

DS-CDMA における CPM と PSK の性能について

林 辰司 デービッド アサノ

〒 380-8553 長野市若里 4-17-1
信州大学 工学部 情報工学科

あらまし 本稿では広帯域信号に短い拡散符号系列をかけたものと狭帯域信号に長い拡散符号系列をかけたものとのトレードオフについて考察する。DS-CDMA における変調方式に CPM(Continuous Phase Modulation) と PSK(Phase Shift Keying) を用いて性能評価を行うが、具体的にはスペクトル拡散後の帯域幅を同じにするという条件で計算機シミュレーションによりビット誤り率を求める。結果として CPM の帯域幅は PSK よりも狭いので、スペクトル拡散後の帯域幅を同じとしたときに、より大きな処理利得を用いることができるため PSK より CPM のほうがよい性能を示した。

キーワード CDMA, CPM, PSK, 処理利得, 帯域幅, ビット誤り率

Performance Evaluation of CPM and PSK in DS-CDMA Systems

Tatsuji HAYASHI David ASANO

Department of Information Engineering
Shinshu University
4-17-1 Wakasato, Nagano, 380-8553 Japan

Abstract In this paper, the tradeoff between systems using a wideband signal and a short spreading code and systems using a narrowband signal and a long spreading code is examined. Performance of DS-CDMA systems using CPM (Continuous Phase Modulation) and PSK (Phase Shift Keying) are evaluated using computer simulations under the condition that the bandwidth after spreading is the same. Results show that CPM performs better since CPM has a narrower pre-modulation bandwidth and therefore a longer spreading code can be used.

Keywords CDMA, CPM, PSK, processing gain, bandwidth, bit error rate

1 はじめに

昨今、移動通信に代表される通信システムは、CDMA方式 (Code Division Multiple Access) を用いたセルラ移動電話のサービスが開始 (IDO と DDI セルラグループが99年4月14日に発売開始した cdmaOne) されるなど、その動きが激しく今後ますます需要が見込まれている。またモバイルマルチメディア社会の創造にむけ、音声だけでなく静止画像や動画の伝送も要求される。このような状況において満足な通信を行うにはより高品質なシステムが必要になってくる。そのため CDMA の基礎的・原理的な内容を理解することは非常に重要であると思われる。

DS-CDMA を検討する場合、ユーザ数や拡散符号系列をパラメータとしたビット誤り率特性を求めることは重要である。熱雑音のみを考慮した状況下におけるビット誤り率を導出する方法はガウス近似に基いて理論式によって広く用いられている。このとき拡散符号系列が長ければ長いほど単純にビット誤り率はよくなり高性能といえる。また帯域幅が広ければ広い信号ほどビット誤り率を減らすことができる。

そこで本論文では性能に密接なつながりをもつ変調方式に着目し、現在日本の携帯電話通信方式で使用されている QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) や B(Binary)PSK などの PSK と CPM (Continuous Phase Modulation) を比較し、その性能評価を行う。具体的には PSK、CPM のスペクトル拡散を施した後の帯域幅を同じにするための処理利得を用いてガウス雑音状況下でのビット誤り率を計算機シミュレーションによって求める。これは広帯域信号に短い拡散符号系列をかけたものと狭帯域信号に長い拡散符号系列をかけたものとのトレードオフ関係を評価するものである。

2 システムの概要

図1は DS-CDMA 方式の変調方式に CPM を用いた送受信機のシステム構成を示している。このシステムにおいて各ユーザはシンボル間隔 T において $\log_2 M$ ビットを送信するために符号の数 M が割り当てられる。例えば k 番目のユーザではこれらの系列を $\alpha_1^{(k)}, \dots, \alpha_M^{(k)}$ と表示する。その各々の系列は N チップから成り立ち K 番目のユーザにおいて j 番目のビットの i 番目のチップは $\alpha_{j,i}^{(k)}$ と表示できまたこの拡散符号は $\alpha_{j,i}^{(k)} \in \{1, -1\}$ である。

送信信号をつくる過程は以下によって構成される。まず入力データ $a_n^{(k)}$ が1ビット入力されると拡散符号 $\alpha_j^{(k)}$ の系列によって拡散される。次に位相連続関数がつくられる。 k 番目のユーザで j 番目のコードであったとすれ

ば、この関数は

$$\phi(t, \alpha_j^{(k)}) = 2\pi h \sum_{i=0}^{N-1} \alpha_{j,i}^{(k)} q(t - iT_c) \quad (1)$$

