室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

スペクトル拡散通信方式のデータ多重伝送への応用

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: 杉岡, 一郎, 帆保, 裕一, 黒島, 利一, 秋山, 稠 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/723

スペクトル拡散通信方式のデータ多重伝送への応用

杉岡一郎・帆保裕一・黒島利一・秋山稠

Application of Spread Spectrum Communication to Data Multiple Access

Ichiro SUGIOKA, Hirokazu HOBO, Toshikazu KUROSHIMA and Shigeshi AKIYAMA

Abstract

The spread spectrum communication has attracted special interest recently. The remarkable features of the spread spectrum communication are 1) hiding the signal to detect for an unintended listener, 2) achieving the message secrecy in the presence of other listeners, (3) suppressing the detrimental effect of interference due to obstructing and possibilities of a) coding the signal for multiple access communication, b) selective calling, and so on. It is thought that the spread spectrum communication having above mentioned distinctive characterististics is able to apply the construction of a LAN (local area network) system. In such a LAN system employing the spread spectrum communication technique, no collision detect and no investigation of the line state may be required. This paper descrides on a experimental system for data multiple access system applied some ideas of the spread spectrum communcation and the results of transmission test using its system. In conclusion, we found that it is possible to build a effective data multiple access computer network system by means of spread spectrum communication technique.

1. はじめに

近年，スペクトル拡散通信方式と呼ばれる通信方式が注目を集めている。この通信方式は，他の通信方式と比較すると以下に示すような特徴を持っている。

(1) 通信路における雑音や狭帯域の干渉波に対する影響を受け難い。

(2) 電力スペクトル密度が低いため他の通信システムに妨害を与え難い。

(3) 通信内容を秘匿することができる。

(4) 多重伝送のための符号分割が可能である。

(5) 選択呼び出しが可能である。

したがって，スペクトル拡散通信方式は，従来の通信方式と共存することができる上，周波数資源を有効に利用できる通信方式として有望視され，特に，衛星通信およびディジタル移動通信等への応用研究が活発に進められている。

今日，コンピュータ間のネットワーク方式が種々開発され実用化されている。現在実用されているLAN（Local Area Network）システムにおいては，通信回線の状態監視や信号衝突の検出等

の処理が必要になるため，装置が大がかりとなり，設備の価格が高価になっている。最近，パーソナルコンピュータ（以下パソコンと記す）は，著しく高性能化，低価格化が進み，急速に普及している。パソコンの利用形態は，従来のスタンドアロンによる利用からネットワークしてハードウェアおよびソフトウェア資源の共有利用の方向に向かっている。このような状況の下で，既存の高価なLANシステムに代って，簡単にパソコンネットワークを構成できる装置の開発が強く望まれている。そこで，上記のようなスペクトル拡散通信方式の特徴をLANの構成に応用すれば，通信回線の状態監視や信号衝突の検出等の処理が不要になるため，簡単な装置で実現できると考えられる。

本研究は，スペクトル拡散通信方式による変復調装置を試作してデータ伝送実験を行ない，この通信方式のLANへの応用の可能性と問題点等の検討に関するものである。

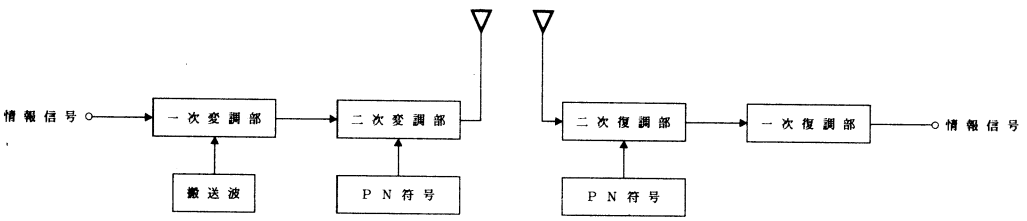
2．スペクトル拡散通信方式の概要

2．1　スペクトル拡散通信方式の原理[1)-7)]

従来，通信の分野では，周波数スペクトルを有効に利用するために，情報の周波数占有帯域幅を圧縮したり，より高い周波数を使用するという方法が採られてきた。一方，スペクトル拡散通信方式は，周波数占有帯域幅を極めて広くとり，それをある符号によって分割して各々の通信路に区分し，周波数スペクトルを有効に利用する通信方式である。この通信方式は，狭帯域の情報信号をクロック周波数の高い疑似ランダム符号（Pseudo Noise：以下PN符号と記す）によって変調し，広い帯域にわたって拡散して伝送するものである。

一般的なスペクトル拡散通信システムの構成を図－1に示す。

スペクトル拡散通信における一次変調には，周波数変調，位相変調，パルス符号変調およびパルス幅変調等従来の一般的な変調方式が利用される。情報信号は，一次変調部において搬送波 $A\cdot\cos 2\pi f_0 t$ によって変調されると，



