

# 超小型地球局ネットワークにおける 多元性と統合

小野里 好邦

## 1. はじめに

近年、わが国においても衛星回線の増加に伴い、広域性、同報性、機動性、耐災害性といった衛星通信の特長を生かした通信需要が増大することが見込まれている。とりわけ、超小型地球局(Very Small Aperture Terminal:以降VSA Tと略称する)ネットワーク[1][2]が注目を集めている。VSA Tネットワークでは、各利用者が通信衛星に向けて直接送受信機能を持つため、中継の階段が極端に少なくなり、新しく通信網を構成することが極めて容易となる。特に、通信網が未発達な開発途上国では非常に有効な手段である。また、先進国においても、ISDN、INS等のシステムを補完し、航空機や自動車等の各種移動体の利用者とか、サテライト・オフィスの利用者に対し、高度な通信サービスを実現するうえで重要である。

VSA Tネットワークを用いて、多数の利用者に対し多様な通信サービスを提供するためにさまざまな多元接続方式[3][4]が提案されている。これは、ユーザー側のパスト型のデータ、ストリーム型のデータ、可変メッセージ長のデータなど多種多様なデータをできるだけ効率よく、低ディレイで伝達することを目的とする方式である。将来的には、たとえばATTのSDNサービスや、支払う料金に応じてメッセージに優先度をつけるといった、ユーザーの要求にきめ細かく対応していくための高度サービスにも対応できるようにしなければならない。つまり、多元接続方式には、各ユーザーの持つ多元性と全体の統合という一見矛盾する2つのモーメントを調和的に実現することが要求される。

本稿では、多元接続方式のなかでもVSA Tネットワークで特によく使われているランダムアクセス方式[3]

[4][5]に焦点を合わせ、2.でその基本的特性を明らかにする。次に、従来の固定化した多元接続方式に起因する性能限界を解決するため、3.ではエキスパートシステムを用いたアプローチについて述べる。

## 2. ランダムアクセス方式

ランダムアクセス方式は、通信系にしばしば使われている有用な通信方式である。具体的には、アロハ方式やCSMA方式等があげられる。さらに、一般の情報処理系でも随所に見られる。

ランダムアクセス方式を用いた通信システムでは、負荷の変動あるいは制御の仕方によって、急激な性能劣化が観測される。この現象は安定性[5]と呼ばれ、ランダムアクセス方式の利用限界を示すので非常に重要である。

ランダムアクセス方式を用いた通信システムの安定性解析法としては、カタストロフ理論[6][7]が使われ、上述の問題について十分な見通しが得られている。その解析手法は、通信システムを1つの力学系としてとらえ、負荷の変動あるいはシステムの制御を変えることによる力学系の変化をカタストロフ理論の成果を援用して解明し通信システムの定性的なふるまいを明確にする。本解析手法の適用範囲として、アロハ方式[8]、CSMA方式[9]、CSMA/CD方式[9]、ランダム・予約複合アクセス方式[10]が統一的に議論できる。しかし、通信システムをモデル化し、その解析が可能であるためには、ランダムアクセス方式やモデル化の条件がきわめて制限されねばならない。

### 2.1 通信システムのモデル

ランダムアクセス方式では、1つの通信チャンネルをあらかじめスケジューリングすることなしに、多数のユーザーで共有する。そのため、あるユーザーから送出されたメッセージの伝送中に他のユーザーからのメッセージ送出がなければ伝送は成功するが、チャンネル上でメッセージ同士が衝突した場合は失敗に終わる。このときは、

