

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

藤原正登[†] 上原秀幸[†] 横山光雄[†]

本論文では、各メディアの品質向上とチャネル容量の有効利用を目的として、メディアごとの異なる BER 要求と遅延リミットを考慮したスケジューリングを行う TDMA/CDMA 型のアクセスプロトコルを提案する。提案方式では、基地局が、各メディア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 要求を持つ音声と厳しい BER 要求を持つデータをそれぞれのスロットに割り当てる。また、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の割当てを可能とさせることで、BER 要求を維持しつつ、効率的な送信を可能とする。提案方式の特性をコンピュータ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、音声とデータの QoS 要求を満たし、多くの端末を扱えることを示す。

MAC Protocol for Integrated Voice and Data Traffic in CDMA Wireless Packet Networks

MASATO FUJIHARA,[†] 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 according to their BER requirements and timeout values. We evaluate the voice packet dropping probability, data packet delay and system capacity through computer simulation. As a result, the proposed scheme has better performance compared with the conventional schemes.

1. はじめに

近年、音声、データ、画像のようなマルチメディアトラフィックを高速に伝送する無線通信技術が求められている。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 1 つとして注目されている。これまでに、異なる QoS (Quality of Service) 要求に柔軟に対応し、限られた資源を有効に共有できるパケット無線のための MAC (Medium Access Control) プロトコルとして、TDMA (Time Division Multiple Access) 型^{1)~3)} と CDMA (Code Division Multiple Access) 型^{4),5)} のアクセス方式が研究されてきた。近年では、これらを組み合わせた Hybrid TDMA/CDMA 型のアクセス方式が報告されている^{6),7)}。

Hybrid TDMA/CDMA 型のプロトコルである JCP

(Joint CDMA/ Packet reservation multiple access) 方式⁶⁾ は、即時性を必要とする音声は予約伝送で、データは音声の無音区間を利用したランダムアクセスで伝送している。しかしながら、JCP では、同一スロットへのパケット集中が引き起こす多元接続干渉 MAI (Multiple Access Interference) による性能劣化が問題となる。また、QoS 要求の異なる音声とデータが同一のアクセス関数で制御されており、即時性を必要とする音声品質の著しい劣化を招く。したがって、高ビットレートのデータ伝送は困難である。WISPER (wireless multimedia access control protocol with BER scheduling) 方式⁷⁾ は、予約要求用のスロットを設けて、要求を受付けた後に基地局によってチャネル割当てを行う Demand-Assignment 型のプロトコルである。この方式では、各メディアの遅延リミットと送信レートから割当ての優先度を決定し、QoS 要求の 1 つである BER (Bit Error Rate) 要求に従って割当てを行っている。BER 要求とは、通信の信頼性を示すもので、MAI と密接に関わっている。MAI は、

[†] 豊橋技術科学大学情報工学系

Department of Information and Computer Sciences,
Toyohashi University of Technology

同時通信数の増加にともなう大きくなるため、高信頼性が要求され厳しい BER 要求を持つメディアの送信時には、同時通信数を少なくしなければならない。WISPER では、この BER 要求に基づいて同時通信数を制御する BER スケジューリングを提案し、多種多様な BER 要求に対応できる割当て法を示している。しかしながら、その割当て法では、周期的な送信を要求する音声に対しても予約による帯域保証をせず、フレームごとに割当てチャンネルを変更するため、音声伝送の処理が複雑になるだけでなく、他メディアとの統合伝送時に音声品質を低下させてしまう。

そこで本論文では、各メディアの品質向上とチャンネル容量の有効利用を目的として、メディアごとの異なる BER 要求と遅延リミットを考慮したスケジューリングを行う新しい TDMA/CDMA 型のアクセスプロトコルを提案する。提案方式では、基地局が、各メディア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 要求を持つ音声と厳しい BER 要求を持つデータをそれぞれ別のスロットに割り当てる。また、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の割当てを可能とさせることで、BER 要求を維持しつつ、効率的な送信と大きなシステム容量を提供できる。

以下、2 章で従来の TDMA/CDMA 型のプロトコルについて説明し、3 章で提案方式で想定するシステムと、提案したプロトコルについて説明する。4 章で提案方式と従来の JCP, WISPER を計算機シミュレーションによって比較、評価し、5 章でまとめる。

