



## スペクトラム拡散通信方式における符号変調に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 一柳, 和弘, 黒島, 利一, 杉岡, 一郎, 秋山, 稔 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/758">http://hdl.handle.net/10258/758</a>

# スペクトラム拡散通信方式における符号変調に関する研究

一 柳 和 弘・黒 島 利 一・杉 岡 一 郎・秋 山 稔

## Pseude-Noise Code Synchronization in Spread Spectrum Communication

Kazuhiro ICHIYANAGI, Toshikazu KUROSHIMA,  
Ichiro SUGIOKA and Shigeshi AKIYAMA

### Abstract

The spread spectrum communication include remarkable features. Therefore, it is attempted to apply this technique to many department of communications recently. In spread spectrum communication techniques, the pseude-noise(PN) code synchronization is a very important problem to establish communication channels, so that a great many techniques has proposed concerned with the PN code synchronization. This paper describes on a experimental spread spectrum communication system adopting the PN code snychronization circuit which is combined the delay-locked loop circuit and the phase-sensing circuit. In conclusion, from results of the transmission test using its system, we found that our newly developed PN code synchronization circuit is one of the reliable circuit for the spread spectrum communication system.

### 1. はじめに

スペクトラム拡散 (Spread Spectrum : 以下 SS と記す) 通信方式<sup>1)-7)</sup>は, 一般に搬送波を信号波で変調 (一次変調) し, さらに疑似雑音 (Pseudo Noise : 以下 PN と記す) 符号<sup>8),9)</sup>で変調 (二次変調) し, 広い周波数帯域に拡散する。このため, 雑音や干渉信号に強く, また, 通信内容が第三者によって傍受されることを防ぐことができる。

本研究は, SS 通信方式をパソコン間のデータ通信へ応用することを目的として, 拡散方式の1つである「符号変調方式」に関するものである。また, 「符号変調方式」とコストスループの組み合わせにより PN 符号の同期捕捉・保持が出来たので, ここに報告する。

### 2. 符号変調と同期

#### 2.1 一次変調

SS 通信の一次変調には従来の変調方式が利用できる。パソコン間データ通信はデジタル信号の通信であるから, 一次変調として, ここでは, ASK (Amplitude Shift Keying)<sup>10),11)</sup>, PSK (Phase Shift keying)<sup>10),11)</sup> 及び FSK (Frequency Shift Keying)<sup>10),11)</sup> の3つの変調方式を考えることにす

る。

ASK は搬送波の振幅を変調信号すなわち、ベースバンド信号に比例して変化させるものである。これを図-1 に示す。無変調搬送波  $\cos\omega_c t$  を図-1 (a) に示す。オン・オフベースバンド信号  $y(t)$  を図-1 (b) に示す。搬送波の振幅を  $y(t)$  に比例して変化させると、図-1 (c) に示す被変調信号  $y(t) \cos\omega_c t$  が得られる。被変調信号もオン・オフ信号となる。ASK 信号をさらに PN 符号で BPSK (2 相 PSK) 変調し SS 信号を作る場合、ASK 信号はオン・オフ信号であるから、いくら PN 符号を用いて拡散したとしても、その拡散された信号の有無により第三者の傍受を防ぐことはできない。ここに、SS 信号の特徴の 1 つである秘話性は失われる。また、受信側において、ASK 信号のない状態の時、すなわちオフの時に PN 符号を追従することができなくなり、次にオンとなった時に、はじめから PN 符号の正しい同期を期待することは難しい。以上のような理由により、SS 通信の一次変調として ASK は適さない。

ベースバンド信号  $y(t)$  が図-2 (a) のように + 及び - の信号であると、対応する被変調信号  $y(t) \cos\omega_c t$  は図-2 (b) のような BPSK 信号となる。また、データを周波数変化で変調すると、図-2 (c) に示す FSK 信号となる。0 を周波数  $\omega_{c0}$  で、1 を周波数  $\omega_{c1}$  で対応させる。図-2 (b) の BPSK 信号のスペクトラムを図-3 (a) に、また、図-2 (c) の FSK 信号のスペクトラムを図-3 (b) に示す。

