

TDD-双方向FPUにおけるType-II HARQ方式の適用に関する検討

鵜澤 史貴[†] 光山 和彦[†] 池田 哲臣[†] 平栗 健史^{††}

[†] NHK 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

^{††} 日本工業大学電気電子工学科 〒345-8501 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台 4-1

E-mail: [†]{uzawa.f-hu,mitsuyama.k-fw,ikedata.t-fk}@nhk.or.jp, ^{††}hira@nit.ac.jp

あらまし ファイルベース化された映像をデコードすることなく、効率よく伝送できるマイクロ波帯 FPU (Field Pick-up Unit) の開発を目標としている。ファイル伝送の効率を高めるには双方向通信による再送制御が必要である。筆者らは、周波数帯域の追加を伴わない時分割複信 (TDD : Time Division Duplex) 方式に適した自動再送要求 (ARQ : Automatic Repeat reQuest) を検討している。本報告では ARQ 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 (HARQ) として、同じパケットを再送する Type-I HARQ とパリティ部分を再送する Type-II HARQ を FPU に適用した構成を比較した。ガウスノイズ環境下におけるシミュレーションの結果、Type-I よりも Type-II で高スループットかつ低遅延となり、TDD を用いた FPU における有効性を確認した。
キーワード FPU (Field Pick-up Unit), TDD (Time Division Duplex), Type-I/Type-II HARQ

A Study on Applying Type-II HARQ Scheme for Bidirectional FPU Using TDD

Fumiki UZAWA[†], Kazuhiko MITSUYAMA[†], Tetsuomi IKEDA[†], and Takefumi HIRAGURI^{††}

[†] NHK Science & Technology Research Laboratories 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

^{††} Department of Electrical and Electronics Engineering, Nippon Institute of Technology

4-1 Gakuendai, Miyashiro-machi, Minamisaitama-gun, Saitama, 345-8501 Japan

E-mail: [†]{uzawa.f-hu,mitsuyama.k-fw,ikedata.t-fk}@nhk.or.jp, ^{††}hira@nit.ac.jp

Abstract An advanced video transmission system we are considering is a Field Pick-up Unit (FPU) that can transmit file-based videos efficiently, without decoding method. To increase the efficiency of file transmission is required retransmission control using bidirectional transmission. The authors are considering Automatic Repeat reQuest (ARQ) schemes appropriate for Time Division Duplex (TDD) that does not require additional frequency bands. This report is concerned with Hybrid ARQ (HARQ) combined by ARQ with Forward Error Correction (FEC), and shows a comparison of type-I HARQ scheme (retransmitting same packets) and type-II HARQ scheme (retransmitting parity packets) in FPU. From the simulation results in Gaussian noise condition, we acquire higher throughput and lower delay by type-II than type-I, therefore found an availability of type-II HARQ for bidirectional FPU using TDD.

Key words FPU (Field Pick-up Unit), TDD (Time Division Duplex), type-I/type-II HARQ

1. はじめに

6~7 GHz 帯のマイクロ波帯 FPU (Field Pick-up Unit) システムは、生中継や緊急報道などで使用されるハイビジョン映像伝送用の無線伝送システムである。筆者らは FPU システムにおいて、より効率よく映像素材を伝送する方法の研究を進めている。一方カメラや VTR などの映像機器はテープレース記録やメタデータの付与など、ファイルベース化が進められてい

る [1]。しかし映像ファイルを現行の FPU システムで伝送するには、収録したファイルを一度映像信号に変換する必要がある、その伝送には映像の実時間を要する。高速な伝送を実現するにはファイル形式のまま伝送することが望ましいが、その場合は自動再送要求 (ARQ : Automatic Repeat-reQuest) 情報を送信するための送り返し回線が必要となる。送り返し回線を用意することにより、伝搬環境に応じた適応変調や制御信号などの伝送も可能となる。目的の達成には FPU の双方向化が要求

