

符号化変調技術実験

平良真一 李 還幫

多重ブロック符号化変調方式を用いた画像伝送用の移動地球局を開発し、衛星回線における伝送信号特性を取得した。基本伝送特性であるビット誤り率は、シミュレーションによる計算値とほぼ同じ特性を示し、衛星回線による特性劣化はほとんど見られなかった。また、衛星回線の非線形性による特性劣化も少なく、本方式が衛星通信に適した方式であることが実証できた。

1 まえがき

移動体衛星通信における画像伝送用として、多重ブロック符号化変調方式 (Multiple Block Coded Modulation: MBCM) を用いた変復調器を有する移動地球局を開発した。本地球局においては、伝送するデータビットの重要度に応じた誤り保護レベルを設ける不均一誤り保護技術を適用しており、移動体衛星通信のように受信信号の信号対雑音比が絶えず変動する環境下においては、通信の信頼度を向上できることが期待される¹⁾。技術試験衛星Ⅷ型を用いた符号化変調技術実験では、基本特性であるビット誤り率特性を取得すると共に、衛星回線は電力制限による高出力増幅器の非線形による回線品質劣化がしばしば問題となるため、多重ブロック符号化方式の非線形領域での特性についても取得した。また、地球局を車両へと搭載し、走行中における画像伝送実験を実施した。本文では、これらの実験結果について述べる。

2 多重ブロック符号化変調を用いた画像伝送用地球局

開発した画像伝送用地球局における変復調器の諸元を、表1に示す。多重ブロック符号化変調の多重数は2、4、6の3種類でスイッチによる切り替えが可能となっている。多重数が大きいほど、重要なビットに対してより高い誤り耐性を与えることになる。また、比較実験を行うため、BPSK、QPSK、8PSKなどの他の標準的な変調方式へも切り替えができる。画像コーデックには、MPEG4形式のものを使用しており、伝送するデータにはその重要度に応じて3段階の保護レベルをかける不均一誤り保護の機能を持つ。例えば、IPパケット信号による画像伝送を行う場合、パケット信号のアドレス等のフレーム部のヘッダ情報、画像信号のヘッダ部、画像データの3つの情報に対し、多重数6

表1 画像伝送地球局変復調部 (多重ブロック符号化変復調器) の主要諸元

変調方式: MBCM (多重数 $k=2, 4, 6$), BPSK, QPSK, 8PSK
情報ビットレート: 65.8kbps - 1579.2kbps
誤り訂正符号: 外符号: Reed-Solomon 符号 (204, 188)
内符号: 畳込み符号 (符号化率 1/2) / ビタビ復号
ブロック信号フレーム長: 7500symbol
ヘッダ部: 360symbol、データ部: 7140symbol
送受信フィルタ: コサインロールオフフィルタ (ロールオフ率: 0.3)
入出力 IF 信号周波数: 140MHz



図1 変復調部

の多重ブロック符号化時には、それぞれの符号化率が17/750、17/125、102/125の誤り保護を行って信号を伝送する。これらの符号化率がもたらす最小2乗ユークリッド距離はそれぞれ24.6、24.0および4.0である。伝送品質に強い影響をもつフレームヘッダと画像ヘッダに高い誤り耐性をもたせることによって、伝送データ全体の品質を向上させている。また、上記異なる誤り保護を一回の符号化変復調処理によって実現できるのは多重符号化変調の特長である。図1に変復調部の写真を示す。地球局の高周波部は、送信の等価等方輻射電力 (Equivalent Isotropically Radiated Power: EIRP) で20dBW程度、受信の性能指数 (G/T) は

