

IEEE 802.11e 端末と DCF 端末の混在環境における 受信機会制御による動的 QoS 制御

渡部 公介^{†1} 小室 信喜^{†1} 阪田 史郎^{†1}
塩田 茂雄^{†2} 村瀬 勉^{†3}

IEEE 802.11e EDCA では, 最大 4 つの優先度でフレームを区別し, 優先的に送信することにより QoS 制御を実現する. しかし, DCF 端末が混在する場合, QoS 制御機能が低下する問題や, トラフィック負荷が高い場合に QoS 制御機能が不足する, という問題がある. 本稿では, EDCA 端末と DCF 端末が混在する環境かつトラフィック負荷が高い場合において, EDCA 優先端末の要求 QoS を保証する方式を提案する. 本方式では, 受信機会制御方式 Receiving-Opportunity Control in MAC Frame (ROC) をフロー数に応じて適切な受信拒否確率を動的に設定することによりこれを実現する. シミュレーション評価により提案手法の有効性を示す.

Dynamic Receiving-Opportunity Control Scheme applied to WLAN with DCF and IEEE 802.11e Terminals

KOSUKE WATANABE,^{†1} NOBUYOSHI KOMURO,^{†1}
SHIRO SAKATA,^{†1} SHIGEO SHIODA^{†2}
and TUTOMU MURASENEC

In wireless LANs, IEEE 802.11e EDCA was standardized as the MAC protocol to support the QoS of high-priority terminals. IEEE 802.11e EDCA allows each station to have four priority levels. High-priority terminals preferentially use wireless resources. However, it is difficult to guarantee QoS in the network where both EDCA and DCF terminals are deployed. EDCA degrades the performance when the traffic load is high. This paper proposes a novel scheme to guarantee QoS of high-priority terminals in such mixed network even when the traffic load is high. The proposed scheme employs Dynamic Receiving Opportunity Control in MAC Frame against DCF terminals depending on number of flows. Simulation results show that the proposed scheme enables to guarantee QoS.

1. はじめに

近年, VoIP(Voice over IP) や, VOD(Video On Demand) サービスの増加により, 映像や音声の通信の品質を保証することが重要となっている. これに対し, 無線 LAN でサービスの品質の保証を必要とするデータを優先的に送る QoS(Quality of Service) 制御を実現する方式として, IEEE 802.11e EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)¹⁾ がある(以下, EDCA と呼ぶ). しかし, IEEE802.11e 非対応の既存の DCF(Distributed Coordination Function) 端末が混在するネットワーク(以下, 混在環境と呼ぶ)では, EDCA の QoS 制御機能が低下するという問題がある. 本研究では, 混在環境に動的 ROC (Receiving-Opportunity Control in MAC Frame)²⁾ を導入することで, EDCA の QoS 制御機能を維持する方式を提案する.

2. 標準方式と従来研究

2.1 IEEE802.11e EDCA

従来の分散制御型チャンネルアクセス方式である DCF に対して, データの種類によりチャンネルアクセス頻度に対する優先順位付けが出来るように拡張したものが EDCA である. EDCA の動作を図 1 に示す. EDCA に対応した AP (Access Point) と端末は, 各データに優先順位に関連した情報を付加し, この情報をもとに, AC(Access Category) にマッピングする. 各 AC に対してチャンネルアクセス制御のための最大 4 つの EDCA パラメータを異なる値に設定することで, チャンネルアクセスに対する差別化を可能にしている. 表 2 に IEEE 802.11a におけるデフォルトの EDCA パラメータと DCF パラメータを示す.

2.2 ROC

ROC は DCF における ACK 制御とバックオフ再送制御を用いて, AP が各非優先フローに対して意図的に ACK を返信しない確率(以下, 受信拒否確率と呼ぶ)を設定することにより, フロー単位にフレーム送信レート, 送信遅延, フレーム破棄の発生を制御する. ROC の利点として, AP の機能変更のみで QoS 制御が可能であることが挙げられる. しかし, トポロジと非優先フローへの受信拒否確率とスループットの関係は明確化されていないため,