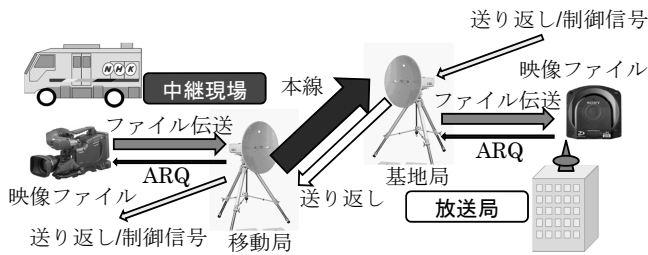


図1 双方向 FPU の概略図

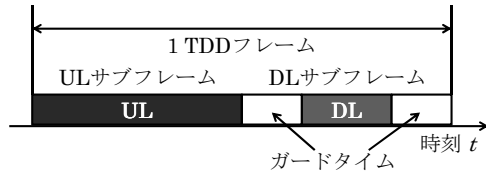


図2 TDD 方式の概略図

される。双方向 FPU の概略図を図1に示す。

双方向 FPU の複信方式は周波数帯域の追加や変更を伴わず、送受信の回線速度比率を変更できる時分割複信 (TDD : Time Division Duplex) 方式 [2] を想定しており、筆者らは TDD を FPU に適用する際の課題について検討している。TDD 方式の概略図を図2に示す。

以前の報告 [3] では TDD フレームに ARQ のやりとりを同期させる方式 [4] を使用し、1 対 1 伝送である FPU に特化することで、本線 (UL : UpLink) と送り返し (DL : DownLink) の時間比率によらない高い効率の伝送が可能であることを確認した。ただしこの段階の検討は ARQ 方式に畳込み符号を加えた単純なハイブリッド ARQ (HARQ) であり、誤りの発生したパケットはそのまま破棄していた。一方よく知られている HARQ 方式として、再送発生時に同一パケットを送信する Type-I HARQ とパケットのパリティ部分を送信し受信側で合成復号する Type-II HARQ がある [5]。パケット合成型の Type-I HARQ は受信側で Chase 合成 (CC) [6] することにより、時間ダイバーシティ効果を得て誤り発生率を低下させることができる。また Type-II HARQ は受信側で Incremental Redundancy (IR) 合成 [7] することにより、符号化率の適応制御をすることができる。

本報告では、複信方式に TDD を用いたマイクロ波帯双方向 FPU に適用する Type-I/Type-II HARQ 方式のパラメータを検討し、OFDM シンボル単位に同期したパケット構成を提案する。またガウスノイズ環境下のシミュレーションにおいて各構成のスループットを測定した結果から、Type-II HARQ を用いることにより低 CNR~高 CNR 環境いずれも Type-I よりもスループットが向上すること、加えて同じ符号化率では平均遅延時間が減少することを報告する。

2. 双方向 FPU のパケット構成

OFDM 方式を使用する ARIB STD-B33 [8] を元に、効率のよい HARQ を適用できる双方向 FPU のパケット構成を検討した。文献 [4] では TDD サブフレーム単位で同期した HARQ

