CDMA パケット通信におけるダイナミックスケジューリングを用いた遅延時間制御型 QoS 制御方式

小 川 将 克† 服 部 武†

移動通信において，マルチメディアサービスの提供と多様なユーザニーズに応じるために，サービス品質（QoS）制御を考慮したパケット通信の重要性が高まっている．本論文では，QoS を遅延時間と定義し，ダイナミックキューイングコントロール，ダイナミックリソースアロケーションコントロールおよびアドミッションコントロールを用いた CDMA 方式による QoS 制御方式の提案をしている．コンピュータシミュレーションにより提案方式の性能評価を行う．提案方式を用いることにより統計的多重効果が高まり，高いパケット送信成功率が得られ，QoS に応じた通信を行える．さらに高優先度の移動局数を増加させた場合に生じる低優先度の移動局への犠牲を低減できる．また，プライオリティーキューイングと比較することで，提案方式の有効性を示す．

Dynamic Scheduling for Controlling Delay Time for QoS in CDMA Packet System

Masakatsu Ogawa† and Takeshi Hattori†

In mobile communications, in order to offer multimedia service and various user needs, the importance of the packet communication in consideration of QoS control is on the increase. In this paper, we define QoS as delay time, and propose new QoS control in CDMA that contains of dynamic queuing control, dynamic resource allocation control and admission control. The performance of the proposed control is evaluated by computer simulation. By utilizing proposed control, it is shown that the statistical multiplex effect and the success rate of the packet transmission are raised and QoS is satisfied. The sacrifice to the mobile terminal of a low priority which occurs when the number of mobile terminals of a high priority is increased can be reduced. By comparing with priority queuing, the effectiveness of the proposed system is shown.

1. はじめに

近年，情報化社会の発展にともない携帯情報端末などを用いたデータ通信トラヒックが急激に増加している．今後，第 3 世代移動通信（IMT-2000: International Mobile Telecommunication-2000）の導入により，無線環境におけるデータ通信への需要がますます高まると予測される．無線を利用したシステムでは，有線によるシステムとは異なり，配線を必要としないため，端末はネットワーク内を自由に移動できる．しかし，電波という媒体を共有するため，ランダムに通信を行うと利用効率が低下する．それを克服するために，限られた周波数帯域を複数のユーザが共有して効率良く伝送するための MAC（Medium Access Control）プロトコルが必要であり，研究がさかんに行われている[1)~4)]．さらに，電波として利用できる周波数帯域には限りがあるため，伝送容量の限界が存在する．IMT-2000 では，統計的多重効果により加入者容量の増大が可能な CDMA（Code Division Multiple Access）方式を採用している．また，CDMA は性質の異なるメディアを同時に伝送できるという特徴を持つ．さらに，マルチメディア化にともない，ユーザが扱うメディアの種類は増加する傾向にある．そのため，メディアの特徴に応じた品質を満たす通信を行うための QoS（Quality of Service）制御の研究がさかんに行われている．これまでの QoS の研究は，リアルタイムメディアとノンリアルタイムメディアを複合するための制御が中心である．提案する QoS は遅延時間であり，メディアの特徴を活かすための QoS とは性質が異なる．筆者らは，ユーザの視点からサービスの品質を評価するうえでの要素は遅延時間であると考え

† 上智大学理工学部電気・電子工学科
Department of Electrical and Electronics Engineering, Sophia University

ている．今後，トラヒックの増加にともない遅延時間に対するユーザの要求が高まると予測され，遅延時間の QoS 制御を用いた MAC プロトコルが必要になる．

本論文では，ダイナミックキューイングコントロール，ダイナミックリソースアロケーションコントロールおよびアドミッションコントロールにより構成される QoS 制御方式を用いた MAC プロトコルの提案を行う．以後，キューイングとリソースアロケーションを総称してスケジューリングと呼ぶ．提案方式をシミュレーションにより評価し，高優先度のパケットから FIFO 順に送信を許可するプライオリティーキューイングと比較することにより，パケット送信成功率および QoS を評価し，本提案方式の有効性を示す．本論文の構成は以下のとおりである．2 章で関連した従来研究について述べる．3 章，4 章でサービスモデル，システムモデルを設定し，5 章で受信電力の割当て方法を述べる．6 章で提案する QoS 制御について提供し，7 章で提案方式をシミュレーションにより評価する．最後に 8 章で本論文のまとめを述べる．

