

(5)ワイヤレス QoS 制御技術

第4世代移動通信システムでは、伝送路効率化のため、音声・動画・ストリームなどのリアルタイム通信を含むすべての通信を、パケット多重で無線伝送することを想定している。無線パケットにおける遅延特性は、トラヒックや無線品質の変動に応じて大きく変化するため、これらを補償し、多様なレートのリアルタイム通信を高効率で実現する新しいワイヤレス QoS 制御技術を提案する。

かやま ひでとし ちん らん きたざわ だいすけ
 加山 英俊 陳 嵐 北澤 大介
 もてぎ まさゆき うめだ なるみ
 茂木 誠幸 梅田 成視

1. まえがき

将来の第4世代移動通信システム（以下、4G システム）においては、高速伝送による多様なアプリケーションサービスの提供が可能となる。これらのアプリケーションには、それぞれの通信に必要な伝送帯域や許容伝送遅延といった、いわゆるサービス品質（QoS：Quality of Service）要求を有している。一方、このようなシステムにおいては、すべての信号をパケット多重して伝送するパケット方式が、伝送効率の観点から適している。そこで、各アプリケーションのQoS要求を満足しつつ、伝搬や干渉状況の変動を考慮して効率的に無線パケット多重を行うためのワイヤレス QoS 制御が、システム実現に向けたキーテクノロジーの1つとなる[1], [2]。

本稿では、現在検討中のワイヤレス QoS の提供機能、およびそのアーキテクチャと、これに用いられる新しいワイヤレス QoS 制御技術である「ハイブリッドスケジューリング」、「適応変調を考慮した受付制御」、「予約型上りパケッ

ト伝送技術」、「適応バッテリーセービング制御」について紹介する。

2. ワイヤレス QoS の提供機能

提案方式において提供する QoS 制御の機能には、以下のようなものがある。

(1) 定量保証と相対保証の提供

音声・動画・ストリームなど、多様なレートのリアルタイム通信を実現する定量保証型のサービスと、ベストエフォートベースの相対保証型サービスを提供する。

(2) IP・QoS との連動機能

定量保証型のパケットに Diffserv の EF (Expedited Forwarding) クラスを、相対保証型には BE (Best Effort) クラスを割り当てることで、ネットワーク内の IP・QoS と無線区間のワイヤレス QoS をパケット単位で連動可能とする。

(3) エリアフリーサービスの提供

適応変調による無線伝送速度の変化の影響を受けずに、定量保証ではセル内の端末位置によらず一定のユーザ伝送速度を提供する。

以上のワイヤレス QoS によるサービス提供について表1にまとめる。

3. ワイヤレス QoS アーキテクチャ[3]

前述の機能を実現し、高品位な QoS を提供するためには、RRC (Radio Resource Control) レイヤ、MAC (Medium Access Control) レイヤおよび無線リソース制御を連動させたレイヤ間にわたる総合的な制御が必須である。この制御機構を QoS アーキテクチャと呼ぶ。図1に提案するワイヤレス QoS アーキテクチャを示す。IP (Internet Protocol) パケットは、まず、RRC レイヤで DSCP (DiffServ Code Point) のクラス (EF または BE など) に応じて、定量保証/相対

表1 ワイヤレス QoS によるサービス提供例と制御

サービス / 適用技術		定量保証	相対保証
サービス提供内容		・干渉変動や場所によらず、定レートのサービスを提供する ・保証レート（受付レート）をトラヒックに応じてユーザの最大、最小要求の範囲内で設定する	Best Effort サービスを提供
QoS保証内容		伝送レートまたは遅延	
適用対象アプリケーション		リアルタイム	非リアルタイム
制御要素	受付制御	適用（QoS要求と無線状況変動を考慮する）	非適用
	マルチステージ型ハイブリッドスケジューリング	定量保証レート内パケット 相対保証パケット 定量保証レート外パケットの順序で優先制御する	
	ユーザ間のスケジューリング	保証レート、公平性などを考慮する	公平性 / 無線状況を考慮する

