

計測自動制御学会東北支部 第 265 回研究集会 (2011.6.28)

資料番号 265-11

干渉波キャンセラを用いた移動体通信の品質改善  
A study on improvement of DS-CDMA communications  
by using interference canceller

○下葦坪孝行

工藤憲昌\*

田所嘉昭\*\*

○Takayuki Shimoutsubo

Norimasa Kudoh\*

Yoshiaki Tadokoro\*\*

八戸高専 機械・電気システム工学専攻

\*八戸高専

\*\*豊橋技科大 工学部

Hachinohe National College of Tech. Advanced Engineering Course

\*Hachinohe National College of Tech.

\*\*Toyohashi University of Tech.

キーワード: DS-CDMA 通信(DS-CDMA communications), 適応周波数推定(adaptive frequency estimation),  
狭帯域干渉波(narrow-band interference)

連絡先: 〒039-1192 八戸市田面木上野平 16-1 八戸高専 電気工学科

tel: 0178-27-7281, e-mail: kudohk-e@hachinohe-ct.ac.jp

### 1. はじめに

現在の 3G の携帯電話の通信の一つとして、符号分割多元接続(CDMA: Code Division Multiple Access)方式が採用されている。この方式はスペクトル拡散技術を用いる通信方式で、信号の秘匿性、干渉波排除能力に優れると同時に同一の周波数帯域内で複数の通信(多元接続)を行うために用いる技術の総称である。DS(Direct Sequence)-CDMA 通信方式において、i) 拡散符号が完全には直交化されていないことに起因するマルチユーザ干渉(MAI: Multiple Access Interference), ii) 信号が拡散変調によって広帯域に広がることで、違法電波局から入る狭帯域干渉波などが通信品質劣化の要因となる[1]。一般に、広帯域信号と狭帯域信号のスペクトルが互いに共存する状況で DS-CDMA 信号の受信を考える時、狭帯域信号は狭帯域干渉波となるが、逆拡散の際に DS-CDMA 信号とは逆

に干渉波は拡散され、電力スペクトル密度は雑音レベルまでに引き下げられる。従って、一般に DS-CDMA システムは狭帯域干渉波に強いとされているが、狭帯域干渉波の電力が大きい場合や複数存在する場合にはその影響が無視できなくなり、伝送特性が大きく劣化する[2]。さらに、通信が行われる実環境では狭帯域干渉波の周波数、帯域幅が全くの未知であることに加え、その周波数、帯域幅の二要素は一定ではなく時間的に変化するものも存在すると考えられ、品質劣化への対策についても考える必要がある。

これまで、狭帯域干渉波の周波数を FFT などで検出しノッチフィルタを用いて除去する方法が提案されている[1,2]。FFT では周波数分解能の関係から求められる周波数に制約がある。

本稿では狭帯域干渉波の周波数と帯域幅を推定し、ノッチフィルタを用いて除去し、DS-CDMA 通信の品質向上がどれだけ期待で

きるのかをシミュレーションにより、評価を行う。

以下に本稿の構成を示す。2.1 では DS-CDMA 通信方式の原理について概説し、2.2 では狭帯域干渉波による影響を述べる。3.1 では適応周波数推定、3.2 では帯域幅推定についてそれぞれ述べ、3.3 で干渉波キャンセラの構成を示す。4.1 では周波数推定シミュレーション、4.2 では帯域幅推定シミュレーションについて、4.3 では干渉波キャンセラのシミュレーションについて述べる。5. はまとめである。

## 2. DS-CDMA 通信方式

### 2.1 DS-CDMA の原理

DS-CDMA 方式とは、送信側で送信したいデジタル信号を狭帯域変調(1 次変調)、拡散変調(2 次変調)を行った上で送信し、受信側で逆拡散、復調を行って元のデータに戻す通信系のことである。狭帯域変調ではデジタル信号の周波数変調(FSK)、位相変調(PSK)などを用いて変調される。また、拡散変調では Gold 拡散符号系列と呼ばれる、「1」と「-1」の値をランダムにとる符号列との乗算で信号を広帯域に拡散する。図 1 に 1 次変復調を PSK(Phase Shift keying)とした場合の DS-CDMA の送受信の構成を示す。

