

無線ネットワークにおけるフロー特性を考慮した QoS 制御方式の実装評価

赤石健一^{†1} 中村嘉隆^{†2} 高橋修^{†2}

IEEE802.11eEDCA では、4つの優先度でパケットを区別し、アクセスカテゴリに分け、パケットを優先的に送信することにより QoS 制御を実現する。しかし、高優先度内でトラフィックが増大すると通信品質が劣化するという問題がある。これは、トラフィックが増大することによりネットワークが輻輳し、パケットロスが発生しやすくなるためである。本研究では、トラフィックの負荷が高い場合において QoS 保証を実現する方式について検討する。トラフィックが増大し、負荷が高くなった時にアクセスカテゴリの送信キューの使用率に応じた資源の割り当てによってキューの大きさを動的に変更することによって実現する。シミュレーション評価により提案する QoS 制御方式の有効性を示す。

Implementation and evaluation of QoS control method considering flow properties in wireless LAN

KENICHI AKAISHI^{†1} YOSHITAKA NAKAMURA^{†2}
OSAMU TAKAHASHI^{†2}

1. はじめに

近年、無線 LAN(Local Area Network)による通信がますます普及し、多彩なサービスが提供されている。中でも、IP 電話、TV 電話、動画のストリーミング視聴などのコンテンツが多く利用されるようになっている。

現在の IP ネットワークでは Best Effort と呼ばれる転送方式が利用されている。Best Effort は処理負荷が軽く、ネットワーク構築が容易であるというメリットがある。しかし、Best Effort では様々なアプリケーションに対して、パケット送信機会が均等に与えられてしまうというデメリットがある。つまり、サイト閲覧やメールの送受信などの遅延がある程度許容できるデータと遅延が許容できない音声、TV 電話、動画などのデータが同じものとして扱われてしまう。これにより、ネットワークが輻輳を起こしてしまった場合やトラフィック負荷が高くなった場合には遅延やパケットロスが起きてしまい、アプリケーションの通信品質が大きく劣化してしまう。図 1 に Best Effort の概要図を示す。

そこで様々なアプリケーションに適した QoS(Quality of Service)を保証し、トラフィックを制御することが重要となる。図 2 に QoS 制御の概要図を示す。

QoS 制御とはネットワーク上で、ある特定の通信のための帯域を予約することにより、一定の通信品質を保証する技術のことである。

無線 LAN において、QoS 制御を行うための MAC プロト

コルとして IEEE802.11e[1]がある。IEEE802.11e で用いられている EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)は最大 4つの優先度でパケットを区別し、優先的に送信することで QoS 制御を実現するという方式である。しかし EDCA では高い優先度のトラフィックが増大すると通信品質が劣化してしまうという問題がある[2]。

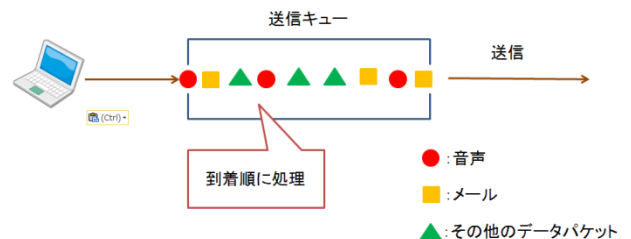


図 1 Best Effort

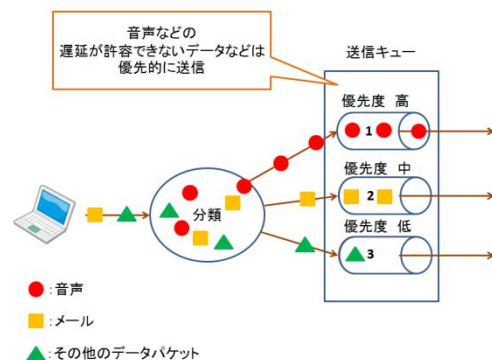


図 2 QoS 制御(優先制御)

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{†2} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

本研究では、EDCAにおいて高優先度のトラフィックが増大すると通信品質が劣化する問題を解消する QoS 制御方式を検討する。

2. 関連研究

2.1 IEEE802.11e[5]

2.1.1 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)

EDCA には 4 つの AC(Access Category)が存在し、それぞれのサービス品質に差をつけることで優先制御を実現する[1]。4 つの AC にはそれぞれ通信順や通信量を制御するパラメータが存在する。これらの制御パラメータの設定により、送信頻度に差が付き、優先順位の高い AC ほどより多くの通信機会を得ることができる仕組みになっている。例えば、優先度の高いトラフィックは待ち時間を短めに設定し、優先度の低いトラフィックは長く設定することで、待ち時間に差を付け、優先順位を付けることができるのである。