おのごと よしくに 電気通信大学 電子情報学科

〒182 調布市調布ヶ丘1-5-1

各ユーザーがランダムな遅延の後にメッセージの再送出動作を開始する

ランダムアクセス方式を用いた通信システムを、メッセージの再送過程に着目し、図1のようにモデル化する。通信システム内のユーザー数は有限で $N$ とする。Transmission Mode(TM)で、ユーザーはメッセージを生起しRandom Access Channel(RAC)へ送出する。RACでは、多元接続が行なわれる。もし、接続に失敗した場合は、Retransmission Mode(RM)に移り、成功するまでランダムな時間間隔を置いて接続が試みられる。成功したらTMに移り同じふるまいを繰り返す。TMにおけるメッセージ生起、ならびにRMにおける再送はポアソン分布に従うものと仮定し、単位時間当りのメッセージ生起率を $q$ 、再送率を $r$ とする。 $q$ 、 $r$ はランダムアクセス方式の性能を左右する基本的なパラメータで、コントロール変数と呼ぶ。時間軸は1メッセージの伝送時間で規格化し1単位時間とする。スロット付きアロハ方式では、時間軸を1単位時間のスロットで区切り、メッセージ送出時点を同期化している。

通信システムは、定常状態にあるものとする。任意のある時点において、ユーザーはTMかRMのいずれかのモードをとる。モデルの内部状態を、ユーザーがRMにいる割合 $x$ で表わす。ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 。ユーザーがTMにいる割合は、 $(1-x)$ で与えられる。たとえば、状態 $x$ のとき、TMには、 $N(1-x)$ 人のユーザーが、RMには $Nx$ 人のユーザーがいることになる。

システムの性能を大きく左右するのはRACの部分(図1参照)である。そこで、RACに着目し、RACへの入出力フローをもとにメッセージフローバランス $F(x)$ を次のように定義する。

$$F(x) = (\text{入力フロー率}) - (\text{出力フロー率})$$

ここで、

$$(\text{入力フロー率}) = (\text{単位時間当り RAC へ入ってゆくメッセージの平均トラヒック量})$$

$$(\text{出力フロー率}) = (\text{単位時間当り RAC から出てくるメッセージの平均トラヒック量})$$

とする。

以上の定義より $F(x)$ は状態空間 $\{x|0 \leq x \leq 1\}$ 上でベクトル場を形成する。任意の状態空間の点 $x$ に対して、方向は $F(x) > 0$ のとき右向き、 $F(x) < 0$ のとき左向

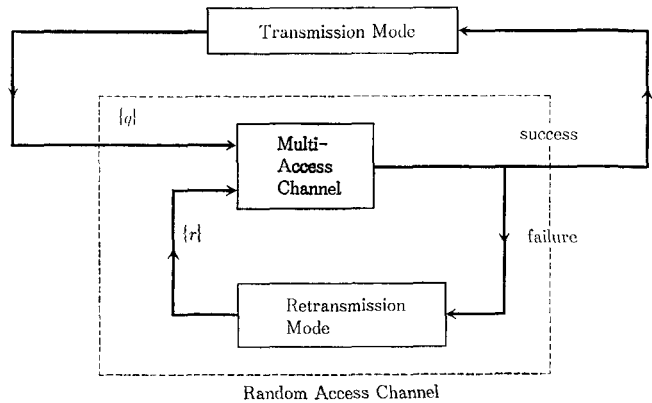


図1 ランダムアクセス方式を用いた通信システムのモデル

き、大きさは $|F(x)|$ のベクトルが与えられる。フローのベクトル場は再送によりメッセージの伝送が完了されていく過程を的確に表現でき、ランダムアクセス方式を用いた通信システムを力学系とみなせる。ここで力学系とは、ある空間におけるベクトル場のことである。

次に、システムの安定性解析のためにポテンシャル関数 $f(x)$ を $F(x)$ を用いて、

$$f(x) = -\int_0^x F(t) dt$$

と定義する。

$f(x)$ の勾配が点 $x$ のフローを決めることになり、グラジェント・ベクトル場となる。ポテンシャル関数を調べることにより、通信システムの安定性が判明する。ポテンシャル関数は複雑なので、カタストロフ理論を用いてシステム解析を行なう。システムが安定である条件は分岐集合により与えられる。