^{†1} 千葉大学大学院 融合科学研究科 情報科学専攻 知能情報コース

^{†2} 千葉大学工学研究科 建築・都市科学専攻 都市環境システムコース

^{†3} NEC システムプラットフォーム研究所

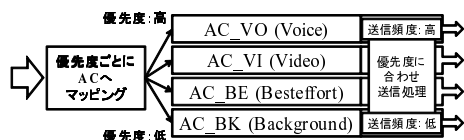


図 1 EDCA の動作
Fig.1 EDCA works

図 2 EDCA と DCF のパラメータ
Fig.2 EDCA & DCF Parameters

	CWmin	CWmax	AIFS (DIFS)	TXOP Limit
AC_VO	3	7	34μs	1.504ms
AC_VI	7	15	34μs	3.008ms
AC_BE	15	1023	43μs	1 Frame
AC_BK	15	1023	79μs	1 Frame
DCF	15	1023	34μs	1 Frame

優先端末に対する要求スループットがどの程度の受信拒否確率で満たすことができるのかといった、定量的な指標が存在しない。結果として、フロー数の変化に対応できない、要求スループットに対して逐一最適な受信拒否確率を求めなければならない、といった問題点がある。

3. 提案方式

混在環境における問題に対して、我々は文献³⁾にて ROC を DCF 端末に用いて、AC_BE(AC_BestEffort) と同等の送信頻度を与え、DCF 端末を AC_BE と同じ優先度に収めることで混在環境による EDCA の QoS 制御機能を維持する方式を提案し、シミュレーションにより有効性を示した。しかしながら、固定値の受信拒否確率を用いていたためフローの変化に対応できない、要求スループットに対して逐一最適な受信拒否確率を求めなければならない、といった問題があった。本研究では、混在環境において AP がフローの変化に応じて適当な受信拒否確率を動的に設定することにより、EDCA の QoS 制御性能を維持し、かつフローの変化に対応した方式を提案する。以下に本提案における重要な仮定を列挙

しておく。

- 本研究における QoS 制御は優先端末の要求スループットを最低限満たした上で非優先端末に最大限帯域を割り当てることを目的とする
- 端末は常に送信したいパケットを保持している、飽和状態であるとする
- 全端末から送信されるパケットのペイロード長は常に一定であるとする
- 1 端末は 1 フローであるとする
- TXOP は使用しないとする
- 非優先端末は DCF, 優先端末は EDCA の AC_VI で動作するとする

DCF 端末への受信拒否確率を AP 側の情報のみで導出するために、文献^{4),5)}の解析式を拡張し、フロー数、任意の要求スループットと送信に関するパラメータを元に適当な受信拒否確率を導出する。送信に関するパラメータの詳細は表 2 に示す。3.1 節で導出方法について詳しく説明を行い、3.2 節で導出された受信拒否確率の精度を予備シミュレーションで確認する。そして、3.3 節で導出された受信拒否確率のフロー数変化にともなう適用動作を説明する。

3.1 受信拒否確率の設定

受信拒否確率の導出は次の 4 つの段階に分けることができる。

3.1.1 要求スループットの設定

まず、優先端末が要求するスループット $ReqTh$ を設定する。なお、設定する値は取り得る適当な範囲のみであるとする。

3.1.2 衝突確率の導出

まず、各フローの送信パケットの衝突確率を求める。優先端末と非優先端末では送信頻度が異なる。その為、優先端末のパケットが衝突する確率 γ_p と非優先端末のパケットが衝突する確率 γ_n をそれぞれ求める必要がある。文献⁴⁾より、任意の優先フローが送信を試みる確率 $P_{p,ti}$ は (1) 式から求めることができる。

$$P_{pry,i} = \frac{\gamma_{pry}^0 + \gamma_{pry}^1 + \gamma_{pry}^2 + \dots + \gamma_{pry}^6}{CW_{pAvg}(1 + 2\gamma_{pry}^1 + 2\gamma_{pry}^2 + \dots + 2\gamma_{pry}^6)} \quad (1)$$

γ_p の累乗は再送回数に依るパラメータ、係数は CW_{max} に依るパラメータである。 CW_{pAvg} は優先端末が一度目の送信に必要とする平均の CW であり、AC_VI の CW_{min} を CW_{min_VI} とすると、(2) 式から求まる。

$$CW_{pAvg} = \frac{CW_{min-VI}}{2} \quad (2)$$

また、任意の非優先フローが送信を試みる確率 P_{n-ti} は P_{p-ti} 同様に (3) 式から求める事が出来る。

$$P_{n-ti} = \frac{\gamma_n^0 + \gamma_n^1 + \gamma_n^2 + \dots + \gamma_n^6}{CW_{nAvg}(\gamma_n^0 + 2\gamma_n^1 + 4\gamma_n^2 + \dots + 64\gamma_n^6)} \quad (3)$$