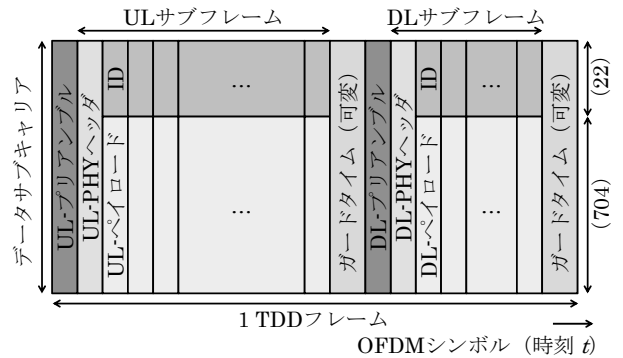


図3 TDD フレームの構成例

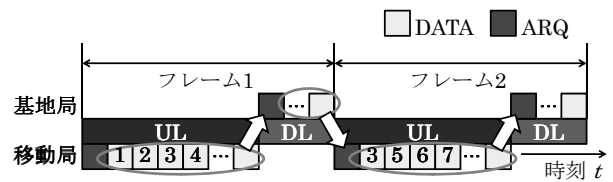


図4 ARQ 情報の送信方法

プロトコルを提案しているが、ここでは伝送する映像や用途に応じたきめ細かい伝送レート変更に対応するため、1 OFDM シンボル単位で調整できる形としている。複信方式に TDD を適用する場合の構成例を図3に示す。横軸は時刻であり、ARIB STD-B33 の 1 OFDM シンボルあたりの時間である $56.33 \mu\text{s}$ を時間単位とする。縦軸は周波数成分のデータサブキャリアであり、1 OFDM シンボルあたり 726 個を想定している。これをパケット ID などを格納する部分 (22 個) と実際のデータパケットを格納するペイロード (704 個) に振り分けた。ID とペイロードは独立して変調方式を変えられるものとし、データパケットの単位サイズを $704 \times 2 = 1408 \text{ bit}$ とする。1 シンボルあたりのデータパケット数は、QPSK 変調で 1, 16QAM 変調で 2, 64QAM 変調で 3, 256QAM 変調で 4 となり、OFDM シンボルとデータパケットが同期した形となる。なお各サブフレームの最初の OFDM シンボル時間は、送受信機間の同期に用いるプリアンブルとする。プリアンブルの次のシンボルは PHY ヘッダとし、変調多値数などの情報を格納する。また ACK/NACK となる ARQ 情報も PHY ヘッダに格納することを想定している。実際のデータパケットは各サブフレーム内のペイロード部分に格納する。

TDD フレームにおいて ARQ 情報をやり取りする方法を図4に示す。今回の方式では、直前サブフレームの各データパケットの誤り判定をまとめて ARQ 情報として送信する。ARQ 情報の受信に伴い、その次のサブフレームで NG となったデータパケットのみを再送する Selective Repeat (SR) -ARQ [5] である。

続いて HARQ 方式を適用する際のパケット構成を示す。HARQ 方式を大別すると、再送発生時に同一パケットを送信する Type-I HARQ とパケットのパリティ部分を送信し受信側で合成復号する Type-II HARQ となる [5]。それぞれの特徴を図5に示す。