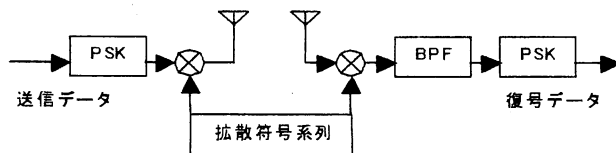


図 1. DS-CDMA 方式の送受信機の構成

CDMA 方式では通信毎に異なる符号系列を用いることで信号を符号化して、多くの利用者が同時に広帯域無線チャネルを共有する多次元接続方式の 1 つである。CDMA は符号(Gold 符号系列)でデータを暗号化して通信を行う。同じ周波数帯・同じ時間上でも、同一の PN 符号を用いない限りデータの混信が起こらない。そのために、有限の

周波数を効率よく利用できるこの通信方式が用いられている。

### 2.2 狭帯域干渉波の影響

DS 方式では、狭帯域変調後の信号を Gold 符号で広帯域に拡散して送信する。電波が伝搬する間、違法電波局からの狭帯域干渉波が重畳し、逆拡散後の信号のノイズとなり、通信品質が劣化する要因の 1 つとなる。そこで、通信品質の改善を図るのに、逆拡散する前の段階で狭帯域干渉波を除去する必要がある。

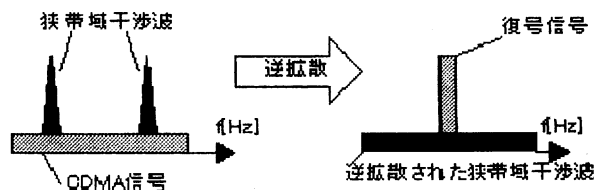


図 2. 逆拡散による周波数分布の変化

## 3. 狭帯域干渉波除去について

### 3.1 周波数推定[3]

電波の伝搬の際に混入してしまった狭帯域干渉波の中心周波数を推定する。推定には勾配法を用いる。ノッチフィルタに用いられる周波数パラメータ  $\alpha$  の推定値の更新式は式(1)のようになる。

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \mu e(n)s(n) \quad (1)$$

ここで  $\mu$  はステップサイズ、 $e(n)$  と  $s(n)$  はそれぞれ推定用のノッチフィルタとバンドパスフィルタ(BPF)の出力である。式(2)にノッチフィルタ、式(3)に BPF の伝達関数をそれぞれ示す。ここで、 $\gamma$  は帯域幅を制御するパラメータである。はまた、適用パラメータ  $a$  と推定する中心周波数  $f$  の関係は式(4)のようになる。

$$H_N(Z) = \frac{1 - a \cdot Z^{-1} + Z^{-2}}{1 - r \cdot a \cdot Z^{-1} + r^2 \cdot Z^{-2}} \quad (2)$$

$$H_S(Z) = (1-r)Z^{-1} \frac{-1+rZ^{-2}}{1-r \cdot a \cdot Z^{-1} + r^2 \cdot Z^{-2}} \quad (3)$$

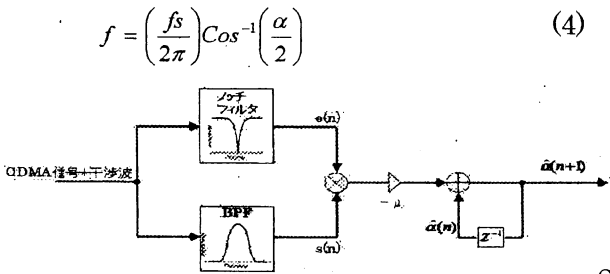


図 3. 周波数推定の構成(1 周波)