しかし、多くの端末が高い優先度でパケットを送信しようとする、優先制御の効果が小さくなってしまいうという問題がある[5]。

図 3 に EDCA の仕組みを示す。

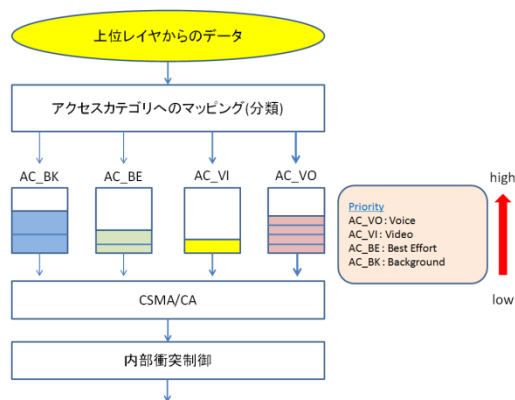


図 3 EDCA

各 AC の分類は、IP ヘッダ内の TOS フィールドを参照して行われる。ToS フィールドとは優先度を指定するために使う 8 ビットのフィールドのことである。

AC として次の 4 つが規定されている。

- AC_VO(音声通信用)
- AC_VI(映像通信用)
- AC_BE(ベストエフォート用)
- AC_BK(バックグラウンドトラフィック用)

また、各 AC には優先度に応じて次の 4 つの制御パラメ

ータと標準値が設定されている。

- CWmin(Contention Window minimum)
- CWmax(Contention Window max)
- AIFS(Arbitration IFS)
- TXOP(Transmission Opportunity)

これらの制御パラメータは、AC 毎に設定することができる。例えば、優先度の高いパケットを送るときは、AIFS の値を小さく設定する。これにより、優先度の高いパケットは他のパケットよりも次のパケットの送信までの時間を短くすることができる。

2.1.2 HCCA(Hybrid coordination function Controlled Channel Access)

HCCA は端末の優先度を考慮したスケジューリングを行い、送信を許可した端末に、チャネル使用時間を書き込んだパケットを送信する、ポーリングという動作を行う。このポーリングとは AC が優先度の高いパケットを送信する端末に時間を割り当てる CF(Contention Free)-Poll という制御用のことである。送信を許可された端末が送信している間、他の端末は送信不可となるため QoS が保証される。また、帯域 1 台ずつ割り当てることができるため、厳密な QoS 制御を実現でき、トラフィックが増えても帯域の使用効率が落ちないという特徴がある[5]。具体的な動作概要を図 4 に示す。

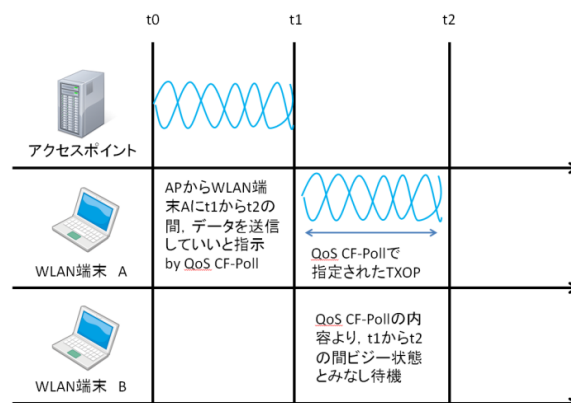


図 4 HCCA

本研究では EDCA に対応している無線 LAN 製品が HCCA に対応している無線 LAN 製品より普及しているという観点から、現在の環境でより実用的である EDCA を利用している。

2.2 VoIP の品質評価と特性分析[7]

IEEE802.11e に実装されている QoS 制御は様々な制御パ

ラメータ値を用いて設定することができるが、使用する環境に限らず標準設定のまま使用されていることが多い。しかし、標準の制御パラメータ値ではあらゆる状況で QoS を保証することができるとは限らない[7]。また、通信内容の変化に対して制御パラメータ値を調整することで、品質が向上することも分かっている。

これらを受けて、[7]は通信内容の時間的変化に伴って通信品質の低下が見られたトラフィックに対して、上下トラフィック毎に通信途中で EDCA 制御パラメータ値を変更させることで QoS を保証することのできる IEEE802.11e 環境の構築を目的としている。

実際にトラフィックサーバと端末をシミュレータで用意し、値を計測している。ここでは、中央の無線アクセスポイントを中心にネットワークが構成されており、無線アクセスポイントとトラフィックサーバ4台と端末1台は有線接続し、その他の端末5台は無線接続されている。IEEE802.11b の無線環境でアクセスポイントに EDCA の QoS 制御を実装することで IEEE802.11e の無線環境構築している。実験においてトラフィックサーバから AC_VI, AC_BE, AC_BK のトラフィックを端末へ流し、有線接続の端末から無線接続の端末へ AC_VO のトラフィックを流し、音声品質を測定している。この実験の環境を図5に示す[7]。