2. 従来研究

パケットの送信終了までの遅延時間は，パケットの生起を起点とする．ユーザがパケット送信を開始するにあたり，送信のためのチャネルを獲得しなければならない．そのために MAC プロトコルが必要である．これより，提案する QoS 制御方式は，MAC プロトコルの機能の一部であるとする．従来提案された様々な MAC プロトコルは，中央型制御と分散型制御の 2 つのタイプに分類することができる．中央型制御は，端末の無線媒体の使用を中央制御装置（基地局，アクセスポイントなど）において制御するものであり，SRMA（Split-Channel Reservation Multiple Access）[1]，DQRUMA（Distributed Queueing Request Update Multiple Access）[2]および IEEE 802.11 における PCF（Point Coordination Functrion）[3]などがある．分散型制御は，端末自信が無線媒体の使用状況を判断して，無線媒体の使用を制御するものであり，CSMA（Carrier Sense Multiple Access）[4]および IEEE 802.11 における DCF（Distributed Coordination Function）[3]などがある．

筆者らは，遅延時間に基づく QoS 制御を行うために，中央型制御を利用することが好ましいと考えている．中央型制御の利点は，すべての端末の状態を把握できることである．そのため，要求される遅延時間に応じてパケットの送信が行える．分散型制御の CSMA ではチャネルが使用中の場合，あるバックオフ間隔だけ送信を控える．したがって，遅延時間の増加に応じてバックオフを短くすることで，遅延時間保証が行われると予測されるが，パケットの衝突が増加する．分散型制御において，端末ごとに公平な伝送効率を得るアルゴリズムが提案されているが，遅延時間に基づくものではない[5]．

中央型制御を利用することにより，パケット送信終了までに費やされる遅延時間は，アクセス遅延時間，キューイング遅延時間およびパケット伝搬遅延時間の総和となる．アクセス遅延時間は，端末がパケットの送信要求を行うために費やされる時間である．DQRUMA をはじめとする中央型制御の MAC プロトコルでは，キューイング遅延時間およびパケット伝搬遅延時間に関する制御がほとんど含まれていない．そのため，本論文においてパケットの送信要求後のキューイング遅延時間およびパケット伝搬遅延時間の制御に着目する．提案方式において，前者はダイナミックキューイングコントロール，後者はダイナミックリソースアロケーションコントロールに対応する．

スケジューリングに関する研究は GPS（Generalized Processer Sharing）[6]を基礎としている．そのためルータなどで用いられている WFQ（Weited Fair Queuing）[7]などは GPS の応用アルゴリズムであり，GPS を基にした様々な研究が行われている．しかし，これらはフローの持つサービスシェアに応じてリソースの割当てを行うため，ユーザが必要とする規定した遅延時間内に送信を終了するための制御が含まれていない．また，同時に複数のフローをサービスする GPS は，無限小のパケットを用いることで忠実に実現できるが，現実的に困難とされており，フローごとにパケット単位にサービスする WFQ のようなスケジューラが実用化されている．しかし，近年の無線技術の発達にともない，CDMA を利用することにより，同時に複数のフローをサービスできる．GPS の概要を下記に示す．

すべてのフローがサービスシェアを持ち，フロー i のサービスシェア $\phi_i > 0$ とする．また伝送路の伝送速度を R とすると，バーチャルタイム V（単位サービスシェアあたりのサービス量）は，次式により求まる．

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \begin{cases} \dfrac{R}{\displaystyle\sum_{i \in B(t)} \phi_i} & \text{if } \displaystyle\sum_{i \in B(t)} \phi_i \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{1}$$

ここで，$B(t)$ は時刻 t においてバックログのあるフローの集合を指す．

これにより，時刻 $[t_1, t_2]$ におけるフロー i のサービス量 $W_i(t_1, t_2)$ は，

$$W_i(t_1, t_2) = \phi_i \cdot (V(t_2) - V(t_1)) \quad (2)$$

となる．ただし，フロー i は，時刻 $[t_1, t_2]$ においてバックログ状態であるとする．

したがって，GPS はフローのサービスシェアに比例する伝送速度を割り当てることと理解できる．しかし，実際のモデルでは，同時に複数のフローをサービスすると干渉が起こるため，GPS をそのまま利用することは困難である．

本論文では干渉を考慮したリソースの割当て方法を提案し，遅延時間に基づく通信を行うためのモデルの設定とその実現方法について述べる．

3. サービスモデル

サービスモデルについて述べる．ユーザが送信するメディアとして，音声，データおよび映像がある．本論文では，ATM（Asynchronous Transfer Mode）における ABR（Available Bit Rate）トラヒックのようなデータ通信を想定する．また，ユーザは様々な大きさのパケットを送信するため，可変長パケットを送信するモデルとする．本論文では，QoS をパケットが生起された後，そのパケットの送信が終了するまでの許容遅延時間（ADT: Allowable Delay Time）と定義し，Class I および Class II の 2 つの CoS（Class of Services）を設け，CoS ごとに平均パケット長 PL_{avg} の許容遅延時間 ADT_{avg} を設定する．これにより，任意のパケット長 PL における ADT は，次式より求まる．

