

# DS-CDMA 無線パケット通信における ランダム送信電力制御とパス間干渉キャンセルの複合効果

伊藤 陽紀<sup>†1</sup> 王 智森<sup>‡2</sup> 工藤 栄亮<sup>†3</sup> 安達 文幸<sup>†3</sup>

<sup>†</sup> 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

<sup>‡</sup> 大連工業大学信息科学与工程学院 〒116034 大連市甘子区轻工苑 1 号

E-mail: <sup>1</sup>ito@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, <sup>2</sup>Z\_S\_wang@dlili.edu.cn, <sup>3</sup>{kudoh, adachi}@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 筆者らはこれまで、強制的に受信電力ゆらぎを与えるランダム送信電力制御(TPC)を DS-CDMA 無線パケット通信に適用すればキャプチャ効果によりリンク容量を増大できることを明らかにしてきた。ところで、次世代移動無線通信では高速、高品質なデータ伝送が要求されている。このような高速無線伝送においては、遅延波によって生じるパス間干渉がより深刻になり、スループットが大幅に劣化してしまう。等化器や干渉キャンセラなどによりパス間干渉を抑圧できればスループットの低下を抑えることができる。そこで本論文では、パス間干渉キャンセルが上りリンクのスループット向上にどの程度寄与するのかを明らかにするため、ランダム TPC を用いる DS-CDMA 無線パケット通信のスループットに及ぼすパス間干渉キャンセル効果を計算機シミュレーションにより明らかにしている。

**キーワード** 無線パケット通信, キャプチャ効果, 送信電力制御, パス間干渉キャンセル, DS-CDMA

## Combined effect of Random Transmit Power Control and Inter-Path Interference Cancellation on DS-CDMA Packet Mobile Communications

Haruki ITO<sup>†1</sup>, ZhiSen WANG<sup>‡2</sup>, Eisuke KUDOH<sup>†3</sup> and Fumiyuki ADACHI<sup>†3</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Electrical and Communication Engineering Graduate School of Tohoku university

6-6-05 Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

<sup>‡</sup> School of information science and engineering of Dalian Polytechnic university

No. 1, Qinggong yuan, ganjingzi, Dalian, P.R. 116034 China

E-mail: <sup>1</sup>ito@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, <sup>2</sup>Z\_S\_wang@dlili.edu.cn, <sup>3</sup>{kudoh, adachi}@ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** In the next mobile communication systems, high speed and high quality data transmission is demanded. In the high speed data transmission, throughput degrades seriously due to large inter-path interference (IPI). Recently, we proposed a random transmit power control (TPC) to increase the uplink capacity of DS-CDMA packet mobile communications. In this paper, we consider the application of IPI cancellation in addition to the random TPC. We evaluate, by computer simulation, the combined effect of IPI cancellation and random TPC on the uplink throughput of DS-CDMA packet mobile communications.

**Keyword** Packet communication, capture effect, transmit power control, IPI cancellation, DS-CDMA

### 1. まえがき

これからの無線通信ではインターネット系のマルチメディアサービスを行うためにパケット通信が主流になると予想される。これに応えるため、高速パケットデータ通信を可能にした第3世代移動通信システム(IMT-2000 システム)が標準化された。IMT-2000 システムでは DS-CDMA 無線技術が採用されている[1].

移動通信ではサービスの高度化に伴い、伝送速度の高速化が望まれている。

無線パケット通信では、ユーザがパケットをランダムに送信するので、パケット衝突が発生し、スループットが劣化してしまう。ところで、衝突した複数のパケット間の受信電力差が小さい場合には全てのパケットが損失してしまうが、パケット受信電力差が大きい

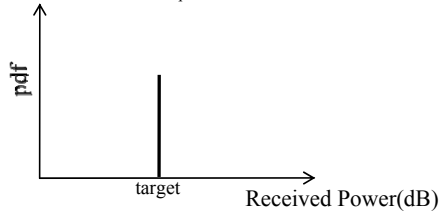
場合には受信電力の大きなパケットの伝送は成功するというキャプチャ効果が得られ、衝突によるスループット劣化を低減できることが知られている[2,3]. そこで、筆者らは強制的に受信電力にゆらぎを与えるランダム送信電力制御(TPC)を DS-CDMA パケット無線通信に用いることを提案した[4].