### 3.2 スロット付きアロハシステムの安定性解析[8]

スロット付きアロハシステムの入出力フローは、チャネルトラヒックを $G$ とすると以下で与えられる。

$$(\text{出力フロー率}) = G \cdot e^{-G}$$

$$(\text{入力フロー率}) = N(1-x)q$$

分岐集合は2つのコントロール変数 $q$ 、 $r$ を用いて次式で与えられる。

$$\{(q, r) | q = G^2 e^{-G} / N, G = Nr(1 \pm \sqrt{1 - 4/Nr})/2\}$$

分岐集合の一例を図2に示す。分岐集合は、 $r \geq 4/N$ のときのみ存在する。分岐集合の先端を、くさびの点 $(q_c, r_c)$ と呼び、以下で与えられる。

$$q_c = 4/[N(e^2 + 1)]$$

$$r_c = 4/N$$

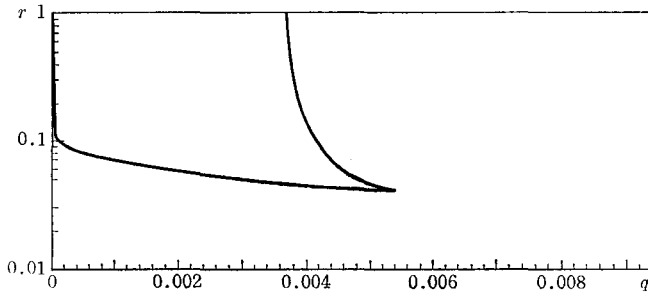


図2 スロット付きアロハ方式の分岐集合

これは、再送率 $r$ を $r < 4/N$ を満たすように設定すればシステムを常に安定に保てることを意味する。 $N$ 人のユーザーを順番にサービスするようなTDMA方式では送出間隔は $N$ になる所を、スロット付きアロハ方式では平均再送間隔で $N/4$ に短縮できる。ただし、ここで注意しておきたいのは、本解析では $N$ が十分大きいことを仮定している。

図2に示すように、 $(q, r)$ 平面上で分岐集合はくさび状の曲線となり、くさびの内部ではスループットの急落、応答時間の急増など急激な変化が起こることがあり、システムが不安定な領域である。くさびの外部ではシステムは常に安定である。しかし、アロハ方式の最大能力はこのくさびの内部に存在することがわかっている。したがって、最大能力を得るためには、勇敢にもくさびの内部に入っていかなければならない。このとき、急激な変化を避けるように制御しなければならないのはもちろんである。

### 3. インスタンス競合割当て方式<sup>[11]</sup>

近年の急速な計算機資源の発達を背景に、さまざまなユーザーの要求に対応できる多元接続方式の提供を可能とするインスタンス競合割当て方式について考察する。本方式は、ルールとインスタンス群を導入することによりユーザー要求に応じてチャンネルを割当てる方式である。ルールにもとづいてインスタンス群が総体としてユーザーの要求をモデル化する。モデル化の具体的な方法は、ルールによって表わされる。本方式では、ルールをインスタンスに働きかける規則の集合という意味で用いる。ルールにもとづくモデル化は、インスタンスというアクセス権割当てを抽象化した対象を扱えばよい。その結果、本方式を用いると、従来提案されてきたアロハ方式、予約方式、TDMA方式、urn方式等の多元接続方式を同じ枠組みにもとづいた考え方で実現できるだけ

でなく、さらにユーザーのさまざまな要求に適合した方式を導出できる。また、ルールとインスタンス群を分離、独立させることで、システムの提供するサービス機能の変更、管理が容易にできるという利点も兼ね備えている。

#### 3.1 インスタンス競合割当て方式の概要

インスタンス競合割当て方式は図3に示すようにチャンネル情報(channel information)にもとづいたルールの適用によってスロット

インスタンスを生成・操作・消去し、それらインスタンスの競合結果にしたがってスロット割当(slot assignment)を決定する方式である。

インスタンスは、さまざまな時点でのスロットをソフトウェア的に具象化する。実際には、インスタンスは計算機のメモリ上に、たとえばC言語の構造体といった形で保持される。インスタンスは、図4に示すようにインスタンスの種類(type of instance)とそのインスタンスが代表する局名(station name)および、競合に必要な競合係数(Conflict value)からなる。

