

# チャープ搬送波を用いる CDMA 通信システム

今村 彰隆, 森中 力, 佐藤 正志

## CDMA Communication System with Chirp Signal Carrier

Akitaka IMAMURA, Riki MORINAKA and Masashi SATO

### Abstract

In this research, we propose a system that uses the chirp signal that is the frequency sweep signal for carrier. The proposed system does not need any complex code synchronizing system in the receiver, and, in addition, a correlation characteristic is improved by chirp carrier in CDMA. This report clarifies the relation between the correlation characteristic and the parameter of chirp carrier, and shows that the performance of multiple access is improved when the PN sequence with an especially inferior correlation characteristic is used.

### 1. まえがき

近年, 携帯通信に対する需要は膨張の一途をたどり, 音声通信に加えてデータ通信も盛んに行われている. これらの需要に応えるには, 限られた資源とも言われる周波数帯域を有効に活用することが必要になる. 具体的には各通信システムに割り当てられた周波数帯域をより多くのユーザが共用できるような多元接続方式や情報の伝送効率を高める多重通信方式が求められている. 昨今, これらの要求に応える方式として直接拡散による符号分割多元接続 (DS-CDMA) が有望視され, すでに導入が始まっている. しかし, 帯域を共用するユーザ間の干渉によって十分な性能が得られていない.

DS-CDMAにおける多元接続性の改善については種々の方式が提案されているが, 本研究では, 搬送波に周波数掃引信号であるチャープ波を用いるシステムを提案している. 提案システムの特徴は, 受信側で複雑な符号同期システムを必要としない点, さらにチャープ搬送波によって相関特性が改善される点が挙げられる. システム構成の特徴としては, 送信側で分散性チャープフィルタを用意し, 受信側では圧縮性チャープフィルタを用意するが, このインパルス応答に予め拡散符号を乗算し

おく点にある.

CDMAの多元接続性の評価には相関特性が重要であり, 本システムの多元接続性もコンピュータシミュレーションによる相関特性で評価している. 通常のDS-CDMAでは搬送波が相関特性に影響することはないが, チャープ搬送波を用いる本システムでは, 各チップに異なる周波数の搬送波が乗算されるため, 相関特性はチャープ搬送波のパラメータによって良くも悪くも変化する.

本報告は相関特性とチャープ搬送波のパラメータの関係を明らかにし, 特に相関特性の良くないPN系列を用いる場合に多元接続性が改善されることを示している.

### 2. チャープ搬送波を用いるCDMA

チャープ方式のスペクトル拡散通信は簡便な方式であるが, システム基本機能として多元接続性を持たない. また別の見地から, 直接拡散方式のスペクトル拡散通信は電力密度スペクトルの点で周波数を有効利用しているとは言い難く, また多元接続性についても拡散符号の相互相関によって制限を受ける. この章では上述の課題に対し, 両方式を融合するチャープ搬送波を用いるCDMA方式 (Chirp-CDMA) を提案し, その原理を述べる.

## 2-1. 動作原理

本方式の変調波 $e(t)$ は、QPSK変調された実数チャープ信号と拡散符号 $c(t)$ の積

$$e(t) = \cos\left(2\pi\left(f_c t + \frac{k}{2}t^2\right) + \theta\right) c(t) \quad (2.1)$$

で表される。 $k$ は周波数掃引率で $k = \Delta f/T$ の関係にあり、 $\Delta f$ は周波数掃引幅、 $T$ は3つの周期（掃引周期、シンボル周期、拡散符号周期）を表し、チャープ信号に同期している。

復調側ではチャープ信号のパルス圧縮処理のために伝達関数 $H(f)$ 、符号逆拡散のために時間反転した $c(-t)$ をフーリエ変換で $C(-f)$ とし、両者の畳み込み積分

$$H_c(f) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\lambda)C(-f - \lambda)d\lambda \quad (2.2)$$

を圧縮フィルタの伝達関数として用いる。この圧縮フィルタの応答信号は、式(2.2)を逆フーリエ変換したインパルス応答

$$h_c(t) = \sqrt{k} \cos\left(2\pi\left(f_c t - \frac{k}{2}t^2\right)\right) c(-t) \quad (2.3)$$

と $e(t)$ の畳み込み積分

$$f(t) = \int_{-T/2}^{T/2} e(\tau)h_c(t - \tau)d\tau \quad (2.4)$$

で求まる。

つぎに同期検波を行うために、基準信号として中心周波数の余弦波

$$g(t) = \cos(2\pi f_c t) \quad (2.5)$$

を乗算し、低域通過フィルタを通すことで

$$f_1(t) = \frac{\sqrt{D}}{2} \frac{\sin(\pi \Delta f t)}{\pi \Delta f t} R_c(-t) \cos(\theta) \quad (2.6)$$

が得られる。この信号を時刻 $t=0$ で標本化し、判定することで復調結果が得られる。

ただし $D$ はパルス圧縮率とよび $D = \Delta f T$ であり、 $\sqrt{D}/2$ が振幅の利得になる。また $R_c(t)$ は $c(t)$ の自己相関関数である。

なお式(2.6)は $t=0$ 付近の近似式である。また式(2.6)は中心に鋭いピークを持つが、このピークのパルス幅は振幅がゼロになる点で表される。したがって $\text{sinc}(\cdot)$ 関数がゼロになるのは $\Delta f t = 1$ の時なので、その時刻は

$$t = \pm 1/\Delta f \quad (2.7)$$

となる。また、自己相関関数の中心付近は三角波

$$R_c(t) = \begin{cases} 1 + Wt & , t < 0 \\ 1 - Wt & , t \geq 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

で近似ができる。ただし $W = BN$ でDS-CDMAによる片側帯域幅を表し、 $B = 1/T$ がシンボル帯域幅、 $N$ がPN系列の周期長（符号拡散率）である。したがって式(2.8)が同様にゼロになるのは、 $1 + Wt = 0$ および $1 - Wt = 0$ となる時なので、その時刻は

$$t = \pm 1/W \quad (2.9)$$

になる。式(2.6)はこの2つの関数の積であるため、メインローブ幅は式(2.7)または式(2.9)のうち幅の狭い方で表されることになる。したがってピークパルスのメインローブ幅は

$$T_m = \begin{cases} 2/W & , W > \Delta f \\ 2/\Delta f & , W \leq \Delta f \end{cases} \quad (2.10)$$

になる。

## 2-2. 多元接続数

本方式における許容帯域内で同時に運用できるユーザ数を多元接続数 $N_u$ とする。各ユーザからの受信強度が等しくなるように電力制御されているという前提下、 $N_u$ は文献[5]と同様に計算でき、処理利得にパルス圧縮による電力利得 $D/4$ を用いることで

$$N_u - 1 = \frac{D/4}{E_b/N_0} \quad (2.11)$$

を得る。ただし $E_b/N_0$ は、所望の誤り率を得るために必要な1ビット当たりのエネルギー $E_b$ と雑音の電力スペクトル密度 $N_0$ の比である。符号拡散率が低い場合、この多元接続数の達成は困難になる。

## 2-3. 占有帯域幅および帯域制限

Chirp-CDMAの周波数占有帯域幅は、DS-CDMAによる帯域幅とチャープ搬送波の掃引周波数から求めることができる。一次変調信号のシンボル期間を $T$ とすると、シンボルレートは $B = 1/T$ である。これに符号拡散率 $N$ を乗じるとDS-CDMAの両側帯域幅

$$W_D = 2BN \quad (2.12)$$

が得られる。これにチャープ搬送波の掃引周波数 $\Delta f$ を加えるとChirp-CDMAの両側帯域幅

$$W_C = W_D + \Delta f \quad (2.13)$$

が得られる。

一般に位相変調方式の帯域制限は、符号化された情報信号を符号間干渉に考慮したフィルタへ通すことで占有帯域の制限を行う。しかしチャープ波を搬送波に用いる場合、不連続点が符号周期の他にチャープ波の周波数掃引周期でも必ず生ずるため、帯域制限は情報符号列ではなく、チャープ搬送波に対して行うことになる。したがって変調側で用いる分散フィルタのインパルス応答に、適当な窓関数を乗算しておくことで容易に実現される。

