

## CDMA 方式の上り回線における多元トラフィックのシステム容量最適化

鈴木 健弘

服部 武

上智大学理工学部電気電子工学科

〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

TEL:03-3238-3420

takehiro@mmc.ee.sophia.ac.jp

thattori@mmc.ee.sophia.ac.jp

あらまし

マルチメディアを可能にする W-CDMA 方式では音声とデータを複合させた多元トラフィックを考える必要がある。上り回線において伝送速度の高速化により大数の法則による干渉平均化効果が得られないためシステム容量が減少してしまう。本報告では、基地局から半径  $r$  (km) のエリア内では高速伝送を行い、セル内のその他のエリアでは低速伝送するというシステムモデルを提案した。半径  $r$  (km) を変化させてシステム容量の最適化を図る。

キーワード W-CDMA、多元トラフィック、干渉平均化効果、システム容量

## System Capacity Optimization of Multiple Traffic in Reverse Link of CDMA

Takehiro SUZUKI

Takeshi HATTORI

Department of Electrical and Electronics Engineering, Sophia University

7-1 Kioi-Cho Chiyoda-ku Tokyo 102-8554, Japan

TEL:+81-3-3238-3420

takehiro@mmc.ee.sophia.ac.jp

thattori@mmc.ee.sophia.ac.jp

Abstract

In a W-CDMA system that enables multimedia, it is necessary to consider about multiple traffic composed of voice and data. Because the interference equalization effect by law of large numbers is not acquired as data rate becomes high, system capacity decreases. High-speed data rate is assumed in the inside of the circle of radius  $r$  (km) and low-speed data rate is assumed in the other area inside the cell. In each cell, parameter  $r$  (km) associated with high-speed transmission area is varied from 0(km) to 2(km) simultaneously. We have shown optimum radius to maximize the capacity.

Keyword W-CDMA, Multiple traffic, Interference equalization effect, System capacity

## 1. まえがき

本稿では、上りリンクにおいて W-CDMA 方式で想定されるパラメータを用いての上りリンクの容量最適化を目的とする。ここでは、W-CDMA 方式においてデータ伝送速度の高速化と同じシステム内で音声トラヒックとデータトラヒックが混在する多元トラヒックであるという特徴に注目している。まず、データ伝送速度が高速になると拡散処理利得が小さくなり通信できるユーザ数が減少して大数の法則による干渉平均化効果が得られない。その結果、CDMA 方式において通信容量は他ユーザからの干渉電力に影響を受けるので通信容量が減少してしまう問題が生じる。

今後、モバイルマルチメディアの発展の過程では上りリンクでも高速な伝送が必要になってくる。つまり、高速伝送するユーザがいても干渉平均化効果を得て、通信容量を確保することが重要である。本稿では基地局を中心とした半径  $r$ (km) の中で高速伝送を行い、セル内のそれ以外の場所では低速伝送をするというモデルを提案する。半径  $r$ (km) を変化させ、通信容量の最適化についてコンピュータシミュレーションを用いて分析する。次に音声トラヒックとデータトラヒックが混在する多元トラヒックでの上りリンクの通信容量を分析する。その際にデータトラヒックがセル内の音声トラヒックの通信容量にどのような影響を及ぼすかを分析する。そして、提案方式を導入して多元トラヒックにおける効果を検証し、通信容量の最適化をすることを目的とする。

## 2. シミュレーションモデル

### 2.1 システムモデル

シミュレーションに使用するパラメータを表 1 にまとめる。

表 1. シミュレーション諸元

システム帯域幅(MHz)	5.0
チップレート(Mcps)	3.84
拡散処理利得 [音声/データ : 3タイプ]	480/240,120,60
セル半径(km)	2.0

音声発声効率	0.40
送信電力制御の誤差 (dB)	0 or 1
シャドウイング (dB)	6.0
伝搬損失係数	3.47
移動機の最大送信電力 [音声/データ : 3タイプ](dBm)	21/18,21,24
所要 $E_b/N_0$ [音声/データ](dB)	7.0/3.0
場所率[音声/データ](%)	95/90

