

メディア統合予約型 CDMA パケット通信における 隣接セル干渉を考慮したスケジューリング方式

中村 浩司[†] 上原 秀幸[†] 横山 光雄[†]

本研究では、TDMA/CDMA 型のアクセスプロトコルにおいて、隣接セルからの干渉電力に応じて電力割当を行うスケジューリング方式を提案する。提案方式では、それぞれのメディアが要求する SIR、送信レート、及び隣接セルからの干渉電力を考慮して、チャンネル割当と電力割当を実現している。割当は、1 フレーム毎に各スロットにおける割当電力がバランスされるように決定される。また、遅延リミットがフレーム長より短い緊急要求に対しても、割当スケジュールを柔軟に変更することで対応可能となる。提案方式を計算機シミュレーションによって評価した結果、従来方式と比較してマルチセル環境下において良い特性が得られたことを示す。

MCPA with Inter-cell Interference Prediction (MCPA/ICIP) in Voice/Data integrated Reservation-type CDMA Packet Radio Communications for Cellular Systems

Koji NAKAMURA[†], Hideyuki UEHARA[†] and Mitsuo YOKOYAMA[†]

Hybrid TDMA/CDMA protocol has attracted attention as a multimedia communication since it can provide flexible and efficient packet transmission. In this paper, we propose a novel TDMA/CDMA protocol which employs a method of scheduling the transmission of multimedia packets and power allocation according to their transmission rate, SIR requirements and the interference power from adjacent cells. We evaluate the voice packet dropping probability and data packet delay through computer simulation. As a result, the proposed scheme has better performance compared with the conventional scheme.

1 はじめに

無線通信技術の急速な発展に伴い、音声、データ、動画などあらゆるメディアが無線ネットワーク上で扱われている。その中で、パケット通信技術は様々な情報を柔軟に扱うことが可能であるため、マルチメディア通信を実現する技術の一つとして注目されている。マルチメディアを扱った通信を実現するためには、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 (Media Access Control) プロトコルが必要である。これまでに、パケット無線ネットワークにおけるメディア統合型の MAC プロトコルとして、TDMA (Time Division Multiple Access) 型 [1] と CDMA (Code Division Multiple Access) 型 [2] のアクセス方式が注目され、研究されてきた。近年では、これらを組み合わせた Hybrid TDMA/CDMA 型 [3]- [7] のアクセス方式が報告されている。藤原ら [7] は、BER (Bit Error

Rate) を基準としたスケジューリング法を提案しており、PRMA (Packet Reservation Multiple Access) 方式 [1] と統合した JCP (Joint CDMA/PRMA) [3]、JCNC (Joint CDMA/ Noncollision-PRMA) [4]、そして WISPER (wireless multimedia access control protocol with BER scheduling) [6] よりも優れた特性を示すことが報告されている。基地局が音声、データそれぞれの送信要求量に応じて音声用とデータ用のスロット数を動的に決定し、緩い BER 要求をもつ音声と厳しい BER 要求をもつデータをそれぞれ別のスロットに割り当てる。これにより、異なる BER 要求を持つメディアを考慮したチャンネル割当を実現している。データ端末に対してはマルチコード送信を許しており、効率の良いデータ伝送を実現している。また、各スロットへの負荷を分散するためのアルゴリズム (ロードバランス割当法)、与えられた BER 要求を維持できるならば、他メディア用のスロットへ割当を可能とさせるアルゴリズム (ベストエフォート割当法)、即時性の要求される音声に対する緊急割当 (音声に対する緊急割当法) を行うことにより、効率的な送信とシステム容量の改善を図っている。ところで、

[†]豊橋技術科学大学 情報工学系

Department of Information and Computer Sciences,
Toyohashi University of Technology