## 3. システム構成

本システムの基本構成は一次変調に4相位相変調を用いるDS-CDMAと同様であるが、搬送波に拡散符号周期

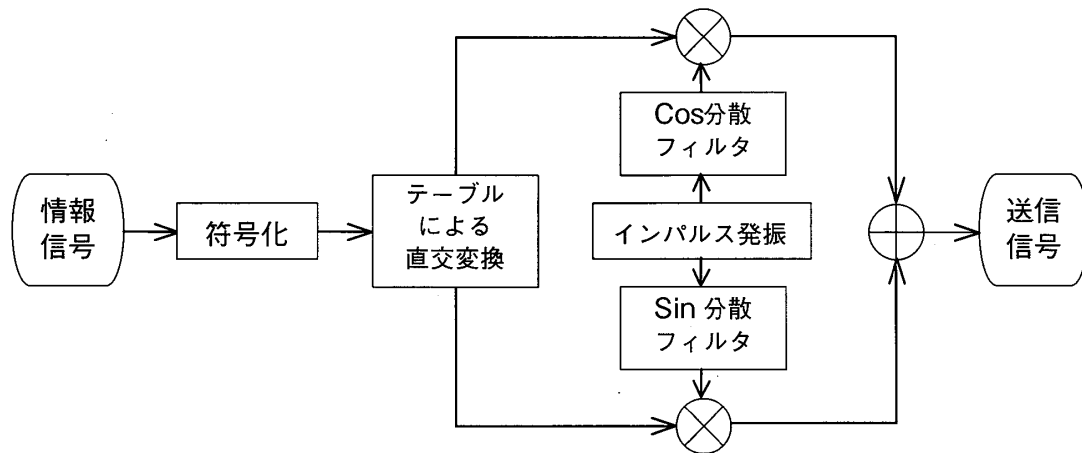


図3.1 Chirp-CDMAの変調回路(同期検波用)

Fig. 3.1 Modulation circuit of Chirp-CDMA for coherent detection

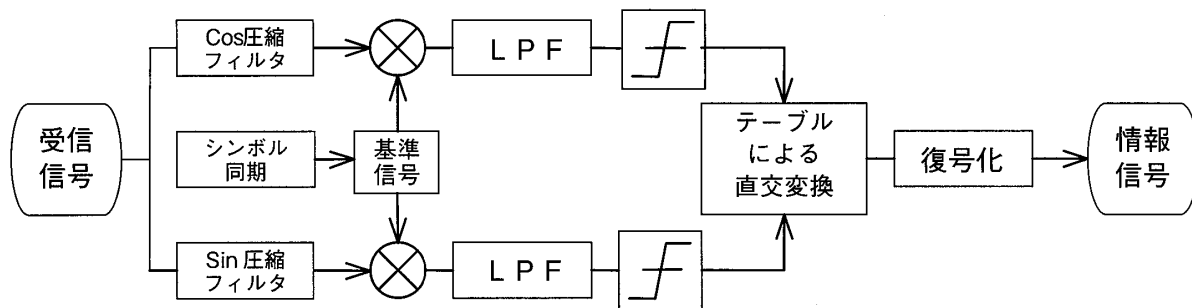


図3.2 Chirp-CDMAの復調回路(同期検波)

Fig. 3.2 Demodulation circuit of Chirp-CDMA by coherent detection

と周波数掃引周期を同期させたチャープ信号を用いる点がDS-CDMAとは異なる。送信側は図3.1で示すように、チャープ発振器と拡散符号の乗算過程を簡略化するため、インパルス応答に予めチャープ信号と拡散符号を乗算した分散フィルタとインパルス発振器で構成している。受信側は図3.2で示すような構成とし、パルス圧縮フィルタのインパルス応答には、拡散符号とチャープ信

号を乗算し時間反転した信号を用いて逆拡散を行っている。同期検波に必要な基準信号は、シンボル同期回路から発せられるインパルス信号を基準信号発振器に入力することで得られ、圧縮フィルタ出力と乗算される。この基準信号発振器は式(2.5)のインパルス応答を持つ分散フィルタである。

受信機は同期検波の他に図3.4で示すような遅延同期

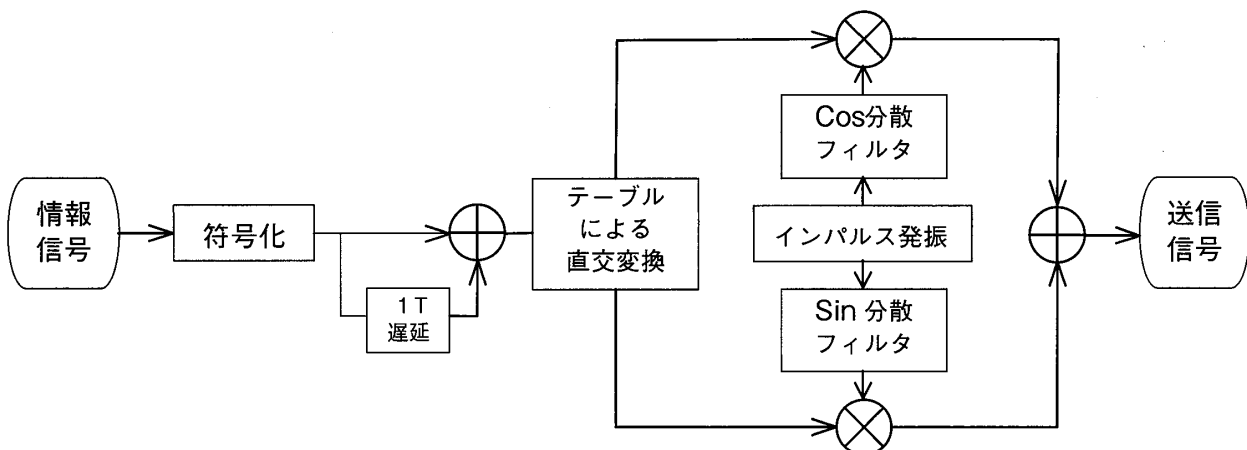


図3.3 Chirp-CDMAの変調回路(遅延検波用)

Fig. 3.3 Modulation circuit of Chirp-CDMA for differential detection

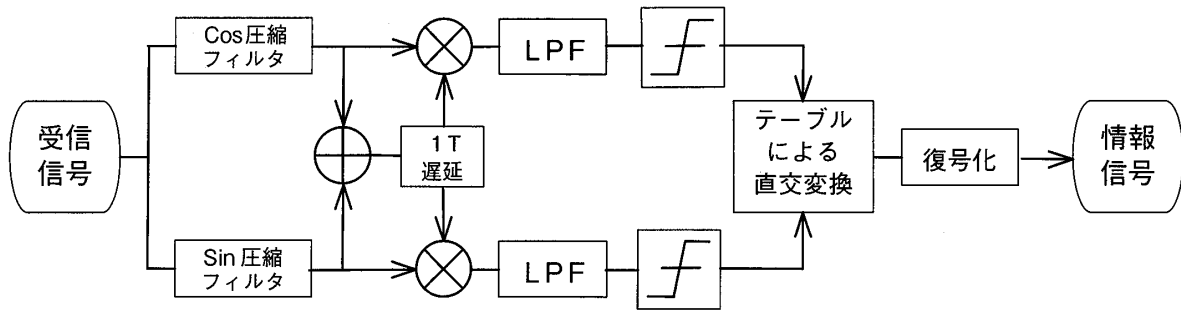


図3.4 Chirp-CDMA の復調回路 (遅延検波)