-15dBK 程度を想定しており、今回の実験にて使用した移動地球局のアンテナ部には、車両へと容易に搭載が可能な、フェーズドアレー方式による平面アンテナを用いている^[2]。表2に、アンテナ部の主要諸元を示す。表2に示すアンテナ利得は、衛星仰角が45度の場合の値である。衛星追尾は、車両からの位置と方向の情報により制御を行うオープンループ方式と、アンテナが自らビーム走査をすることで信号の最大レベルをサーチして衛星を追尾するクロズドループ方式が備わっている。移相器には、連続的な位相変化が可能な無限移相器を採用して量子化誤差の低減をはかり、追尾角速度は1秒当たり最大で30度で、急激な方向転換をしないような通常の車両走行においては十分に衛星追尾が可能となっている。図2にアンテナ部の、レドームを外した状態での写真を示す。18個のアンテナ素子が円対称に配置されている様子がわかる。なお、衛星側には本変調方式による再生中継器は設けておらず、衛星をベントパイプモード設定して実験を行う。

表2 画像伝送地球局アンテナ部 (アクティブフェーズドアレーアンテナ)の主要諸元

アンテナ形式:	セルフダイプレクシングアンテナ
上層:	円形パッチ (送信)、下層: 円環パッチ (受信)
素子数:	18
移相器:	無限移相器 (ダブルバランスドミキサ型)
寸法:	φ440×H117mm 重量: 18.7kg
周波数:	2655.5 ~ 2658.0MHz (送信) : 2500.5 ~ 2503.0MHz (受信)
偏波:	左旋円偏波
アンテナ利得:	12.3dBi (送信) 14.5dBi (受信)
EIRP:	26.3dBW G/T: -12.3dB/K
追尾方式:	クロズドループ追尾 及びオープンループ追尾方式
追尾角速度:	最大 30°/秒

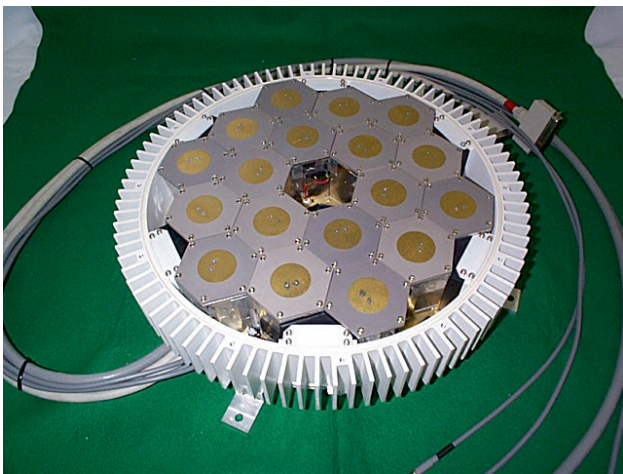


図2 アンテナ部

3 基本伝送実験

3.1 ビット誤り率特性

デジタル変復調器の基本特性であるビット誤り率 (Bit Error Rate: BER) 特性を取得した^[3]。ブロック符号化の多重数6、シンボルレートが1200kspsにおける測定結果を図3に示す。図3の、L1、L2及びL3は、それぞれの符号化率が17/750、17/125及び102/175であり、比較のため、BPSKによる特性も取得している。BPSKの計算値は理論値を示してあり、ブロック符号化における計算値は、計算機シミュレーションによる結果である^[4]。計算値からの測定値の劣化は、0.5dB以内と小さく、これは、地球局の変復調部の入出力信号である140MHz帯の信号による折り返し測定の場合の特性ともほぼ一致しており、衛星回線を通することによる回線品質劣化はほとんどないことが確認できた。

3.2 非線形回線における BER 特性

静止衛星は、赤道上空36,000kmに位置しており、地球局から衛星までの距離が大きく、衛星回線においては、信号送信用の高出力増幅器出力を飽和レベル付近で使用することもしばしば生じるため、回線の入出力特性が非線形状態にあるときの伝送性能を把握しておくことは重要である。

(1) トランスレータ折り返し試験

衛星を使用した実験の事前評価として、S帯基準局が持つトランスレータを用いたRF信号折り返し試験を実施した。試験では、変調器の出力をS帯基準局へ接続し、2.6GHz帯の出力周波数を持つS帯基準局の高出力増幅器の送信出力信号をトランスレータへ入力して、2.5GHz帯の受信周波数へ変換し、受信系である低雑音増幅器へと入力してやり、周波数変換後の140MHz帯IF信号を復調し、BER特性を取得した。本試験における回線の非線形性は、S帯基準局高出力増

