

衛星回線用同報プロトコル

飯田 登
三菱電機情報システム製作所

水野 忠則
静岡大学 情報学部 情報科学科

渡辺 尚

1対Nの衛星同報通信に対する再送方式を提案し、その性能特性を検討する。提案する方式はSelective Repeat (SR)を用いたAutomatic Repeat reQuest (ARQ)方式で有り、衛星通信の特徴である衝突を利用する。各々の受信局は送信局への再送要求用回線を個別に持たず、全ての受信局と送信局は再送制御用に1本の共通回線を使用する。データの送達確認コマンドと再送要求コマンドが衝突し送達確認コマンドが受信誤りとなることに用いて、送信局は再送する。評価モデルでは、本方式が他の方式と比較して特に多数の受信局の環境下でかなりの有効性を示している。加えて、子局の増加に際し親局設備の増強の必要がないことも本方式の大きな特長と言える。

A broadcast protocol for satellite channels

Noboru Iida
Information Systems Engineering Center,
Mitsubishi Electric Corporation

Tadanori Mizuno
Department of Computer Science,
Faculty of Information, Shizuoka University

Watanabe Takashi

A retransmission protocol for a satellite broadcast connection (point-to-multipoint) is proposed and its performance characteristics are considered. The protocol is the automatic repeat request (ARQ) of the selective repeat (SR) scheme and uses the collisions. By detecting the collision of the confirmation transmitting the data frame and the repeat requests, the transmitter station retransmits. Our analytical models show that this protocol performs considerably better than the other protocols, particularly in environments with a large number of receivers. And it is an excellent characteristic of this protocol that the equipments of the transmitter station need not to be increased with an increase in number of receiver stations.

1. はじめに

衛星通信システムは、その特長である広域性、広帯域性により、大容量基幹回線を中心に発展してきた。しかし、衛星通信システムに不可避である伝搬遅延時間の大きさ、地上網における光ファイバー通信の普及等により、マルチポイント性、回線設定の柔軟性等衛星通信の特性を更に活かしたシステムへの展開が求められる。^{1) 2)}

本研究では、衛星回線としては比較的低速回線を用いて多数の小規模ユーザに対し連続データを同報するシステムを想定して、同システムに対する同報プロトコルの課題を示し、この課題を解決するために、衛星上での衝突によるデータ破壊を利用したARQ (Automatic Repeat reQuest)方式を提案する。あわせて、システムのスループットなどを従来の方式と比較・評価することにより、本提案方式の特性を示す。

2. 課題

本分野は、様々な類似研究^{3) ~ 9)}が従来から行われており、それらの研究は大きく下記の2方式に大別される。

- (1) 再送データそのものは加工せず、重複する再送を省くなどして再送回数を削減する方式
- (2) データの修正情報のみ纏めて再送するなどして再送回数を削減する方式

これらの研究において提案されている方式(以下纏めて従来方式と記す。)は何れも親局から子局群へ送信する同報データ用回線のスループットに注目した研究であり、子局から親局へ送信する再送要求用回線のスループットに関しては各子局毎に専用に確保することを前提にほとんど議論されず評価の対象となっていない。

確かに、子局から親局へ送信する再送要求などの

制御データの情報は同報するデータの情報量と比較し、1/100以下となるシステムも多く、小数の子局に対する同報システムでは同報データを送信する回線の効率がトータルスループットに大きく影響している。しかし、多数の小規模子局を対象とした同報システムを想定した場合、子局から親局への再送要求等の制御データを送信する回線も無視できず、同報データの送信回線と多数の制御データの送信回線を合せた総合性能の向上が課題となる。

3. 通信方式

3.1 想定システム

本同報システムで想定した構成・仕様などは以下のとおり。

- ・システムは、1つの親局から多数の子局へ同報する1対Nのネットワーク構成とする。
- ・衛星回線はA、B2回線を時分割して使用する。
- ・同報するデータは高速衛星回線A（データ回線と呼ぶ。）を用い、親局が送信し、子局群が受信する。再送制御用コマンドは低速衛星回線B（制御回線と呼ぶ。）を用い、親局及び子局群が送信し、親局が受信する。
- ・親局がデータ回線を用いて一定間隔で送信する基準バーストにより、データ回線と制御回線の時分割したスロットを親局と全ての子局の間で同期させ、データ回線により送受信するデータのスロット位置から、そのデータに対する親局が送達確認コマンドを送信するスロット位置と子局が再送要求コマンドを送信するスロット位置を制御回線上で一致させる。
- ・データフレームは連続した無限データで、その識別はシーケンス番号により行ない、その番号も無限と仮定する。
- ・親局と子局の送受信バッファは無限と仮定する。

