

学位論文題名

デジタル統合サービス向け小型ユーザ局を対象とした国際衛星通信システムの設計に関する研究

学位論文内容の要旨

衛星通信では、今後の多様なデジタルサービスの提供に向けてその多元接続性、同報性、運用の柔軟性、機動性、広域性、広帯域性等の特長を活かしたシステムの設計、設計結果の実現および検証が重要な研究課題となっている。

本論文は、小型地球局からなるユーザが直接衛星にアクセスする形態の国際衛星通信システムにおいて、ユーザの伝送要求に応じつつ衛星資源の活用を図るための通信システム設計およびその要素技術の試作評価に関する一連の研究成果をまとめたものである。その主な目的は、より小型のユーザに対して、より簡便でかつ適切な通信手段を提供することにある。さらにこの通信システムは、多様なデジタルサービスの利用を目指すユーザの指向に即したものでなければならない。

本研究は、現状の衛星通信に即したシステム構成および衛星構成まで含めた将来的なシステム構成について段階的に検討を行ったものであり、以下の6章から構成される。

第1章は緒論であり、本研究の目的と構成について述べた。

第2章では、現在の代表的な衛星としてインテルサット衛星を想定し、周波数帯域として小型地球局の利用を容易にするKu帯(14/11, 12 GHz帯)を中心に、ユーザを直接収容する国際ビジネス衛星通信サービスを効率良く運用するための網構成、デマンド割当て方式および伝送方式について具体的な設計を行った。この結果、衛星資源の一元的な管理とユーザ情報の分散的な管理を同時に効率良く行うために集中制御と分散制御を併用する階層的な網構成を提案した。衛星回線に関しては、呼制御情報を伝送する制御回線とトラヒック・データを伝送するトラヒック回線を個別に設け、制御回線は固定接続とし、トラヒック回線は呼の発生毎に適宜設定する構成を採用した。この構成により、トラヒック種別のダイナミックな変更および衛星リソースの有効利用を図れるTDMA回線を用いて、各種地球局を統合的に包括したなIBSシステムを構築した。

これら設計に基づき実験システムを開発した。この実験システムを用いて衛星実験を行った結果、伝送特性についてはC/N対BER特性の理論値からの劣化が1 dB以内、呼接続遅延特性については回線設定所要時間が10秒以内と、それぞれ所望の特性が得られることを確認した。

第3章では、多数の受信専用ユーザ局を対象として同報モード衛星回線を用いてデータ配信を行うシステムに階層的な制御網を適用する構成を提案した。このシステムではユーザ局の他に衛星を介したデータ配信を行う1つの中央局と、ユーザごとの受信確認を行う複数の副制御局を設ける構成を採用した。この階層的な網構成において、中央局-副制御局間と副制御局

ーユーザ局間の処理時間の比をパラメータとしてポーリングによる受信状態応答処理時間を最小にする最適な副制御局数があること、ユーザ局の通信コストをパラメータとして階層化制御網構成のほうが従来の集中網構成よりシステムコストを低減し得ることを明らかにした。またこの網構成をもとにG3ファクシミリ同報配信システムの試作を行い、その動作を確認した。

第4章では、複数の低周回軌道衛星を用い、光衛星間リンクにより広帯域衛星間通信を実現する構成を提案し、ユーザ/衛星間および衛星間リンクの伝送パラメータを解析した。この結果、ユーザ/衛星間リンクでは衛星地上高度とユーザからの最小運用仰角がサービス品質要求および装置実現の観点から重要なパラメータとなることを示した。そして伝送損失、衛星可視期間そして所要衛星数について調べ、各項目ごとに衛星高度と最小運用仰角の最適値が異なってくることを、従って衛星パラメータを決定するにはトレードオフスタディが必要となることを示した。

衛星間リンクについては、衛星の軌道解析により2衛星間の伝送パラメータの変化を調べた。その結果、同一軌道面上の隣接衛星間ではその相対的な位置がほぼ固定されることから光衛星間通信を用いた広帯域リンクの設定に適していること、隣接軌道面上を同一方向に周回する衛星間では極域において大きく変化することを明らかにした。この結果をもとに、隣接する軌道面上の同一方向に周回する衛星間に、低緯度地域のリンク状態が安定している期間のみ軌道面間リンクを設定する網構成を提案した。この網構成により、任意の2地点間を衛星リンクのみで接続し、全世界をカバーする通信網を構築することができる。

