

輪番制応答方式を用いた衛星同報通信制御方式における再送要求用スロット数の一考察

6N-8

林 正人* 中村 勤* 森田 浩史**

* (株)日立製作所システム開発研究所 **日立マイクロコンピュータ・エンジニアリング(株)

1. はじめに

衛星通信の特徴の一つに同報性がある。これは親局が一回線を用いた一回のデータ送信により広域に分散している複数の子局へ同時に同一データを送ることが出来る特性であり、既存の地上網では得られない特徴である。しかし衛星同報通信システムを情報ネットワークに適用する場合、子局数増加に伴い(1)応答フレーム数が増加し親局での子局からの応答処理時間が増大する、(2)回線品質の劣化に伴う再送処理オーバーヘッドが増大する、という問題点がある。そこで筆者らは、効率的な応答確認を行う輪番制応答制御、及び回線品質の悪化した地域を切り離す地域性適用再送制御を特徴とする衛星同報通信制御方式を提案し^[1]、輪番制応答方式の有効性を示してきた^[2]。ここでは、再送制御の有効性を示すため、システムの子局数及び回線品質に適した再送要求用スロット数を評価する式について考察を加える。

2. 再送要求用スロット数の評価式

2.1 衛星同報通信制御方式の概要

本方式は、以下の特徴を持つ。

- (1) 地域性を考慮して、子局を幾つかのグループに分割する。
- (2) 親局から子局へはTDM(Time Division Multiplexer)回線を、子局から親局へはTDMA(Time Division Multiple Access)回線を使用する。
- (3) 親局から送信される1情報フレームに対する応答局は1グループとし、情報フレーム毎に異なるグループが輪番制で応答する。
- (4) 情報フレームに誤りを検出した子局はすぐにランダムアクセスでTDMAフレームの再送要求用スロットに再送要求フレームを送信する。送信成功後親局からの再送情報フレームを受信し、正常受信であれば再送応答用スロットに再送応答フレームを送信する。もし再送要求フレームが衝突すれば、再送要求フレームを再度送信する。

この方式により、高効率・高信頼なシステムを構築できる。

2.2 評価式

(1) 定義

①システム状態: S_i

ある時点でのシステムの再送要求送信待ち子局数が i のとき、このシステムは状態 i にあるといい、 S_i と表す。

②状態確率ベクトル: Ψ

S_i である確率を ψ_i と記し、 $\psi_i (i = 0, 1, \dots, N)$ [N : 子局数] を成分とするベクトルを Ψ と表し、状態確率ベクトルという。

③状態遷移確率行列: Ξ

S_i から S_j へ遷移する確率を状態遷移確率と呼び、 ξ_{ij} と記す。 ξ_{ij} を成分とする行列を状態遷移確率行列と呼び、 Ξ と表す。

(2) 前提条件

- ①親局1局、子局N局でシステムを構成する。
- ②子局は独立であり、ランダムアクセスで再送要求を送信する。
- ③再送要求が発生した子局は確率1で再送要求を送信する。
- ④再送要求が衝突した場合、確率 P_w で再送要求を再送する。
- ⑤子局は g の割合で再送要求を発生する。
- ⑥TDMAフレーム構成は、図1に示すように、再送要求領域、応答領域及び再送応答領域からなる。再送要求領域と再送応答領域は、複数(図1ではM個)のスロットから成る(再送要求領域及び再送応答領域のスロットをそれぞれ再送要求用スロット、再送応答用スロットと呼ぶ)。応答領域は、複数(図1ではF個)のサブフレームからなり、サブフレームは1グループ構成子局数に等しいスロットで構成する。応答領域のサブフレームでグループ毎の応答を行い、再送要求領域及び再送応答領域で再送制御を行う。再送要求はスロットアロカ方式を使う。