となる。このとき h は変調指数であり、拡散符号のチップ間隔は T_c である。ここで $T_c = T/N$ である。また位相の連続性を示す関数 $q(t)$ は

$$q(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0) \\ 1/2 & (t > LT_c) \end{cases} \quad (2)$$

となる。このとき L は正の整数であり、用いる変調方式によって値が変わる。 $L = 1$ のときフルレスポンス CPM といい MSK (Minimum Shift Keying) がある。また $L \geq 2$ のときはパーシャルレスポンス CPM といいい G (Gaussian Filtered) MSK がある。

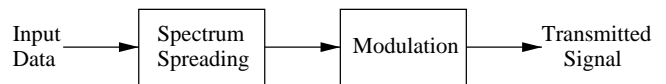
最後に1ビット単位での位相連続関数を全ビットに結合するための位相関数を定義する。

$$\theta(t) = \sum_j \phi(t - jT, \beta_j^{(k)}) \quad (3)$$

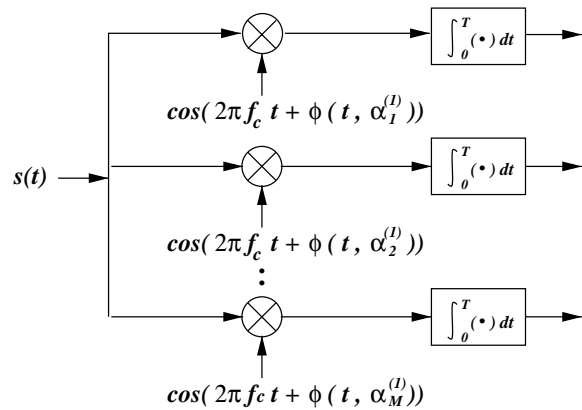
ここで $\beta_j^{(k)} \in \{\alpha_1^{(k)}, \dots, \alpha_M^{(k)}\}$ であり、搬送周波数 f_c で変調されたスペクトル拡散 CPM 信号は

$$s(t) = A \cos[2\pi f_c t + \theta(t)] \quad (4)$$

と表せる。ここで A は信号の振幅である。



Transmitter



Receiver

図1: CPFSK を用いた DS-CDMA の受信機

このスペクトル拡散された送信信号 $s(t)$ の帯域幅は G という要素によって増減する。 G はこのシステムにおいて

の処理利得であり、拡散符号系列 N の長さとも一致している ($G = N$)。ここでは2値の入力データ $a_n^{(k)} \in \{1, -1\}$ として考えている。それゆえに $M = 2$ となり各ユーザは2値の拡散符号系列が割り当てられる。

また本稿では CPM のなかでも CP(Continuous Phase)FSK について検討する。このとき以下のように位相の連続性を示す関数があらわされる。

$$q(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ t/2T & (0 \leq t \leq T_c) \\ 0.5 & (t > T_c) \end{cases} \quad (5)$$

また CPFSK の1種で $h = 0.5$ のときを MSK とよぶ。

図2に位相連続関数を示しているが、ここで位相は連続的に変化しているが各チップの終りごとに増減していることに注目する。これはすなわち拡散符号系列であり増えているときは1が掛けられていて、減っているときは-1が掛けられていることを意味する。

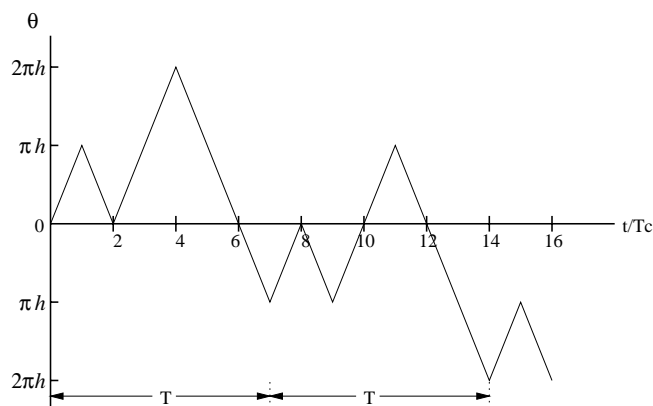


図2: 位相連続関数

3 性能評価の判断基準

ビット誤り率特性と信号のもつ帯域幅というのは密接な関係がある。一般に送信信号を適当に設計したとき、より広い帯域幅をもつ方がビット誤り率はよくなる。しかしながらスペクトル拡散後の帯域幅を同じにすると仮定すれば広帯域より狭帯域な信号のほうが拡散率は高くなる。それはすなわち処理利得が大きくなることを意味する。なぜなら

$$BG = \text{constant} \quad (6)$$

という関係であるからである。ここで B は拡散前の帯域幅で、 G は処理利得である。このスペクトル拡散後の帯域幅を同じにするという仮定のもとでは広帯域より狭帯域な信号のほうがビット誤り率がよくなるのではないかと予想し、本稿では変調方式に PSK と CPM を用いてこのスペクトル拡散後の帯域幅を同じにするという条件で