### 3.2 帯域幅推定

帯域幅を計算する方法の概念図を図 4 に示す。ここで、線分  $OC=r$  は BPF の伝達関数の極の大きさで、A, D, B は Z 平面上の単位円上の点である。弧 ADB の長さが BPF の帯域幅 BW(bandwidth)となるが、ここでは線分  $AD+DB$  に近似して求め、単位円の円周  $2\pi$  で正規化して式(6)のようになる。

$$AD^2 = AC^2 - DC^2 = 2(1-r)^2 - (1-r)^2 = (1-r)^2 \quad (5)$$

$$BW = \frac{1}{2\pi}(2AD) = \frac{1}{\pi}(1-r) \quad (6)$$

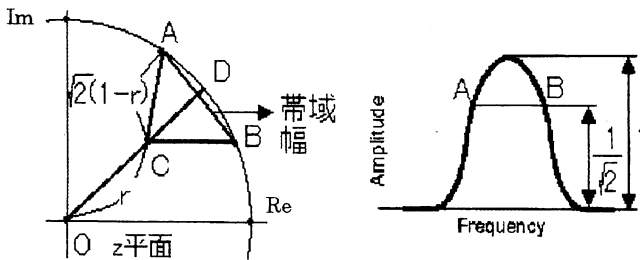


図 4. 帯域幅の計算法

図 5 に示すように、干渉波が重畳した CDMA 信号を広い帯域幅を有する複数段の BPF を通す。それぞれの出力信号の電力を元の CDMA 信号と比較することで最も近い信号を割り出し、その BPF の段数から帯域幅を計算することができる。電力差の二乗値を比較し最小となるときの BPF 縦続接続数を  $N$  とすると、 $BW_N$  は式(7)で計算できる。

$$BW_N = \frac{1}{\pi}(1-r)\sqrt{2^{\frac{1}{N}} - 1} \quad (7)$$

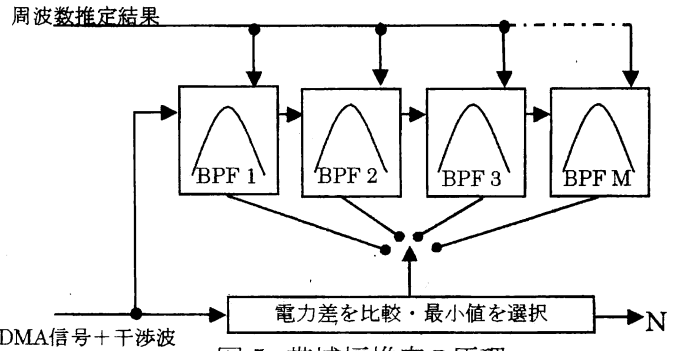


図 5. 帯域幅推定の原理

### 3.3 干渉波キャンセラ

3.1, 3.2 で述べた原理により、周波数と帯域幅の推定を行った結果を用い、ノッチフィルタを利用して干渉波を除去する。

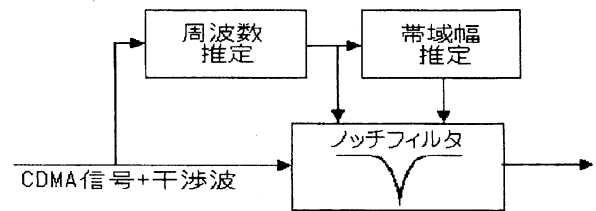


図 6. 干渉波キャンセラの構成

## 4. シミュレーション

CDMA 信号に狭帯域干渉波を加えて通信シミュレーションを行う。シミュレーションは周波数推定、帯域幅推定、両推定を用いた干渉波除去の 3 種類を Matlab, Simulink を用いて行う。[4,5]

### 4.1 周波数推定

DS-CDMA 信号に狭帯域干渉波を加え、周波数推定のみを行うシミュレーションを行った。中心周波数のパラメータである  $\alpha$  を推定した結果を図 7 に示す。ここで式(1)の  $\mu=0.01$  である。