$$ADT = ADT_{avg} \cdot \frac{PL}{PL_{avg}} \quad (3)$$

また，ADT_{avg} は，Class II よりも Class I の方が短いものとする．つまり，QoS レベルは，Class I>Class II としている．この ADT は，サービス設計のために基準となる値であるため，ADT を超過した場合もサービスを続けるものとする．また，実際のサービスと対応させるために，この ADT からのマージンを設定する必要がある．もし，このマージンが非常に小さければ理想的なサービスである．以上のことから，提案するサービスはベストエフォートではなく，遅延時間保証である．一般的に複数のトラヒッククラスを設ける場合，リアルタイムトラヒックとノンリアルタイムトラヒックのためのクラス分けと，ユーザの要求に対する優先制御のためのクラス分けの 2 種類が考えられる．本論文では後者を適用し，Class I はビジネスユーザ，Class II はコンシューマに対応させることができる．また，具体的なサービス例を**表 1** に示す．Class I は遅延時間に厳しい緊急支援などであり，Class II は多少の遅延を許容できるリモートログインなどである．

表 1 サービス例
Table 1 Example of service.

Class I	Class II
Emergency aid	Remote login
Finance	Data base access
Field service	Both way message

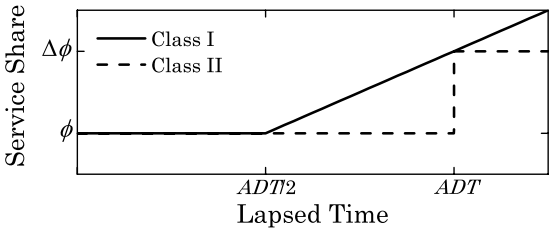

図 1 CoS ごとのサービスシェア
Fig. 1 Service share for each CoS.

すべての移動局は，サービスシェアを持ち，移動局 i のサービスシェアを ϕ_i とし，パケットが生起した時刻を A_i とする．パケットが生起してからの経過時間 τ_i は，現時刻 t とすると，

$$\tau_i = t - A_i \quad (4)$$

により示せる．サービスシェア ϕ_i は，次式で示される関数に従うものとする．

In case of $i \in$ Class I

$$\phi_i(\tau_i) = \begin{cases} \phi & \text{if } 0 \le \tau_i < ADT/2 \\ \phi + \dfrac{(\Delta - 1) \cdot \phi}{ADT/2} \cdot \left(\tau_i - \dfrac{ADT}{2}\right) & \\ & \text{if } ADT/2 \le \tau_i \end{cases} \quad (5)$$

In case of $i \in$ Class II

$$\phi_i(\tau_i) = \begin{cases} \phi & \text{if } 0 \le \tau_i < ADT \\ \Delta \cdot \phi & \text{if } ADT \le \tau_i \end{cases}$$

ここで，$\phi > 0$ は基本サービスシェア，$\Delta \ge 1$ は保証度（Guarantee Index）である．また，式 (5) を**図 1** に示す．

リソースを式 (5) で示したサービスシェアに比例して割り当てる．つまり，移動局 i に割り当てられるリソース比率 ψ_i は，

$$\psi_i(t) = \frac{\phi_i(\tau_i)}{\sum_{j \in l(t)} \phi_j(\tau_j)} \quad (6)$$

で表される．ここで，$l(t)$ は時刻 t においてパケット送信中の移動局の集合を指す．すべてのバックログパケットの経過時間が短ければクラス分けを行う必要がないため，経過時間が $ADT/2$ 以下である場合は，公平に扱うものとする．

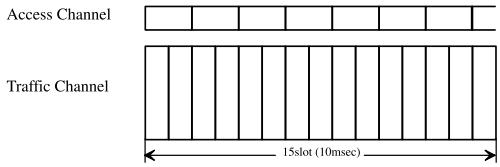

図 2 フレーム構成
Fig. 2 Frame structure.

4. システムモデル

4.1 フレーム構成

図 2 に示した W-CDMA のフレーム構成を利用する[8]．1 フレームが 10 msec であり，15 個のタイムスロットにより構成されている．アップリンクチャネルとして，リクエストアクセス（RA）のためのアクセスチャネルおよびパケット送信のためのトラヒックチャネルを想定する．送信電力制御（TPC: Transmission Power Conrtrol）は，遠近問題や電界強度の変動を適応的に克服するために利用され，提案方式では，スロットごとに TPC が行われる．

4.2 パケット送信手順

提案方式では，DQRUMA のようにリクエストアクセス後にパケットを送信する．つまり，基地局の指示によりパケットが送信される．したがって，RA 情報に基づいたスケジューリングが可能である．提案方式のパケット送信手順を**図 3** に示す．

Step 1. 移動局においてパケットが発生すると，パケット送信のためにアップリンクのアクセスチャネルでリクエストアクセスを行う．このアクセス方式は，Slotted ALOHA を用いる．移動局からの RA 情報は，移動局 ID，パケットサイズ情報および QoS 情報（パケット発生時刻および CoS 情報が含まれる）で構成されている．

