

RM-001

適応スケジューリングのためのサービスクラスコントロール Service Class Control for Addaptive Scheduling Method

青木 健* 田邊 造* 川端 信吾†
Ken AOKI Nari TANABE Shingo KAWABATA

1 はじめに

無線通信の高速化に伴い、無線環境で利用されるアプリケーションは多様化している。それゆえ、これらのアプリケーションの動作を着実に保証可能な効率の良い通信品質保証が必要不可欠である。[1]-[2]

無線環境上で通信品質保証を行う場合、伝送路が時変なため単にパラメータ保証をすると通信の効率が低下する問題がある[2]。この問題を解決する手法が吉村らによって提案されている[3]。この手法は、Guaranteed Scheduler[4]とCSDP Scheduler[5]~[7]から構成されており、アプリケーションの最低限の動作を保証する最低帯域を着実に保証することで、効率的な通信品質保証を実現している。しかしながら、この手法によるアプリケーション動作保証後の残余帯域の利用は、各フローの保証値によらずサービスクラスが固定であるため、通信保証要求の高いフローに対しての保証は困難である。

本論文では、吉村らの手法に2つの機能を加えることで、効率的な通信品質保証が可能なスケジューラの提案を行う。1つ目の機能(Proposed(A))は、バッファ量を考慮して通信品質保証の期間を適応的に設定する機能である。次いで、2つ目の機能(Proposed(B))は、残余帯域において保証値を考慮したサービスクラスコントロールを行う機能である。前者では、効率的な帯域の利用を期待できる。後者では、要求品質の高いアプリケーションに対しても厳密な通信品質保証を期待できる。提案手法は、以上2つの機能を備えることで時変なネットワークに適応可能なマルチメディアスケジューリング手法を実現している。

2 従来手法 [3]

以下に、従来手法を構成する Guaranteed Scheduler と CSDP Scheduler の簡単な説明を行う。

2.1 Guaranteed Scheduler[4]

Guaranteed Scheduler は、アプリケーションが要求する最低帯域を保証するためのスケジューラである。

このスケジューラは、各フローに対して *start.time* というタイマーを管理している。*start.time* は、最低帯域を満たすために次のパケットを送信しなければならない時刻を保持しており、*start.time* > *current.time* (現在時刻) が満たされていれば、最低帯域が保証される。

一方、いずれかのフローにおいて、これが満たされない場合、Guaranteed Scheduler は、該当するフローの送信スケジューリングを行う。これにより、最低帯域の保証を実現し

ている。また、送信が完了したフローは、*start.time* の更新が行われる。この更新には、以下の式(1)が用いられる。

$$start.time \leftarrow start.time + data.length/b_{min} \quad (1)$$

ただし、*data.length* は送信されたパケット長を示し、*b_{min}* は送信スケジューリングされたフローの最低帯域である。また、*start.time* の更新の際、該当フローのキュー内にデータが存在しない場合は、*start.time* が現在時刻よりも大きな値になるように更新が行われる。

このように、Guaranteed Scheduler は、*start.time* が *current.time* よりも大きい状態を維持するように送信スケジューリングを行うことで最低帯域を保証している。

2.2 CSDP Scheduler[5]

CSDP Scheduler は、最低帯域を保証した後の残余帯域に対して、チャンネル状態の良いフローに送信の権利を与えることで残余帯域を効率的に利用することが可能なスケジューラである。

このスケジューラは、Round Robin[8]を用いてフローを1つ選択してチャンネル推定を行い、チャンネル状態が良い場合はデータの送信を行う。一方、チャンネル状態が悪い場合は、データ送信を行わずに次のフローのチャンネル推定に移る。これにより、帯域の利用効率化を実現している。

以上のことから、従来手法は Guaranteed Scheduler を用いて最低帯域を着実に保証した後、CSDP Scheduler を用いて効率の良い帯域利用を実現するため、無線環境に適したスケジューリングであるといえる。