また、7つのオムにセルで構成されており、ユーザは均一に配置されているものとしてシミュレーションを行う。

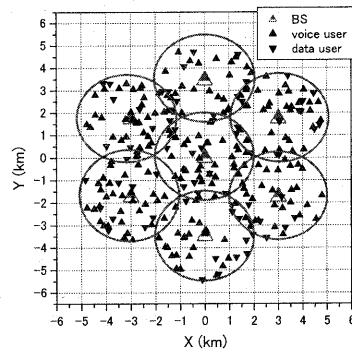


図 1.セル構成とユーザ配置

また、伝搬モデルは秦の式を用いている。

$$L_p = 69.25 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b - a(h_m) + 34.7 \log r \quad \dots (1)$$

本研究では  $f_c$  は周波数として 2GHz、 $h_b$  は基地局実効アンテナ高 35m、 $h_m$  は移動機アンテナ高 1.5m とすると、

$$L_p = 34.7 \log r + 134.26 \quad \dots (2)$$

### 2.2 基地局での受信感度について

基地局での受信機感度は(1)式のように表せ、そこから、各々の基地局での受信機感度が求められる。

$$R_{sens} = N_f \cdot kT \cdot \frac{E_b}{N_0} \cdot R \quad \dots(3)$$

- 但し、 $N_f$ : 熱雑音指数[4dB]  
 $k$ : ボルツマン定数[1.38E-23]  
 $T$ : 環境温度[300K]  
 $R$ : 情報伝送速度(kbps)

- 音声  $R_{SENS} = -121.6$ dBm  
 16k データ  $R_{SENS} = -116.59$ dBm  
 32k データ  $R_{SENS} = -113.58$ dBm  
 64k データ  $R_{SENS} = -110.57$ dBm

### 2.3 劣化率と容量評価方法

まず、シミュレーションの中で劣化率という言葉が指す内容には二つの種類がある。

1. 場所的劣化率
  2. トラヒックによる劣化率
- これらを分けて説明する。

#### 1. 場所的劣化率

場所的劣化率とはセル内で伝搬環境により Given Parameter である移動機の最大送信電力を超えてしまったユーザとセル内に存在する全ユーザの割合である。つまり、実際の環境で場所的劣化を起こしているユーザはビルの陰や地下などの通話不可能な場所にいるものとみなして通信していないものとみなし、トラヒックによる劣化率には加えないこととする。場所的劣化率とトラヒックによる劣化率は独立な事象として扱うことができる。

#### 2. トラヒックによる劣化率

本稿では、移動局から基地局への上りリンクのマルチユーザ干渉を扱っている。1ビット当りの信号エネルギー対雑音電力密度比  $E_b/N_0$  がシステムの信頼性を表す重要な指標である。 $E_b/N_0$  は受信機での相関演算後の信号対雑音電力比を表す。良好な通信品質を得るためには C/I 比 (搬送波対干渉波) が捕捉比  $\alpha$  よりも大きくなければならないものと仮定する。

$$\frac{C}{I} \geq \alpha \quad \text{ここで} \quad \alpha \equiv \frac{1}{G} \left[ \frac{E_b}{N_0} \right]_{\min} \quad \dots(4)$$

表 1 に音声伝送とデータ伝送の所要  $E_b/N_0$  を示したが、[2]の中で音声伝送において所要

$E_b/N_0$  の最小値は 5.0 (7dB) であるとしている。この値のとき、変調技術あるいは符号系列による違いを無視すれば、ビット誤り率 (BER) が  $10^{-3}$  に等しいかそれ以上になるとされている。 $10^{-3}$  の BER であれば十分品質の良いデジタル音声伝送が可能であると考えられる。

また、データ伝送に関しては[3]を参考にし十分品質の良い通信が行える指標として所要  $E_b/N_0$  の最小値を 2.0(3dB)としてシミュレーションしていくことにする。