移動通信では伝送速度を高速化すると、遅延波によって生じるパス間干渉が深刻になり、スループットが大幅に劣化する. 等化器やパス間干渉キャンセラ[5]などによってパス間干渉を抑圧できれば、スループットの低下を抑えることができる. そこで本論文では、パス間干渉キャンセルがスループット向上にどの程度寄与するのかを明らかにするため、ランダム TPC を用いるマルチコード DS-CDMA スロットドアロハのスループットに及ぼすパス間干渉キャンセルの効果を明らかにする.

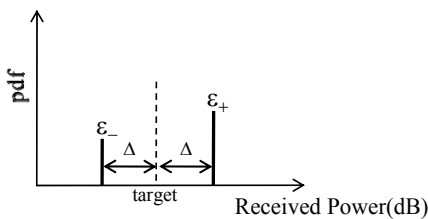
本論文の構成は以下のようになっている. 第 2 章で強制的に受信電力にゆらぎを与えるランダム TPC の原理について述べ、ランダム TPC を用いるときのシステムスループットの計算手法を簡単に示す. 第 3 章では、受信信号電力対雑音+干渉電力比(SINR)の数式表現を求め、パス間干渉を抑圧できればスループットを向上できることを示す. 第 4 章では、計算機シミュレーション諸元及びシステムスループットのシミュレーション結果を述べ、パス間干渉キャンセルの効果について考察する. 第 5 章はむすびである.

## 2. ランダム高速 TPC とスループット

図 1 に示すように基地局での Rake 合成後の受信電力が確率 $\epsilon_+$ でターゲット値より  $\Delta$  dB 小さく、 $\epsilon_+$  ( $=1-\epsilon_-$ ) の確率でターゲット値より  $\Delta$  dB 大きくなるように  $q$  番のユーザの送信電力  $P_q$  を制御する.



(a)従来の高速TPC



(b)ランダム高速TPC

図 1 受信電力分布

マルチコード伝送ではコード多重数によって情報伝送レートが異なる.  $C$  をコード多重数,  $SF$  を拡散率とすると、等価拡散率  $SF_{eq}$  は、

$$SF_{eq} = \frac{SF}{C} \quad (1)$$

となり、 $SF_{eq}$  が小さいほど情報伝送レートが大きくなる.

パケット通信では、受信パケットに誤りを検出したとき再送要求する自動再送要求 (ARQ) が用いられる. 非リアルタイム系通信を対象とし、再送回数を制限しない ARQ を考える.  $SF_{eq}$  によって情報伝送レートが異なるので、 $SF_{eq}$  で正規化したトラフィック  $G$  は、

$$G = \frac{\lambda Q}{SF_{eq}} \quad (2)$$

で与えられる. ここで、 $Q$  はアクティブユーザ数、 $\lambda$  は再送パケットを含めたパケット発生率である. また、システムスループット  $S$  は、

$$S = G\{1 - p(Q, \lambda)\} \quad (3)$$

で与えられる. ここで、 $p(Q, \lambda)$  は平均パケット誤り率である.

ARQ を用いるときには再送パケットが存在するから、送信パケットには真のパケットと再送パケットが混在することになる. パケット誤り率を求めるためには真のパケットと再送パケットの和の発生率を知らなければならない. 本論文では、再送を含めたパケット発生がランダムであると仮定 (実際には再送パケットはランダムではないが、再送がランダムに近くなるように再送パケットの送信時刻をランダム化しているものとする) して、真のパケット発生率が  $\lambda_0$  であるときの再送を含めたパケット発生率  $\lambda$  を以下のように求める.

TPC を用いる場合には、全ユーザの平均パケット誤り率は等しくなるので、再送を含めたパケット発生率も等しくなる. 真のパケット発生率が  $\lambda_0$  であるとき、再送を含めたパケット発生率  $\lambda$  と平均パケット誤り率  $p(Q, \lambda)$  は次式の関係にある.

