

衛星通信における簡易再生中継装置について

A simplified regenerative repeater for satellite communications

桑村秀嗣* 斎木俊輔* 小川明* 山里敬也** 河合聡***

Hidetsugu Kuwamura Shunsuke Saiki Akira Ogawa Takaya Yamazato Kawai Satoshi

Abstract— This paper is concerned with a regenerative repeater for the satellite communications. For the purpose of realizing a high speed and flexible internet satellite communication system, we propose a simplified configuration of satellite regenerative repeater. In this repeater, the amount of signal processing is limited so that the input signal is only AD converted and stored, but a complex function of error control is left to the earth stations. While the information data are modulated with QAM, the necessary information for the onboard routing is carried on the preamble portion placed at the top of the packet and modulated with the differential binary PSK.

Keywords— satellite communications, regenerative repeater, packet communications, onboard routing, error control

1 はじめに

本論文では、高速インターネット衛星通信システムのコア部分にあたる再生中継方式として、簡易でかつ高速化を実現できる新しい方式（簡易再生中継方式）について検討した結果を示す。

衛星通信における衛星の基本的機能は、発信元地球局から送られてきた信号を増幅する機能と、相手先地球局に送り届ける交換機能とからなるが、これらの機能は、対象とする通信網の性格によって規模的にも質的にも変わる。ここでは、超小型地球局間でインターネット通信を可能とするようなパケット通信網を考える。このような通信網に対して、衛星中継器では、通常再生中継と情報の誤り制御を行って品質の確保を図ると共に、地上におけると同様の IP パケットの交換ができることが望ましい。しかしこのようにすると、衛星内での処理規模が大きくなると同時に、高速化を阻害する要因となる。また、情報伝送速度の変化に対応できず、柔軟性に欠ける問題も生じる。

そこで本論文では、衛星での信号処理を最小限に抑え、地球局にその役割を担わせることとして、高速伝送に有利でかつ柔軟性を維持できる構成にすることを考える。この考えに基づき、情報部分については、衛星側で完全な再生中継処理を行うことにせず、誤り制御に関する処理についてもその一部を地球局で行う簡易再生中継方式の検討を行う。

本簡易再生中継方式では、衛星側ではいきなり AD 変換を行い、この簡易再生データを中継する。そして衛星側での誤り制御に関する処理の一部を地球局で行うことで、誤り制御技術の進歩に対応できるようにする。さらに衛星側の処理を軽減することによって高速化を図る。

また、情報部分は多値 QAM で伝送されるが、衛星内での交換機能を果たすために必要な情報は差動 2 相 PSK 変調され、パケットの先頭に置かれたプリアンブル部分に乗せられる。

2 再生中継方式による衛星通信

2.1 従来の再生中継方式

従来技術による再生中継方式は、図 1 に示されるように以下の手順で行われる。

まず衛星側では、

- (1) 受信した信号を復調し、
- (2) 誤り訂正復号を行う。
- (3) 再生されたデータに誤りがないかどうか誤り検出を行い、誤りがある場合は送信側に再送要求をかける。
- (4) 再生データに誤りがない場合、必要に応じてバッファ等に蓄えられ中継される。

このように再生されたデータに対して中継は上記と逆の手順で行われる。

- (5) 再生されたデータに対し誤り検出符号化され、
- (6) 次に誤り訂正符号化を施し、
- (7) 最後に変調を行い、衛星より信号が送信される。

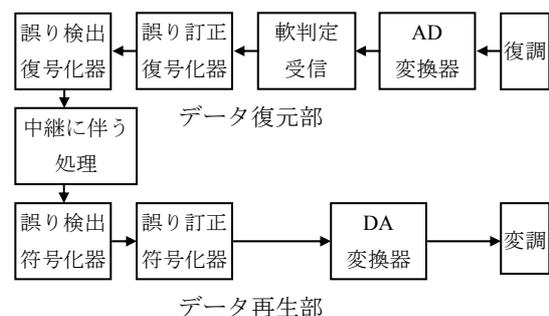


図 1 従来技術による再生中継手順

* 名城大学 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501
Meijo University 1-501 Shiogamaguchi Tenpaku-ku Nagoya 468-8502,
Japan. E-mail: m0432016@ccmailg.meijo-u.ac.jp
** 名古屋大学 〒464-8603 名古屋市千種区不老町
Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, JAPAN
E-mail: yamazato@nuee.nagoya-u.ac.jp
*** 有限会社ファーストテック 〒454-0012 名古屋市中川区尾頭橋
4-13-7 First-Tec Ltd., 4-13-7 Otobashi Nakagawa-ku Nagoya,
454-0012 Japan. E-mail: sat66kawa@hotmail.com