3.2 再送シーケンス例（第1レベル）

アルゴリズムを示す前に、再送シーケンス例を図1を用いシーケンス番号4のデータ（以下データ4と呼ぶ。）に着目して説明する。尚、以下の説明で最初の数値は図のスロット位置を示す。

- 04：衛星回線Aを用いて親局はデータ4を送信
- 08：子局1でデータ4を受信誤り
- 09：親局は子局群がデータ4を受信後データ4に対応して一意に決定した制御回線のスロット位置へデータ4に対する送達確認コマンドを送信
子局1も制御回線の同一スロット位置に向けて再送要求コマンドを送信（次の例の再

送要求と区別するため、第1レベルの再送と呼ぶ。）

- 13：衛星回線B上で送達確認コマンドと再送要求コマンドは衝突し、親局は送達確認コマンドを受信誤り
- 14：親局は衛星回線Aへ新データよりも再送データ4を優先して送信
- 18：子局1、2で再送データ4を受信誤り
- 19：09と同様に、親局は再送データ4の送達確認コマンドを送信
子局1、2共に再送要求コマンドを送信
以下、データ4を全ての子局が同時に正常受信し、親局が送達確認コマンドを正常受信してデータ4の再送を完了する。

3.3 再送シーケンス例（第2レベル）

次に、子局が再送要求を送信したにもかかわらず、親局の送達確認コマンドがそのまま親局に正常受信される場合の再送シーケンス例を示す。

図2を用い、データ4に着目して説明する。

尚、以下の説明で最初の数値は図のスロット位置を示す。

04～09の動作は上記の再送シーケンス例（第1レベル）と同じ。

- 13：親局は送達確認コマンドを正常受信
 - 14：親局は、前の例ではデータ4を再送した衛星回線Aのスロット位置へ新データ9を送信
 - 18：子局1で新データ9を正常受信。
 - 36：子局1は受信データのシーケンス番号をチェックし、親局が送達確認コマンドを送信しない衛星回線Bのスロットを用いてフレーム4の再送要求コマンドをスロット付きアロハ方式により送信。（第2レベルの再送要求と呼ぶ。）（例では直ちに再送しているが、再送要求コマンドはスロット付きアロハ方式の送信確率決定アルゴリズムに従い送信する。例えば¹⁰⁾）
 - 40：親局はデータ4の再送要求を受信
親局は基準バーストに対応したスロット位置での受信であることから第2レベルの再送要求であることを認識
 - 42：親局は新データに優先してデータ4を再送
以下、データ4が正常に受信されるまで、36～42の処理を繰り返す。
- #### 3.4 親局のアルゴリズム
- 親局の処理を回線別、送受信別に示す。
- 1) データ回線の送信処理
ケースA：基準バーストの送信タイミング
処理：基準バーストを送信する。

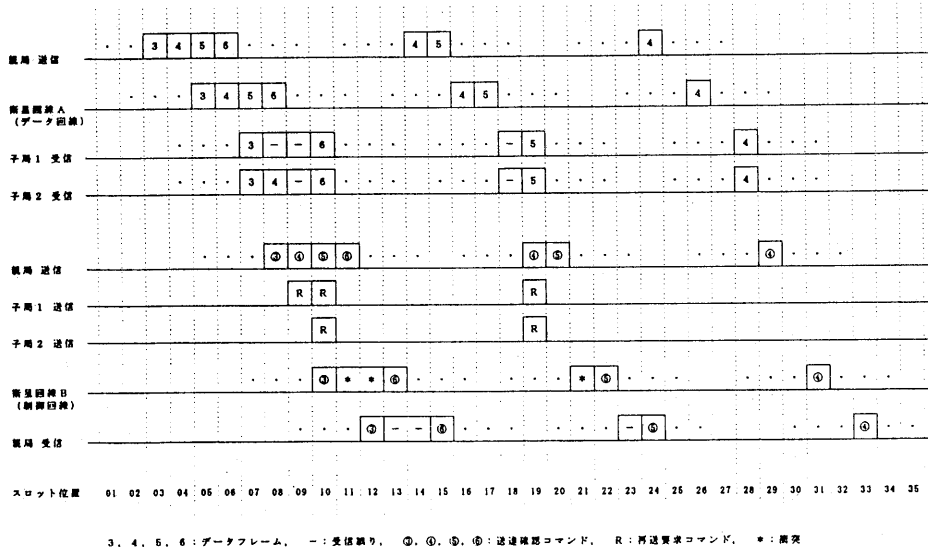


図 1 再送シーケンス例 (第 1 レベル)

