

帯域制限された $\pi/4$ シフト QPSK 信号に対する
CMA アダプティブアレーの動作

正員 藤元 美俊[†] 正員 菊間 信良[†]
正員 稲垣 直樹[†]

Behavior of the CMA Adaptive Array to Filtered $\pi/4$ -Shifted QPSK Signals
Mitoshi FUJIMOTO[†], Nobuyoshi KIKUMA[†] and Naoki INAGAKI[†],
Members

[†]名古屋工業大学工学部電気情報工学科, 名古屋市
Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466
Japan

あらまし 帯域制限された $\pi/4$ シフト QPSK 信号に対する CMA アダプティブアレーの動作を計算機シミュレーションにより調べ、帯域制限により定包絡線性を失った信号に対しても CMA アダプティブアレーは良好に動作することを示した。

1. まえがき

CMA (Constant Modulus Algorithm) アダプティブアレー⁽¹⁾⁻⁽³⁾は最適化の際に信号の到来方向および参照信号などの情報を必要とせず、「所望信号の包絡線が一定である」という性質のみを用いているため、デジタル陸上移動通信におけるフェージング対策技術として有望である⁽⁴⁾。

一方、近年の高度情報化に伴い新しいデジタル通信システムの検討が進められており、変調方式としては GMSK, $\pi/4$ シフト QPSK 等が有力とされている⁽⁵⁾。

GMSK 信号は帯域制限を施しても常に定包絡線であるため、CMA の適用により優れた干渉波抑圧特性が得られ、フェージング対策技術として有効であることが示されている⁽⁴⁾。一方、 $\pi/4$ シフト QPSK 信号は帯域制限を施すことにより定包絡線性が失われるため、この信号に CMA を適用した場合何らかの受信特性の劣化が生じると思われる。過去に文献(3), (6)において、帯域制限された QPSK 信号を用いた CMA の動作例が示されているものの、帯域制限の影響に関する詳細な検討ははまだ報告されていない。

本論文では帯域制限された $\pi/4$ シフト QPSK 信号に対する CMA アダプティブアレーの動作について計算機シミュレーションを通して検討し、干渉波抑圧特性は若干劣化するものの、符号誤り率で評価する限り帯域制限の影響はほとんどないことを示す。

2. 計算機シミュレーションの概要

本論文では等価低域系におけるシミュレーションに

表 1 到来波の設定

	40dB		
	電力 (dB)	到来方向 (deg)	遅延 (Time slot)
第 1 波	0	0	0.0
第 2 波	-2	60	1.4
第 3 波	-4	140	2.7

但し、到来方向はエンドファイア方向を基準とする

より帯域制限された $\pi/4$ シフト QPSK 信号に対する CMA アダプティブアレーの動作を解析した。

符号は M 系列 15 段の PN 符号を用い変調時のデータ数は 1 タイムスロット当り 7 個とした。検波方式は遅延検波とし、CMA に用いるデータをタイムスロットの中心でサンプリングした場合(同期)と、タイムスロットに無関係にサンプリングした場合(非同期)の 2 通りについて検討した。また帯域制限を行うフィルタは方形フィルタ若しくはロールオフファクタ 0.5 の 2 乗余弦ナイキストフィルタとし、帯域幅はいずれも $BT=1$ ($B: 3$ dB 帯域幅, $T: 1$ タイムスロット幅)とした。フィルタの送受配分は簡単のため受信側 100%としており、アンテナ素子とウエイトとの間に挿入した。