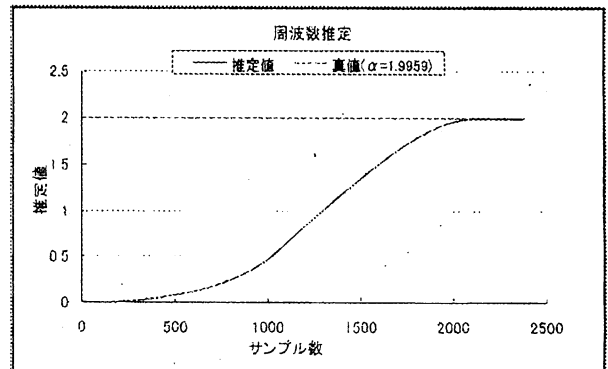


図 7. 周波数推定結果

これを見ると推定値が真値に向かって更新されており、最終的に真値に収束して、正確に推定できていることが分かる。ここで、推定値の収束し始めに注目すると約 2000 サンプルかかることが分かる。

#### 4.2 帯域幅推定

周波数推定と同様に CDMA 信号に狭帯域干渉波を加え、その干渉波の帯域幅を推定した。その結果を図 8 に示す。

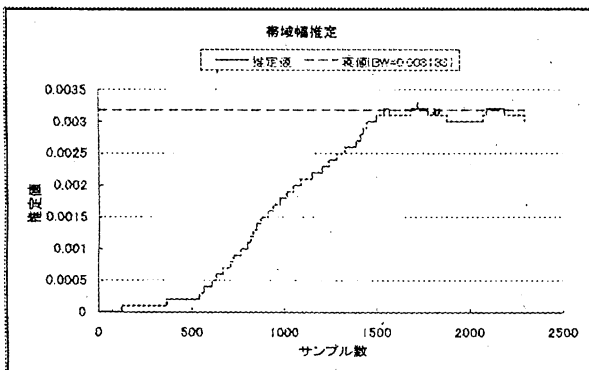


図 8. 帯域幅推定結果

帯域幅の推定に関しても、真値に向かって推定値が更新されている。そして約 1500 サンプル目で真値に到達し、推定が出来ていることが分かる。

また、帯域幅を変化させて、推定が帯域幅の変化に適応できるかを調べた結果を図 9 に示す。ここで、 $\gamma$  は帯域幅を表わすパラメータである。

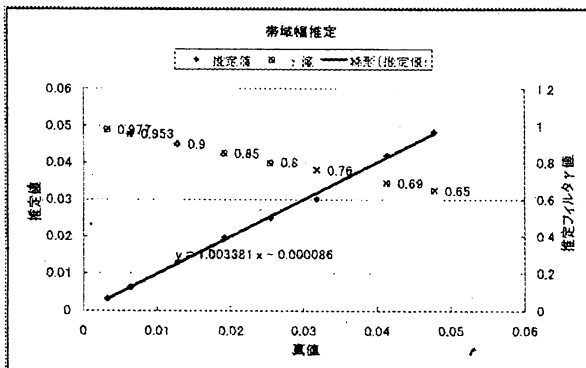


図 9. 帯域幅変化への適応

推定値のプロットを線形曲線により近似すると、直線の傾き約 1、切片ほぼ 0 となり、それぞれ推定値が真値に対応して、帯域幅を推定できていると読み取れる。しかし、この結果は帯域幅の推定がう

まくできるように事前にパラメータを設定したものである。図 9 に、手動で設定した推定ブロック内 BPF の  $\gamma$  の値も併記した。実際には推定結果が推定ブロック内 BPF の  $\gamma$  の値に大きく依存する。これには帯域幅推定ブロック内の  $\gamma$  の値を、実際の帯域幅によって変化させる必要がある。つまり、このシステムのままでは、時間により変化する帯域幅に適応することはできず、大まかな干渉波の帯域幅を、事前に把握しておく必要がある。

#### 4.3 狭帯域干渉波除去

周波数、帯域幅の両推定の結果  $\alpha$ 、 $\gamma$  を用い、狭帯域干渉波の除去を行った。今回は、先に述べたとおり帯域幅の変化には適応することができないので、シミュレーション中、周波数のみを変化するものとし、いくつかの帯域幅についてシミュレーションを行った。狭帯域干渉波の中心周波数はシミュレーション開始より 0.5 秒から 1.5 秒までの 1 秒間に 100[kHz] から 500[kHz] に変化するものとする。