Fig. 1 Example of retransmission sequence (First level)

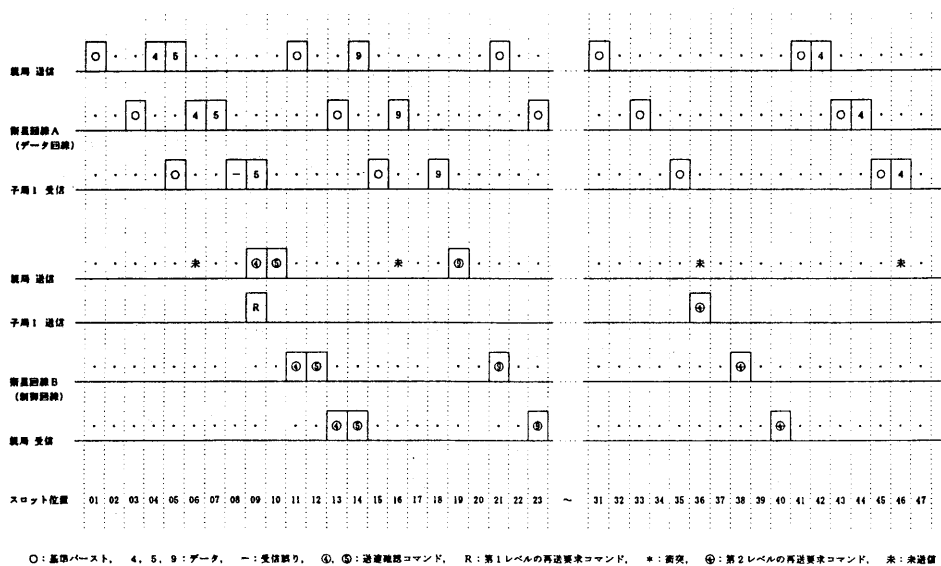


図 2 再送シーケンス例 (第 2 レベル)

Fig. 2 Example of retransmission sequence (Second level)

ケースB：ケースA以外のタイミング
処理：第1レベルの再送待ちキュー（送信タイミングとなったデータのみ対象）、第2レベルの再送待ちキュー、新データキューの優先順序に従ってキューをチェックしてデータを送信する。

2) 制御回線の送信処理

ケースA：データ回線の基準バーストに対応するタイミング

処理：何も送信せず、処理をぬける。

ケースB：ケースA以外のタイミング

処理：子局群が受信したデータに対する送達確認コマンドを送信する。

3) 制御回線の受信処理

ケースA：送達確認を正常受信

処理：何もせず、処理をぬける。

ケースB：ケースA以外

処理：送達確認したデータを第1レベルの再送待ちキューへキューイングする。

3. 5 子局のアルゴリズム

子局の処理を回線別、送受信別に示す。

1) データ回線の受信処理

ケースA：基準バーストの受信タイミング

ケースA-1：基準バーストを正常受信

処理：タイミング制御を実施する。

ケースA-2：ケースA-1以外

処理：何もせず処理をぬける。

ケースB：ケースA以外のタイミング

ケースB-1：データを正常受信

処理：シーケンス番号をチェックし既に受信済みのデータなら廃棄する。第2レベルの再送要求したデータならば要求をクリアする。

ケースB-2：ケースB-1以外

処理：第1レベルの再送要求待ちキューへキューイングする。

（キューイング情報は受信誤りになったデータの-slot位置。）

2) 制御回線の送信処理

ケースA：親局が送達確認コマンドを送信するタイミング

処理：親局が送達確認するデータに対応する第1レベルの再送要求コマンドがあれば送信する。（実際にはデータは受信誤りとなっており、

上記の対応は受信誤りとなった-slot位置の情報により識別する。）

無ければ何もせず処理をぬける。

ケースB：ケースA以外

（データ回線の基準バーストに対応するタイミングで、親局は送達確認コマンドを送信しない。）

処理：受信済みデータの最大シーケンス番号をチェックし、そのデータより一定時間以上前には受信しているべきシーケンス番号のデータで未受信のデータがあれば、そのシーケンス番号を指定し第2レベルの再送要求コマンドを-slot付きアロハ方式を用いてその再送アルゴリズムに従い送信する。

