

トラフィックバランスを考慮した適応的な通信品質保証制御 Adaptive Communications Quality Control Schemes using Traffic Balance

田邊 造* 青木 健* 井之丸 大雄* 川端 信吾†
Nari TANABE Ken AOKI Takehiro INOMARU Shingo KAWABATA

古川 利博‡ 松江 英明* 辻井 重男§
Toshihiro FURUKAWA Hideaki MATSUE Shigeo TSUJII

1 はじめに

近年、文字データや音声データ及び動画データ等の情報を発信する通信ネットワークにおいて、ユーザがデータに要求する品質はデータの種類によって異なるため、多種多様な品質要求に応じた適応的な通信品質保証制御が必要不可欠となっている [1-3] .

この要求を解決する一手法として、CoS (Class of Service) を用いた通信品質保証制御が提案されている [2] . この手法は (1) ユーザから要求された帯域幅や遅延時間等の情報から品質保証が必要とされるデータとそれが不要とされないデータとに分類する . その後、(2) 一定期間ごとに上りと下りのデータの送信頻度を保つために、送信頻度から非競合アクセス制御期間 CFP (Contention Free Period) を設定する PCF (Point Coordination Function) と (3) パックオフアルゴリズムの改良から優先度の異なるデータの差別化を用いて優先制御する DCF (Distributed Coordination Function) とを、それぞれ適切に用いることで通信品質保証制御を実現している .

しかしながら、この手法は (i) 上りと下りのデータの送信頻度を決定する周期が長いこと、トラフィック量の変化に対して柔軟に送信頻度を設定することが困難となる問題や (ii) 要求される品質に対して CFP が絶対的に設定されていないため、要求品質を必ずしも満足できない問題が存在している .

本論文では、トラフィックバランスを考慮することで、多種多様なデータの要求品質を満足する適応的な通信品質保証制御を提案している . 提案手法は、適応的な (a) 送信周期の設定手法と (b) CFP の設定手法を提案することで、先に示した従来手法の (i) と (ii) の問題点を解決している . さらに、提案手法は適応的な帯域割り当て制御を行うために (c) キューの制御手法と (d) 素数スロットを用いた手法についても提案している .

2 従来手法 [2]

本論文において、AP (Access Point) は IEEE 802.1D Annex H [4] のユーザプライオリティに準じた通信品質保証制御をおこなうために、ベストエフォートを提供するクラス BE (Best Effort) 型と BE 型の優先的なクラス EE (Excellent Effort) 型、

及び最低帯域幅を保証するクラス CL (Controlled Load) 型と最大遅延時間を保証するクラス VV (Video and Voice) 型の 4 種類のサービスクラス (VV 型 > CL 型 > EE 型 > BE 型) を想定している .

従来手法は、優先度に応じたサービスクラスごとに分類するキューを用意し、一定の周期 (CFP Interval) ごとに通信品質保証を必要とするクラス VV 型と CL 型のデータ送信に対して制御時間 CFP で PCF を実行し、通信品質保証を必要としないクラス BE 型と EE 型のデータ送信に対しては制御時間 CP (Contention Period) で DCF を実行している .

以下では、PCF と DCF に分けて説明を行う .

2.1 VV 型、CL 型のデータに対する制御 (PCF)

2.1.1 送信周期の設定手法

PCF 開始時に AP や STA (Station) に VV 型データの送信予定がある場合に、従来手法は CFP Interval 毎に上りのデータの送信頻度 M_{up} と下りのデータの送信頻度 M_{down} に対して M_{up} と M_{down} の比 ($M_{up} : M_{down}$) を求めることで、上りと下りのデータの送信頻度を決定する . そして、その比を 1 回の送信周期 $M_i (=M_{up}+M_{down})$ として上りと下りのデータの送信を交互に繰り返している . 従って、従来手法は、その送信周期 M_i を繰り返すことで、上りと下りのトラフィック量を考慮している . ただし、ポーリングは VV 型データには最大遅延時間 T_{vv} を保証できる間隔で実行し、CL 型データには最低帯域幅を保証できる回数のみで実行している . また、下りのデータ送信は VV 型データを最優先として送信し、VV 型データがキュー内に無い場合のみ CL 型データを送信する .