図－1　スペクトル拡散通信システムの概念図

$$y(t)=m(t)\cdot\cos\left[2\pi f_0 t+\psi(t)\right] \tag{1}$$

の形の一次変調信号になる。　二次変調部では，一次変調信号 y(t) を PN 符号 p(t) によって拡散変調し，

$$S_1(t)=y(t)\times p(t) \tag{2}$$

の形の拡散変調信号にした後，増幅して送信する。

受信側では，送られてきた拡散信号を元の情報信号に復調するために，まず二次復調部において，送信側で使用した PN 符号と同じ PN 符号 p(t) を拡散信号 $S_1(t)$ に掛け合わせると，

$$S_2(t)=S_1(t)\times p^2(t) \tag{3}$$

となる。

(3)式で表わされる二次復調信号 $S_2(t)$ において，$p^2(t)=1$ であるならば，$S_2(t)=S_1(t)=y(t)$ となって，一次変調信号と同じ形の信号になる。この信号を後段の一次復調部に入力し，情報信号成分だけを通過する B. P. F（Band Pass Filter）を通すと原情報信号を取り出すことができる。ここで，$p^2(t)=1$ となることを符号同期がとられていると言い，PN 符号の種類，時間的タイミングおよび位相が一致していることである。

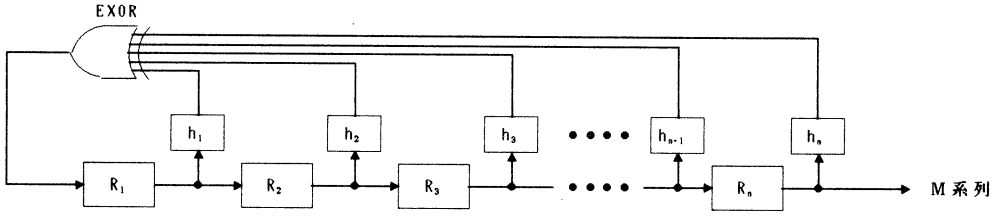
送信側と受信側の PN 符号がそれぞれ $p_1(t)$，$p_2(t)$ で異なっている場合は，

$$S_2(t)=S_1(t)\times p_1(t)\times p_2(t) \tag{4}$$

となって，符号同期がとられず，原情報信号は復調されないことになる。

3．拡散符号

スペクトル拡散通信では，拡散符号として M 系列[1)9)10)]，変形 M 系列[8)]，GOLD 符号[1)3)]等が用いられる。これらの中で，本研究では発生するための回路構成が簡単な M 系列を用いて実験シ



図－2　シフトレジスタによる M 系列発生器

ステムを構成している。以下にM系列の発生法，性質等について簡単に述べる。

3．1　M系列

M系列は，最大長系列あるいは最大周期系列（Maximum length sequence）等と呼ばれ，規則性と不規則性を合わせ持つ系列である。M系列は，発生法が極めて容易で，複数個のレジスタと線形演算回路で発生することができる種々の符号系列の中で最長の周期を持つ符号系列である。M系列は，規則性を持つから，その性質は既知である。また，不規則性を有するから，不規則信号の代用として利用される。通信や暗号の分野等において利用する場合，その規則性を知らない者にとっては暗号になり，規則性を知っている者には意味のある符号となる。スペクトル拡散通信の分野では，このようなM系列の性質を利用してPN符号として用いている。

3．2　M系列の発生法

M系列は，図－2に示すようにn段のシフトレジスタR_i(i＝1，2・・・N)の各段の出力にh_i(h_i＝0または1)の係数を乗じてフィードバックをかけた回路によって発生することができる。

各シフトレジスタは，“0”または“1”の値を持ち得るものとする。全てのシフトレジスタの初期状態が，“0”である場合は，回路が動作を始めても回路の状態に何の変化も起らない。しかし，いずれかのシフトレジスタの初期状態が“1”であった場合，フィードバック回路の働きによって，クロックパルスが入る毎に状態が変化することになる。

表－1　シフトレジスタの結線法とM系列数

段数	最長周期	符号数	M系列数	結線法
2	3	1	1	[2,1]
3	7	2	1	[3,1]
4	15	2	1	[4,1]
5	31	6	3	[5,2] [5,4,3,2] [5,4,2,1]
6	63	6	3	[6,1] [6,5,2,1] [6,5,3,2]
7	127	18	9	[7,1] [7,3] [7,3,2,1] [7,4,3,2] [7,6,4,2] [7,6,3,1] [7,6,5,2] [7,6,5,4,2,1] [7,5,4,3,2,1]
8	255	16	8	[8,4,3,2] [8,6,5,3] [8,6,5,2] [8,5,3,1] [8,6,5,1] [8,7,6,1] [8,7,6,5,2,1] [8,6,4,3,2,1]
9	511	48	10	[9,4] [9,6,4,3] [9,8,5,4] [9,8,4,1] [9,5,3,2] [9,8,6,5] [9,8,7,2] [9,6,5,4,2,1] [9,7,6,4,3,1] [9,8,7,6,5,3]
10	1023	60	10	[10,3] [10,8,3,2] [10,4,3,2] [10,8,5,4] [10,9,4,1] [10,8,4,3] [10,8,5,1] [10,5,3,2] [10,5,2,1] [10,9,4,2]

