

DS-CDMA における CPFSK 変調方式の基礎検討

雨宮 学 アサノ デービッド

〒 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、現行の DS-CDMA システムに用いられている変調方式である PSK(Phase Shift Keying) よりも、狭帯域変調を用いた場合のほうが性能が良くなるのではないかとこの予想のもと、狭帯域変調の一つである CPFSK(Continuous Phase Frequency Shift Keying) と PSK の性能を比較した。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の下で狭帯域の CPFSK 変調信号に長い拡散符号系列をかけたものと広帯域の PSK 変調信号に短い拡散符号系列をかけたものとのビット誤り率特性を比較する。結果として CPFSK の方が PSK より良い性能を示した。これは CPFSK の方が PSK よりも大きな処理利得を用いることができたためである。

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

A Study on the use of CPFSK modulation in DS-CDMA Systems

Manabu Amemiya David Asano

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

Abstract In this paper, we compare PSK modulation and CPFSK modulation in DS-CDMA systems. We expect that the performance of narrowband modulation is superior to that of PSK, which is used in current DS-CDMA systems. Specifically, the performance of CPFSK and PSK is compared by using computer simulations under the condition that the bandwidth after spreading is the same. In other words, we compare the combination of a wideband signal and a short spreading code with the combination of a narrowband signal and a long spreading code. Results show that the performance of CPFSK is superior to that of PSK because CPFSK has a narrower pre-modulation bandwidth and therefore a longer spreading code can be used.

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

1 まえがき

近年のデジタル信号処理や無線伝送の技術の発展により、携帯端末はこれまでのコミュニケーションツールという枠組みを越えて、e-mail や web サイト閲覧もできるマルチメディアツールという側面を持った。このような携帯端末によるインターネットアクセスは PC に比べ身近ではあるが、伝送速度が低いという欠点を持つ。そのため容量の大きな情報コンテンツにアクセスした場合、データの伝送時間が長くなり、必ずしも快適な通信環境であるとはいえない。大容量化を続ける情報コンテンツに対応するために、伝送速度の高速化は必要不可欠であり、DS-CDMA 方式 (Direct Sequence Code Division Multiple Access) はこの問題を解決できるシステムとして注目を集め、第 3 世代のセルラーシステムとしてサービスが開始された。

現在の DS-CDMA 方式のセルラー電話で使用されている変調方式は PSK (Phase Shift Keying) であるが、この方式では位相が連続ではないという理由から信号の占有帯域幅を狭くするには限界がある。そこで我々は、PSK よりも狭帯域変調方式を用いた方がシステムの性能を良くすることができるのではないかと予想をたてた。この予想のもと、本論文では狭帯域変調方式の一つである CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying) 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 /4-QPSK や BPSK などの PSK とを比較し、その性能評価を行う。具体的には PSK、CPFSK のそれぞれに対して、スペクトル拡散後の帯域幅が同じになるような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。

つまり本研究は同帯域までスペクトルを拡散させるという条件の下で、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の評価するものである。我々は以前からこの研究を行ってきたが [1]、今回は CPFSK の性能を比較する対象として、QPSK に代わり、 /4-QPSK [3]、[4] を用いた。

2 システムの概要

2.1 CPFSK を用いた DS-CDMA システム

図 1 は DS-CDMA 方式に CPFSK 変調方式を用いた場合の送受信機のシステム構成 [2] 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。