（上記の「一定時間」は第1レベルの再送処理に要する時間より長く設定する。）

以下正常受信する迄、親局が送達確認コマンドを送信しない本タイミングの-slot付きアロハ方式により再送要求を繰り返す。

未受信データが無ければ何もせず処理をぬける。

4. 性能評価

4. 1 伝送路の効率

データ回線の回線速度を1とすると、例えばデータ回線の1/100の回線速度の制御回線を使用した子局数Nのシステムで必要な伝送路の速度の合計は以下のとおりとなる。

従来方式 $1 + N/100$

提案方式 $1 + 1/100$

ここでは逆数を伝送路効率と呼ぶことにする。

子局数に対する従来方式と提案方式の伝送路効率を、図3に示す。

また設備の面でも、表1に示すとおり、従来方式は子局の増加の都度親局も受信設備の増設が必要となり、子局の増加が親局システムへ与える影響は大きい。しかし、提案方式は親局の設備を増設する必要が無く、経済性と回線設定の柔軟性に優れている。

4. 2 回線品質に対する効率

本システムモデルの子局数をNとする。

親局が送信するデータは、発生するビット・エラーに対し畳み込み符号、リードソロモン符号などにより自動誤り訂正後、フレーム誤り率 P_F で各

各の子局が受信するものとする。¹¹⁾

以下、まず提案方式のデータ回線のスループットを求めると。

親局が送受信する送達確認コマンドも自動誤り訂正後フレーム誤り率 P_F で受信するものとする。

また、ここでは第2レベルの再送要求が発生する確率はフレーム誤りが発生し、かつ送達確認コマンドが再送コマンドとの衝突をくり抜け正常に受信する確率であり、ここでは0と仮定する。

全ての子局がデータを正常に受信し、親局がその送達確認も正常に受信する確立を P とすると、

$$P = (1 - P_F)^{N+1}$$

なる。故に、親局からの i 回目の送信で全ユーザ局がデータを正常受信し、かつ親局が送達確認を正常に受信する確立 P_i は

$$P_i = (1 - P)^{i-1} \times P$$

で与えられる。

従って、全ユーザ局が正常に受信する迄の親局の平均送信回数 K は

$$\begin{aligned} K &= 1 \times P_1 + 2 \times P_2 + 3 \times P_3 + \dots \\ &= 1 \times P + 2 \times (1 - P) \times P \\ &\quad + 3 \times (1 - P)^2 \times P + \dots \\ &= P^{-1} \end{aligned}$$

となり、データ回線のスループット T_1 は

$$\begin{aligned} T_1 &= 1/K \\ &= P \\ &= (1 - P_F)^{N+1} \end{aligned}$$

となる。ここでは T_1 を回線実効率という。

単に再送回数を削減する従来の方式の回線実効率 T_2 は

$$T_2 < 1 - P_F$$

従来の再送データの符号化による再送データをブロッキングする方式でも回線実効率 T_3 は当然

$$T_3 < 1$$

であるが、ここでは従来方式の回線実効率を1として評価する。即ち子局数 N のシステムの回線実効率は、

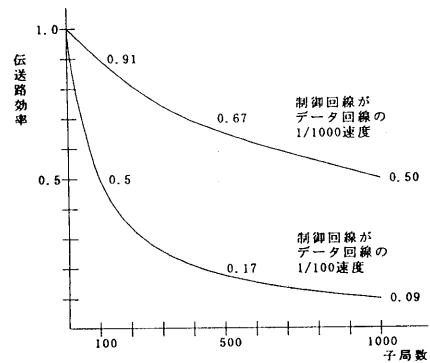
$$\begin{array}{ll} \text{従来方式} & 1 \\ \text{提案方式} & (1 - P_F)^{N+1} \end{array}$$

となる。

この結果、図4に示すとおり、提案方式は従来方式より効率は低下しているが、フレーム誤り率が 10^{-4} 以下では子局数の増加による効率の著しい低下はない。

4. 3 トータルスループット

4. 1項の伝送路効率と4. 2項の回線実効率を総合評価すると、提案方式は従来方式よりフレーム誤り率が 10^{-4} 以下の条件のもとで多数の子局をサポートするシステムでトータルスループット



提案方式を1とした場合の従来方式の伝送路効率

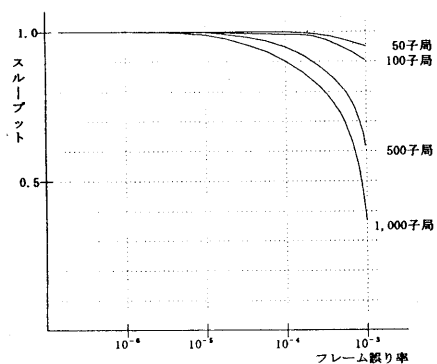
図3 伝送路効率対子局数

Fig. 3 Channel utilization vs. number of users

表1 回線数と通信設備の比較

Table 1 Comparison of numbers of channels and equipments

		従来方式	提案方式
衛星回線	高速回線	1回線	1回線
	低速回線	子局数分	1回線
親局	高速回線の送信設備	1回線	1回線
	低速回線の受信設備	子局数分	1回線
子局	低速回線の送信設備	1回線	1回線
	高速回線の受信設備	1回線	1回線