しかしながら、従来手法は以下の(A)と(B)の2つの問題がある。

[問題(A)] 最低帯域の保証を行うための期間である CFP[9]の値が固定である問題

[問題(B)] 残余帯域において優先度の高いフローの保証が困難である問題

問題(A)は、保証期間である CFP が固定なことより、フローの増減や流入するトラフィック量など時変であるネットワークの状態に適応できないことが考えられる。また問題(B)は、送信機会がサービスクラスによらず一定であるため、遅延などパラメータ保証について考慮がされておらず、優先度の高いサービスクラスの保証が難しいと考えられる。

次章では、従来手法の問題点を解決可能なシンプルで実用的な適応スケジューラを提案する。

3 提案手法

提案手法は、従来手法の Guaranteed Scheduler の開始前に Proposed (A) を加え、さらに CSDP Scheduler に、Proposed

* 諏訪東京理科大学

† 情報工房

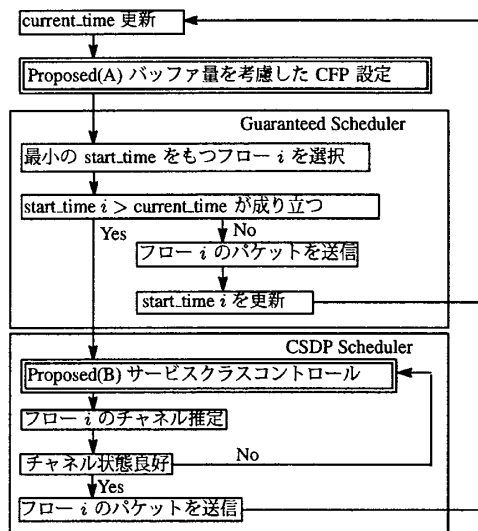


図1: 提案手法スケジューラ構成

(B)を加えることで保証するフロー数や保証値の時変なネットワーク状態に適応可能なスケジューラを実現している。以下に、従来手法に Proposed(A) と Proposed(B) の2つの機能を加えた提案手法のスケジューラ構成を図1に示すとともに、Proposed (A) と Proposed (B) について述べる。

3.1 Proposed (A) : バッファ量を考慮した CFP の設定

従来手法では、最低帯域を保証するための期間である CFP が固定値であった。しかしながら、時変であるネットワークの状態に適応するためには、保証すべきフロー数やその保証量などを考慮して送信スケジュールを行う必要がある。そこで、提案手法は、図1の Proposed (A) において保証期間である CFP を固定ではなく、バッファの状況を基にして最低帯域を保証するために必要なだけの期間を CFP とする。

提案手法の n 回目の保証期間である CFP_n は、PCF(Point Coordination Function)[9] 開始時に以下の式を用いて、最低帯域を保証するために必要な長さに設定している。

$$CFP_n = (No_Guaranteed_Packets) * (Send_time) \quad (2)$$

ただし、 $No_Guaranteed_Packets$ は、バッファされたパケットのうち CFP_n 中に送信しなければ最低帯域を損なってしまふパケットの総量を示しており、 $Send_time$ は、1パケットの送信に要する時間である。

以上のように、最低帯域の保証期間である CFP は、最低帯域保証のためのデータ送信に必要な時間に設定される。これにより、Guaranteed Scheduler が最低帯域保証に用いるための帯域を必要最低限に抑えることが可能であるため、残余帯域の増加による帯域利用の効率化が可能となる。

3.2 Proposed (B) : 保証値を考慮したサービスクラスのコントロール

提案手法は、Proposed (A) によりアプリケーションの動作を確保した後、図1の Proposed (B) を用いてサービスクラスを逐次変動させながら、各フローに残余帯域の割り当てを行う。また、Proposed (B) における送信機会に関わる優先度サービスクラスは、IEEE802.11eによって規定されている AC (Access Category) [9] を用いている。