2.1.2 CFP の設定

従来手法は、PCF 開始時の AP と STA 間における VV 型データと CL 型データに対して、以下の 3 つの設定手法から CFP を決定する .

(1) 図 1 に示すように VV 型データが送信予定にある場合は、CP は最大遅延時間 T_{vv} を超えないように設定する . 次に、ポーリングリスト上に VV 型端末が存在する場合は、送信周期 M_i のうち 1 個は VV 型データが存在するため、CP は最大遅延時間 T_{vv} から送信周期 M_i 分のデータ送信に必要な時間を引いた時間に設定する . さらに、CP の延長においては、AP が PCF の終了までにデータを送信した後、確認応答 ACK (Acknowledgement) を受け取るまでの時間がないときに PCF を早く終了させるため CP が延ばされる場合と DCF

* 諏訪東京理科大学

† 情報工房

‡ 東京理科大学

§ 情報セキュリティ大学院大学

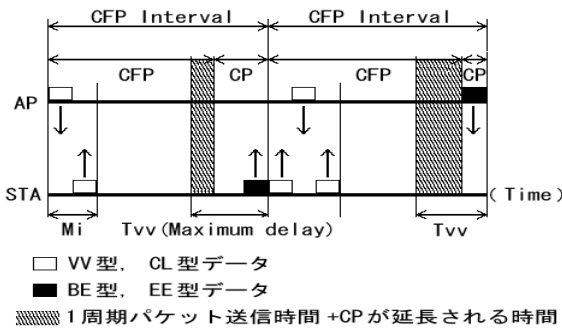


図 1: 従来手法の制御

の終了時にいずれかの端末がデータ送信中であればそのデータが受信した後、ACKを返すまでCPを延ばす場合とがある。ただし、CPの最小時間は、IEEE 802.11の規定により1個分のデータ送信時間の確保が必要となる。

以上のことをまとめると、従来手法のCFPは次式によって与えられる。

$$\left. \begin{aligned} &1 \text{ 個分のデータ送信時間} < \text{CFP Interval} - \text{CFP} \\ &< T_{vv} - M_i \text{ 送信時間} - \text{CP が最も延長される時間} \end{aligned} \right\} (1)$$

(2) VV型データが無くCL型データのみが送信予定にある場合は、CFPは予定されたCL型のデータ送信に必要な時間とする。

(3) VV型とCL型のデータが共に送信の予定が無い場合は、CFPは最小値とする。

2.2 BE型、EE型のデータに対する制御(DCF)

CPではバックオフ制御が行われている。バックオフ時間は(乱数値×スロットタイム)で表される。これは乱数値の範囲を小さくした場合、バックオフ時間が同じ値を取る可能性が増加するため、データの衝突確率が高くなってしまふ。そのため、DCFは乱数値を変えずスロットタイムを変えることで、BE型とEE型のバックオフ時間の差を与えて優先制御を実現している。

次章では、従来手法の問題点を具体的に明らかにすると共に、その問題点を解決する手法を提案する。さらに、キュー制御手法と素数スロットタイムを用いることで、多種多様な品質要求を満足する適応的な通信品質保証制御について述べる。

3 提案手法

3.1 VV型、CL型のデータに対する制御(PCF)

3.1.1 適応的な送信周期の設定手法

従来手法は、図1で示したようにAPがPCF開始時にトラフィック量を考慮して送信周期Miを決定している。しかしながら、この手法は上りと下りのトラフィック量が時変なため、N回目のCFP Intervalで決定した送信周期MiがN+1回のCFP Intervalまでのトラフィック量のバランスを反映できるとは限らない。このことは、時間ごとの送受信量に偏りがおき、通信に無駄が生じる原因となる。

提案手法はN回目の送信周期Miが終わる毎にN+1回目の送信周期Miを決定する。これにより、提案手法は送信効率の向上とVV型データのスループットの向上が期待される。

