インテルサット衛星による 15 Mbps デジタルテレビジョン伝送

正会員 村 上 仁 己[†], 正会員 松 本 修 一[†]
佐 藤 軍 吉[†], 山 崎 徳 和[†]
正会員 山 本 英 雄[†], 村 谷 拓 郎[†]

1. ま え が き

伝送路のデジタル化は、その高品質化と経済化のため世界の一般的趨勢である。たとえばテレビ伝送に関しては、1982年の第15回CCIR総会においてデジタルテレビの符号化パラメーター¹⁾とその長距離伝送における一般原則が勧告され、今後の方向が定まったことにより、ますますデジタル化が進展するものと思われる。

テレビ信号のデジタル伝送には、伝送コスト低減のため高能率符号化技術の採用が不可欠であり、これまで数多くの符号化方式が開発されてきた。これらの方式は主にPCM階層の第3次群(日本: 32 Mbit/s, 欧州: 34 Mbit/s, 北米: 45 Mbit/s)あるいはデジタル衛星伝送路(30 Mbit/s)を目的としたものであった。最近、筆者らはインテルサットにおけるテレビトラフィックの急増に対処するため、現行のテレビ方式であるハーフトランスポンダFM方式の2倍の帯域使用効率を実現した15 Mbps 高能率符号化装置を開発した。

その後、1983年9月、米国フェニックスで開催された第6回デジタル衛星通信国際会議(ICDSC-6)の実行委員長からの協力要請により、本会議のメインイベントであるフェニックス・ロンドン間のパネルディスカッションを本装置を用いて衛星中継で行った。

今回のテレビ中継では、異なるテレビ方式(米国のNTSC, 英国のPAL)間のデジタル伝送であるため、伝送レートの削減のほかにテレビ方式の変換機能が必要とされた。また、インテルサットが行っている通常のテレビ中継と異なり、フェニックス側は口径が5 mという小形アンテナを用いることを前提としたた

め、通常の中継にはない12 dB前後の低C/N伝送路という条件でのデジタルテレビ伝送であった。

本稿は、このような条件でのデジタルテレビ伝送について、そのシステム構成ならびに用いた装置について述べる。

2. デジタル衛星伝送路の特性

今回のデジタルテレビ伝送では、英国グリーンヒリーにある標準A地球局とフェニックス側のアンテナ口径約5 mの可搬形小形アンテナを用いるため、現行のテレビ中継で規定されているC/N(約16~17 dB)に比べ、かなり低いC/Nしか得られないことが予想された。この伝送系でのリンクバジェットが表1である。これによると、この伝送路のC/Nは12~13 dBであり、ある程度のマージンを見込むと10 dB程度のC/Nでデジタルテレビ伝送可能なシステムが

表1 グリーンヒリー・フェニックス間リンクバジェットの例
Goonhilly-Phoenix link budget.

フェニックス→グリーンヒリー		グリーンヒリー→フェニックス	
(アップリンク: グローバルビーム ダウンリンク: グローバルビーム)		(アップリンク: グローバルビーム ダウンリンク: スポットビーム)	
地球局 e. i. r. p.	(dBW)	78.5	82.0
アップリンク伝送損失	(dB)	200.2	200.2
トラッキングエラー	(dB)	0.75	0.3
衛星電力	(dBW)	-122.5	-118.5
衛星電束密度	(dBW/m ²)	-85.5	-81.5
衛星 G/T		-16.9	-16.9
飽和電束密度	(dBW/m ²)	-79.5	-79.5
入力バックオフ	(dB)	6	2
アップリンク C/N		13.6 dB	17.6 dB
衛星飽和 e. i. r. p.	(dBW)	24.0	36
出力バックオフ	(dB)	1.5	0.5
伝送損失	(dB)	196.8	196.8
地球局 G/T	(dB/K)	40.7	23.5
C/N熱雑音	(dB)	19.4	15.2
干渉マージン	(dB)	0.5	1.0
C/N		18.9	14.2
トータル C/N	=	12.5 dB	12.6 dB

[†] 国際電信電話株式会社 研究所

"A 15 Mbps Digital TV Transmission via INTELSAT Satellite"
by Hitomi Murakami, Shuichi Matsumoto, Gunkichi Sato, Norikazu Yamazaki, Hideo Yamamoto and Takuro Muratani (Research and Development Laboratories, KDD, Tokyo)

必要とされた。

一方、新たに開発した本デジタル伝送に用いる符号化装置³⁾は、時間軸方向の冗長性を除去するフレーム間およびフィールド間予測に基づいているため、伝送路エラーの画質に与える影響を考慮すると、 10^{-8} 以下の符号誤り率(BER)が必要となる。このBERを達成するには、現行の標準A地球局間の伝送においても誤り訂正符号を必要とする。よって、口径5mのアンテナを用いる今回のデジタル伝送では、いかに高い誤り訂正能力をもつ符号と変復調方式を組合せてシステム構成するかがキーポイントとなった。そこで、このように高いBERの伝送路と低いBERが要求される符号化装置という相反する条件のもとで、良好な画質を保ちデジタル伝送によるテレビ中継を行うには、36 MHz帯域の衛星中継器の使用が予定されたことから、次の2つのシステム構成が考えられた。