の性能評価を行う。そのためまず最初にそれぞれの変調方式の帯域幅の特性を確認する。そして次の項目に示す帯域幅の定義により処理利得を求める。求めた処理利得を用いて伝送路を同時に使用するユーザ数をパラメータとして計算機シミュレーションを行い、誤り率特性を検討する。

3.1 帯域幅

帯域幅は本来無限大に広がっているためどこまでを帯域幅とするかという基準が必要とされる。定義の仕方はたくさんあるが本稿では90%帯域幅と99%帯域幅を用いる。これは全電力のうち90%もしくは99%を含んだ帯域幅のことで、ここでは $B_{90\%}$ 、 $B_{99\%}$ と記すことにする。

図3、4に本稿で使用される変調方式の電力スペクトル密度を示す。電力密度から変調方式の帯域幅が求められるので、それぞれの90%、99%帯域幅を表1に示す。

表1 帯域幅

変調方式	$B_{90\%}$	$B_{99\%}$
BPSK	0.849	10.29
QPSK	0.424	5.156
CPFSK ($h=0.25$)	0.184	0.449
MSK ($h=0.5$)	0.388	0.591
CPFSK ($h=0.75$)	0.498	0.928

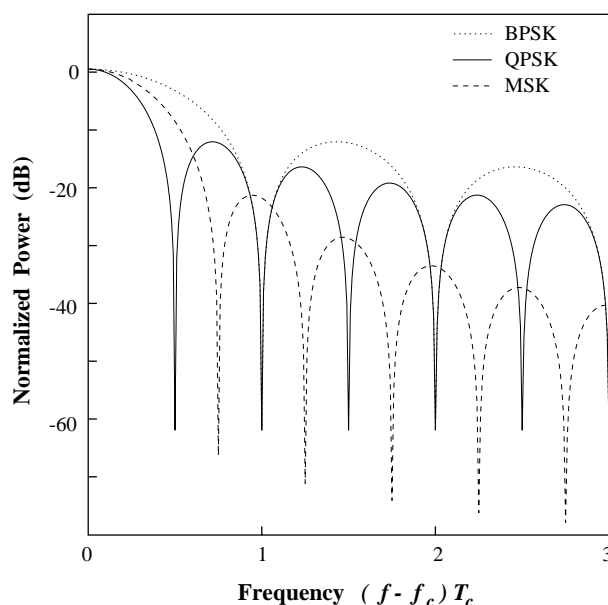


図3: BPSK, QPSK, MSK の電力スペクトル密度

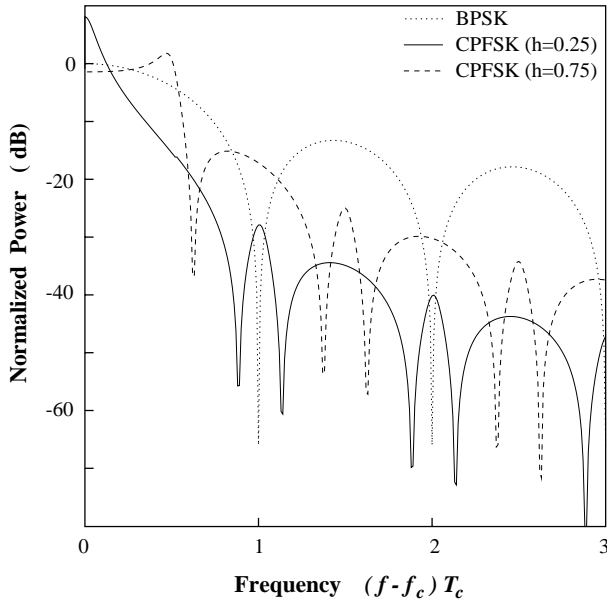


図 4: BPSK,CPFSK の電力スペクトル密度

3.2 処理利得

表 1 に示した帯域幅より処理利得の比率を考える。例えば CPFSK($h=0.25$) と BPSK との比率では (6) より

$$G_{CPFSK} = \frac{B_{BPSK}}{B_{CPFSK}} G_{BPSK} \quad (7)$$

となる。ここに求めた $B_{90\%}$ の値を代入すると、

$$G_{CPFSK} = 4.6141 \times G_{BPSK} \quad (8)$$

となり $B_{90\%}$ においては BPSK の 4.6141 倍の処理利得を CPFSK($h=0.25$) に用いることになる。このようにして $B_{90\%}$ 、 $B_{99\%}$ におけるそれぞれの処理利得を BPSK とくらべてどれくらいになるかの比率を表 2 に示す。

表 2 BPSK に対しての処理利得の比率

