

## 研究速報

音声・データ統合 PRMA 無線ネットワークにおける  
ACK 返送方式の性能評価中西 博幸<sup>†</sup> (正員) 田坂 修二<sup>†</sup> (正員)石橋 豊<sup>†</sup> (正員)

Performance Evaluation of an Acknowledgment Scheme in the PRMA Wireless Network for Integrated Voice and Data Transmission

Hiroyuki NAKANISHI<sup>†</sup>, Shuji TASAKA<sup>†</sup>, and  
Yutaka ISHIBASHI<sup>†</sup>, Members<sup>†</sup>名古屋工業大学工学部電気情報工学科, 名古屋市  
Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466  
Japan

あらまし 音声・データ統合 PRMA 無線ネットワークにおいて、これまで議論されていなかった下りチャンネルにおける伝送を取り上げる。特に、データの ARQ を行う際に問題となる、基地局への ACK の返送方式を提案する。その性能をシミュレーションによって評価し、下りチャンネルを含めた性能評価を行うことの重要性を示す。

キーワード 音声・データ統合伝送, PRMA プロトコル, 下りチャンネル伝送, ACK 返送方式

## 1. まえがき

PRMA (Packet Reservation Multiple Access) は、セルラシステムの端末-基地局間で、音声パケットの転送を行うために提案されたプロトコルである [1]~[3]。しかし、システムの制御信号や携帯端末からのデータを、音声と同一のチャンネルで統合伝送する研究も報告されている [4], [5]。さまざまなメディアを統合して扱えることは、第三世代の無線システムの必須条件であるため、最近では、音声・データを統合伝送する PRMA の研究が盛んに行われている。

ところが、従来の研究では、上りチャンネル (端末から基地局方向) のみが検討の対象とされている。すなわち、すべての端末に共有される上りチャンネルの多元接続方式だけに関心が集まり、基地局が自由に制御できる下りチャンネル (基地局から端末方向) は全く検討されていない。しかし、下りチャンネルを検討対象から除外することは、本来そこで生じる伝送誤りを無視することに等しい。現実には、無線環境で誤りが生じないということは考えられず、下りチャンネルを除外したままでは正確な評価を行うことはできない。

そこで、下りチャンネルのパケット送信と伝送誤りを考慮に入れて性能評価を行う必要がある。本論文では、その最初のステップとして、端末が静止又は準静

止の状態にあるとして、ランダム誤りのみを想定する。データの誤りには ARQ で対処するが、その際に問題となるのが、端末から基地局への送達確認応答 (以下、ACK と略記) の伝送方法である。端末から基地局への送信を行うためには、上りチャンネルを使用しなければならない。しかし、上りチャンネルには多元接続の問題があり、ACK の送信には特別の工夫が必要になる。本論文では、簡単な ACK 返送方式を提案し、シミュレーションによって性能評価を行う。そして、下りチャンネルを考慮に入れることの重要性を示す。

## 2. PRMA プロトコル

本論文では、一つの基地局と複数の無線端末からなる一つのマイクロセルに着目して議論を行う。各端末は基地局とのみ直接通信可能であり、上りチャンネルと下りチャンネルは周波数分割で実現される。上りチャンネルでの音声・データの送信には、それぞれ予約アロハ・スロット付アロハに類似の方式が用いられる。一方、下りチャンネルにおける送信は、基地局に制御される。上りチャンネルに関する詳細は文献 [4] に譲り、ここでは、下りチャンネルについてのみ説明する。

図 1 に PRMA のチャンネル構成を示す。下りチャンネルの時間軸は、上りチャンネルと同様のスロットに分割される。しかし、予約の概念がないため、フレーム構成である必要はない。基地局は、下りスロットを用いて順にパケットを放送する。但し、基地局は、上りスロットの予約を制御するために、フィードバックパケットも放送しなければならない。そこで、下りチャンネルの容量を上りチャンネルより大きく設定し、端末が上りスロットで一つのパケットを送信する間に、基地局はフィードバックパケットと通常のパケットを一つずつ放送する。本論文では、フィードバックパケットを直前の上りパケットに対する ACK 又は NACK として用い、上りチャンネルに対して stop and wait ARQ 制御を行う。

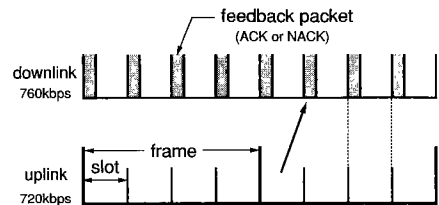


図1 PRMAのチャンネル構成  
Fig.1 Channel structure of PRMA.

