目 次

1 SS 通信方式の種類 **2**

2 直接拡散 (DS) 方式の原理 **3**
2.1 DS 方式における変調 3
2.2 DS 方式における復調 4
2.3 干渉波による影響 4
2.4 通信容量 (channel papacity) 4
2.5 秘匿性 7
2.6 E_b/N_0 の定義 9

3 M 系列の性質 **11**
3.1 疑似雑音系列 11
3.2 拡散系列の性質 11
3.3 生成多項式による M 系列の表現 11
3.4 トレースによる M 系列の表現 13
3.5 M 系列の特徴 14
3.6 M 系列の自己相関関数 14
3.7 M 系列の電力スペクトル 18

4 符号同期 **19**
4.1 符号同期回路の構成 19
4.2 同期捕捉方式 22
4.3 同期追跡方式 22

5 多元接続方式 **24**

6 マルチパス対策 **25**
6.1 CDMA システムにおける Rake 受信方式 25
6.1.1 ダイバーシティ受信との違い 26
6.2 OFDM 26

参考文献 **28**

C 言語の問題集 **30**

1　SS 通信方式の種類

通常の周波数分割型の通信方式では, 1 つの信号が特定の周波数帯域を占有し, 他の信号が同じ帯域を使用することは許されない．そのため，信号の帯域幅を出来るだけ狭くし，その上で伝送品質を向上させることが課題となっていた．これに対して, SS 通信方式はこれとは逆に, 伝送されるべき信号にクロックレートの高い擬似ランダム系列を掛けることにより，広い帯域へと信号を拡散させて伝送しようというものである．信号を拡散して送信することにより，信号のしめる周波数帯域が広がり，それによって SN 比の劣悪な環境下においても, 信頼度の高い通信を確保することができる．

以下に，SS 通信方式の代表的な種類について簡単に述べる．

a) 直接拡散 (Direct Spread: DS) 方式

SS 通信方式の中では最も基本的かつ代表的な方式であり，信号系列に直接擬似ランダム (Pseudo Noise: PN) 系列を掛けることにより変調を行う．受信側では，受信信号に対して送信側で使用したものと同じ PN 系列を掛け直すことにより復調が行われる．このとき，受信した信号に希望以外の信号が混在していた場合，受信側において希望信号をもとの帯域に戻すために掛けなおす PN 系列によって，その信号 (希望以外の信号) は逆に拡散されてしまう．したがって，BPF を通す通すことにより，混信波を除去することができる．このことにより，雑音に対する耐性を持ち，同一周波数帯を用いた複数の同時通信が可能となる．

また，この方式については後で詳しく述べる．

b) 周波数ホッピング (Frequency Hopping: FH) 方式

PN 系列により定まるパターンにより，搬送波の周波数を選択する方式である．このような方式として他にも FSK が存在するが，FSK ではスペクトル効率が悪くなるのを避けるために 2 つの周波数しか用いない．これに対し FH 方式では，多数の周波数から搬送波を選択することによって広帯域の信号を得ている．

c) 時間ホッピング (Time Hopping:TH) 方式

PN 系列により，搬送波を時間領域において擬似ランダム的に断続して送信するパルス変調方式である．通常の時分割多重方式に比べ，システム相互間の混信を減少させることができるなどの特徴をもつ．しかし，妨害に弱いため FH 方式と組み合わせて，TFH 方式として用いられることが多い．

d) ハイブリッド方式

これまでに述べた方式を 2 つ組み合わせる方式である．これは，ある方式が性能限界に達しているときなどに有利で，単一の方式では達成できないような特性を得ることができる．

FH/DS 方式では，周波数が周期的にホッピングする直接拡散方式である．この方式は，それぞれを単一で使用する場合より妨害に強く，信号の拡散能力や多元接続・多重化能力を向上させる．また，TFH は距離と送信電力のばらつきの大きい多数の利用者が単一の回線を同時に使用する場合に有利である．TH/DS 方式は，擬似ランダム的に時分割を行うので，チャネルを有効に利用できる．