FSK を一次変調として直接拡散を行い、生じる SS 信号の微小時間を考えると、SS 信号のスペクトラム分布は  $\omega_{c0}$  および  $\omega_{c1}$  を中心として、データに対応して移動する。このため、SS 信号の最大信号を監視することにより、第三者による傍受が可能となり、秘話性が失われる。一方、PSK 信号のスペクトラムは  $\omega_c$  を中心として分布している。従って、PSK を一次変調として PN 符号で拡散変調すれば、SS 信号のスペクトラム分布は安定し、

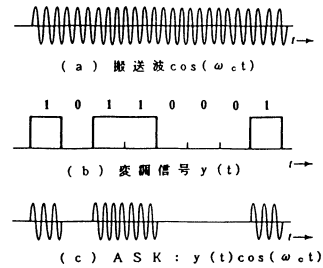


図-1 ASK 信号の生成

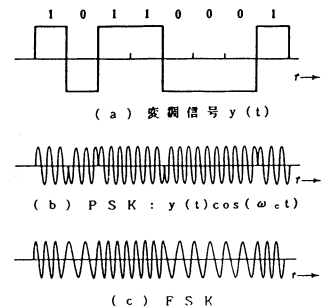


図-2 PSK, FSK 信号の生成

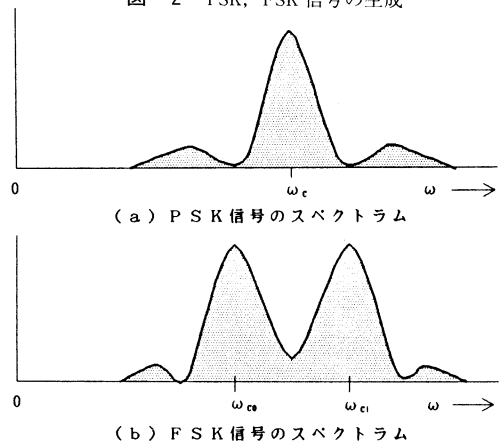


図-3 PSK, FSK 信号のスペクトラム分布

秘話性が高くなる。このような理由により、PSK は FSK に比べ SS 通信の一次変調に適しているといえる。

## 2.2 符号変調

上で述べた PSK, FSK あるいは ASK 等の一次変調は搬送波を信号で変調するものであった。これを「搬送波変調」と呼ぶとするならば、「符号変調」は PN 符号を情報信号で変調する方法である。図-4 は本研究において採用した「符号変調」の例を示す。図-4(c)のデータ信号は PN 符号発生クロックと立ち上がりをそろえ、図-4(d)となり、さらに図-4(b)の PN 符号との間で排他的論理和をとることにより図-4(e)を得る。これを新たな拡散符号

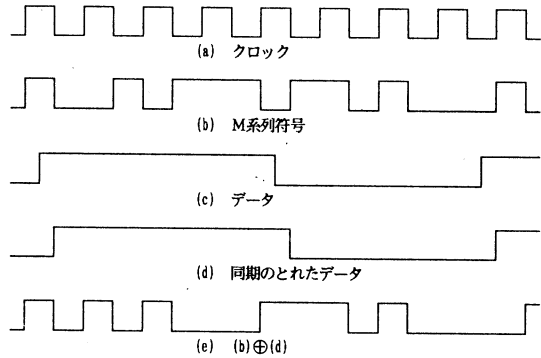
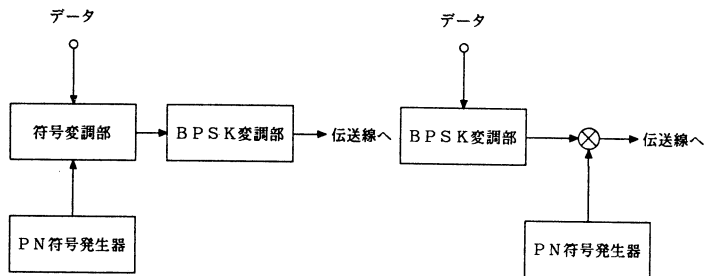