Fig. 3.4 Demodulation circuit of Chirp-CDMA by differential detection

検波も可能である。その場合、送信側は図3.3で示すように差動符号化が必要となる。受信側では同期検波とは基準信号の生成方法が異なるため、受信信号から得られる2つの圧縮フィルタ出力を加算することで基準位相を得ている。本方式でも一般論と同様にフェージングが生ずる環境では遅延同期検波の方が有利になる。なお本方式では、直交信号を得るためにヒルベルト変換を用いることはできない。

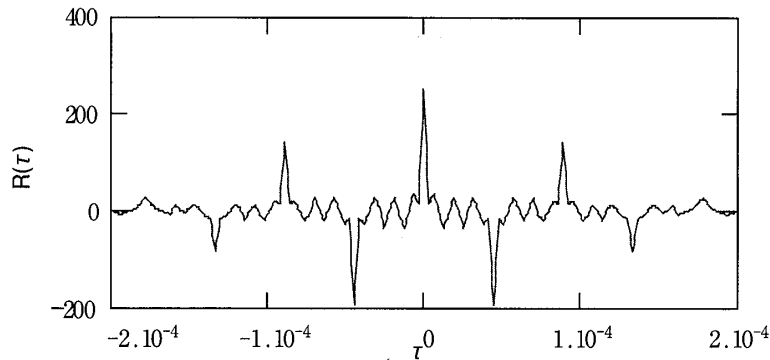
び相互相関は異なる特性になる。この章ではDS-CDMAとChirp-CDMAの相関特性の違いをシミュレーションによって解析している。

#### 4-1. DS-CDMAとChirp-CDMAの自己相関特性の違い

搬送波にチャープ信号が用いられたChirp-CDMAの自己相関関数は、PN系列自身の自己相関関数とは異なるものとなる。中心に鋭い相関ピークを持つ点は同様であるが、周辺の間値はPN系列の自己相関関数の影響はあるものの総じて低い値となる。ただしPN系列の周期(符号拡散率)が小さい場合、周辺部の分散は大きくなる。

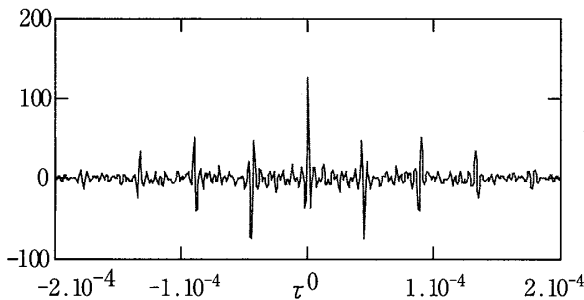
#### 4. DS-CDMAとChirp-CDMAの相関特性

Chirp-CDMAは搬送波にチャープ信号を用いることで、DS-CDMAと同じPN符号を用いても自己相関およ

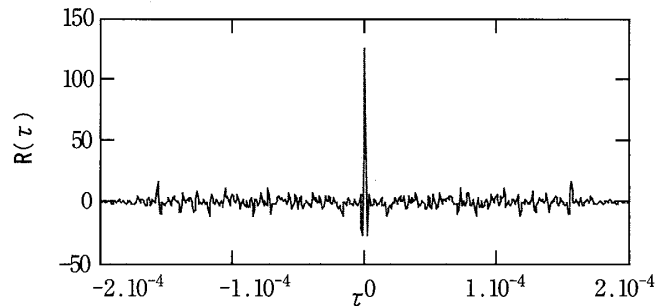


(a) PN 符号の自己相関特性 (悪い例)

(a) Auto-correlation characteristic of PN code (bad example)



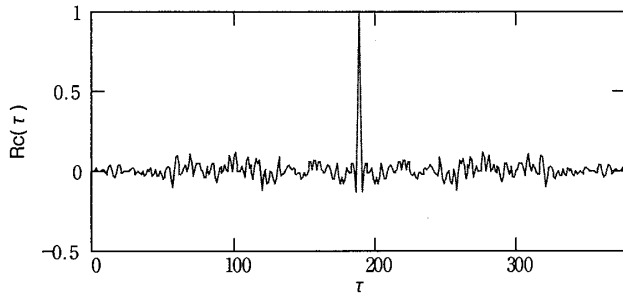
(b) DS-CDMA の自己相関特性  
(b) Auto-correlation characteristic



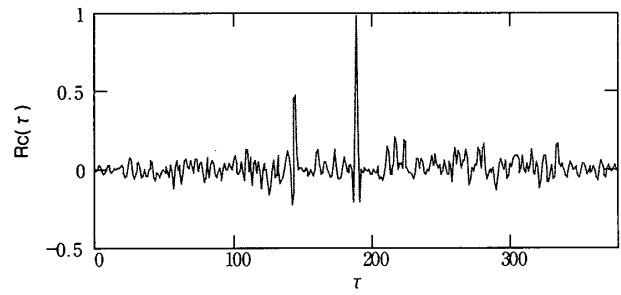
(c) Chirp-CDMA の自己相関特性  
(c) Auto-correlation characteristic

図4.1 PN 符号および各送信波の自己相関特性

Fig. 4.1 Auto-correlation characteristic of PN code and transmitter signal



(a) 単独波の自己相関特性 (自局宛のみ)  
(a) Solitary wave (only to local station)



(b) 合成波の自己相関特性 (自局宛 + 他局宛)  
(b) Composite wave (local station and another station)

図4.2 DS-CDMA 送信波の自己相関特性

Fig. 4.2 Auto-correlation characteristic of DS-CDMA

PN系列の自己相関関数が悪い例として、複数のピークが生じるものを図4.1(a)に示す。このPN系列を用いたDS-CDMAの自己相関関数を図4.1(b)で示し、同様にChirp-CDMAについて図4.1(c)で示す。DS-CDMAでは複数あった相関ピークがChirp-CDMAでは1つとなり、CDMAに求められる相関特性へと大幅な改善が見られる。これはDS-CDMAがPN系列の各チップと乗算される搬送波の周波数が一定なのに対して、本方式では異なる周波数の搬送波が乗算されることで、特徴付けの因子が1つ増えることになる。ただしこの周波数成分は他の成分と直交していない。また本方式は観点を変えると、アナログPN系列と考えることもでき、文献 [6] が振幅変調でアナログ化しているのに対し、本方式は周波数変調でアナログ化していると言える。したがってフェージング等の振幅変動にはロバストであると予想されるが、周波数掃引分の帯域を必要とする。

#### 4-2. 拡散符号の位相と自己相関の関係

##### (1) DS-CDMAについて

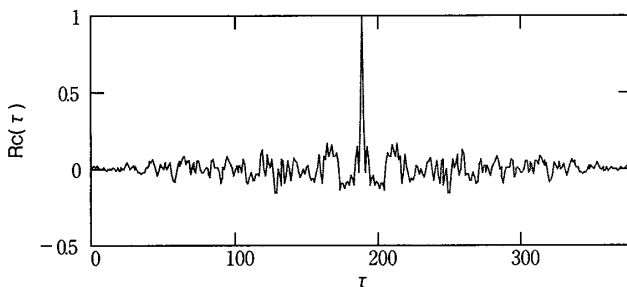
一般にCDMAでは各局に異なるPN符号を割り当てるが、同じPN符号であっても位相を変えて相関ピークが重ならないようにすれば使用が可能になる。このような