参照ユーザの電力とマルチユーザ電力との比が捕捉比  $\alpha$  以下になる確率として定義した劣化確率を、特性評価の尺度として用いる。

あるセル内のユーザ  $i$  の C/I 比と熱雑音密度  $N_0$  は(5)式、(6)式のようにになる。

$$\gamma_i = \frac{P_i}{P_{OWN} + P_{OTHERS} + N_0} \quad \dots(5)$$

$$N_0 = N_f \cdot k \cdot T \cdot B \quad \dots(6)$$

ここで、 $P_i$  はユーザ  $i$  の電力密度、 $P_{OWN}$  は参照セル内の他ユーザからの合計干渉電力、 $P_{OTHERS}$  は周辺セルからの干渉の合計電力、 $N_0$  は熱雑音密度とする。

この比が捕捉比  $\alpha$  以下になるとき、そのユーザは劣化しているものとする。セル内で場所的劣化をせずに通信を行っているユーザの中で劣化しているユーザの割合をトラヒックによる劣化率とする。

これをシミュレーションの中で (Outage probability) と称している。

通信容量の定義としてはセル内でトラヒックによって劣化しているユーザの割合、つまり Outage probability が 1% になったときに場所的劣化を受けずに通信しているユーザの数を通信容量とする。

### 3. 提案方式

提案する方式はセル内のエリアごとに伝送速度を変えていくというのが基本的なアルゴリズムである。具体的には、セル内の基地局を中心として半径  $r$  (km) の円内をエリア 1 とする。エリア 1 内でユーザは高速データ伝送をする。セル内のそれ以外の部分をエリア 2 としてユーザは低速データ伝送をするという

仕組みにする。シミュレーションでは、7セル全てのエリア 1 の半径  $r$  (km)を同時に0(km)~2(km)の間で変化させ、セル内のデータトラフィックの通信容量を最大にする最適な半径  $r$  (km)を検出することを目的とする。ここでの、通信容量とはセル内で発生しているデータトラフィックのデータ量(kbps)を指している。以下の図2に概念図を示すことにする。

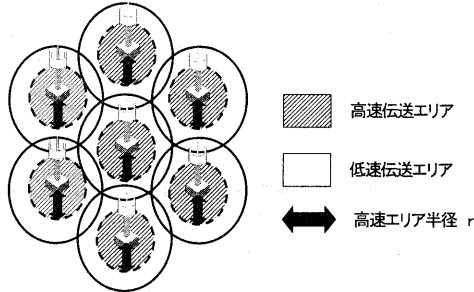


図2.提案方式の概念図

#### 4. シミュレーションによる結果と検討

##### 4.1 伝送速度の高速化による問題

高度なモバイルマルチメディアを実現するためには下りだけでなく、上りにおいても伝送速度の高速化が必要とされると考えられる。しかし、伝送速度が上がることにより拡散処理利得が小さくなり、多重できるユーザ数が減少してしまう。その結果、自セルや周辺セルを含めた総干渉電力の平均がばらついてしまう。これは、大数の法則による干渉平均化効果が薄れてしまうからである。伝送速度の高速化による容量特性を図3に示す。

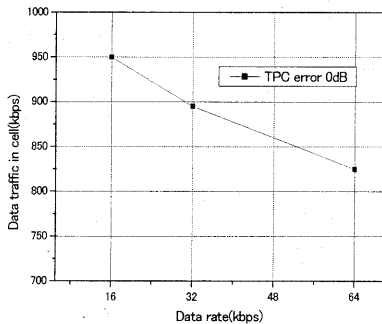


図3.伝送速度と通信容量特性 (送信電力制御 0 dB)

##### 4.2 データトラフィックについて

まず、データトラフィックのみの容量分析に焦点を当てて考えていく。提案方式を使用した場合の効果を図4、5、6に示していく。本稿では、上りリンクでデータ伝送速度16kbps,32kbps,64kbpsの三つを想定している。組み合わせとして以下の三つが考えられる。

- TYPE I 64kbps(高速)と 16kbps (低速)
- TYPE II 32kbps(高速)と 16kbps (低速)
- TYPE III 64kbps(高速)と 32kbps(低速)

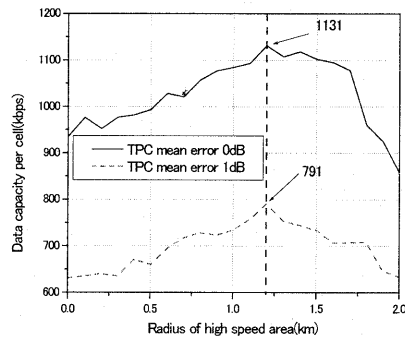


図4.高速エリアの変化とデータ通信容量の関係 (TYPE I)