このようなとき，いずれかのシフトレジスタの出力から，“0”，“1”で構成される系列が得られる。この系列は，係数h_iの採り方によって周期が長くなったり短くなったりするが，h_iを適当に選ぶとn段のシフトレジスタを用いて発生することのできる最大周期系列（M系列）が得られ，その周期は2^n-1となる。

表－1にn段のシフトレジスタで発生できるM系列の符号数と結線法[3)]の例を示す。表－1において，例えば結線法が〔5，3〕とは，フィードバック係数が$h_1=h_2=h_4=0$，$h_3=h_5=1$であることを意味する。

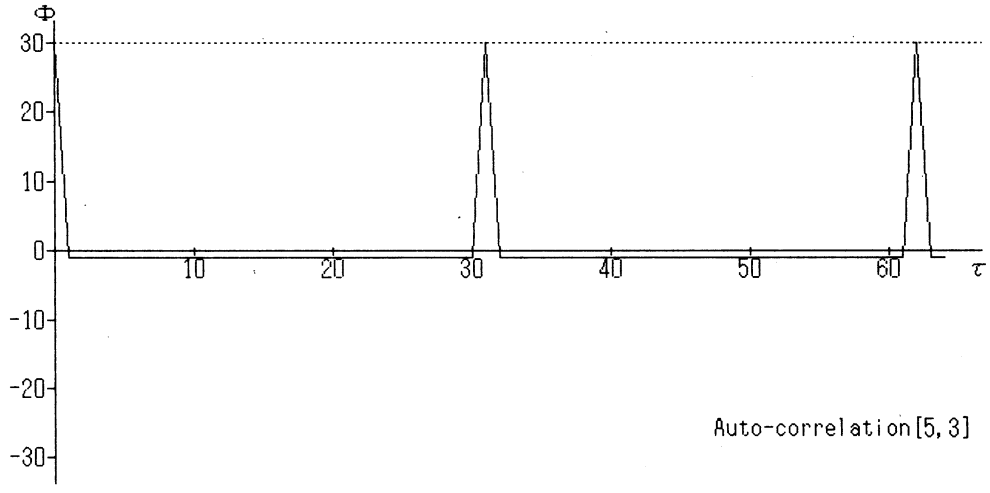
3．3　拡散符号の相関特性

これまでの説明においては，スペクトル拡散に用いる符号をPN符号と記していたが，ここからは，拡散符号と記する。

2.1において，符号同期がとられるためには，$p^2(t)=1$でなければならないことを述べた。また，送信側と受信側の拡散符号が異なっている場合は，符号同期がとれず，原情報信号は復調されないことも述べた。このことは，送信側で用いる拡散符号と受信側で用いる拡散符号との相関性を問題にしていたのである。すなわち，スペクトル拡散通信方式においては，拡散符号として用いるM系列の相関特性（自己相関特性および相互相関特性）が重要な要素になっている。

自己相関とは，ある信号とそれをある大きさだけ位相シフトしたものの一致の程度を表わすものである。

M系列の自己相関関数$\phi_A(i)$は，次のように表わされる。



図－3　5次のM系列の自己相関関数・・・結線法［5，3］

$$\phi_A(i)=\begin{cases}1 & i=0\ (mod\ p)\\ -1/p & i\neq 0\ (mod\ p)\end{cases} \tag{5}$$

ただし，pは符号長，iは位相シフトのビット数である。

(3)式および(5)式から理解できるように，送信側と受信側で同じM系列を用いていても，M系列の位相が一致していなければ，二次復調部からの出力信号は，極めて小さくなってしまい復調できないことになる。

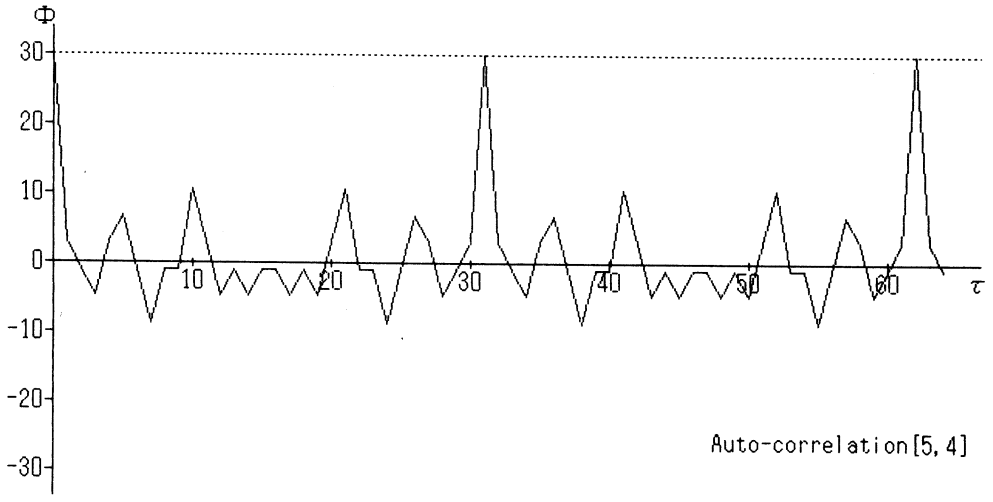
図－3および図－4にそれぞれ5次（n＝5）で［5，3］の結線法で得られるM系列と［5，4］の結線法で得られる非M系列の自己相関関数を示す。