位相の異なる同系列は、下り回線のような同期CDMAで使用可能であるが、上り回線のような非同期CDMAでは、相関ピーク位置の制御がされないため、同じPN符号が使われることはない。例として図4.2(a)にDS-CDMA送信波の自己相関関数を示し、図4.2(b)にこの信号を用いた自局宛の送信波と同PN符号で位相差を15チップとした他局宛の送信波が共存する場合の相互相関特性を示す。ただし時間差 $\tau$ では標本点数を表している。

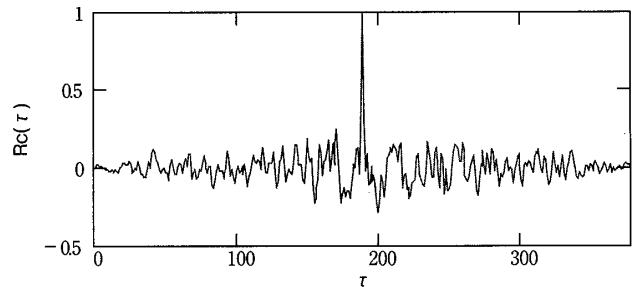
##### (2) Chirp-CDMA について

Chirp-CDMAでは拡散符号に同じPN符号を用いても、PN符号とチャープ搬送波の位相が異なれば、相関ピークはかなり低い値になる。したがって本方式では非同期システムであっても、位相が異なれば同じPN符号が使用可能になる。DS-CDMAシステムが拡散符号の数によって多元接続数を制限されるのに対し、本システムでは大幅に改善できる可能性がある。例として図4.3(a)に本方式による送信波の自己相関特性を示し、図4.3(b)に自局宛と位相差15チップで同PN符号が乗算された他局宛信号が共存する場合の相互相関特性を示す。

DS-CDMAと同様に本方式でも符号拡散率が低い場合は、干渉成分の抑圧効果が小さくなる。したがって目的局の受信強度が弱い時や干渉成分の受信強度が強い状



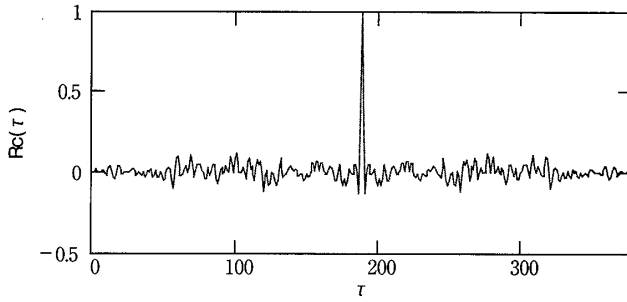
(a) 単独波の自己相関特性 (自局宛のみ)  
(a) Solitary wave (only to local station)



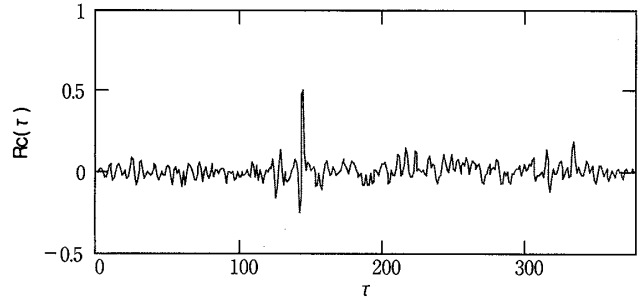
(b) 合成波の自己相関特性 (自局宛 + 他局宛)  
(b) Composite wave (local station and another station)

図4.3 Chirp-CDMA 送信波の自己相関特性

Fig. 4.3 Auto-correlation characteristic of Chirp-CDMA



(a) 自己相関 (位相差 0 チップ : 自局宛)  
 (a) Auto-correlation characteristic (difference 0 chip local station)



(b) 相互相関 (位相差 15 チップ : 他局宛)  
 (b) Cross-correlation characteristic (difference 15 chips: another stations)

図4.4 DS-CDMA の相関特性  
 Fig. 4.4 Correlation characteristic of DS-CDMA

況へ対応するためには、PN系列の周期を大きくせねばならない

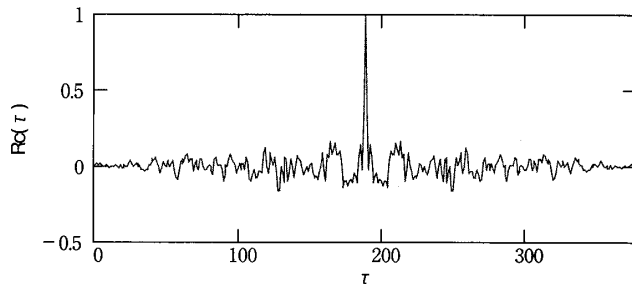
### 4-3. 拡散符号の位相と相互相関の関係

#### (1) DS-CDMAについて

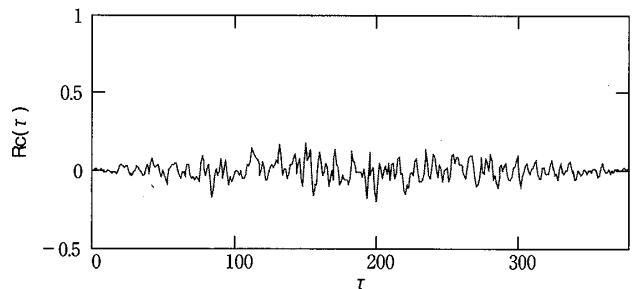
次に、通常のDS-CDMAを想定してM系列と正弦波を乗算した信号について、図4.4に自己相関と相互相関特性を示す。図4.4より、相互相関特性は正負符号の反転はあるものの、M系列の相互相関特性と同様に15チップ分の位相差 ( $15 \times 189/63 = 45$ サンプル) をもつ波形になっている。したがって、下り回線で使われるような同期CDMAシステムであれば、拡散符号として位相の異なるM系列が同時使用可能であることがわかる。

#### (2) Chirp-CDMAについて

本システムの送信波形を想定してM系列とチャープ搬送波を乗算した信号について、図4.5に自己相関と相互相関波形を示す。図4.5では、相互相関波形に相関ピークが生じていないことがわかる。この事実は、本方式が同期・非同期に関係なく、CDMAシステムにおいて位相の異なるM系列の同時使用ができることを示唆してい



(a) 自己相関 (位相差 0 チップ : 自局宛)  
 (a) Auto-correlation characteristic (difference 0 chip local station)



(b) 相互相関 (位相差15チップ : 他局宛)  
 (b) Cross-correlation characteristic (difference 15 chips: other stations)

図4.5 Chirp-CDMA の相関特性  
 Fig. 4.5 Correlation characteristic of Chirp-CDMA

る。

つぎにチャープ搬送波に乗算するM系列の位相を変化させ、そのときの復調側圧縮フィルタ出力の標本値を計測した。図4.6に自己相関値で正規化した結果を示している。ただし復調側の圧縮フィルタに乗算してあるM系列の位相は一定とした。この数値解析は、畳み込み積分による計算結果であるが、相互相関値と等価である。したがって位相差 0 は、自己相関値になる。図4.6から全体の相関特性がわかるが、一部に高い値がある。

つぎに中心周波数と位相差の関係をシミュレーション解析した。図4.7に中心周波数と相互相関の関係を示している。明らかなのは、振幅値の分散が中心周波数の上昇によって収束していることである。また平均値は概ねゼロ付近にあり、周波数との相関は無い。そして位相差を変えてもこの傾向は同様である。

### 4-4. 相関特性に対するチャープ・パラメータの依存性

CDMA の搬送波にチャープ信号を用いることで、送信波の自己相関および相互相関関数が変化する。チャー

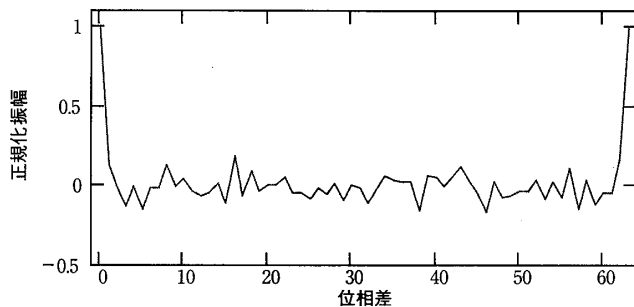


図4.6 M系列位相が異なる Chirp-CDMA の相互相関  
(位相差は拡散符号のチップ毎で0~63, 中心周波数: 150kHz)