2. 従来方式

2.1 JCP

図 1 (a) に JCP のチャンネル構成を示す。JCP では、パケットが発生した端末は、チャンネルアクセス関数で決まる送信許可確率 p に従ってパケットを送信する。チャンネルアクセス関数は、音声パケット破棄率が規定値を超えないで同時接続端末数が最大となるように決定される。音声端末の場合、バッファの先頭パケットの送信に成功し、スロットを予約すると、次フレーム以降の同一スロットでの送信が可能となる。一方、データ端末は、パケットごとに送信許可確率に従ってランダムアクセスを行う。CDMA 環境であるため、1 スロットに複数の端末が送信可能であるが、同一スロットにパケットが集中すると MAI によるパケット損失を引き起こす。また、JCP ではパケット集中を防ぐため音声予約数に応じて送信許可確率 p を変化させているが、データのトラフィック量は考慮していないため、

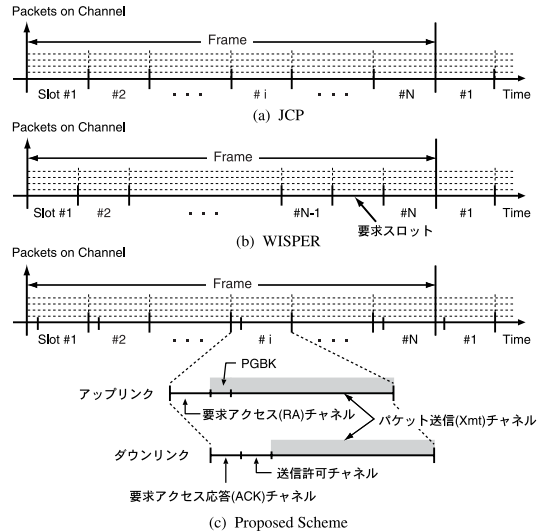


図 1 チャンネル構成

Fig. 1 Channel structure.

データトラフィックの増大が音声品質を劣化させる。

2.2 WISPER

図 1 (b) に WISPER のチャンネル構成を示す。WISPER では、1 フレームに 1 つの要求スロットがあり、パケットが発生した端末は、その要求スロットで送信要求を行う。基地局は、受理した各要求に対して、要求端末 n の時刻 t における送信要求パケット数 $P_n(t)$ 、スロットあたりの最大送信パケット数 m (次節で説明する)、遅延リミット $TO_n(t)$ frames から、次式によって優先度 $\Phi_n(t)$ を決定する。

$$\Phi_n(t) = \frac{[P_n(t)/m]}{TO_n(t)} \quad (1)$$

ただし、 $\Phi_n(t) > N$ (N は 1 フレームのスロット数) となる場合、 $\Phi_n(t) = N$ であり、 $[x]$ は x 以上の最小の整数を表す。次に基地局は、先の 1 フレームに対し最も高い優先度を持つ端末からスロットを割り当ててゆく。このとき、各端末が次の 1 フレームで送信することを許されるパケット数 P_n^{Xmt} は、

$$P_n^{Xmt} = [\Phi_n(t)] \cdot m \quad (2)$$

と表される。ただし、 $P_n^{Xmt} \geq P_n(t)$ となる場合、 $P_n^{Xmt} = P_n(t)$ とする。割り当てるスロットは、BER 要求に対応するため次の基準に従って探索する。

- (1) 空きスロット、または同じトラフィッククラスが割り当てられているスロット
- (2) より厳しい BER 要求を持つトラフィッククラスが割り当てられているスロット
- (3) より緩い BER 要求を持つトラフィッククラスが割り当てられているスロット

以上のように、WISPER では、遅延、送信レート、BER 要求を考慮した割当てを行っている。しかしながら、その割当て法では、周期的な送信を要求する音声に対しても予約による帯域保証をせず、フレームごとに割当てチャンネルを変更するため、音声伝送の処理が複雑になるだけでなく、他メディアとの統合伝送時に音声品質を低下させてしまう。