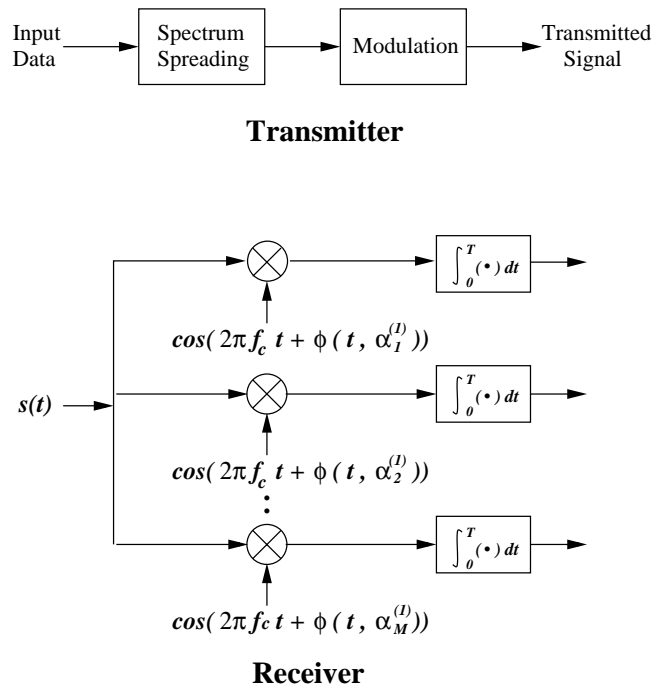


図 1: CPFSK を用いた DS-CDMA の送受信機

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、特に $h = 0.5$ のときを MSK と呼ぶ。また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。

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。

$$\theta(t) = \sum_j \phi(t - jT, \beta_j^{(k)}) \quad (2)$$

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

$$s(t) = A \cos[2\pi f_c t + \theta(t)] \quad (3)$$

と表せる。ここで A は信号の振幅である。

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。

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。

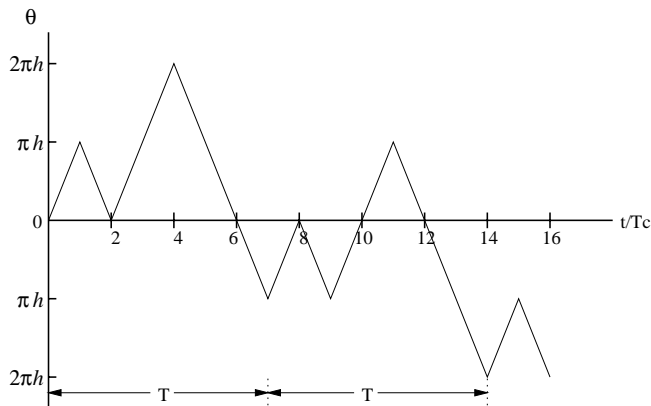


図 2: 位相連続関数

受信側では、割り当てられた符号の数 M と同じ数の CPFSK 信号が用意されており、それと受信信号との相関をとる。相関値が一番大きなものを送信信号と判定する。

2.2 性能比較の条件

送信信号のもつ帯域幅とビット誤り率特性というのは密接な関係がある。一般に送信信号の帯域幅がより広い方がビット誤り率特性を良くすることができる。図3, 図4に本稿で使用している変調方式の電力スペクトル密度を示す。これらの図より PSK の方が CPFSK より広帯域変調であることが読み取れる。つまりここでは PSK の方が CPFSK よりビット誤り率特性を良くできると言える。また、同じ信号を異なる長さの符号系列で拡散した場合、長い符号系列を用いた方がビット誤り率特性は良くなる。符号系列の長さは処理利得と等しいからである。以上のことを踏まえると、スペクトル拡散後の帯域幅を同じにするという条件のもとでは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

$$BG = \text{constant} \quad (4)$$

という関係があるからである。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条件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、変調方式に PSK と CPFSK を用いて性能比較を行う。