図-4 「符号変調」

として扱い、任意の搬送波と掛け合わせることで BPSK 信号を生成することにより帯域が十分に拡散された SS 信号となる。ここで図-4(c)のデータを加工して図-4(d)にするのは、PN 符号発生クロック以上の高周波成分を抑圧するためである。本実験システムの場合、PN 符号発生クロックはデータ速度のおよそ200倍であるから、データを加工して PN 符号発生クロックと立ち上がりを合わせてもデータの歪による影響はほとんどでない。

また、受信側では、図-4(e)の信号と受信側で生成した図-4(b)の排他的論理和をとることにより図-4(d)のデータ信号の再生ができる。

図-5(a)は「符号変調」を用いた SS 信号変調器のブロック図を示している。また、図-5(b)は一次変調に BPSK を用いた DS 方式によ



(a)符号変調

(b)搬送波変調

図-5 「符号変調」と「搬送波変調」

る SS 信号変調器を示している。この場合、図-5(a)と図-5(b)とは非常に似た SS 信号が得られる。本実験システムで用いる「符号変調」方式の SS 信号は一次変調に BPSK を用いた直接拡散方式と同様の性質を有していると考えられる。

### 2.3 同期捕捉・保持

PN 符号系列として本研究では M 系列符号系列を採用している。M 系列符号の同期捕捉・保持は SS 通信系を構成する上で最も重要な問題の 1 つである。本研究の特徴の 1 つは、同期捕捉・保持をコスタスループのみで解決している点である。一般の SS 通信系では、同期捕捉・保持のため複雑な回路が必要である。

同期捕捉・保持の機構を説明するために受信側のブロック図を図-6 に示す。

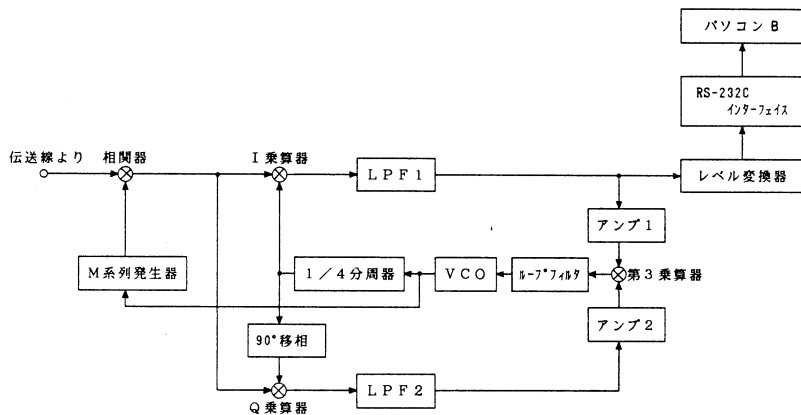


図-6 受信側ブロック図

まず同期保持について説明する。同期保持とは M 系列符号発生クロックを維持することである。そのためには受信側で送信側の M 系列符号発生クロックを追跡すれば良い。送信側と受信側ともに M 系列発生クロックと搬送波の間に正確な関係を保つことで、搬送波を追跡することは M 系列発生クロックを追跡することと同じ意味を持つ。すなわち、コスタスループが搬送波を追跡している限り、M 系列符号の同期を保持していることになる。

次に同期捕捉について説明する。図-6 の VCO の自走周波数を送信側の発振周波数より若干低く設定しておくこと、VCO から信号を供給されている受信側 M 系列発生クロックとコスタスループの I および Q 乗算器への信号は、それぞれ送信側の M 系列発生クロックと搬送波より周波数は若干低くなる。送信側の M 系列符号と受信側の M 系列符号との同期がとれていない場合には、図-6 の相関器出力は高周波成分が多く含まれた信号となる。従って、この信号が I および Q 乗算器に入力されても、コスタスループは働かず、VCO への信号伝達は行なわれないので、VCO は自走を続ける。また、送信側 M 系列発生クロックの周波数と受信側 M 系列発生クロック

の周波数とには若干の周波数差があるように設定しているので、送信側 M 系列符号と受信側 M 系列符号が一致するまで上記の動作は繰り返される。そして、送信側 M 系列符号と受信側 M 系列符号が一致した時のみ I および Q 乗算器に BPSK 信号が入力され、コスタスループの働きとして搬送波に対して VCO の発生周波数がロックされ、同期は捕捉される。同期が捕捉された後は、先に述べたように同期が保持される。このように送信側 M 系列発生クロックの周波数に対し受信側 M 系列発生クロックの周波数との間に差を持たせて相関を検出する方法を一般にスライディング相関方式<sup>1)</sup>と呼んでいる。

