

IDMA を用いたランダムアクセスにおける干渉キャンセラ構成の検討

B-5

A Study on Structure of Interference Canceller in IDMA-based Random Access

川田 真之
Masayuki Kawata

樋口 健一
Kenichi Higuchi

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

1. まえがき

IDMA (interleave division multiple access) [1]に基づくランダムアクセスでの基地局受信における干渉キャンセラ構成について検討する。

2. 基本となる干渉キャンセラ構成

同時に K ユーザがパケットを送信したとする。 K ユーザの集合を \mathcal{K} で表す。 ユーザ k ($k = 1, \dots, K$) は、情報ビット列をチャネル符号化し IDMA に基づきユーザ間で独立なチャネルインターリーブを行って得られた符号化ビットベクトルをデータ変調した信号ベクトル \mathbf{x}_k を送信する。 ターボ等化[2]に基づく基本となる干渉キャンセラ構成を図 1(a)に示す。 文献[1]に基づき、基本干渉キャンセラ構成は全ユーザの復号を同時に行うパラレル干渉キャンセラ(PIC: parallel interference canceller)とする。 干渉キャンセルは干渉キャンセルユニット(ICU: interference cancellation unit)の処理を複数回繰り返すことにより実現する。 ICUは MMSE 規範のシンボル推定部とチャネル復号器で構成される。 i 回目の MMSE シンボル推定では、直前の $i-1$ 回目のチャネル復号器が出力する符号化ビットの対数尤度比(LLR: log-likelihood ratio)を基に計算される \mathbf{x}_k の期待値 $E[\mathbf{x}_k]$ と分散値 $\text{Var}[\mathbf{x}_k]$ を事前情報として活用することにより軟値の干渉キャンセル相当の処理を実現する。 以降、 i 回目のユーザ k のチャネル復号で得られる事前情報を $A_k^{(i)}$ と表記する。 PIC では全ユーザの処理を同時に行うため、 i 回目の繰り返しにおいて $\{A_k^{(i)}\}_{k \in \mathcal{K}}$ を出力する。 なお、無線通信システムでは誤り検出符号化が行われるため、チャネル復号の硬判定結果が正しいかどうかを受信機で識別できる。 正しくチャネル復号された場合は、LLR に基づく軟値干渉キャンセル処理の代わりに硬判定値を受信信号から減算する硬値干渉キャンセル処理を行うものとした。 以上の処理の繰り返し数を増やすほど干渉キャンセル精度が向上する。

3. 検討する干渉キャンセラ構成

各ユーザの受信信号電力は伝搬路によりばらつくため、大きな受信信号電力のユーザから順に復号することにより干渉キャンセル精度が向上する。 そこで、図 1(b)に示すシリアル干渉キャンセラ(SIC: serial interference canceller)を検討した。 SIC では、各繰り返しで受信電力の大きなユーザから順に ICU 処理する。 受信電力の大きい順にユーザ番号が振られているとすると、 i 回目の繰り返しでのユーザ k の ICU には、ユーザ $1-k-1$ の i 回目の ICU 処理で得られた $\{A_k^{(i)}\}_{k=1, \dots, k-1}$ とユーザ $k-K$ の $i-1$ 回目の ICU 処理で得られた $\{A_k^{(i-1)}\}_{k=k, \dots, K}$ が事前情報として入力される。

SIC は PIC に比較してパケット誤り率(PER: packet error rate)を改善できると期待できるが、ユーザ毎のシリアル処理により復号遅延が増大する。 そこで、SIC での復号遅延の増大を抑える目的で、図 1(c)に示す PIC と SIC のハイブリッド構成も検討した。 ハイブリッド構成では、全ユーザの集合 \mathcal{K} を、受信電力の大きさの近いもの同士で N 個の部分集合 $\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_N$ に分割し、ユーザ群 \mathcal{K}_n ($n = 1, \dots, N$)内のユーザ間はパラレル処理、異なるユーザ群間はシリアル処理とする。 i 回目の繰り返しでのユーザ群 \mathcal{K}_n の ICU には、ユーザ群 \mathcal{K}_{n-1} の i 回目の ICU 処理で得られた $\{A_k^{(i)}\}_{k \in \mathcal{K}_{n-1}}$ とユーザ群 \mathcal{K}_n の $i-1$ 回目の ICU 処理で得られた $\{A_k^{(i-1)}\}_{k \in \mathcal{K}_n}$ が事前情報として入力される。