P_{p-ti} 同様に γ_n の累乗は再送回数に依るパラメータ、係数は CW_{max} に依るパラメータである。 CW_{nAvg} は非優先端末が一度目の送信に必要なとする平均の CW であり、DCF の CW_{min} を $CW_{min-DCF}$ とすると、(4) 式から求まる。

$$CW_{nAvg} = \frac{CW_{min-DCF}}{2} \quad (4)$$

ここで、ある一優先端末に注目し、その端末の衝突確率を γ_{pi} 、その他の優先端末の衝突確率を γ_{pj} 、非優先端末の衝突確率を γ_{nj} とすると、 γ_{pi} は P_{p-ti} 、 P_{n-ti} から (5) 式のように導ける。

$$\gamma_{pi} = 1 - \prod_{j=1, j \neq i}^{N_p} (1 - P_{p-ti}(\gamma_{pj})) \prod_{j=1}^{N_n} (1 - P_{n-ti}(\gamma_{nj})) \quad (5)$$

N_p と N_n はそれぞれ優先端末と非優先端末の端末数である。同様に、ある一非優先端末に注目し、その端末の衝突確率を γ_{ni} 、その他の非優先端末衝突確率を γ_{nj} 、優先端末の衝突確率を γ_{pj} とすると、 γ_{ni} は P_{n-ti} 、 P_{p-ti} から (6) 式のように導ける。

$$\gamma_{ni} = 1 - (1 - x_{nf}) \prod_{j=1, j \neq i}^{N_n} (1 - P_{n-ti}(\gamma_{nj})) \prod_{j=1}^{N_p} (1 - P_{p-ti}(\gamma_{pj})) \quad (6)$$

x_{nf} は任意の受信拒否確率である。これら (5), (6) 式より、適当な γ_{pj} 、 γ_{nj} を与えてやることにより、任意の x_{nf} に対して、 γ_{pi} と γ_{pj} が同値かつ、 γ_{ni} と γ_{nj} が同値となる点を一意に求める事が出来る。DCF と EDCA は自律分散制御であり、優先、非優先端末はそれぞれ同値の衝突確率を持つべきである。このことから、(7) 式より γ_p と γ_n が導かれる。

$$\gamma_{pi} = \gamma_{pj} \text{ and } \gamma_{ni} = \gamma_{nj} \Rightarrow \Gamma\gamma_p = \gamma_{pi} \text{ and } \gamma_n = \gamma_{ni} \quad (7)$$

3.1.3 スループットの導出

文献^{4), 5)} を参考に優先フローと非優先フローのスループットを求める。スループットを求めるに当たり、必要となる確率の要素を以下に列挙する。

- (1) 単一フローの送信成功確率 P_{p-si} or P_{n-si}
- (2) 任意のスロットの送信成功確率 P_{p-s} or P_{n-s}
- (3) 任意のスロットのアイドル確率 P_{idle}
- (4) 任意のスロットの送信失敗確率 P_{p-c} or P_{n-c}
- (5) 単一フローのペケットロス率 P_{p-li} or P_{n-li}

これより、それぞれの要素を求める。

1. 単一フローの送信成功確率

ある端末が送信を試みる際に、他端末が送信を試みていない場合に送信は成功する。また、非優先フローは受信拒否が行われなかった場合に限り送信が成功する。よって、(1), (3) 式より、

$$P_{p-si} = P_{p-ti} \prod_{j=1, j \neq i}^{N_p} (1 - P_{p-tj}) \prod_{i=1}^{N_n} (1 - P_{n-ti}) \quad (8)$$

$$P_{n-si} = (1 - x_{nf}) P_{n-ti} \prod_{j=1, j \neq i}^{N_n} (1 - P_{n-tj}) \prod_{i=1}^{N_p} (1 - P_{p-ti}) \quad (9)$$

2. 任意のスロットの送信成功確率

あるスロットで送信が成功する確率は、各フローの送信成功確率の加算により求められる。よって、(8), (9) 式より、

$$P_{p-s} = \sum_{i=1}^{N_p} P_{p-si} \quad (10)$$

$$P_{n-s} = \sum_{i=1}^{N_n} P_{n-si} \quad (11)$$

3. 任意のスロットのアイドル確率

あるスロットがアイドルである確率は、全端末が送信を試みていない場合である。よって、(1), (3) 式より、

図 3 802.11a 54Mbps, Payload 長 1250byte の送信パラメータ

Fig. 3 Transmission parameters (Payload length:1250byte, 802.11a 54Mbps)