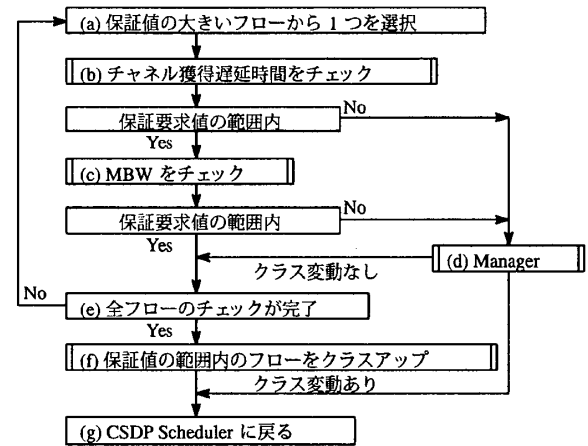


図2: Proposed(B) サービスクラスコントロールの詳細

以下、図1の Proposed (B) の具体的な動作を明らかにするために図2を用いてサービスクラスコントロールの詳細な手順を説明する。

まず、保証値の高いフローから優先度の高いサービスクラスを割り当てるために図2(a)において最も保証値の大きいフローを1つ選択する。続いて、選択中のフローが保証値の範囲内であるかの判定をおこなうために、図2(b)で選択中のフローの平均遅延時間のチェックを行う。選択されたフローの平均遅延時間が要求された値を下回るまたは上回る場合にのみ、サービスクラスを変更を要求するために図2(d)へ遷移する。平均遅延時間が要求の範囲内である場合は、図2(c)へ遷移し、選択中のフローの MBW (Minimum Band Width: 最低帯域) について同様の判定を行う。これらの判定が全てのフローについて行われることで、現在割り当てられたサービスクラスが最適であるか判定される。

上で示したような判定が行われた後、いずれかのフローでサービスクラスのアップまたはダウンが要求された場合、図2(d)への遷移が発生する。この要求に対し、図2(d)は、一部のフローによる帯域の占有を防ぐために、他のフローのサービスクラスと相対比較を行いながらサービスクラスのアップやダウンを行う。例えば、図2(d)が、選択されたフローからサービスクラスのアップを要求された場合、保証値の高いフローから順に優先度の高いサービスクラスを割り当てるために、選択中のフローよりも保証値の低いフローのサービスクラスをダウンさせる。これにより、保証値の大きいフローほどサービスクラスが高い状態を維持するようにサービスクラスコントロールが行われる。

以上のように、Proposed (B) は、最低帯域が満たされていることを前提として残余帯域では保証値のより厳しいフローから優先的に高いサービスクラスを割り当てるようにサービスクラスコントロールを行う。これにより、各フローの保証値の近いフローが複数存在した場合でも、サービスクラスの差異が発生するため、互いのフローも抑圧関係になることを防ぐことが可能となるとともに、通信品質要求に応じた帯域割り当てについても可能となる。

表1: 使用パラメータ

Bit Rate	2Mbit/s	MBW	初期	condition	
Packet Size	1024Byte		(kbit/s)	AC	
ACK Size	14Byte	Flow1	100	BK	down
SIFS	10 μ s	Flow2	200	BK	down
PIFS	30 μ s	Flow3	300	BK	down
DIFS	50 μ s	Flow4	400	BK	down
CW _{min}	15	Flow5	-	BE	up
データ発生量	無限	Flow6	-	BE	up

4 計算機シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

提案手法の有効性を検証するために、計算機シミュレーションを用いて提案手法と従来手法の性能評価を行う。表1に本論文におけるシミュレーション諸元を示す。

ネットワーク環境は、スケジューラ機能を有する基地局と2台の移動端末で構成される。フローは6種存在し、Flow5およびFlow6は外部のセルからハンドオフしてくる移動端末のアップリンクフローである。また、Flow5はシミュレーション開始23秒後、Flow6は開始26秒後からデータの送受信を行うこととする。ただし、データロスや送信タイミングの一致によるパケット衝突の場合のみ発生し、チャンネル状態の悪化によるデータの誤りは起こらないものとする。