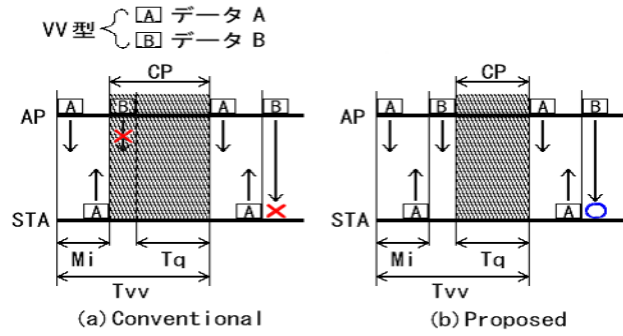


図 2: 従来手法と提案手法における制御比較

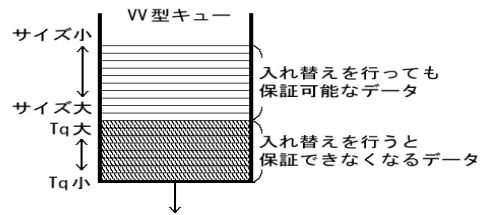


図 3: 提案手法におけるキュー制御

3.1.2 適応的なCFPの設定手法

従来手法では、式(1)よりCFP Interval毎に送信周期Miを用いて、相対的にCFPを延長している。それゆえ、延長したCFPの長さは1種類のVV型データを保証するには十分な長さである。しかしながら、図2(a)に示すように、APにデータAとデータBの2つVV型データがあるとき、送信周期Miの上りと下りのデータの送信頻度比が1:1の条件のもとでは、従来手法はデータAしか送信されないままPCFを終了する。そのため、データBは最大遅延時間Tvvを越えて待機するため最大遅延時間Tvvを保証できない。つまり、従来手法のCFP設定手法は最大遅延保証を必要とするデータが複数ある場合には不十分である。

提案手法では、APは全データに対するVV型データの残り送信待機可能時間Tq(=最大遅延時間Tvv-キュー内の滞在時間)がCPを越えないようにCFPを決定する。さらに、提案手法はCFP IntervalごとにCFPを設定するのではなく、次のCFP Intervalまでに、TqがCPを経過しても最大遅延時間Tvvの保証可能な程度余裕がある場合にのみDCFを開始させる。これは、PCF開始時にCFPを設定した場合、従来手法はTqを用いても柔軟にCFPを設定できないからである。以上のことより、提案手法のCFP設定範囲は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} &1 \text{ 個分のデータ送信時間} \\ &< \text{CFP Interval} - \text{CFP} < \text{全てのデータの } T_q \end{aligned} \right\} (2)$$

ただし、CPの最小時間は従来手法と同様に1個分のデータ送信時間とする。

以下では、図2を用いて従来手法と提案手法を比較しながら提案したCFP設定手法を簡単に説明する。(1) まずは従来手法と同様に送信周期Mi分のデータであるデータAを送信する。次に(2) 従来手法では図2(a)のようにPCFを終了したのに対して、提案手法は図2(b)のようにTqが少なくなっているデータBを送る。このとき、図2(b)におけるデータAとデータBのTqはCPを越えるだけの余裕

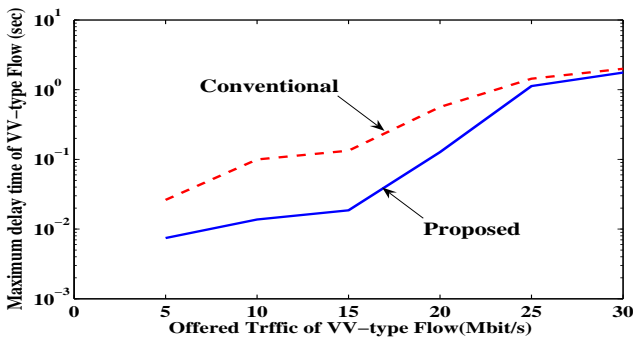


図 4: VV 型データ v.s VV 型データ遅延時間

ができるため、AP は DCF を開始する。これにより、提案手法は送信周期 M_i によって相対的に CFP を設定するのではなく、 T_q によって絶対的に CFP を設定するため、最大遅延時間 T_{vv} が保証可能なデータを増加させる。

