

多段判定型早期再送を用いた低遅延ハイブリッド ARQ 法の一検討

Low Latency Hybrid ARQ Method Using Early Retransmission with Multistage Judgement

谷山 顕太郎
Kentarou Taniyama

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

本稿では、筆者らが先に報告したチャンネル復号前情報に基づく早期再送を用いた低遅延ハイブリッド ARQ 法[1]について、ベースとなるハイブリッド ARQ 法を IR 型にしたうえで、早期再送時の送信帯域幅を多段判定により可変にすることによりスループットの改善を実現する方法を提案する。

2. 提案法

第 5 世代移動通信システムの URLLC では、高品質化と低遅延の両立が必要となる。受信誤りの起きたパケットだけを再送するハイブリッド ARQ は、高効率に高品質化できるが、チャンネル復号に伴う遅延時間が URLLC では問題となる。そこで筆者らは先に、チャンネル復号前情報に基づく早期再送を用いた低遅延ハイブリッド ARQ 法を報告した[1]。本方法は、従来のチャンネル復号結果に基づく再送制御に加えて、チャンネル復号結果を待たずにチャンネル復号前情報のみを用いて早期の再送制御を行う。これにより、再送要求信号の送信および後続する再送パケットの送信タイミングを前倒しすることができ、再送時の伝送遅延時間を短縮することができる。しかし、不要な早期再送を行ってしまった場合はスループットが劣化する。

そこで本稿では、早期再送時の送信帯域幅を多段判定により可変にすることにより早期再送を用いた低遅延ハイブリッド ARQ 法のスループットを改善する方法を提案する。パケット合成を用いるハイブリッド ARQ では、初回伝送と再送時に同一の符号化ビットを送信する Chase 合成法と再送時に初回伝送と異なる符号化ビットを送信する IR 法の 2 タイプが存在する。文献[1]では Chase 合成を仮定して評価を行っていたが、提案法では、より復号性能が高く、後述する多段判定との相性の良い IR 法を用いる。

文献[1]の早期再送を用いた低遅延ハイブリッド ARQ 法では、チャンネル復号前情報のしきい値判定により早期再送を行うかどうかを判断している。本稿では、文献[1]で提案された相互情報量(MI)に基づく早期再送判断メトリックを用いる(以降単にメトリックと呼ぶ)。MI を用いたメトリック γ は $\gamma = \log_2(1 + \beta \cdot g_i)$ と表せる。ここで、 g_i はパケット内のシンボル i の受信 SNR である。 β はデータ変調法とチャンネル符号化法に依存した定数であるが、本稿では 1 とした。パケット内の全シンボルに対して平均化したものを γ とする。 $\gamma > 0$ であり、 γ が大きいほどチャンネルの信頼度が高い。

提案する早期再送の多段判定における段数を N とする。提案法はどのようなメトリックに対しても適用できるが、以降の記述ではメトリック値が大きいほどチャンネルの信頼度が高いことを前提とする。 n 番目($n = 1, \dots, N$)の判定しきい値を T_n とする。ただし、 $T_n > T_{n+1}$ とする。また、メトリック γ の取りうる最小値を γ_{\min} として、便宜上 $T_{N+1} = \gamma_{\min}$ とする。MI を用いたメトリックでは $\gamma_{\min} = 0$ である。

このとき提案法は、 $\gamma \geq T_1$ となるときは早期再送を行わない。一方、 γ が $T_{n+1} \leq \gamma < T_n$ のときは、帯域幅 B_n で早期再送する。ここで、 $B_n < B_{n+1}$ とする。すなわち、提案法では、チャンネルの信頼度が低いほどより広い帯域幅でより多くの符号化ビットを早期再送する。この多段しきい値判断は、Chase 型に比較して再送ビット数を可変にできるという IR 型の特徴を活かした仕組みといえる。提案法は、従来法に比較してメトリックの比較的高い(低い)パケットに対して再送ビットが多すぎる(少なすぎる)ことを回避し、スループットを改善できる。

3. シミュレーション評価

15 kHz 間隔のサブキャリアを 300 並べた送信帯域幅 4.5 MHz の OFDM 伝送を模擬した。データ変調には QPSK 変調を用いた。チャンネル符号化は、LTE で使われているターボ符号を用いた。遅延スプレッドが $1 \mu\text{s}$ の 6 パスレリーフェージングチャンネルを模擬した。最大ドップラ周波数は 5.55 Hz とした。SNR = 0 dB とした。最大比合成を用いた 2 ブランチの受信アンテナダイバシチを適用した。チャンネル復号には繰り返し数 8 の Max-Log MAP 復号を用いた。

最大再送回数は 1 とした。再送要求時の送信間隔は、早期再送の場合は 2 ms、チャンネル復号後に通常再送要求を行う場合は、8 ms とした。伝送遅延時間は、復調及びチャンネル復号に要する時間を 4 ms と仮定し、初回パケットの復号が正しく行われた場合は 4 ms、早期再送パケットの復号で正しくパケットが復号された場合は 6 ms、通常再送パケットの復号で正しくパケットが復号された場合は 12 ms とした。最大再送回数は 1 回、提案法の判定段数 N は 2 とした。

図 1 に平均伝送遅延時間に対する平均スループットを示す。各方法についてしきい値を変化させたときの平均伝送遅延時間と平均スループットの関係性をトレースした。提案法については、 T_2 を 1.1 に固定したうえで、 T_1 を変化させた。初回伝送のサブキャリア数は 300 であり、通常再送時のサブキャリア数は Chase の場合 300、IR の場合 150 とした。 $N = 2$ の提案法では、早期再送時のサブキャリア数は $B_1 = 300$ としたうえで B_2 は 100, 150, 200 の場合を評価した。比較のため、早期再送時のサブキャリア数が 300 ないし 150 の $N = 1$ 段の早期再送を用いた Chase ないし IR 型のハイブリッド ARQ 法も評価した。図より、提案法は IR の適用と多段判定により早期再送時のスループット劣化を抑えられるため、最もよいスループット対遅延時間特性を実現した。評価した範囲では B_2 は 150 の場合に最良の結果を得た。

4. まとめ

多段判定により早期再送時のスループット劣化を抑えられるため、提案法は従来の早期再送を用いた低遅延ハイブリッド ARQ 法の特性をさらに改善することができた。

参考文献

[1] Y. Imamura, et al., "Low latency hybrid ARQ method using channel state information before channel decoding," in Proc. APCC2017, Perth, Australia, 11-13 Dec. 2017.

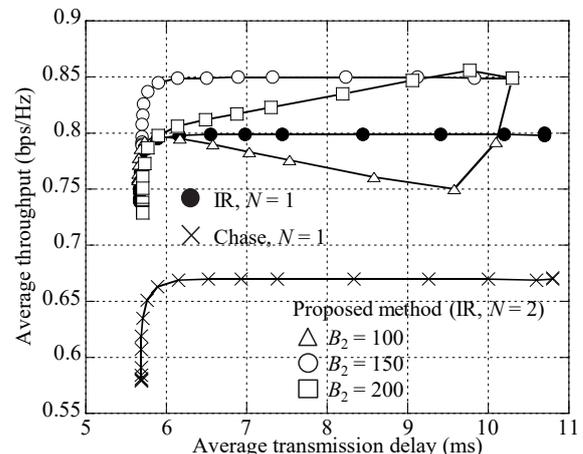


図 1. 平均遅延時間に対する平均スループット