

繰り返し適応ソフト並列干渉キャンセラを用いるターボ符号化 MIMO 多重の伝送特性 Iterative Adaptive Soft Parallel Interference Canceller for Turbo Coded MIMO Multiplexing

中島 昭範, ガーグ ディープシカ, 安達 文幸
Akinori Nakajima Deepshikha Garg Fumiyuki Adachi

東北大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. はじめに

帯域拡大せずに、より高速のデータ伝送を可能とする MIMO 多重が、最近注目を集めている[1]. ターボ符号化 MIMO 多重では、受信側でターボ復号用軟判定値系列を生成することが必要である。筆者らは、適応ソフト並列干渉キャンセラ(ASPIC)を用いて MIMO チャネルから SIMO チャネルへ変換し、最大比合成(MRC)ダイバーシチ受信を用いてターボ復号用軟判定値系列を生成する手法を提案した[2]. 本稿では、ターボ復号器で得られた対数尤度比(LLR)系列を帰還して干渉キャンセルを繰り返すことで干渉レプリカ生成を高精度化する繰り返し ASPIC を提案し、ターボ符号化 MIMO 多重のビット誤り率(BER)特性を明らかにしている。

2. 繰り返し ASPIC

送信アンテナ数を N , 受信アンテナ数を M とする繰り返し ASPIC を用いるターボ符号化(N, M)MIMO 多重の受信機の構成を図 1 に示す。

送信機では、繰り返し ASPIC のために、符号化率 1/2 のターボ符号器を用いて、情報シンボル $d_n, n=0 \sim N/2-1$, とパリティシンボル $d_n, n=N/2 \sim N-1$, を別々のアンテナから送信している。ASPIC では、干渉レプリカを生成して干渉キャンセルを行う。第 n 番目の送信アンテナから送信されたシンボル d_n の第 m 番目の受信アンテナにおける受信信号成分 $\hat{r}_{n,m}$ 抽出するための干渉キャンセル操作は次式で表される。

$$\hat{r}_{n,m} = r_m - \sqrt{2S} \sum_{k=0, \neq n}^{N-1} \hat{\xi}_{k,m} \tilde{d}_k^{(i)} \quad (1)$$

ここで、 $\hat{\xi}_{k,m}$ は第 n 番目の送信アンテナと第 m 番目の受信アンテナ間の複素チャネル利得の推定値であり、 $\tilde{d}_n^{(i)}$ は第 n 番目のアンテナで送信されたシンボル d_n の繰り返し i 回目の軟判定値である。次に、繰り返し ASPIC について以下に説明する。ターボ復号器出力の LLR から情報シンボルの軟判定値を次式のように生成する。ただし、 $n=0 \sim N/2-1$ である。

$$\tilde{d}_n^{(i)} = (1/\sqrt{2})\Omega(\beta\Lambda_{n_c}^{(i)}) + j(1/\sqrt{2})\Omega(\beta\Lambda_{n_s}^{(i)}) \quad (2)$$

$$\Omega(x) = [1 - \exp(-x)] / [1 + \exp(-x)] \quad (3)$$

ここで、 $\Lambda_{n_c}^{(i)}$ および $\Lambda_{n_s}^{(i)}$ は、第 n 番目のアンテナで送信された情報シンボル (2 ビット) に対応する繰り返し i 回目の LLR である。 β は、LLR より情報シンボルの軟判定値を生成するときのパラメータである。次に、これを MLD 判定器へ入力してパリティシンボルの判定を行って、情報シンボルの軟判定値とパリティシンボル判定結果 $\hat{d}_{n'}^{(i)}$ ($n' = N/2 \sim N-1$) を再び ASPIC に入力する。パリティシンボルの軟判定値は次式のように生成する。

$$\tilde{d}_{n'}^{(i)} = |\Omega(\beta\Lambda_{n_c}^{(i)})| \text{Re}[\hat{d}_{n'}^{(i)}] + j|\Omega(\beta\Lambda_{n_s}^{(i)})| \text{Im}[\hat{d}_{n'}^{(i)}] \quad (4)$$

ASPIC では、これらの軟判定値を用いてレプリカを生成して干渉キャンセルを行い、MRCダイバーシチ合成する。以上の操作を繰り返すのが、繰り返し ASPIC である。

