

氏 名	嶋 本 薫
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 5 年 10 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 62 年 3 月 電気通信大学大学院電気通信学研究科通信工学 専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	衛星通信ネットワークにおける多元接続方式に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 阿曾 弘具 東北大学教授 高木 相

## 論 文 内 容 要 旨

本論文では、複数地上局で構成される衛星通信ネットワークにおける多元接続方式に関する考察を行なう。多元接続方式を用いると、1つの衛星チャンネルを複数地上局で利用することが可能なため、周波数資源やコストの削減を行なうことができる。多元接続方式では可能な限りチャンネル利用率を高め、より多くの地上局が利用可能となるネットワーク接続状況を構築することが重要である。多元接続方式では複数地上局が1つの衛星チャンネルを共同利用するため、地上局間での競合問題があり、それを解決するための調整、工夫を行なうことがチャンネル利用率の向上につながる。基本的な多元接続方式である純アロハ方式は、各地上局がデータ発生と同時に任意の時刻で送出することが可能なため簡易な多元接続方式だが、複数局からデータが同時に衛星チャンネルへ送出される可能性があるため、データ間で衝突が発生し転送不成功となる場合がある。データの発生頻度と衝突のトレードオフとして最大のチャンネル利用率を与えるチャンネル利用状況が存在し、純アロハ方式はデータ衝突回避の工夫が特に無いため最大のチャンネル利用率は低く約0.18である。従って、チャンネル利用率の高い多元接続方式を構築するために、各地上局のデータ発生頻度が高い場合にも衝突を回避する工夫が必要であり、本論文は送信タイミング、送信周波数、送出レベルを制御することでデータの衝突を回避する工夫を行なった成果をまとめたものである。

まず最初に送信タイミングを制御することでデータの衝突を回避する多元接続方式に関する考察を行なう。送信タイミングを工夫し衛星チャンネルの有効利用を行なう方式は、多元接続における代

表的な考え方であり、各地上局が送信を行なうタイミングをそれぞれずらすことで同一時刻における複数の送出をなくし、データの衝突を避ける方式である。スロット付きアロハ方式は、各地上局が衛星チャンネル上のスロットに送信タイミングを同期しデータ衝突を回避するため、純アロハ方式に比較して約2倍のチャンネル利用率が得られる。しかし、高いチャンネル利用率が得られるのはスロット長とデータ長が一致する場合であり、それ以外では達成不可能である。本論文ではデータ統合化など多様化するユーザ環境に対応する意味から、発生データ長が一定でない場合のネットワークシステム構築を重要と考え、スロット長とデータ長が一致しない場合のスロット付きアロハ方式の特性劣化を防ぐ方式について考察を行なう。

発生パケット長が1スロット内で広く分布する場合、スロット付きアロハ方式の送信タイミングを用いるとスロット内に余白が発生し、チャンネル利用率が低下する問題がある。利用率低下の原因はスロットの先頭からの送信タイミングではスロットの後半部分が余白となるため、チャンネル利用時間が縮小することである。本論文ではチャンネル利用率を向上させるために、スロットの後半部分の余白を有効利用する2分割アクセス方式を提案する。2分割アクセス方式は従来のスロット先頭での送信タイミングに加えて、スロット末尾での同期による送信タイミングを加えスロットの後半部分の余白を有効利用する方式である。さらにチャンネル利用率を向上させるため、スロット先頭同期で送出するパケットとスロット末尾同期で送出するパケットを、発生パケットの長さに応じ分類して送出することでスロット内における衝突の可能性を縮小した。性能評価を行なった結果、パケット長分布が一樣の場合では提案方式がスロット付きアロハ方式と比較して最大スループットが約15%向上することが示された。