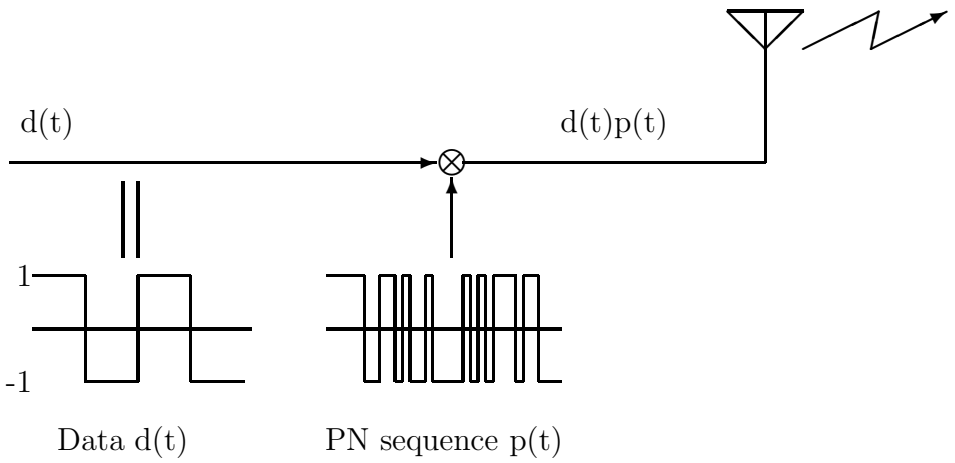

図 1: DS 方式による変調部の基本構成

2 直接拡散 (DS) 方式の原理

従来の周波数分割型の通信方式を用いて多重伝送をする場合には，信号の帯域幅を狭くするほど同時に送る信号の数を増加させることができる．このために周波数分割型の方式では，いかに伝送帯域を狭めるかということに重点をおいてきた．ところが情報化社会の進展にともない, 生じている電波の混雑には深刻なものがあり，しかも干渉波についても問題になる．雑音は白色のような一様な電力スペクトルをもつ場合が多いが，干渉波の場合は電力スペクトルが集中しやすい．そのため，希望信号と干渉波の電力スペクトルの重なりが大きいと, 信号の伝送はできなくなり大きな損失となる．従って，干渉波が狭帯域であった場合には，信号の帯域が広い方が重なりが小さく損失も少ない．また BPF により干渉波を除去した場合にも，帯域幅が広い方が損失が少なくて済むことになる．また，Shannon の通信路容量の定理によれば，雑音の大きな通信路においても十分に広い帯域が利用できれば, 信頼性の高い通信が可能となることが知られている．

SS 通信方式は，これらの点をふまえた上で, 従来の通信方式とは逆に広い帯域へと信号を拡散させて伝送しようというものである．以下に DS 方式を例として，その原理について説明する．

2.1 DS 方式における変調

DS 方式は，送られるべき信号を, 長い周期を持った複雑なパターンの 2 値レベルの信号で直接変調するものである. ここで用いられる信号系列は，擬似ランダム (Peseudo Noise: PN) 系列と呼ばれる. DS 方式による変調は，図 1 に示すような構成によって行われる. 元の信号は PN 系列と掛け合わされ, SS 信号 (送信信号) を発生する. ビットレート B_0 のデータ信号は, チップレート B_p の PN 系列を乗じることによって, 図 2 に示すような広帯域の SS 信号へと拡散される.

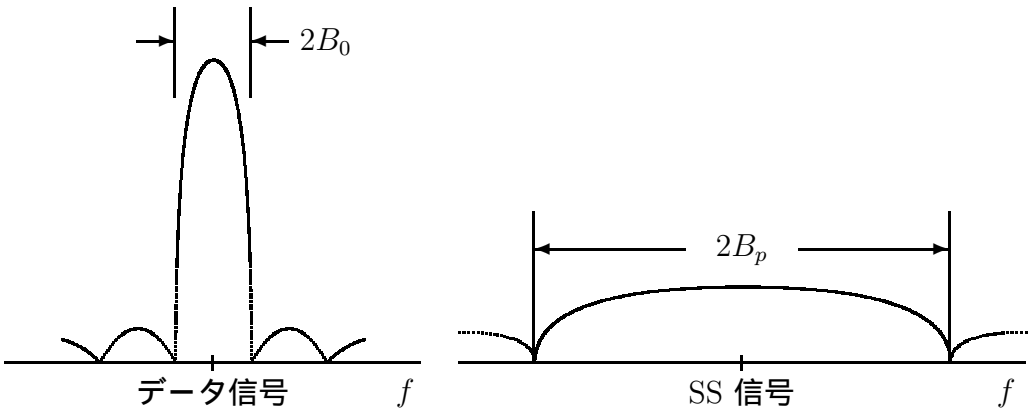

図 2: 変調部における各信号の電力スペクトル

2.2 DS 方式における復調

図 1 によって拡散された信号は，受信側において図 3 のような回路によって復調される．伝送路を伝わってきた SS 信号は，変調に使用されたものと同じ PN 系列を掛け合わされる．受信された信号は，雑音や干渉波を無視すると

