

IDMA を用いた上りリンクランダムアクセスにおけるチャネル推定の一検討

B-5

A Study on Channel Estimation in IDMA-based Uplink Random Access

富澤 大毅
Taiki Tomizawa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[2]について、実際にパケットフレーム内にプリアンブルを多重し、これを用いてチャネル推定を行った場合の伝送特性を検討する。

2. プリアンブルを含むパケットフレーム構成

DFT-spread OFDM に基づくシングルキャリア伝送を想定し、1パケットフレームは B_t 個の DFT ブロックで構成されるものとする。 B_t 個の DFT ブロックの内、 B_p 個の DFT ブロックがプリアンブル送信に、残りの $B_d = B_t - B_p$ 個の DFT ブロックが符号化データの送信に用いられる。 B_p を大きくするほどプリアンブルを用いたチャネル推定の精度は改善すると考えられるが、一方で B_d が小さくなるためデータのチャネル符号化率を大きくする必要があるトレードオフがある。以降のシミュレーション評価ではこのトレードオフを検証する。プリアンブルとして相関特性に優れた Zadoff-Chu (ZC) 系列[3]を使用するものとする。長さ N の ZC 系列は式(1)で表される。

$$a_u(i) = \exp\left(\frac{-j2\pi u \cdot i(i+1)}{N}\right), \quad i=0,1,\dots,N-1 \quad (1)$$

ここで u は系列番号である。 u には N に対して素である条件が付く。 N が素数であれば系列の総数は $N-1$ となる。なお、 N は基本的に用いる DFT サイズに一致させることとし、1 DFT ブロックで長さ N の ZC 系列に基づくプリアンブルが送信されるものとする。

各 ZC 系列の自己相関関数はデルタ関数となるため、図 1 のように同一の ZC 系列 u を互いに Δ だけ巡回シフトしたものを異なる N/Δ 端末に割り当てるとこれらの端末間でプリアンブルを直交させることができる。ただし、 Δ は端末間の受信タイミング差とマルチパスの遅延時間広がりよりも大きくする必要がある。一方、異なる ZC 系列を用いると、端末間でプリアンブルに相互干渉が生じる。

多数同時接続のためには、多数のプリアンブル系列を用意する必要がある。そこで、 B_p が 1 より大きい場合には、DFT ブロック間の直交系列マスクングにより、直交する系列数を増大するものとした。マスクング係数は長さ B_p の式(2)で定義する DFT 系列で定める。

$$o_n(m) = \exp\left(\frac{-j2\pi(n-1)(m-1)}{M}\right), \quad n=1,\dots,B_p, \quad m=1,\dots,B_p \quad (2)$$

いま、ZC 系列 u の l 番目の巡回シフトにより得られた長さ N のプリアンブル系列を $a_{u,l}(i)$ と表記する。直交系列マスクングにより、同一の $a_{u,l}(i)$ から長さ $B_p N$ の直交するプリアンブル系列が B_p 個生成され、直交するプリアンブル数を増大することができる。

$$\begin{aligned} & \text{For DFT block 1} & \text{For DFT block } B_p \\ \tilde{a}_{u,l,1} &= o_{1,1}(1) \cdot \{a_{u,l}(i)\} & \cdots & o_{1,B_p}(1) \cdot \{a_{u,l}(i)\} \\ & \vdots & & \\ \tilde{a}_{u,l,B_p} &= o_{B_p,1}(1) \cdot \{a_{u,l}(i)\} & \cdots & o_{B_p,B_p}(1) \cdot \{a_{u,l}(i)\} \end{aligned} \quad (3)$$