ネットワークを利用するアプリケーションであるPOS等のオンラインシステムでは、発生するデータとしてトランザクション系の短データとバッチ系の長データが混在する場合がある。短データと長データが混在する場合にスロット付きアロハ方式を用いるとチャンネル利用率が低下し、特に長データの転送成功確率が低下するため信頼性の高いシステム構築が難しい。即時性の要求される短データをスロット付きアロハ方式で送出し、長データを予約方式で送出するアロハ・予約複合アクセス方式はこのようなアプリケーションの場合に有効な多元接続方式と考えられる。しかし、異なる2つのアクセス方式が同一チャンネルで混在するため、2方式のチャンネル容量配分が十分でない場合は、方式融合の効果が十分に発揮できない可能性がある。本論文では、動的な制御法を用いチャンネルが有効的に使用可能なチャンネル容量配分方式を提案する。予約情報は中央局から全地上局に対し送られるため、各地上局はチャンネルの予約状況を知ることが出来る。従って、各地上局はチャンネルの空いている部分を知ることが可能なため、予約チャンネルの空いている部分をアロハ方式で利用することで可能である。本論文では、予約チャンネルの空いている部分をアロハ方式で利用するチャンネル容量配分方式を提案し、その挙動解析を行なった。考察の結果、提案方式が実用的でチャンネルを有効利用可能な方式であることが示された。

従来のシステムの挙動解析は各ユーザが均一的なトラヒック発生状況を持つ場合の解析が多い。しかしながら一般的には各ユーザのトラヒック発生状況はそれぞれ異なるため、ネットワークを構築する際にはシステム全体を不均一なものとして捉え事前評価を行なうことが重要である。本論文

では、トラヒック発生状況の異なるユーザグループが複数存在し、各グループがマルチパケットを送出する場合のスロット付きアロハ方式の挙動解析を行なった。スロット付きアロハ方式はチャンネルの高負荷状況の場合にシステムが不安定になる問題があるため、実システムに適用する場合にその挙動を事前に評価し安定領域内で使用するための制御情報を得る必要がある。本論文では、安定領域を求めるための手法としてリアプノフの方法を用いて行なった。不均一なトラヒック発生状況を想定した安定領域をユーザグループ単位で求め、結果として各ユーザグループの安定性領域の拡大が可能となった。数値例として具体的なネットワークモデルに対し解析を行ない、システムの安定領域を再送率パラメータで示した。

次に、送信周波数を制御することで実現可能な多元接続方式であるマルチチャンネルアクセス方式に関する考察を行なう。マルチチャンネルアクセス方式は、各地上局が複数衛星チャンネルの中からチャンネルを選択しデータ送出行なうもので、同一時刻に複数局がアクセスした場合もチャンネルが異なれば衝突が発生しない特徴がある。ハードウェアの進歩により送信周波数制御が容易に実現可能であることから、複数チャンネルが使用可能なネットワークシステムの場合には、マルチチャンネルアクセス方式が有効と考える。マルチチャンネルアクセス方式として従来提案されている H. H. Tan と T. Y. Yan の衝突解消方式は、各局と使用チャンネルの割付けを動的に行なうことでチャンネル間での負荷分散が可能となり衝突を減少させることが出来るが、チャンネル数が多い場合は利用率が低下する問題がある。本論文ではシステムの性能がチャンネル数に依存せず、常にチャンネルの有効利用が可能なマルチチャンネルアクセス方式である複数チャンネル並列衝突解消アルゴリズム方式を提案した。提案方式はデータの衝突が発生した場合の再送チャンネルを、グループ化したチャンネル群の中で並列的に衝突解消させるもので、チャンネルの利用率の低下を防ぐと同時に並列的な衝突解消により遅延時間を短縮させる方式である。性能評価により提案方式が多チャンネルの場合もチャンネル利用率が低下しないことを示し、高いチャンネル利用率が得られるグループ化法を示した。