$$A\,d(t)\,p(t) \tag{1}$$

である．これに PN 系列 $p(t)$ を掛け合わせるのであるが，$p(t)$ は 1 又は -1 の値しか取らないので，$p(t)^2 = 1$ となるため，

$$A\,d(t)\,p(t)^2 \quad = \quad A\,d(t) \tag{2}$$

となり，元のデータ信号へと復元される．

2.3 干渉波による影響

受信された信号に，干渉波 $I(t)$ が含まれる場合について考える．受信された後，帯域フィルタ (BPF) を通過した信号に，図 4(A) の様な干渉波が含まれていたとする．この信号に PN 系列が掛け合わされるのだが，対象が SS 信号であるか，それとも干渉波であるかによって，この操作のもつ意味がまったく異なってくる．SS 信号にとってこの操作は，上述のようにデータ信号への復調に他ならない．しかし，この操作は見方を変えると，変調部での信号の拡散操作とまったく同じ物である．したがって，干渉波はこの操作によって，SS 信号とは逆に拡散されることになる．これによって干渉波の信号レベルは，図 4(B) のように小さなものへと低下する．

2.4 通信容量 (channel papacity)

[[1] を転載]

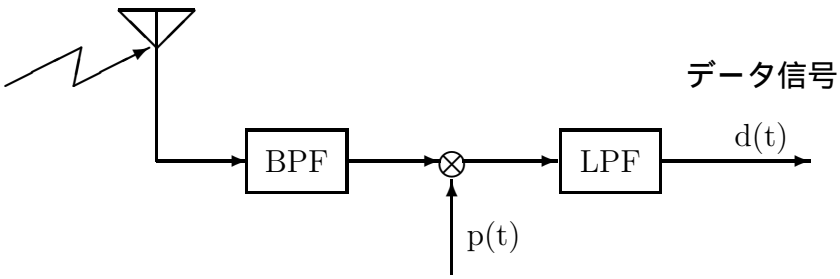

図 3: DS 方式による復調部の基本構成

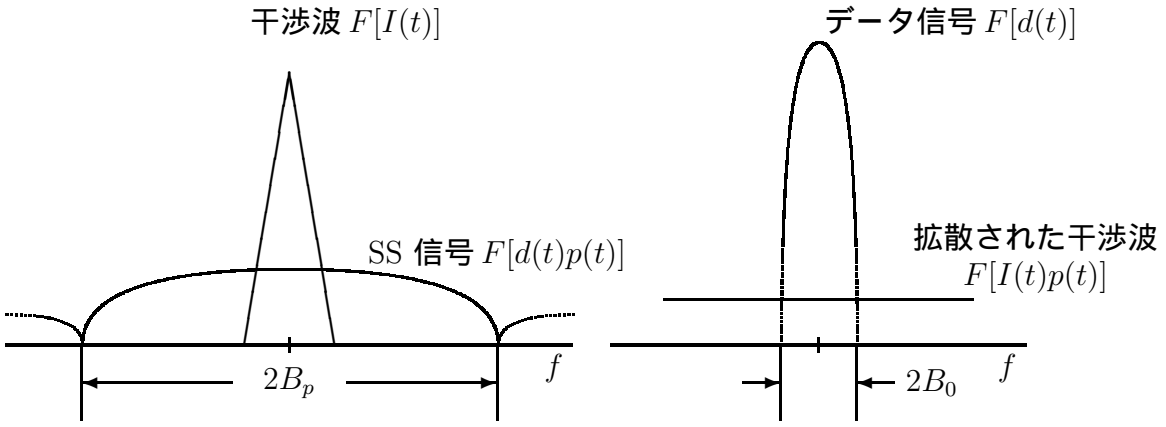

図 4: 復調部における電力スペクトル. ただし、データ信号のビットレート B_0、PN 系列のチップレート B_p.

ガウス雑音のある通信路で，帯域幅と SN 比が規定されたとき，誤りなく情報を伝送できる信号速度は幾らになるかという答は，有名な**シャノンの定理**(Shannon's theorem)[52] に見出すことができる．この定理は，$-W$[Hz] から W[Hz] までに帯域制限された低域通信路において，雑音の電力スペクトルが平担でその密度が $N_0/2$ [W/Hz]，したがって雑音の全電力が

$$P_N = N_0 W \quad [\mathrm{W}] \tag{4.211}$$