変調方式	$B_{90\%}$	$B_{99\%}$
QPSK	2.0024	1.9957
CPFSK($h=0.25$)	4.6141	22.9176
MSK($h=0.5$)	2.1881	17.4112
CPFSK($h=0.75$)	1.7048	11.0884

4 性能評価

課題である処理利得と帯域幅とのトレードオフ関係を評価するために、CPM と PSK を計算機シミュレーションによってビット誤り率を求めた。今回の計算機シミュレーションでは通信路として AWGN を考慮し、拡散符号には +1 と -1 が等確率に発生する M 系列を用いた。またシミュレーションに用いた BPSK の処理利得 31,127 に

おける他の変調方式の処理利得を表 2 の比率をもとに計算し表 3、表 4 に示した。

これら表 3、表 4 の処理利得を用いてシミュレーションした結果を SN 比に対するビット誤り率特性としてプロットした。

表 3 $G_{BPSK} = 31$ のときの処理利得

変調方式	$G_{B_{90\%}}$	$G_{B_{99\%}}$
QPSK	62	61
CPFSK($h=0.25$)	143	710
MSK($h=0.5$)	67	539
CPFSK($h=0.75$)	52	343

表 4 $G_{BPSK} = 127$ のときの処理利得

変調方式	$G_{B_{90\%}}$	$G_{B_{99\%}}$
QPSK	254	253
CPFSK($h=0.25$)	586	2911
MSK($h=0.5$)	277	2211
CPFSK($h=0.75$)	217	1408

図 5 にはユーザ数 7、90%帯域幅の $G_{BPSK} = 31$ という条件での結果を示し、図 6 にはユーザ数 7、99%帯域幅の $G_{BPSK} = 31$ という条件での結果を示している。図 5、図 6 とも CPFSK($h=0.25$) のビット誤り率が最も低く、BPSK が最も高くなっていることがわかる。また 90%帯域幅に比べ 99%帯域幅の MSK と CPFSK($h=0.75$) のビット誤り率が CPFSK($h=0.25$) に近くなったのは、 $G_{CPFSK(h=0.25)} = 143$ と $G_{MSK} = 67$ の 2.1 倍から $G_{CPFSK(h=0.25)} = 710$ と $G_{MSK} = 539$ の 1.3 倍へと処理利得の差が少なくなったからである。

