

適応アレーを併用した時空間回り込み波キャンセラ

80023236 柳原 圭佑

指導教員 佐野 昭

1 はじめに

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送方式は、周波数利用効率が高く、マルチパス耐性に優れているという点から、SFN (Single Frequency Network) による地上波デジタル放送波中継や次世代移動通信を可能にする。ここで問題となるのは、送信アンテナからの再送信信号が受信アンテナに回り込む現象であり、伝送特性の劣化や増幅器の発振を引き起こす。本稿では、適応アレーを併用した時空間キャンセラのアルゴリズムを提案する。まずアレーにおいてビームパターンにヌルを形成して回り込み波をある程度除去し、アレーで除去しきれなかった回り込み波成分に対しては時間キャンセラで除去する。本手法により回り込み波だけではなく、妨害波に対しても有効であることを示す。

2 OFDM 信号モデル

OFDM 変調信号は直交関係にある多数のキャリアを合成したものであり、各サンプル点での信号は、各キャリアの送信データ D_n を離散フーリエ変換 (IDFT) した形になる [1]。さらに遅延波による符号間干渉やキャリア間干渉を防ぐためにガードインターバルを付加した信号は (1) 式で表される。

$$d(k\Delta T) = \sum_{n=0}^{N-1} D_n e^{j\frac{2\pi}{N}n(k-Tg)}, \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$

ここで、 N はキャリア数、 T はシンボル期間、 $\Delta T (= T/N)$ はサンプリング間隔、 Tg はガードインターバル長である。

3 時空間回り込み波キャンセラ

提案する回り込み波キャンセラのモデルを示す。

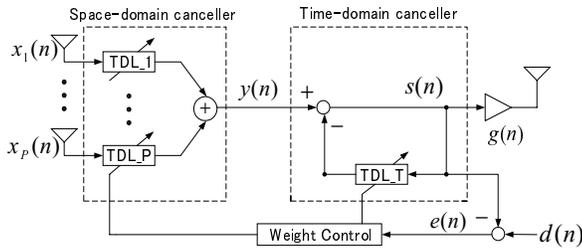


図 1: 時空間回り込みキャンセラの構造

$x_p(n)$ はアレー各素子での受信信号、 $y(n)$ はアレーの出力信号、 $s(n)$ は再送信信号、 P はアレー素子数である。親局波の到来方向は 0 度とする。アンテナ部分は広帯域用適応アレーとなっており、タップ付遅延線路フィルタが各素子における振幅、位相調整に用いられている [2]。 $x_p(n)$ は (2) 式で表せる。

$$x_p(n) = d(n) + c_p(z^{-1})s(n) \quad (2)$$

ここで、 $d(n)$ は親局波、 $c_p(z^{-1})$ は回り込み波の伝搬路特性である。また、 $s(n)$ は (3) 式で表せる。

$$s(n) = \mathbf{W}^H(n)\mathbf{X}(n) - \mathbf{w}_T^H(n)s(n) = \begin{bmatrix} \mathbf{W}(n) \\ \mathbf{w}_T(n) \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} \mathbf{X}(n) \\ -s(n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、各ベクトルは以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(n) &= [x_1^T(n), x_2^T(n), \dots, x_P^T(n)]^T \\ x_p(n) &= [x_p(n), x_p(n-1), \dots, x_p(n-(J-1))]^T \\ \mathbf{W}(n) &= [w_1^T(n), w_2^T(n), \dots, w_P^T(n)]^T \\ \mathbf{w}_p(n) &= [w_{p0}(n), w_{p1}(n), \dots, w_{pJ-1}(n)]^T \\ \mathbf{w}_T(n) &= [w_{T1}(n), w_{T2}(n), \dots, w_{TM}(n)]^T \\ s(n) &= [s(n-1), s(n-2), \dots, s(n-M)]^T \end{aligned}$$

また、 $p = 1, 2, \dots, P$ であり、 J はアレーのタップ数、 M は時間キャンセラのタップ数である。理想キャンセル条件は $e(n) = d(n) - s(n) = 0$ となることである。

MMSE 基準による評価関数として次式を定める。

$$J(n) = E[|e(n)|^2] = E[|d(n) - s(n)|^2] \quad (4)$$

(4) 式はウェイトベクトルの 2 次関数であるので、極値が唯一の最小値となる。また、最適解はウィナー解により求めることができる。更新式は正規化 LMS を用いて以下のように表せる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{W}(i+1) \\ \mathbf{w}_T(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}(i) \\ \mathbf{w}_T(i) \end{bmatrix} + \mu \sum_{n=1}^N K(n) \begin{bmatrix} \mathbf{X}(n) \\ -s(n) \end{bmatrix} e^*(n) \quad (5)$$

$$K(n) = 1 / \left(1 + \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{X}(n) \\ -s(n) \end{bmatrix} \right\|^2 \right) \quad (6)$$

ここで、 μ はステップサイズ、 N はサンプル数、 i はシンボル番号である。

誤差信号 $e(n)$ の計算方法は、まず周波数域においてパイロットキャリア部分の誤差を計算する。

$$E(\omega_{plt}) = D(\omega_{plt}) - S(\omega_{plt}) \quad (7)$$

$D(\omega_{plt})$ はパイロットシンボル、 $S(\omega_{plt})$ は再送信信号をフーリエ変換したものである。次に、(7) 式で得られた誤差信号に逆フーリエ変換を施すことにより、時間域の誤差信号 $e_{plt}(n)$ を得ることができる。

$$e_{plt}(n) = \mathcal{F}^{-1}[E(\omega_{plt})] \quad (8)$$

ここで、 $\mathcal{F}^{-1}[\cdot]$ は、逆フーリエ変換を表す。このとき、パイロットキャリア以外のキャリアには 0 が挿入されているため、 $e_p(n)$ のレベルは小さくなってしまふ。そこで、次式を計算することにより信号レベルを補正する。

$$e(n) = \sqrt{\frac{N}{K_p}} e_p(n) \quad (9)$$

ここで、 N は FFT サイズ、 K_p は 1 シンボル中のパイロットキャリアの数である。このようにして、パイロット信号のみを用いた誤差信号の計算が可能となる。