3. 提案方式

3.1 システムモデル

本論文では、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単一セルの multicode (MC) CDMA 環境における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。伝送路は、フェージングなどの影響のない理想的なものとし、MAI のみを考える。さらに、完全な電力制御が行われており、基地局での受信パケットは、すべて等電力で受信されるものとする。なお、ダウンリンクで伝送される情報は、端末側ではつねに正しく受信されると仮定する。

3.1.1 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。システム受付時に基地局によって PN (Pseudo-Noise) 符号 C_n^{PN} を割り当てられた端末 n が送信要求を行い、あるスロットで $\hat{m}_n (1 \leq \hat{m}_n \leq m)$ 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、 C_n^{PN} を用いて、次式で表すことができる⁷⁾。

$$C_n^{(i)} = C_n^{PN} \times D_i, \quad D_i \perp D_j, \quad i \neq j \quad (3)$$

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、同一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。

3.1.2 チャンネルモデル

CDMA チャンネルの BER 特性は、MAI をガウス近似する方法が広く用いられている⁸⁾。熱雑音を考慮せず MAI をガウス近似し、各パケットが等電力で受信されるような単一セルシステムを仮定すると、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 BER は、次式で表すことができる。

$$P_e(K)|_n = Q \left(\sqrt{\frac{3 \cdot SF}{\sum_{j=1, j \neq n}^K \hat{m}_j}} \right) \quad (4)$$

ここで、 $Q(x)$ は Q 関数、 SF は拡散率、 K は同時通信ユーザ (端末) 数である。分母は、直交する端末

n 自身からのパケット以外の他端末からのすべての干渉パケット数を表している。パケット長 L ビットのパケットが、BER $P_e(K)$ 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。

$$P_s(K) = \{1 - P_e(K)\}^L \quad (5)$$

3.2 チャンネル構成

図 1 (c) に提案方式の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) チャンネルと、パケットを送信するためのパケット送信 (Xmt) チャンネルからなる。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 (3.4.2 項で詳述する)。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ンネル (ACK)、次スロットに対するパケット送信許可チャンネル、そして Xmt チャンネルで構成される。

3.3 トラヒックモデル

本論文では、QoS 要求の異なる 2 つのトラヒッククラスを扱う。1 つは、BER 要求が緩く若干のパケットエラーは許容するが即時性を要求する音声を、もう 1 つは、時間的な遅延は許容するが厳しい BER 要求を持つデータを扱う。

3.3.1 音声モデル

音声端末は、1.00 s の有音 (ON) 区間と 1.35 s の無音 (OFF) 区間を持つ 2 状態マルコフ ON/OFF 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⁷⁾ 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すべて破棄される。

3.3.2 データモデル

データ端末は、発生率 0.85 message/s を持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 kbytes の 6-Erlang 分布に従う⁹⁾。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。データ伝送は高品質が望まれるため、 10^{-9} 以下の BER を要求するものとする⁷⁾。また、上位層でのデータ再送により信頼性を確保できる場合、 10^{-6} 以下の BER 要求を仮定する。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。

3.4 アクセスプロトコル

3.4.1 音声パケットの送信方法

無音状態から有音状態になった音声端末は、まず RA チャネル上で、システム受付時に割り当てられた PN 符号を用いて、基地局に予約要求パケット (RP) を送信する。RP は、端末 ID、メディアの種類、遅延リミットの情報からなる。基地局は、音声の予約要求を受理すると、その要求を音声リクエストテーブル (VRT) に格納し、遅延リミット TO_v によってソートする。そして、ダウンリンクの ACK チャネルを用いて、要求端末に対し RP を受理したことを通知する。ACK を受信した要求端末はスロットの割当てを待つ。一方、ACK を受信できなかった要求端末は、予約要求に失敗したと判断し、次スロット以降の RA チャネルで再送を試みる。基地局は、次に、次項のアルゴリズムに従って、音声要求に対するパケット送信のスケジューリングを行う。このスケジューリング結果は、割当てスロット直前のダウンリンクにおける送信許可チャネルで送信許可として通知される。送信許可を受けた音声端末は、次スロットの Xmt チャネルでシステム受付時に割り当てられた符号を用いてパケットを送信し、後続フレームの同一スロットを予約して有音区間終了まで使用できる。また、有音区間を終える音声端末は、最後のパケットの PGBK を用いて基地局に予約の解放を促す。