(1) 変調方式として4 ϕ PSK(4相PSK)を用い、これで得られる伝送レート60 Mbpsのうち15 Mbpsを画像と音声に、残りの45 Mbpsを誤り訂正符号に割りあてる。

(2) 2 ϕ PSK(2相PSK)を用い、30 Mbpsのうち、15 Mbpsを画像と音声に、残りの15 MPBsを誤り訂正符号に割りあてる。

これら4 ϕ PSKおよび2 ϕ PSK変調方式のBER特性は、筆者らが以前行った衛星実験⁴⁾⁵⁾によると、 C/N が12 dB程度で4 ϕ PSKで約 10^{-3} 程度、2 ϕ PSKで 10^{-5} 程度となる。また C/N が10 dB程度ではそれぞれ 5×10^{-3} 、 2×10^{-4} 程度となる。本符号化装置では、15 Mbpsの伝送レートに誤り訂正符号

として、 C/N が16~17 dBの通常の衛星伝送路を想定した1 Mbps分の(255, 239) BCH符号を組み込んでいるが、この誤り訂正符号では上記BERに対し、要求される 10^{-8} 以下にすることは難しく、さらに強力な誤り訂正能力を持つ符号が必要となる。このような条件を満たし、さらにデジタル音声伝送にくらべ高速処理が要求されるデジタルテレビ用誤り訂正符号としては、符号化率1/2のゴレイ符号⁶⁾が最も有望であり、さらに4 ϕ PSKに比べて伝送路における周波数特性や群遅延特性の劣化に強く特別な伝送路等化を必要としない2 ϕ PSKの組合せが有効であるといえる。よって本デジタル伝送は、以下に述べるシステム構成で実行された。

表 2 衛星伝送での主要諸元
System parameters of the satellite transmission.

項 目	諸 元	
	グリーンヒル地球局(英国)	フェニックス地球局(米国)
衛 星	インテルサット TV F-1, 307° E	
トランスポンダ	トランスポンダ2: フェニックスからグリーンヒル (グローバルビーム)(スポットビーム) トランスポンダ8: グリーンヒルからフェニックス (グローバルビーム)(グローバルビーム)	
周波数(上り/下り)	4015 MHz/6240 MHz	3765 MHz/5990 MHz
送信電力(e.i.r.p.)	82.0 dBW	78.5 dBW
G/T (dB/K)	23.5以上	40.7以上(仰角17°)
中間周波数	70 MHz	
変調方式	2 ϕ - 差動位相変調, 30 Mbps	
復調方式	2 ϕ - 差動位相同期検波

図 1 15 Mbps デジタルテレビ伝送システムの基本構成
Configuration of 15 Mbps digital TV transmission system.

3. デジタル伝送システムの構成

本衛星実験の系統図を図1に、その諸元を表2に示す。フェニックス側ではテレビ信号符号化装置、変復調装置などは、会議が行われているホテル内に設置され、ここから可搬形アンテナまでの約150mはIFケーブルで接続されている。一方、英国側では符号化装置等はグリーンヒリー地球局に設置され、アンテナは現用設備である口径29mのものが用いられた。グリーンヒリー地球局とロンドンの会議場間は通常のアナログテレビ伝送路である国内マイクロ波回線が使用された。

3.1 15 Mbps 高能率符号化装置

本装置はインテルサット衛星を介し、音声2チャンネルと誤り訂正符号を含み15 Mbpsの伝送レート(36 MHz帯域の中継器を用いて4 ϕ PSKにより4チャンネル伝送可能)でテレビ中継を行うことを目的として開発されたものであり、1中継器当りの伝送チャンネル数は現行のFM方式に比べ2倍となっている。

また本装置はNTSC、PAL、SECAM用エンコーダ・デコーダからなるアナログインターフェース部、高能率符号化部、およびテレビ標準方式変換部(TSC)の3つからなる。本装置のブロック図を図2に示す。

アナログインターフェース部ではNTSC、PAL、SECAMの3信号を、それぞれY、R-Y、B-Yの

3つのアナログコンポーネント信号に分離する。次にCCIRで新たに勧告された標準化周波数と量子化精度でA/Dする。すなわち、3つのコンポーネント信号は13.5 MHz、6.75 MHz、6.75 MHz、8ビット/サンプルのPCM信号となり高能率符号化部の入力となる。

