

フェージング通信路における DS-CDMA と GMSK の組み合わせに関する研究

深谷 篤 アサノ デービッド
信州大学大学院情報工学専攻

1 研究の背景と目的

本研究室ではこれまで、DS-CDMA において現存のシステムよりも狭帯域なデジタル変調方式を用いて拡散率を上げる方が優れた性能を示すのではないかと予測し、現存の日本のセルラ移動電話の通信方式で使用されている QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) などの位相変調 (PSK) と、CPM (Continuous Phase Modulation) を DS-CDMA に用いた性能評価が行われてきた。

本稿の目的は、移動体通信システムにおいて、実際の使用環境に近い条件で有効な変調方式を検証することである。そこで DS-CDMA において通信路に白色ガウス雑音、マルチパスフェージングを考慮し、システムを構成し、計算機シミュレータの波形解析により、性能比較を行なう。

2 DS-CDMA システム概要

今回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。拡散系列の単位シンボル間隔におけるチップ数を N 、 k 番目のユーザの拡散系列: $\mathbf{a}_1^{(k)}, \dots, \mathbf{a}_M^{(k)}$ とする。 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 $\mathbf{a}_{j,i}^{(k)}$ と表示でき、またこの拡散符号は $\mathbf{a}_{j,i}^{(k)} \in \{1, -1\}$ である。

まず入力データ $\mathbf{a}_{j,i}^{(k)} \in \{1, -1\}$ が 1 ビット入力されると拡散符号の系列によって拡散され、チップ間隔 T_c ($T_c = T/N$) の方形波パルス信号 $d_{i,j}$ となる。

$$d_{j,i} = a_j \cdot \mathbf{a}_{i,j} \quad (1)$$

2.1 GMSK

GMSK では、(1) 式で表された信号がガウスフィルタに送られる。位相の連続性を示す関数 $g(t)$ は、次式で与えられる。

$$g(t) = K \left\{ \operatorname{erf} \left[c B_b \left(t + \frac{T_c}{2} \right) \right] - \operatorname{erf} \left[c B_b \left(t - \frac{T_c}{2} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

このとき c は定数 $c = p\sqrt{2/\ln 2}$ 、 B_b は $g(t)$ を生成するとき用いるガウスフィルタの 3dB 帯域幅 (片側) であり、 K は $g(t)$ の面積が 1/2 となるような定数をとる。

このガウスフィルタより位相連続関数 $\mathbf{q}(t)$ が作られ、

$$\mathbf{q}(t) = 2ph \sum_{i=0}^{N-1} d_{j,i}^{(k)} \int_{iT_c}^t g(t - iT_c) dt \quad (3)$$

となり送信信号 $s(t)$ は搬送波周波数 f_c にのせられ

$$s(t) = A \cos[2\pi f_c t + \mathbf{q}(t)] \quad (4)$$

と表せる。送信されたデータは雑音とユーザの干渉を受け、受信側に受け取られる。受信側では、送信側と同じ波形を用意し受信波形との相関をとる。相関値が最も大きいものを送信信号と判定する。

2.2 拡散符号

GOLD 符号は、同期のとれた 2 種類の M 系列の排他的論理和をとることで合成される。 M 系列のシフト加法性によって M 系列とそれをシフトさせた系列の排他的論理和は元の M 系列をシフトさせた別の系列になる。したがって初期のオフセット値を与えることにより様々な GOLD 符号が得られることになる。この多数の符号系列を持つ点が GOLD 符号の特徴である。

本稿では GOLD 符号を拡散符号に用いて波形解析を行なう。

2.3 通信路

地球上の移動体通信の送信機と受信機間の伝送路には、様々な障害がある。よって電波が送信機から受信機へ伝わる場合、受信信号上で大きな影響がある。

送信機から送信された電波が建造物などにより反射すると、電波の通路が複数できる (マルチパス)。すると受信機には、複数の方向から目的の電波が到着するが、電波は振幅と位相を持った波動であるため到着した信号同士が互いに干渉を起こす。そして位相が合致したとき信号は強め合うが、位相が逆になると互いに弱めあってしまう現象が起きる。これがマルチパスフェージングである。本稿では通信路にこのマルチパスフェージング、ガウス雑音を用いて実際の通信路により近い状況で検討を行なう。

今回の検討では、4 本のマルチパスにより直接到達する波、 $1\mu\text{s}$ 、 $1.5\mu\text{s}$ 、 $2.0\mu\text{s}$ 遅れて受信機に到達する波を用意しこれらの波によるレイリーフェージング通信路を作る。受信した信号に遅れた波によるそれぞれの平均電力を雑音として考える。

3 性能評価の条件

性能評価をするにあたって、本稿では「拡散後の帯域幅を等しくする」という条件をもうけた。つまり拡散前の帯域幅 B と処理利得 G とすると、以下の式が成り立つ。

$$BG = \text{一定} \quad (5)$$

一般に、帯域幅の広い信号はビット誤り率が良い。しかしスペクトル拡散システムにおいては、式(5)からも分かる通り広帯域の信号に比べ、狭帯域の信号にはより大きい拡散系列長をかけることが可能である。そのためには、それぞれの変調方式の帯域幅を求め、処理利得を求める。

