

氏 名	お の ざと よし くに 小 野 里 好 邦
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 56 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	マルチアクセス方式に関する基礎的研究
指 導 教 官	東北大学教授 野口 正一
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 野口 正一 東北大学教授 佐藤利三郎 東北大学教授 重井 芳治

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

現代のように高度に情報化された社会においては、より大量化，より複雑化，より広域化して発生する情報を正確に迅速に処理する必要性が生じている。このため，情報処理の分散を図り且つそれらの通信をお互いに取り合い，全体で一つのシステムとしての働きをする分散処理システムに関する研究が重要である。分散処理システムの特徴として

1. 資源が共有される，
2. 資源間の通信が円滑に行なわれ，

が挙げられる。

本論文では，分散処理システムの一形態として，地上無線或いは衛星回線を用いたデータ通信システムを考察の対象とし，通信チャネルの共有を図るためのマルチアクセス方式に関して基礎的な検討を行うこととした。ハワイ大学のアブラムソンにより，アロハ方式が提案されて以来，通信チャネルから最大能力を引き出すため，種々のマルチアクセス方式が提案されてきた。それらの方式は通信トラヒックの発生形態，量，及びシステムの伝搬遅延特性によりその特徴を分かたず。なかでも，ランダムなスケジューリングを施しチャネルの円滑な共有を図るアロハ型マルチアクセス方式は，基本的なアクセス方式であると考えられる。アロハ型マルチアクセス方式を用いたデータ通信システムでは，一つのチャネルを多数のユーザーで共有するため，入力トラヒ

ッタが多くなるとパケット同志の競合がおこりシステムは通信不能になり、不安定状態に陥る。つまり、システムの安定性の問題が生じる。従来、この不安定状態は解明されていなかった。しかしながら、より良いシステムを構築するためには、システムの振舞を知ることを肝要である。そこで本論文の目的は、不安定状態におけるシステムの動作状況を的確に把握し、マルチアクセス方式を用いたデータ通信システムの設計及び性能評価のための理論的基礎付けを与えることにある。具体的には、本研究では、

- (1) アロハ型マルチアクセス方式を採用したデータ通信システムを設計及び性能評価するための解析手法の開発
- (2) システムに特有な不安定状態の解析

などの問題を論ずる。

第2章 拡散近似法

まず、衛星回線或いは地上無線においてマルチアクセス方式を採用したデータ通信システムのモデル化を行う。このモデルを解析するため、競合により生じたシステム内の未処理パケット数（Backlog数： x ）の分布がシステムの振舞を決定する上で重要な役割を果すことを示し、この分布を導くための新たな手法として拡散近似法による解析法を提案する。

本手法によれば、再送確率： r 、及びパケット生起率： q 、などのシステム制御変数とシステム動作の関係が明確になる。つまり、Backlog数に関する定常確率分布を介してシステムのダイナミックな振舞が表現できる。本手法は、通信チャンネルがスロット化されている、いなしに関係なく適用可能で、各々の場合について統一的な議論がなされている。数値例により本手法の正当性が厳密モデル（拡散近似法を用いないモデル）との比較により示される。システムが単安定となる範囲では近似の精度は非常に高く、システム制御変数設定の指針となりうる。しかし、システムが双安定となる範囲では本手法は適用不能である。システムの動作点が不明だからである。つまり、システムの安定性の問題に関しては指摘されているのみで解決には至っていない。最後に、多元入力トラヒックの一例として、二種類のパケット生起確率を持つ場合にも、本手法が適用可能であることを示している。

第3章 出生死滅過程による近似法

第2章で展開したモデルを基にして、システムの制御変数が外的要因により変化を受けた場合生じるシステム動作の変化について詳細な解析を行う。

まず、システム動作をBacklog数の変化として捉え出生死滅過程で記述する。システムの制御変数の変化に対応してBacklog数の定常確率分布がどのような影響を受けるか検討する。定常確率分布の型により、システムの振舞を特徴付ける。つまり、定常確率分布が単峰性のときシステムは単安定、双峰性のときシステムは双安定と呼ぶ。本手法により、システムの定常状態におけ

る振舞は単安定と双安定の二つのみで特性化できることを示した。単安定システムでは、外部変動に対して安定に動作する。ところが、双安定システムでは外部変動によりシステムの急激な変化が観察される。さらに、このときのシステムの制御変数の変化とシステムの動作の変化の割合との定量的評価が以下のように与えられている。システムが双安定であるとき、双峰性の確率分布のピーク値の比をシステムパラメータと定義し、制御変数の変化に対応して生じるシステムパラメータの変化を変動比 ρ と定める。システムパラメータが $10^{-1} \sim 10^{-2}$ のとき、制御変数に変化が生じると平均Backlog数が ρ のオーダーで増加するような急激な変化がシステム内で生じる。つまり、システムパラメータの値を観察することより、制御変数の様々な変化に対してシステムがいかに変動するか把握できる。この結果より、外部変動に対し安定に動作し、しかも、効率の良いシステム設計法が導出される。

第4章 Slotted アロハシステムにおける輻奏に関する解析

システムが双安定となる領域では通信チャンネル上でのパケットのトラヒック密度が高く、システムは輻奏状態にある。本章では、双安定領域におけるシステムの解析をカタストロフィー理論を用いて行う。

双安定領域において生ずるシステムの不安定現象、つまり、スループットの急落、平均伝送遅延時間の急増などのシステムの急激な変化がカタストロフィー理論を適用して解明される。特に、このシステムで生じるカタストロフィーはくさび型分岐集合で特徴付けられることが得られる。さらに、双安定領域で設定されたシステムパラメータの値とシステム評価基準であるスループットとの関係を、平均Backlog数を介して示す。