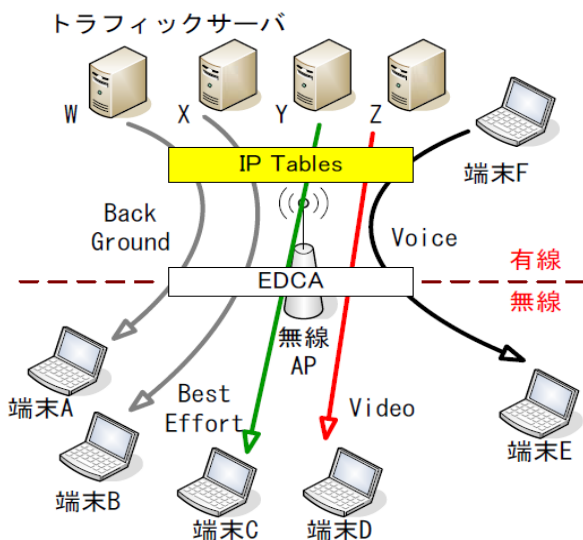


図 5 関連研究[7]の実験環境

実験ではまず各 AC による音声品質への影響を検証している。その結果によると、AC_BE のトラフィックが多く流れているほど音声品質への影響が大きいことが分かった。音声品質の観点から見ると AC_BE のトラフィックは流さない方がいいことが予測されるが、AC_BE のトラフィックは WEB 閲覧などに使われるトラフィックであり、AC_BE のトラフィックを無視したネットワークの構築は困難であ

る。そこで、AC_BE のトラフィックの優先度を下げようとして制御パラメータ値を調整する。これによってネットワーク上に AC_BE のトラフィックを流しにくくし、R 値の改善をしている。

2.3 EDCA 動的制御パラメータ値更新技術[8]

EDCA を使用することで、AC 毎に送信機会の優先付けが可能になる一方で、IEEE802.11e の規格で定められた標準の制御パラメータ値ではあらゆる状況で最適というわけではない。たとえば標準制御パラメータ値では、CSMA/CA で衝突回避に使用する CWmin, CWmax の値が AC_VO や AC_VI で小さく設定されているための衝突率が増加してしまうという問題がある。これが無線 LAN で VoIP を行う端末の収容台数を劣化させる原因となる。このような問題に対して、収容台数を改善するという観点から EDCA 制御パラメータ値の CWmin, CWmax を最適化することが有効である。しかしながら、定常的に EDCA の CW サイズを拡大し、衝突率を改善しようとすることは、固定的に遅延が増大するという問題と、CW を拡大できない従来の無線 LAN や、拡大していない近傍の基地局は以下の端末との優先度の差が生じるという問題がある。したがって、EDCA 制御パラメータ値を状況に応じて更新することが有効となる。

具体的な動作は、まず基地局は過去一定期間の AC_VO での平均送信料が一定値以上の端末をアクティブな VoIP 端末とし、その台数が増加するに従い、全 AC の CWmin, CWmax 値を増加させる。増加の度合いは2のべき乗であり、標準規格に規定されていることによる。また、運用チャネルが使用中であると観測された時間率であるチャネル使用率が増加した場合にも変化させることで、混雑時のパケット衝突率を下げる。また、基地局の配下に従来方式である DCF(Distributed Coordination Function)で通信を行う端末がある場合は CWmin の増加は行わず、CWmax の増加のみ行う。これは高い優先度の AC であるにも関わらず CWmin 値が DCF よりも大きくなることにより優先順位が逆転することを避けるためである。以上の方法により、適応的に収容台数を改善することが可能となる。

制御パラメータ値の更新は一定周期ごとに行い、トラフィックの統計情報から制御パラメータ値を再計算し、以降のビーコンパケット中の EDCA 制御パラメータ値フィールドに反映させる。ビーコンパケットを受信した端末は制御パラメータ値を更新し、以降の送信で使用する。

2.4 関連研究のまとめ

表1に関連研究の特徴を示す。

表 1 関連研究の特徴

	制御パラメータ値	パケットロス
EDCA[5]	×	×
特性分析結果[7]	△	×
動的更新技術[8]	○	×

表 1 より、制御パラメータ値変更による QoS 制御は解決されている。しかし、トラフィックの増大によるパケットロスは考慮されていない場合が多い。

本研究では特に、送信キュー内で破棄されてしまうパケットに着目し、パケットロスを抑制させるための方式を提案する。

3. 提案手法

3.1 想定環境

本研究では、一つのアクセスポイントを中継して複数の端末同士が通信する一般的なネットワーク環境を想定する。無線基地局において IEEE802.11eEDCA を利用した QoS 制御を行う。各々の端末はそれぞれ AC_VO、AC_VI、AC_BE、AC_BK の 4 つのトラフィックが流れるものとする。また、高優先度 AC に負荷をかけるため、AC_VO、AC_VI のトラフィックが多い通信環境を想定する。概要図を図 6 に示す。

