

第8章 スペクトル拡散

8.1 スペクトル拡散通信方式の概要

情報伝送に必要な帯域幅をはるかに上回る広い帯域幅を有する信号を用いて通信を行う方式をスペクトル拡散 (SS) 通信といい、このように広い帯域幅のスペクトルを発生することをスペクトルの拡散という。スペクトルの拡散には情報信号とは別の符号 (信号) 系列が用いられる。この符号 (信号) 系列を拡散符号 (信号) という。受信機では拡散に用いた符号の複製を用いてスペクトルをもとに戻し (逆拡散)、その後、復調を行う。スペクトル拡散は次の特徴を有する。

- 非同期の多元接続が可能なこと。
- 干渉を与えたり受けたりすることが少ない (低干渉性, 耐干渉性)
- 伝送路でのマルチパスや歪みに強い。
- 高分解能の測距測定が可能なこと。

このようなスペクトル拡散を実現する方式としては以下のような方式がある。

- 直接拡散方式 (Direct Sequence : DS)
- 周波数ホッピング方式 (Frequency Hopping : FH)
- 時間ホッピング方式 (Time Hopping : TH)
- ハイブリッド方式 (DS/FH)

これらのうち、代表的な DS と FH の二方式について以下に解説する。

8.2 直接拡散方式 (DS)

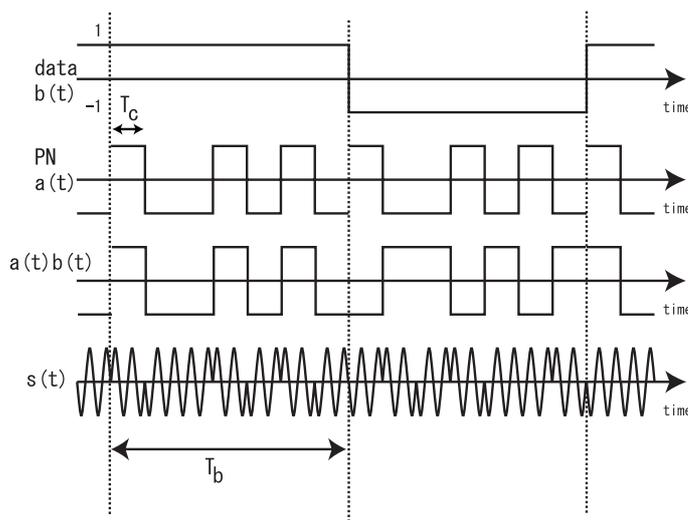


図 8.1: DS/SS 信号の送信波形

直接拡散方式では、情報信号に拡散信号という高速 (広帯域) な信号が乗積され、その後、変調が行われる。変調は、通常の狭帯域変調方式の中から適当なもの、例えば PSK や FSK が用いられる。

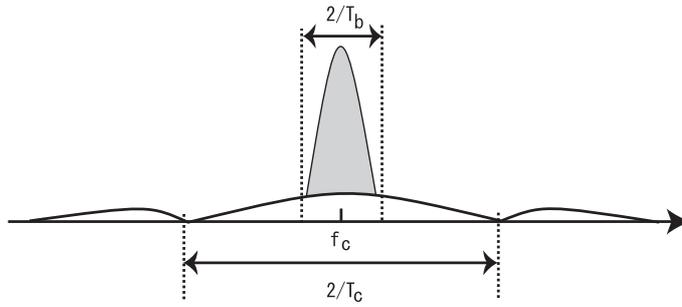


図 8.2: DS/SS 信号の周波数スペクトル

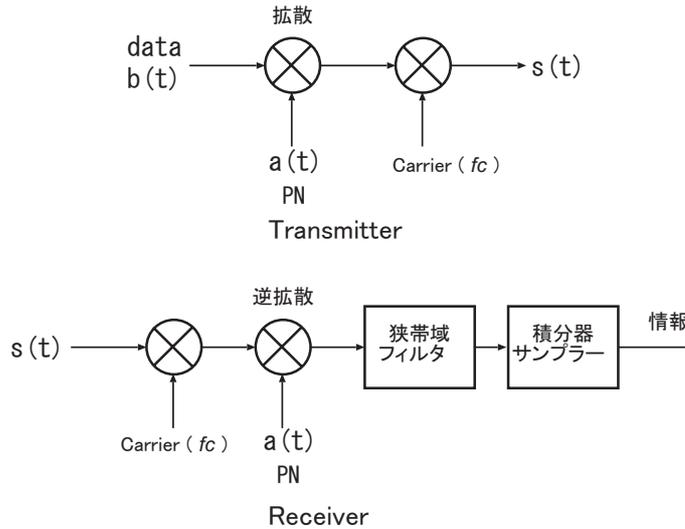


図 8.3: DS方式のシステムモデル

基本周波数 ω_c の BPSK 変調を用いた場合の DS 信号は次のようになる (図 8.1) .