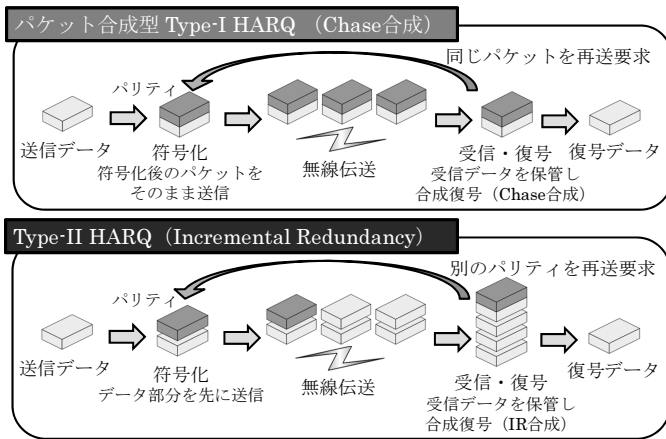


図5 Type-I/Type-II HARQ の比較

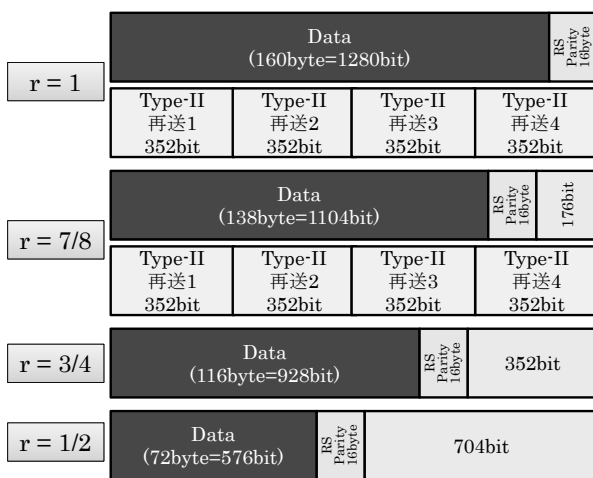


図6 HARQ パケット構成

本報告の HARQ に使用する誤り訂正符号は、ARIB STD-B33 で規定される内符号と同じ符号器を用いた拘束長 7、符号化率 $r=1/2$ を原符号とするパンクチャド畳込み符号である。Type-I HARQ を適用する際は、送信時のパケットサイズが 1408 bit となるように符号化とパンクチャ処理をする。Type-II HARQ を適用する場合も、初回送信のパケットサイズが 1408 bit となるように符号化とパンクチャ処理をする。ただしここではパンクチャされたビット列を送信側で保管しておき、2 回目以降の送信時はパンクチャされたビット列の中から各パケットで 352 bit ずつ送信し符号化率を変える Rate Compatible Punctured Convolutional (RCPC) 符号 [7] [9] となる。受信側では全ての送信におけるビット列を合成し、ビタビ復号する。本報告ではパンクチャ後の符号化率 $r=1, 7/8, 3/4, 1/2$ の 4 通りの Type-I HARQ を考え、うち $r=1, 7/8$ では Type-II HARQ も適用できる形とする。なお外符号には ARQ 処理のために誤り検出可能なパリティ 16 byte の Reed-Solomon (RS) 符号を用いる。各符号化率におけるパケット構成の模式図を図 6 に示す。図の Data 部分は符号化前の情報量である。

3. スループット測定シミュレーション

Type-I/Type-II HARQ を用いた各パケット構成における

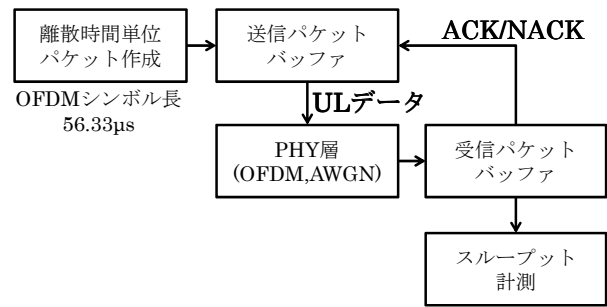


図7 シミュレーションモデル

表1 シミュレーション諸元

TDD フレームサイズ	5 ms
OFDM シンボル数 (UL:DL)	80:8
距離遅延	0
データキャリア変調方式 (ビットレート理論値)	16QAM (51.6 Mbps)
内符号 (畳込み) 符号化率 r	$r=1/2, 3/4, 7/8, 1$ (Type-I) $r=7/8, 1$ (Type-II)
外符号 (RS) パリティ	16 byte

UL 部分のスループットをシミュレーションにより比較した。シミュレーションモデルはガウスノイズ環境下の CNR を基準とし、ブロック図は図 7 に示すものとした。ARIB STD-B33 の OFDM シンボル長である $56.33 \mu\text{s}$ を離散時間単位と考え、シンボルごとに PHY 層部分の OFDM 変復調やノイズ付加処理をする。受信パケットバッファでは RS 復号することにより誤りを検出し、その結果を ACK/NACK として送信パケットバッファに ARQ 情報として送信する。ARQ 情報の送信タイミングは図 3 で示す PHY ヘッダのタイミングとする。なおこのモデルでは ID や ARQ 情報には誤りが発生していない、すなわち全て誤りが訂正できているものと仮定している。

続いてシミュレーション諸元を表 1 に示す。ここでは TDD フレームサイズを 5 ms とし、UL:DL の OFDM シンボル数は FPU への適用を検討している送受信比率である 80:8 を用いた。変調方式は 16QAM とし、単方向伝送かつ誤り訂正を加えない場合のビットレートを理論値としている。