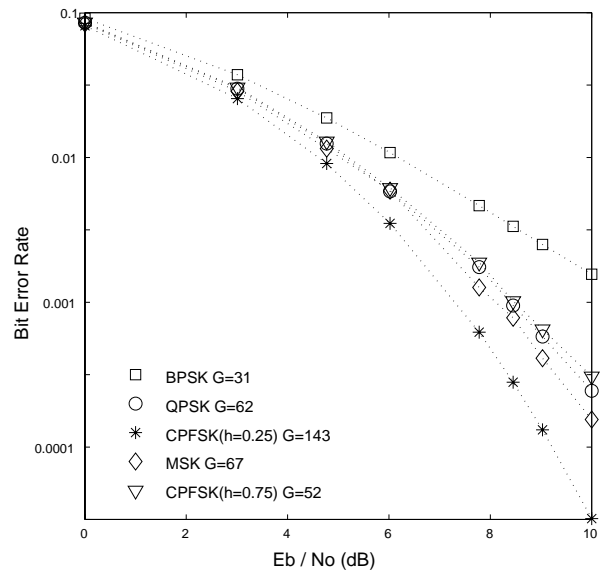


図 5: user=7, $G_{BPSK} = 31, B_{90\%}$

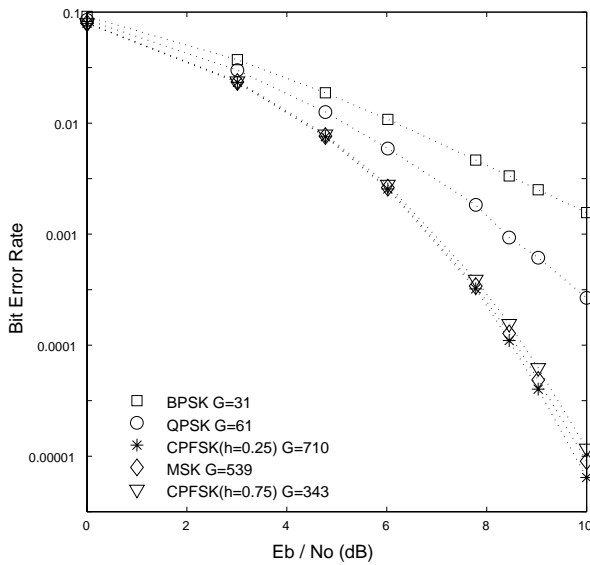


図 6: user=7, $G_{BPSK} = 31, B_{99\%}$

図 7 にはユーザ数 7、90%帯域幅の $G_{BPSK} = 127$ という条件での結果を示し、図 8 にはユーザ数 7、99%帯域幅の $G_{BPSK} = 127$ という条件での結果を示している。ここでも図 7、図 8 とともに CPFSK($h=0.25$) のビット誤り率が最も低く、BPSK が最も高くなっていることがわかる。しかし図 5、図 6 とは違い、どの変調方式でもそれほど大きな性能の差がみられない。90%帯域幅では $G_{CPFSK(h=0.25)} = 586$ と $G_{MSK} = 277$ の 2.1 倍、99%帯域幅では $G_{CPFSK(h=0.25)} = 2911$ と $G_{MSK} = 2211$ の 1.3 倍とそれぞれの比率はかわってはいないが、BPSK に用いた処理利得が 127 としたことにより、その他の変調方式に用いる処理利得も大幅に大きくなったためである。このことにより処理利得はある程度の大きさになると、誤り率に差がみられなくなる。

図 9 にはユーザ数 50、90%帯域幅の $G_{BPSK} = 127$ という条件での結果を示し、図 10 にはユーザ数 50、99%帯域幅の $G_{BPSK} = 127$ という条件での結果を示している。ここでも図 9、図 10 とともに CPFSK($h=0.25$) のビット誤り率が最も低く、BPSK が最も高くなっていることがわかる。また上述の 4 つのシミュレーション結果を含め、性能の差が最も顕著に現われている。用いた処理利得は図 7、図 8 と全く同じものであるがユーザ数を 50 としたことによりこれほどの違いがでた。

5 まとめ

本稿では DS-CDMA において変調方式に CPM と PSK を用いたときに拡散後の帯域幅を同じにするという条件での性能評価を行った。帯域幅と処理利得についてのト

レードフ関係を考察したわけであるが、 $B_{90\%}$ 、 $B_{99\%}$ という帯域幅では CPM は PSK より大きな処理利得を用いることができる。計算機シミュレーションにより評価した結果 CPM のほうが高性能であり、その中でも CPFSK($h=0.25$) がもっとも誤り率が低かった。