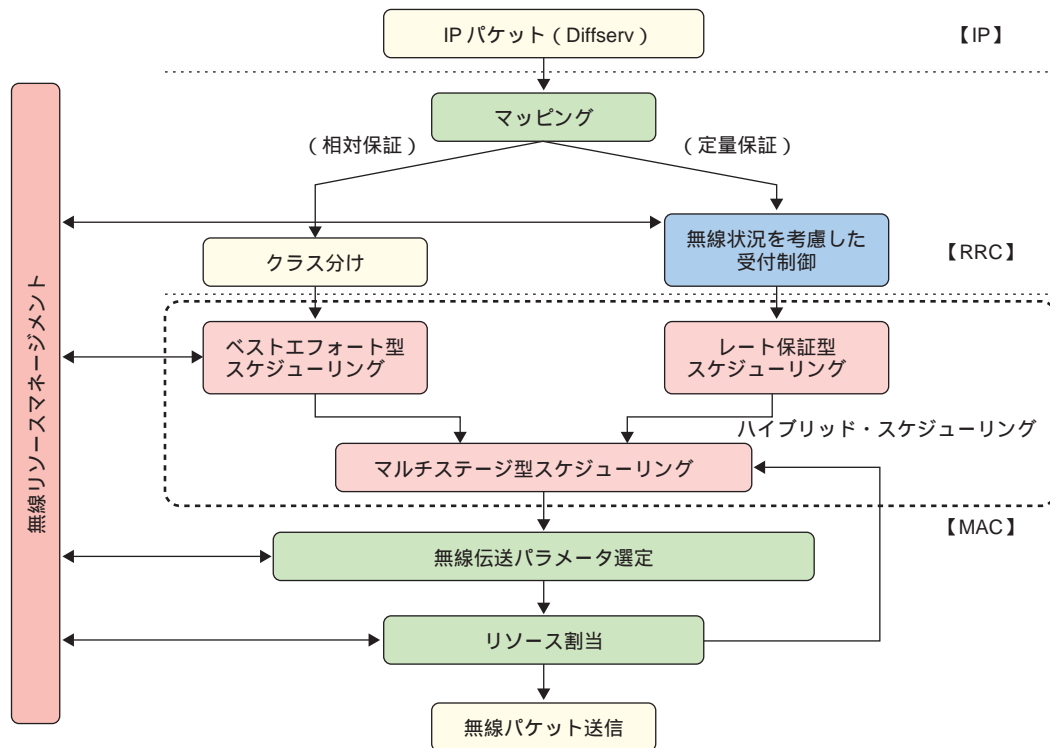


図1 ワイヤレスQoSアーキテクチャ

保証にマッピングされる。定量保証の場合は受付制御によってトラフィック量が制限され、チャンネルへの過負荷を防ぐようになっている。一方、相対保証は、必要に応じてさらに相対的な優先度で分類することも可能である（この場合は、AFクラスを使用）。次に、MACレイヤでは、定量保証および相対保証それぞれの要求条件を考慮した個別のスケジューリングアルゴリズムを適用する。また、両者に対してはマルチステージ型スケジューリング（図1）において、定量保証優先のスケジューリングを適用する。これにより、両者がリソースを完全に共用しながら、相対保証のトラフィックによらず定量保証のレートを保証することが可能となる。この階層型スケジューリングを、ハイブリッド・スケジューリングと定義する。パケットはその後、適切な伝送パラメータが選択され、無線リソースの割当てを受けて送信される。

次に受付制御とハイブリッドスケジューリングについて、詳細な説明を行う。

3.1 無線状況を考慮した受付制御[4]

近年の通信アプリケーションには、可変レートのコーディングによって伝送レートの変動に柔軟に対応する機能を有するものが多い。そこで、ユーザレートの許容変動範囲内で、保証レートを柔軟に設定する。受付制御を適用することによって、ユーザ収容数を大幅に増加させることが可