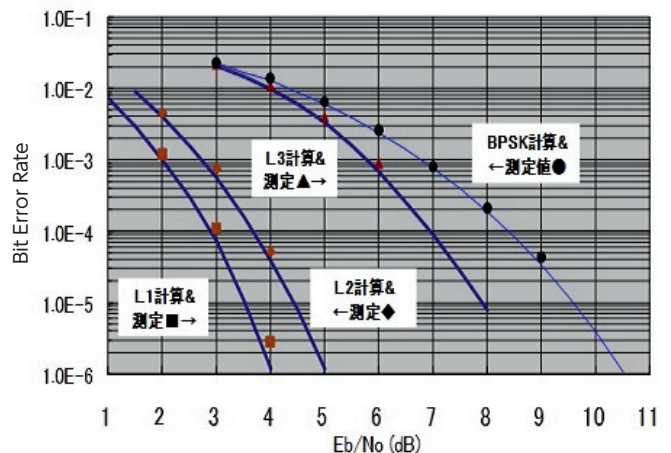


図3 BER特性

幅器の非線形特性により生じている。取得した非線形特性を図4に示す。図4において、横軸は、変調器の出力電力、すなわちS帯基準局への入力電力値を、縦軸は、復調器への入力電力、すなわちS帯基準局の出力電力値を示している。S帯基準局への入力電力値が-13.5dBmの動作点P1が、直線で示す線形特性の出力から1dBだけ低く抑圧された値となる1dB利得抑圧点(1dB gain compression: 1dBGCP)になるので、この点P1を基準として、S帯基準局への入力電力値を変化させている。BER測定は、動作点P1と、動作点P1での入力電力より4dB大きな電力を入力したP1+4dB、また、動作点P1での入力電力より6dB小さな電力を入力したP1-6dBの3点で実施した。多重ブロック符号化方式のBER特性並びに8PSKのBER特性を図5に示す。図5に示すように、8PSKの場合は、例えば、BERが 1.0×10^{-4} のとき、線形領域で動作しているP1-6dBに比べて、非線形領域で動作しているP1+4dBは約2dBの劣化が見られることがわかる。一方、多重ブロック符号化方式を用いると、非線形の影響による特性劣化はほとんど無く、多重ブロック符号化は、回線の非線形性の影響を受けにくい方式であるといえる。

(2) 衛星回線による実験⁵⁾

図6にETS-VIII経由の入出力特性を示す。図4と同様に、横軸は、変調器の出力電力、すなわちS帯基準局への入力電力値を、縦軸は、復調器への入力電力、すなわちS帯基準局の出力電力値を示している。S帯基準局への入力電力値が-16.7dBmの動作点P1が1dB利得抑圧点になるので、この点P1を基準として、高出力増幅器への入力電力値を変化させる。運用上の衛星の放射電力制限から、動作点P1より1.5dB大きな電力を入力したP1+1.5dBが実験可能な最大出力である。なお、このとき、地球局は線形な領域で動作しており、非線形性の主な原因は、衛星上の高出力増幅器の非線形性の影響による。