3.4.2 データパケットの送信方法

メッセージが到着したデータ端末は、音声端末と同様に RA チャネルで RP を送信する。RP には送信したいパケット数の情報が含まれている。基地局は、受理したデータ要求を、遅延リミット TO_d に従いデータリクエストテーブル (DRT) に格納し、その要求端末に対し ACK を返す。ACK を受信したデータ端末は、送信許可チャネルを観測しながら基地局からの送信許可を待つ。データ端末への送信許可信号には、同時送信パケット数 \hat{m} に関する情報も含まれる。 \hat{m} 個のパケット送信を許可されたデータ端末は、式 (3) に従って生成した \hat{m} 個の拡散符号を用いて、次スロットの Xmt チャネルでパケットの送信が可能となる。データ端末は、音声のように予約を行わないが、PGBK をパケットに付加することで競合なしの要求アクセスを実現し、まだ送信待ちのパケットがあることを知らせることができる。これによって、送信パケット数の記録の更新を維持することが可能となる。しかしながら、この PGBK は、現在送信中のメッセージに関する情

報であり、新たに発生してバッファに蓄えられた別のメッセージパケットには適応できない。そのため、新たなメッセージが存在するならば、再び RA チャネルで送信要求を送らなければならない。

3.5 スケジューリング法

3.5.1 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、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。基地局は、あるフレームの終了時に、次フレームにおいて音声とデータが利用可能なスロット数 N_v 、 N_d を計算する。基地局は、チャネルの予約状態とリクエストテーブルの情報から割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 BER 要求を満たす最大同時送信パケット数を J_v^{max} 、 J_d^{max} (ただし、 $\hat{m} = 1$ の場合、 $J_*^{max} - 1$ 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。

$$N'_v = \min \{ \lceil G_v / J_v^{max} \rceil, N \} \quad (8)$$

$$N'_d = \min \{ \lceil G_d / J_d^{max} \rceil, N \} \quad (9)$$

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。

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

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

これは、要求されたすべての音声、データパケットを割り当てても、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、足りなければ、音声領域を優先して確保して、残りをデータ領域とすることを意味する。

3.5.2 チャネル割当てアルゴリズム

図 2 に提案方式のスケジューリング法を示す。提案方式のスケジューリングは、原則としてロードバランス割当て法に基づいており、さらに各メディアの QoS 要求を考慮して、データに対するベストエフォート割当て法、音声に対する緊急要求割当て法の 3 方式から構成される。ロードバランス割当て法は、1 フレームに 1 度、スロット数の見積りを行った後に行われる。基地局は、まず、VRT に格納されているすべての音声端末に対し、ラベル付けした音声用スロットへ同時送信端末数ができるだけ等しくなるように割当てスロットを決定する。VRT は、遅延量によってソートされているため、遅延リミット TO_v が最も少ない音声か

ら割当てが可能となっている。すべての音声要求に対するスケジューリングが終了すると、基地局は、データ割当てを開始する。データ割当ても、音声割当てと同様にロードバランス法に従って行うが、このとき1つのデータ用スロットに最大送信レート m によってデータ端末の持つすべてのパケットを收容しようと試みる。もし、すべてのパケットが收容できなければ、別のデータ用スロットに同様な方法で割り当て、DRTが空になるか、データ用スロットに割り当てができなくなるまでスケジューリングを行う。

通常、基地局による割当て処理はここで完了するが、式(9)が適用されている場合、DRTにはまだ割当てを終わっていないデータ要求が残っているはずである。その場合、基地局はデータに対するベストエフォート割当て法を実行する。この割当て法では、データの BER

要求を満たすことのできる音声用スロットが存在するならば、そのスロットにデータを割り当てる。データが割り当てられた音声用スロットは、データ用スロットへとラベルが変更される(図2のD6)。また、遅延リミットを持つ音声は、フレーム終了時の割当て処理を待つまでに、パケット破棄を起こす可能性がある。そこで、音声に対する緊急要求割当て法が実行される。緊急要求割当て法は、要求を受け付けたスロットで割当て処理を実行する。割当ては、遅延リミット内の音声用スロットに行くか、音声用スロットへの割当てが不可能ならば、データ用スロットに行く。音声をデータ用スロットへ割り当てた結果、データの BER 要求を維持できないと判断された場合は、データ送信のスケジューリングは変更される。