また、その他のシミュレーション条件は以下の通りである。

- ・マルチパス: 1 パス  
(14.5[ $\mu$  sec]遅れ ゲイン: 3[dB])
- ・ドップラーシフト: 175.9[Hz]
- ・ガウス性白色雑音: SN 比 30[dB]
- ・サンプリング周波数: 12.288[MHz] の 8 倍
- ・拡散符号: Gold 符号

図 10 に各信号の周波数分布(縦軸: 振幅[dB], 横軸: 周波数[MHz])を、図 11 に干渉波の各帯域幅におけるビットエラーレート(BER)を示す。BER とは、送信信号に対する受信信号の符号誤り率である。図 10 では(b), (c)で狭帯域干渉波が重畳されているのが見て取れ、(d)ではそれが除去されているのが分かる。さらに、図 11 よりシミュレーション中に干渉波の中心周波数を変化させても、干渉波キャンセラにより BER が改善されていることが分かる。なお、計測時間の短縮のため、1 次変調で用いる誤り訂正符号を付加していない。

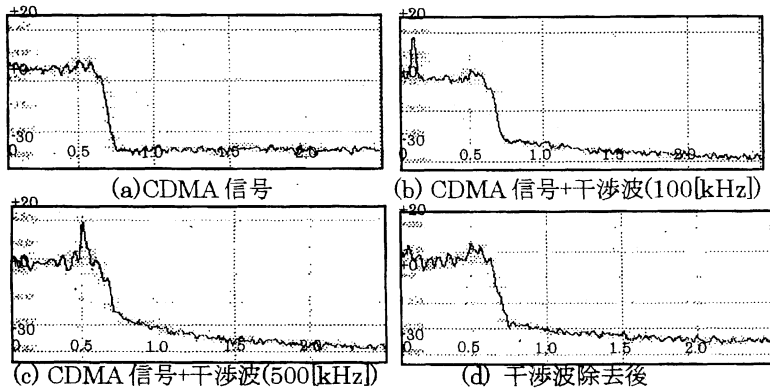


図 10. 周波数分布

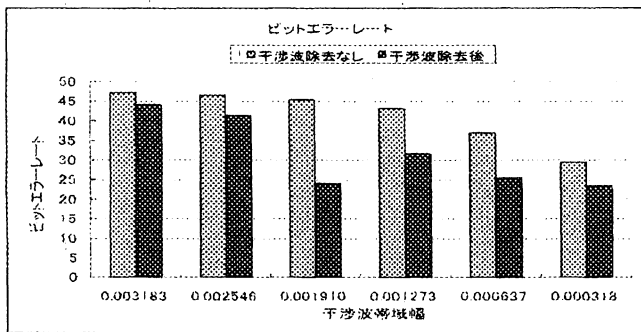


図 11. ビットエラーレート(BER)

## 5. まとめ

中心周波数の変化する干渉波を加えてシミュレーションを行った。その動的な周波数変化を持つ狭帯域干渉波を除去した場合、除去なしに比べおよそ 10~30[%]のエラーを改善することができた。

今後の課題としては帯域幅推定前に高速フーリエ変換(FFT)を用いて、干渉波の帯域幅のおよその値を求めるなどといった帯域幅推定ブロックの改善、また、周波数推定の推定時間の短縮が挙げられる。

## 6. 参考文献

- [1]北野, 鍋谷, 原, 森永, “適応デジタルフィルタを用いた CDMA システムにおける干渉波除去”, 信学技報 DSP2000-60,
- [2]H.V.Poor and L .A.Rusch, "Narrowband Interference suppression in spread spectrum CDMA," IEEE personal communications, vol.1, no.3, pp.14-27, March, 1994
- [3]N.Kudoh, Y.Tadokoro, "A study on an active noise canceller by using decomposed narrow-band signals" CO-ROM Proceedings of IEEE TENCON06", pp1-4, Hong Kong, Nov. , 2006
- [4]CDMA reference blockset User's Guide, Mathworks Inc.
- [5] 工藤, 田所"適応周波数推定法の検討とその一応用"H19 年度 SICE 東北支部研究集会, 236-15