さらに光衛星間リンクについて回線設計を行い、低周回衛星間では3,000 km程度の距離を見込めば良く、この程度の衛星間距離を対象とした場合の伝送パラメータが現在の光学および光通信技術で実現可能であることを示した。

第5章では、第4章に示した広帯域光衛星間リンクを実現するための核となる半導体レーザー送信機の実現性を実証するため同装置の設計および試作評価を行った。その結果、0.8ミクロン帯のLDを対象に出力60 mW、伝送速度2.5 Gbit/s、波面精度 $\lambda/16$ で直径5 mmの円形コリメータ光出力を得た。この試作において、コリメータは非球面レンズの適用により全長50 mm、3枚のレンズ構成で上記特性を達成した。これにより小型・軽量で特性の優れたLDコリメータを実現できる見通しを得た。併せて、非球面シリンドーレンズにより全長30 mm、2枚のレンズ構成で同等の特性が得られる設計結果を示した。また、実際の通信装置を構成する際に必要となるシリコン・アバランシェホトダイオードを用いた光受信機も開発した。この受信機はカプリング光学系の損失を除いた平均光受信レベル-30.6 dBmでビット誤り率 1×10^{-9} を達成し、0.8 ミクロン帯での従来の検討の最高速度である2.5 Gbit/s伝送が可能であることを示した。また今後の課題として、これら伝送装置の衛星間通信以外の分野への適用が考えられることを示した。

第6章は結論であり、本論文のまとめを行うと共に今後の課題について整理し、小型ユーザ局を対象とした国際衛星通信システムの将来的な展望を示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 永 井 信 夫
副 査 教 授 伊 藤 精 彦
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 小 川 恭 孝

学 位 論 文 題 名

デジタル統合サービス向け小型ユーザ局を対象とした国際衛星通信システムの設計に関する研究

衛星通信では、今後の多様なデジタルサービスの提供に向けてその多元接続性、同報性、運用の柔軟性、機動性、広域性、広帯域性等の特長を活かしたシステムの設計、設計結果の実現および検証が重要な研究課題となっている。

本論文は、小型地球局からなるユーザが直接衛星にアクセスする形態の国際衛星通信システムにおいて、ユーザの伝送要求に応じつつ衛星資源の活用を図るための通信システム設計およびその要素技術の試作評価に関する一連の研究成果をまとめたものである。その主な目的は、より小型のユーザに対して、より簡便でかつ適切な通信手段を提供することにある。さらにこの通信システムは、多様なデジタルサービスの利用を目指すユーザの指向に即していることが必要である。本研究ではこのような観点から通信システム設計およびその要素技術の試作評価を行い、衛星通信システム構築に関する指針および知見を得ることを目指しており、その主要な成果は以下に要約される。

- (i) 異なる受信特性を有するユーザ局に対して多様なデジタル回線を統合的に提供する国際ビジネス衛星通信システムに適した網構成および伝送方式を提案し、装置試作並びに衛星実験によりその特性を検証している。
- (ii) 衛星同報回線を用いて受信専用ユーザ局に対してデータ配信を行い、地上回線を用いてユーザ局毎の受信確認を行うシステムへの階層的な制御網構成の適用を提案しその適用条件を明らかにするとともに、装置試作により提案システムの動作検証を行っている。
- (iii) 広帯域デジタル統合サービスを小型のユーザ局に提供すべく衛星間に光伝送を適用する低軌道周回衛星システムにおいて、時変的なユーザ/衛星間リンクおよび光衛星間リンクの伝送特性を計算により明らかにし、所要伝送パラメータを示すと共に低緯度地域において軌道間リンクを設定する網構成を提案している。
- (iv) 光衛星間リンク実現のために必要となる高出力半導体レーザー(LD)送信機および受信機の設計および装置試作を行い、非球面レンズ技術の適用により少ないレンズ枚数、小型の光学系を用いたLD送信機を試作し、その実現性を実証している。

これを要するに、著者は、衛星通信システム設計において将来的なデジタル統合サービスの展開を想定しつつ網制御およびユーザ管理の観点からの最適化を図り、実際の装置試作および実験を通じてその特性測定および効果の検証を行うことによりそのシステム構築のための有益な新知見を得ており、衛星通信工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。