能である。

また、適応変調を用いる無線環境ではユーザの伝搬/干渉の変動により伝送レートが変動するが、エリアフリーでの定量保証レートを実現するため、提案方式では図2(a)のように、セル端などの希望信号電力対干渉および雑音電力比（SINR：Signal to Interference and Noise power Ratio）が低い時のパケット伝送に使われる最も伝送速度の遅い変調パラメータセットを用いた場合の伝送レートをリンク容量の基準値とするという特徴もある。本方式では、さらに図2(b)のように、リソースの効率性を考慮するため、定量保証における受付済み保証レートではなく、測定に基づく実トラフィック量に応じて受付可能レートを計算している。図2(c)d)には、シミュレーション評価から得られた定量保証の満足率、相対保証の伝送レートを示す。図においてRRは、受付制御のないRound Robinでの特性を、PS（Priority Scheduling）は、定量保証を無条件に優先する条件での特性を示す。これらの特性から提案方式（ワイヤレスQoS）では、保証レートをユーザの最大最小レート要求範囲内で動的に設定し、保証レートを考慮したスケジューリングを行うことで、相対保証ユーザの伝送レートを大きく劣化させずに、定量保証ユーザの満足率を向上できることが分かる。

3.2 ハイブリッドスケジューリング

複数のユーザ宛てのパケットを共用チャンネル上で伝送す

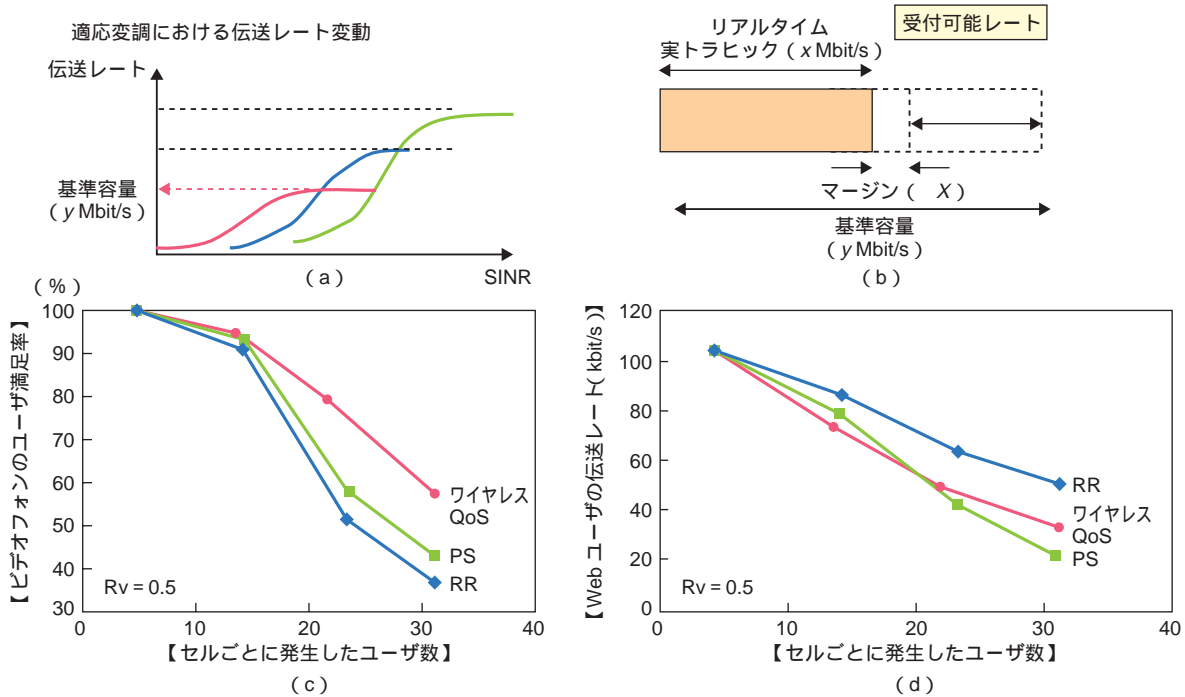


図2 無線状況を考慮した受付制御の原理

る場合の送信順序を決定するスケジューリングは、QoSを実現する重要な技術の1つである。また、移動通信環境では、周波数帯域や送信電力などのいわゆる無線リソースの有効利用が求められるが、この無線リソースの効率を高めることもスケジューリングの目的となる。従来は、QoS要求を考慮したスケジューリング[3]、あるいは、無線リソースの効率向上を目的としたスケジューリング[4]についていくつかの提案がある。しかしながら、QoSの実現が要求条件の1つである4Gシステムでは、ユーザのQoSに応じて、それらのスケジューリングを共存させることによりQoSの実現と無線リソースの効率化を両立させることをねらう。これを実現する方式として、これまでにハイブリッドスケジューリング[5]、[6]を提案している。