Fig. 4.6 Cross-correlation of Chirp-CDMA that M sequence phase is different  
(phase difference is each chip of the spreading code and is 0-63, centre frequency: 150kHz)

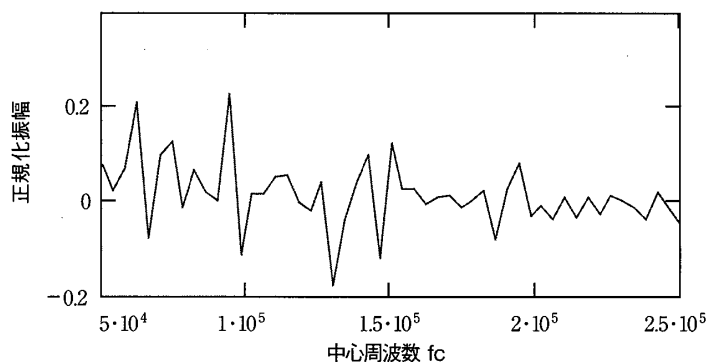


図4.7 中心周波数と相互相関の関係

Fig. 4.7 Relation between centre frequency and cross-correlation

プ信号の各パラメータが相関特性に与える影響について、表4.1で示す緒元により数値解析する。

表4.1 シミュレーション諸元  
Table 4.1 Simulation parameter

変調方式	QPSK
PN系列長	31
ビットレートR	128kBPS
シンボル周期T	$1.529 \times 10^{-5}$ sec
シンボルレートB	65536
サンプリングレート $f_s$	$5.201 \times 10^8$ Hz
ユーザの電力	等電力

#### 4-4-1. 相関関数の評価方法

自己相関および相互相関関数は時間差  $\tau$  の関数として得られるため、そのままでは定量的な評価が出来ない。本研究では文献 [1] で紹介されている弁別指数 (ID: Index of Discrimination) を用いて相関関数を評価する。図4.8で示すようにIDは数値が大きいほど相関関数として好ましいことを表し、 $ID > 0$  の場合に実用的である。ただし本研究では搬送波が乗算された状態で評価する。

#### 4-4-2. チャープ搬送波およびPN系列について

##### (1) チャープ信号のパラメータ

チャープ搬送波は、表4.2のような中心周波数 $f_c$ 、周波

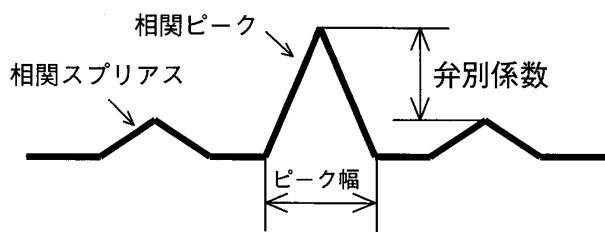


図4.8 弁別指数

Fig. 4.8 Index of Discrimination

数掃引幅  $\Delta f$  および掃引時間  $T$  の3つのパラメータで構成される。ただし位相は除外している。また  $T$  はシンボル周期でもあるため、ビットレート  $R$  は QPSK 変調によって  $R = 2/T = 131072$  (128k) BPS になる。

表4.2 チャープ・パラメータ

Table 4.2 Chirp parameter

中心周波数 $f_c$	3M~200MHz (初期値100MHz)
掃引周波数 $\Delta f$	0~100MHz (初期値1MHz)
掃引時間 $T$	$2 \mu \sim 52 \mu$ sec (初期値15.259 $\mu$ sec)
DS-CDMAの帯域幅 $W_D$	4.063MHz
Chirp-CDMAの帯域幅 $W_C$	4.063M~104.63MHz (初期値5.063MHz)

## (2) PN系列の種類とパラメータ

PN系列には表4.3で示すような4種類用意してシミュレーションを行う。5段のシフトレジスタを用いて発生するため、系列長は $N=2^5-1=31$ である。各系列の違いは、自己相関特性について理想的な系列をGood、少し悪い系列をBad1、中程度に悪い系列をBad2、そしてかなり悪い系列をBad3としている。

表4.3 PN系列

Table 4.3 PN sequence

Name of PN Series	Connection of Taps	ID (without Carrier)
Good	101001 (2,5)	1.032
Bad1	110001 (1,5)	0.645
Bad2	110101 (1,3,5)	0.516
Bad3	100001 (5)	0.129

### 4-4-3. 自己相関特性

#### (1) $\Delta f$ -ID特性 (掃引周波数幅)

チャープ搬送波の掃引周波数幅 $\Delta f$ とIDの関係を図4.9に示す。Good系列の場合、僅かにIDの改善される点はあるが総じてIDは悪くなる。次にBad2を見てみよう。 $\Delta f$ の増加に伴って急速にIDが改善され、250kHz付近でピークに達したあと緩い減少傾向となる。さらに $\Delta f > 10\text{MHz}$ の領域でIDが改善される傾向にあるが、中心周波数 $f_c=100\text{MHz}$ に対して $\Delta f$ は実用域を逸している。IDが悪いPN系列ほど $\Delta f$ による改善効果が小さくなることを解る。

IDのピーク位置は、掃引周期 $T$ を大きくすると各曲線はそのままの形で左へシフトし、小さくすると右へシフトする。つまりピーク位置は、 $T$ に反比例した $\Delta f$ の位

置にシフトする。つまり $D(=\Delta f T)$ が等しい場合、IDも等しくなる。

#### (2) $\Delta T$ -ID特性 (掃引周期)

チャープ搬送波の掃引時間 $T$ とIDの関係を図4.10に示す。 $T$ についても僅かな掃引時間でIDは著しく改善されるが、ピークを越えると緩やかな減少傾向に転ずる。左側の改善効果が著しい部分では、もとのIDが悪いPN系列ほど $T$ を長くすると改善される傾向にある。また上述の $\Delta f$ -ID特性と同様にピーク的位置は、 $\Delta f$ の値に反比例した $T$ の位置にシフトする。

#### (3) $f_c$ -ID特性 (中心周波数)

中心周波数 $f_c$ とIDの関係を図4.11に示す。 $f_c$ はIDに影響しないことが解る。

#### (4) 自己相関に関する考察

自己相関関数に対するIDの推移は $D=\Delta f T$ の値が等しい場合、 $\Delta f$ と $T$ の組み合わせを変えても同じIDが得られる。使用するPN系列の組み合わせを決めたなら、各系列のIDが平均的に良い点を検索し $D$ を決定する。次に目的に合わせた $\Delta f$ と $T$ の組み合わせを $D$ から決定する。上記の例ではBad3を使わない場合、 $D=3.2$ が良好な特性を示す。