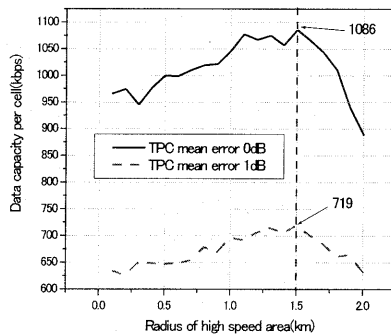


図5.高速エリアの変化とデータ通信容量の関係 (TYPE II)

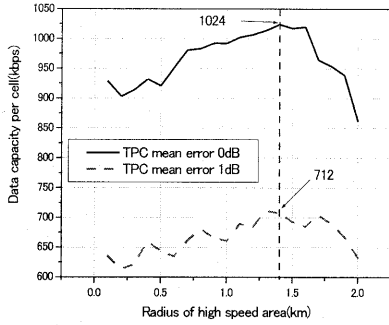


図 6. 高速エリアの変化とデータ通信容量の関係 (TYPE III)

これらの結果に対して検討をしていく。

【TYPE I】

16kbpsと64kbpsの組み合わせが最も良い特性を得られる原因として、以下の理由が考えられる。セル周辺で通信しているユーザはセル0に近いユーザもいるので、距離減衰が少ないのでセル0のユーザに対して大きな干渉となってしまふ。そこで、周辺にいるユーザが16kbpsに下ることにより周辺セルからの干渉電力が下ることになりセル内でSIRを満たすユーザが増えることになる。

そして、16kbpsのユーザは拡散処理利得も大きいので高速な伝送に比べてより多くのユーザが多重できる状態を作れる。つまり、大数の法則による干渉平均化効果が得られやすいと考えられる。また、64kbpsの高速伝送するユーザは基地局の近くで通信するという事は距離減衰や場所率の制限を受けない良質な通信環境で保護されていることも挙げられる。

【TYPE II】

このTYPEでは最も干渉平均化効果が得られると想定される。それは拡散処理利得を考慮すると16kbpsと32kbpsの組み合わせが三つのTYPEの中で通信ユーザ数が多くなるからである。しかし、最高の特性が得られないのは高速エリアでの伝送速度が低速エリアでの伝送速度との差が小さいことからあまり、周辺からの干渉を抑える効果が得られないと考えられる。

【TYPE III】

TYPE IIIの組み合わせが改善の度合いが低

い原因としては、三つの組み合わせの中で拡散処理利得を考慮すると最も干渉平均化効果の恩恵を受けない組み合わせであるからだと考えられる。

つまり、エリアごとに伝送速度を変化させシステム構成を考える場合には二つの伝送速度で分ける場合、高速伝送と低速伝送の伝送速度の差を大きくとることによって、通信容量の最適化できるということがわかる。

4.3 多元トラヒックについて

提案方式を導入して音声とデータを含めた多元トラヒックについて検討する。4.2で得られたデータトラヒックにおける最適な高速エリア半径の時に多元トラヒックにおいてデータトラヒックが音声の通信容量に与える影響を分析する。送信電力制御の誤差ごとに図7、図8にその結果を示す。

TYPE I 高速伝送：64k 低速伝送：16k

最適な高速エリア半径：1.2km

TYPE II 高速伝送：32k 低速伝送：16k

最適な高速エリア半径：1.5km

TYPE III 高速伝送：64k 低速伝送：32k

最適な高速エリア半径：1.4km

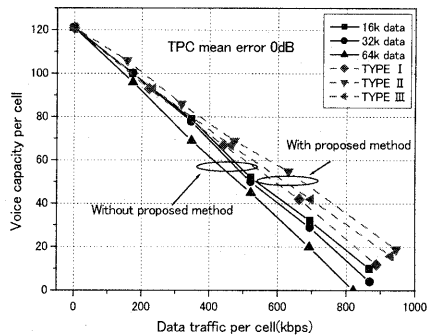


図 7. 提案方式による多元トラヒックの通信容量最適化 (送信電力制御誤差 0dB)