3. 計算機シミュレーション

周波数利用効率が 4bps/Hz の ($2, M$)MIMO の平均 BER 特性を計算機シミュレーションで求めた。(7,5)RSC をコンポーネント符号器として使い、S ランダムインターリーブを内部インターリーブとするターボ符号器を用いた。復号には Log-MAP アルゴリズムを用い、復号繰り返し数を 9 回とした。データ変調は QPSK、チャネルインターリーブは 40x50 ブロックインターリーブである。各送受信アンテナ間の伝搬路は独立な周波数非選択性レイリーフェージングとし、理想チャネル推定を仮定した。図 2 はターボ符号化 ($2, 2$)MIMO 多重における β の影響を示している。ここでは、平均受信 E_b/N_0 を 5dB にしている。繰り返し回数が増えるに従って改善効果が見られるが、繰り返し回数が 3 回になると、特性改善がほぼ飽和していることがわかる。 $\beta=0.2$ がほぼ最適であるので、以下のシミュレーションでは $\beta=0.2$ を用いた。 $\beta \rightarrow \infty$ は硬判定 PIC である。平均 BER 特性を図 3 に示す。2 回の繰り返し

を用いると、平均 BER= 10^{-4} を得るための所要平均受信 E_b/N_0 を $M=2(4)$ のとき、約 0.8(0.5)dB 低減でき、完全 SIMO からの劣化を約 2.6(0.7)dB にできる。また、同図には、($2, M$)MIMO と同一の周波数効率を有する 16QAM で、Alamouti の時空間符号化送信ダイバーシチ(STTD)[3]を用いる 16QAM_STTD の平均 BER 特性を比較のためプロットした。 $M=2$ のときには 16QAM-STTD より約 0.2dB 劣化するものの、 $M=4$ のとき約 1.9dB 優れた特性が得られている。

4. むすび

LLR 系列を帰還して干渉キャンセルを繰り返す繰り返し ASPIC を提案した。2 回の繰り返しで十分なこと、 $M=2$ の時は STTD よりわずかに劣化するものの、 $M=4$ の時 1.9dB 優れた BER 特性が得られることを明らかにした。

参考文献: [1] G. J. Foschini, Wireless Personal Communi., vol.6, No. 3, 1998.

[2] 中島ら, 信学技報 2003-39, 2003 年 5 月.

[3] S. M. Alamouti, IEEE JAC, vol.16, No.8, Oct. 1998.

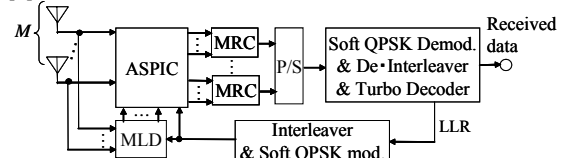


図 1 受信機の構成

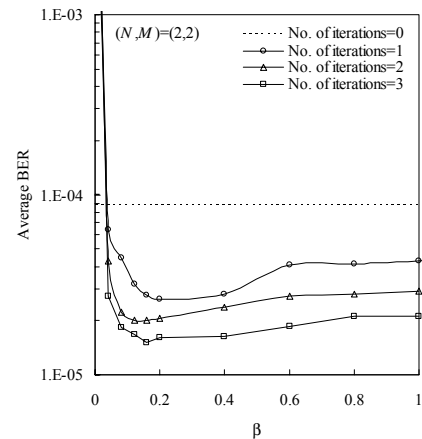


図 2 キャンセル重みの効果

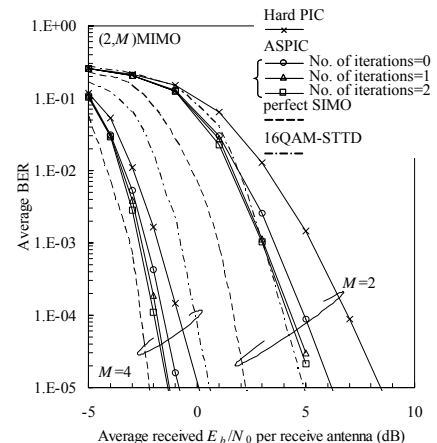


図 3 平均 BER 特性