従来方式を1とした場合の提案方式のスループット

図4 回線効率対フレーム誤り率

Fig. 4 Throughput vs. frame error rate

トが優れているといえる。

例えば、フレーム誤り率 10^{-4} 以下の場合制御回線速度がデータ回線の1/1000でも、提案方式は従来方式よりトータルスループットは以下の通り向上している。

①50子局の場合	従来方式：提案方式
伝送路効率	0.95 : 1.00
回線実効率	1.00 : 1.00
トータルスループット	0.95 : 1.00
②100子局の場合	従来方式：提案方式
伝送路効率	0.91 : 1.00
回線実効率	1.00 : 0.99
トータルスループット	0.91 : 0.99
③1,000子局の場合	従来方式：提案方式
伝送路効率	0.50 : 1.00
回線実効率	1.00 : 0.90
トータルスループット	0.50 : 0.90

5. 今後の課題

上記の性能評価では、衛星上の衝突によるデータ破壊が100%の確立で発生すると仮定した。この確立を高める為に以下の検討が今後必要となる。

本提案の同報システムは多数の小規模子局を想定しているため、降雨減衰等に対応してダイナミックに送信出力をアップする機能を子局に備えることは経済性等の面から得策ではない。従って、制御回線には低周波数帯を選択すること、トランスポンダに過入力にならない範囲で子局の送信出力を親局よりアップすること等の検討・評価が今後の課題となる。

6. おわりに

衛星回線としては比較的低速回線を用いて多数の小規模子局に対する同報システムを想定した場合、同報情報用回線と再送要求用回線のトータルスループットの向上が課題となることを指摘し、再送要求用回線の性能の向上を図るため衛星通信の特徴である同報性に加えて衛星上の衝突によるデータ破壊も利用した同報通信方式を提案し、その特性を評価した。

この結果、多数の小規模子局に対する同報システムの場合、フレーム誤り率を比較的低い設備・環境のもとで提案方式は子局の増加に伴う回線効率の著しい低下がなく、従来方式より回線効率が良いと言えることが解った。加えて提案方式は子局の増加に際し、親局受信設備の増設が必要なく、経済性と回線設定の柔軟性に優れていることも大きな特長と言える。

参 考 文 献

- 1) 森永規彦：次世代衛星通信技術の潮流，信学論(B-II)，J76-B-II，5，pp. 326-336(1993-05)。
- 2) 更田博昭，正村達郎：衛星通信サービスの新しい可能性，信学誌，72，1(1989)。
- 3) 汐崎 陽：衛星回線による同報通信の一方式，信学論(B)，J70-B，8，pp. 928-932(1987-08)。
- 4) 中村勤，藤倉信之，佐々木良一，森田浩史：大容量伝送用衛星通信高効率再送方式の開発と評価，信学論(B-II)，J72-B-II，5，pp. 201-207(1989-05)。
- 5) 榎原勝巳，笠原正雄：蓄積処理による同報通信用ハイブリッドARQ方式，信学論(B-II)，J76-B-II，5，pp. 422-432(1993-05)。
- 6) Calo S. B. and Easton M. C. : A broadcast protocol for file transfer to multiple sites, IEEE Trans. Commun., COM-29, 11, pp. 1701-1707(Nov. 1981)。
- 7) Mase K., Takenaka T., Yamamoto H. and Shinohara M. : Go-back-N ARQ schemes for point-to-multipoint satellite communications, IEEE Trans. Commun., COM-31, 4, pp. 583-589(April. 1983)。
- 8) Gopal I. S. and Jaffe J. M. : Point-to-multipoint communication over broadcast links, IEEE Trans. Commun., COM-32, 9, pp. 1034-1044(Sept. 1984)。
- 9) Sabnani K. and Schwartz M. : Multidestination Protocols for Satellite Broadcast Channels, IEEE Trans. Commun., COM-33, 3, pp. 232-240(1985)。
- 10) 伊藤昭，柿沼淑彦：HDLC手順による誤り回復を用いたスロット付きアロハ方式のトラフィック制御，電波研季報，Vol. 28 No. 145, 5, pp. 93-99(1982-03)。
- 11) 坂戸美朝，佐々木源，浅野研一，浅井光太郎，海老沢秀明，吉田秀夫：デジタルSNGシステム用ビデオコーデック，テレビジョン学会，無線・光伝送研究会技術報告，(1993)。