CDMA方式では同一の周波数帯域を複数のセルで共有しているため、隣接セルからの干渉により、システム容量が劣化する。特にマルチコード送信では、送信レートの大きさに比例して使用する容量が大きくなる。[7]では、シングルセルシステムにおける完全電力制御を想定している。送信レートの大きさに関係なく等電力でパケットが受信されることになり、マルチセルシステムを想定した環境下では、データ端末のマルチコード送信が周辺セルへ大きな干渉を引き起こし、システム劣化の大きな原因になると考えられる。MC (Multi-Code)-CDMA/DQRUMA (Distributed Queuing Request Update Multiple Access) 方式 [5] は、マルチセルシステムを考慮したシステムの評価を行っている。MCPA (Maximum Capacity Power Allocation) 法を提案し、送信レートの大きさに応じた受信電力の割当を行い、マルチセルシステムにおける周辺セルへの干渉電力の軽減を図っている。受信電力の割当を行う際、自セル内の同時通信パケットによる干渉を考慮して SIR (Signal to Interference Ratio) を満たすように電力割当を行う。しかしながら、隣接セルからの干渉に基づいた電力割当はなされていない。また、即時性を必要とされる音声については考慮されておらず、マルチメディア通信の要求を満たしたプロトコルとは言えない。

そこで本研究では、藤原らの方式(以降、従来方式とする)において隣接セル干渉を考慮したスケジューリングを行う MCPA/ICIP (Inter-cell Interference Prediction) 法を提案する。従来方式では、自セル内から送信される各パケットは等電力で受信されるとしていたため、各スロットのパケット数(ロード)がバランスされるようにチャンネル割当を行えば十分であった。本方式では、予測した音声伝送による隣接セルからの干渉電力、及び自セル内から送信される各パケットに対して割り当てられる電力(ロード)がバランスされるようにチャンネル割当を行う。提案方式を計算機シミュレーションによって評価した結果、従来方式と比較してマルチセル環境下において良い特性が得られたことを示す。

2 システムモデル

音声またはデータを発生する複数の端末と1つの基地局から構成されるマルチセルにおいて MC-CDMA システム環境でのアップリンクを想定する。各端末は、基地局により割り当てられた符号を用いてパケットを直接拡散し伝送する。従来方式では自セル内から届くパケットは、完全電力制御により常に等電力で受信され、提案方式では基地局が割り当てた受信電力で誤差なく受信できるものとする。なお、ダウンリンクで伝送される情報は、端末側では常に正しく受信されると仮定する。

2.1 マルチコード送信

システム内の全パケットは、基本的に basic rate R_b で送信され、各端末は最大 m パケットまで同時に送信できる [6]。端末 n は、システム受付時に基地局によって PN (Pseudo-Noise) 符号 C_n^{PN} を割り当

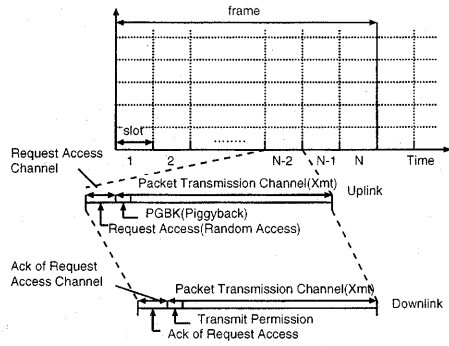


図 1: チャンネル構成

てられる。端末 n が送信要求を行い、基地局によってあるスロットで \hat{m} ($1 \leq \hat{m}_n \leq m$) 個のパケット送信を許可される場合、その端末 n の拡散符号 $C_n^{(i)}$ ($i = 1, \dots, \hat{m}_n$) は、PN 符号 C_n^{PN} を用いて、次式で表すことができる。

$$C_n^{(i)} = C_n^{PN} \times D_i, \quad D_i \perp D_j, \quad i \neq j \quad (1)$$

ここで、 D_i は直交符号であり、 $C_n^{(i)} \perp C_n^{(j)}, i \neq j$ が保証される。この直交性によって、同じ端末から送信される \hat{m}_n 個のパケットは、互いに干渉しない。

2.2 チャンネルモデル

CDMA チャンネルの BER 特性は、多元接続干渉をガウス近似する方法が広く用いられている [8]。この近似を用いることによって、完全な電力制御が行われているシングルセルシステム(ガウス雑音は無視)において、端末 n が \hat{m}_n 個のパケットを同時送信したときの MC-CDMA システムの SIR_n は、次式で表すことができる。

$$SIR_n = \frac{3GS_n}{\sum_{j=1, j \neq n}^K \hat{m}_j S_j} \quad (2)$$

よって誤り率 P_e は次式となる。

$$P_e = Q\left(\sqrt{SIR_n}\right) \quad (3)$$

ここで、 $Q(x)$ は Q 関数、 G は拡散率、 K は同時通信ユーザ(端末)数、 S_j ($j = 1, \dots, K$) は各端末から送信された 1 パケットあたりの受信電力を示す。パケット長 L ビットのパケットが、BER P_e の伝送路を通過したとすると、そのパケットの受信成功確率は次式となる。