以上のように、提案方式では、要求受付はスロットごとに行い、フレーム終了時に QoS 要求 (BER と遅延リミット) に基づいて音声とデータの送信スケジュールを立て、スロットごとに割当て通知 (送信許可) をする。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は、割当てスケジュールを柔軟に変更することで対応可能である。

4. 性能評価

ここでは、提案方式と従来の JCP, WISPER を計算機シミュレーションによって比較、評価する。表1にシミュレーションに用いたシステムパラメータを示す。ここで、TDMA チャンネルレートとはベースバン

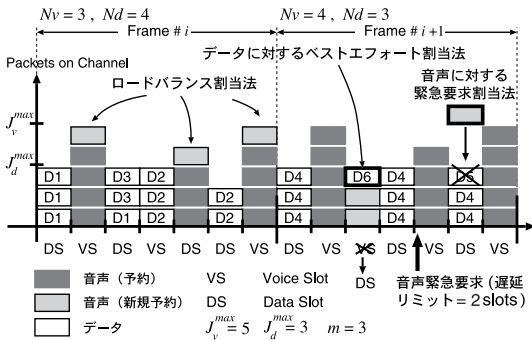


図2 提案方式のスケジューリング法
Fig.2 Proposed scheduling method.

表1 システムパラメータ
Table 1 System parameters.

変数	Symbol	Units	JCP	WISPER	提案方式
CDMA チャンネルレート	R_{cc}	kbps	45227	45227	45227
TDMA チャンネルレート	R_{tc}	kbps	707	756	827
音声ソースレート	R_v	kbps	32	32	32
拡散率	SF		64.00	59.82	54.71
フレーム時間	T_f	ms	12	12	12
1 フレーム中の情報スロット数	N	slots	20	20	20
1 フレーム中の制御スロット数		slots	-	1	-
情報スロット時間	τ	ms	0.6	12/21	0.52
制御スロット時間		ms	-	12/21	0.08×20
情報ビットサイズ	$R_v T_f$	bits	384	384	384
パケットヘッダサイズ	H	bits	40	40	40
PGBK 要求サイズ		bits	-	8	8
要求パケットサイズ		bits	-	64	64
音声の最大同時通信数	J_v^{max}	packets/slot	12	11	10
データ (10^{-9}) の最大同時通信数	J_d^{max}	packets/slot	6	5	5
データ (10^{-6}) の最大同時通信数	J_d^{max}	packets/slot	9	8	8
データ (10^{-9}) 最大送信レート	m	packets	1	5	5
データ (10^{-6}) 最大送信レート	m	packets	1	7	7
音声最大許容遅延時間	TO_v	frames		3	
データ最大許容遅延時間	TO_d	frames		$50 \times [total\ packets]$	

ドでの伝送速度であり、CDMA チャネルレートとは拡散後の伝送速度つまりチップレートを表している。比較のため各方式の拡散後の帯域幅が一定となるよう拡散率を設定する。音声端末とデータ端末は別々にシステム内に同数 ($K_v = K_d$) 存在するものとし、各端末の packets 発生率に従って packets を送信する。

4.1 音声 packets 破棄率特性

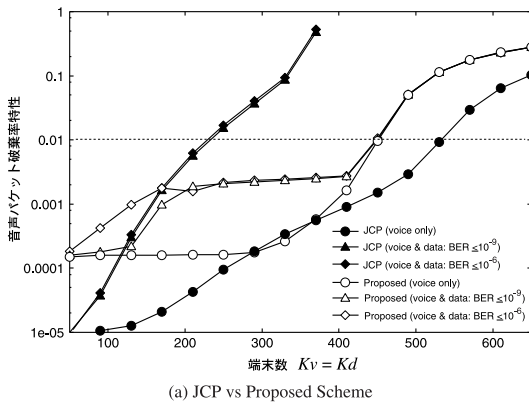
図 3 に端末数に対する音声 packets 破棄率特性を示す。まず音声のみの場合、端末数が少なく負荷が小さいときは、JCP が良い特性を示している。これは、提案方式と WISPER が基地局により 1 フレームごとに割当てを行うため、割当て処理までの遅延時間に破棄される packets の影響である。音声品質の基準となる破棄率 $P_{drop} = 0.01$ の端末数を見てみると、JCP, WISPER, 提案方式の順でより多くの端末をシステム内に収容できていることが分かる。これは、提案方式や WISPER では、制御スロットによるオーバーヘッドのため、拡散後の帯域一定のもとでは大きな拡散率 (処理利得) が得られないからである。