インスタンスは、表1に示すように予約によってアクセスが許されるスロットを代表する予約インスタンス(Reservation instance)とそれ以外の非予約インスタンスに大別できる。さらに非予約インスタンスはTDMA方式のように1つのスロットには1つの局のアクセスしか許されないスロットを代表する単局インスタンス(Single instance), urn方式のように1つのスロットに複数の局のアクセスが許されるスロットを代表する局

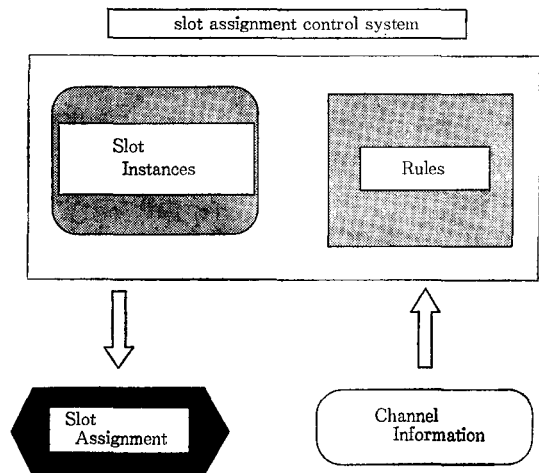


図3 インスタンス競合割当て方式

群インスタンス (Group instance), スロット付きアロハ方式のようにすべての局のアクセスが許されるスロットを代表する全局インスタンス (ALOHA instance) に分類できる。ここで、これらインスタンスによって代表されるスロットを単局スロット, 予約スロットというようにスロットと関係したインスタンスの名前を用いて呼ぶことにする。

このようなさまざまな種類のスロットを状況に応じて適切に配分することをめざす。インスタンス競合の方法として

は, 競合係数と呼ぶ数字をルールによって操作し, その大小によって競合結果を決定する方法, およびインスタンスの種類により競合させる方法などが考えられる。たとえばトランプのゲームのように, ある種類のインスタンスは, その競合係数のいかにかわらず別の種類のインスタンスとの競合に生き残ることができる, というルールも設定できる。

### 3.2 SAR方式

インスタンス競合割当て方式の適用例としてSAR方式を示す。ランダム・予約複合アクセス方式では, longメッセージの予約用パケットと shortメッセージパケットの送出をスロット付きアロハ方式で送出する。そのため, メッセージ生起率が高くなるとふくそう状態に陥る可能性がある。これを避けるために種々工夫されている[2]。SAR方式ではトラヒックが増加してきたら, longメッセージの予約用パケット, または shortメッセージパケットは, 全局スロットだけではなく, 単局スロットにおいて送出することを考える。つまり, SAR方式とは, 単局スロット, 全局スロット, 予約スロット

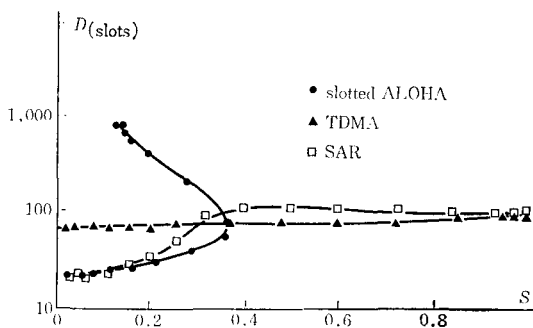


図5 SAR方式のスループット(S)-ディレイ(D)特性

Slot Instance

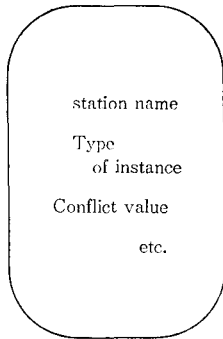


図4 インスタンスの構成例

表1 インスタンスの分類

スロット インスタンス	予約インスタンス
	非予約インスタンス
インスタンス	単局インスタンス
	局群インスタンス
	全局インスタンス

をそのトラヒックに応じて適切に配置する方式である。SARとは, おのおののスロットを表わす Single, ALOHA, Reservationの頭文字を連ねたものである。

### 3.3 性能評価

SAR方式の性能評価を計算機シミュレーションにより行なう。スループット-ディレイ特性を図5に示す。参考までに同じパラメータの時のスロット付きアロハ方式と, TDMA方式の特性も同図上に示す。図5より, SAR方式は, トラヒックが低いときにはスロット付きアロハ方式の特性を示し, 高いときにはTDMA方式の特性を示す。