送信側 M 系列発生クロック周波数を  $f_s$ 、受信側 M 系列発生クロック周波数を  $f_R$ 、M 系列符号を生成するのに使用するシフトレジスタの数を  $n$  とすると、スライディング相関を用いた場合の最大同期捕捉時間  $T$  は

$$T = (2^n - 1) / |f_R - f_s| \quad (1)$$

となる。(1)式は M 系列符号が長くなるにしたがって指数関数的に最大同期捕捉時間が長くなることを示している。

### 3. 実験システム

#### 3.1 仕様

本実験システムの仕様は表-1 の通りである。

#### 3.2 実験システム概要

本実験システムの全体のブロック図を図-7 に示す。図-7 はパソコン A からパソコン B への

表-1 実験システム仕様

項目	仕様
変調方式	スペクトラム拡散方式
拡散方式	直接拡散方式
拡散符号	M 系列符号
中心周波数	50 [kHz]
拡散符号クロック	200 [kHz]
データ伝送速度	1200 [kHz]
相関方式	スライディング相関方式
伝送形態	単方向通信
使用パソコン	富士通 FM11-AD 2 <sup>+</sup>
端末インターフェイス	RS-232C 準拠
伝送線	有線

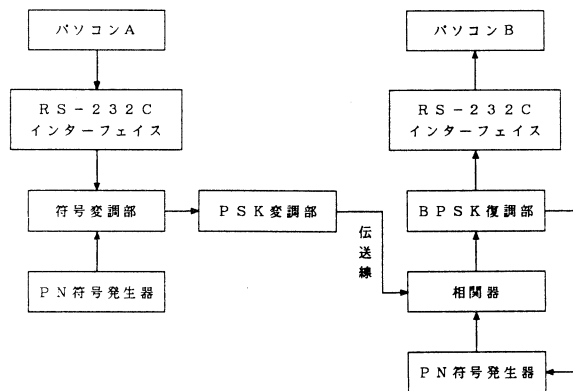


図-7 実験システム全体ブロック図

パソコン間データ通信を実現するものである。パソコン A から RS-232C を通して出力された信号は変調され SS 信号となり伝送線へと出力される。一方、伝送線より受信側へと入力する SS 信号は、相関器、BPSK 復調部を経て TTL レベルの信号となり RS-232C インターフェイスを通して、パソコン B への入力信号となる。

## 4. 実験及び評価

### 4.1 M 系列符号独立発生による SS 信号伝送

図-7 のシステムを用い SS 信号の伝送状態を確認するための実験を行った。その際の条件は表-2 の通りである。BPSK 復調部は初期状態において 0 または 1 を判定できないので、手動により送信側と受信側のデータが一致したのを確認した後に測定を開始した。26,000×50 文字のデータ伝送実験を 5 回繰り返したがデータの誤りはなかった。このことにより、M 系列符号を送信側と受信側とで独立な

表-2 M 系列符号独立発生による SS 信号伝送実験の条件

項 目	条 件
伝送速度	1200[bps] (パソコン公表値)
搬送波	50.535[kHz]三角波
M 系列符号	7 次 127 ビット
M 系列クロック (送信側)	202.140[kHz] 搬送波と同期
M 系列クロック (受信側自走時)	199.443[kHz]
BPSK 復調	コスタスループ
伝送線出力	1.3[V] (振幅)
送信データ	A ~ Z の 26 種の連続