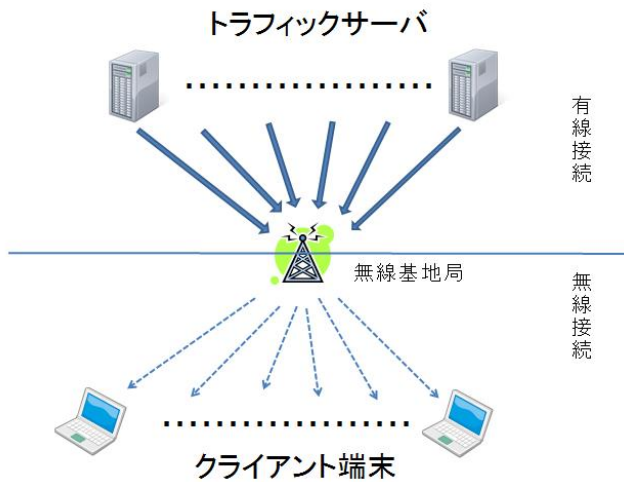


図 6 想定環境

3.2 提案手法の動作概要

提案手法では AC の送信キューの使用率に応じて制御すること、それに伴って制御パラメータ値を動的に制御することによって QoS を保証する。

3.2.1 高負荷時における処理手順

トラフィックは種類毎に各 AC に分類される。台形はキュー

ーを表し、球体はトラフィックを表し、上から優先度が高い順に並んでいる。

高負荷になると、図 7 の時刻 t_2 の AC_VO、 t_3 の AC_VI のようにキューからパケットが溢れてしまう状況に陥る。このような状況になるとパケットロスが発生し、場合によっては再送処理が行われることによって遅延が発生して、通信品質の劣化を招いてしまう。

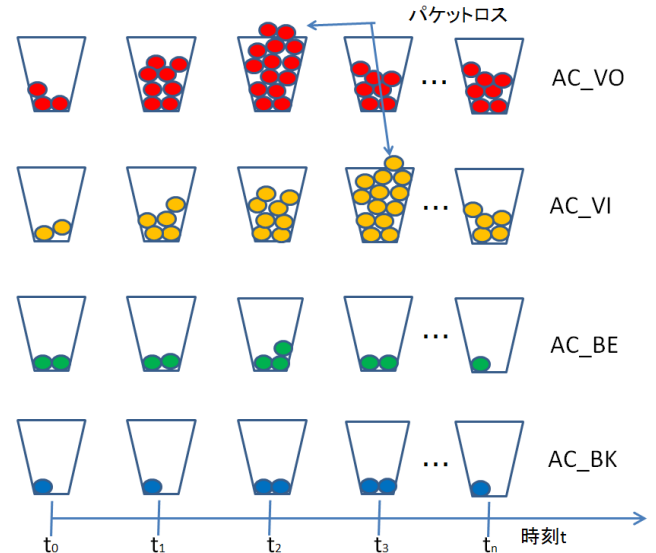


図 7 パケットロス発生時の送信キュー

提案手法では、送信キューの使用率に応じて AC の送信キューを制御する。つまり、AC_VO や AC_VI の送信キューに多量のパケットが流れてきた場合に、各 AC のキューの使用率を確認し、キューの使用率が低い AC から送信キューの資源を割り当てる制御を行う。これにより、標準の送信キューの大きさでは処理しきれず、破棄されていたパケットが送信キューの割り当てによって通常よりも多くのパケットを処理することができるようになるので、パケットロスの発生を抑制することができる。図 8 は送信キューに流れてくるトラフィックの様子を表したものである。すべての AC に閾値が設定されている。閾値は 2 つ設定しており、資源の割り当て制御をするための閾値を h 、割り当てて資源を元に戻す制御をするための閾値を ρ とする。各 AC の送信キューは閾値 h 、 ρ を目安として資源の割り当ての制御を行う。本研究では、閾値 h は送信キューの使用率 80% の位置に設定している。また、閾値 ρ は送信キューの使用率 60% と設定している。図 8 の時刻 t_1 のように AC_VO のトラフィックが閾値 h を超えた場合、使用率の低い送信キューを探す。時刻 t_2 で AC_BK の送信キューの使用率が低いと判断し、AC_BK の資源の 20% を AC_VO の資源に割り当てる。その後、時刻 t_3 で AC_VO の使用率が閾値 h を下回ったので、補っていた分の資源を元に戻す制御を行う。また、AC_BK の使用率が高くなり、閾値 ρ を超えた場合も同様に補っていた資源を元に戻す制御を行う。時刻

t3 の AC_VI の送信キューが閾値を超えた場合も同様にすることで、AC_BE の送信キューに資源を割り当てる。その後時刻 t4 で、AC_BE の使用率が高くなり、閾値 ρ を超えたので割り当てていた資源を元に戻す。しかし、この時、時刻 t4 で AC_VI の送信キューの使用率は閾値 h を上回っているため再度使用率の低いキューを探す。この時、AC_BK の使用率が低いと判断し、AC_BK の資源の 20% を AC_VI の資源に割り当てる。これらの制御を行うことで、送信キューの資源を効率よく利用し、パケットロスを抑制することができる。