この図からも明らかなように，結線法が［5，3］の場合，周期＝31，最大ピーク＝31，第2ピーク＝－1，弁別指数（最大ピークと第2ピークとの差)＝32であるが，［5，4］の結線法で発生される系列は，非M系列であり，周期＝21，最大ピーク＝21，第2ピーク＝1，弁別指数＝20である。後者の場合の弁別指数は，M系列の場合よりも40％以上低下している。このようなM系列の性質は，受信機の復調能力に影響する。

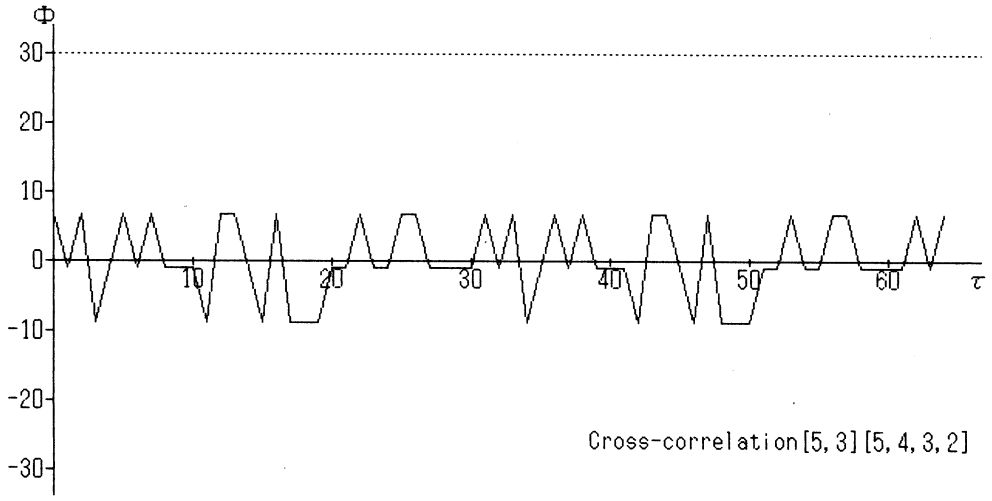
相互相関とは，相異なる2つの符号系列の類似の程度を表わすものである。

図－5に5次（n＝5）で［5，3］の結線法と［5，4，3，2］の結線法で発生するM系列の相互相関関数を示す。

図－5に見られるように，異なったM系列間にも相互相関があるため，スペクトル拡散通信における拡散符号として利用すると，チャンネル間の干渉が起こるという問題が存在する。しか



図－4　5次の非M系列の自己相関関数・・・結線法［5，4］



図－5　5次のM系列の相互相関関数・・・結線法［5，3］,［5，4，3，2］

し，発生回路が簡単であること，他に理想的な符号系列が知られていないこと等の理由で，本研究では，後述するスペクトル拡散変復調装置の符号系列としてM系列を利用している。

4．実験システムの概要

本章では，スペクトル拡散通信方式によるパソコン間ネットワークのためのデータ多重通信実験システムの仕様，送信側および受信側の装置の構成等について述べる。

4．1　実験システムの仕様

本システムは，1本の伝送路を使い，同一周波数帯を使用してパソコン間のデータ多重通信を行なうための実験システムである。

本実験システムの仕様（表－2参照）は，

(1)　変調方式は，直接拡散変調[1)]とする。

(2)　各種実験を行なうためにクロック周波数は可変とする。

(3)　スペクトル拡散通信方式は，雑音に強いという特性を持っているので，伝送路には電話線を使用する。

(4)　パソコンは，FM-11AD2を使用する。

(5)　各パソコンには，互いに異なる結線法で発生される9次のM系列を割り当てておく。

(6)　通信相手のパソコンの指定は，送信側で相手のパソコンに割り当てられているM系列を指定して行なう。

(7) 伝送速度は，1200bps とする。

(8) 簡単化を図るため単方向通信とする。

表－2　実験システムの仕様

項　　目	仕　　様
変 調 方 式	スペクトル拡散直接変調方式
拡 散 符 号	9次のM系列（符号長511）
クロック周波数	100kHz～200kHz（可変）
伝 送 路	アナログ信号
使用パソコン	富士通　FM-11 AD2（CPU 68B09）
伝 送 速 度	1200 bps
伝 送 形 態	単方向通信
1 次 変 調	ＦＳＫ変調
端末インターフェース	RS-232C準拠
同 期 方 式	外部クロック同期