ものにしても、同期回路が正常に働き、十分なデータ伝送精度を持っていることが判った。

### 4.2 同期捕捉時間

図-7 のシステムにおいて受信側に SS 信号が入力されてから同期が捕捉されるまでの時間を測定した。同期捕捉時間を測定するためにタケダ理研社製 (モデル TR-5766) のユニバーサルカウンタを使用した。このユニバーサルカウンタは B 端子に信号が入力されてから C 端子に信号が入力するまでの時間  $t$  を測定することができる (図-8 (a)参照)。伝送線を接続するスイッチとユニバーサルカウンタの B 端子に接続するスイッチを連動することにより、受信側に SS 信号が入力される時刻とカウンタの B 端子に入力する信号の立ち上がり時刻を一致させる (図-8 (b)参照)。一方、同期捕捉状態を検出する信号を作るために図-8 (c) の回路を作成した。TTL レベルの送信側 M 系列符号と受信側 M 系列符号を排他的論理和の入力とし出力信号を反転する。この信号は送信側と受信側の M 系列符号が一致していれば +5V の直流信号が出力される。しかし、同期が捕捉されていない時にも高い周波数成分を含んで 0 および +5V 信号が出力され

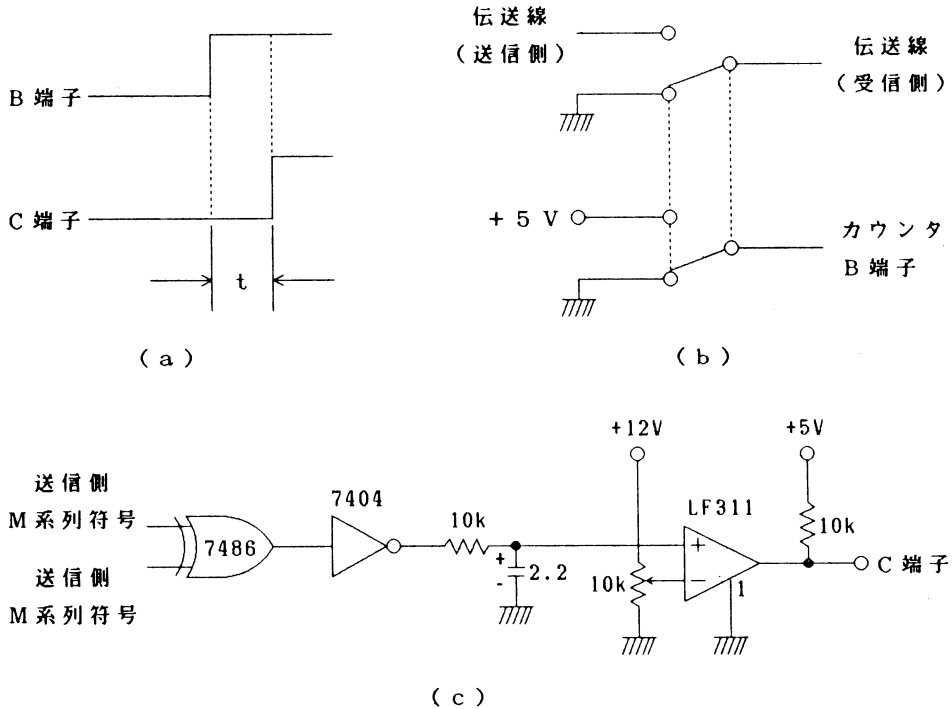


図-8 同期捕捉時間の測定実験

るので、このままではコンパレータの入力としては利用できない。そこで、簡単なローパスフィルタを通過させて同期が捕捉されていない場合の+5Vの信号を除去し、コンパレータの入力としている。コンパレータでは、同期捕捉されていない場合には0Vを出力し、同期が捕捉された場合には+5Vの信号を出力するので、それをユニバーサルカウンタのC端子に入力する。このようにしてユニバーサルカウンタのB端子およびC端子に入力される信号を作り、同期捕捉時間を測定している。

M系列符号の次数を変えて同期捕捉時間を同一符号について100回測定した平均捕捉時間を図-9に示す。

ここで、7次のM系列符号を用いた場合について理論値との比較を行う。スライディング相関方式を用いた場合の最大同期捕捉時間は(1)式で示した。それをここで適用すると、 $f_s=202.5$  (kHz),  $f_r=201.8$  (kHz),  $n=7$ であるから最大同期捕捉時間  $T$  は  $T=181.9$  (ms)となる。同期のサーチを始める位置はランダムであるから、平均同期捕捉時間は、91.0 (ms)となる。一方、実験による平均同期捕捉時間はランダムであるから、平均同期捕捉時間は、91.0 (ms)となる。一方、実験による平均同期捕捉時間は113.6 (ms)であった。このように実験値が理論値より大きくなるのは、同期を一回のサーチでとらえることのできなかったことによるものと思われる。