$$s(t) = \sqrt{2P}a(t)b(t) \cos \omega_c t \quad (8.1)$$

ここで、拡散信号 $a(t)$ は、パルス (チップ) 継続時間 T_c ごとに、 ± 1 の値をとる信号である。パルスの正負は、拡散符号と呼ばれる 2 値符号系列で規定されている。この拡散系列は、8.2.1 で述べるように十分長い周期を持ち、正負の値の出現は、ほぼランダムとなるように設計されている。拡散系列は、PN (Pseudo-random) 系列とも呼ばれる。

拡散信号の $a(t)$ のひとつのパルス (チップ) の継続時間 T_c は情報パルスの継続時間 $T_b = 1/f_b$ よりかなり短い。図 8.2 に示すように、DS 信号 $s(t)$ のメインローブの占有帯域幅は、このチップの継続時間の逆数 (チップレート $1/T_c$) の 2 倍となる。もし、拡散信号の乗積を行わずに通常の BPSK 信号として送信した場合の帯域幅は $2/T_b$ となるので、拡散信号によって、信号のスペクトルが T_b/T_c 倍に拡散されたことになる。この T_b/T_c (以下 N であらわす) を拡散率あるいは拡散比 (spreading ratio) とよぶ。これはまた処理利得 (processing gain) とも呼ばれる。

DS 信号の復調では、図 8.3 に示すように、送られてきた広帯域の受信信号に受信側で発生させた送信側と同一の PN 系列を掛け合わされてもとの 1 次変調信号に戻す (逆拡散)。そしてその後通常の (1 次変調信号に対する) 狭帯域フィルタによって雑音や干渉成分が取り除き、情報ビットを復調する。

8.2.1 拡散符号

拡散符号に求められる性質は以下のとおりである。

- 自己相関は鋭いピークを持ち、0 では小さい値を持つ。(同期の容易さ)
- 周期は長くかつランダム性が高い (秘話性 拡散性)

- 1つのルールで作り出せる符号の種類が多い (多重性)
- 各符号間の相互相関が小さい (多重性)

拡散符号としては多くの符号が提案されている．もっとも基本的なものには M 系列や Gold 符号がある．

8.2.2 CDMA

複数の DSSS 方式の SS 信号が同時に送信されているとする．このとき，各信号が互いに異なる拡散信号で拡散されているとし，またそれらの拡散信号の相互相関が十分小さいとする．すると受信機が，ある信号を逆拡散するためにその信号の拡散信号を受信信号に乗積した場合，目的の SS 信号は逆拡散され狭帯域信号となるが，それ以外の信号は広帯域の信号のままである．従って，これを狭帯域フィルタで濾波すると，他の SS 信号はほぼ除去できる．これが，拡散符号の (準) 直交性をを用いた CDMA の基本的な原理である．

8.3 周波数ホッピング方式 (FH)