図3にハイブリッドスケジューリングの構成を示す。ここでは、下り伝送の場合について説明する。3章で述べたように、各パケットは、まず定量保証型と相対保証型に分類される。分類された各パケットは、定量保証ユーザ宛てのパケットであればユーザごとに用意される送信バッファへ、相対保証ユーザ宛てのパケットであればユーザごと、またはQoSクラスごとに用意された送信バッファへと転送される。これは、QoS保証の観点から定量保証ユーザに対してユーザ個々の保証レートと許容遅延に基づく制御が必要となる一方で、相対保証についてはQoSクラス単位の制御で十分であるためである。しかし、後述する無線チャネル効率を考慮したスケジューリングを行う場合は、ユーザ

ごとの伝搬状態を考慮する必要があり、ユーザごとのバッファ構成が必要となる。

次に、定量保証ユーザには、3.1項で述べた受付制御で設定された保証レートを考慮したフロー制御、相対保証ユーザには無線チャネルの効率およびユーザ間/クラス間の公平性を重視したスケジューリングが適用される。定量保証および相対保証のそれぞれに対して適用が考えられる、具体的なスケジューリング例としては、次のようなものがある。

(1) 定量保証

- WRR (Weighted Round Robin) : 各ユーザは、順番に決められた量 (ウエイト) のパケットを送信する。
- HEF (Header Early First)[7] : 各パケットに付与されたタイムスタンプ (以下、TS) に基づき、各バッファの先頭パケットのTSを見て、TSの小さい順に取り出す。

いずれの方式も、各バッファから取り出されるパケット数は受付制御によって決定された保証レートによって定まる。

(2) 相対保証

- PF (Proportional Fairness) 法[8] : 各ユーザの瞬時 SINR および一定区間において測定した平均 SINR に基づき、(瞬時 SINR) / (平均 SINR) の大きい順に送信する方法である。無線リソースの効率とユーザ間の送信機会の公平性を考慮している。