次に音声・データ統合時の結果を比較すると、JCP と WISPER はデータトラヒックが付加されることによ

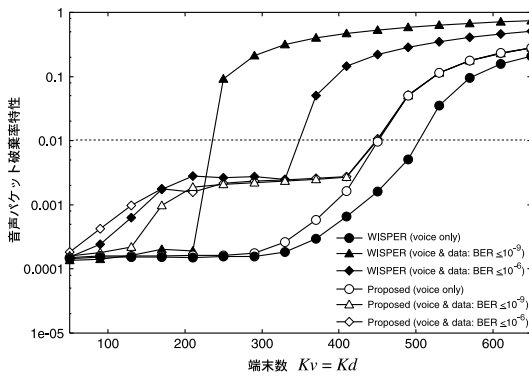
り、破棄率特性が急激に劣化することが分かる。JCP においては、QoS の異なるデータも音声と同一のチャネルアクセス関数に基づいて packets を送信するので、アクセス集中による MAI が多くの packets 損失を引き起こすためである。また、BER 要求を考慮したアクセス制御は行っていないので、BER 要求の違いによる変化は見られない。WISPER においては、音声の帯域保証をせず、音声とデータを同一スロットに割り当てているため、データトラヒックの増加にともない音声の packets 損失が増加する。このとき、BER 要求が緩いほうが同時に多くの packets を送信できるため、 $BER \leq 10^{-9}$ よりも $BER \leq 10^{-6}$ のときのほうが良い特性を示している。提案方式は、データ統合時でも音声のみの環境と同数の音声端末を収容できる。これは、提案方式の割当て処理が音声を優先的に割り当てているだけでなく、音声とデータを別々のスロットに割り当てているためである。したがって、データの BER 要求の違いによる影響はほとんどない。また、提案方式で破棄率が比較的高い値で推移しているのは、提案方式が、packets 破棄率に基づく音声品質を許容可能な範囲で少し落とし、データ伝送量を増やす方法をとっているためである。

4.2 データ packets 遅延特性

図 4 に音声・データ統合環境での端末数に対するデータ packets 遅延特性を示す。図より、JCP では、発生した packets ごとにチャネルアクセスを行うため、発生したメッセージの全 packets を送り終わるまで大きな時間を費やすことが分かる。また、BER 要求を考慮したアクセス制御は行っていないので、BER 要求が異なっても変化は見られない。一方、提案方式と WISPER は、端末数が少ない低負荷時においては、わずかな遅延でメッセージを送信することができる。これは、両方式ともに発生したメッセージに対して一括



(a) JCP vs Proposed Scheme



(b) WISPER vs Proposed Scheme

図 3 音声 packets 破棄率特性

Fig. 3 Voice packet dropping probability.

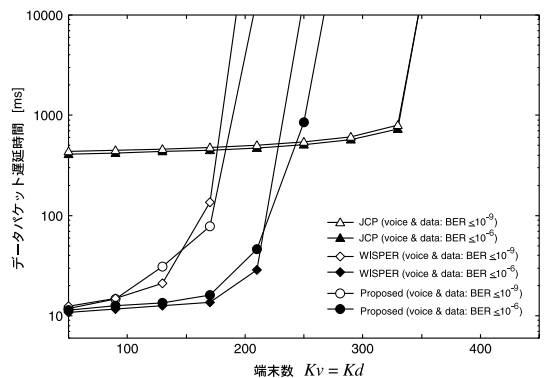


図 4 データ packets 遅延特性

Fig. 4 Data packet average delay.