$$P_S(K) = \{1 - P_e(K)\}^L \quad (4)$$

2.3 チャンネル構成

図 1 にチャンネル構成を示す。アップリンクとダウンリンクは、フレーム化され、フレームはさらに N

個のスロットに分割される。アップリンクの各スロットは、各端末が送信要求を行うために利用する要求アクセス (RA) チャネルと、パケットを送信するためのパケット送信 (Xmt) チャネルから成る。また、端末がパケットを送信するとき、競合なしで要求アクセスを行うために、ピギーバック (PGBK) 領域を付加する。ダウンリンクの各スロットは、アップリンクの各スロットと対応し、それぞれ要求アクセス応答チャネル (ACK), 次スロットに対するパケット送信許可チャネル、そして Xmt チャネルで構成される。

2.4 トラヒックモデル

2.4.1 音声モデル

音声端末は、1.00[sec] の有音区間と 1.35[sec] の無音区間をもつ 2 状態マルコフモデルとしてモデル化する。有音区間の間、音声端末は R_v のソースレートでパケットを発生させると仮定する。また、音声の了解性を保つため、最大許容遅延 TO_v 以内に送信できなかったパケットは破棄する。さらに、音声品質を維持することのできる条件として、音声パケットの破棄率 P_{drop} が 10^{-2} 以下 [1] で、BER が 10^{-3} 以下 [6] を要求する。なお、有音区間を終えても予約できなかった音声パケットは全て破棄される。

2.4.2 データモデル

データ端末は、発生率 $0.85[\text{message}/\text{sec}]$ をもつポアソン到着によって新しいメッセージを発生させる。メッセージサイズは、電子メールを想定して、平均 $2[\text{kbytes}]$ の 6-Erlang 分布に従う。データバッファは無限大であり、送信に失敗したパケットも TO_d 以内ならば保持されると仮定する。また、データ伝送は高品質が望まれるため、 10^{-9} 以下の BER を要求する [6]。なお、1 つのデータ端末と 1 つの音声端末が発生させるトラヒック量は等しいとする。

3 従来方式

各端末でパケットが発生すると、要求パケットを基地局へ送信する。基地局は要求パケットの情報を元に、メディア毎に用意されている要求テーブルに遅延リミット順でソーティングし、登録する。次に、1 フレーム毎にトラヒック量に応じて各メディアに必要なスロット数を決定後、音声、データの順にチャネル割当を行う。音声端末への割当では、音声用スロットとしてラベル付けされているスロットの同時通信パケット数 (ロード) がバランスされるようにチャネル割当を行う。その後、データスロットに対して同時送信パケット数がデータの要求 BER を満たすように割当を行っていく。以上のようにして同時送信パケット数が要求 BER を満たすようにチャネルの割当を行う。さらに、データに対しては、ベストエフォート法として音声スロットにおいてもデータの要求する BER を満たす同時通信数であれば、チャネルの割当を行い、また遅延リミットの短い音声に対して緊急要求割当法を適用している。

4 提案方式

4.1 チャネルアクセス

1. パケットが発生した音声端末 (無音状態から有音状態へ遷移) と、データ端末はシステム受付時に割り当てられた PN 符号を用いて、要求パケット (RP) を拡散し、RA チャネル上で RP 送信を行う。RP に含まれる情報として、端末 ID、メディアの種類 (音声かデータか)、遅延リミットが含まれる。データの場合は、さらに送信パケット数が含まれる。
2. 基地局は、音声端末から送信された RP を受信すると音声要求テーブル (VRT) に登録し、遅延リミット (TO_v) によってソーティングする。データ端末から送信された RP を受信するとデータ要求テーブル (DRT) に登録するが、従来方式とは異なり、要求送信レート、送信パケット数、遅延リミットによって決定される優先度によってソーティングが行われる。バッファ内に存在するパケットの遅延リミットを $F_{\beta(t)}$ 、バッファ内のパケット数を $P_{\beta(t)}$ 、最大送信レートを M_n とすると、優先度 $\Phi_{\beta(t)}$ は次式で示される [6]。

$$\Phi_{\beta(t)} = \frac{[P_{\beta(t)}/M_n]}{F_{\beta(t)}} \quad (5)$$

ここで、 $\Phi_{\beta(t)} > N$ (N は 1 フレームのスロット数) の場合、 $\Phi_{\beta(t)} = N$ となる。また、 $[X]$ は X 以上の最小の整数を示す。その後、RP の受信に成功したことをダウンリンクの要求応答チャネルを用いて端末に通知する。なお、RP を送信しても基地局からの通知を受信できない場合は、次スロットで RP を再送する。