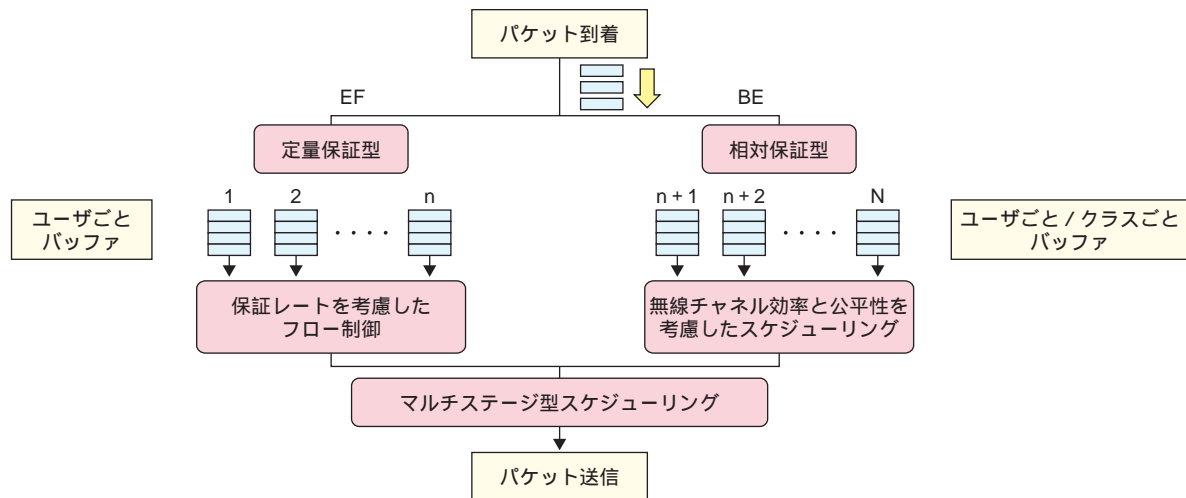


図3 ハイブリッドスケジューリング

- CBQ (Class-Based Queuing) : 送信バッファ構成をクラスごととしてクラス単位のQoS制御を行う場合、各クラスに対して、その優先度に応じた重み付けをし、重みに従いパケットをバッファより取り出し送信する。

定量保証型と相対保証型は、さらに下層のマルチステージ型スケジューリングにおいて 定量保証の保証レート内のパケット、 相対保証のすべてのパケット、 定量保証の保証レート外のパケットの優先順位でスケジューリングされ、下位レイヤに転送される。

本節で述べたハイブリッドスケジューリングにより、定量保証ユーザに対しては遅延と送信レートの保証が可能となり、相対保証ユーザに対しては無線チャネル効率と公平性を考慮することで、ある程度のユーザ間の公平性を保ちつつ、無線リソースの有効利用を図ることができる。

4. 予約型上りパケット伝送技術

下り伝送では、基地局が一括してパケットチャネルを管理して送信を行うため、パケット単位のリソース割当ては比較的容易である。一方、上りパケット伝送においては、ランダムアクセスが基本となることから、複数のパケットが同時に送信されるとMAI (Multiple Access Interference) による信号誤りが発生する可能性があり、遅延の発生要因となりうる。このような条件下で定量保証のパケット伝送を実現するには、先に述べた受付制御とスケジューリングにより、リアルタイム通信のトラフィック量と送信レートを制限し、各パケットが過度に重なり合わないよう送信タイ

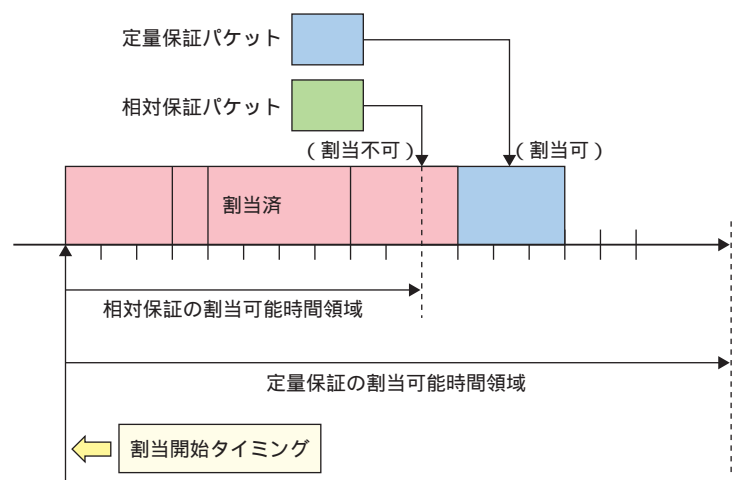


図4 PRAの動作概要

ミングを調整しながら、定量保証のパケットに優先してリソースを割り当てることができる仕組みが必要である。そこで、上りアクセスプロトコルとして予約型アクセスを基本とし、高効率化とQoS保証の両立を目的として、以下の技術をMAC制御に導入することを提案する。

- (1) PRA (Prioritized Resource Allocation) [9]

予約に基づいてリソースを割り当てるとき、ベストエフォートのパケットに対してリアルタイム通信のパケットを時間的に先行した領域まで割り当て可能とすることで、リソースの優先割当てを実現する。図4にPRAの動作概要を示す。

- (2) バースト単位の個別制御チャネル割当て

パケットバースト（一連のパケット送受信、例えば、Web 1 ページをダウンロードする程度の期間）単位に個別の低レート制御チャネルを割り当て、この上でリソース割当てを要求する端末から基地局への予約信号を転送

