



スペクトラム拡散通信

佐藤 正志*

1. はじめに

近年の増大する通信需要に応えるための通信方式の一つとして、スペクトラム拡散通信方式が注目を集めており、電子情報通信学会のスペクトラム拡散通信研究会においても、毎回200人近い参加者を数えている。本稿ではスペクトラム拡散通信の原理の概要を説明し、さらにその適用分野について述べる。

2. スペクトラム拡散通信の原理

スペクトラム拡散通信 (Spread Spectrum; SS通信) とは情報信号の伝送に際して、その本来持っている固有の帯域幅 (スペクトラム幅) よりも広い帯域幅を持つ信号に変換して伝送することにより、耐干渉性や信号の秘匿性等に優れた通信システムを実現する方式である。

SS通信方式の構成図を図1に示す。情報源からの情報信号はまずPSK等の通常のデジタル変調 (一次変調) を受ける。一次変調を受けた信号は、次に拡散符号により拡散変調される。拡散符号にはPN符号が用いられる。PN符号は白色状の広いスペクトラム (帯域幅 B_c)

を持ち、且つ単位周波数当りの電力密度は小さい。

受信側では送信側と同一のPN符号を全く同じタイミングで発生させて、受信信号を相関復調することにより、拡散されたスペクトラムを一次変調の周波数スペクトラムまで縮める。この操作を逆拡散という。この逆拡散の結果、スペクトラムは一次変調後の占有周波数帯域幅と同じになる。逆拡散された信号は一次変調の占有周波数帯域幅を持つフィルタを通過した後、通常の方式で復調される。

スペクトラムを拡散するための拡散変調の方法の主なものを以下に説明する。

(1) 直接拡散 (Direct Spread; DS方式)

情報信号の最高周波数よりはるかにビット速度の高いPN符号と情報信号とを乗じることにより、拡散変調を行う (図2)。拡散変調された信号のスペクトラムは情報信号のスペクトラムとPN符号のスペクトラムとの周波数領域におけるたたみ込みとなる。その帯域幅は、ほぼ B_c に等しい。なおスペクトラム強度はスペクトラムが拡散された結果、 B_d/B_c 倍に減少している。受信側においては、送信側と同一のPN符

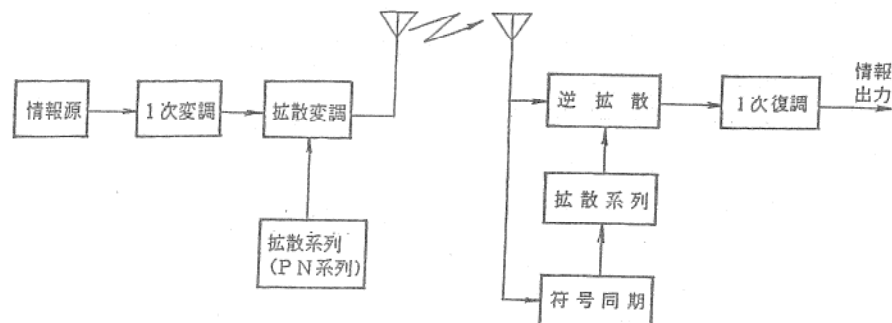


図1 SS通信システム

*佐藤正志 (Sato MASASHI), 大阪大学工学部, 通信工学科, 森永研究室, 助手, 工学博士, 通信工学

号と受信波との相関検波により帯域幅の復元 (逆拡散) された信号波が得られる。受信側において逆拡散するために用いるPN符号が、送信側で用いられたPN符号と異なる場合には、帯域