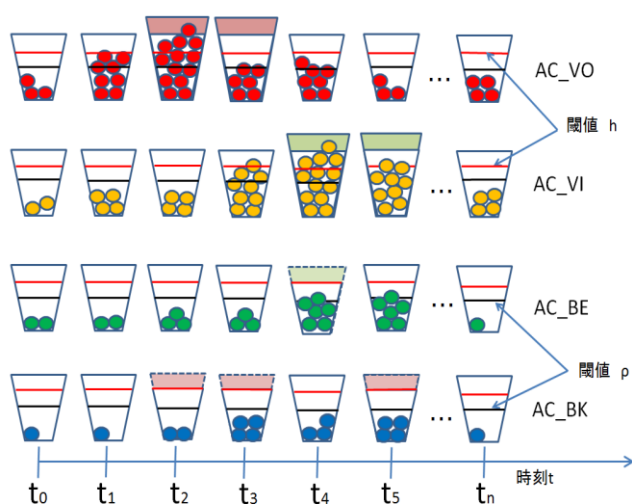


図 8 提案手法実装時の送信キュー

3.2.2 制御パラメータの動的制御

制御パラメータ値は送信キューの資源の割り当てが行われていない場合は EDCA の標準制御パラメータ値を用いる。トラフィックが増大し、資源の割り当てが行われた場合には、提案する制御パラメータ値を用いる。ただし、高優先度の AC である AC_VO と AC_VI では資源が割り当てられた場合、低優先度の AC である AC_BE, AC_BK では資源を割り当てた場合についてのみ制御パラメータ値の変更を行う。また、制御パラメータ値の動的制御は資源の割り当てに該当する送信キューに対してのみ行う。例えば、AC_VO の資源に AC_BE の資源を割り当てている場合、AC_VO と AC_BE の制御パラメータ値の変更のみ行う。ただし AC_VI の送信キューの資源に AC_VO の資源を割り当てている場合は、AC_VI の制御パラメータ値の変更のみ行う。表 2 に EDCA の標準制御パラメータ値、表 3 に提案制御パラメータ値を示す。

表 2 EDCA 標準制御パラメータ値

	CWmin	CWmax	AIFS	TXOP
AC_VO	3	7	2	3264
AC_VI	7	15	2	6016
AC_BE	15	63	3	0
AC_BK	15	1023	7	0

表 3 提案制御パラメータ値

	CWmin	CWmax	AIFS	TXOP
AC_VO	15	31	2	6528
AC_VI	63	127	2	24064
AC_BE	15	1023	7	0
AC_BK	31	1023	7	0

提案制御パラメータ値は高優先度の AC と低優先度の AC それぞれ異なる目的で値を設定している。高優先度の AC では送信キューの使用率が高くなった時、送信キューの混雑を解消する目的で、TXOP の値を高く設定している。これにより、一度得たチャネルのアクセス権でより多くのパケットを送信することができるので結果的に送信キューの使用率を低くすることができる。また、高優先度のパケットが多くなるので、標準制御パラメータ値では、パケットの衝突率が上がってしまう。したがって、パケットの衝突を回避する目的で、CW の値を上げている。これにより、優先順位は下がってしまうが、パケットの衝突によるパケットロスを抑えることができる。低優先度の AC では高優先度の送信キューの使用率が閾値を下回るまでパケット送信の優先順位を従来よりも低くする目的で、CW と AIFS の値を高く設定している。これにより、待ち時間が標準制御パラメータよりも長くなるので、結果的にパケット送信の優先順位が低くなる。

4. 実装評価

4.1 実験環境

4.1.1 シミュレータ

本研究ではネットワークシミュレータ Qualnet 上に実装し評価を行う。

4.1.2 シミュレーションシナリオ

IEEE802.11e をアクセスポイントに実装し、アクセスポイントを経由して有線接続されたトラフィックサーバから無線接続のクライアント端末にトラフィックを流し、合計で 60s 間データを取る。流すトラフィックの量は AC の設定により決定する。具体的なシミュレーションシナリオを図 9 に示す。

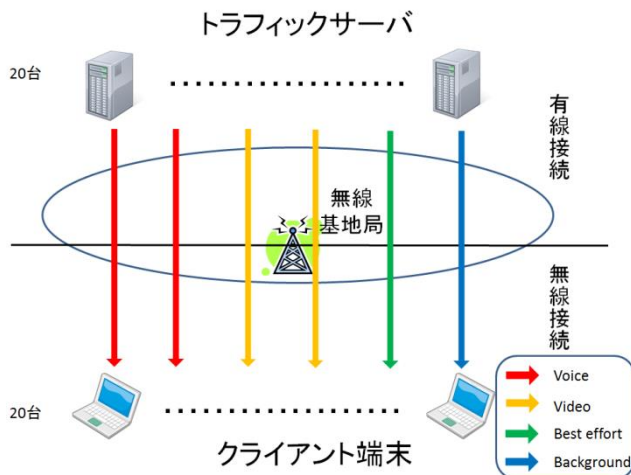


図 9 シミュレーションシナリオ

また、実験における各 AC に設定する環境は表 4 の通りである。

表 4 各 AC の設定

AC	プロトコル	ビットレート	パケットサイズ
AC_VO	UDP	64kbps	160bytes
AC_VI	UDP	300kbps	1500bytes
AC_VI	UDP	600kbps	1500bytes
AC_BE	TCP	256kbps	700bytes
AC_BK	TCP	128kbps	300bytes