3.2 キューの制御手法

キューの制御とは、VV 型のキュー内のデータを整理し、パケットサイズの長いデータほど優先的に送るように設定する手法である。これにより、提案手法はパケットサイズの長い VV 型データを優先して送るためキュー内のバッファ量が低減できるだけでなく、キュー内のサイズも小さくなるため輻輳時のデータ廃棄率を軽減させることが可能となる。

しかしながら、この手法はパケットサイズの長いデータを優先して整理するため、パケットサイズの短いデータはキュー内の待機時間を増加させる要因となる。これゆえ、提案手法は図 3 に示すように T_q を満足しながら長いデータを送れるように次の 2 つの手法を用いてキュー制御を行う。

(1) キュー内のデータから、 T_q の少ないデータほどキューの先頭になるように整理する。これにより、 T_q が少ないデータほど先に送信することで、最大遅延時間 T_{vv} が保証される。

(2) AP が送信予定にある VV 型データを全て送信するのに必要な時間を計算する。その後、 T_q が先で計算された時間以上に余裕のあるデータに対して、パケットサイズが長いデータを優先的に送れるように VV 型キュー内のデータを整理する。なぜならば、キュー内のデータ全てを送ったとしても T_q にはまだ余裕が存在し、また、その T_q を持つデータがキューの最後尾に入れ替えられたとしても最大遅延時間 T_{vv} を保証することが可能となるからである。

3.3 スロットタイムに素数を用いた設定手法 (DCF)

提案手法はスロットタイムに素数を用いる。なぜなら、素数とは 1 と自身の数以外の自然数では割り切れないという特性があるからである。従って、BE 型と EE 型におけるスロットタイムのどちらか片方を素数にすれば、BE 型と EE 型の競合において、同じバックオフ時間は発生しない。それゆえ、衝突する可能性は同型のデータのみであることから BE 型と EE 型における送信効率の向上が期待される。

4 シミュレーションによる評価

本シミュレーションは CL 型データの最低帯域幅を 5Mbit/s、VV 型データの最大遅延時間 T_{vv} を 100ms として、VV 型データと EE 型のデータを持った端末を 1 台、CL 型と BE 型のデータを持った端末を 1 台、及び AP を 1 台の計 3 台を用い

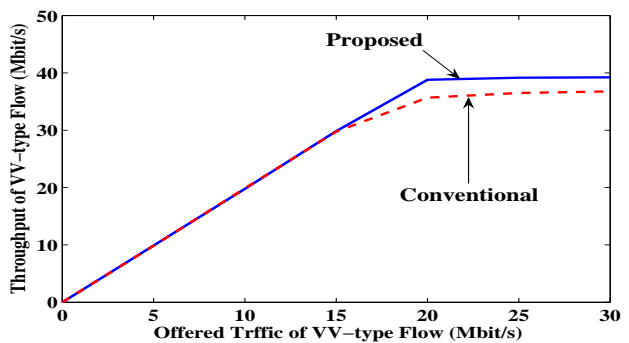


図 5: VV 型データ v.s VV 型データスループット

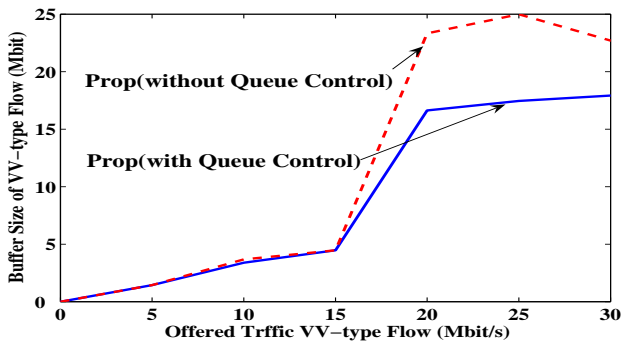


図 6: キュー制御におけるバッファ量の比較

て計算機シミュレーションを実行している。尚、シミュレーションで用いたパラメータを表 1 に示す。ただし、データサイズについては文献 [6] より 40byte から 1500byte までのランダムに発生させる。また、データサイズの長いデータが多く発生すると仮定し、1500byte のデータを 50% の確率で発生させている。