### 3. ACK 返送方式

本論文では、下りパケットに対する端末から基地局への ACK 返送を行うために、複数の ACK を一つのパケットに乗せて同時に返送する方式を取り上げる<sup>(注1)</sup> [6]。但し、音声は遅延の制限が厳しいため ARQ を行わず<sup>(注2)</sup>、データ端末のみが ACK の返送を行う。データ端末は、受信した各下りパケットに対して一つの ACK 又は NACK を生成する。そして、ACK および NACK が合計  $n$  個集まった時点で、それらを一つのパケット（以下、これを ACK パケットと呼ぶ）に乗せ、通常のパケットと同様にランダムアクセスによって送信する<sup>(注3)</sup>。このとき、端末は通常のパケットよりも ACK パケットの送信を優先して行う。そして、ACK パケットを受信した基地局は、その中の ACK に対応するパケットを再送バッファから廃棄し、NACK に対応するパケットを順次再送する。これは selective repeat ARQ である。

この方式は、従来の PRMA チャンネル構成に変更を加えることなく実現でき、制御が簡単である。しかし、ACK の送信にランダムアクセスが必要になり、通常のパケットの送信を妨げることになる。また、基地局に ACK が届くまでの時間が不定であるため、基地局の再送バッファを大きくしなければならない。このような ACK の影響を、極力抑えられるような  $n$  の設定が重要になる。

#### 4. シミュレーションにおける仮定

(A1) 音声情報源を有音状態と無音状態の 2 状態マルコフ連鎖でモデル化する [4]。音声端末は有音期間中、周期的に各フレームで一つのパケットを発生する。

(A2) データ端末は、音声の発生とは独立に、スロット当たり一定の確率で一つのパケットを発生する。

(A3) あて先端末は同一セル内から一様乱数で決定される。但し、音声端末は音声端末と、データ端末はデータ端末とのみ通信する。

(A4) パケット伝送時のビット誤りは、互いに独立に発生する。誤りが生じたデータパケットは必ず再送される。

(A5) フィードバックパケットの送信には、強力な誤り訂正符号を用いるとし、端末が ACK 又は NACK の判断を誤ることはない。

#### 5. シミュレーション結果と考察

性能評価の尺度としては、音声パケット欠落確率と平均データパケット遅延を用いる。音声パケットは、制限時間を越えても送信に成功しないと、端末で廃棄

表 1 シミュレーションに用いた数値  
Table 1 Simulation parameters.

上りチャネル回線速度	720 kbps
下りチャネル回線速度	760 kbps
音声レート	32 kbps
平均データレート $R_d$	1,200 bps, 2,400 bps
フレーム長	16 ms
1 フレームスロット数	20 slots
パケット長 (ヘッダを含む)	576 bits
ヘッダ長	64 bits
フィードバックパケット長	32 bits
音声遅延制限	32 ms
音声許可確率 $p_s$	0.3, 0.2
データ許可確率 $p_d$	0.045, 0.07
ビット誤り率 $B_e$	$10^{-4}$ , $10^{-5}$
平均有音時間	1.00 s
平均無音時間	1.35 s

される。従って、欠落確率が一つの尺度となる。一方、データは欠落が許されないため、遅延を尺度とする。この場合の遅延は、パケットが端末で発生してからあて先の端末に正しく受信されるまでの時間を表す。

シミュレーションにおいては、表 1 の数値を用いている。これらは、従来から用いられている典型的な値である [4],[5]。なお、表中の許可確率については、 $R_d = 1,200$  bps のとき  $p_s = 0.3$ ,  $p_d = 0.045$ ,  $R_d = 2,400$  bps のとき  $p_s = 0.2$ ,  $p_d = 0.07$  としている。これらは、文献 [4],[5] において、最大の取容端末数が得られる値として示されているものである<sup>(注4)</sup>。

#### 5.1 音声パケット欠落確率

図 2, 図 3 に、 $B_e = 10^{-4}$  の場合の音声パケット欠落確率を示す。図 2 は  $R_d = 1,200$  bps とし、図 3 は  $R_d = 2,400$  bps としている。音声端末数  $M_s$  とデータ端末数  $M_d$  が等しいとして、これを図の横軸にしている。各図には、1 パケットに乗せる ACK 数  $n$  を 6 通りに変化させた場合と、下りチャネルを考慮しない場合 (NO-ACK と略記) の性能が示されている。NO-ACK の場合には、下りチャネルでは誤りが発生しないと仮定し、ACK 返送を行わない。また、基地局から端末への送信は 1 スロットで終了すると仮定している。