して送信要求ができ、さらにマルチコード送信により1スロットで複数パケットの送信が可能のためである。また、提案方式においては、トラヒック量に応じてデータの送信領域を確保していることも迅速な送信を可能とする要因である。しかしながら、両方式とも端末数が多くなると遅延特性が急激に劣化する。その理由は、WISPERにおいては、遅延リミットの小さい(優先度の高い)音声を先に扱うため、データ送信が後回しになるためである。また、提案方式においては、パケット破棄率に基づく音声品質を許容可能な範囲で少し落とし、データ伝送量を増やす方法をとっているが、音声用スロットを優先的に確保するためにデータ用スロットが減少し、多くのデータパケットが送信できなくなるためである。また、BER 要求を緩くすることでより多くの端末を扱っていることが分かる。

4.3 データ BER 要求

図5に音声・データ統合環境での端末数に対するBER 要求を満足しない送信データパケットの割合を示す。提案方式とWISPERは、基地局によりBERスケジューリングを実行しているため、つねにBER 要求を満足できる。したがって、ここではJCPの特性に

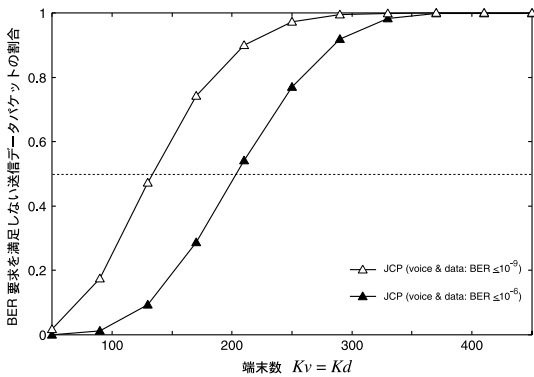


図5 BER 要求を満足しない送信データパケットの割合
Fig.5 Transmitted data packet ratio with unsatisfied BER requirement.

についてのみ評価する。JCPでは、端末数が多くなるとつれ、データのBER 要求を満たすことができなくなる。これは、JCPのパケット送信がランダムアクセスに基づいているためである。ここで、5割のデータパケットがBER 要求を満たせばよいという条件をつけても、 $BER \leq 10^{-9}$ のときで132端末、 $BER \leq 10^{-6}$ のときでも206端末しか扱うことができない。

4.4 システム容量

表2にシステム容量を示す。システム容量としてQoS 要求を満たすことのできる最大同時接続端末数を定義し、そのときのシステム全体で扱えるスロットあたりのパケット数を()内に示す。ここで、3方式におけるパケットあたりの情報ビット数は等しいので、パケット数は実際に送信できる情報量を表す。まず、音声のみのシステムでは、図3で示したようにJCPが多くの端末を收容し、かつ多くの情報を伝送できていることが分かる。次に、音声・データ統合環境では、音声パケット破棄率特性に関しては、提案方式だけが音声のみの環境と同等の端末数およびパケット数を達成しており、音声品質を満たす音声端末数は提案方式が最も多いことが分かる。しかしながら、音声とデータを合わせたシステム全体で扱える情報量には大きな差はない。WISPERでは、データのBER 要求が厳しいと送信できる情報量も制限されるので、端末数もパケット数も減っているのが分かる。データパケット遅延特性に関しては、若干の遅延はあるもののJCPが多くの端末を收容でき、かつ多くの情報を扱っているが、BER 要求をまったく考慮していないため、これを考慮するとシステム容量は激減する。

以上の結果より、全QoS 要求を満たすシステム容量について見てみると、提案方式とWISPERはBER 要求を満たしつつ、大きなシステム容量を持つことが分かる。特に、提案方式は、データトラヒックの増加が即時性を必要とする音声通信の品質を劣化させないという点において、WISPERプロトコルより優れた

表2 システム容量
Table 2 System capacity.