4.1 PCF におけるシミュレーション評価

本節では、PCF のみの比較を行うために、提案手法は素数スロットタイムを用いず、従来手法と同じスロットタイム (BE 型に $18\mu s$ 、EE 型に $9\mu s$) を設定している。また、VV 型データ以外については、CL 型データと BE 型・EE 型データが 5Mbit/s と 14Mbit/s のトラフィック量を発生させている。

図 4 は、VV 型データ送信における上りと下りの最大遅延時間を比較した図である。供給されたトラフィック量ごとに見ると、従来手法が約 10Mbit/s で最大遅延時間 T_{vv} が保証できなくなっているのに対し、提案手法は約 18Mbit/s まで最大遅延時間 T_{vv} を保証している。このことより、提案手法は従来手法に比べて VV 型データの供給量が 8Mbit/s 増加しても最大遅延時間を保証可能である。

表 1: シミュレーションパラメータ

Bit Rate	54Mbit/s	SIFS	$16\mu s$
Min Data Size	40byte	PIFS	$25\mu s$
MAX Data Size	1500byte	DIFS	$34\mu s$
Ack Size	14byte	CFP Interval	4300ms

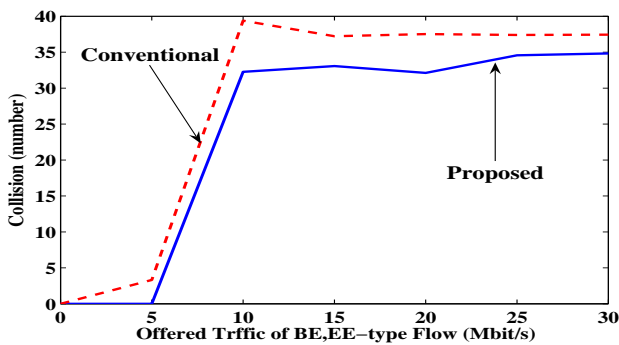


図 7: DCF におけるデータ衝突回数

図 5 は、VV 型データの上りと下りのトータルスループットを比較した図である。無線チャンネルが飽和するまでは、従来手法と提案手法の VV 型のスループットは同程度であるが、チャンネルが飽和した後では提案手法は従来手法に比べてスループットが約 2Mbit/s 向上している。従って、提案手法は従来手法に比べて無線チャンネルに約 2Mbit/s の余裕が生じている。

以上により、提案手法は VV 型データにおける最大遅延時間保証と無線チャンネルの飽和に対して有効な手法であるといえる。

4.2 キューの制御における評価

4.1 章から提案手法の有効性が明らかであることより、図 6 では、キュー内のデータサイズが長いデータから先へ送るように整理した提案手法とキュー内のデータを整理しない提案手法のバッファ量について比較を行う。

図 6 を図 5 の提案手法と比べると、チャンネルが飽和するまでは送信が効率良く行われるためバッファ量は少なくなっており、チャンネルが飽和してからはバッファ量が大幅に増加しているため顕著に違いが現れている。なぜなら、キューの制御を用いた手法は、サイズの長いデータから送信することで、サイズの小さいパケットがキュー内に残されるため、全体のバッファ量が減少し、さらにはキューのサイズについても余裕ができたからだと容易に予想される。