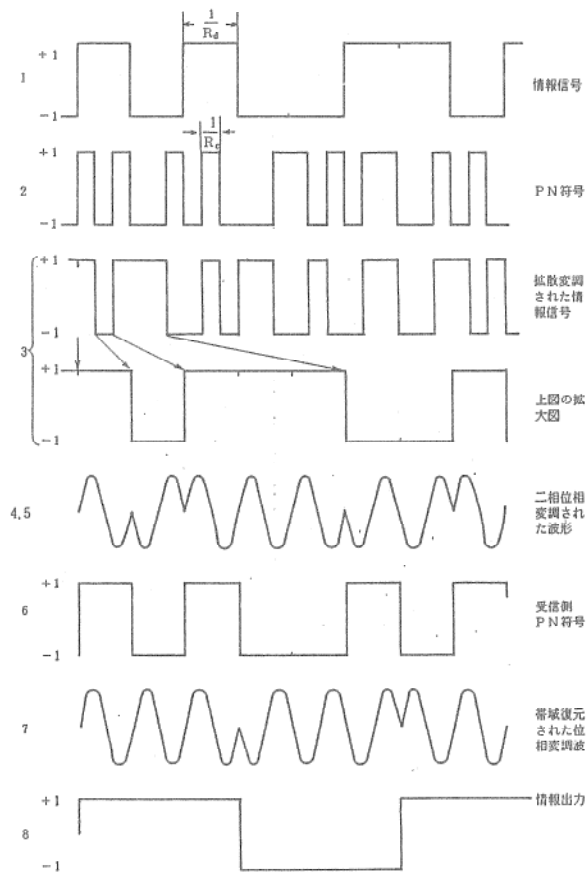


図2 各部の時間波形

幅は縮小されない。

(2) 周波数ホッピング (Frequency Hopping ; FH方式)

搬送周波数のある時間間隔で、情報信号の帯域幅に比べてはるかに広い範囲内の、離散的な値に、ランダムに切り換える方式であり、偏移するパターンをPN符号によって決定する。従って、FH方式では拡散帯域全体を常に使用するのではなく、ある瞬間でみれば拡散帯域内のある周波数スロットを用いているに過ぎない。

(3) 時間ホッピング (Time hopping; TH方式)

時間軸をフレームに分割し、それをさらにいくつかのタイムスロットに再分割し、伝送に用

いるタイムスロットを、各フレーム毎にランダムに選択する。その選択はPN符号によって制御される。

次にSS通信方式の性能を示す重要なパラメータである処理利得について述べる。いま図3(a)に示すように受信信号に狭帯域妨害波が混入しているとする。この受信信号とPN符号との乗積操作を行った結果の信号のスペクトラムは、同図(b)のように信号成分は帯域幅 B_d に逆拡散されるが、逆に妨害波は帯域幅 B_c に拡散される。この乗積操作の出力信号を帯域幅 B_d の帯域通過フィルタに通すと、そのフィルタ出力のスペクトラムは同図(c)のようになり妨害波電力は B_d / B_c に減少する。また、前述のように異なるPN符号によって拡散変調された信号が希望受信信号と同じ帯域に存在している場合にも上述の妨害波の場合と全く同じように希望信号電力と非希望信号電力の比は B_c / B_d となる。この値を処理利得とよぶ。

これまで述べてきたところから明らかなように、SS通信方式においては、拡散符号はシステムの性能を決定する重要な役割を果している。即ち、送信部においては、スペクトラム拡散変調を行い、受信部においては、相関受信により希望波信号を抽出して、妨害波を抑圧するとともに、同期の確立および維持を行う。このような多様な役割を持つ拡散符号の代表例として最大長系列 (Maximum Length 系列; M系列) があげられる。

受信機においては送信側と同じ符号系列との相関検出により情報信号を復調する。この場合、受信機で準備する符号系列と受信信号に含まれている符号系列との位相が一致する必要があり、このための符号同期回路が不可欠となる。符号同期回路には目的とする符号位相を探し出すための同期捕捉機能と、その位相を保持するため