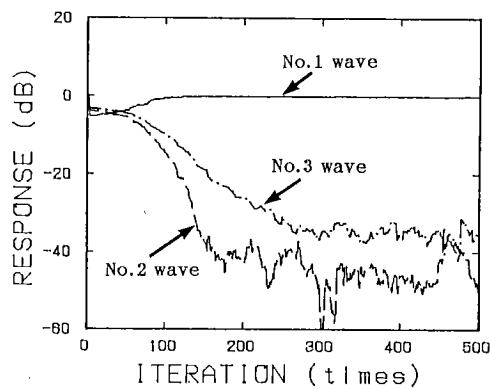
アレーは無指向性 4 素子のリニアアレーとし素子間隔は $\lambda/2$ ($\lambda: 搬送波波長$)とした。雑音はアンテナ素子の出力点で定義し素子間では相関のないガウス雑音とした。到来波数は 3 波としその設定を表 1 に示す。アンテナの移動方向はエンドファイア方向(0°)とし、最大ドップラーシフトは $f_d=5.0 \times 10^{-3}/T$ とした。これはデータの伝送速度を 64 kbit/s (32 k symbol/s)としたとき $f_d=160$ Hz に相当する。CMA の評価関数は $Q=E[|y|^2-1]$ ($y: 出力$)を採用した。また、初期ウエイトは第 1 素子のみ 1.0 とし他はすべて 0.0 とした。

3. 収束特性

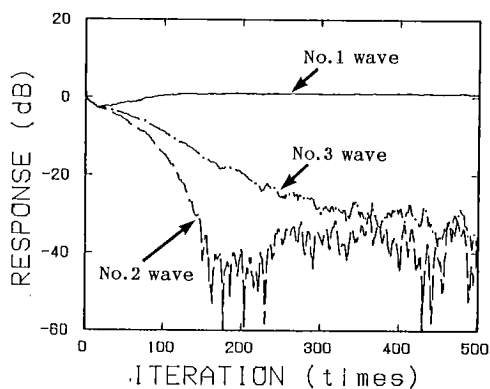
図 1 にサンプリングを第 1 波に同期させサンプリング点をタイムスロットの中心とした場合の CMA アダプティブアレーの収束特性を示す。それぞれ

- (a) 帯域制限を施さない場合
- (b) 方形フィルタを用いた場合
- (c) ナイキストフィルタを用いた場合

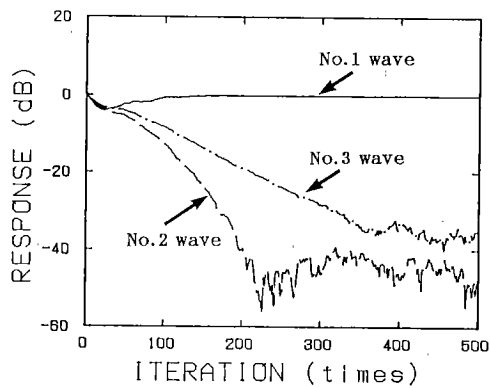
である。方形フィルタを用いると、帯域制限を施さない場合に比べ干渉波に対する抑圧が弱くなっている。これは符号間干渉により、もともとの波形の包絡線にひずみが生じるためである。それに比べ、ナイキスト