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{1 - p(Q, \lambda)} \quad (4)$$

ここで、 $p(Q, \lambda)$  は次式により計算できる.

$$p(Q, \lambda) = \sum_{q=0}^{Q-1} p(q) \cdot \binom{Q-1}{q} \lambda^q (1-\lambda)^{Q-1-q} \quad (5)$$

ここで、 $p(q)$  は  $q$  局のユーザのパケットが衝突しているときの条件付平均パケット誤り率、

$$\binom{Q-1}{q} = \frac{(Q-1)!}{q!(Q-1-q)!}$$

は 2 項係数である. ところで、式

(4) は、平均パケット誤り率  $p(Q, \lambda)$  と再送を含めたパケット発生率  $\lambda$  が相互に関係していることを示しており、アクティブユーザ数  $Q$  と真のパケット発生率  $\lambda_0$  が与えられたときのスループットを求めることが解析的に容易でないことを物語っている. そこで、式(4)を次のように変形する.

$$p(Q, \lambda) = 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (6)$$

条件付平均パケット誤り率  $p(q)$  が分かれば、再送を含

めたパケット発生率 $\lambda$ のさまざまな値に対する平均パケット誤り率 $p(Q, \lambda)$ を式(5)を用いて計算できる。 $1-\lambda_0/\lambda$ と等しくなる $p(Q, \lambda)$ の値を繰り返しアルゴリズム[6]により探索する。この値が、真のパケット発生率が $\lambda_0$ であるときの平均パケット誤り率 $p(Q, \lambda)$ を与える。式(3)よりシステムスループットが計算できる。

次に、希望局のパケットに $q$ 局の干渉ユーザのパケットが衝突しているときのパケット誤り率 $p(q)$ の計算法を示す。Rake合成後のSINRが $\gamma_q$ であるときの瞬時パケット誤り率 $p(\gamma_q)$ を以下のようにモデル化する。

$$p(\gamma_q) = \begin{cases} 0 & (\gamma_q \geq \gamma_{th}) \\ 1 & (\gamma_q < \gamma_{th}) \end{cases} \quad (7)$$

ここで $\gamma_{th}$ は所要SINRである。 $\gamma_q$ はランダム変数であるため、 $p(q)$ は次式で示すような $p(\gamma_q)$ のフェージング、パスロス、シャドウイングロス及び電力揺らぎに対する標本平均と定義する。

$$p(q) = E[p(\gamma_q)] \quad (8)$$

### 3. パス間干渉キャンセルを行ったときの受信 SINR の数式表現

シングルセル及び理想チャネル推定を仮定する。 $i$ 番のユーザの、時刻 $t$ における送信信号の等価低域表現 $s_i(t)$ は次式のようになる。

$$s_i(t) = \sqrt{2P_i} c_{scr\_i}(t) \sum_{c=0}^{C-1} d_{i\_c} c_c(t) \quad (9)$$

ここで、 $P_i$ は $i$ 番のユーザの送信電力、 $c_c(t)$ は $c$ 番目の直交拡散符号であり、 $\sum_{t=0}^{SF-1} c_j(t) c_i(t) = SF \cdot \delta_{i,j}$  (ここで $\delta_{i,j}$ はクロネッカーのデルタ)である。 $d_{i\_c}$ は $i$ 番のユーザの $c$ 番目のコードで伝送されるデータ信号であり、 $c_{scr\_i}(t)$ は時刻 $t$ における $i$ 番のユーザのスクランブル符号である。独立な $L$ 個のパスからなる周波数選択性フェージングチャネルを仮定する。チップ時間に等しい時間差を有する $L$ パスからなるフェージングを仮定し、同時に $q$ 人の干渉ユーザがパケットを送信しているとすると、基地局での受信信号の等価低域表現 $r(t)$ は次式で表される。

$$r(t) = \sum_{i=0}^q \sum_{l=0}^{L-1} s_i(t-l) \sqrt{A_i} h_i^{(l)} + n(t) \quad (10)$$

ここで、 $A_i$ はパスロスとシャドウイングロスの積であり以下のようにあらわされる。

$$A_i = r_i^{-\alpha} 10^{-\frac{\eta_i}{10}} \quad (11)$$

$r_i$ はユーザ $i$ から基地局までの距離、 $\eta$ は標準偏差 $\sigma$ の対数正規分布に従うシャドウングロス、 $\alpha$ はパスロス指数、 $h_i^{(l)}$ はユーザ $i$ から基地局までの $l$ 番目パスのフェージング、 $n(t)$ は片側雑音電力密度 $N_0$ の雑音を表す。一般性を失うことなく、0番目のユーザを希望ユーザとする。0番のユーザの0番コードチャンネルのRake合成出力 $r_R$ は次式で与えられる、