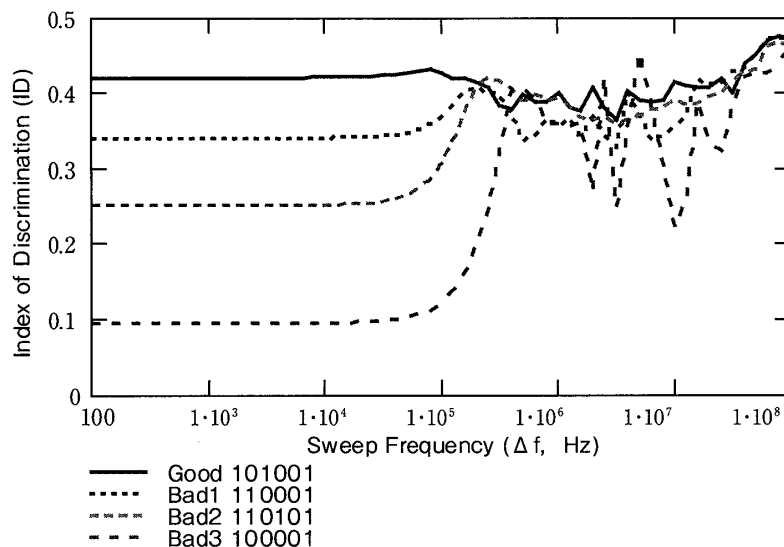
### 4-4-4. 相互相関特性

#### (1) 2ユーザに対する相互相関の $\Delta f$ -ID特性 ( $N=31$ )

異なるPN系列や異なる位相が割り当てられた2波モデルに対し、 $\Delta f$ -ID特性を示す。

##### a) 異系列 (Good1, Good2) の場合

Good系列と同じ自己相関関数を持つ2種類のM系列 (Good1, Good2) を割り当てている。 $\Delta f > 10\text{MHz}$ の領域でIDが改善される傾向にある。

図4.9  $\Delta f$ -ID特性 ( $T=1.526 \times 10^{-5}\text{sec}$ )Fig. 4.9 Index of Discrimination vs. sweep frequency ( $\Delta f$ )



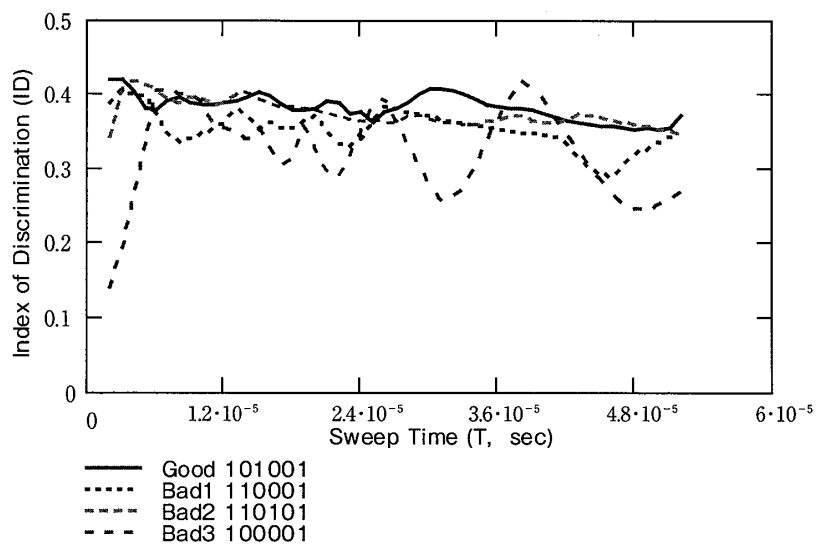


図4.10  $T - ID$  特性 ( $\Delta f=1\text{MHz}$ ,  $T=1.526 \times 10^{-5}\text{s}$ )  
 Fig. 4.10 Index of Discrimination vs. sweep time ( $T$ )

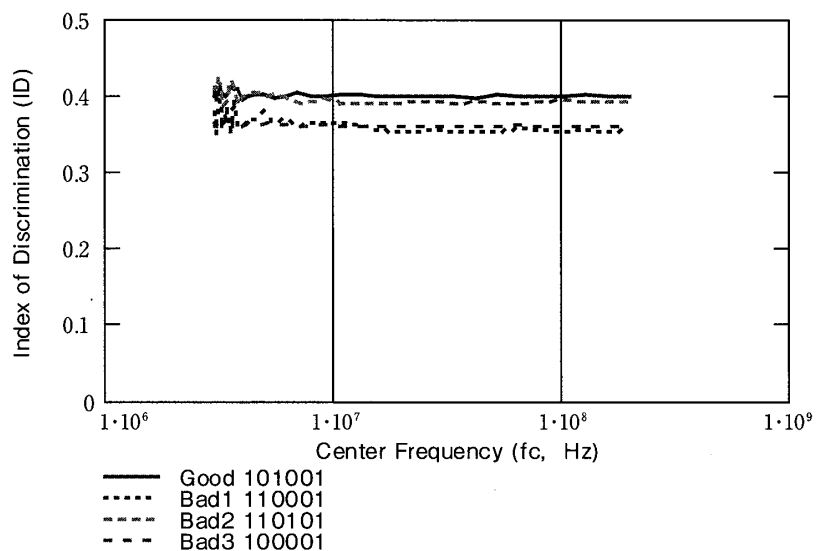


図4.11  $f_c - ID$  特性 ( $\Delta f=1\text{MHz}$ )  
 Fig. 4.11 Index of Discrimination vs. center frequency ( $f_c$ )

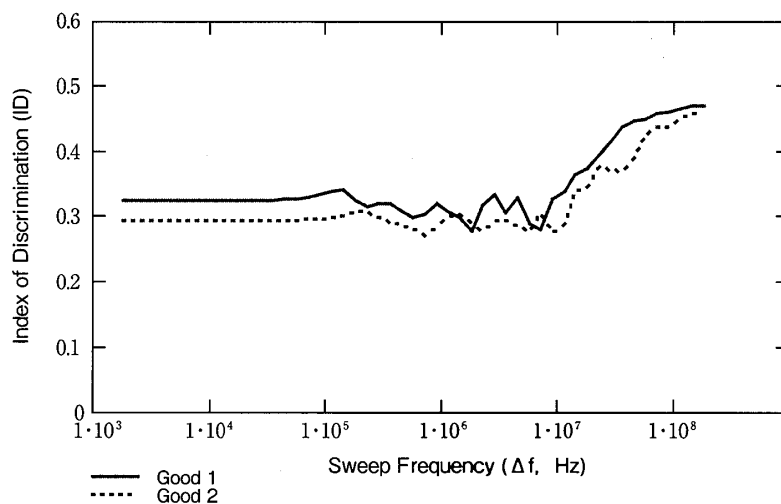


図4.12 2系列間による相互相関の  $\Delta f - ID$  特性 (a)  
 Fig. 4.12 Index of Discrimination between two sequences (a) vs. sweep frequency

b) 異系列 (Good, Bad3) の場合 (図4.13)

Bad3系列が100kKz付近から急激に改善され, 300kKz付近でGood系列と同等のIDになる. しかし100k~10MHzにかけてBad系列の改善と引換にGood系列が悪くなる傾向が見られ, IDの変化に交換関係が認められる.

c) 同系列 (Phase0, Phase1) で位相差1チップの場合 (図4.14)

両者は100kKz付近から急激に改善され, 2MHz付近で緩やかになり, 10MHz以上の領域で再び大きく改善される傾向にある.

d) 同系列 (Phase0, Phase14) で位相差14チップの場合 (図4.15)

両者は30kKz付近から大きく改善され, 1MHz付近でフラットになり, 10MHz以上の領域で再び大きく改善される傾向にある.

4-4-5. 相関特性に関する考察

2波モデルの場合, PN系列自身のIDが良い場合も悪い場合も, チャープ搬送波によってIDは0.3~0.35ぐらいになる事が解る. したがってIDが良いPN系列の場合はチャープ搬送波によってIDが悪くなることもある. しかしIDが悪いPN系列では大幅に改善される.

4-5. 多元接続性に関するシミュレーション

4-5-1. マルチユーザ環境での  $\Delta f$ -ID 特性

(1) 同系列で異位相: 31ユーザ (図4.16)

PN系列の周期が31の場合, 同時に使える良好なM系列は3種しかないため, 1つのM系列を表4.4で示すような異なる位相を各ユーザに割り当てた. このような位相を割り当てた理由は, 位相差0と15Bitの相互相関特性が最も悪いためである.