Step 2. 移動局がリクエストアクセスに成功すると，基地局のリクエストテーブルにその RA 情報が登録される．リクエストテーブルは，移動局の RA 情報で構成され，RA 情報を管理するために用いられる．したがって，基地局は，移動局のリクエストアクセスを受信すると，その移動局 ID を含む ACK を報知する．

Step 3. 移動局は，リクエストアクセスの成功を示す ACK を受信すると，パケット送信待ち状態になる．基地局におけるダイナミックキューイングコントロールにより，移動局 ID を用いて移動局に対しパケット送信の許可をする．許可された移動局は，次のスロットでパケット送信を開始する．その後，ダイナミックリソースアロケーションコントロールによりスロットごとにサービスシェアに適したリソースを割り当てる．

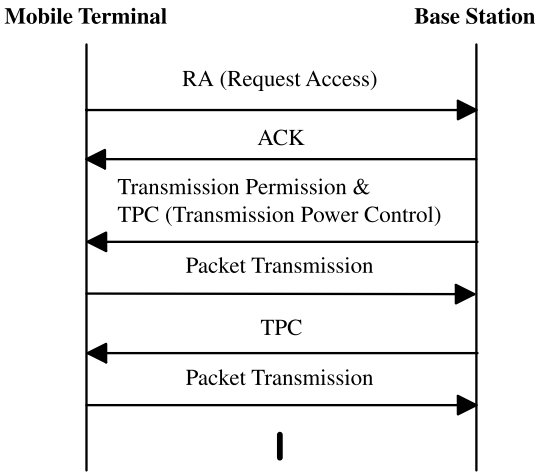

図 3 パケット送信手順
Fig. 3 Procedure of packet transmission.

このとき，TPC が行われるものとする．パケット送信を終了した移動局の RA 情報は，リクエストテーブルから削除される．また ADT を超過した移動局の RA 情報は，リクエストテーブルから削除されパケット送信できないものとする．

5. 受信電力の割当て方法

移動局 i において，要求する SIR（搬送波電力対干渉電力比）を γ_i とし，基地局での受信電力を P_i とする．拡散帯域幅を W，熱雑音や他セルからの干渉などの雑音電力密度を η_0 とする．移動局 i のパケットが基地局において，正しく受信されるための条件は次式で示せる．

$$\frac{G_i \cdot P_i}{\sum_{k \neq i} P_k + \eta_0 \cdot W} \geq \gamma_i \tag{7}$$

ここで，G_i は拡散率であり，伝送速度を R_i とすると $G_i = W/R_i$ で示せる．式 (7) より，最適な受信電力は次式となる．

$$P_i = \frac{g_i \cdot \eta_0 \cdot W}{1 - \sum_k g_k} \tag{8}$$

ただし，

$$g_i = \frac{\gamma_i}{\gamma_i + G_i} \tag{9}$$

ここで，g_i を電力値と呼ぶ．式 (8) で示した最適な受信電力は，移動局 i の伝送速度と必要 SIR により求まる g_i によって表せる．また，式 (8) より最適な受信電力には次式に示す限度がある．

$$\sum_k g_k < 1 \tag{10}$$

ここで，この 1 は全体の電力値を示している．これよ

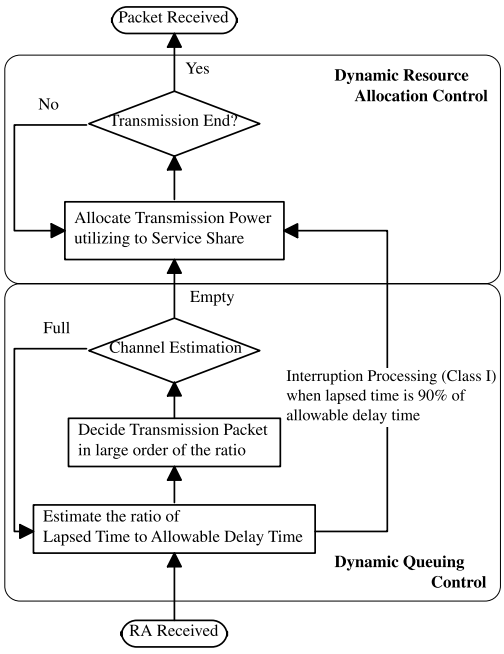

図 4 QoS コントロール手順
Fig. 4 Procedure of QoS control.