3. プリアンブルを使ったチャネル推定

チャネル推定は時間領域で行うものとした。まず、時間領域受信信号に対して、候補となる各プリアンブル系列で相関を求める。 B_p が 1 より大きい場合には DFT ブロック間で相関値をマスクング係数の複素共役を掛けたうえで同相加算し雑音を抑制する。雑音パスを除去するために、各受信タイミングでの相関電力をしきい値と比較してしきい値以下となる受信タイミングの相関値は 0 とした。受信アンテナダイバーシティを想定した評価を行ったため、雑音パスの除去は、全受信アンテナ間で同一タイミングの相関電力の和を求め、この合計相関電力に対してしきい値操作を適用した。受信処理は周波数領域のシリアル干渉キャンセラ(SIC) [2]を用いたため、時間領域の相関プロファイル(推定したチャネルインパルス応答に相当)を DFT により周波数領域のチャネル応答推定値に変換した。

4. シミュレーション評価

帯域幅が 4.6 MHz のシングルキャリア伝送でサブキャリア数は $N = 307$ とし、符号化率 1/3 のターボ符号化+繰り返し符号化と QPSK

変調を用い、 $B_t = 7$ となる 1 ms 長のパケット伝送を模擬した。10 端末が同時にパケットを送信するものとした。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 4 とし、最大比合成でアンテナ間の信号合成を行った。SIC の繰り返し数は最大 8 とした。 B_p を 1 から 4 の範囲で変化させて評価した。繰り返し符号化率は、伝送情報ビット数が B_p によらず概ね 1/5 程度で公平な比較となるように、 B_p が 1, 2, 3, 4 の場合それぞれ 1/10, 1/8, 1/7, 1/5 とした。巡回シフト幅 Δ は 35 とし、1つの ZC 系列から 8つの直交系列を生成し、さらに直交系列マスクングにより $8B_p$ 個の直交したプリアンブル系列に拡張した。

図 2 に SNR に対する平均パケット誤り率(PER)を示す。 B_p をパラメータとした。比較のため理想チャネル推定の結果も示す。今回の評価諸元では、 $B_p = 2$ の場合にチャネル推定精度と繰り返し符号化率のトレードオフが最良となり最も PER が小さくなった。チャネル推定が理想的にできた場合と実際に推定した場合の PER を比較すると所要の SNR は 3 dB ほどの劣化が見られた。

5. まとめ

IDMA 規範のランダムアクセスにおけるチャネル推定法について初期検討を行った。評価結果で確認されたチャネル推定に起因する伝送特性劣化の抑圧は今後の検討課題である。

参考文献

[1] L. Ping, et al., IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 4, pp. 938-947, Apr. 2006. [2] M. Kawata, et al., in Proc. IEEE VTC2018-Fall, Chicago, U.S.A., Sept. 2018. [3] T. Kawamura, et al., IEICE Trans. Commun., vol. E91-B, no. 7, pp. 2299-2309, July 2008.

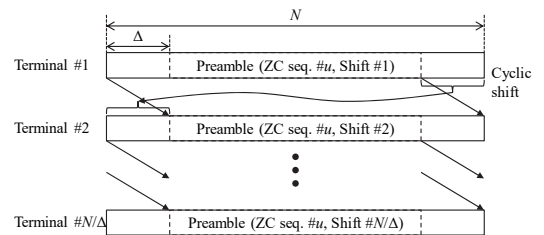


図 1. ZC 系列の巡回シフトによる直交プリアンブル生成

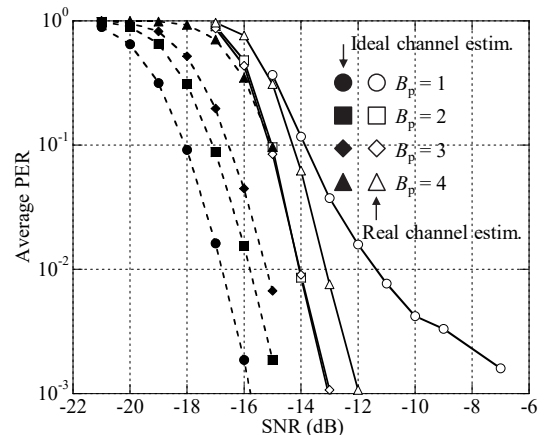


図 2. SNR に対する平均 PER