定義2, 3で与えられる関数 $F(x, q, r) = 0$ を満たす点を局所平衡点と定義し、局所平衡点のうち $\frac{\partial F}{\partial x} > 0$ を満たすとき局所安定平衡点、 $\frac{\partial F}{\partial x} < 0$ を満たすとき局所不安定平衡点と定める。関数 $F(x, q, r)$ の性質より局所安定平衡点の回りに定常確率分布の山ができる。単安定システムでは一つの局所安定平衡点、双安定システムでは二つの局所安定平衡点を持つことが示される。双安定システムでは二つの局所安定平衡点のうち、どちらが支配的であるかにより、システムの振舞は大きく変わってくる。システムパラメータがある値以上のとき外部変動を受けるとシステムの局所安定平衡点が移動し、反対の局所安定平衡点へ移る。この現象は、三次元空間 (x, q, r) 上で定義される局所平衡平面のくさび型のたわみに起因する。このような局所安定平衡点の移動に伴い、平均Backlog数の急増により、スループットは急落することが説明される。

数値例により、システムの制御変数をくさび型のカタストロフィー分岐集合上にとれば、システムパラメータは良好な範囲に抑えられ、スループットもある程度の値が得られることが示された。

第5章 Assigned—Slot Listen—Before—Transmission プロトコルの解析

第3章で示した出生死滅過程による近似法をハンセンの提案した新しい通信方式のプロトコルの解析に適用する。

Assigned-Slot Listen-Before-Transmission プロトコルを用いたデータ通信システムにおいても、システムの振舞は単安定と双安定で特性化できることを示し、両者の境界を表すくさび型分岐集合が得られる。また、双安定領域におけるシステム動作に特徴的なスループットの急落、平均 Backlog 数の急増などの現象も示される。

第 6 章 結 論

マルチアクセス方式を用いたデータ通信システムを設計する際に、システムのダイナミックスがわからなければ良い設計はできない。そこで本論文では、システムの振舞を通信チャンネル内に滞る未処理パケット数 (Backlog 数) に着眼し、Backlog 数に関する定常確率分布で表現した。まず、二つの解析法を導出した。

1. 拡散過程による近似で単安定システムについては、そのダイナミックスが明確になった。
2. 双安定システムに対しては、さらに、もう一つの解析法、出生死滅過程を応用したアプローチを行い、そのダイナミックスを明らかにした。

以上の解析法に基づいて、具体的に以下の結果が得られた。

- 1) Slotted アロハシステムの定常状態における振舞は、単安定と双安定のみで特性化された。
- 2) Slotted アロハシステムにおける双安定性はくさび型分岐集合で特徴付けられた。
- 3) Slotted アロハシステムの双安定状態におけるカタストロフィックな変化の強さが定量的に表現された。
- 4) システムの制御変数が変化したとき観察されるシステムの急激な変化の現象が説明された。
- 5) Assigned-Slot Listen-Before-Transmission プロトコルを用いたデータ通信システムにおいて、そのシステムの振舞は単安定か双安定で特性化され、その境界はくさび型分岐集合で与えられた。

以上、本論文で扱った解析は、モデルを設定し、このモデルに基づいて展開した。ここで得られた結果や手法は、マルチアクセス方式を用いたデータ通信システムの設計及び性能評価に役立つ。

審査結果の要旨

近年急速に増加した情報処理の要求に伴い、大規模計算機システム、計算機ネットワークの研究開発は今後の重要な研究課題である。このためには未解決の多くの問題を解決しなければならないが、中でも情報処理システム内の有限の資源を、多数の利用者が効率よく共同利用できるマルチアクセス方式の開発は重要な研究課題である。本論文はこの立場から研究を行い、通信衛星による計算機ネットワーク設計のための基礎を与えたもので全編6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景について述べている。

第2章ではまず衛星通信におけるマルチアクセス方式のモデルを導き、このモデルの正当性について論じている。ついでこのモデルを解析する上で競合により生じたシステム内のパケット数の分布がシステムの振舞を決定する上で重要な役割を果たすことを示し、この分布を導くため、新たな手法として拡散近似法による解析法を提案している。本手法によれば一般のマルチアクセス方式の特性も容易に導くことができ、特にシステムが単安定となる範囲では近似の精度は非常に高く、システム設計の重要なパラメータが本手法により導けることを示している。これは興味ある知見である。

第3章では、第2章のモデルのもとでシステムが外的要因により変化を受ける場合、システムの動作の変化について詳細な解析を行っている。このため、システムの動作を出生死滅過程で表現し、その結果システムの定常状態における振舞は単安定と双安定の二つで特性化できることを明らかにし、又夫々の状態のもとでシステムの外部パラメータの変化の割合と、システム全体の動作の変化との関係を理論的に与えている。この結果を用いて外部変動に対し安定に動作し、しかも効率の良いシステムの設計法を導いている。これらは重要な知見である。

第4章では第3章で行われた双安定領域の解析をカタストロフィ理論を用いて展開している。この結果マルチアクセス方式において生ずるシステムの不安定現象は本理論により統一的に取り扱うことができ、特にここで生ずるカタストロフィはくさび状の分岐集合で表わされることを示している。

第5章は新しい衛星通信方式の解析であり、本論文の解析法がそのまま適用できることを示している。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文はマルチアクセス方式の性質を詳細なモデルと新しい解析法を用いて明らかにし、これを用いて通信衛星による計算機ネットワーク設計のための重要な基礎を与えたもので、通信工学、情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。