(a) Non filtering



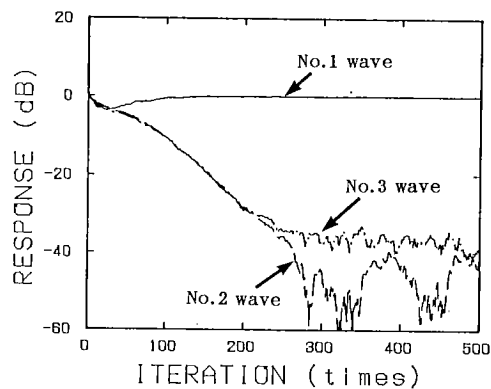
(b) Rectangular filter



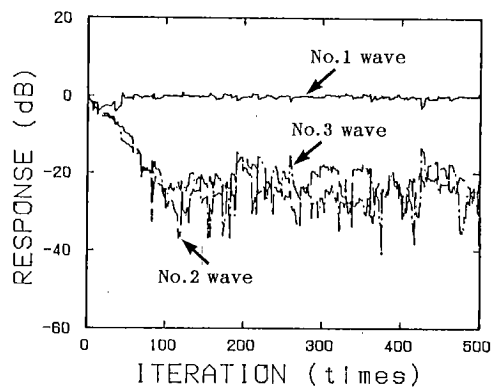
(c) Nyquist filter

図 1 同期サンプリングとした場合の収束特性

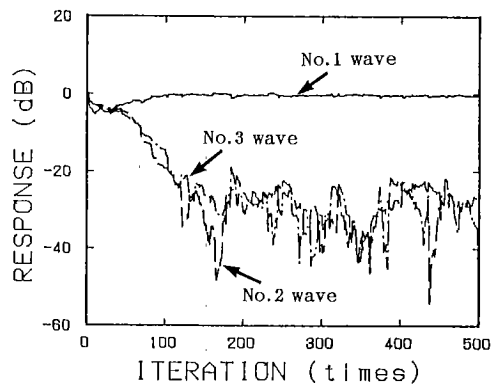
Fig.1 Convergence characteristics in the case of synchronous sampling.



(a) Non filtering



(b) Rectangular filter



(c) Nyquist filter

図 2 非同期サンプリングとした場合の収束特性

Fig.2 Convergence characteristics in the case of asynchronous sampling.

フィルタを用いた場合タイムスロットの中心では符号間干渉が生じないため、サンプル点がタイムスロットの中心である限り第1波のサンプルデータは定包絡線

性が保たれている。従って干渉波の抑圧に関しては図1(a)とほぼ同程度の値が得られている。

図2にサンプルタイミングをタイムスロットに対し

て非同期とした場合の結果を示す。本論文では1タイムスロット当りのデータ数が7個であるのに対して10個おきのデータを用いている。図2の(a), (b), (c)は図1と同様である。

サンプルタイミングがタイムスロットに同期している場合は、所望波と干渉波の符号の相関は遅延により定まり、サンプル時刻によらず一定である。ここでは干渉波の遅延を所望波に対して1タイムスロット以上としており、なおかつPN符号を用いているため所望波と干渉波の相関は非常に小さい。しかしサンプルタイミングをタイムスロットに対して非同期とした場合、一つのタイムスロットの中でもサンプル点により所望波と干渉波の符号関係は異なるため、サンプルデータ内での2波の相関が増加してしまう。従って、図1(a)と図2(a)を比較しても明らかなように、サンプリングを非同期とすると収束は若干遅くなる。

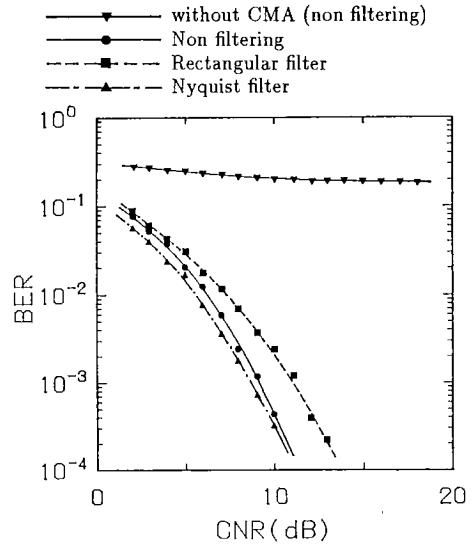
サンプリングを非同期とし、なおかつ帯域制限を施した場合(図2(b), (c))は所望波そのものが定包絡線性を失うため、干渉波に対する抑圧が劣化する。方形フィルタとナイキストフィルタでは後者の方が抑圧の劣化は少なく、20 dB以上の抑圧が得られている。

一方、収束速度に関しては、帯域制限を施した方が収束は速い。これは、サンプル点における所望波と干渉波の符号が同じであっても、帯域制限を施すと符号間干渉によりその前後数 bit の符号の組合せに従って波形は少しずつ異なり、波形の相関が小さくなるためと考えられる。