4.2 評価

本研究の提案方式との比較対象は従来方式である，IEEE802.11e とする．評価項目は，R 値，遅延時間，ロスパケット率とする．R 値とは ITU-T が勧告している G.107 で定義された，総合的な通話品質を評価する指標である[9]．遅延時間は ITU-T が勧告している G.1010 を用いている[10]．ロスパケット率は AC_VO，AC_VI におけるパケットロスの割合を求めている．実験により提案手法が従来方式である IEEE802.11e よりも R 値，遅延時間，ロスパケット率が優れていることを明らかにする．

4.2.1 R 値に関する実験結果

下り通信における AC_VO カテゴリの R 値に関する実験結果を図 10 に，上り通信における AC_VO カテゴリの R 値に関する実験結果を図 11 に示す．

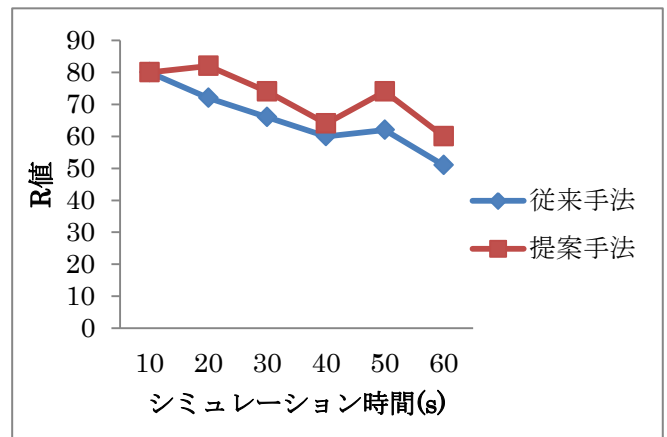


図 10 下り通信 R 値

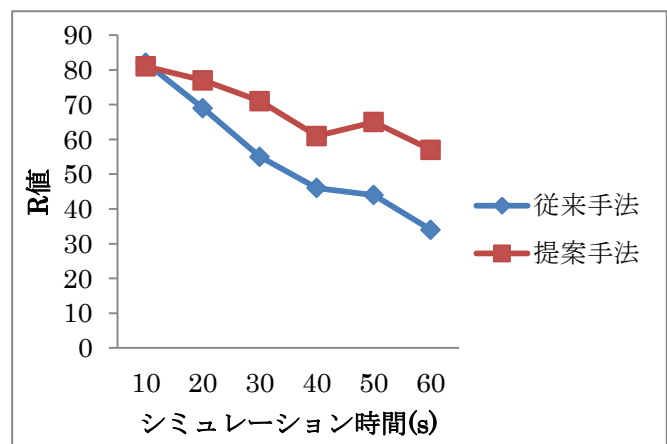


図 11 上り通信 R 値

4.2.2 遅延時間に関する実験結果

下り通信における AC_VI カテゴリの遅延時間の実験結果を図 12 に，上り通信における AC_VI カテゴリの遅延時間の実験結果を図 13 に示す．

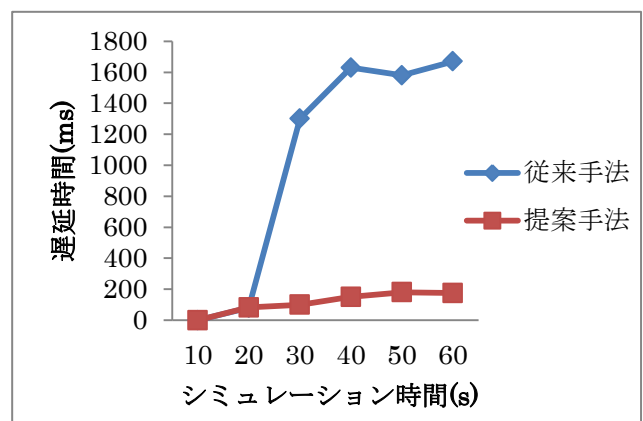


図 12 下り通信遅延時間

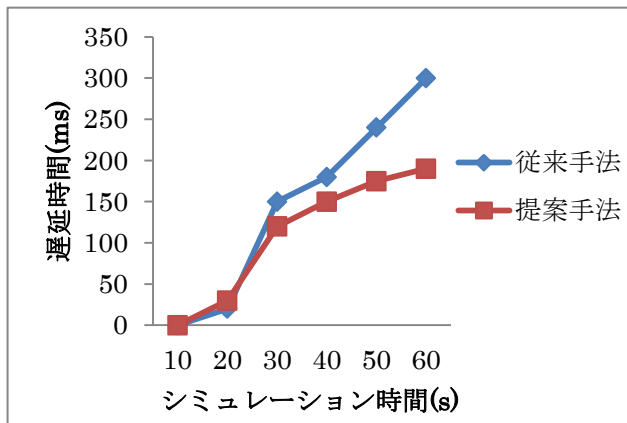