以上より、提案したキューの制御手法はバッファ量の減少に有効な手法といえる。

4.3 素数スロットにおける評価

DCF において、BE 型と EE 型のトラフィック量を増やしたときの従来手法と提案手法の比較を行う。従来手法は EE 型と BE 型のスロットタイムを $9\mu\text{s}$ と $18\mu\text{s}$ に設定したのに対して、提案手法は EE 型と BE 型の素数スロットタイムを $9\mu\text{s}$ と $19\mu\text{s}$ に設定している。ただし、有効性を明らかにするために、シミュレーションでは BE 型と EE 型のトラフィック量のみで評価している。また、DCF よりキューの制御は行わない。

図 7 は、ACK が返って来なかった場合をデータが衝突したものと定義し、その回数を比較した図である。提案手法は従来手法に比べて明らかに衝突回数が少なくなっている。なぜなら、提案手法は素数スロットを用いることより、BE 型と EE 型のデータに対する衝突確率は限りなくゼロとなるからである。従って、提案手法は総合的に衝突確率が減少している。

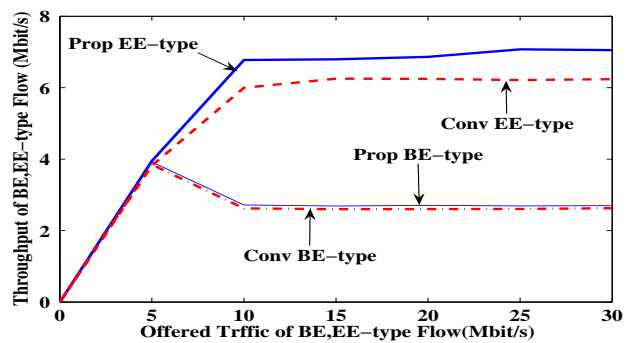


図 8: BE 型データと EE 型データのスループットの比較

図 8 は、EE 型と BE 型のデータに対する上りと下りのトータルスループットを比較した図である。提案手法は従来手法に比べて EE 型データでは約 2Mbit/s のスループットが向上している。また同様に、提案手法は BE 型データのスロットタイムが長くなったにも関わらず、従来手法とほぼ同程度の結果が得られている。これは、BE 型データのスロットタイムが長くなったことより、EE 型データは BE 型データに比べて送信機会が増加したことを意味する。それゆえ、提案手法は BE 型データと EE 型データの衝突が無いことからスループットが高くなったと容易に理解できる。また、BE 型データについても同様な理由により、提案手法は従来手法と同程度のスループットが得られたと理解できる。

以上により、スロットタイムに素数を用いた提案手法は衝突回避において有効であるといえる。

4.4 まとめ

本論文では、適応的な送信周期の設定手法と CFP の設定手法を提案することで、提案手法は従来法と比べて VV 型データの供給量が約 8Mbit/s 増加しても最大遅延保証時間を保証可能となるだけでなく、スループットについても約 2Mbit/s 向上することを明らかにしている。以上より、提案手法は従来手法の問題点を解決している。さらに、本論文で提案したキューの制御手法とスロットタイムに素数を用いた手法は、バッファ量と衝突回数の軽減に有効な手法であることについても明らかにしている。

以上のことより、提案手法は多種多様なデータの要求品質に対して、トラフィックバランスを考慮することにより適応的な通信品質保証制御を実現している。

参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Standard 802.11, May 1998.
- [2] 斎藤 一賢, 井上 保彦, 飯塚 正孝, 守倉 正博, "優先制御を用いたイーサネット系無線 LAN 通信品質制御方法," 信学論 B, vol.J84-B, no.9, pp.1598-1612, Sep. 2001.
- [3] 皆川 忠相, 北見 徳廣, "Diffserv の AF サービスクラスにおけるパケットサイズ参照スケジューリング," 信学論 B, vol.J87-B no.2 pp.181-189, Jan. 2004.
- [4] "Design Considerations for Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering, IEEE P802.1D Annex H, May 1998.
- [5] 三屋 光史朗, 長健 二郎, 加藤 朗, 村井 純, "パケットサイズ分布からみた IP トラヒックの傾向," IC 2000, Nov. 2000.
- [6] 守倉 正博, 久保田 周治, "改訂版 802.11 高速無線 LAN 教科書," インプレス, Feb. 2006.