4 数値例

OFDM 変調部のパラメータは ISDB-T でのモード 1 に準じ、キャリア数 1405, FFT サイズ 2048 とし、変調方式は 64QAM を用いた。アレーの素子数は 5, タップ数は 3 であり、時間キャンセラのタップ数は 128 である。中継局の雑音は 30dB とした。親局波の到来方向は 0[deg] である。シミュレーションの評価基準として、

$$\Gamma_{SNR}(i) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{k=0}^K |D(i, k)|^2}{\sum_{k=0}^K |D(i, k) - S(i, k)|^2} \quad (10)$$

で表される SN 比を用いた。i はシンボル番号, k はキャリア番号である。

1. シミュレーション 1

回り込み波 3 波, マルチパス波 1 波, 妨害波 1 波の到来方向, 振幅比, 遅延時間は以下のとおりである。

回り込み波 : 30, -20, -50[deg], -5, 0, 5[dB], 20, 40, 60[clk]

マルチパス波 : -30[deg], 5[dB], 30[clk]

妨害波 : 50[deg], 5[dB]

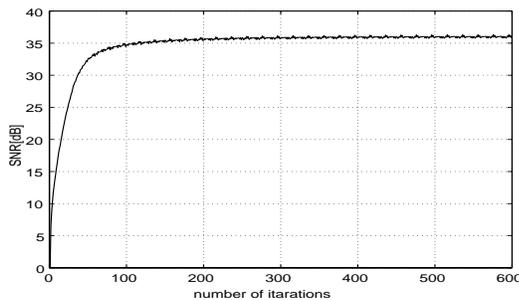


図 2: キャンセル性能

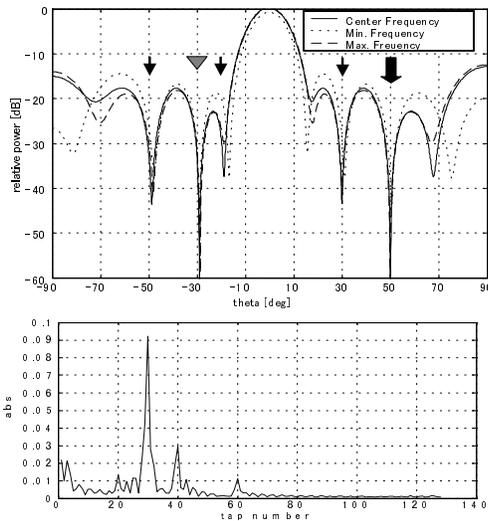


図 3: ビームパターンと時間キャンセラのウェイト

図 2 を見ると、精度よく不要波が除去されていることがわかる。また、図 3 を見ると妨害波方向に深いヌルを形成することにより完全にアレーで除去され、除去しきれない他の成分に関しては時間キャンセラで除去していることがわかる。

2. シミュレーション 2

次に回り込み波の伝搬路特性の変動に対する追従特性を示す。シミュレーション 1 においてパラメータが定常状態になったところで新たに以下の回り込み波を 2 波追加する。

回り込み波 : 40, 20[deg], 5, -3[dB], 80, 100[clk]

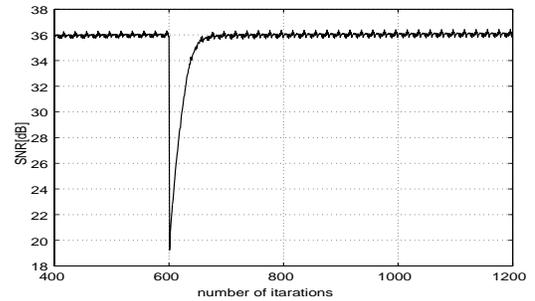


図 4: キャンセルの追従性能

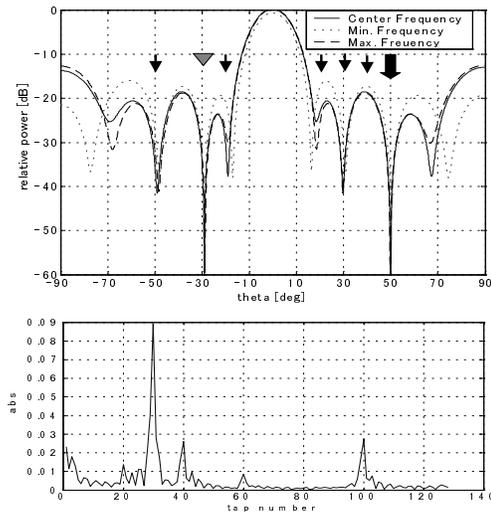


図 5: ビームパターンと時間キャンセラのウェイト

図 4 を見ると、回り込み波を加えた時点では SNR が一時的に落ち込んでいるが、その後追従していることがわかる。したがって伝搬路の変動に対しても強いキャンセラであることがいえる。

5 結論

適応アレーを併用した時空間回り込み波キャンセラを提案し、一括処理を行うアルゴリズムを与えた。また、シミュレーションにより回り込み波だけではなく、マルチパス、妨害波の除去についても有効であることを確認した。

参考文献

- [1] 伊丹誠, ~デジタル放送/移動通信のための~OFDM 変調技術, トリケップス, 2000.
- [2] 菊間信良, アレーアンテナによる適応信号処理, 科学技術出版, 1998.