## 4. むすび

多元性を保ちながら全体の統合が図れる多元接続方式を開発することは, 今後の重要な研究課題である。

### 参考文献

- [1] D. Chakraborty, "Constraints in Ku-band continental satellite network design", IEEE Communications Magazine, 24, 8, pp.33-43 (Aug. 1986).
- [2] A. Fujii, Y. Teshigawara, S. Tejima and Y. Matsumoto, "AA/TDMA-adaptivesatellite access method for mini-earth station network", in Conf. Record. GLOBECOM '86, Houston, Tx., pp.1494-1499 (Dec. 1986).
- [3] F. Tobagi, "Multiaccess protocols in packet communication systems", IEEE Trans. Commun., COM-28, pp.468-488 (Apr. 1980).
- [4] S. S. Lam, "Satellite packet communication multiple access protocols and perfor-

# Computer Today

3月号/発売中/定価930円

## 最新シミュレーション・ゲーム・ソフト作法

—コンピュータがひらく新しい世界5—

シミュレーションゲーム	矢野 徹
SimCity	多摩 豊
シミュレーションで見る未来	川合敏雄
地球温暖化問題	野田 彰
大西モデルとはどんなものか	大西 昭
国際政治のシミュレーション	関 寛治
シミュレーションとゲーム	高橋三雄
ゲーミング手法とは何か	馬場則夫
経営モデルとそのゲーム化	佐藤完治
ゲームソフト制作の実際	鈴木 力
「信長の野望」はこう考えて作った	襟川陽一
「大戦略」はこう考えて作った	福田史裕

月刊誌

## 数理科学

3月号/発売中/定価960円

## 磁性体のダイナミクス

—緩和と共鳴—

磁性緩和と磁性	永田一清
スピネコー	溝口 正
磁気計測あれこれ	力武常次
低次元磁性体の異常磁気緩和とESR	岡本寿夫・森 肇
低磁場共鳴と $\mu$ SR	柴田文明
粒子の拡散とスピン回転	北原和夫
金属微粒子の核磁気共鳴と緩和	小林俊一
非線形磁気共鳴	山崎比登志
高温酸化物超伝導体中の $\mu^+$ スピン緩和	西田信彦
核スピン反強磁性共鳴と緩和	平井 章・佐々木 豊他

■最新刊 好評発売中

## REDUCE入門

パソコンによる数式処理活用法

広田良吾・伊藤雅明共著 A5・定価2300円

▶価格表示は、税込み価格となっています。

## サイエンス社

東京都千代田区神田須田町2-4 安部徳ビル

☎03(256)1091 振替 東京7-2387

mance", IEEE Trans. Commun., COM-27, pp. 1456-1466(Oct. 1979).

- [5] A. B. Carleial and M. E. Hellman, "Bi-stable behavior of ALOHA-type systems", IEEE Trans. Commun., COM-23, pp. 401-410 (Apr. 1975).
- [6] R. Thom, Structural Stability and Morphogeneous, W. A. Benjamin, 1975.
- [7] M. Golubitsky, "An introduction to catastrophe theory and its applications", SIAM Review, 20, 2, pp. 352-387 (Apr. 1978).
- [8] Y. Onozato and S. Noguchi, "On the thrashing cusp in slotted ALOHA systems", IEEE Trans. Commun. COM-33, pp. 1171-1182 (Nov. 1985).
- [9] Y. Onozato and S. Noguchi, "A unified analysis of steady state behavior in random access schemes", Computer Networks and ISDN Systems vol. 10, pp. 111-122 (1985).
- [10] 小野里, 加藤, 野口: "ランダム・予約複合アクセス方式における安定性の解析", 信学論(B) J70-B, no. 11, pp. 1360-1366 (昭63-11)\*.
- [11] 桑沢, 小野里: "衛星多元接続のためのインスタンス競合割当て方式", 信学論(B-II) J72-BII, no. 10, pp. 533-540 (平01-11).