3. 基地局は、音声の周期性を利用して自セルでの各スロットにおける隣接セルからの干渉電力を計算する。
4. 基地局は、1 フレーム毎に SIR スケジューリング法 (使用スロット数の見積り、チャネル及び電力割当アルゴリズム) に従って、チャネル要求のあった端末に対してチャネル、及び電力を割り当てていく。スケジューリング結果の通知は、スロット毎にダウンリンクの送信許可チャネルにおいて通知される。この通知を受けた音声端末は、次スロットにおいてアップリンクの Xmt チャネルを用い、指定された電力でパケット送信を行い、後続フレームの同一スロットを予約して有音状態が終了するまで使用する。有音状態が終了する音声端末は、最終パケットの PGBK を利用して基地局に予約の解放を促す。一方、データ端末は割り当てられた符号を用いてマルチコード送信を行う。基地局から受けた通知には、送信可能レート \hat{m} と送信電力の情報も含まれており、それらに基づいて、同時に \hat{m} 個のパケット送信が可能となる。しかしながら、データは一度符号を割り当てられた場合

でも、新たにメッセージが発生した場合は、再度 RP を送信し符号の割当を待たなければならない。これは、パケット送信時に PGBK によりバッファ内のパケット数を通知するが、現在送信しているメッセージに対するものだからである。

4.2 スケジューリング法

4.2.1 使用スロット数の見積り

各メディアの異なる QoS 要求に対応するため、基地局は、フレーム内の各スロットに配置するメディアを動的に決定する。まず最初に基地局は、フレームの終りにおいて次のフレームで音声とデータが利用できるスロット数 N_v , N_d を計算する。基地局は、チャンネルの予約状態とリクエストテーブルの情報から割り当てを行うべき音声パケット数 G_v とデータパケット数 G_d を知ることができる。したがって、音声とデータそれぞれの SIR 要求を満たす最大同時送信パケット数を C_v^{max} , C_d^{max} (ただし、 $\hat{m} = 1$ の場合、 $C^{max} - 1$ が最大許容干渉量となる) とすると、音声とデータ送信のために必要なスロット数 N'_v , N'_d は次式で求められる。

$$N'_v = \min \{ \lceil G_v / C_v^{max} \rceil, N \} \quad (6)$$

$$N'_d = \min \{ \lceil G_d / C_d^{max} \rceil, N \} \quad (7)$$

次に、1 フレーム中のスロット数と音声への優先権を考慮し、次式を用いて、音声用、データ用にラベル付けをするスロット数 N_v , N_d を決定する。

$$\begin{cases} N_v = N - N'_d \\ N_d = N'_d \end{cases} \quad \text{if } N'_v + N'_d \leq N \quad (8)$$

$$\begin{cases} N_v = N'_v \\ N_d = N - N'_v \end{cases} \quad \text{if } N'_v + N'_d > N \quad (9)$$

上記の各式は要求された全ての音声、データパケットに割り当てを行ってもフレーム中のスロットに空きがあるならば、それらを音声用スロットにラベル付けし、割り当てスロットが足りなければ、音声領域を優先して確保し、残りをデータ領域とすることを意味する。以上のように音声、データそれぞれのスロット数を求めるまでは、従来方式と同様であるが、本方式においては干渉電力の予測が精度良くできるよう、フレームの最初から音声を優先的に割り当て、残りをデータ用として割り当てる。