多重ブロック符号化方式のBER特性を図7に示す。また、比較のため、8PSKのBER特性も示してある。図7に示すように、最大出力時には、8PSKにおいて伝送

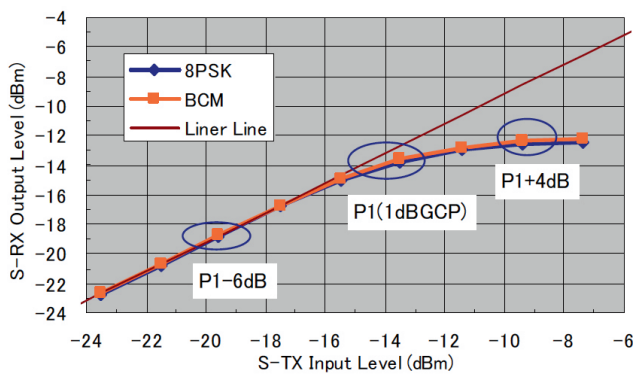


図4 S帯基準局高出力増幅器の非線形特性

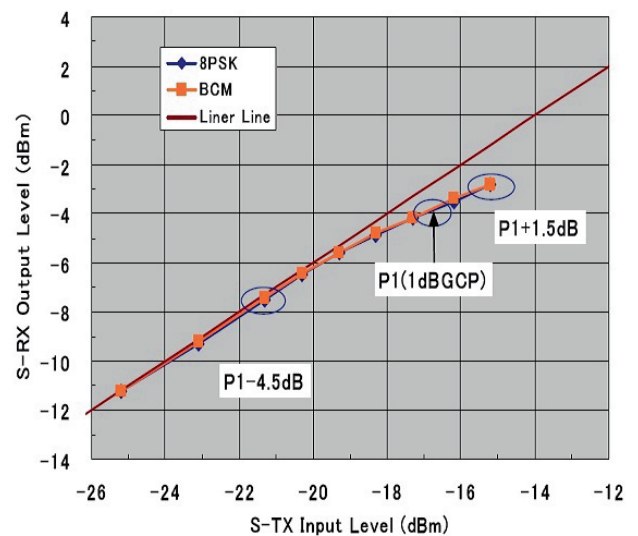


図6 S帯衛星回線の非線形特性

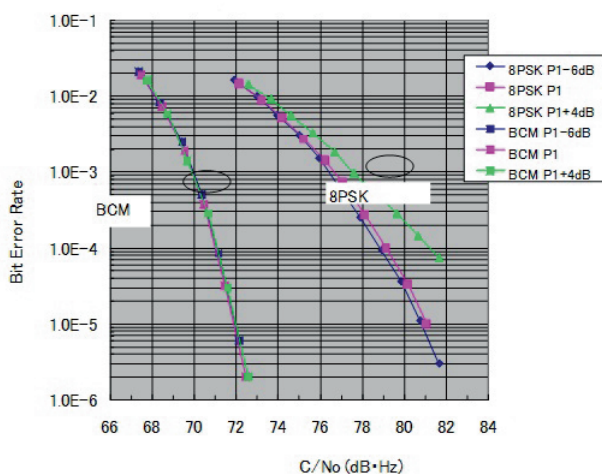


図5 BER特性 (トランスレータ折り返し)

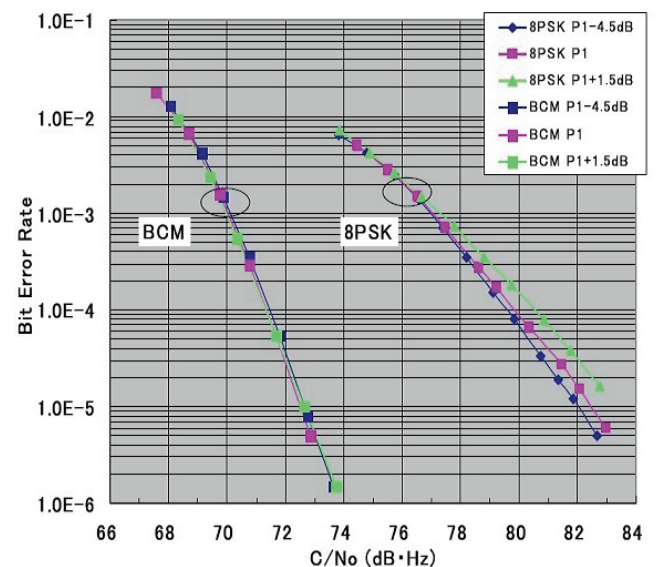


図7 非線形領域におけるBER特性 (衛星折り返し)

3 移動体衛星通信システム実験

路の非線形性による劣化が認められるが、多重ブロック符号化方式では、BERが 1.0×10^{-6} 程度までならば線形領域での動作とほぼ一致するという結果を得た。多重ブロック符号化は、回線の非線形性の影響を受けにくく、衛星回線に適した方式であるといえる。