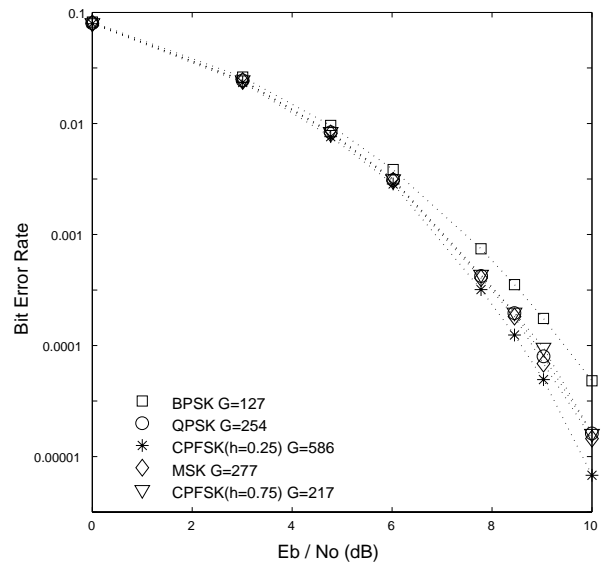


図 7: user=7, $G_{BPSK} = 127, B_{90\%}$

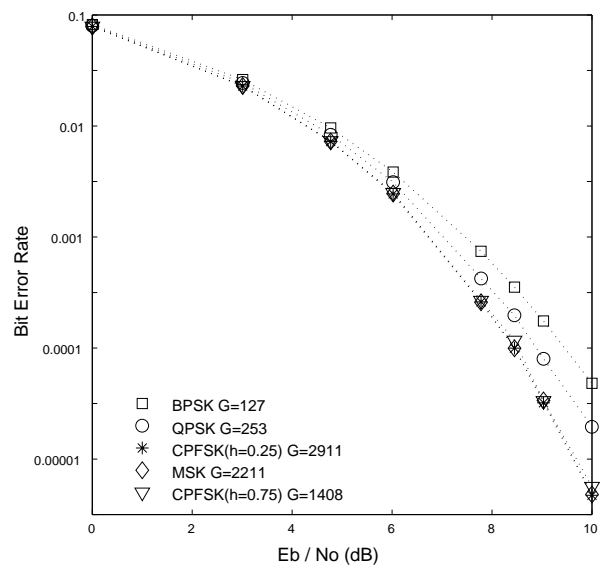


図 8: user=7, $G_{BPSK} = 127, B_{99\%}$

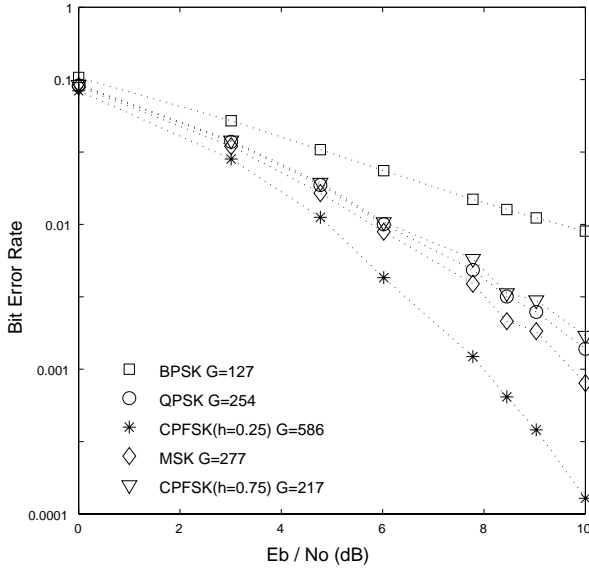


图 9: user=50, $G_{BPSK} = 127, B_{90\%}$

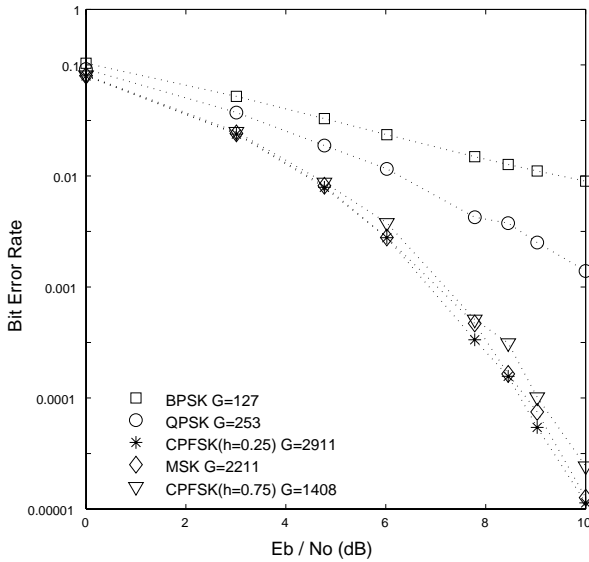


图 10: user=50, $G_{BPSK} = 127, B_{99\%}$

[3] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread spectrum multiple access communication - Part 1: System Analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1997.

[4] J. S. Lehnert, "Serial MSK spread-spectrum multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-40, pp. 1119-1127, Aug. 1992.

[5] R. L. Peterson, R. E. Ziemer and D. E. Borth, *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995.

参考文献

[1] D. K. Asano, T. Hayashi and R. Kohno, "Modulation and Processing Gain Tradeoffs in DS-CDMA Spread Spectrum Systems," *Proc. of the IEEE Fifth International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications (ISSSTA '98)*, pp. 9-13, 1998.

[2] J. B. Anderson, T. Aulin and C. E. Sundberg, *Digital Phase Modulation*, New York: Plenum Press, 1986.