り，移動局に対し式 (10) を満たすように電力値を割り当てれば，式 (8) により最適な受信電力，また式 (9) から得られる式 (11) により，その最適な受信電力における伝送速度が求まる．

$$R_i = \frac{g_i \cdot W}{\gamma_i \cdot (1 - g_i)} \tag{11}$$

次章において，サービスシェアを利用した受信電力の割当て方法について述べる．

6. QoS コントロール

QoS コントロールは，ダイナミックキューイングコントロール，ダイナミックリソースアロケーションコントロールおよびアドミッションコントロールにより構成されている．QoS コントロールのフローチャートを**図 4** に示す．

6.1 ダイナミックキューイングコントロール

移動局 i においてパケットが発生すると，そのパケット長 PL に適した ADT が式 (3) により求まる．リクエストテーブルにおいてパケット送信許可順序を定めるために，次式に示すキューイング値 $Que_Index(t)$ を用いる．

$$Que_Index(t) = \frac{\tau_i}{ADT} = \frac{t - A_i}{ADT_{avg}\frac{PL}{PL_{avg}}} \tag{12}$$

ここで，$Que_Index(t)$ は時刻 t の関数である．また，最大送信許可移動局数を規定する．スロットの開始時刻 t_1 における $Que_Index(t_1)$ の降順にその許可中の移動局数に応じてパケット送信を許可する．$Que_Index(t)$ の順序は，時刻 t によって変化するため，ダイナミックなキューイングとなる．さらに，Class II に比べ Class I は ADT を超過する確率が高いために，ADT を超過しそうな Class I の移動局のパケットに対し割込み処理を行う．このとき，最大送信許可移動局数を無視できる．シミュレーションでは，割込み処理のタイミングは，経過時間が ADT の 90%に到達したときとする．

6.2 ダイナミックリソースアロケーションコントロール

ダイナミックリソースアロケーションコントロールは，移動局の持つサービスシェアに最適なリソースを割り当てるための制御である．CDMA では，リソースの割当てを基地局における受信電力の割当てに置き換えることができる．

式 (8) により，最適な受信電力は電力値 g_i により表せる．よって，移動局の持つサービスシェアに応じてリソースを割り当てるためには，等価的に電力値を割り当てることと等しい．チャネル速度 CR を規定することで，式 (9) より最大電力値 g_{max} が求まる．移動局 i に割り当てられる電力値 g_i を次式で示す．

$$g_i(t) = g_{max} \cdot \frac{\phi_i(\tau_i)}{\sum_{j \in l(t)} \phi_j(\tau_j)} = g_{max} \cdot \psi_i(t) \tag{13}$$

ここで $l(t)$ は，時刻 t におけるパケット送信中の移動局の集合を指す．これより，移動局 i の伝送速度は，式 (11) より

$$R_i(t) = \frac{g_{max} \cdot \psi_i(t)}{1 - g_{max} \cdot \psi_i(t)} \cdot \frac{W}{\gamma_i} \tag{14}$$

となる．この伝送速度を用いることにより，干渉分を考慮したリソースの割当てが行える．式 (5) に示すサービスシェアは経過時間により変化するため，スロットごとにリソースの割当てを行う．このスロットを利用することにより，干渉を考慮して GPS を忠実に実現できる．スロットごとにリソースを割当てを変更するためには，伝送速度に適した拡散率を変更させる必要がある．そのため，スロットごとに拡散率に対応した拡散符号の変更を行うコードホッピングを利用することにより，経過時間により変化するサービスシェアに応じた受信電力の割当てが行われる．式 (14) における任意の伝送速度に対応する拡散符号が存在しない場合がある．その場合はその伝送速度を超さない最大の伝送速度が得られるマルチコードを選択する．

表 2 シミュレーションパラメータ
Table 2 Simulation parameters.

System Parameter	
Spread Bandwidth W	5 MHz
Channel Rate CR	384 kbps
The maximum number of stations which permit to send a packet	4 stations
Guarantee Index Δ	1-100
Basic Service Share ϕ	1
Required SIR	9 dB
The number of the Maximun RA Transmission	5 times
Mean packet length (Exponential distribution)	4.8 kbyte
Mean packet generation interval (Exponential distribution)	125, 130, 135, 150 msec
ADT_{avg} of Class I	2 sec
ADT_{avg} of Class II	10 sec
Maximum Queue Size of Class I	4.8 kbyte×20
Maximum Queue Size of Class II	4.8 kbyte×100
The generation ratio of Class I to Class II	1 : 1, 3 : 7

6.3 アドミッションコントロール

移動局はランダムにリクエストアクセスするため，リクエストアクセスの増加により，QoS を満たさなくなる可能性が生じる．そのため，アドミッションコントロールが必要である．パケット送信待ちの移動局の RA 情報はリクエストテーブルに登録されており，CoS ごとのパケットサイズの総和を待ち行列サイズと呼ぶ．CoS ごとに最大待ち行列サイズを定め，この最大待ち行列サイズを超過した CoS の移動局に対し，リクエストアクセスを制限することにより QoS 制御がより厳密に行われる．