この高能率符号化方式としては、15 Mbpsの伝送レートで静止画から激しい動き画像に対し、安定して高い符号化効率を実現するため、動き補償フレーム間・フィールド間・フィールド内による“中央値適応予測”方式⁷⁾という新たに開発した符号化法を採用している。またY、R-Y、B-Yの3信号に対する予測式および量子化器は、525/60と625/50の両テレビ方式に高い符号化効率を保ち、適応できるように設計されている。また伝送用デジタルフレームの構成も525/60と625/50の両テレビ方式に対し同一であり、CCIR勧告を満たしたユニバーサル符号化装置となっている。音声信号に関してもCCIR勧告の標準化周波数である32 kHzを採用している。

受信部の高能率復号化部からのY、R-Y、B-Y信号は、CCIR勧告PCM信号の状態テレビ標準方式変換部に入力される。ここで50フィールドと60フィールド間、および625ラインと525ライン間の変換が行われ、アナログエンコーダによりNTSC、PAL、SECAM信号となる。

3.2 誤り訂正装置および2 ϕ PSK変復調装置

図2 15 Mbps 高能率符号化装置ブロック図
Blockdiagram of 15 Mbps codec.

図3 2φPSK モデムとゴレイ符号のBER 対 C/N 特性

Performances of 2φPSK modem and Golay coder (BER versus C/N).

本誤り訂正符号は、3 誤りまで訂正可能な符号化率 1/2 の (23, 12) ゴレイ符号であり、その生成多項式は次式で示される。

$$G(x) = 1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11}$$

この誤り訂正符号の対 C/N 特性を、2φPSK に応用した場合の実験結果を図3に示す。この図から C/N が 10 dB で得られる 10⁻⁵ の BER では符号化利得は約 4 dB であり、要求される 10⁻⁸ の BER を約 2.5 dB マージンをもち実現できることがわかる。

本変復調方式は、差動位相変調による同期検波方式を用いており、送信フィルターの特性はインテルサット仕様を満たす 40% コサインロールオフ特性のものである。

4. 伝 送 結 果

この実験では小形アンテナの使用のほか、フェニックスは電波が非常に混雑している地域であるため、衛星伝送路への地上伝送路からの干渉があるなどの困難な問題点があったが、2φPSK とゴレイ符号の使用および上記地上系からの干渉をさけるための衛星周波数の選択により解決することができた。これにより、フェニックス会場の会議参加者約 600 名に、ロンドン側の会議出席者の模様をデジタル伝送し、大形プロジェクターおよび 4 台のモニターに高品質画像を映し出すことができた。

また、双方向の音声伝送で問題となるエコーの発生は、ロンドン側でエコーキャンセラー、フェニックス側ではエコーサプレッサーを使用することにより取り除くことができ、高品質伝送ができた。

5. む す び

本実験は、第 6 回国際デジタル衛星通信国際会議において、開催地のフェニックスとロンドン間をデジタル衛星回線で結び、パネルディスカッションをテレビ中継する目的で行われた。このデジタル伝送では口径 5 m という小形アンテナを用いるため、低 C/N でいかに良好な画質を実現するかが問題であったが、新たに開発した 15 Mbps 高能率符号化装置、2φPSK モデムとゴレイ符号を用いることにより解決することができた。本実験の詳細は別途報告する予定である。

本実験は ICDSC-6 の実行委員長、Alper 氏からの要請に基づいて実行された。本実験を遂行するに当り御援助いただいた KDD 研究所 鍛冶所長、野坂副所長、中井、小川両次長、ならびに本社関係各位に感謝する。実験システムを製作された日本電気、沖電気、および実験に参加された INTELSAT、COMSAT (米国)、BTI (英国) の関係各位に感謝する。

(昭和 58 年 11 月 21 日受付、昭和 58 年 12 月 15 日再受付)

【参 考 文 献】

- 1) CCIR Recommendation 601 "Encoding parameters of digital television for studios"
- 2) CCIR Recommendation 604 "Digital transmission—general principles"
- 3) H. Murakami, S. Matsumoto, Y. Hatori, H. Yamamoto, T. Ohshima and Y. Sano: "A 15 Mbit/s Universal Codec for TV Signals Using a Median Adaptive Prediction Coding Method", The Sixth International Conference on Digital Satellite Communications, at Phoenix, Arizona (Sept., 1983)
- 4) H. Yamamoto, Y. Hatori and H. Murakami: "30 Mbit/s Codec for the NTSC Color TV Signal using an Interfield-intrafield Adaptive Prediction", IEEE Trans., COM-29, 12, pp. 1859-1867 (1981)
- 5) KDD Technical Report, "Short Note on the First Field Test Results of TDMA/FDMA Terminal", 100 (1973)
- 6) 古賀, 安田, 村谷: "BCH 符号と自己直交符号におけるビット誤り率改善特性", 信学論誌, 62-B, 2 (1979)
- 7) 松本, 羽鳥, 村上: "テレビジョン信号の中央値予測方式—フレーム間・フィールド間・フィールド内適応予測符号化への応用—", 信学論誌, 66-B, 4 (1983)