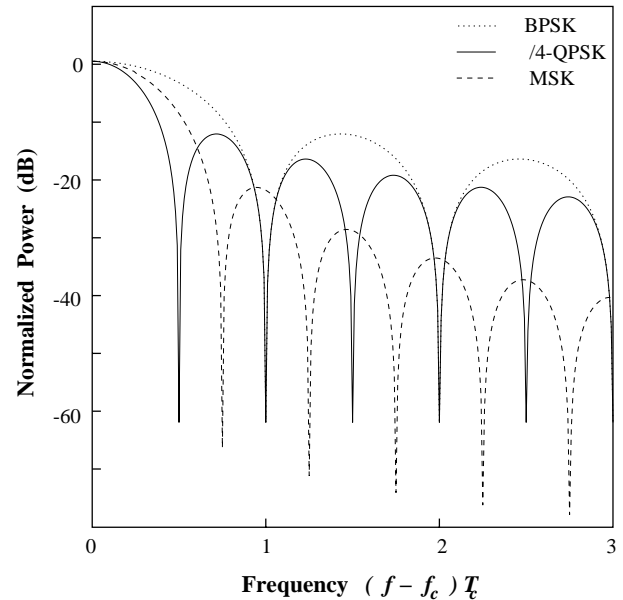


図 3: BPSK, /4-QPSK, MSK の電力スペクトル密度

3 性能評価の方法

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ある。90%帯域幅はスペクトルのメインローブに重点をおいた基準であり、99%帯域幅はサイドローブも含め、スペクトルのほぼ全領域を基準としている。本稿ではこれらを $B_{90\%}$ 、 $B_{99\%}$ と記すことにする。

図3, 図4に示された電力密度から各々の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
/4-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

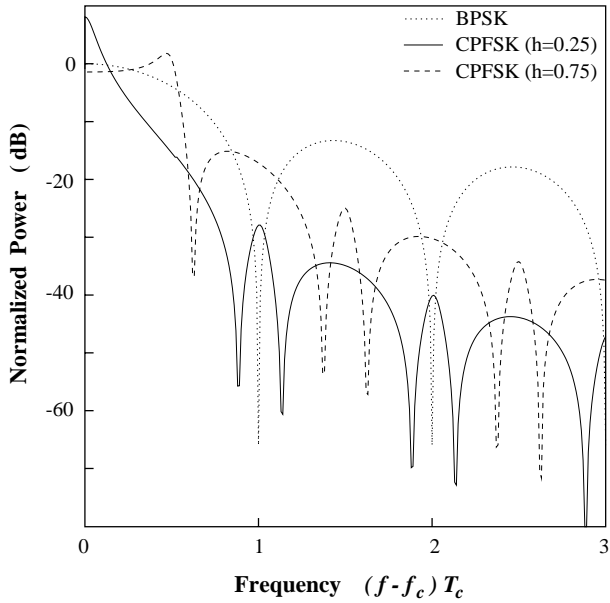


図 4: BPSK,CPFSK の電力スペクトル密度

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 との比率では式 (4) より

$$G_{CPFSK} = \frac{B_{BPSK}}{B_{CPFSK}} G_{BPSK} \quad (5)$$

となる。ここに求めた $B_{90\%}$ の値を代入すると、

$$G_{CPFSK} = 4.6141 \times G_{BPSK} \quad (6)$$

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。同様に $B_{90\%}$ 、 $B_{99\%}$ における変調方式ごとの BPSK との処理利得の比率を表 2 に示す。

表 2 BPSK に対する処理利得の比率

変調方式	$B_{90\%}/B_{90\%BPSK}$	$B_{99\%}/B_{99\%BPSK}$
$/4-QPSK$	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 結果

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、CPFSK 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 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 に示した。

表 3 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	$G_{B_{90\%}}$	$G_{B_{99\%}}$
$/4-QPSK$	62	61
$CPFSK(h=0.25)$	143	710
$MSK(h=0.5)$	67	539
$CPFSK(h=0.75)$	52	343