4.2.2 隣接セル干渉電力の予測

図 2 において、セル C1 のシステムが周辺セル A1 ~ A6 のシステムに干渉を受けている状況を想定する。このとき、隣接セル A1 ~ A6 による 1 スロットごとの同時通信数の総和を観測した様子を図 3 に示す。隣接セルにおける同時通信数の総和に周期性 [9] があることが分かる。この周期性に基づき、1 フレーム前の干渉電力値を次フレームの干渉電力値として用いる。 n 番目のフレーム、スロット t におけるセル C1 での総受信電力を $P_n(t)$ とし、セル C1 で受信され

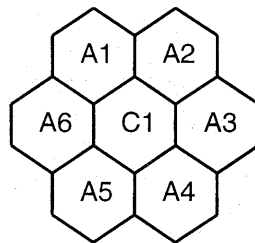


図 2: マルチセルシステム

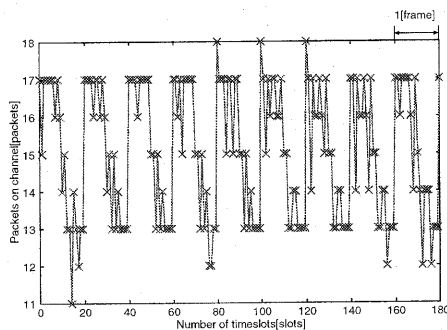


図 3: 隣接セルにおける同時通信数の総和

た個々のパケットの受信電力を $S'_i(t)$ ($i = 1, \dots, K$) とすると、次フレーム ($n+1$) の同一スロット t における予測干渉電力 $I'_n(t)$ は次式となる。

$$I'_n(t) = P_n(t) - \sum_i^K S'_i(t) \quad (10)$$

ここで、 K は同時通信数を表す。実際に受信されたパケットの受信電力 S'_i ($i = 1, \dots, K$) は、個々のパケットの SIR の値 SIR_i と総受信電力 $P_n(t)$ を用いて、次式で表すことができる。

$$S'_i(t) = \frac{SIR_i}{3G + SIR_i} P_n(t) \quad (11)$$

ここで、 G は拡散率を表している。

4.2.3 チャンネル及び電力割当アルゴリズム

図 4 に提案方式のスケジューリング法を示す。初めに、遅延リミット順に VRT に登録されている音声端末を、予測した隣接セルからの干渉電力を考慮し、音声用のスロットへロードバランス法に基づき割り当てる。受信電力の計算は、MCPA 法 [5] に基づき送信レートに応じた計算を行う。音声用スロットとして確保された領域内において、既にラベル付けされているスロットと空きスロットに対し、これから割り当てようとするパケットを考慮した場合の実際の割当電力 (予約送信パケットに割り当てられる電力 + 新規に割り当てるパケットの電力)、及び隣接セルか

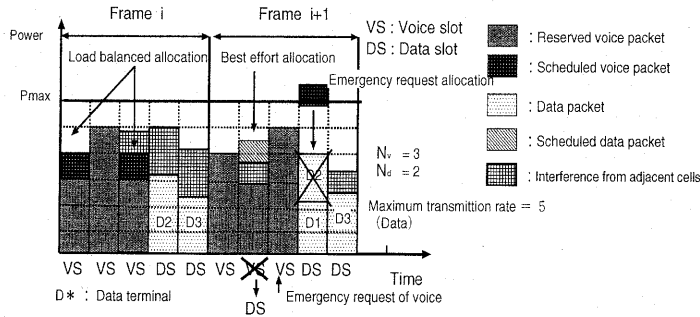


図 4: 提案方式のスケジューリング法

らの干渉電力の総和をスロットごとに計算する。それらの中から最も総受信電力が低くなるスロットへ割当を行う。以上のようにして VRT へ登録されている音声へのチャンネル割当が終了すると、データへのチャンネル割当を開始する。データ領域においては、自セルから送信されるパケットの干渉のみを考慮してチャンネル割当を行う。データ用としてラベル付けされているスロットに対して、データが要求する SIR を満たすシステム容量以内になるようチャンネル割当を行っていく。割当操作は、DRT に登録されているデータ端末が無くなるか、基地局が受信可能な電力 P_{max} 以下であるデータ用スロットが無くなるまで行われる。