シミュレーションでは、Proposed (A) および Proposed (B) を併用した提案手法を Proposed とし、Proposed と従来手法を比較する。

4.2 ダウンリンクに対する帯域割り当て

従来手法および提案手法によるダウンリンクへの帯域割り当て効果を明らかにするために、従来手法 CFP が 10msec の場合の結果を図3に、提案手法の結果を図4に示す

ここで、図3と図4の結果を比較すると、どちらも最低帯域を満たすように帯域割り当てを行っている。例えば、Flow3に着目すると、各スケジューラともに表1に示した最低帯域300kbit/sを満たしていることがわかる。他のフローに対しても同様に、全フローのアプリケーションの動作が保証されているといえる。同様に、他のフローも表1の最低帯域を満たしていることから全フローのアプリケーションの動作も保証されていることがわかる。

また、図3と図4を比較すると、図4の提案手法のスループットに変動が起こっている。これは提案手法が Proposed (B) により、帯域の利用可能な時には優先度の高いサービスクラスを割り当て、利用可能な帯域の少ない時には優先度の低いサービスクラスを割り当てるためである。次に、スループット変動が特に顕著なFlow2について比較を行うと、図4の提案手法はネットワーク負荷がかかる以前からスループットに変動があるものの、その値は最低帯域値である200kbpsを割ることはなく、状態の良い6msec付近では600kbpsと図3の従来手法よりも多くの帯域を利用可能な時間として確認できる。このように提案手法は、保証値の大きいフローからネットワークの状態に応じて帯域を割り当てることが可能である。

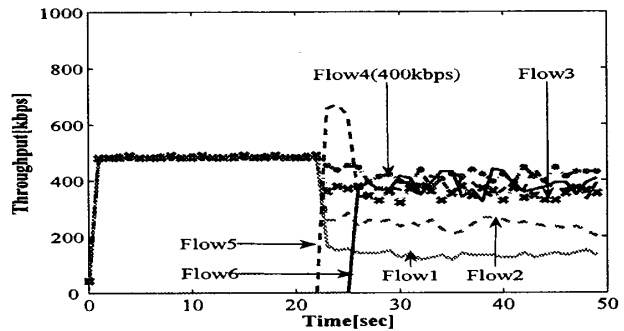


図3: 従来手法 (CFP=10msec)

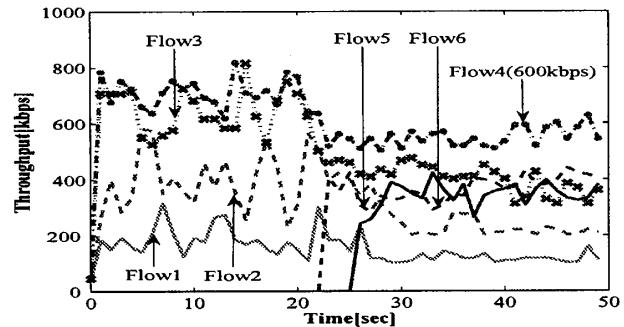


図4: 提案手法

次に、サービスクラスの高いフローに対する帯域割り当て効果を明らかにするために、最も保証値の大きいFlow4のスループットについての比較を行う。図3の従来手法と図4の提案手法を比較すると、ハンドオフ発生後の提案手法のスループットは約600kbpsであることに対して、従来手法のハンドオフ後のスループットは400kbpsである。このように提案手法は従来手法よりも常に高いスループットを保持しており、その値は40%程度増加している。このことより、提案手法はProposed(B)を用いることで保証値を基に厳密な通信品質保証が可能であることがわかる。

続いて、最も保証値の低いFlow1への帯域割り当ての比較を行う。図3の従来手法は、ネットワーク負荷がかかる以前は他のフローと同等の帯域を得ていることがわかる。これに対して図4の提案手法は、ネットワークに負荷がかかる以前から必要最低限の帯域のみ割り当てを行っているが、リアルタイムなアプリケーションと異なり保証値の小さいフローに対してはアプリケーションの動作のみ保証できれば問題はないと考えられる。