図 2 から、 $n$  の増加に伴って音声パケット欠落確率

(注 1) : 文献 [6] では、更に二つの方式を提案している。

(注 2) : PRMA の原理から、上りパケットヘッダの誤り検出は行う。ヘッダが誤った場合には予約が得られないため、再予約のための再送は行う。

(注 3) :  $n$  が取りうる値には、ACK・NACK に必要なビット数とパケット長とによって定まる上限が存在する。

(注 4) : 最適な許可確率は ACK トラフィックの影響によって変化する。そこで、文献 [4] と同様許可確率が性能に及ぼす影響を調べた結果、これらの値を用いれば、 $n$  によらずほぼ最大の取容端末数を得られることがわかった。

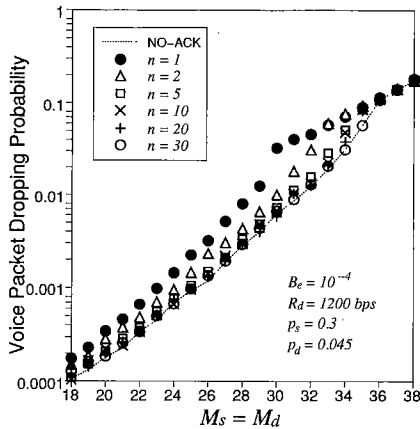


図2 音声パケット欠落確率と収容端末数の関係 ( $R_d = 1,200$  bps)

Fig. 2 Voice packet dropping probability versus number of terminals ( $R_d = 1,200$  bps).

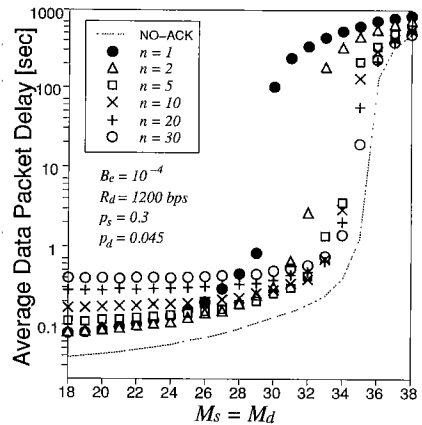


図4 平均データパケット遅延と収容端末数の関係 ( $B_e = 10^{-4}$ )

Fig. 4 Average data packet delay versus number of terminals ( $B_e = 10^{-4}$ ).

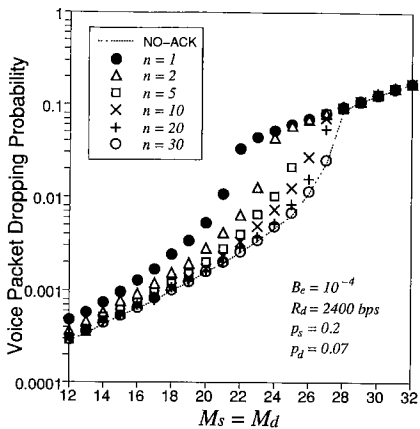


図3 音声パケット欠落確率と収容端末数の関係 ( $R_d = 2,400$  bps)

Fig. 3 Voice packet dropping probability versus number of terminals ( $R_d = 2,400$  bps).

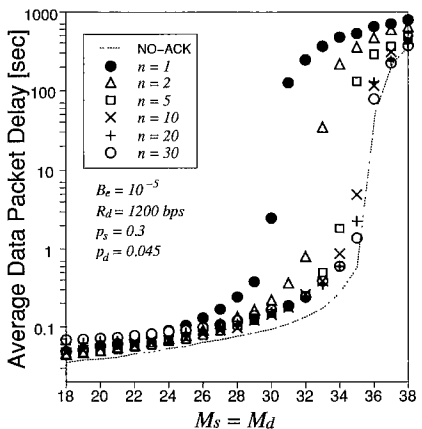


図5 平均データパケット遅延と収容端末数の関係 ( $B_e = 10^{-5}$ )

Fig. 5 Average data packet delay versus number of terminals ( $B_e = 10^{-5}$ ).