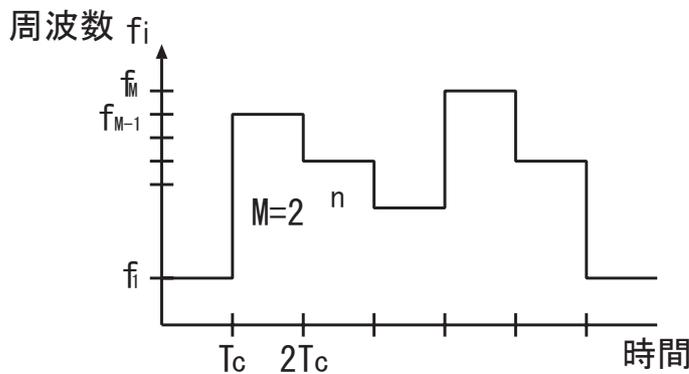


図 8.4: FH/SS 信号の周波数ホッピング

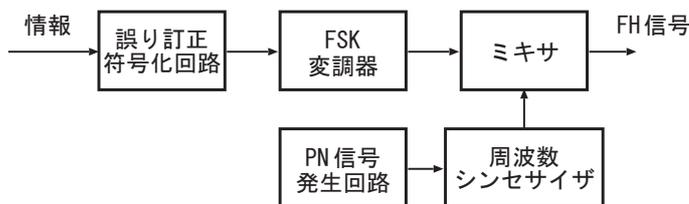


図 8.5: FH/SS 信号発生回路

周波数ホッピングによるスペクトル拡散通信では，割当周波数帯域はいくつかの周波数スロットに分割されている．送信信号は，この分割された周波数スロットを切り替えながら使用する．各時間間隔 (チップ長に相当する) における周波数スロットの選択は PN 発生回路出力に応じてなされる．時間に対する周波数ホッピングの例を図 8.4 に示す．FH 方式では通常，2 値 FSK 信号が用いられるが M-ary FSK, MSK など用いる事ができる．

図 8.5 および図 8.6 にそれぞれ FH 信号用送信回路および受信回路の機能構成を示す．周波数ホッピングは，周波数シンセサイザの周波数を切り替えを行う．受信側では，送られてくるホッピングパターンと同期し，逆の周波数変換を行うようにして，元の情報 (図の場合では FSK 信号) を復元する．

この BFSK を用いた FH スペクトル拡散信号を考えると，その信号波形は，

$$s(t) = \sqrt{2P} \cos[(\omega_c + \omega_i + b(t)\Omega)t + \theta] \quad (8.2)$$

と書ける．ここで， $\omega_c + \omega_i$ は，搬送波の角周波数であり時間 T_c 毎に変化する．すると上式は，搬送波周波数がホッピングすることを除けば，データ変調 $b(t) = \pm 1$ によって周波数が $\pm\Omega$ 変化する BFSK 信号を表している．

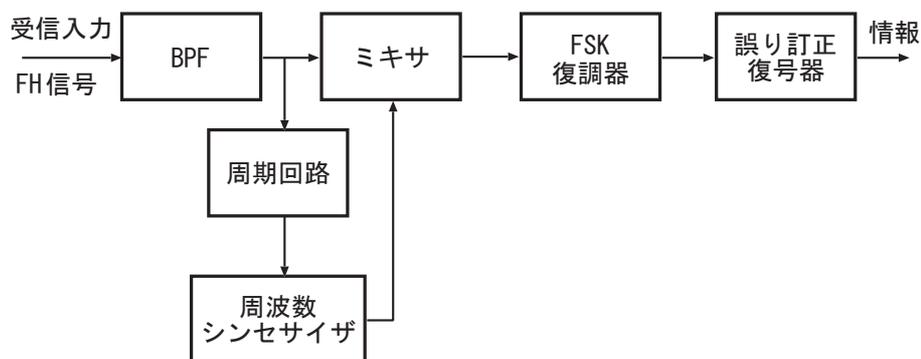


図 8.6: FH/SS 信号受信回路

8.3.1 SFH と FFH

FH 方式には 1 次変調のビットレートと 2 次変調のホッピングレート（周波数の移り変わる速さ）の関係で Slow Frequency Hopping (SFH) 方式と Fast Frequency Hopping (FFH) 方式がある。SFH 方式とはホッピングレートがビットレートより遅い場合を意味し、逆に、FFH 方式ではホッピングレートがビットレートより速い。

SFH ではホッピングレートが遅いので周波数シンセサイザの実現が容易であり、1 ホップ中に複数のビットが送れるので DPSK などの差動符号変調等でも実現可能である。しかし、ヒットが生じた場合、バースト誤りが発生する。一方、FFH 方式では、装置化に問題がある。

8.3.2 CDMA

FH 方式を用いた CDMA でも DS 方式と同様、各局に割り当てられた PN 系列（FH 方式の場合、FH 系列と呼ばれる）で局識別を行うことで実現できる。FH 方式に基づく CDMA 方式の例としては、欧州諸国が採用している GSM (Global System Mobile) がある。GSM は基本的には広帯域の TDMA 方式であるが、低速の周波数ホッピングも採用している。この場合、低速のホッピングのため、FH 方式の効果を十分発揮できるとは言いがたいが、それでもホッピングによって周波数ダイバシティ効果が期待でき、信号受信時に深いフェージングに落ち込む時間が少なくなり、通話の品質が安定する。周波数が固定した狭帯域の妨害波などは受信側からみると相対的に周波数が切り替わっているように見える。