多元接続性を6種のユーザ数 (1, 2, 4, 8, 16, 31) についてシミュレーションで確認する. 長さ  $N=31$  のM

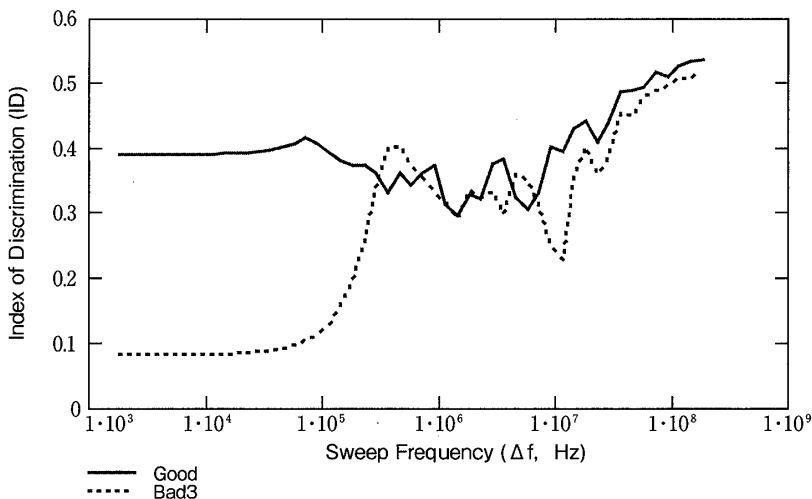


図4.13 2系列間による相互相関の  $\Delta f$ -ID 特性 (b)

Fig. 4.13 Index of Discrimination between two sequences (b) vs. sweep frequency

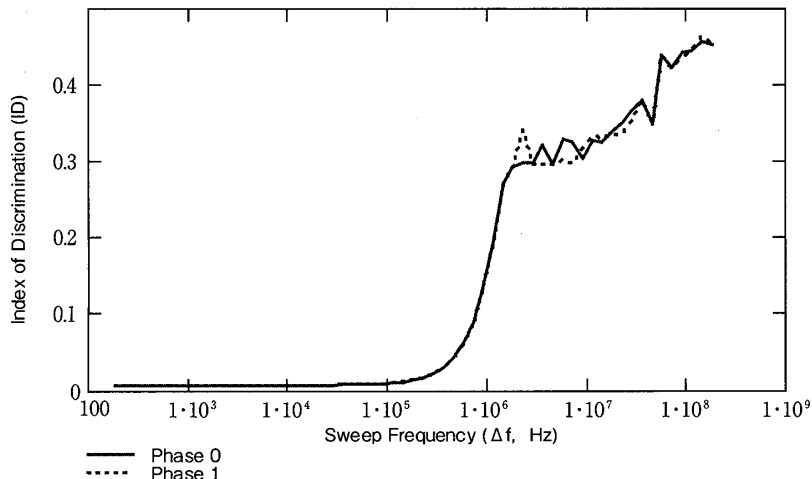


図4.14 2系列間による相互相関の  $\Delta f$ -ID 特性 (c)

Fig. 4.14 Index of Discrimination between two sequences (c) vs. sweep frequency

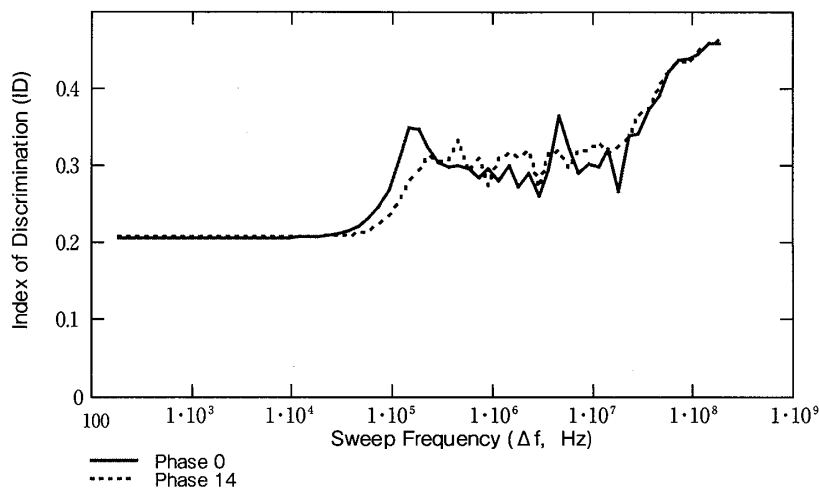


図4.15 2系列間による相互相関の $\Delta f$ -ID特性(d)

Fig. 4.15 Index of Discrimination between two sequences (d) vs. sweep frequency

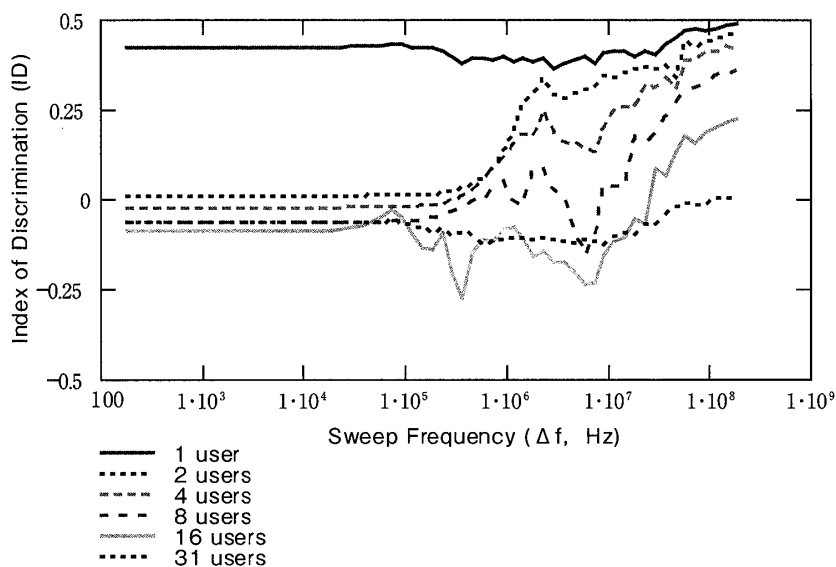


図4.16 マルチユーザ環境での $\Delta f$ -ID特性(同系列, 31ユーザ)

Fig. 4.16 Index of Discrimination vs. sweep frequency in multiuser environmen (same sequence, 31 users)

表4.4 各ユーザに対する位相の割当

Table 4.4 Allocation of phase to each user

User No.	0	1	2	3	4	⋯	27	28	29	30
Phase (chip)	0	1	-1	2	-2	⋯	14	-14	15	-15

系列を用いるため、最大ユーザ数も31である。

### (2) 異系列：3ユーザ(図4.17)

長さ $N=31$ の場合、自己相関特性の良い異系列は6種類あるが、左右対称のイメージ系列を除くと3種類しかない。最初の図4.17は、この3種の異系列を用いた送信波について $\Delta f$ -ID特性を示している。

### (3) 異系列：6ユーザ(図4.18)

上述の3種のM系列に対するイメージ系列は、自己相関特性だけを見る限りでは良好な特性である。しかし相互相関特性が良くないため、一般に使われない。ここでは、あえてこのイメージ系列を合わせた6種のM系列を

同時に用い、その結果を図4.18に示す。

### 4-5-2. マルチユーザ環境に対する考察

図4.18の左端( $\Delta f=0$ Hz)はDS-CDMAのID値を示している。図4.16の同系列(31ユーザ)の場合、DS-CDMAではユーザ数2までが実用域にあるが、2MHz程度の周波数掃引を行うことでユーザ数8まで収容可能になることを示している。