ガウスノイズ下の CNR を $0 \sim 25 \text{ dB}$ とした時の UL 部分のスループットを図 8 に示す。誤りの発生しない環境ではパンクチャ後の畳込み符号化率 r によりスループットが決まるため、一定以上の CNR におけるスループットは頭打ちとなる。Type-I HARQ においては適応的な符号化率の変動がないため、各 CNR に応じて高いスループットが得られる符号化率は異なる。CNR が 12 dB 以下の場合は $r=1/2$ 、13~16 dB では $r=3/4$ 、17 dB 以上では $r=1$ で最大のスループットが得られる。 $r=7/8$ で高いスループットが得られないのは、符号化率が高く誤り訂正性能よりも冗長度が上がることによるオーバーヘッドが大きいためであると考えられる。また Type-II HARQ では CNR=10 dB において同じ符号化率の Type-I HARQ と比較して約 3 倍のスループットが得られる。曲線は Type-I の各符号化率における曲線の包絡線状となり、低 CNR~高 CNR 環

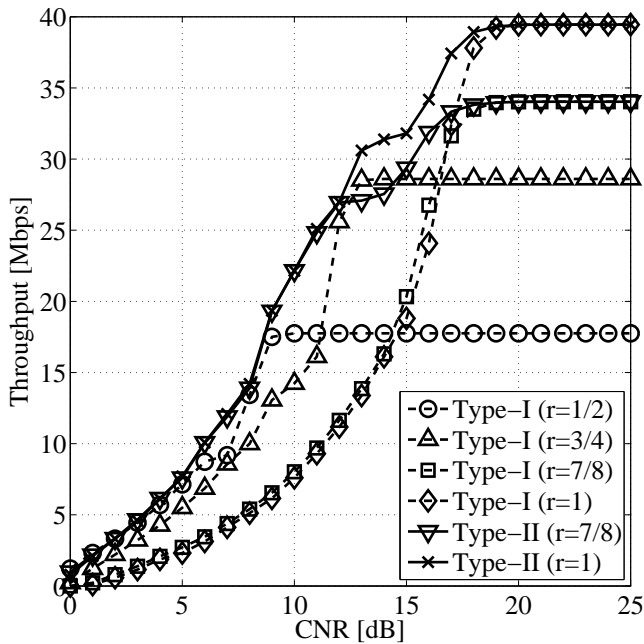


図 8 各 CNR における UL スループット

境のいずれも Type-I よりも高いスループットとなる。これは RCPC 符号の特徴である適応的な符号化率の変動により、最適な冗長度を選択していると考えられる。

同じく CNR を 0~25 dB とした時の平均遅延時間を図 9 に示す。この遅延時間は復号までのパケット再送回数によるもので、TDD フレームサイズが大きくなればその分遅延時間も大きくなる。どの構成も CNR が約 18 dB 以上の環境ではほとんど再送が発生しないため、平均遅延時間は 5 ms 程度となる。ただし低 CNR 環境では、符号化率 r が大きくなるほどその平均遅延時間は大きくなるのがわかる。Type-I HARQ で平均遅延時間を 40 ms 以下にしたい場合、 $r=1/2$ では約 1 dB 以上、 $r=1$ では約 8 dB 以上の CNR が必要である。Type-II HARQ では同じ符号化率の Type-I と比較して平均遅延時間が短縮される。CNR=10 dB においては $r=7/8$, 1 とともに約 5 ms、すなわち 1 TDD フレーム時間程度の短縮が確認できる。ただし低 CNR 環境においては再送回数が増加するため、初回から低符号化率で送信できる構成により遅延時間の増加を抑えられると考えられる。各構成により発生する遅延時間は異なるため、FPU で適用するアプリケーションに応じて HARQ によって発生する遅延時間を評価する必要がある。