するとともに、閉ループの送信電力制御 (TPC : Transmit Power Control) を実施することで、パケットごとのパワーランピングが不要となり、チャネル容量を増加させることが可能となる[10], [11]。また、本チャネルにはH-ARQ (Hybrid ARQ) の送達確認や、AMC (Adaptive Modulation and Coding) のためのCQI (Channel Quality Indicator) の通知、さらにアダプティブアンテナの制御信号を載せることも可能である。

(3) インターリーブ予約

予約制御では一般にRTT (Round Trip Time) に伴うレート低下が起こりうる。そこで1端末で複数の予約制御プロセスを並行して実施することで、レート低下を防ぐ。

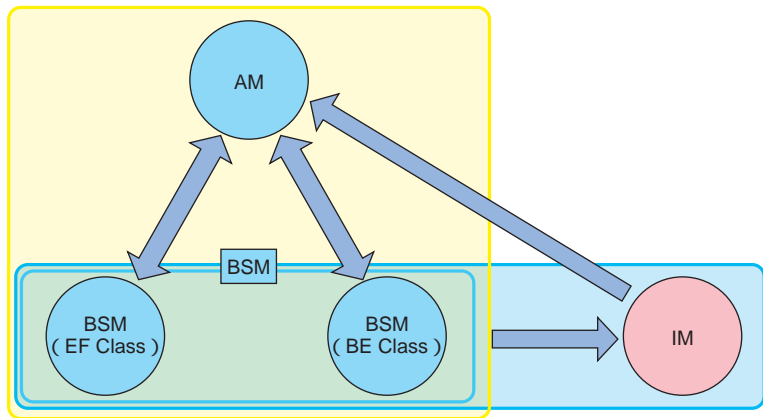
5. 適応バッテリーセービング技術

端末のバッテリーセービング方法としては、待受時に、基地局から送信される報知信号を間欠的に受信する方法が一般的である。既存のコネクションオリエンテッド型の移動通信 (通信開始時に基地局と移動局との間でコネクションを確立してから行う通信) では、通信の開始および終了が明確であり、通信終了後は直ちに端末は待受け状態へ遷移する。また、間欠受信の周期は通常、1周期のみが設定されている。

一方、無線LANなどのコネクションレスパケット通信システム (コネクションを確立せずにパケット単位でルーティングし、通信を行うシステム) では、通信の開始および終了が明示的にリンクレイヤに通知されないため、タイムにより待受状態へ遷移させる方法が適用されている。

4Gシステムでは、すべての通信を無線パケット多重で伝送することを想定している。そこで、従来のバッテリーセービング方法を適用すると、間欠受信に伴う呼出遅延などにより、例えばリアルタイム通信においてパーストの先頭パケット欠落などが発生する恐れがある。これを解決するため、コネクションレス型通信に適用可能で、かつQoSを考慮できるバッテリーセービング技術である、ABCM (Adaptive Battery Conservation Management) 方式を提案する[12]。

パケット通信では多くの場合、パケットパーストを連続的に送受する状態と、それを全く行わない状態の2状態がある。この特徴に着目し、ABCMではバッテリーセービング効果を向上させるために新たにBSM (Battery Saving



基地局からの制御信号を間欠受信する状態

図5 ABCMの状態遷移

Mode) 状態を定義する。

図5にABCMにおける端末の状態遷移ダイアグラムを示す。端末の状態としてAM (Active Mode), IM (Idle Mode) およびBSMの3つの状態が定義され、さらにBSMではDSCPで規定されるQoSクラスに応じて、複数のサブモード (BSM-EF, BSM-BE) が定義される。それぞれの状態へはタイムにより遷移する。

BSMは、AMとIMの中間的な状態であり、IM同様、基地局から送られる制御信号を間欠的に受信する。IMとの相違点は、間欠受信周期がDSCPに応じて設定される点で、遅延条件の厳しいEFクラスに対してはBEクラスよりも短い周期が設定される。また、BSM状態への遷移タイムもDSCPに応じて設定され、EFクラスはBEクラスよりも長いタイム値が用いられる。