以上のようにしてチャンネル割当は行われるが、使用スロット数を見積もる際に割り当てるスロットが不足した場合、DRT には、割り当てが行われていないデータ端末が存在する可能性がある。そこで用いられるのがベストエフォート法である。音声用としてラベル付けされているスロットに対して、データの要求する SIR を満たすシステム容量以内であり、かつ予測した隣接セルからの干渉電力と既に予約済みのパケットに割り当てられる電力、これから割り当てようとするデータパケットに割り当てられる電力の総和が基地局の最大受信電力を満たすことができる場合は、そのスロットに対して割当を行う。これにより、その音声用スロットはデータが要求する SIR を満たさなければならないため、データ用スロットとしてラベル付けを再度行う。

また、チャンネルの割当はフレームの最初に行われるため、基地局から実際に割り当てられたスロットまでパケット送信を待たなければならない。そのため、短い遅延リミットを持っている音声はパケットが破棄される可能性がある。そこで用いられるのが緊急要求割当法である。基地局は、要求を受け付けた時点で割当を開始する。そのスロットから遅延リミット以内の音声スロットに割当を試みる。音声スロットに割当ができない場合は、データ用スロットへの割当を行う。この時、データの要求する SIR を満たすシステム容量以下であり、かつ基地局の最大受信電力を満たさなければならない。満たすことができない場合は、データ送信のスケジューリングを

表 1: シミュレーションに用いたパラメータ

Variable	Symbol	Value
CDMA チャネルレート	R_{cc}	52907[kbps]
TDMA チャネルレート	R_{tc}	827[kbps]
音声ソースレート	R_v	32[kbps]
拡散率	G	64
フレーム時間	T_f	12[msec]
1 フレーム中のスロット数	N	20[slots]
情報スロット時間	τ	0.52[msec]
制御スロット時間		0.08×20 [msec]
情報ビットサイズ	$R_v \times T_f$	384[bits]
パケットヘッダサイズ	H	40[bits]
要求パケットサイズ		64[bits]
データ最大送信レート	m	5[packets]
音声の最大同時通信数		12
データの最大同時通信数		6
音声最大許容遅延時間	TO_v	3[frames]
データ最大許容遅延時間	TO_d	$50 \times TP$ [frames]
セル数		7
セル半径		300[m]
シャドウイング標準偏差		6[dB]
電波伝搬係数		4

変更して音声を割り当てる。

5 性能評価

ここでは、従来方式と提案方式の特性を音声パケット破棄率、データパケット平均遅延時間特性を指標として計算機シミュレーションにより比較、評価する。表 1 に計算機シミュレーションに用いたパラメータを示す。表中の TP は、1 メッセージあたりの発生パケット数を示す。音声端末とデータ端末は別々にシステム内に同数存在するものとし、各端末のパケット発生率に従ってパケットを送信するものとする。また、音声とデータのトラフィックは 1:1 とする。

5.1 音声パケット破棄率特性

図 5 に端末数の変化に対する音声パケット破棄率の変化を示す。まず、従来方式と MCPA 法のみを適用（隣接セルからの干渉を考慮しない電力割当）した提案方式を比較する。結果より、従来方式の特性が良くなっている。これは、MCPA を適用した提案方式では従来方式に比べてベストエフォート法により音声領域において多くのデータパケットが送信され