4. まとめ

本報告では、複信方式に TDD を用いたマイクロ波帯双方向 FPU に適用する Type-I/Type-II HARQ 方式のパラメータを検討し、OFDM シンボル単位に同期したパケット構成を提案した。ガウスノイズ環境下のシミュレーションにおける各構成のスループットを測定した結果、Type-II HARQ を用いることにより低 CNR~高 CNR 環境いずれも Type-I よりもスループットが向上すること、加えて同じ符号化率では平均遅延時間が減少することを確認した。

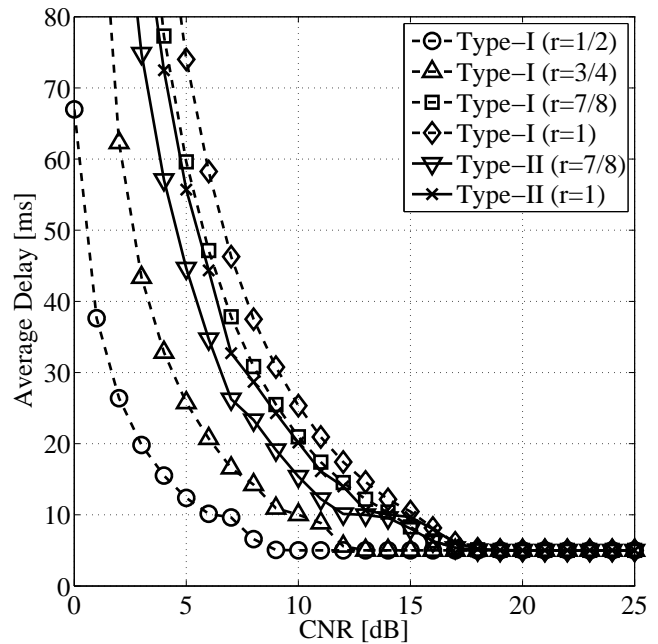


図 9 各 CNR における平均遅延時間

今後は変調・符号化方式に加え、実際の ARQ 情報の送信方法などパラメータ検討を継続し、双方向のメリットを生かした FPU の実現につなげる予定である。

文 献

- [1] 内海章博, “MXF 標準化最新動向,” 2009 映像学年次大, S2-5, Aug. 2009.
- [2] Peter W. C. Chan, Ernest S. Lo, Ray R. Wang, Edward K. S. Au, Vincent K. N. Lau, Roger S. Cheng, Wai Ho Mow, Ross D. Murch, and Khaled Ben Letaief, “The evolution path of 4G networks: FDD or TDD?,” *IEEE Commun. Mag.*, vol.44, issue.12, pp.42-50, Dec. 2006.
- [3] 鶴澤史貴, 光山和彦, 池田哲臣, “双方向 FPU に向けたハイブリッド ARQ 方式の検討,” 映像学技報, vol.36, no.10, BCT2012-46, pp.61-64, Feb. 2012.
- [4] IEEE C802.16m-08/353, “Proposal for IEEE 802.16m HARQ Protocol and Timing,” May 2008.
- [5] S. Lin, D. J. Costello, M. J. Miller, “Automatic-repeat-request error-control schemes,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 22, issue. 12, pp. 5-17, Dec. 1984.
- [6] D. Chase, “Code Combining—A Maximum-Likelihood Decoding Approach for Combining an Arbitrary Number of Noisy Packets,” *IEEE Trans. Comm.*, vol. 33, issue. 5, pp. 385-393, May 1985.
- [7] J. Hagenauer, “Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications,” *IEEE Trans. Comm.*, vol. 36, issue. 4, pp. 385-393, Apr. 1988.
- [8] ARIB STD-B33, “テレビジョン放送番組素材伝送用可搬型 OFDM 方式デジタル無線伝送システム,” 標準規格.
- [9] T. Niinomi, I. Sasase, S. Mori, “Selective repeat type-II hybrid ARQ/FEC scheme using rate-compatible punctured convolutional code,” in *Proc. IEEE ICC '90.*, vol. 3, pp. 1251-1255, Apr. 1990.