4．2　送信側の構成

本システムの送信側の構成は，パソコンの RS-232C 端子からの出力信号を一次変調部において FSK（Frequency Shift Keying）変調を行なった後，二次変調部で拡散変調を行なうようにしている（図－6参照）。

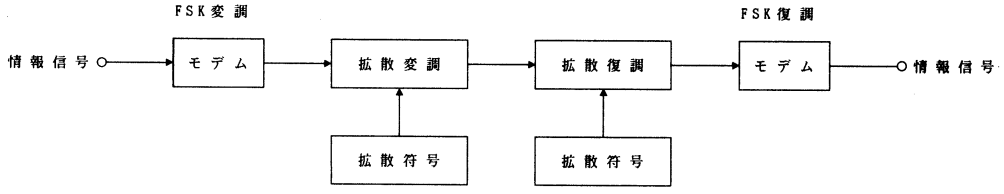
(1) 一次変調部

本システムではパソコンのデータを伝送するのが目的であるので，情報信号として考えるのはディジタル信号である。このディジタル信号を変調してアナログ信号に変換するために，AMD（Advanced Micro Devices）社製のモデム用 IC・Am7910を使用してモデムを作製した。このモデムは，一次変調部として動作する。モデム用 IC・Am7910は，1200bps のディジタル信号を FSK 変調するもので，情報信号が“1”の時は1200Hz，“0”の時は2200Hz の信号に変調する（付図－1参照）。

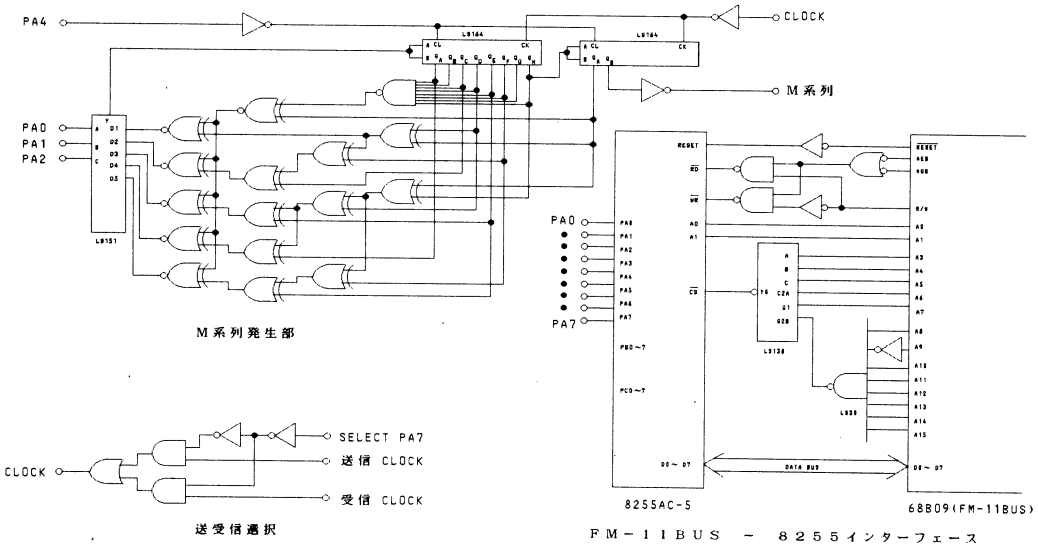
(2) 二次変調部

二次変調部では，一次変調部で FSK変調された信号を拡散符号によって拡散変調を行なう。本研究では，拡散符号発生器のクロック速度（周波数）を可変にして実験を行なう。スペクトル拡散信号の帯域幅はクロック速度によって変化するため，拡散変調器を広帯域化しておく必要がある。したがって，拡散変調器には，平衡変調器（LM1496：ナショナルセミコンダクタ社製）を使用している（付図－2参照）。

(3) 拡散符号発生器



図－6　実験システムの概念図



図－7　拡散符号発生器の回路構成

拡散符号には，発生できる符号数，相互相関値の最大値等を考慮して9次のM系列を使用している。M系列発生回路は，送信時および受信時のクロック周波数の変更やM系列の選択をソフトウェアで制御できるように構成し，そのための制御信号は，パソコンの内部バスから8255（Programmable Peripheral Interface）を通して得ている。拡散符号発生器の回路構成を図－7に示す。