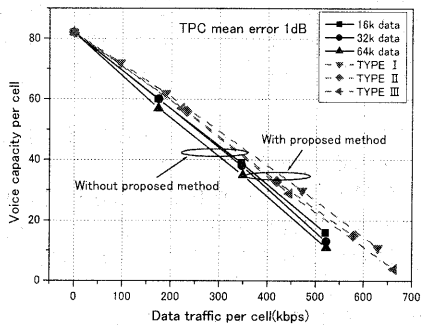


図 8.提案方式による多元トラヒックの  
通信容量最適化  
(送信電力制御誤差 1 dB)

図 7 において、セル内でのデータトラヒックの総和が増加していくと音声の通信容量が減少していくことがわかる。但し、提案方式を導入していない場合に比べてセル内に同じデータトラヒックが発生していても音声の通信容量の減少率が低いことがわかる。つまり、音声の通信容量が多く確保できるということになる。また、セル内で発生しているデータトラヒックの総和が少ない場合は提案方式による効果はあまり出ていないということもわかる。この理由としては、音声ユーザの数が多いので干渉平均化効果を十分に得られるからである。データトラヒックの総和が多くなるにつれて顕著に各伝送速度が音声容量に与える影響の差が大きくなることがわかる。例えば、データトラヒックの総和が約 400kbps を超えると 16k データ伝送と 64k データ伝送では、音声の通信容量に与える影響が 64k データ伝送の方が明らかに大きいことがわかる。これはセル内の音声ユーザの数が減少していくので音声ユーザによる干渉平均化効果が薄れることになり、データトラヒックの総和が同じでも伝送速度が小さいほうが、音声の通信容量を圧迫しないことがわかる。結果としては、提案方式を導入することにより導入する前に比べて音声の通信容量が多く確保できることがわかる。4.2 で分析した時、三つの TYPE の中で最大のデータ通信容量を得られる方式である TYPE I が、一番優れた得性を示している。続いて、TYPE II、TYPE III となる。

次に、図 8 について検討していく。基本的な特徴は図 7 と同じである。

## 5. むすび

本稿では、W-CDMA 方式の上り回線を想定して通信容量の最適化を検討してきた。データトラヒックの伝送速度の高速化による干渉平均化効果の薄れから生じる問題を提案方式により解決することができた。最も良い特性が得られた TYPE I の時に通信容量は送信電力制御が完全な場合には 16kbps で伝送する時と 64kbps で伝送する時に比べて約 19%、約 30%通信容量が増加した。多元トラヒックにおいても送信電力制御が完全である場合において総データ通信量が 200kbps の時、TYPE I を導入することにより音声の通信容量は最大 7%増加し、400kbps、600kbps について考えると各々、最大 24%、72%の容量増加につながる非常に有効な手法であることがわかる。

### 参考文献

- [1]奥村 善久・進士 昌明 監修「移動通信の基礎」電子情報通信学会 pp.218-227(1986)
- [2]Dr.Ramjee Prasad 著、倉本 實 監修安達 文幸 訳「CDMA 移動体通信システム」科学技術出版社 pp.68-92(1997)
- [3]立川敬二 監修「W-CDMA 移動通信方式」丸善株式会社、2001
- [4]廣橋健太郎、須田博人、安達文幸、山本平一、「DS-SS-CDMA セルラ移動通信上りリンク容量に及ぼす送信確率の影響について」, Vol.J83-B No.6 p918:others 電子情報通信学会 2000
- [5]服部 武 編著「モバイルパーソナルイルテリジェンス」共立出版 pp.59-68(1996)
- [6] K.S. Gilhausen, I.M. Jacobs, R. Padobani, A. Viterbi, L.A.Weaver, Jr. And C.E. Wheatley III, "On the capacity of a cellular CDMA system", IEEE Trans. Vehicular Technol., Vol.40, No.2, pp. 303-312, May 1991.
- [7] W.C.Y.Lee, "Overview of cellular CDMA", IEEE Trans. Vehicular Technol., VOL.40, No.2, pp. 291-301, May 1991.