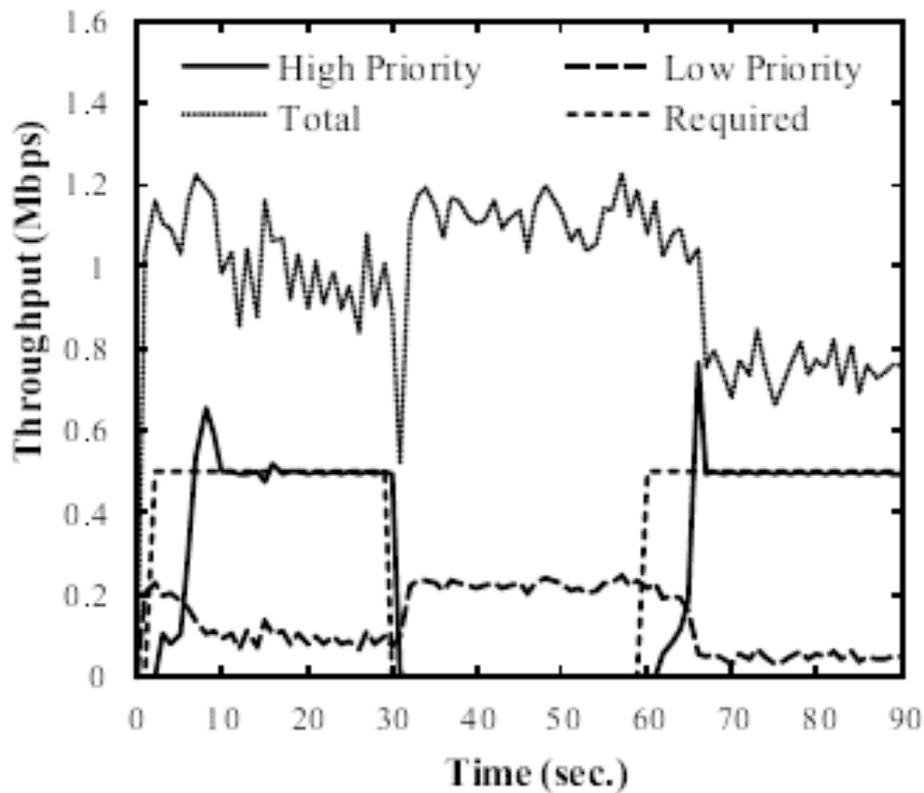


図 3 : 経過時間に対するスループット (提案方式)

5 まとめ

本研究では、無線マルチホップネットワークにおいて、非優先データの流量を制御することによって、QoSを制御する方式を提案した。提案方式では、RTCP フィードバック情報を利用してネットワーク容量を推定し、優先端末のトラフィックを圧迫しないように、非優先端末の送受信機会を制御する。提案方式は、非優先トラフィックの流量を制限し、優先トラフィックを優先して流すことによって QoS を保証する。シミュレーションにより、提案方式の有効性を示した。

今後の課題と非で、ネットワーク容量の推定制度の向上、非飽和トラフィックへの対応、様々なトポロジへの対応、消費電力と QoS を考慮した制御[7]などが挙げられる。

【参考文献】

- [1] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee., “Wireless LAN MAC and PHY specifications,” IEEE Std. 802.11, 1999.
- [2] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee., “Wireless LAN MAC and PHY specifications: MAC QoS Enhancements, IEEE 802.11e Std., 2005.
- [3] T. Murase, Y. Hirano, S. Shioda and S. Sakata, “MAC Frame Receiving-Opportunity Control for Flow QoS in Wireless LANs,” IEICE Trans. Commun., vol. E92-B, no. 1, pp.102-113, Jan. 2009.
- [4] R. Rejaie, M. Handley, and D. Estrin, “RAP: An end-to-end rate-based congestion control mechanism for realtime streams in the Internet,” Proc. INFOCOM’ 99, vol. 3, pp.1337-1345, Mar. 1999.
- [5] G. Bianchi, “Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function,”

IEEE JSAC, vol.18, no.3, pp.535-547, Mar. 2000.

[6] D. Pong, and T. Moors, "Call Admission Control for IEEE 802.11 Contention Access Mechanism," Proc. IEEE GLOBECOM'03, vol.1, pp.174-178, Dec. 2003.

[7] N. Komuro, "An Adaptive Sleep Period Control in Consideration of QoS Requirement for IEEE 802.11e APSD-compliant Wireless LAN," Proc. KJCCS, Oct. 2013 (to be presented)

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Flow Control Scheme using Adaptive Receiving Opportunity Control for Wireless Multi-hop Networks	IEICE Trans. Communications	2012年9月
An Adaptive Sleep Period Control in Consideration of QoS Requirement for IEEE 802.11e APSD-compliant Wireless LAN	Proc. KJCCS 2013	2013年10月（発表予定）