$$\begin{aligned} r_R &= \sqrt{2P_0 A_0} \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \\ &+ \frac{\sqrt{2P_0 A_0}}{SF} \sum_{l=0}^{L-1} \left\{ \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq l}}^{L-1} \left( h_0^{(j)} h_0^{(l)*} \sum_{c=0}^{C-1} \sum_{t=0}^{SF-1} \left( d_{0\_c} c_c(t-j) c_0^*(t-l) \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. \times c_{scr\_0}(t-j) c_{scr\_0}^*(t-l) \right) \right) \right\} \\ &+ \frac{1}{SF} \sum_{l=0}^{L-1} \left\{ \sum_{i=1}^q \sqrt{2P_i A_i} \left( \sum_{j=0}^{L-1} h_i^{(j)} h_0^{(l)*} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times \sum_{c=0}^{C-1} \sum_{t=0}^{SF-1} \left( d_{i\_c} c_c(t-j) c_0^*(t-l) \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. \times c_{scr\_i}(t-j) c_{scr\_0}^*(t-l) \right) \right) \right\} \\ &+ \frac{1}{SF} \sum_{l=0}^{L-1} h_0^{(l)*} \sum_{k=1}^{SF-1} n(k) c_0^*(t-l) c_{scr\_0}^*(t-l) \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、第一項は希望信号、第二項はパス間干渉、第三項は他ユーザからの干渉、第四項は雑音である。希望受信信号電力 $P_s$ 、パス間干渉電力 $P_{PI}$ 、他ユーザ干渉電力 $P_{MAI}$ 、および雑音電力 $P_N$ は、それぞれ次式のように表される。

$$P_s = 2P_0 A_0 \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)^2 \quad (13)$$

$$P_{PI} = \frac{C}{SF} P_0 A_0 \left\{ \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)^2 - \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^4 \right\} \quad (14)$$

$$P_{MAI} = \frac{C}{SF} \sum_{i=1}^q P_i A_i \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right) \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_i^{(l)}|^2 \right) \quad (15)$$

$$P_N = \frac{N_0}{T_b} \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right) \quad (16)$$

ここで、 $T_b$ はビット長である。以上より、受信SINRは次式で与えられる。

$$\gamma_q = \frac{P_s}{P_{IPI} + P_{MAI} + P_N} = \frac{2P_0 A_0 \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)^2}{\frac{C}{SF} P_0 A_0 \left\{ \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)^2 - \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^4 \right\} + \frac{C}{SF} \sum_{i=1}^q P_q A_q \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right) \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_i^{(l)}|^2 \right) + \frac{N_0}{T_b} \left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)} \quad (17)$$

ところで、高速 TPC を用いた場合の  $i$  番のユーザの送信電力は、受信電力ターゲット値  $P_{target}$  を用いて次式で表わされる。

$$P_i = \frac{P_{target}}{r_i^{-\alpha} 10^{-\frac{n_i}{10}} \sum_{l=0}^{L-1} |h_i^{(l)}|^2} \quad (18)$$

一方、ランダム高速 TPC を用いた場合の  $i$  番のユーザの送信電力は、 $P_{target}$  に対するゆらぎが  $\Delta$  dB であるとき、次式で表わされる。

$$P_i = \frac{P_{target} 10^{\frac{\Delta}{10} \delta_i}}{r_i^{-\alpha} 10^{-\frac{n_i}{10}} \left( \sum_{l=1}^L |h_i^{(l)}|^2 \right)} \quad (19)$$

ここで、 $\delta_i (=1 \text{ or } -1)$  はゆらぎの状態を表す係数であり、 $\delta_i = +1$  のときには送信電力を  $\Delta$  dB 上げ、 $\delta_i = -1$  のときには送信電力を  $\Delta$  dB 下げる。  $P(\delta_i = \pm 1) = \varepsilon_{\pm}$ 、 $\varepsilon_+ + \varepsilon_- = 1$  である。式(18)および(19)で表される送信電力をそれぞれ式(17)に代入すると、高速 TPC を用いるときの受信 SINR  $\gamma_{fast,q}$  およびランダム高速 TPC を用いるときの受信 SINR  $\gamma_{random,q}$  が求められる。簡単のために干渉リミテッドチャンネルを仮定し、雑音を無視すると、 $\gamma_{fast,q}$  および  $\gamma_{random,q}$  は次式のようなになる。

$$\gamma_{fast,q} = \frac{2P_{target}}{\frac{CP_{target}}{SF} \left\{ 1 - \frac{\sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^4}{\left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)^2} \right\} + \frac{CP_{target}}{SF} q} \quad (20)$$

$$\gamma_{random,q} = \frac{2P_{target}}{\frac{CP_{target}}{SF} \left\{ 1 - \frac{\sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^4}{\left( \sum_{l=0}^{L-1} |h_0^{(l)}|^2 \right)^2} \right\} + \frac{C}{SF} \sum_{i=1}^q P_{target} 10^{\frac{\Delta}{10} \delta_i - \delta_0}} \quad (21)$$