7. シミュレーション

提案方式を Visual SLAM を用いて，シミュレーションにより評価する[9]．また，提案方式と送信許可順序の制御しか行わないプライオリティーキューイングの性能比較を行う．

7.1 シミュレーション条件

シミュレーションで利用するパラメータを**表 2** に示す．パケット長およびパケット発生間隔は，指数分布に従うものとする．CoS ごとの最大待ち行列長は，チャネル速度で ADT_{avg} 以内に送信できる最大の容量とする．保証度 $\Delta = 1$ はサービスシェアが変動しないモデルであり，$\Delta > 1$ はダイナミックに変動するモデルである．さらに，プライオリティーキューイングで利用するパラメータも表 2 のものとする．本論文でのプライオリティーキューイングは提案方式とは異なり，すべての移動局は同じ伝送速度でパケット送信し，割込み処理がなく，送信許可順序の制御しか行わないモデルである．また，リクエストアクセスについては衝突を考慮するが，パケット送信については伝搬ロスによる影響を含み完全電力制御され要求する SIR を満たすものとする．さらに，パケットには誤り訂正符号が付加されており，熱雑音などのランダム誤りを訂正でき，かつフェージングなどによるバースト誤りは，完全電力制御で克服できるものとする．

7.2 評価方法

遅延時間保証の QoS を評価するため，平均値評価よりも時系列評価が望ましい．可変長パケットを送信するため，CoS ごとの ADT_{avg} で規格化した遅延時間で評価を行う．移動局の送信するパケットが失敗する場合は，規定された ADT の超過ならびに最大リクエストアクセス回数（アドミッションコントロールによるアクセス制限回数を含む）を超したときである．これを用いて，パケット送信成功率の評価を行う．また，トラヒックチャネルの利用率をスループットとする．CDMA を利用しているため，1 ユーザでも使用していれば，スループットは 1 となる．なお，測定間隔を 1 sec とした．

7.3 シミュレーション結果

パケット発生間隔が 150 msec，Class I と Class II の発生比率が 1 : 1 の場合のシミュレーション結果を**図 5**，**図 6** に示す．図 5 は $\Delta = 1$ の場合であり，図 6 は $\Delta = 10$ の場合である．これらの図は，パケット発生時刻と規格化された遅延時間を時系列に示している．Class I および Class II の ADT_{avg} はそれぞれ 2 sec，10 sec であることより，QoS が満たされていることが確かめられる．また，トラヒック密度が低いときは公平な通信が行われ，トラヒック密度が高くなると CoS ごとに遅延時間が分離されており，式 (5) で示されたクラス分けが明確に現れている．Δ を増加させることにより，これらの図を比較すると，スループットが 1 以下になる箇所が現れ，全体的に遅延時間が減少する．

Δ の増加による遅延時間の減少を調べるために，パケット発生間隔を 130 msec としスループットがつねに 1 であり，CoS の発生比率を 1：1 にした場合のシミュレーション結果を**表 3** に示す．つねにトラヒック密度が高いため，この表の最大値と最小値から CoS の遅延時間特性が分離されている．また，Δ を増加させることにより最大遅延時間が減少し，規定された ADT に近づいている．必要とされる規格化された ADT（ADT_{avg}）からのマージンは，Δ を 1，10，100 と変化させたとき，Class I では 40.7%，3.6%，0%となり，Class II では 6.2%，2.4%，1.6%とそれぞれ減少し，マージンのない理想的なシステムに近づく．特に Class I のマージンの減少は著しい．Class I のマージンの減少による効果は，Class II のパケット送信成功率に貢献しており，Δ の増加につれて成功率が向上している．つまり，統計的多重効果が大きくなる．これらより，Δ が保証度である理由が理解できる．

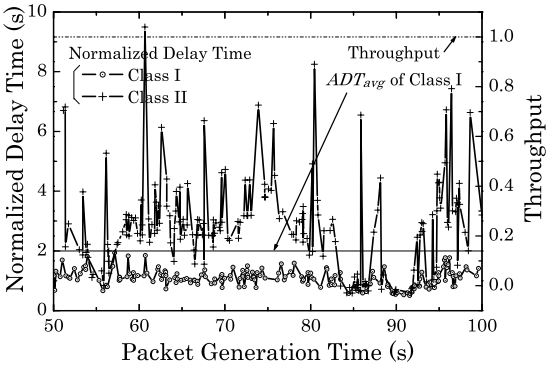

図 5 規格化された遅延時間の特性（発生間隔：150 msec, Δ = 1）

Fig. 5 Normalized delay time characteristic (generation interval: 150 msec, Δ = 1).

