

## 符号誤り状態適応型ハイブリッド ARQ の一検討

佐藤 直<sup>†</sup>

情報セキュリティ大学院大学<sup>†</sup>

### 1. まえがき

ワイヤレスブロードバンド技術の進展により、無線を利用したマルチメディアサービスの展開がさらに活発化するものと予想され、情報通信サービス品質、特に、伝送遅延や符号誤り等の伝送品質についてさらなる向上が要求されると考えられる。筆者は、符号誤り品質の検討の一環として、符号誤り率により符号誤り状態をグレード分けする手法を検討してきた[1][2]。本稿では、この符号誤りグレード分けの概要を示したあと、パケット伝送における誤り制御への適用を検討し、自動再送要求 ARQ (Automatic Repeat Request) と前方誤り訂正 FEC (Forward Error Correction) を組み合わせたハイブリッド ARQ を提案する。さらに、提案したハイブリッド ARQ がスループット特性の向上に有効であることを示す。

### 2. 符号誤りグレード分け

符号誤り率 BER (Bit Error Rate) に着目して符号誤り状態を分類し、各状態の開始および終了時刻を特定することを符号誤りグレード分けと呼ぶ。具体的には、以下の I ~ III のように行う。

- I. BERに関する(複数の)閾値Rを有理数N/Mで設定する。ここで、M(ビット)はBERを測定するための移動窓の長さ(固定長)、 $N(2 \leq N \leq M)$ は移動窓中の誤りビット数である。
- II. あるビットのグレードは、当該ビットのグレード決定に影響を与える範囲(当該ビットの前後のM-1ビット)におけるBERの変化を調べて決定する。
- III. あるグレードの期間(バースト誤り期間)は誤りビットで終始し、隣接するグレード期間の境界の誤りビットはよりBERの大きいグレード期間に含む。

グレード分けの例を図1に示す。同図ではM=5で、2つのR: 2/5, 4/5を設定している。BERが1/5以下の期間のグレードをG, 2/5および3/5のグレードをL, 4/5および5/5のグレードをHとすると、図1のようにグレード分けされる。すなわち、同図で①, ②, ..., ⑦を誤りビットとすると、①~④がHとなり、④の直後の

エラーフリービットから⑤までがLとなる。⑥~⑦にもLが定義されているが、これはHと隣接していないため、両端は誤りビットとなっている。HとL以外の期間はGとなる。

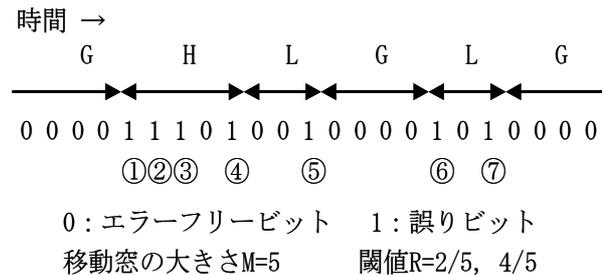


図1 符号誤りグレード分けの例

### 3. 符号誤り状態適応型ハイブリッド ARQ

ハイブリッドARQは、情報信号に対する誤り訂正符号を情報信号とともに送信し、受信側で誤り訂正できなかった場合に再送要求するTYPE-Iと、情報信号に誤りが発生した場合にのみ誤り訂正符号を送信するTYPE-IIに分類される。両者を比較すると、再送回数が少ない点でTYPE-Iの方が有利であるが、スループット特性はTYPE-IIの方が優れる場合が多い[3]。そこで、TYPE-Iに属するハイブリッドARQを対象に、符号誤りグレード分けによるスループット特性向上を検討する。ARQおよびFECの組み合わせにより、種々のTYPE-I方式が考えられるが、ここでは、数パケット長オーダーのバースト誤りが発生する無線系への適用、およびスループット特性算出の簡便さを考慮し、FECとARQが以下のような方式を対象とする。なお、以下では前節のビットをパケットに替えて検討する。また、各パケットはパリティチェックやCRC (Cyclic Redundancy Check) などの誤り検出機能を個々に有し、誤りを見逃す確率は十分小さく無視できるものとして検討する。

#### (1) FEC

複数の情報信号をパケット単位でインタリーブ[4]するとともに、インタリーブした情報信号ビットについてパリティを求める。情報信号パケットおよびこのパリティをデータとするパリティパケットとで1ブロックを構成し送信する。(後述の(3)参照)。また、受信側ではブロック

A Study on Hybrid ARQ with Adaptability for Bit Error Conditions

<sup>†</sup> Naoshi Sato, Institute of Information Security

中の誤り情報信号パケット数が 1 の場合のみパリティを用いて誤り訂正する。

(2) ARQ

ブロック中に複数の誤り情報信号パケットが含まれている場合、受信側からそのブロックについて NAK を送信側に送り、該当ブロックを再送する（選択再送）。

さらに、パケット伝送方法について、以下の (3)、(4) を仮定する。

(3) パケット伝送フレームの構成

インタリーブ間隔を  $n(\geq 2)$ 、各ブロックの情報信号パケット数を  $m(\geq 2)$  とし、図 2 のようなパケット伝送フレームを構成する。各パケットにはシーケンス番号を付与し、フレームの番号およびフレーム内のパケットの位置を識別する。なお、フレーム内の情報信号パケット数 ( $=mn$ ) が一定という条件のもと、複数のフレーム構成がとり得るものとする。