4 画像伝送実験

地球局を車両へと搭載し、シンボルレートを1200kspsに設定して、走行中における画像の伝送実験を実施した。移動地球局の車両停止時の総合の受信信号電力対雑音電力密度比(C/No)は約72.5dBHzであり、衛星を見通すことができれば、走行中における受信C/No値の最低値は約71dBHzであった。画像伝送中のBER特性は取得していないが、符号化率の値が最も大きい102/125の場合で、1ビット当たりの受信電力対雑音電力密度比(Eb/No)の最低値は約9.5dBHz、このときのBERは 1×10^{-7} 程度であると推定される。開発した変復調器には、送信データを重要度に応じて区分するノーマルモードと、特別に区分することなくランダムにデータを振り分けるテストモードの2種類

を設けており、送信データをテストモードにて出力すると、走行中では、画像の伝送が完了せず、受信側での画像再生はできなかった。一方、送信データを重要度に応じて区分したノーマルモードの場合では、若干のエラーがある画像で再生ができた。図8に実験時の送信画像と受信画像例を示す。このときの画像の毀損率は約2.5%で、図8(b)の上方に少々のエラーが生じている様子がわかる。

5 むすび

移動体衛星通信における画像伝送用地球局を開発し、ETS-VIIIを使って衛星回線における性能試験を行った。本地球局では、通信方式に多重ブロック符号化変調方式を用いている。基本特性であるBER特性は、計算機シミュレーション結果から0.5dB以内の特性を示し、衛星回線による特性劣化はほとんど認められなかった。また、衛星回線の非線形性領域におけるBER特性を取得したが、非線形性領域においても、線形領域での特性とほぼ同じ特性が取得できた。さらに、地球局を車両へと搭載し、走行中における画像伝送試験を実施し、送信データを、その重要度に応じて符号化することで、誤りの少ない画像伝送が実現できることを確認した。実際の静止衛星を使ったこれらの実験結果により、多重ブロック符号化変調方式は、移動体衛星通信回線に適した方式であることが実証された。

謝辞

本文の執筆にあたり、技術試験衛星VIII型の開発に携わった多くの方々に感謝致します。特に、変復調器の開発に協力頂いた大川 貢主任研究員、実験実施を主に御担当頂いた渡邊 宏氏に深謝致します。

【参考文献】

- 1 H.-B. Li and M. Ohkawa, "A Modem Developed for Unequal Error Protection Using Multiple Block-Coded Modulation," 21st International Communications Satellite Systems Conference, AIAA-2003-2241, April, 2003.
- 2 A. Miura, Y. Fujino, S. Taira, N. Obata, M. Tanaka, T. Ojima, and K. Sakauchi, "S-band Active Array Antenna with Analog Phased Shifters using Double Balanced Mixers for Mobile SATCOM Vehicles," IEEE Trans. Antenna and Propagation, Vol. 53, No. 8, Aug. 2005.
- 3 渡邊宏, 山本伸一, 平良真一, "ETS-VIIIを用いた不均一誤り保護機能を持つ符号化変調効果の測定," 2008信学全大, B-3-16, 2008年3月.
- 4 李選封, 大川貢, "不均一誤り保護機能を持つ符号化変調装置," 通信総合研究所季報, Vol. 49, Nos. 3/4, pp. 199-204, Sept./Dec. 2003.
- 5 渡邊宏, 山本伸一, 平良真一, "ETS-VIII地球局を用いたブロック符号化変調の非線形伝送路特性," 2008信学ソ大, B-3-7, 2008年9月.



(a) 送信画像



(b) 受信画像

図8 画像伝送実験



平良真一 (たいら しんいち)
ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室副室長
移動体衛星通信、交換システム



李 還帮 (り かんほう)
ワイヤレスネットワーク研究所ディペンダブルワイヤレス研究室主任研究員
博士(工学)
移動体衛星通信、符号化変調、ウルトラワイドバンド技術