	T _{x_s} [μs]	T _{x_c} [μs]	T _{slot} [μs]	T _{payload} [μs]
IEEE 802.11 a 54Mbps Payload長:1250byte	281.333	242.852	9	185.185

$$P_{idle} = \prod_{i=1}^{N_p} (1 - P_{p_ti}) \prod_{i=1}^{N_n} (1 - P_{n_ti}) \quad (12)$$

4. 任意のスロットの送信失敗確率

任意のスロットの送信失敗確率は、あるスロットが送信成功で無く、アイドルで無い場合である。よって、(10)~(12) 式より、

$$P_{p_c} = 1 - P_{p_s} - P_{idle} \quad (13)$$

$$P_{n_c} = 1 - P_{n_s} - P_{idle} \quad (14)$$

5. 単一フローのペケットロス率

ペケットロスは特定の値 *RetryLimit* まで再送を行っても届かなかったペケットを破棄する事により発生する。よって、単一フローのペケットロス率は (13), (14) 式より、

$$P_{p_li} = \left(\frac{P_{p_c}}{N_p}\right)^{RetryLimit} \quad (15)$$

$$P_{n_li} = \left(\frac{P_{n_c}}{N_n}\right)^{RetryLimit} \quad (16)$$

これらの確率とそれぞれの状態で要する時間から、優先フローの総スループット S_p と非優先フローの総スループット S_n は (17), (18) 式で表せる。

$$S_p = \sum_{i=1}^{N_p} \frac{(P_{p_si}(1 - P_{p_li}))T_{payload}}{P_{p_s}T_{p_s} + P_{idle}T_{slot} + P_{p_c}T_{p_c}} \quad (17)$$

$$S_n = \sum_{i=1}^{N_n} \frac{(P_{n_si}(1 - P_{n_li}))T_{payload}}{P_{n_s}T_{n_s} + P_{idle}T_{slot} + P_{n_c}T_{n_c}} \quad (18)$$

時間のパラメータは物理層に依存する。ここでは例として、ペイロード長 1250byte, IEEE 802.11a 54Mbps で通信を行う際のパラメータを表 3 に示す。

3.1.4 受信拒否確率の決定

(19) 式のように、優先フローの要求スループット $ReqTh$ を満たす、最小の x_{nf} を受信拒否確率 x として設定する。これにより、優先フローに要求される最低限のスループットを確保しつつ、非優先端末にも帯域を最大限割り当てることができる。

$$x = \min(x_{nf} | ReqTh \times N_p = S_p) \quad (19)$$

3.2 フロー数変化の対応

本節では、受信拒否確率の適用動作について説明を行う。本研究において、トラフィックは常に一定である仮定から、最適な受信拒否確率が変動する外的要因はフロー数の変化のみである。よって、受信拒否確率の再計算はフロー数が変化した場合に行うべきである。小節で、フロー数の増加と減少それぞれの動作を詳しく説明する。

3.2.1 フロー数増加の場合

フロー数が増加した場合、帯域の圧迫が増し要求スループットを満たすことが出来なくなる可能性がある。その為、フローの参入に対しては即座に受信拒否確率の再計算を行い、要求スループットを保証する。

3.2.2 フロー数減少の場合

フロー数が減少した場合、帯域の圧迫は減るため、増加の場合と違い要求スループットが満たせなくなることはない。さらに、参入と違い、脱退は AP から認識することが出来ない。その為、フローの脱退に対しては一定間隔で受信拒否確率の計算を行い、計算と計算の間に一度もペケットの受信が確認出来なかったフローは脱退と判断し、再計算を行う。

これにより、フロー数の変化に対応した、適切な受信拒否確率を設定することが可能になる。

4. 性能評価

シミュレーション上に本手法を実装し、標準手法と比較することにより、本提案の有効性を確認する。

4.1 シミュレーション諸元

表 1 にシミュレーション諸元を示す。評価項目はフロー数を表 2 のように変化させたときの、スループットである。

表 1 シミュレーション諸元
Table 1 Simulation Parameters

Parameter	Value
物理層	IEEE802.11 a 54Mbps
ペイロード長	1250byte
トラフィック量	Saturate
優先端末の要求スループット	1フロー当たり8Mbps
受信拒否確率変更Interval	1.0s

表 2 フロー数変化
Table 2 Changes in flows

シミュレーション時間 [s]	0~1	1~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
優先フロー数	0	2	2	3	3	2	2
非優先フロー数	0	6	12	12	12	12	6