図 13 上り通信遅延時間

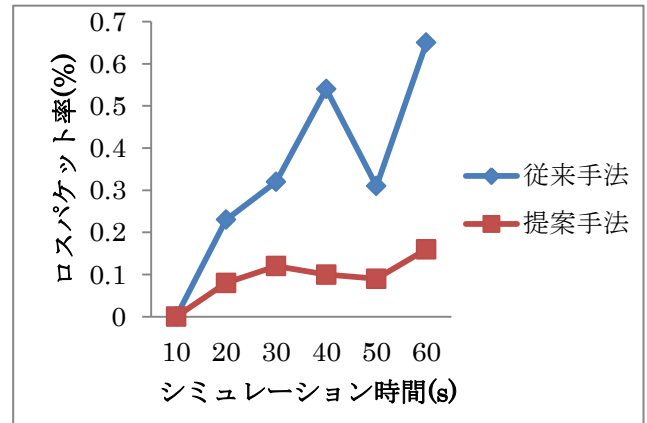


図 16 上り通信ロスパケット率(AC_VO)

4.2.3 ロスパケット率に関する実験結果

下り通信における AC_VO カテゴリのロスパケット率を図 14, AC_VI カテゴリのロスパケット率を図 15 に示す. また, 上り通信における AC_VO カテゴリのロスパケット率を図 16, 上り通信における AC_VI カテゴリのロスパケット率を図 17 に示す.

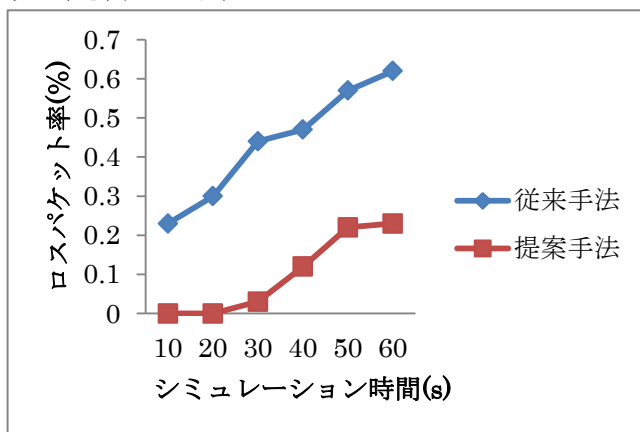


図 14 下り通信ロスパケット率(AC_VO)

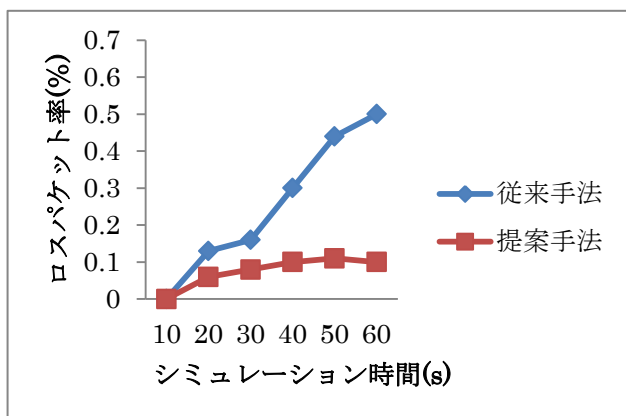


図 15 下り通信ロスパケット率(AC_VI)

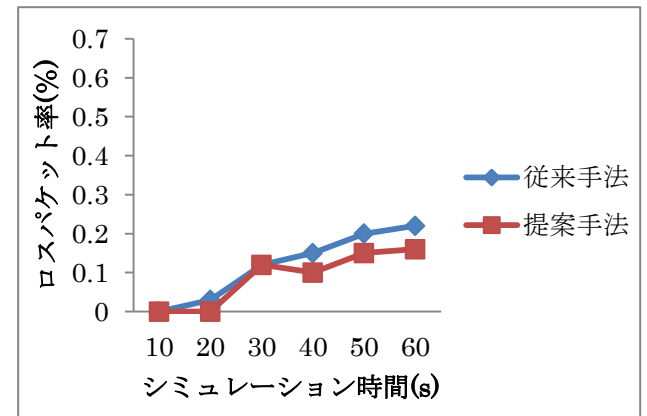


図 17 上り通信ロスパケット率(AC_VI)

5. 考察

5.1 R 値に関する実験の考察

従来手法よりも提案手法は R 値が改善されている. これは, 送信キューの packetsize に応じて, 送信キューの資源の割り当てをすることで従来手法よりもロスパケットが減ったことによると考えられる. また, 送信タイミングが重ならないように CW の値を上げることによって優先度を従来よりも少し低く設定することによって送信タイミングが重なることによる衝突を回避することができ, QoS が向上したと考えられる.