(4) フレームおよびブロックの送受信

受信側ではこのフレームを識別しデインタリーブする。フレームに誤り情報信号パケットがない、あるいはあっても全てのブロックで訂正できれば、このフレームを用いてパケットを送受するが、誤り訂正できない場合は、フレーム内の全ブロックが訂正されるまで該当ブロックを前述の ARQ で再送する。なお、インタリーブ/デインタリーブ用に、送信側/受信側各々 1 フレーム分のバッファメモリを用いてパケットを記憶する。また、受信側では、誤り訂正後のフレームを単位として、上位層あるいは他ネットワークへ情報信号パケットを渡す。

以下では、情報信号パケットを単位にスループットを定義する。図 2 の場合、最大スループット(再送がない場合のスループット)は  $m/(m+1)$

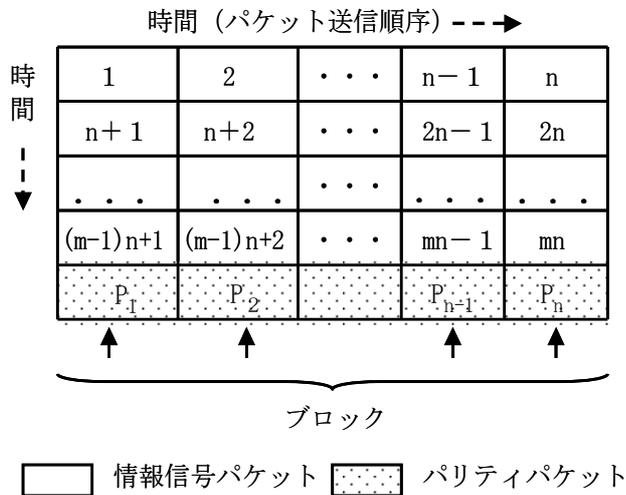


図 2 パケット伝送フレーム

となる。図 3 には、 $mn=36$  の場合の二つのフレーム構成、すなわち、フレーム構成 1 ( $m=12, n=3$ )、フレーム構成 2 ( $m=2, n=18$ ) について、パケット誤り率 PER (Packet Error Rate) に対するスループット特性 (シミュレーション結果、実線) を示した。両フレーム構成のスループット特性はある PER (約 0.065) で交差することが分かる。そこで、この PER を近似する  $(M, N)$  を  $(30, 2)$  と設定し、閾値  $R=2/30$  に対する PER の大小を送信側に通知して、フレーム構成 1 とフレーム構成 2 を選択する。このように、PER に応じてフレーム構成を制御した場合のシミュレーション結果を図 3 に示す (破線)。同図より、提案法を適用してフレーム構成を適応制御すると、スループットはフレーム構成が固定である特性の中よりスループットが大きい特性に近接することが分かる。

4. むすび

本稿では、符号誤り状態のグレード分けの概要を示し、ハイブリッド ARQ (TYPE-I) への適用を提案した。検討の結果、スループット特性向上に有効であるという見通しを得た。今後、具体的な適用を図る予定である。

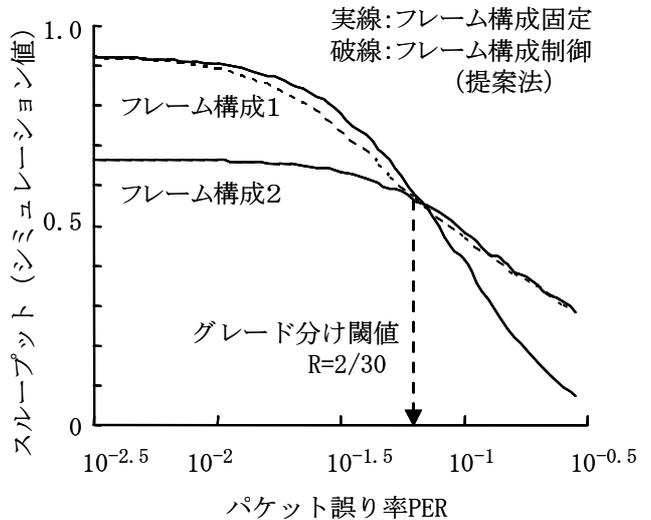


図 3 ハイブリッドARQのスループット特性

文 献

[1] 佐藤直, 四宮光文: バースト符号誤りのグレード分けと測定法の提案, 信学技報, CQ2002-118, pp.5-10, Feb. 2003.  
 [2] 佐藤直: バースト符号誤り状態の分類と特性, 信学技報, CS2004-233, pp.1-6, March 2005.  
 [3] 立川敬二監修: W-CDMA 移動通信方式, pp. 47-56, 丸善, 2001.  
 [4] 例えば, 今井秀樹: 情報理論, 第 7 章, pp. 178-179, 昭晃堂, 1984.