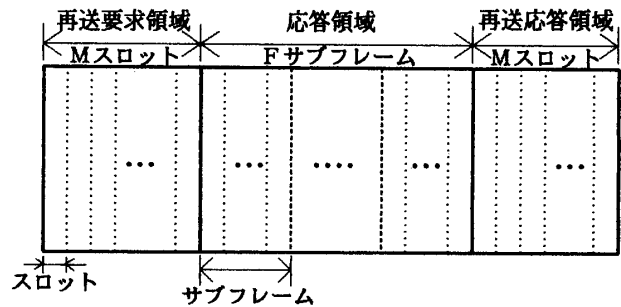


図1. TDMAフレーム構成

(3) 計算モデル

図2に計算モデルを示す。この図で、TDMAフレーム1の終了時点でシステムは状態 S_j とする。次のTDMAフレーム2の開始直前に新たに p 個の局に再送要求が発生し、このうち x 個の局が再送要求を送信して、 a 個の局が成功し、状態 S_k になるとする。この一連の過程の確率を $Y(p, x, a | j)$ と表す。また x 個の局がランダムに再送要求を送信して a 個の局が成功する確率を $W(x, a)$ と表す。

①使用する記号の説明

- | | |
|-----------------------|------------------|
| M ; 再送要求用及び再送応答用スロット数 | Gn ; グループ数 |
| Be ; ビット誤り率 | L ; 情報フレーム長(ビット) |
| V ; TDMA回線速度(bps) | D ; 総データ量(ビット) |
| Tb ; 親局の情報フレーム送信間隔(秒) | Td ; TDMA周期(秒) |

A Study on the Number of Retransmission Request Slots in a Point to Multipoint Satellite Communication using a Cyclic Turn Response Control scheme

Masato HAYASHI*, Tsutomu NAKAMURA*, Hiroshi MORITA**
*HITACHI, Ltd. **HITACHI Microcomputer Engineering, Ltd.

L_s ; 再送要求領域・送込領域のスロット長(ビット) I_n ; 総情報フレーム数
 P_f ; 情報フレーム誤り率

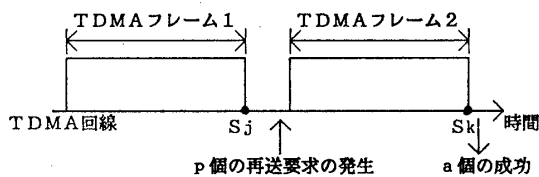


図2. 計算モデル

②再送要求領域の使用率: R_u

S_j から S_k への状態遷移確率 ξ_{jk} は次式で与えられる^[3]

$$\xi_{jk} = \sum_{x=0}^N \sum_{a=0}^{\min(M,x)} Y(k-j+a, x, a|j) \quad (2.1)$$

$(0 \leq j \leq N, 0 \leq k \leq N)$

$Y(k-j+a, x, a|j)$ は次の算出式で計算できる。

$$Y(k-j+a, x, a|j) = \binom{j}{x-(k-j+a)} \cdot P_w^{x-(k-j+a)} \cdot (1-P_w)^{k-x+a} \cdot \binom{N-j}{k-j+a} \cdot g^{k-j+a} \cdot (1-g)^{N-k-a} \cdot Z(x, a)$$

ここで、

$$Z(x, a) = \begin{cases} \sum_{w=1}^{\min(M-a, [(x-a)/2])} \binom{M}{a} \cdot \binom{M-a}{w} \cdot \binom{x-a-w-1}{w-1} / \binom{M-1+a}{M-1} & > 0 \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

$(0 \leq a < \min(M, x), 1 < x \leq N)$

但し、上式の $[\alpha]$ は α を超えない最大の整数を表す。 $\min(M, x)$ は、 M と x の小さい方を取る。また、 g は $L \cdot B_e$ である。 $a = x$ ($0 \leq x \leq M$) のとき、すなわち、再送要求フレームが衝突しない場合、次式となる。

$$Z(x, x) = \binom{M}{x} / \binom{M-1+x}{M-1}$$

ここで、

$$\binom{c}{d} = \begin{cases} \frac{c!}{d!(c-d)!} & (0 \leq d \leq c) \\ 0 & \text{(その他)} \end{cases}$$