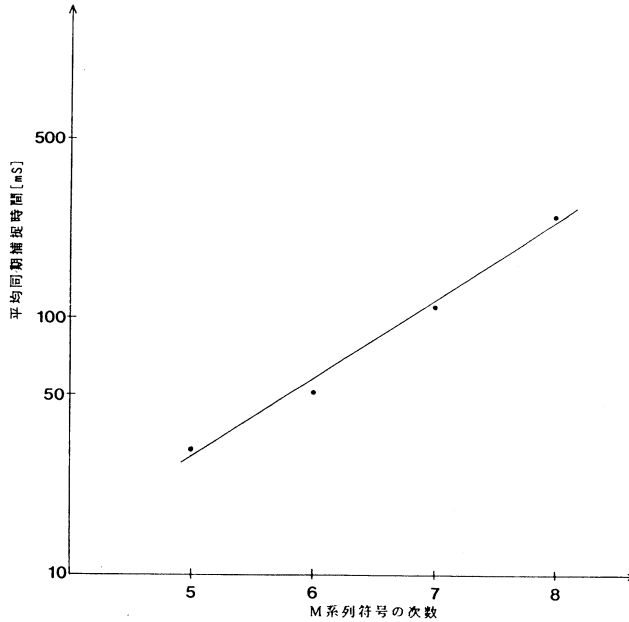


図-9 同期捕捉時間の平均値

各 M 系列符号と同期捕捉時間の関係については、各 M 系列符号を用いて同期捕捉時間を測定する実験において送信側の M 系列符号発生クロックと受信側の M 系列符号発生クロックの自走周波数との差が一定ではないので、一概には言えないが、M 系列符号の次数が増えるにしたがって同期捕捉時間もほぼ 2 倍、4 倍に増えている。したがって、これは理論どりの結果が得られたと考えてよい。

## 6. おわりに

本研究を通して知り得た点は以下の通りである。

- (1) SS通信方式のうち「符号変調方式」を用いて、パソコン間データ通信が可能である。
- (2) M 系列符号の発生クロックと搬送波をコヒーレントにした上でコスタスループを用いて、同期捕捉・保持が簡単にできる。

しかし、本実験システムでは解消されていない問題点がある。

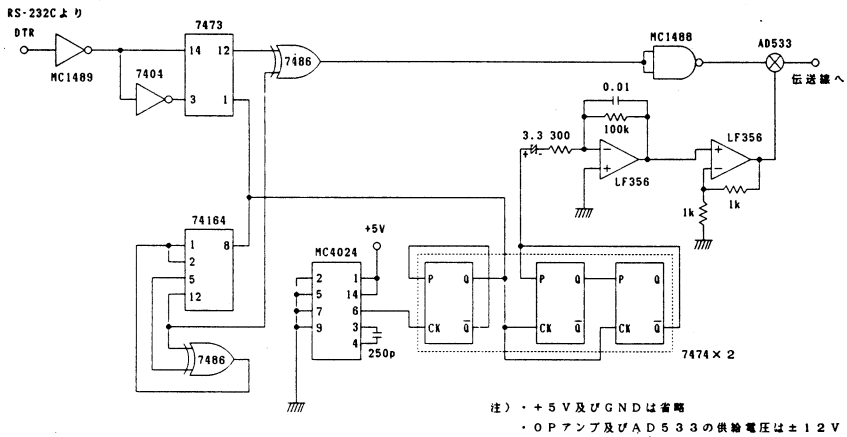
本実験システムは同期捕捉及び保持の際、特別な回路を使用していない。コスタスループを BPSK の復調のみに利用する場合には、コスタスループの VCO の自走周波数は搬送波の周波数と一致するように設計される。しかし、本実験システムでは、送信側と受信側の M 系列符号発生クロックをずらして相関をとるスライディング相関方式を採用しているため、VCO の自走周波数を故意に搬送波よりずらす必要が生じている。このため、相関がとれた場合、VCO は自走