この方式を適用することにより、EFクラスではバッテリーセービング効果は従来と比較してそれほど効果は得られないものの、パケットの遅延時間の保証が可能となる。一方、BEクラスでは (最大で間欠受信周期と同等の遅延時間増加が見込まれるものの) 効果的なバッテリーセービングが可能となり、シミュレーション評価の結果、BSMを用いない従来の方式と比べ約30%の改善が見込まれることが分かった。

6. あとがき

本稿では4Gシステムに向けて提案、評価を行っているワイヤレスQoS技術について概要を述べた。今後シミュレーションによる、より詳細な評価を行うとともに、試作機を用いて各種実アプリケーションとの整合性や有効性について検証を行っていく予定である。

文 献

- [1] 山尾, 梅田, ほか: “ 第4世代移動通信の展望 無線システムを中心とした課題について ” IEICE 論文誌 Vol.J83・B, No.10, Oct.2000 .
- [2] S.Ohori, Y.Yamao, et.al.: “ The future generations of mobile communications based on broadband access technologies ”, IEEE Communications Magazine, pp.134 - 142, Dec.2000.
- [3] P.Ferguson and G. Huston: “ Quality of Service ”, John Wiley & Sons, 1998.
- [4] Y. Cao and Victor O.K. Li: “ Scheduling Algorithms in Broad - Band Wireless Networks ”, Proceedings of IEEE, Vol.89, Issue:1 pp.76 - 87, Jan.2001.
- [5] 陳, ほか: “ CDMA 高速無線パケットシステムにおけるワイヤレス QoS 制御(1) - アーキテクチャ - ”, 2003年電子情報通信学会総合大会 .
- [6] 陳, ほか: “ CDMA 高速無線パケットシステムにおけるワイヤレス QoS 制御(2) - 無線状況変動を考慮した受付制御及びハイブリッドスケジューリング - ”, 2003年電子情報通信学会総合大会 .
- [7] 北澤, ほか: “ CDMA 高速無線パケットシステムにおけるワイヤレス QoS 制御(3) - 滞留時間を考慮したスケジューリングに関する検討 - ”, 2003年電子情報通信学会総合大会 .
- [8] A. Jalali, et.al.: “ Data Throughput of CDMA - HDR a High Efficiency - High Data Rate Personal Communication Wireless System, ” IEEE Proc. VTC - 2000 Spring.
- [9] 加山, ほか: “ 高速無線パケットシステム上りチャンネルにおける PRA(Prioritized Resource Allocation)方式の検討 ”, 2003年信学総大 .
- [10] 長塚, ほか: “ W - CDMA パケット移動通信における伝送アクセス方式の容量評価 ”, 1998年信学総大 .
- [11] 邱, ほか: “ CDMA 高速無線パケットシステムにおける個別チャネル制御型予約アクセスプロトコルの検討 ”, 2003年信学総大 .
- [12] 茂木, ほか: “ マルチメディア無線パケット通信における適応パツテリセーピング制御方式 ”, 信学技報, NS2001 - 242 IN2001 - 198, Mar.2002 .

用 語 一 覧

ABCM	: Adaptive Battery Conservation Management
AM	: Active Mode
AMC	: Adaptive Modulation and Coding
BE	: Best Effort
BSM	: Battery Saving Mode
CBQ	: Class - Base Queuing
CQI	: Channel Quality Indicator
Diffserv	: Differentiated Services (優先度処理)
DSCP	: DiffServ Code Point
EF	: Expedited Forwarding
H - ARQ	: Hybrid ARQ (Automatic Repeat reQuest)
HEF	: Header Early First
IM	: Idle Mode
IP	: Internet Protocol
MAC	: Medium Access Control
MAI	: Multiple Access Interference
PF	: Proportional Fairness
PRA	: Prioritized Resource Allocation
PS	: Priority Scheduling
QoS	: Quality of Service (サービス品質)
RRC	: Radio Resource Control
RTT	: Round Trip Time
SINR	: Signal to Interference and Noise power Ratio (希望波信号電力対干渉および雑音電力比)
TPC	: Transmit Power Control (送信電力制御)
WRR	: Weighted Round Robin