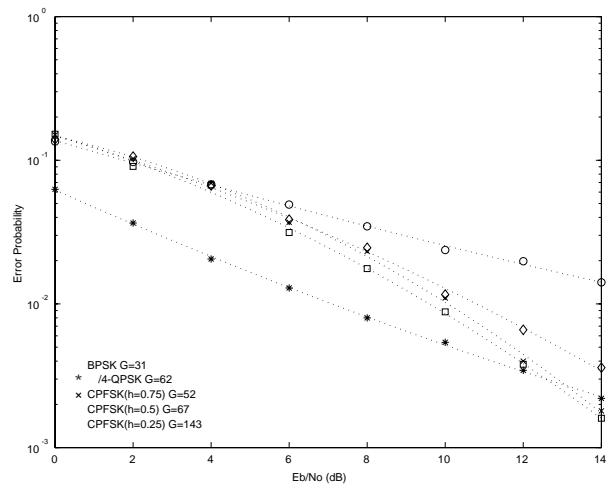


図 5: ユーザー数 7, $G_{BPSK} = 31, B_{90\%}$

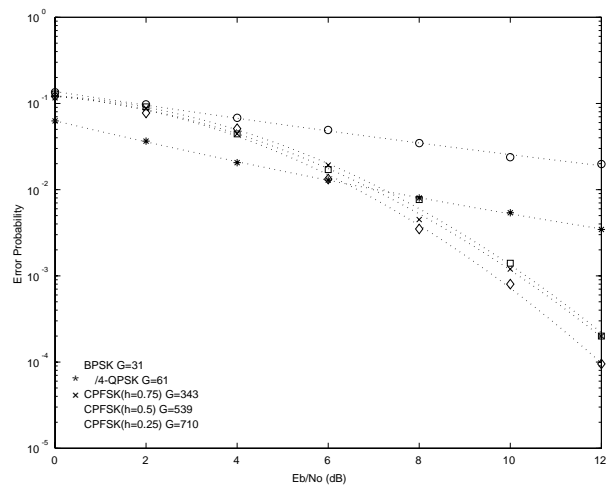


図 6: ユーザー数 7, $G_{BPSK} = 31, B_{99\%}$

図 5 にはユーザー数 7、90%帯域幅の $G_{BPSK} = 31$ という条件での結果を示し、図 6 にはユーザー数 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の両方のグラフより BPSK のビット誤り率が最も高くなっていることがわかる。また $\pi/4$ -QPSK は SN 比が小さい時には良い性能を示したが、SN 比が大きくなっても、大きな性能の向上は認められず、やがて CPFSK の性能よりも悪くなる。

図5に注目すると、CPFSK の中でも $h = 0.5$ つまり MSK の性能が最も優れているのがわかる。それに比べ $h = 0.75$ 、 $h = 0.25$ は劣った性能を見せている。これは 90%帯域幅という条件において、 $h = 0.75$ は処理利得が小さかったためであり、 $h = 0.25$ は処理利得は大きいものの、拡散前の性能が悪いためである。

図6においては、CPFSK と PSK の性能の違いは顕著に現れた。これは PSK の処理利得に比べ、CPFSK の処理利得が大幅に大きくなったからである。またこのグラフでは CPFSK の中でも $h = 0.25$ が最も高性能であるのがわかる。これは最も大きな処理利得を用いることができたからである。

以上より、性能の優劣は処理利得が大きければ良いということではなく、変調時における帯域幅も重要な要素であり、これら2つの組み合わせが重要である。

5 まとめ

本稿では DS-CDMA において変調方式に CPFSK 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。帯域幅を等しくした場合、CPFSK は BPSK や $\pi/4$ -QPSK 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 CPFSK のほうが高性能であった。また性能は拡散前の帯域幅と処理利得という2つのパラメータに大きく関係していて、この2つの組み合わせが重要であるとわかった。

参考文献

- [1] 林 辰司, “DS-CDMA における CPM 変調方式の性能に関する研究,” 信州大学大学院, 修士論文, 2000.
- [2] M. Lok and James S. Lehnert, “DS/SSMA Communication System with Trellis Coding and CPM,” *J. Select. Areas Commun.*, vol.12, pp 716-722, MAY 1994.
- [3] F. Xiong, *Digital Modulation Techniques*, Norword : Artech House, 2000.
- [4] Sachin Ganu and Shankar Sripadham, “Comparison of Modulation Techniques:GMSK and $\pi/4$ DQPSK,” <http://www.ee.vt.edu/~shankar/dcrep~1.html>