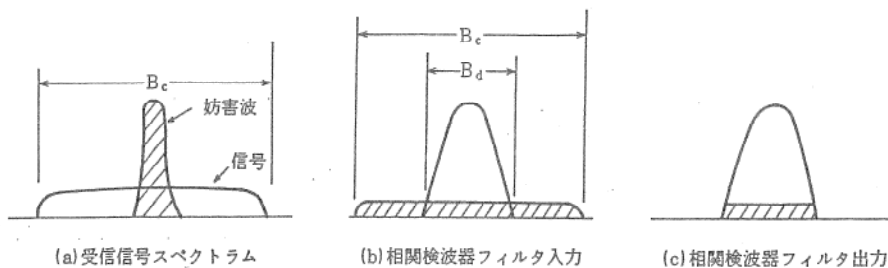


図3 妨害波の影響

の同期追跡機能とが必要である。

同期捕捉回路ではPN符号位相誤差を $\pm T_c/2$ 以内に一致させる。代表的な方法の一つとしてはスライド型相関法があり、相関出力を監視しながらPN符号発生器のクロックを変化させ、相関出力が最大となるところを見つけることにより、正しい符号位相を探し出す。

同期捕捉が達成された後は、受信側のPN符号系列と送信側のPN符号系列との位相誤差 ϵ を出来る限り0に維持し続けることが必要とされる。同期追跡回路の代表的なものとしては遅延ロックループ (Delay Lock Loop; DLL) とタウディザループの2つがある。

3. 適用分野

スペクトラム拡散通信は従来の通信方式には見られない際立った特徴を持っており、種々の分野への応用の可能性を秘めている。既に幾つかの応用システムが提案され、さらには実現されたりしているが、ここでは、そのような具体的なシステムの詳述は割愛することとし、SS通信の特徴を列挙しつつ、それを有効に利用することのできるシステムの可能性について説明することとする。

(1) 干渉妨害波の排除能力が大きい

狭帯域妨害波や、同一システム内の他局干渉波に対して、受信機出力のSN比は入力側のSN比より処理利得の分だけ改善される。例えばエクアトリアル社のデータ分配システムは衛星経由で中央局から多数の小型地球局にデータを分配したり、収集したりするシステムであるが、これにSS通信が用いられている。このシステムでは地球局のアンテナを小型化しており、このためビーム幅は広くなり、他のシステムからの干渉波を受けやすいので、耐干渉能力の高いSS方式を用いている。

(2) 電力スペクトラム密度が小さい

他の通信システムに与える混信妨害が少なく、しかも電力スペクトラムは白色状であるので、非了解性の混信である。

(3) 広帯域信号である

SS変調信号は広帯域であるため、周波数選択性フェージングの影響が少なく、さらに多重伝播干渉にも強い。この特徴を活かした移動通信への適用例が数多く提案され、活発に研究されている。

一方、広帯域信号は一般に、その帯域幅の逆数に相当する時間分解能を有していることから、SS信号の到達時間差を利用した高精度の測距システムへの適用が可能である。具体的には高度2万km上空の三軌道上の18個の衛星を利用して、地球上の任意の地点の3次元の位置決定を行うためのGlobal Positioning Systemが数年後には完成の予定であり、これを用いた自動車のナビゲーションシステムも検討されている。

(4) 秘話性を有している

PN符号を知らない限り受信信号の内容を再生することが出来ず、PN符号により通信内容が保護されていると考えることができ、暗号化技術の一つといえる。

(5) 多元接続が可能である

スペクトル拡散多元接続通信方式(SSMA)においては、拡散変調に用いるPN符号を各通話者へアドレスコードとして割り当てることにより、複数の通話者が同一の周波数帯を共用して通信するシステムである。従来のFDMAやTDMAに比較して、複雑な周波数管理やタイミング制御等の回線制御を必要としない。

4. む す び

スペクトル拡散通信は多様な特徴を有しており、これらの特徴のいくつかを、うまく組み合わせて利用した様々なシステムが広範に研究されている。衛星系、地上系の固定通信、移動通信等に加えて、近年、需要が増大しつつある構内通信網(LAN)への適用例も数多く見られ、電灯線伝送によるSS通信或いは光空間伝送によるOAシステムへの適用等も提案されている。今後さらに活発な研究が待たれる。