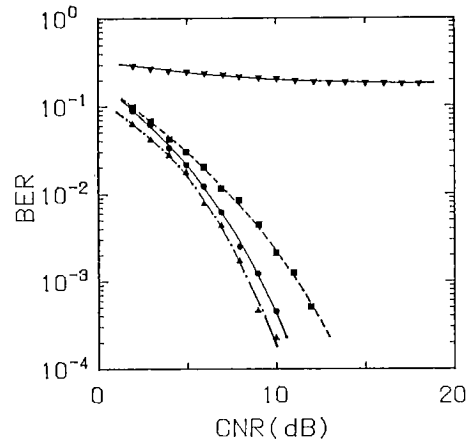
4. 誤り特性

次に、符号誤り率に対する帯域制限の影響を調べた。最初の10,000 bitの間でアルゴリズムを収束させ、続く22,738 bitに対して誤り率を求めた。従って検出できる最小の誤り率は 4.39×10^{-5} である。誤り率算出中もアルゴリズムは継続して動作しており、ウエイトは逐次更新されている。なお、検波時のクロック再生は理想的とし所望波のタイムスロットの中心で判定するものとした。

図3にCNR(Carrier to Noise power Ratio)に対するBER(Bit Error Rate)特性を示す。(a)はサンプルタイミングを第1波に同期させた場合であり、(b)は非同期とした場合である。両者はほぼ同様であることから、帯域制限の有無にかかわらずサンプリングをタイムスロットに同期させる必要はないことがわかる。また、図3の(a), (b)いずれにおいても帯域制限を施さない場合に比べ、ナイキストフィルタを用いた方



(a) Synchronous sampling



(b) Asynchronous sampling

図3 CNRに対する誤り率特性
Fig. 3 BER performance vs. CNR.

が誤りは少なくなっている。これは帯域制限することにより、通過帯域内の雑音電力が少なくなるためである。同様のことが方形フィルタを用いた場合にも言えるが、この場合は符号間干渉によりタイムスロットの中心においてひずみが生じるため、検波時の誤りが増加する。

5. むすび

帯域制限された $\pi/4$ シフトQPSK信号に対するCMAアダプティブアレーの動作を計算機シミュレーションにより検討した。その結果、帯域制限すること

により信号そのものが定包絡線性を失うため収束後の干渉波抑圧特性は劣化するが、収束速度には影響はないことが明らかとなった。また CMA に用いるデータのサンプリングはタイムスロットに対して非同期とした方が収束は速いことがわかった。

更にナイキストフィルタを用いると、誤り率で評価する限り通信品質に対する帯域制限の影響はほとんどないことを明らかにし、 $\pi/4$ シフト QPSK 信号を用いた通信システムに CMA は十分適用可能であることを示した。

謝辞 日ごろから御指導、御討論を頂いた豊田中央研究所移動通信研究室、浅野孔一副研究員、原田知育副研究員、ならびに同研究室の諸氏に深謝します。

文 献

(1) Treichler J. R. and Agee B. G.: "A New Approach to

Multipath Correction of Constant Modulus Signals", IEEE Trans. Acoust, Speech & Signal Process., **ASSP-31**, pp. 459-472(1983).

- (2) 高原幸一, 鷹尾和昭: "多重波抑圧用アダプティブアレー", 信学技報, **CS87-12**(1987).
- (3) Gooch R. and Lundell J.: "The CM Array: an Adaptive Beamformer for Constant Modulus Signals", Proc. ICASSP, pp. 2523-2526(1986).
- (4) 大鐘武雄: "陸上移動通信における CMA アダプティブアレーの選択性フェージング補償特性", 信学論(B-II), **J73-B-II**, 10, pp. 489-497(1990-10).
- (5) 安達文章: "デジタル移動通信方式・無線伝送方式の動向", 信学技報, **IT89-70** (1989).
- (6) Larimore M. G. and Treichler J. R.: "Data Equalization Based on the Constant Modulus Adaptive Filter", Proc. ICASSP, pp. 949-952(1986).

(平成3年1月14日受付, 4月15日再受付)