2.2 簡易再生中継方式

簡易再生中継方式が従来の再生中継方式と異なる点は、再生中継時に必須となる誤り訂正・誤り検出を省く点にある。

簡易再生中継方式は以下の手順で行われる。

- (1) データ再生時に衛星側で誤り訂正復号および誤り検出復号を行わず、いきなり硬判定し2値情報に戻す。つまり、通常の手順で行う(2)~(4)を省く。
- (2) データ中継時も、単に変調して送信する。つまり、通常の手順で行う上記(5)と(6)を省く。

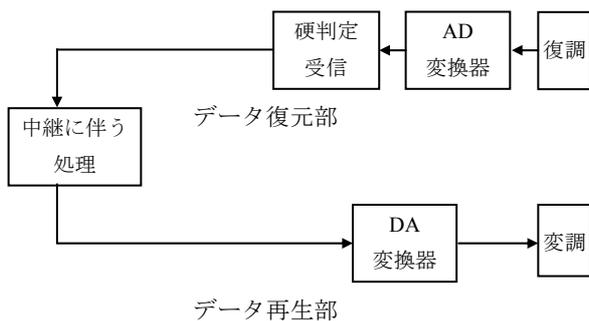


図2 簡易再生中継方式による手順

このように誤り訂正・誤り検出機能を省くことによるメリットと特徴としては次のような点が挙げられる。

まず、衛星側で誤り訂正・検出を行わず直ちにデジタル化するため、誤り訂正・検出に必要な回路を衛星に持つ必要がなく、コスト削減が期待できる。このように受信信号の早い段階からのデジタル化と、誤り訂正復号等の複雑な処理を行わないことによって、高速かつ低消費電力で処理が可能となる。

誤り訂正・検出機能は地上側の端末に持たすことになるため、新しい技術にも容易に対応でき、衛星通信で致命的となる衛星側でのファームウェアのアップデート等についても、衛星側に持たす通信機能が削減されるため、リスク管理が容易になる。

特に通信衛星の場合、衛星打ち上げの前に入念な検証が必須であるが、この場合、必ずしも打ち上げ時点の最新技術が採用されることにはつながらない。また、一旦打ち上げられた衛星の通信機能を後から変更することは難しく、一世代前の技術で運用しなければならない場合もある。これらの事を考えると、衛星側に搭載する通信機器は、高機能であることより、技術的寿命の長い基礎的な機能に限定しておくのが良いと考えられる。このような観点から、本研究では日進月歩で進展する誤り制御機能は衛星側ではなく、地上側に持たすことを考える。

また、誤り訂正・検出機能を衛星側に持たさないため、衛星側で必要とするデータフォーマットの要求条件が緩和されることになり、多様なフォーマットをも

つデータを扱えるようになる。このことは、利用者の要求に応じていろいろなデータを扱える柔軟性向上を示している。

一方、懸念される問題点として、衛星側に誤り訂正・検出機能を持たさなくても、所望通信品質が得られるのかということがある。これに対し、本研究では次のように解決する。

一般に誤り訂正復号器では、受信信号に対し硬判定（デジタル）ではなく、軟判定（アナログ）受信した方が誤り率特性は良い。しかし、簡易再生中継方式では、いきなり硬判定してデジタル情報に戻すため、軟判定受信による誤り率改善効果は期待できない。この問題に対し、誤り検出符号の概念の拡張することで、硬判定された信号に対しても軟判定受信と同等の誤り率改善効果が得られる新しい復号法を提案している[1]。

この新しい復号法を用いれば、衛星側でいきなりデジタル情報にしたデータに対して再生中継を行っても、通信品質を落とすことなく、衛星中継を行うことができる。

3 基本システム設計

想定する衛星通信システムは、(1)地球局送信部、(2)衛星中継部、(3)地球局受信部 から成るが、本章で地球局送信部と受信部について、また伝送されるパケットの信号フォーマットについて以下に記す。