このように提案手法は、保証値の小さいフローに対しては最低限の帯域のみ割り当てることでダウンリンクのための帯域を有効的に利用でき、同時にアップリンクのための残余帯域の増加を可能にしている。

4.3 アップリンクに対する帯域割り当て

従来手法および提案手法によるアップリンクに対する残余帯域の割り当て効果を明らかにするために、図5を示す。

図5の従来手法 (CFP=50msec) の場合、アップリンク受付量は他のスケジューラよりも少なくなっている。これは、必要以上に CFP 期間が設けられたことで、残余帯域を確保できる量が少なくなってしまう、結果としてアップリンク受付の機会も減少したと考えられる。これに対し提案手法は、従来手法 (CFP=50msec) の場合よりも、多くのアップリンクを

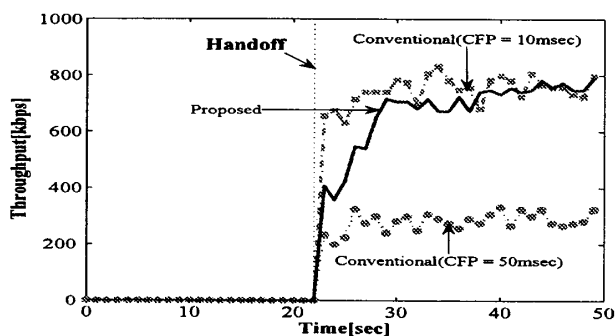


図 5: アップリンク流量比較

受け付けている。これは Proposed(A) による CFP 設定方法による効果である。

次に、図 5 の提案手法と従来手法 (CFP=10msec) とを比較すると、アップリンクとして Flow5 がハンドオフしてきた 23 秒付近では、従来手法のほうが高いスループットになっている。しかし、全ての端末がハンドオフを完了しスループットも飽和傾向になるシミュレーション開始 40 秒後以降は、従来手法と提案手法ともに同程度のアップリンク受付量となっている。これは、Proposed(B) によるもので、23 秒時点ではダウンリンクのほうがアップリンクよりも帯域を優先されているためである。しかしながら、全ての端末がハンドオフした後、提案手法はネットワーク負荷を原因にサービスクラスをダウンすることで、スループットの飽和する 40 秒以降に従来手法と提案手法のアップリンク受付量は同程度になっている。このことから、提案手法では、新しいフローがハンドオフしてくるような時変なネットワークに対しても適応的に帯域の割り当てが可能である。

4.4 Proposed(B) による遅延時間への影響

Proposed (B) の効果を明らかにするために、図 6 と図 7 を用いて各スケジューラにおけるチャンネル獲得までの平均遅延時間評価を行う。

図 6 は、保証値の最も大きい Flow4 についてのチャンネル獲得までの平均遅延時間を示したものである。提案手法は、従来手法 (CFP=10msec) の場合と比較すると、3/4 程度の遅延時間を抑制している。このことから、Proposed (B) の効果によりネットワーク負荷のかかる 23 秒以降も Flow4 は安定してチャンネルを獲得しているといえる。

図 7 は、保証値の最も小さい Flow1 についてのチャンネル獲得までの平均遅延時間を示したものである。図 7 の提案手法は、従来手法 (CFP=10msec) と比較すると 23 秒以前の平均遅延時間は不安定である。しかしながら、保証値の小さいノンリアルタイムなアプリケーションに対してはアプリケーションの動作が保証されていれば、遅延時間変動の影響は少ないと考えられる。また 23 秒以降、ネットワーク負荷により従来手法も Flow1 に割り当てる帯域が最低限となるため、提案手法と従来手法の遅延時間は同程度となっている。