4．3　受信側の構成

送信側で2回変調をかけているスペクトル拡散信号を元の情報信号に復調するためには，受信側で2回復調する必要がある。

(1)　拡散復調部

拡散復調部では，スペクトル拡散信号と拡散符号を乗算することにより，広帯域に拡散されていた信号は狭帯域の信号に復元される。この場合，受信側の拡散符号の位相や種類が送信側のものと異なると，再度拡散される。また，狭帯域の妨害波等はこの部分で拡散されることになり，雑音成分になる。すなわち，妨害波電力のほとんどが広帯域に拡散されて，情報帯域の外側に分布することになる。したがって，拡散復調器の出力を帯域通過フィルタを通過させることにより狭帯域の情報信号が得られる（付図－2参照）。

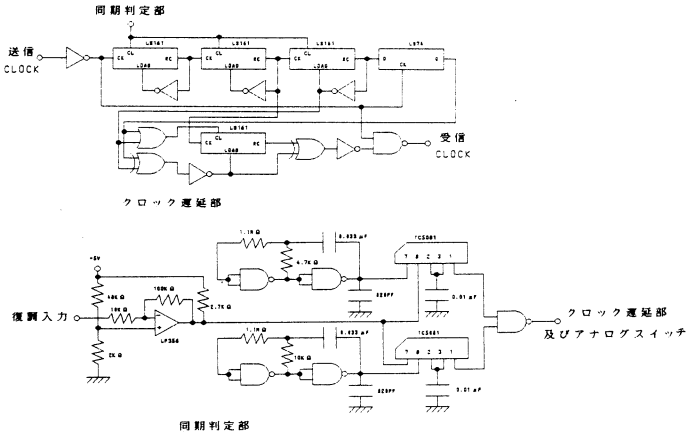
(2)　情報復調部

情報復調部では，拡散復調されB. P. Fを通過した狭帯域信号をモデムを介してRS-232C端子

からパソコンに入力している（付図－1参照）。

4．4　同期回路

スペクトル拡散通信では，受信側の拡散符号が送信側の拡散符号の周波数および位相に一致していないと復調できないことは既に述べたが，同期がとれた状態が保持されていなければ通信内容は伝送されない。そのため，スペクトル拡散通信では同期の問題が一番重要であり，また一番難しい部分でもある[6)7)]。



図－8　同期回路の構成

本システムでは，比較的狭い場所でのネットワークを対象にしているので，別回線クロック信号伝送方式によって全てのパソコンに基準となるパソコンから別回線でクロック信号を伝送する方式で構成した（図－8参照）。

5．伝送実験の方法と結果

本章では，製作したスペクトル拡散変復調器を用いて行なったデータ多重伝送実験の方法と結果について述べる。

5．1　実験システム

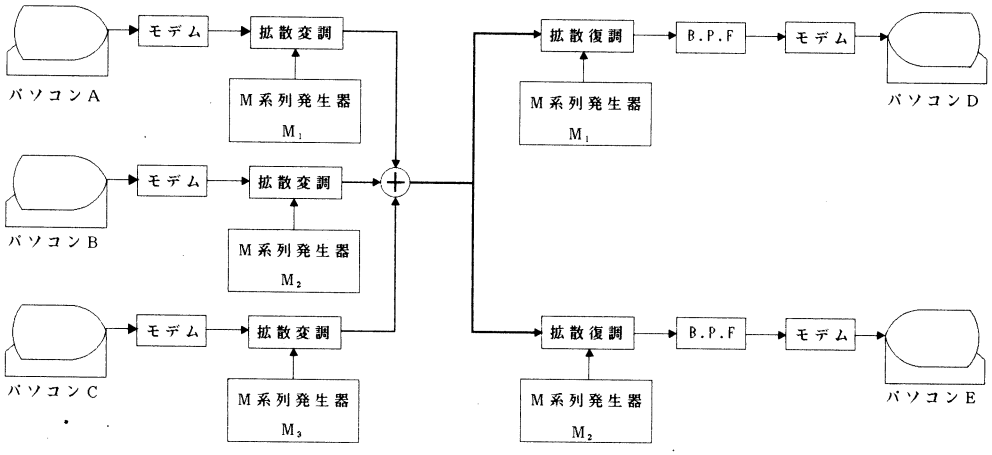
送信側のパソコン A, B, C に M 系列 M_1，M_2，M_3，を割り当てる。また，受信側の，パソコン D, E には M 系列 M_1，M_2を割り当てる（図－9参照）。

送信側の3台のパソコン A, B, C から，それぞれに付属している変調器を介して別々のタイミングで送信を開始し，加算器で3個の拡散信号を1個にまとめて1本の伝送路に多重化して伝送する。受信は，パソコン D に付属した復調器，またはパソコン E に付属した復調器によって復調する。

この実験システムによって伝送実験を行ない，以下に示す測定を行なったが，互いに通信しているパソコン同志は，他の拡散信号の影響をほとんど受けずに伝送内容を復調することが可能であることが確認された。