3.1 地球局送信部

地球局送信部は、誤り訂正符号化、ビットインターリービング、多値QAMへのマッピング、パケット化、フィルタリング（ロールオフ率0.5のコサインロールオフフィルタ）などから構成される。

3.2 地球局受信部

地球局受信部は、同期復調の後、情報データ部分を抜き出し、多値QAM信号からのマッピングと共に周波数領域での適応等化を行う。そののちビットデビットインターリービング、誤り訂正復号を行う。

3.3 パケットフォーマット

今回の簡易再生中継では、衛星上で制御情報を取り出して、ルーティングを行う。制御情報は、差動2相PSKで変調されており、これを簡単な遅延検波で復調することにしていく。このようにしても信頼度の高い信号検出が行えるに十分な搬送波電力対雑音電力比(C/N)が得られると想定している。

一方DATAの部分は、最大64値の多値QAMで変調されることを想定し、衛星上では完全に再生しないこととしている。以上の点を考慮したパケットフォーマットを図3に示す。

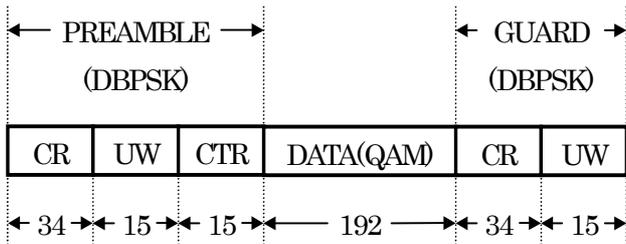


図. 3 パケットフォーマット
(図中の数字はシンボル数を示す.)

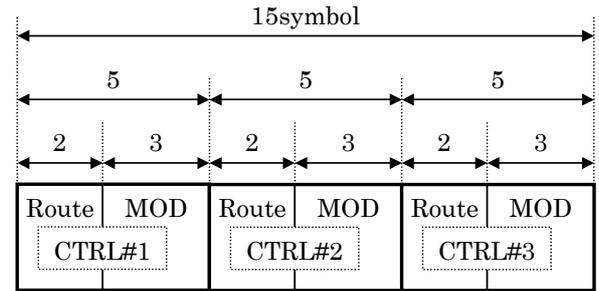


図. 4 シンボル構成
(図中の数字はシンボル数を示す.)

CR部(クロック再生用)

シンボルクロック確立用に付加され固定パターンによって構成される。固定パターンは、“1”の連続とする。

変調方式はDBPSKで34シンボルにて構成される。

UW部(ユニークワード)

固定パターンで構成される。この符号を検出することにより、パケット同期を確立する。

変調方式はDBPSKで15シンボルにて構成される。

CTR部(制御信号)

ルーティング情報、及び、データ変調情報により構成される。

変調方式はDBPSKで15シンボルにて構成される。2シンボルで構成されるルーティング情報[Route]と、3シンボルで構成されるデータ変調情報[MOD]の5シンボルを1ブロックとし、それを3連送し、多数決判定する。

このシンボル構成は図4のとおりで、CTRL#1,#2,#3は同一パターンである。

DATA部(情報シンボル)

情報メッセージにより構成される。

変調方式はCTR部のデータ変調情報に依存し、192シンボルにて構成される。

ガードインターバル

1パケットをシングルキャリア OFDM の1シンボルとして扱う。そのためパケットの前後に、CR部及びUW部が付き、ISI防止用のGUARDインターバルとなる。

4 衛星中継部

衛星中継部を図5に示す。

中継処理は、入力をI,Qに分離し、それぞれを硬判定する。硬判定したデータから制御情報を抜き出しルーティングする。

図5の各ブロックの動作は以下の通りである。

LOCAL OSC(ローカルオシレータ)