式(20)と(21)の分母第1項がパス間干渉を表わし、分母第2項は他ユーザ干渉を表わす。式(21)の分母第2項より、ランダム高速 TPC ではユーザごとに  $\delta_i$  が異なるためキャプチャ効果が得られるから、スループットを向上できることがわかる。しかしながら、式(20)と(21)分母第1項より、ランダム高速 TPC を用いてもパス間干渉は高速 TPC の場合と変わらないことがわかる。したがって、スループットに限界を与えているのはパス間干渉になる。等化器や干渉キャンセラの採用によりこれを抑圧できれば、スループットを向上できる。今パス間干渉キャンセル係数を  $\beta$  とし、スループットの劣化要因としてパス間干渉だけに着目するために他ユーザ干渉成分を無視すると、 $\gamma_{random}$  は次式になる。(高速 TPC の場合も同様)

$$\gamma_{random} \approx \frac{2SF}{C(1-\beta)} \quad (22)$$

上式より、受信 SINR は拡散率  $SF$  が一定であれば、干渉抑圧係数  $\beta$ 、コード多重数  $C$  に依存することがわかる。 $\beta$  が 1 に近い値であればコード多重数が大きくても所要 SINR を満たすことができるが、 $\beta$  が小さくなるほど、コード多重数が小さくなければ所要 SINR を満たさなくなる。

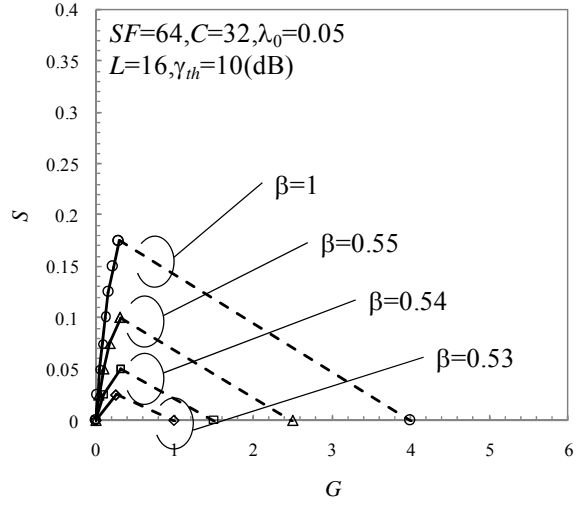
#### 4. 計算機シミュレーション

モンテカルロシミュレーションによりシステムスループットを求める。表 1 にシミュレーション諸元を示す。シングルセル環境を対象とし、理想的に動作する TPC、伝搬路のパス数と等しい数のフィンガ数の理想 Rake 受信を仮定している。また干渉リミテッドチャンネルを仮定する。

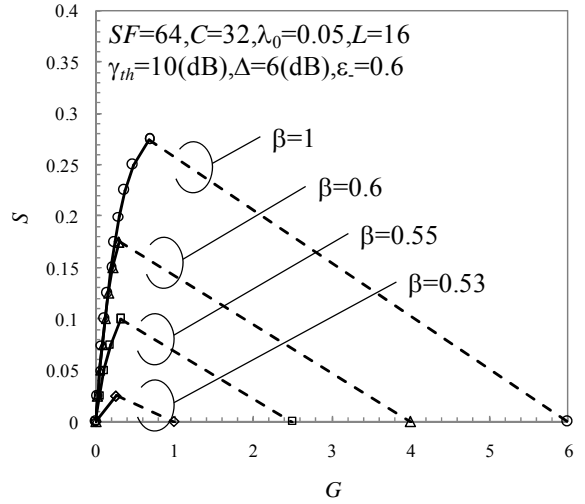
表 1 シミュレーション諸元

No. of cells		1
User distribution		Uniform
Packet	Length	$N=512$
	Allowable SINR	$\gamma_{th}=10(\text{dB})$ (付録参照)
	Data packet generation probability	$\lambda_0=0.05$
Transmitter	Data modulation	BPSK
	Spreading factor	$SF=64$
	No. of code mux	$C=1\sim 64$
	Transmit power control	Ideal Fast TPC Ideal Random fast TPC ( $\Delta=6(\text{dB}), \varepsilon=0.6$ )
Propagation channel	Fading	Block Rayleigh
	Power delay profile	$L=16$ -path uniform
Receiver	Channel estimation	Ideal