このことから、提案手法は平均遅延時間の観点からも Proposed (B) により優先度上位フローに安定したサービスを提供できるため有効な手法であるといえる。

以上のことより、提案手法は Proposed (A) と Proposed (B) を併せて用いることで、アプリケーションの動作保証を行いながらサービスクラス別に保証が可能となり、時変なネットワークに適応可能なスケジューラといえる。

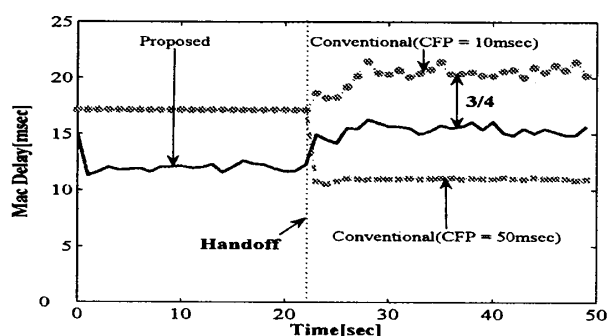


図 6: チャンネル獲得平均遅延 (Flow4)

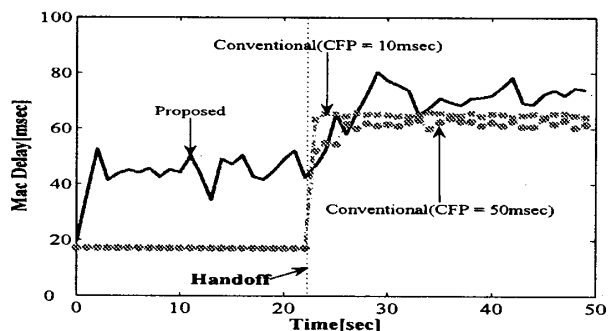


図 7: チャンネル獲得平均遅延 (Flow1)

5 まとめ

本論文では、従来手法に Proposed (A) と Proposed (B) の機能を加えることで、時変なネットワークに適応可能なスケジューラの提案を行った。

その結果、提案手法は、ネットワークに存在する全てのアプリケーションの動作の保証を損なうことなく、保証値の高いフローのスループットを従来手法よりも 40% 程度改善可能となり、遅延時間についても 3/4 程度に抑制可能となった。

以上のことより、提案手法は、時変なネットワークに対してサービスクラスを逐次的に変化させることが可能なため、通信品質要求の異なるトラフィックが存在する実環境においても有効な手法であるといえる。

今後の課題として、さらに詳細なスケジューリングを可能にするために、保証値を基準としたサービスクラスに関わる IFS (Inter Frame Space) [9] やバックオフの値を変動可能な機能についての検討が挙げられる。

参考文献

- [1] 米田 健, 松下 暉: “可変長パケット巡回方式を用いた統合サービス LAN” 情報学論, Vol.34, No.7, pp.1618-1628 July, 1993.
- [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] 吉村 健, 野 武龍, 森川博之, 青山友紀: “無線 LAN におけるマルチメディアスケジューリング手法” 信学技報, RCS98-70, pp. 79-84, 1998.
- [4] S. Shenker, C. Partridge, and R. Guerin: Specification of Guaranteed Quality of Service. IETF Request for Comments (RFC) 2212, 1997.
- [5] P. Bhagwat, P. Bhattacharya, A. Krishna, and S. Tripathi: Enhancing throughput over wireless LANs using Channel State Dependent Packet Scheduling. In *Proc. of Infocom '96*, 1996.
- [6] S. Lu, V. Bhagavan, and R. Srikant: Fair Scheduling in Wireless Packet Networks. In *Proc. of ACM SIGCOMM '97*, 1997.
- [7] C. Fragouli, V. Sivaraman, and M. Srivastava: Controlled Multimedia Wireless Link Sharing via Enhanced Class Based Queueing with Channel State Dependent Packet Scheduling. In *Proc. of Infocom '98*, 1998.
- [8] J. Wroclawski: Specification of the Controlled Load Network Element Service. IETF Request for Comments 2211, 1997.
- [9] IEEE 802.11e draft/D4.1, *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2003.