QoS		JCP	WISPER	提案方式
voice only	音声パケット破棄率	532 (11.1)	501 (10.6)	450 (9.4)
voice/data(10^{-9})	音声パケット破棄率	231 (9.8)	226 (5.8)	450 (9.4)
	データパケット遅延	356 (13.7)	184 (7.4)	204 (8.2)
	データ BER 要求	132 (5.6)	always satisfied	
	全 QoS 要求	132 (5.6)	184 (7.4)	204 (8.2)
voice/data(10^{-6})	音声パケット破棄率	231 (9.8)	355 (9.2)	450 (9.4)
	データパケット遅延	356 (13.7)	249 (9.6)	275 (10.5)
	データ BER 要求	206 (8.8)	always satisfied	
	全 QoS 要求	206 (8.8)	249 (9.6)	275 (10.5)

特性を持っている．

5. む す び

本論文では、各メディアの品質向上とチャネル容量の有効利用を目的として、メディアごとの異なる BER 要求と遅延リミットを考慮したスケジューリングを行う 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、提案方式は、BER 要求を満たしつつ、従来の JCP と比べて、音声パケット破棄率特性、データ遅延特性、およびシステム容量を改善できることを可能とした．この結果は、BER スケジューリングを採用する WISPER と同等の特性であるが、提案方式は、データトラヒックの増加が即時性を必要とする音声通信の品質を劣化させないという点において、WISPER プロトコルより優れた特性を持つことが明らかとなった．

参 考 文 献

- 1) Nanda, S.: Stability evaluation and design of the PRMA joint voice data system, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.42, No.5, pp.2092–2104 (1994).
- 2) Yamamoto, M., Machida, S. and Ikeda, H.: Access control scheme for multimedia ATM wireless local area networks, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E81-B, No.11, pp.2048–2055 (1998).
- 3) Uehara, H., Fujihara, M., Yokoyama, M. and Ito, H.: Channel assignment scheme for integrated voice and data traffic in reservation-type packet radio networks, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E85-B, No.1, pp.191–198 (2002).
- 4) Pichna, R. and Wang, Q.: A medium-access control protocol for a cellular packet CDMA carrying multirate traffic, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.14, pp.1728–1736 (1996).
- 5) 佐藤, サンドウーク, 山里, 片山, 小川: 音声信号とデータパケットの混在する CDMA システムの特性解析, 信学論, Vol.J81-B-II, No.8, pp.733–741 (1998).
- 6) Brand, A.E. and Aghvami, A.H.: 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 (1994).
- 7) Akyildiz, I.F., Levine, D.A. and Joe, I.: Slotted CDMA protocol with BER scheduling for wireless multimedia networks, *IEEE/ACM*

Trans. Net., Vol.7, No.2, pp.146–158 (1999).

- 8) Pursley, M.B.: Performance evaluation for phase-code spread specturm multiple-access communication — Part I: System analysis, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.COM-25, No.8, pp.765–799 (1977).
- 9) 井上, 森川, 水町: メディア統合型無線アクセスにおけるメッセージリソース割当手法, 信学論 (B-II), Vol.J80-B-II, No.8, pp.641–653 (1997).

(平成 14 年 3 月 26 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



藤原 正登

平成 12 年豊橋技術科学大学工学部情報工学課程卒業．平成 14 年同大学大学院修士課程修了．在学中、マルチメディア無線ネットワークに関する研究に従事．電子情報通信学

会会員．



上原 秀幸

平成 4 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業．平成 9 年同大学大学院博士課程修了．同年豊橋技術科学大学情報工学系助手、現在、同講師．博士 (工学)．主として、移動通信

ネットワーク、移動通信方式、光通信方式等の研究に従事．IEEE、ACM、電子情報通信学会、情報理論とその応用学会各会員．



横山 光雄

昭和 39 年東北大学工学部電子工学科卒業．昭和 39 年郵政省電波研究所 (現在、通信総合研究所) 入所．平成 6 年通信総合研究所次長．平成 8 年豊橋技術科学大学教授、現在に至る．工学博士．衛星通信方式、移動通信方式、移動通信ネットワークの研究に従事．平成元年科学技術庁長官賞、平成 6 年郵政大臣表彰受賞．著書「スペクトル拡散通信システム」(科学技術出版社)、「移動通信ネットワーク」(昭晃堂)、「移動通信技術の基礎」(日刊工業新聞社)．電子情報通信学会フェロー (平成 12 年)．電気学会、IEEE 各会員．