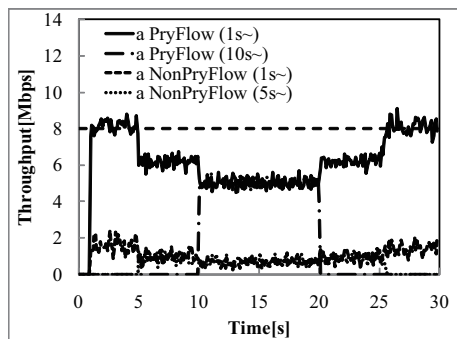


図 4 従来方式
Fig. 4 Conventional

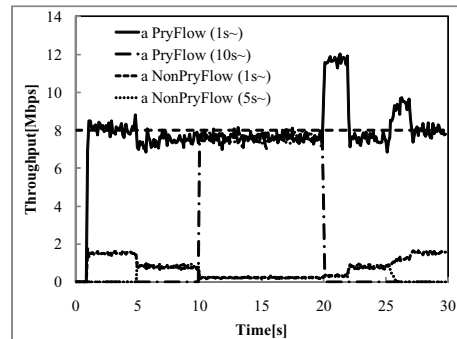


図 5 提案方式
Fig. 5 Proposed

4.2 シミュレーション結果

図 4 に EDCA による制御のみの場合、図 5 に提案方式の時間経過によるスループット遷移を示す。図 4 より、要求スループットをシミュレーション開始から 5 秒後の非優先フローの数の増加に伴い、優先端末の要求スループットを満たすことが出来なくなっている。さらに、シミュレーション開始から 10 秒後の優先フローの増加により、トラフィック負荷がさらに増大。優先端末 1 端末のスループットは 5Mbps にまで低下してしまっている。これに対し、図 5 より、提案方式はフロー数に応じて適切な受信拒否確率を設定し非優先端末の送信を抑制しているため、フロー数増加の直後を除いて優先端末の要求スループットを満たすことが出来ている。シミュレーション開始から 5 秒後の非優先フローの数の増加では、非優先端末に対して計算式より導出された受信拒否確率 19 %を適用している。5 秒から 6 秒にかけて、やや要求スループット以下となっている原因は、参入する新規のフローを一斉には認識できず、パケットを受信できた新規端末から逐次的に認識を行ったために生じたと考えられる。また、シミュレーション開始から 10 秒後の優先フローの数の増加では、同様に計算された受信拒否確率 92 %を適用している。このフロー数増加は、単一フローの増加のため、優先端末のスループットの低下が見受けられない。20 秒から 21 秒と、25 秒から 26 秒にかけて、優先端末のスループットが急激に上昇している原因は、シミュレーション諸元 1 より受信拒否確率変更 Interval が 1 秒であるため、フローの脱退を 1 秒の間認識できていないためである。その為に、過度の受信拒否確率が非優先フローに適用され、優先端末のスループットが上昇していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、EDCA が内包する DCF 端末が混在する場合、QoS 制御機能が低下する問題や、トラフィック負荷が高い場合に QoS 制御機能が不足する問題に対し、ROC をフロー数に応じて AP で適切な受信拒否確率を動的に導出、DCF 端末に適用する事で、この問題を解決する方式を提案し、シミュレーションで評価。その有効性を示した。今後の課題としては、以下のような項目が挙げられる。

- 端末が非飽和状態である場合への対応
- ペイロード長は変化への対応
- TXOP の考慮
- AC_VO を優先端末とした際の、遅延を考慮した受信拒否確率の決定

参 考 文 献

- 1) IEEE Standard 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements, IEEE 802.11e Std., 2005.
- 2) T. Murase, K. Uchiyama, Y. Hirano, S. Shioda and S. Sakata, "MAC frame receiving opportunity control for flow QoS in wireless LAN," IEICE Trans. Commun. 2009.
- 3) 渡部, 小室, 阪田, 村瀬, 塩田, "IEEE 802.11e EDCA 端末と DCF 端末の混在環境への受信機会制御の適用による QoS 制御," 信学技報, IN2009-, Mar. 2010.
- 4) A. Kumar, E. Altman, D. Miorandi, M.Goyal, "New Insights From a Fixed-Point Analysis of Single Cell IEEE 802.11 WLANs," IEEE/ACM Transactions, Vol. 15, No. 3, June 2007
- 5) G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE JSAC, 18(3): 535-47, Mar.2000