4. シミュレーション評価

帯域幅が 4.5 MHz のシングルキャリア伝送で、符号化率 1/3 のターボ符号化と QPSK 変調を用いた 1 ms のパケット伝送を模擬した。 平均 5 ユーザがポアソン分布に従ってランダムに同時パケット伝送を行うものとした。 rms 遅延スプレッドが 1 μ s の 6パスレイリーフェージングを仮定した。 受信機のアンテナ数は 8 とし、最大比合成でアンテナ間の信号合成を行った。 干渉キャンセラの繰り返し数は最大 8 とした。 ハイブリッド構成では、3 ユーザ毎にユーザ群を構成するものとした。

図 2 に SNR に対する平均 PER を示す。 SIC は、PIC に比較して大幅に PER を減少できた。 また、ハイブリッド構成は、SIC とほぼ同等の PER を実現した。 図 3 に SNR に対する平均復号回数と処理遅延時間を示す。 処理遅延時間はシリアルに行われた ICU 処理の回数で定義した。 SIC とハイブリッド構成は、ICU 処理毎の干渉キャンセル精度が高いため、PIC よりも復号回数を減少することができている。 ただし、SIC は最も復号回数が少ないものの、処理遅延時間は他の方式と比較して、ユーザ毎のシリアル処理のため大きくなっている。 しかし、ハイブリッド構成

は、概ね SIC に準じた PER と復号回数を実現しつつ、PIC に近い処理遅延時間を実現できた。

5. まとめ

検討した干渉キャンセラが、従来の PIC に比較して PER と復号回数を低減できることを示した。 また、ハイブリッド構成を用いることにより、処理遅延の増大を抑えられることを示した。

参考文献

- [1] L. Ping, et al., IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 4, pp. 938-947, Apr. 2006. [2] M. Tuchler, et al., IEEE Trans. Commun., vol. 50, no. 5, pp. 754-767, May 2002.

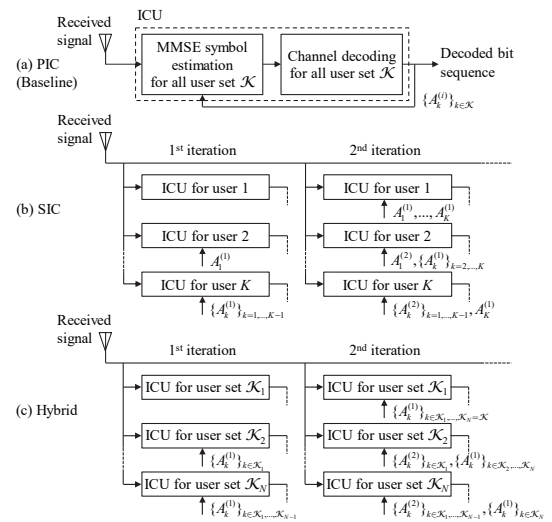


図 1. 検討した干渉キャンセラ構成

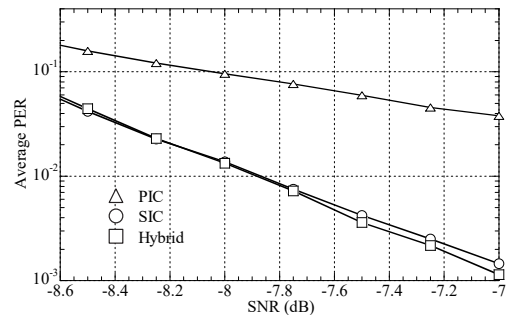


図 2. SNR に対する平均 PER

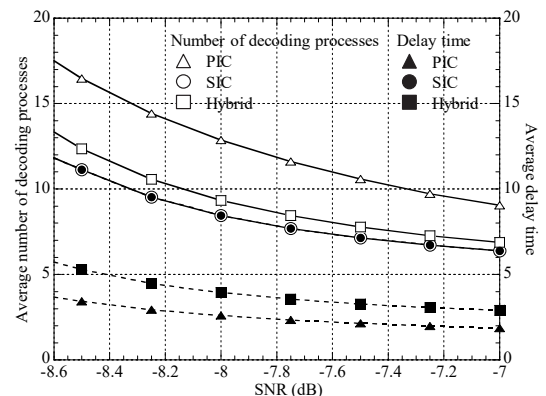


図 3. SNR に対する平均復号回数と処理遅延時間