本稿では、処理利得を求める際に BPSK の拡散系列 (=処理利得) を基準として QPSK、GMSK の処理利得を求める。求めた処理利得を用いて伝送路に AWGN、フェージングを考慮し計算機シミュレーションを行ない、誤り率を検討する。

3.1 帯域幅と処理利得

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を定義しなければならない。本稿では全電力のうち 99% を含む帯域幅を 99% 帯域幅 ($B_{99\%}$) と定義する。

帯域幅を定義したことにより処理利得が決定される。(5) 式より QPSK および GMSK の処理利得 $G_{CPFSK,GMSK}$ は BPSK の拡散系列長 G_{gmsk} を基準として、以下のように求められる。

$$G_{CPFSK,GMSK} = \frac{B_{BPSK}}{B_{CPFSK,GMSK}} G_{BPSK} \quad (6)$$

この式より BPSK に対しての QPSK、GMSK の処理利得を求めたものが表 2 である。

表 2 BPSK に対しての処理利得の比率

変調方式	$B_{99\%}$
QPSK	1.9957
GMSK ($B_b T = 0.5$)	19.9226
GMSK ($B_b T = 0.3$)	22.5411
GMSK ($B_b T = 0.25$)	23.9581
GMSK ($B_b T = 0.2$)	25.9848

3.2 拡散系列長

基準となる BPSK の処理利得を $G_{BPSK} = 31$ として、前述の表 2 よりそれぞれの変調方式の処理利得を算出したものを表 3 に示す。

表 3 $G_{BPSK} = 31$ のときの拡散系列長

変調方式	$GB_{99\%}$
QPSK	61
GMSK ($B_b T = 0.5$)	618
GMSK ($B_b T = 0.3$)	698
GMSK ($B_b T = 0.25$)	743
GMSK ($B_b T = 0.2$)	806

4 シミュレーション結果

表 3 の拡散系列長をパラメータに用いて SN 比に対するビット誤り率を算出した (図 1)。今回は通信路にガウス雑音、マルチパスフェージングを考慮した。フェージング通信路として 4 本の経路を用意した。

シミュレーションの結果、全体的に QPSK に対し GMSK が良い性能を示した。さらに GMSK ($B_b T = 0.25$) の時最もより性能を示した。これは $B_b T$ が小さくなるにつれて長い拡散系列長を用いることができ (表 3 より)、 $B_b T = 0.25$ ではデジタル変調時の誤り率特性が良いためだと考えられる。

また今回のシミュレーションでは、受信機側にイコライザを設置していないため誤り率が増えてしまっていると考えられる。

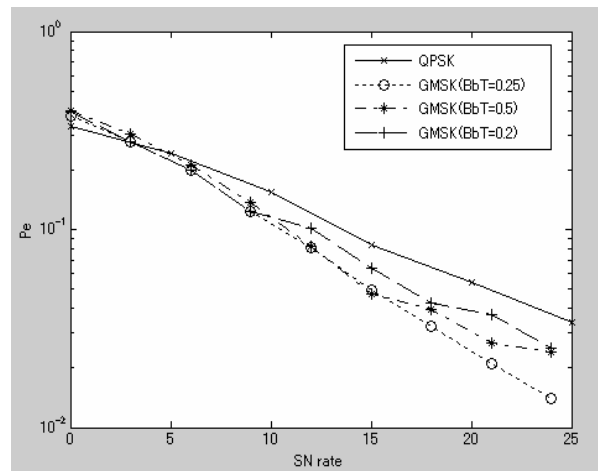


図 1 フェージング通信路における誤り率特性

5 まとめ

本稿ではフェージング通信路における DS-CDMA での変調方式の検討を行なった。今回は既存のシステムである QPSK 変調方式とより狭帯域な GMSK 変調方式を用いて性能比較を行なった。結果としては QPSK よりも GMSK が良い性能を示した。このことから DS-CDMA 方式にはより狭帯域な変調方式が有効であることが推測できる。またフェージング通信路では白色ガウス雑音のみの通信路よりも誤り率が著しく増加してしまう。実用レベルで通信を行なう場合、誤り訂正符号の使用やフェージング対策用のアンテナを用いることが必要となると考えられる。

参考文献

- [1] 荒井 宣人、デービッドアサノ。”DS=CDMA における GMSK 変調方式の性能に関する一検討” 信学技報 SST2001-45(2001-10), pp.25-29.
- [2] 市川通洋、デービッドアサノ。”DS-CDMA における変調方式と拡散符号系列の組み合わせに関する一検討” 信学技報 WBS2003-82(2003-12), pp.13-18.
- [3] Hiroshi Harada, Ramjee Prasad “simulation and soft ware radio” Artech House Publishers.