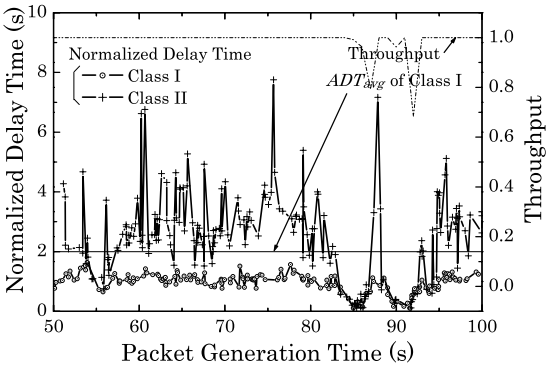

図 6 規格化された遅延時間の特性（発生間隔：150 msec, Δ = 10）

Fig. 6 Normalized delay time characteristic (generation interval: 150 msec, Δ = 10).

次に，CoS の発生比率が 1：1 および 3：7 の場合のシミュレーション結果を**図 7**，**図 8** にそれぞれ示す．これらの場合において，Δ を増加させることによりパケット送信成功率が向上し，ある値に収束する傾向にある．したがって，Δ を増加させることによるパケット送信成功率の向上には限りがあることが分かる．向上率は，Class I の発生比率の高い図 7 の方が良い．それは，Class I の比率が高いために，統計的多重効果が大きい．つまり，Class I の移動局の持つサービスシェアが経過時間とともに変化するためである．通常，Class I の発生比率を高めると，Δ が小さいときのように，Class II のパケット成功率が著しく低下する．しかし，本提案方式を用いて，Δ を増加させることにより，Class I の発生比率を高めたことで生じる Class II の犠牲を打ち消すことが可能である．

最後に，プライオリティーキューイングとの比較を行う．シミュレーション結果を**表 4** に示す．なお，表中の遅延時間は ADT_{avg} で規格化されたものである．このプライオリティーキューイングは，Class I の移動局から FIFO 順にパケットの送信を許可するモデルであり，基地局における送信許可順序だけの制御である．また本論文でのプライオリティーキューイングでは，すべての移動局の伝送速度は一定としている．つまり，すべての移動局に対し，公平な電力値（g_{max}/ 最大送信許可移動局数）を与えた場合である．しかし，提案方式では，サービスシェアが経過時間により変動し，かつ割込み処理があるために，パケット送信中に伝送速度の変化がある．この表より，CoS ごとに QoS が分離されておらず，提案方式に比べパケット送信成功率が著しく低いことが分かる．パケット送信成功率が低い理由として，移動局がパケットの送信待ち状態で

表 3 規格化された遅延時間および成功率（発生間隔：130 msec）

Table 3 Normalized delay time and success rate (generation interval: 130 msec).

Guarantee Index Δ	1		10		100	
CoS	Class I	Class II	Class I	Class II	Class I	Class II
Minimum (msec)	706	5737	621	4906	737	3727
Maximum (msec)	2813	10624	2072	10240	1916	10159
Average (msec)	1960	8183	1577	7880	1285	6031
Standard Deviation (msec)	511	1126	292	1300	217	1362
Success Rate (%)	97.5	88.8	99.5	94.9	99.6	96.3

あるときに *ADT* を超過してしまう可能性が高く，伝送速度が一定なことにより統計的多重効果が小さいためだと考えられる．提案方式では，前者をダイナミックキューイングコントロールにおける割込み処理，後者をダイナミックリソースアロケーションコントロールで克服している．

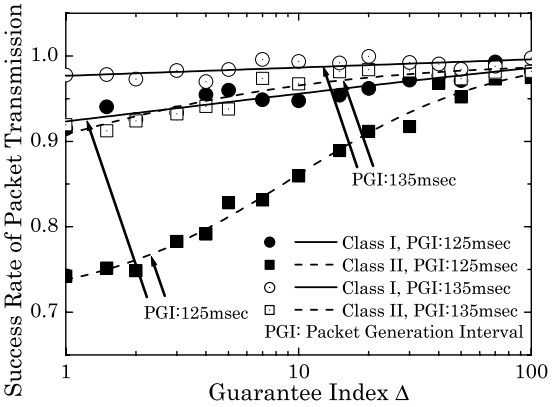

図 7 パケット送信成功率特性（Class I : Class II = 1 : 1）
Fig. 7 Success rate of packet transmission (Class I : Class II = 1 : 1).

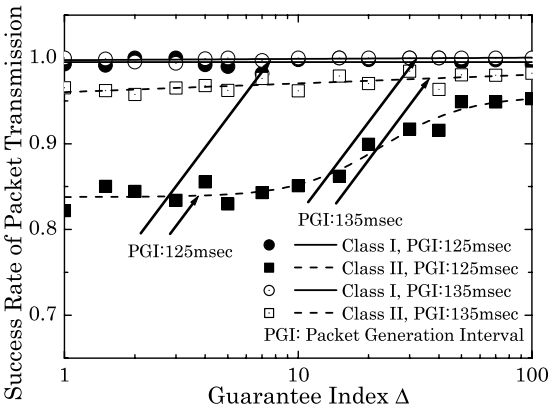

図 8 パケット送信成功率特性（Class I : Class II = 3 : 7）
Fig. 8 Success rate of packet transmission (Class I : Class II = 3 : 7).