最後に、送出レベルを制御することで実現可能な多元接続方式である、捕捉効果を利用したアクセス方式に関する考察を行なう。捕捉効果を利用したアクセス方式は、各地上局からの送出レベルに差を作り、送出レベル差により捕捉効果を生み出し転送成功を得る多元接続方式である。捕捉効果を利用したアクセス方式は、同一スロット、同一チャンネル内において複数の送信を行なった場合にも転送成功をもたらすことが可能なため、方式の持つ特性は送出レベル制御を行わない場合に比べて確実に向上する利点がある。しかし、高送出レベルで送出されたパケットが転送成功となるのに対し、低送出レベルで送出されたパケットは転送に失敗するため、各地上局の送出レベルが固定的に割り当てられている場合はアクセスの不公平が生じる問題がある。本論文は捕捉効果の持つ特徴を生かしデータ衝突を縮小し、さらに局間で不公平が生じない多元接続方式の構築を行なう。同様の目的で提案されたアクセス方式として C. C. Lee の提案する完全割り当て方式が挙げられる。完全割り当て方式は各局にそれぞれ異なった送出レベルを割り当てるため、局数が多い場合に実現が難しい。本論文は1スロット当たりの送出可能局数を削減することで送出レベル数を抑制し、各スロットで常に捕捉効果が期待可能なアクセスである送出レベルおよび送出スロット割り当て方式を提案する。提案方式は局数と送出レベル数が柔軟に設定できるため、多数局が存在する場合も実

用化が容易な方式であり、各局に最大送出レベルでの送出機会を設けることで局間で不公平が生じない多元接続方式である。理論解析により提案方式の性能評価を行ない、設定可能な送出レベル数の増加に従って、スループット・遅延特性が向上することを示した。また、実衛星を用いた実験により、一般的な地上局設備を用いて衛星通信路における捕捉効果の存在を調べ、捕捉効果を利用した多元接続方式が実用的に使用可能であることを示した。

以上、送信タイミング、送信周波数、送出レベルの制御を用いた多元接続方式に関する考察を行った。本研究の成果によりチャンネルの使用効率を向上させることが可能となり、周波数などの資源の有効利用、低コスト化などの効果が期待できる。また、遅延特性やデータ統合性の向上により、より身近なメディアとして衛星通信利用が促進される。

## 審査結果の要旨

高度な情報通信システムを構成する上で、多数の小型の地上局が衛星回線を共有する衛星通信網の設計問題が重要な課題となっている。しかし、現状では、このような課題を解決するための設計方法論や設計技術について十分な成果は得られていない。そこで、著者は、衛星通信網構成の基幹技術である多元接続方式を対象とし、多様な利用環境における効果的なアクセス方式の研究を行った。本論文はその成果をまとめたもので、全編7章より成る。

第1章は序論である。第2章では、スロット付きアロハ方式において、データ長がスロット長以内に分布する場合、データの送出タイミングをスロットの先頭と末尾に分けることにより衝突の回避を行う方式を提案し、その有効性を示している。

第3章では、トランザクション系の短いデータをアロハ方式で、またバッチ系の長いデータを予約方式で送出する複合アクセス方式について考察している。その結果、バッチ系とトランザクション系のトラヒックに対する効果的なチャンネル容量の分配方式を提案し、チャンネル利用率が向上することを示している。

第4章では、アロハ方式の短所である不安定な挙動を極力おさえる制御法について考察している。特に不均一なトラヒックが発生する状況におけるスロット付きアロハ方式を用いたシステムの安定性を解析することにより、外部トラヒックの変動に対し安定に動作し、且つ、効率のよいシステムの設計法を導いている。これらは本論文の重要な成果である。

第5章では、通信路として複数の衛星チャンネルが利用可能な場合の多元接続方式について考察し、複数の衝突を同時に解消できるアクセス方式を提案し、これらの衛星チャンネルの有効利用が可能であることを示している。

第6章では、電力の送出レベルを制御することで捕捉効果が得られることを実験的に確認し、これを積極的に活用したアクセス方式を提案し、チャンネル利用率と遅延特性が向上することを示している。これらは興味ある結果である。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は衛星通信網における多元接続方式の性質を詳細に研究し、新しいアクセス方式を提案することにより、チャンネル利用率の向上を達成し、高度な情報通信システム設計のための重要な基礎を与えたもので、通信工学ならびに情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。