システムスループットに及ぼすパス間干渉キャンセルの効果をも、 $C=32$  および  $64$  の場合についてそれぞれ図 2 及び 3 に示す。高速 TPC 及びランダム高速 TPC とともに、パス間干渉キャンセル係数  $\beta$  が大きくなるにつれシステムスループットを向上できる。また、ランダム高速 TPC ではキャプチャ効果が得られるから、パス間干渉の影響が少なくなれば ( $\beta \rightarrow 1$ )、高速 TPC より大きなシステムスループットが得られることがわかる。次に、図 4 に最大システムスループット  $S_{max}$  を  $\beta$  の関数であらわした図を示す。このグラフから、 $C=32$  の場合は  $\beta < 0.6$ 、 $C=64$  の場合は  $\beta < 0.8$  でスループットが 0 になってしまうことがわかる。式(22)において、 $\gamma_{random} < \gamma_{th}$  のときパケットは正しく受信されない。これを  $\beta$  について解くと、 $\beta < 0.6 (C=32)$ 、 $\beta < 0.8 (C=64)$  となる。これは図 4 において最大システムスループットが 0 となる領域と一致している。一方、 $\beta$  がこの不等式を満たさない領域においては、ランダム高速 TPC はキャプチャ効果が得られるため高速 TPC より大きな最大システムスループットが得られている。また、 $C=1$  の場合は  $\beta$  の値によらずほぼ一定の最大システムスループットが得られている。これは処理利得によりパス間干渉を十分に抑圧できるためである。また図 4 より、 $\beta$  が大きいほどスループットを最大とするコード多重数が大きくなる。コード多重数が大きくなれば伝送レートが高くなりスループットが増加するが、式(14)からもわかるようにパス間干渉も大きくなる。つまり、伝送レートの増大とパス間干渉はトレードオフの関係にあるため、コード多重数にはスループットを最大とする最適値が存在するはずである。ところで、 $\beta$  を大きくすればパス間干渉による劣化が軽減されるため、前述のトレードオフの関係に伴って最適なコード多重数も大きくなる。そのため、図 4 のように  $\beta$  が大きくなるほどスループットを最大とするコード多重数が大きくなると考えられる。等化器やキャンセラはそれぞれ異なる干渉キャンセル効果( $\beta$  の値)を有しているはずである。そこで  $\beta$  が与えられれば、スループットを最大にするようにコード多重数を設定すればよいことになる。