スペクトラム拡散通信方式における符号変調に関する研究

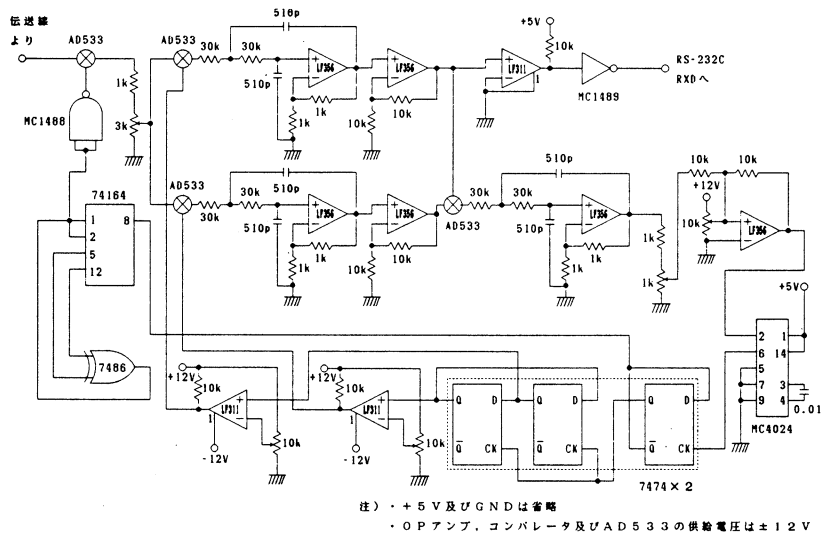
周波数からずれた状態となり、送信側の M 系列符号と受信側の M 系列符号の間にはわずかではあるが位相差が生ずる。本実験システムにおいて位相差による障害は発生していない。しかし、同期捕捉時間を短縮するために送信側と受信側の M 系列符号発生クロックの周波数の差を大きくすると、生ずる位相差も大きくなる。

また、コストスループは BPSK 信号を受信する際、その信号の始めを 0 または 1 であることを判定できない。すなわち、コストスループは送信側が 0 を始めに送信しているにもかかわらず、それを 1 と判断して受信を開始し、以後、送信側のデータを反転して受信する可能性を 1/2 の確率で持っているのである。

今後は、上記の問題点を解決し SS 通信方式によるシステムの実用化を図っていきたい。



付図-1 送信側回路図



付図-2 受信側回路図

参考文献

- 1) R.C. Dixon 著, 立野敏, 片岡志津雄, 飯田清共訳: 最新スペクトラム拡散通信方式, JATEC 出版
- 2) John G. Proakis: Digital Communications, p.554~p.597, McGRAW-HILL Book Co.(1985)
- 3) R.L. Pickholtz, D.L. Schilling, L.B. Milstein: Theory of Speread Spectrum Communication-A Tutorial, IEEE Trans, CON-30, p.884~p.885(1982)
- 4) Charles E. Cook, Fred W. Ellwesick, Laurence B. Milstein, Donald L. Schilling: Spread Spectrum Communications, IEEE PRESS.
- 5) 広崎膨太郎: スペクトラム拡散通信の応用について, 電気学会誌, 105巻, 1号, p.45~p.49(1985)
- 6) 角川靖夫, 塚本賢一: スペクトラム拡散通信とその適用分野 I, 電子通信学会誌, Vol.65, No. 9, p.967~p.971(1982)
- 7) 角川靖夫, 塚本賢一: スペクトラム拡散通信とその適用分野 II, 電子通信学会誌, Vol.65, No.10, p.1053~p.1059(1982)
- 8) 柏木潤: M 系列再発見, 計測と制御, Vol.20, No. 2, p.236~p.245(1981)
- 9) 吉谷清登: PN 系列-特に M 系列について, 電波研究所季報, p.249~p.263(1971)
- 10) B.P. Lathi 著, 中山惣之助, 宇佐美興一共訳: 詳解デジタル・アナログ通信方式上巻, CBS 出版 (1985)
- 11) B.P. Lathi 著, 中山惣之助, 宇佐美興一共訳: 詳解デジタル・アナログ通信方式下巻, CBS 出版 (1985)