5.2 遅延時間に関する実験の考察

従来手法よりも提案手法は遅延時間が短くなっている. これは R 値同様, 制御パラメータ値の動的変更によってパケットの送信タイミングが重なることを回避することができているためと考えられる. また, 下り通信の遅延時間については大きな改善が見られたが, 上り通信の遅延時間についてはあまり大きな差は見られなかった. 今後は, 上り通信の特性を分析し, 特性に合わせた対応を考慮していきたい.

5.3 ロスパケット率に関する実験の考察

従来手法よりも提案手法はロスパケット率が低くなっている. これは, 送信キュー内の資源を送信キューの使用率

に従って割り当てを行ったことにより、従来手法では破棄されてしまっていたパケットが減少したと考えられる。また、従来手法では破棄されてしまったパケットの再送処理が行われ、QoSの低下を招いていたが、破棄されるパケットが減少したことにより、再送処理が減少したことによってQoS保証ができていると考えられる。

6. まとめ

本研究では、IEEE802.11eEDCAにおいて高優先度のトラフィックの増大による通信品質の劣化の解消を課題とし、その解決策としてACの送信キューの使用率を確認し、使用率が低い送信キューの資源を割り当てて、資源の割り当てと同時に制御パラメータ値の変更を行うことで従来方式での状況に合わせた最適な制御パラメータ値の変更に加え、キューの使用率が高くなってしまうことによるパケットの破棄を軽減する方式を提案した。提案する方式をネットワークシミュレータQualnet上で実装し、従来方式との比較評価をR値、遅延時間、ロスパケット率の3つの指標で行い、提案方式の有効性を検証した。実験の結果、提案方式は従来方式よりもR値、遅延時間、ロスパケット率の3つの指標それぞれで従来方式よりも有効であることが示された。今回の実験では、上り通信と下り通信に対して同様のアルゴリズムを実装している。今後は上り通信と下り通信の特性分析を行い、それぞれの特性に応じたQoS制御の方式について検討していく。

参考文献

- [1] 守倉 正博, 松江 英明: “IEEE802.11 準拠無線 LAN の動向”, 電子情報通信学会論文誌, J84-B(11) pp. 1918-1927, 2001-11-01.
- [2] 宮野 とも子, 小笠原 守, 飯塚 正孝: “IEEE802.11e 無線 LAN におけるリアルタイム系トラフィック品質保証のための受け付け制御およびトラフィック制御方法の提案”, 電子情報通信学会技術研究報告 106(243), pp. 31-36, 2006-09-07.
- [3] BEKKALI Abdelmoula, DAT Pham Tien, KAZAURA Kamugisha, WAKAMORI Kazuhiko, MATSUMOTO Mitsuji, HIGASHINO Takeshi, TSUKAMOTO Katsutoshi, KOMAKI Shozo: “Performance Evaluation of an Advanced DWDM RoFSO System for Transmitting Multiple RF Signals”, IEICE transactions on fundamentals of electronics, 92(11), pp. 2697-2705, 2009-11-01.
- [4] DENG Dr-Jiunn, CHANG Ruay-Shiung: “A Priority Scheme for IEEE802.11 DCF Access Method”, IEICE transactions on communications, E82-B(1),

pp. 96-102, 1999-01-25.

- [5] 大谷 昌弘, 浦野 直樹, 上田 徹: “QoSを実現する無線LAN規格 IEEE802.11e”, 映像情報メディア学会誌 57(11) pp. 1459-1464, 2003-11-01.
- [6] Ryo Kitahara, Koichiro Doi, Tomoya Iimura, Shingo Morita, and Shigeki Goto: “Optimum Parameters for VoIP in IEEE 802.11e Wireless LAN”, APAN Network Research Workshp 2007, pp. 75-83, Xi' An China, 2007-08.
- [7] 夏目 祐輔, 後藤 滋樹: “IEEE802.11e 無線 LAN における VoIP の品質評価と特性分析” 早稲田大学 Master's degree, 2008-02-04
- [8] 小笠原 守, 川村 憲一, 平栗 健史: “無線 LAN の EDCA パラメータ値動的更新技術”, NTT 技術ジャーナル, pp. 44-48, 2007-08.
- [9] ITU-T Recommendation G.107, “The E-model, a computational model for use in transmission planning”, 2005-05
- [10] ITU-T Recommendation G.1010, “End-user multimedia QoS categories”, 2001-11