つぎに図4.17の異系列(3ユーザ)の場合、図4.12の2ユーザと同様に掃引周波数幅を大きくすることでIDが徐々に改善される。また図4.18の異系列(6ユーザ)

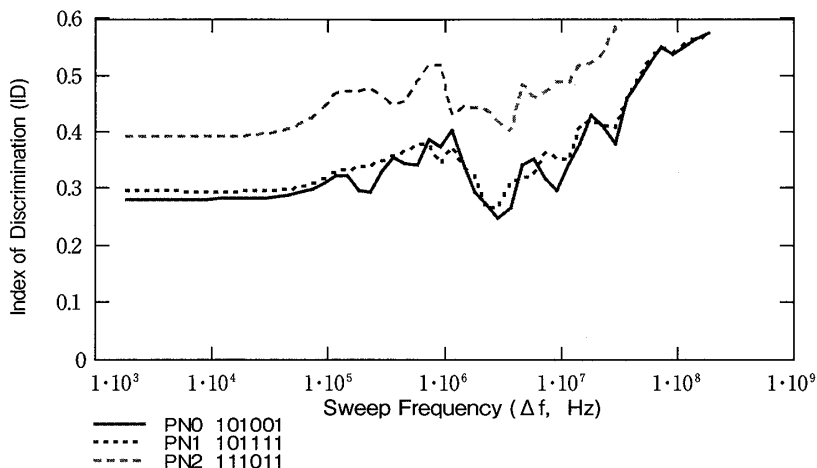


図4.17 マルチユーザ環境での  $\Delta f$  - ID 特性 (異系列, 3 ユーザ)

Fig. 4.17 Index of Discrimination vs. sweep frequency in multiuser environment (different sequences, 3 users)

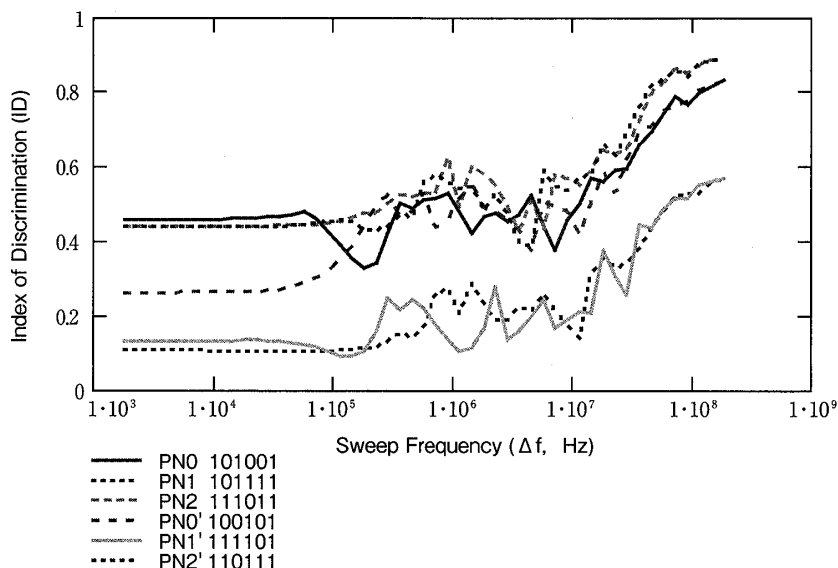


図4.18 マルチユーザ環境での  $\Delta f$  - ID 特性 (異系列, 6 ユーザ)

Fig. 4.18 Index of Discrimination vs. sweep frequency in multiuser environment (different sequence, 6 users)

の場合, 3種のイメージ系列のうち1系列が大きく改善され, 200kHz付近でオリジナル系列と同等のIDに改善される。

## 5. むすび

本報告で提案しているChirp-CDMAの信号設計において, 与えられた周波数帯域  $W_S$  をDS-CDMAの帯域幅  $W_D$  とチャープの掃引周波数  $\Delta f$  でどのように割当てるとよって特性が変化する. 多元接続性を重視する場合は  $W_D$  を大きくとり, 電力密度スペクトルの平坦性を重視する場合は  $\Delta f$  を大きくとることになる, したがってこの2つは性格的にトレードオフの関係にある。

本報告では, チャープ搬送波を用いることで多元接続性にとって重要な相関特性が改善される点を中心に述べ

た. チャープ搬送波による相関特性の変化および多元接続時の相関特性の変化によって, DS-CDMAの問題点の一つである他局干渉に対して, チャープ搬送波を用いることで多元接続性が改善されることを確認した。

最後に本研究における今後の課題について述べる. PN系列の組合せとチャープ・パラメータの関係については, 最適値の検討が残っている. さらに多元接続性および伝送特性について定量的な検討を行うことが必要である. これらの検討によって本方式に最適なアプリケーションの提案が可能になると考える。

## 謝 辞

大阪産業大学工学部の通信システム工学研究室各位には助言や活発な議論を頂きましたことに感謝いたします. また大阪大学大学院の小牧省三教授, 塚本勝俊助教

授および小牧研究室各位には研究環境の提供と助言や活発な議論を頂きましたことに感謝いたします。

本研究の研究経費は、学術振興財団の平成14～15年度科学研究費補助金・基盤研究(C)(2)(課題番号14550386)から助成を受けました。関係各位に感謝いたします。

### 参 考 文 献

- [1] R. C. Dixon著, 山之内和彦・竹内嘉彦訳, “スペクトル拡散通信の基礎”, 科学技術出版
- [2] 吉田孝: “レーダ技術”, 電子情報通信学会, 1984
- [3] 横山光雄: “移動通信の基礎”, 日刊工業新聞, 1994
- [4] 丸林元, 中川正雄, 河野隆二: “スペクトル拡散通信とその応用”, 電子情報通信学会, 1998
- [5] M. Kowatsch and J. T. Lafferl, “A Spread-Spectrum Concept Combining Chirp Modulation and Pseudonoise Coding,” IEEE Trans. Commun., vol. COM-31, pp.1133-1142, Oct. 1983.
- [6] 鈴木, 中野, 浜村, 太刀川, “直交化フィルタを用いたアナログPN系列生成型CDMAの特性”, 信学論 J83-A No.1,2000-1
- [7] 今村, 杉浦, 中村, 佐藤, “チャープ式スペクトル拡散信号を用いた4相位相変調”, 大阪産業大学論集, 自然科学編103号, pp.17-24, 1997-6
- [8] 今村, 杉浦, 中村, 佐藤, “チャープ式スペクトル拡散信号を用いた4相位相変調”, 電気関係学会関西支部連合大会, G255, 1996
- [9] 今村, 溝口, 吉岡, 佐藤, “チャープ式スペクトル拡散通信の多重化について”, 電気関係学会関西支部連合大会, G221, 1997
- [10] 今村, 佐藤, “多重化チャープ・スペクトル拡散信号の同期検波”, 電気関係学会関西支部連合大会, G203, 1998
- [11] 今村, 佐藤, “チャープ変換を用いるOFDM復調”, 電気関係学会関西支部連合大会, G211, 1999
- [12] 今村, 佐藤, “QPSKチャープ信号の復調方式について”, 電気関係学会関西支部連合大会, G234, 2000
- [13] 田代, 今村, 佐藤, “チャープ搬送波を用いるDS-SS-CDMA方式について”, 電気関係学会関西支部連合大会, G223, 2001
- [14] 今村, 森中, 塚本, 小牧, 佐藤, “チャープ搬送波を用いるCDMA通信システム,” 電子情報通信学会総合大会, A-5-25, March 2004.
- [15] 森中, 今村, 佐藤, “チャープ搬送波を用いるCDMA通信システムの相関特性”, 電気関係学会関西支部連合大会, G216, 2004