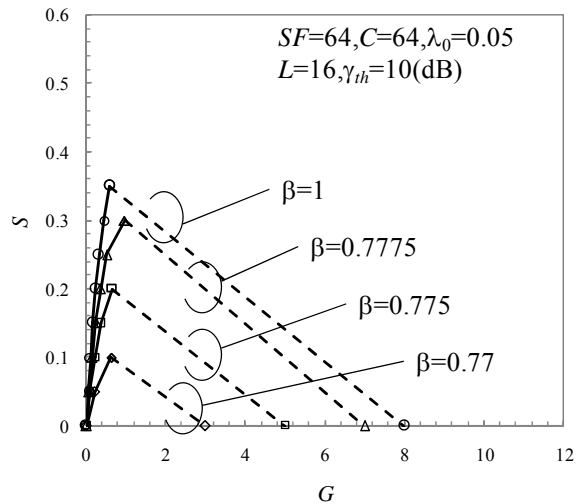


(a) 高速 TPC

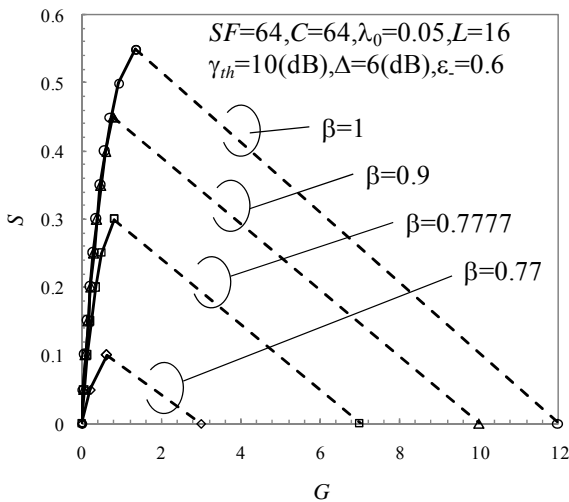


(b) ランダム高速 TPC

図 2  $C=32$  の場合のシステムスループット特性



(a) 高速 TPC



(b) ランダム高速 TPC

図 3 C=64 の場合のシステムスループット特性

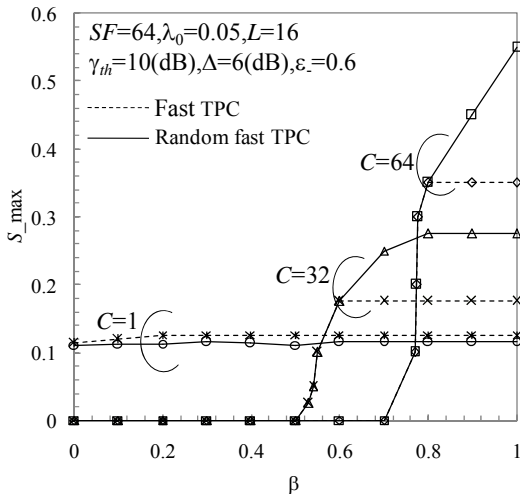


図 4  $\beta$  対最大システムスループット特性

## 5. むすび

本論文では、ランダム TPC を用いた DS-CDMA 無線パケット通信を対象とし、パス間干渉キャンセルの効果がシステムスループットに与える影響を計算機シミュレーションにより求め、パス間干渉を抑圧できればシステムスループットを大幅に向上できることを明らかにした。また、パス間干渉キャンセル係数  $\beta$  の値が大きいほどスループットを最大とするコード多重数が大きくなることを示した。

## 6. 付録

受信 SINR が  $\gamma$  であるときのパケット誤り率は、次式で与えられる。[6]

$$p(\gamma) = 1 - \left( 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \right)^N \quad (24)$$

ただし、BPSK を仮定し、 $N$  は 1 パケットあたりのビ

ット数、 $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-x^2} dx$  は誤差補関数である。  $\gamma_{th}$  を以下のような値に定める。 ( $N=512\text{bit}$ )

$$\gamma_{th} \equiv \int_0^\infty p(\gamma) d\gamma \cong 10 \quad (25)$$

## 参考文献

- [1] F. Adachi, M. Sawahashi, and H. Suda, "Wideband DS-CDMA for next-generation mobile communication systems," IEEE Commun. Mag., Vol.36, pp.56-59, Sept. 1998.
- [2] J. C. Arnbak and W. van Blitterswijk, "Capacity of a slotted ALOHA in rayleigh fading channels," IEEE J. Selected Areas Comm., Vol.SAC-5, pp. 261-299, Feb. 1987.
- [3] R. Prasad, "Performance analysis of mobile packet radio network in real channels with inhibit multiple access," IEE Proceedings-I, Vol.138, No.5, pp.458-464, Oct. 1991.
- [4] Z. Wang, E. Kudoh, and F. Adachi, "Application of random transmit power control to DS-CDMA/TDD packet mobile radio," IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, No.10, pp.3144-3149, Oct. 2004.
- [5] K. Higuchi, K. Okawa, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Field experiments on pilot symbol-assisted coherent multistage interference canceller in DS-CDMA reverse link," IEICE Trans. Commun., Vol. E86-B, pp.181-191, Jan. 2003.
- [6] 王智森, 工藤栄亮, 安達文幸, "DS-CDMA パケット移動通信の上りリンク容量に及ぼす送信電力制御と Rake 受信の効果," 信学技報, RCS2002-40, 2002年10月.
- [7] J. G. Proakis, *Digital communications*, 3rd ed., McGraw-Hill, 1995.
- [8] D. K. Kim and F. Adachi, "Performance analysis of closed-loop link power control for packet transmission over DS-CDMA in a multipath fading environment," IEICE Trans. Commun., Vol. E84-B, pp.2635-2643, Sept. 2001.
- [9] F. Adachi, K. Ohno, A. Higashi, and Y. Okumura, "Coherent multicode DS-CDMA mobile radio access," IEICE Trans. Commun., Vol. E79-13, pp.1316-1325, Sept. 1996.