信号をベースバンドに復調し、I-chとQ-ch成分に分けるための信号を発生する。必要に応じて同期復調が可能ないように位相制御できることを考慮する。

A/D変換部

ベースバンドI,Q信号をそれぞれ12ビットでデジタル化する。

CTR検波部

デジタル化されたベースバンドI,Q信号から、制御情報のみを検出し、ルーティング情報を得る。

DATA STRAGE部

ベースバンドI,Q信号を、CTR検波部の処理による遅延時間に対応して、一時的に蓄えて置くためのメモリである。

Routing制御部

CTR検波部から得られたルーティング情報に基づき、DATA STRAGE内のベースバンドI,Q信号をルーティングパス上に出力する。

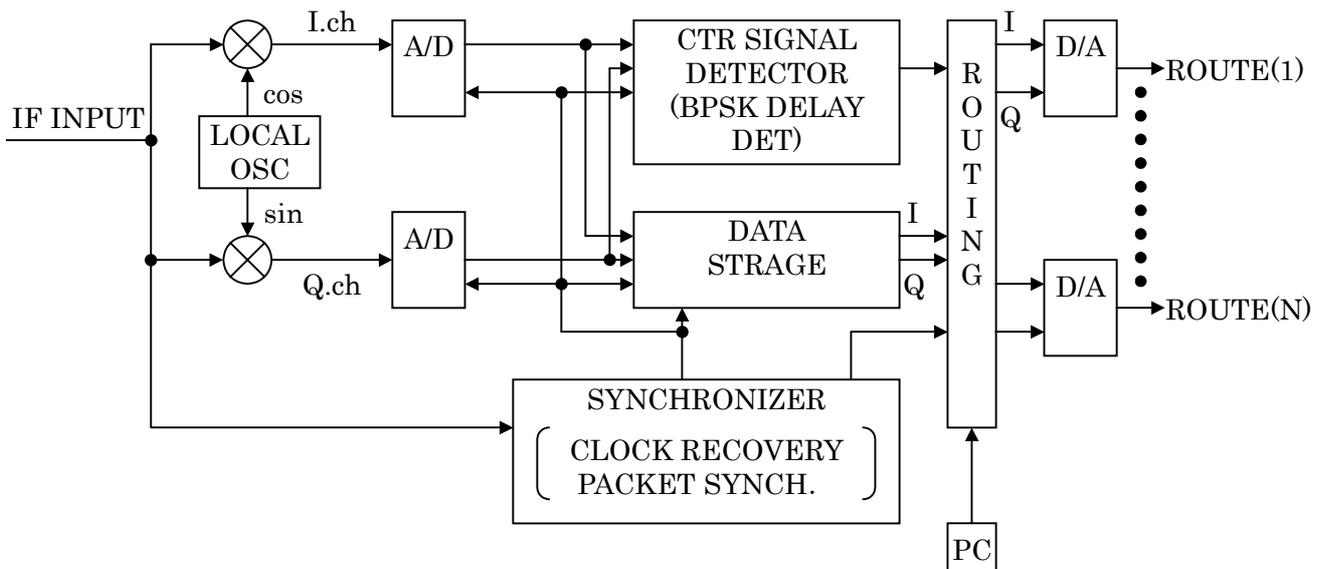


図 5. 衛星中継部の構成

SYNCHRONIZER

入力信号からシンボルクロックとパケットタイミングを再生するための同期回路である。

D/A 変換部

ルーティングパス上に出力されたデータをアナログ信号に戻し、地上局へ向けて送信する。

PC

衛星中継局を制御する制御プログラムを実装する。

5 おわりに

本論文では、衛星通信において高速インターネットシステムを実現することを目的として、簡易で柔軟な衛星内再生中継方式について検討した結果を示した。

これは、衛星での信号処理を最小限に抑え、地球局にその役割を担わせることとして、高速伝送に有利でかつ柔軟性を維持できる構成にするとの考えから、情報部分については、衛星側で完全な再生中継処理を行うことにせず、誤り制御に関する処理についてもその一部を地球局で行う簡易再生中継方式を提案した。

簡易再生中継方式では、衛星側ではいきなり AD 変換を行い、この簡易再生データを中継する。そして衛星側での誤り制御に関する処理を地球局で行うことで、衛星側の処理を軽減して高速化を図ると同時に、柔軟性を高め、最新技術の恩恵を受けやすくした。

本方式について現在試作を進めており、その特性評価を行うことにしている。

なお本研究は、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度における特定領域重点型研究開発（宇宙通信技術）「簡易再生中継方式による衛星通信の高速・高効率化に関する研究」の一環として遂行されたものである。

参考文献

- [1] T. Yamaoka, T. Yamazato, H. Okada, M. Katayama (Nagoya Univ.) and A. Ogawa: "New Error Correcting Scheme for Hard Detected QAM Signal", Technical Report of IEICE, vol. SAT2004, Oct. 2004.