5．2　クロック周波数－誤り率特性の測定

図－9に示すような実験システムにおいて，同じ M 系列（M_1）を割り当てた1組のパソコン



図－9　実験システムの構成

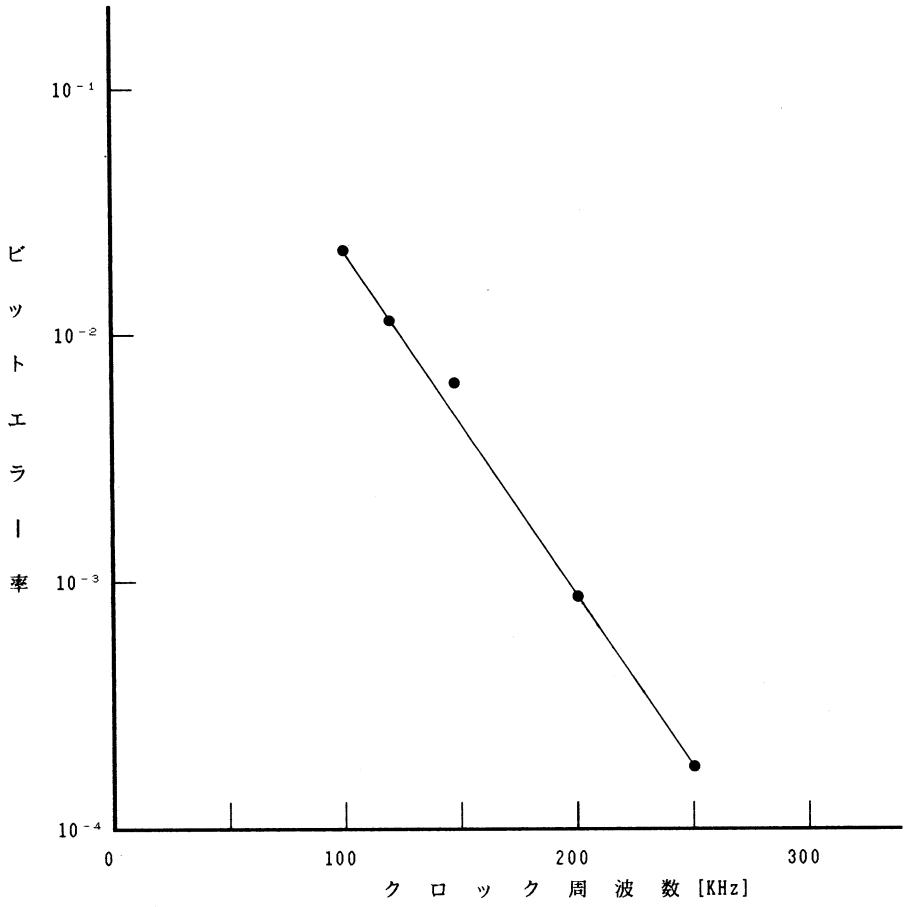
の送信側から，情報として10進数の100～200までのアスキーコードを送出し，受信側でデータを復調し，ビットエラー率（BER：Bit Error Ratio）を測定した（図－10参照）。BER の測定は，クロック周波数を100KHz～250KHz まで種々変化して行なった。図－10のグラフから，M 系列のクロック周波数を高くしてゆくにしたがって BER が良くなってゆくことがわかる。これは，クロック周波数を高くすることによって拡散率（拡散符号のクロック速度／情報のビット速度）が高くなるためである。すなわち，この実験から拡散率を高くすることにより BER が改善されることが確認された。

6．おわりに

本稿は，スペクトル拡散通信方式を LAN へ応用するための基礎的な研究について述べたものである。

本研究では，スペクトル拡散通信方式による変復調器を試作して一本の伝送路を用いるデータ多重伝送実験システムを構成し，実験を行なった結果，複数台のパソコン間のデータ多重伝送が可能であることを確認した。

スペクトル拡散通信においては，同期の確立が一番重要であり，また多くの技術的に難しい問題を含んでいる。同期方式については，別回線クロック信号伝送方式，同期信号挿入方式，電源周波数逓倍方式，クロック分割方式，スライディング相関方式[1)6)7)]等の諸方式が提案されている。本研究で作製した実験システムでは，これらの同期方式の中，別回線クロック伝送方式を利用して同期回路を構成した。この同期方式は，本システムのように狭い範囲内に限られたネットワークにおいては有効であると考えられるが，(1)別回線が必要になること，(2)別回線を用いることによって，雑音に強いというスペクトル拡散通信の特徴が失われる等の問題がある。その他の各同