ϕ_j 、 ϕ_k と ξ_{jk} は次の関係式が成立する。

$$\phi_k = \sum_{j=0}^N \xi_{jk} \cdot \phi_j, \quad \sum_{i=0}^N \phi_i = 1 \quad (2.2)$$

(2.1) と (2.2) より、状態確率ベクトル Ψ が求まる。従って、 a の平均値 β は以下となる。

$$\beta = \sum_{k=0}^N \sum_{j=0}^N \phi_j \sum_{x=1}^N \sum_{a=1}^{\min(M,x)} a \cdot Y(k-j+a, x, a|j) \quad (2.3)$$

以上より、再送要求領域の使用率 U は、

$$R_u = \beta / M \quad (2.4)$$

となる。

③1 情報フレーム伝送時間: δ

システムから発生する再送要求をすべて成功させるに使用する TDMA フレーム数を X_r とすると、 X_r は次式となる。

$$X_r = \frac{N \cdot I_n \cdot P_f}{\beta \cdot (1 - P_f)} \quad (2.5)$$

但し、 $P_f = L \cdot B_e$, $I_n = D_t / L$

全送信情報フレームに対する応答を行うに使用する TDMA フレーム数を X_s 、1 TDMA フレームあたりのサブフレーム数を F 、1 TDMA 周期に発生する応答グループ数を Q とすると、

$$X_s = \begin{cases} \frac{(I_n - 1) + G_n}{F} & (F \leq Q) \\ \frac{(I_n - 1)}{F} + \frac{G_n}{Q} & (F > Q) \end{cases} \quad (2.6)$$

但し、

$$F = \frac{T_d \cdot V - 2 \cdot M \cdot L_s}{L_s} \cdot \frac{G_n}{N}$$

$$Q = \frac{T_d}{T_b} \cdot (1 - P_f)$$

(2.5) と (2.6) より、 δ は

$$\delta = (T_d / I_n) \cdot \max(X_r, X_s) \quad (2.7)$$

で求まる。

3. 評価方法

以下に、評価式 (2.4) と (2.7) において、変化させる量、パラメータ及びシステムにより与えられる値を示す。変化させる量に対する使用率 R_u 及び伝送時間 δ の特性をパラメータを変えて算出する。これにより、衛星同報通信システムにおいて、任意の回線品質、子局数に対して最適な再送要求用スロット数を求め、TDMA フレーム構成を決定できることとなる。またこのときの最適グルーピングを評価することも可能となる。

(1) 変化させる量

M ; 再送要求用及び再送応答用スロット数
 G_n ; グループ数

(2) パラメータ

B_e ; ビット誤り率 L ; 情報フレーム長
 V ; TDMA 回線速度 N ; 子局数

(3) システムで与えられる量

D ; 離データ量 T_b ; 親局の情報フレーム送信間隔
 T_d ; TDMA 周期 L_s ; 再送要求領域・送込領域のスロット長
 I_n ; 総情報フレーム数 P_w ; 再送要求フレームの再送率

4. おわりに

衛星同報通信システムにおける、任意の回線品質、子局数に対する再送要求用スロット数を評価する式を与えた。今後、この評価式を実システムに適用して、再送要求用スロット数を求める予定である。また、この評価式を使って総合的にシステムの評価を行う。

参考文献

[1] 藤倉他: 衛星同報通信制御方式の提案 信学技報 SAT87-15 1987
 [2] 中村他: 衛星同報通信制御方式の開発と評価 信学誌 Vol. J72-B-II No.9 1989
 [3] 岳他: マルチチャネルスロット付きアロハシステムの性能解析 信学誌 Vol. J72-B-I No.8 1989