が小さくなることがわかる。しかし、 $n$  を 5 以上に大きくしても欠落確率の差はほとんど生じていない。欠落確率が  $n = 1, 2$  のときに大きくなるのは、ACK パケットが頻繁に発生して音声伝送を妨げるためである。しかし、 $R_d = 1,200$  bps では、データの発生量が小さいため、ACK が音声に及ぼす影響は小さいと言える。

ところが、 $R_d = 2,400$  bps の場合には傾向が異なってくる。図 3 では、各  $n$  の値に対する欠落確率に大きな差があることから、ACK トラヒックの影響が強いことがわかる。そのため、 $n$  を 5, 10 程度に大きく設定しても、欠落確率はそれほど小さくならない。そして、

NO-ACK に匹敵する性能は、 $n$  を 30 程度に大きくしなくては得られないことがわかる。しかし、 $n$  にはパケット長によって決定される最大値が存在することに加え、基地局のバッファ容量の制限もあるため、実際には、 $n$  の値をそれほど大きくできない。下りチャンネルを考慮しない場合の性能は、このように極端な場合の性能に対応しているのである。

### 5.2 平均データパケット遅延

図 4, 図 5 は、 $R_d = 1,200$  bps における平均データパケット遅延を、それぞれ、 $B_e = 10^{-4}$  および  $B_e = 10^{-5}$  に対して示したものである。これらの図

においても、下りチャンネルを考慮しない場合の性能を NO-ACK として示している。

両図から、 $n$  をどのように設定しても、本方式と NO-ACK との間には、大きな性能差が存在することがわかる。特に、ビット誤り率の大きい図 4 の場合に、差が大きい。この差は、ACK による上りチャンネルトラヒックの増加や、誤った下りパケットが基地局内で再送を待っている時間に起因している。従って、ACK の存在や下りチャンネルの伝送誤りを考慮に入れなければ、伝送誤りの多い PRMA 無線システムの性能評価は、不正確なものになってしまう。

つぎに  $n$  が遅延に及ぼす影響を考察する。まず、 $n$  が 1, 2 程度に小さい場合には、誤りに対して迅速に ACK パケットを生成できる。そのため、収容端末が少なく、ACK の衝突が起きなければ遅延は小さくなる。これは、図 4 では明確に現れている。しかし、ACK パケットが大量に発生してデータの送信を妨げるため、端末数の増加と共に遅延は急速に増大してしまう。このような事態を避けるため、 $n$  はある程度大きく設定する必要がある。しかし、 $n$  が大きすぎると、収容端末が少ない場合の遅延が増加してしまう。これは、誤りが生じて、多くのパケットが到着するまで再送を要求できないためである<sup>(注5)</sup>。しかし、 $B_e$  が小さくなるため、 $n$  を大きくしてもほとんど遅延の増加はない。これは、図 5 から明らかである。このように、データの遅延を最小とするような  $n$  の値は、セル内の収容端末数やビット誤り率と共に変化する。従って、 $n$  を固定値とすることは得策でない。

## 6. むすび

本論文では、これまでの PRMA の研究では考慮さ

れていなかった下りチャンネルにおけるパケットの送信を取り扱った。下りチャンネルにおけるデータの ARQ を行うため、基地局への ACK 返送方式を提案した。シミュレーションの結果、ACK トラヒックと下りパケットの伝送誤りによって、システム性能が劣化することが定量的に確認できた。従って、下りチャンネルを無視した性能評価を行っても、それは正当な評価にはならない。また、本方式におけるパラメータ  $n$  の設定法についても考察した。

更に性能を改善するためには、 $n$  の値を収容端末数に応じて変化させる等の適応制御を行うことが望ましい。また、端末が高速に移動し、バースト誤りが支配的となる状況での性能評価も重要である。これらは今後の課題である。

謝辞 本研究は、電気通信普及財団平成 6 年度研究調査助成金によって行われた。

## 文 献

- [1] D.J. Goodman, "Cellular packet communications," IEEE Trans. Commun., vol.COM-38, pp.1272-1280, Sept. 1990.
- [2] D.J. Goodman, R.A. Valenzuela, K.T. Gayliard, and B. Ramamurthi, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," IEEE Trans. Commun., vol.COM-37, pp.885-890, Aug. 1989.
- [3] S. Nanda, D.J. Goodman, and U. Timor, "Performance of PRMA: a packet voice protocol for cellular systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.40, no.3, pp.584-598, Aug. 1991.
- [4] H.Y. Chung and D.J. Goodman, "Transmission of speech and data using packet reservation multiple access," Conf. Rec. ICC'91, pp.99-104, June 1991.
- [5] S. Nanda, "Stability evaluation and design of the PRMA joint voice data system," IEEE Trans. Commun., vol.42, no.5, pp.2092-2104, May 1994.
- [6] 中西博幸, 田坂修二, 石橋 豊, "音声・データ統合 PRMA 無線ネットワークにおける ACK 返送方式の性能評価," 信学技報, RCS95-43, July 1995.

(平成 7 年 8 月 4 日受付, 8 年 3 月 5 日再受付)

(注 5) : タイムアウトを設定し、 $n$  個のパケットが到着する前でも ACK パケットを送信する方法も考えられる。これについても検討したが、本論文では割愛する。