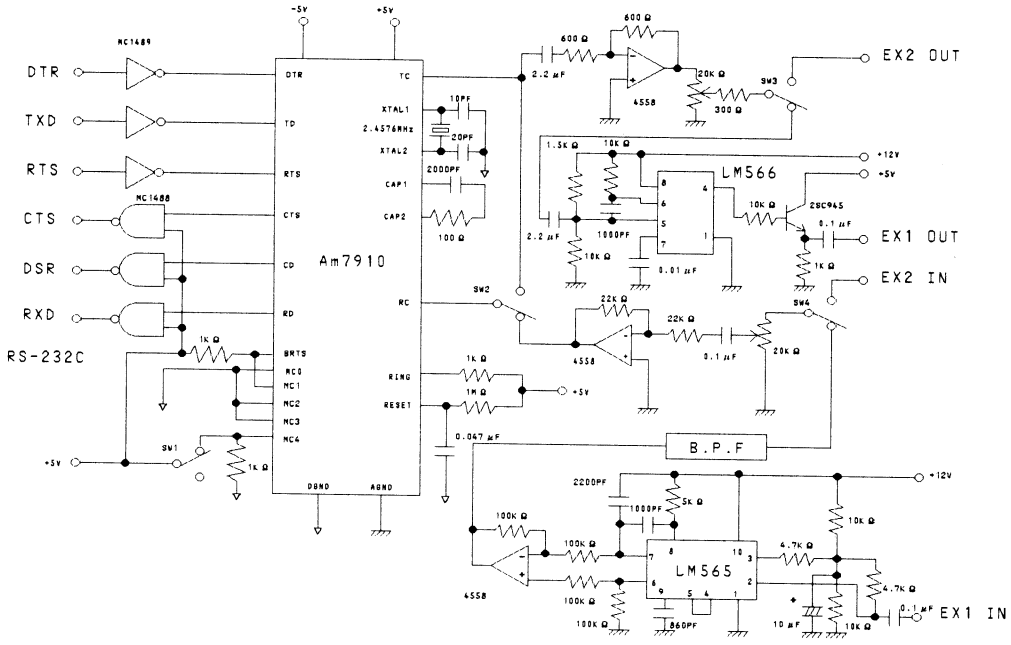


図—10　誤り率特性

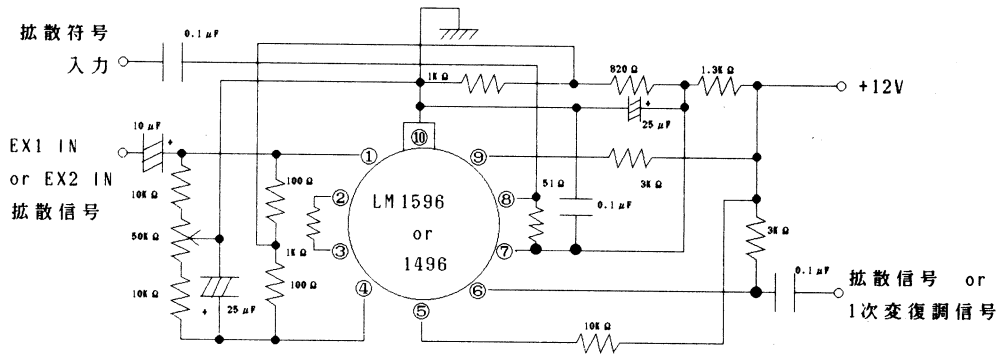
期方式についても回路を構成して実験を行なった結果，いずれの方式にも問題点があるため，今後より一層同期方式に関する研究を続けなければならない。

LAN においては，既に他のパソコンと通信中のパソコンにデータを送信することはない。本システムでは，各パソコンを識別するために互いに異なる種類の M 系列を与え，送信側で通信相手のパソコンの M 系列を指定するようにしているので，既に通信中のパソコンにデータが送信される可能性がある。したがって，この点に対する研究も必要である。

その他，スペクトル拡散通信には拡散符号の相関特性とチャンネル間の干渉の問題がある。この点に関しては，チャンネル間干渉が起らないような拡散符号の研究，またはチャンネル間干渉の除去技術の研究[11]等が必要である。同期方式の研究と共に今後の研究課題にしたい。



付図－１　一次変調復調部



付図－２　二次変調復調部

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 Spread Spectrum Communication-A Tutorial, IEEE Trans., CON-30, P.855～P.884(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方式とその適用分野，Ⅰ，電子通信学会誌，Vol.65, No.9, P.965～P.971(1982)
7）角川靖夫，塚本賢一：スペクトラム拡散通信方式とその適用分野，Ⅱ，電子通信学会誌，Vol.65, No.10, P.1053～P.1059(1982)
8）住吉浩次，谷本正幸，駒井又二：同期式スペクトラム拡散多重通信方式の理論的検討，電子通信学会通信方式研究会，CS81-11, P.61～P.66(1981)
9）柏木潤：M 系列再発見，計測と制御，Vol.20, No.2, P.236～P.245(1981)
10）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)
11）河野隆二，小林伸一，高橋伸也，中田正，羽鳥光俊，今井秀樹：スペクトラム拡散通信方式を用いた他局間干渉除去非同期符号分割多重 LAN の製作，電子通信学会オートマトンと言語研究会，AL85-77, P.25～P.30