8. まとめ

本論文では，QoS を遅延時間と定義し，CDMA 方式による QoS 制御方式の提案を行った．そして，パケットが発生してからの経過時間に応じてサービスシェアが変化する 2 つクラスを想定した．提案した QoS コントロールは，ダイナミックキューイングコントロール，ダイナミックリソースアロケーションコントロールおよびアドミッションコントロールにより構成され，シミュレーション結果より遅延時間に基づく QoS 制御であることをが確かめられた．また，保証度 Δ を増加させることにより，データ通信においてアクティビティ効果を作り出すことができ，統計的多重効果が得られた．その結果，高優先度のユーザを増加させた場合に生じる低優先度のユーザへの犠牲を軽減させることができる．また，送信許可順序しか考慮しないプライオリティーキューイングとの比較により，提案方式の優越性が明らかになった．今後の課題として，送信電力制御誤差を含んだモデルの設定と解析を行う予定である．

参考文献

1) Tobagi, F.A. and Kleinrock, L.: Packet Switching in Radio Channels: PartIII-Polling and (Dynamic) Split-Channel Reservation Multiple Access, *IEEE Trans. Communications*, Vol.COM-24, No.8, pp.832–845 (1976).
2) Karol, M.J., Liu, Z. and Eng, K.Y.: Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks, *Proc. IEEE ICC'95*, pp.1224–1231 (1995).
3) IEEE: IEEE std 802.11 — wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications (1997).
4) Kleinrock, L. and Tobagi, F.A.: Packet Switching in Radio Channels: Part I — Carrier Sense Multiple Access Models and

表 4 プライオリティーキューイングにおけるシミュレーション結果
Table 4 Simulation result in priority queuing.

Ratio of Class	Class I:Class II=1:1				Class I:Class II=3:7			
Generation Interval	125 msec		135 msec		125 msec		135 msec	
CoS	Class I	Class II	Class I	Class II	Class I	Class II	Class I	Class II
Minimum (msec)	600	1312	597	1059	621	1553	627	1081
Maximum (msec)	3228	9924	3401	10564	3830	10511	4123	10518
Average (msec)	1232	5015	1432	4566	1421	5365	1504	4545
Standard Deviation (msec)	578	2290	652	2473	701	2244	731	2416
Success Rate (%)	63.2	56.3	69.6	57.2	76.7	52.8	80.9	53.9

Their Throughput Delay Characteristics, *IEEE Trans. Communications*, Vol.COM-23, No.12, pp.1400–1416 (1976).
5) Vaidya, N.H., Bahl, P. and Gupta, S.: Distributed Fair Scheduling in a Wireless LAN, *Proc. ACM MOBICOM'00*, pp.167–178 (2000).
6) Parekh, A. and Gallager, R.: A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Service Networks: The Signal-Node Case, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.1, No.3, pp.344–357 (1993).
7) Demers, A., Keshav, S. and Shenker, S.: Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm, *Proc. ACM SIGCOMM'89*, pp.1–12 (1989).
8) NTT Docomo テクニカル・ジャーナル，Vol.8, No.3, pp.56–69 (2000).
9) 森戸　晋, 相澤りえ子, 貝原俊也：Visual SLAM によるシステムシミュレーション，共立出版 (1998).

(平成 13 年 9 月 19 日受付)
(平成 14 年 4 月 16 日採録)

小川　将克

平成 10 年上智大学理工学部電気・電子工学科卒業．平成 12 年同大学大学院理工学研究科電気・電子工学専攻博士前期課程修了．現在，同大学院博士後期課程在学中．主として，ランダムアクセス技術，無線 QoS 技術に関する研究に従事．IEEE，電子情報通信学会各会員．

服部　　武（正会員）

昭和 44 年東京大学工学部電気工学科卒業．昭和 46 年同大学大学院電子工学科修士課程修了，昭和 49 年同大学院博士課程修了．同年日本電信電話公社横須賀電気通信研究所入所．主として，自動車・携帯電話方式，高速無線呼出方式，コードレス電話方式，PHS 等の研究開発を行うとともに，研究開発本部において研究企画・戦略 SE に従事．平成 9 年 4 月に上智大学理工学部に赴任．現在，上智大学理工学部電気・電子工学科教授．1981 年 IEEE VTS 論文賞．主な著書に「移動通信の基礎」（共著),「移動通信」（共著),「パーソナル通信システムとその展開」（共著),「図解移動通信」（共著),「移動通信事典」（編著）ほか．IEEE VTS，COM 会員，電子情報通信学会，日本シミュレーション学会各会員等．