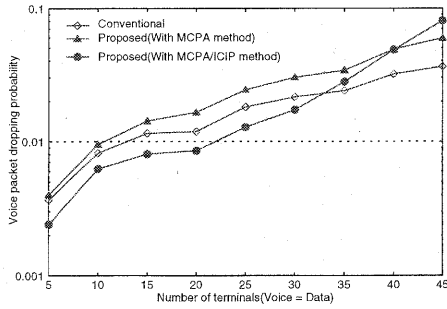


図 5: 音声パケット破棄率特性

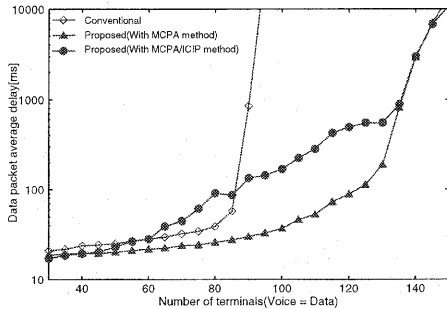


図 6: データパケット平均遅延時間特性

るからだと考えられる。これにより、音声領域において自セル内から届くパケット干渉が従来方式に比べ大きくなる。加えて隣接セルからも干渉があるので、SIRを満たせずに破棄されるパケットが増え、特性が劣化しているものと考えられる。次に、MCPA/ICIP法に基づくチャネル割当を行う提案方式も併せて比較を行う。結果より、隣接セルからの干渉電力を考慮することにより、音声パケット破棄率 0.01 以下で従来方式、MCPA 法のみを適用した提案方式よりも最大約 2 倍の端末を収容できていることが分かる。これは、隣接セルからの干渉電力を考慮した電力の割当を行うことにより、干渉によって SIR を満たせず破棄されるパケットが減少しているからだと考えられる。また、トラヒックが高くなると MCPA/ICIP 法に基づくチャネル割当を行う提案方式の特性が悪くなっている。トラヒックが高くなると、自セル内のパケットへ割り当てる電力も大きくなる。よって、計算で求めた干渉電力と実測値との誤差が大きくなると最大受信電力 P_{max} を越える確率が高くなり特性が悪くなっていると考えられる。

5.2 データパケット平均遅延時間特性

図 6 に端末数の変化に対するデータパケット平均遅延時間の変化を示す。図より、提案方式では従来方式よりもトラヒックが高い状況においても少ない遅延でパケットを送信できていることが分かる。これ

は、送信レートに応じて受信電力の割当を行っているためである。よって、隣接セルからの干渉電力も軽減されることになり、基地局の最大受信電力を越える確率が従来方式に比べ低くなると考えられる。また、MCPA/ICIP 法に基づくチャネル割当を行う提案方式は、MCPA 法のみを適用した提案方式と比較して特性が劣化していることが分かる。これは、ベストエフォート法が適用される際に、前者の方では音声パケットの割当電力が隣接セルからの干渉電力に応じて上げられているためである。これにより、データの割り当てられる領域が狭くなり、特性が悪くなっていると考えられる。

6 まとめ

本研究では、隣接セルからの干渉電力を考慮し、自セル内から送信される各パケットに対して割り当てられる電力（ロード）がバランスされるようにチャネル割当を行い、電力を割り当てる際は送信レートに応じた電力の割当を行う TDMA/CDMA 型のアクセスプロトコルを提案した。計算機シミュレーションによって評価した結果、従来方式で問題となっていた周辺セルへの干渉の軽減を実現した。また、マルチセルシステムにおける音声パケット破棄率特性を改善することを示した。

参考文献

- [1] D. J. Goodman and S. X. Wei, "Efficiency of packet reservation multiple access," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 40, no. 1, pp. 170-176, Feb. 1991.
- [2] L. Tan and Q. T. Zhang, "A reservation random-access protocol for voice/data integrated spread-spectrum multiple access," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 14, no. 9, pp. 1717-1727, Dec. 1996.
- [3] A. E. Brand and A. H. Aghvami, "Performance of a joint CDMA/PRMA protocol for mixed voice/data transmission for third generation mobile communication," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 14, no. 9, pp. 1401-1414, Oct. 1994.
- [4] J. H. Wen, J. K. Lain and Y. W. Lai, "Performance evaluation of a joint CDMA/NC-PRMA protocol for wireless multimedia communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 19, no. 19, pp. 95-106, Jan. 2001.
- [5] Z. Liu, M. J. Karol, M. E. Zarki and K. Y. Eng, "Channel access and interference issues in multi-code DS-SS-CDMA wireless packet (ATM) networks," Wireless Networks, vol. 2, no. 2, pp. 173-193, Aug. 1996.
- [6] I. F. Akyildiz, D. A. Levine and I. Joe, "Slotted CDMA protocol with BER scheduling for wireless multimedia networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 7, no. 2, pp. 146-158, Apr. 1999.
- [7] 藤原正登, 上原秀幸, 横山光雄, "メディア統合 CDMA パケット無線ネットワークにおける MAC プロトコル," 情報処理学会論文誌, vol. 43, no. 12, pp. 3951-3958, Dec. 2002.
- [8] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-code spread spectrum multiple-access communication — part I: System analysis," IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, no. 8, pp. 795-799, Aug. 1977.
- [9] 平山泰弘, 岡田啓, 山里敬也, 片山正昭, "マルチメディア CDMA パケット通信における適応アルゴリズムを用いたトラヒック推定に基づくアクセス制御方式," 信学技報, RCS2002-99, July 2002.