

報告番号	甲 第 12963 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 複数衛星・マルチアンテナシステム
における空間多重伝送方式の研究
(Satellite MIMO techniques for
multi-satellite and multi-antenna
systems)

氏 名 五藤 大介

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、衛星通信の大容量化に寄与しうる技術として、ビーム数及び衛星数の増加に依存して大容量化を実現できる可能性のある、マルチビーム衛星 MIMO 技術と複数衛星 MIMO 技術に着目し、これを利用した新たな衛星 MIMO 技術の提案を行う。

マルチビーム衛星 MIMO 技術は、従来の三色繰り返しのマルチビーム衛星通信に一色繰り返しを適用し、隣接ビーム間の干渉低減に MIMO 技術を適用することで干渉低減を実現する技術である。この技術により、マルチビーム衛星通信を実現するために必要な周波数帯域幅を 3 倍に拡張することが可能となる。本システムの基地局からユーザ端末への送信となるダウンリンクにおいて、マルチビーム衛星を経由して送信される基地局を送信側、各ビームカバレッジで信号を受信するユーザ端末を受信側の場合、送信側はビーム数分のアンテナを所有し、受信側は各ビームのユーザ端末を複数の受信アンテナであるとみなすことで、MIMO と同様の形態を考えることができる。これを利用し過去の文献では、基地局から各ユーザ端末への伝搬特性をあらかじめ推定し、送信前に信号に対して伝搬の逆特性をかける「プリコーディング」処理を適用することで、ユーザ端末にはユーザ間の干渉が低減された信号が受信されることになる。干渉低減効果は前述の通り MIMO のチャンネル相関に依存するが、本システムは異なるサービスエリアの位置している受信ユーザ端末に送信するため、チャンネル相関が低くなる傾向を持たせることができる。この技術のメリットとして、MIMO のプリコーディング処理を行うのは基地局側であるため、本技術を採用することによるユーザ端末の回路規模増大を抑えることが可能になる点である。また、この技術によるシステムスループットの向上効果は、衛星のビーム数に依存するため、ビー

ムを増やす毎に伝送容量を向上することが可能である。

複数衛星 MIMO 技術は、複数の衛星から同一周波数で空間多重伝送を行い、複数のアンテナを所有した地上端末局と MIMO 伝送を行うものである。ダウンリンクの場合、複数アンテナを経由する基地局を送信局、複数アンテナを所有する地上端末局を受信局とみなすと、複数送受信アンテナを用いた MIMO 伝送と同等の形態であると考えることができる。大容量化を目的とした衛星通信で複数衛星 MIMO を適用するには、高周波数帯での利用を想定する必要がある。高周波数帯は自由空間損失が大きいため、大型のアンテナを使用することが多い。一般的にアンテナ径が大きくなると、アンテナの指向性パターン(アンテナの全方位におけるアンテナ利得の分布)が、メインローブ方向に強く分布する傾向があるため、周囲から散乱して到来するマルチパス成分は事実上無視できるレベルになることが考えられる。このため高周波数帯の複数衛星 MIMO は、直接波のみを扱った LOS(Line-Of-Sight)環境での MIMO 伝送を考慮しなければならない。一方 LOS 環境での MIMO 伝送でも、各衛星の軌道に対して受信局のアンテナが適切に配置されていれば、衛星数分のチャンネル容量向上を見込むことが期待できる技術である。

本研究では、これらの技術を利用し、更なる大容量衛星通信技術の提案を行う。

一つ目の技術は、複数衛星マルチビーム MIMO システムである。前述のマルチビーム MIMO 技術と複数衛星 MIMO 技術を併用することで、更なる伝送容量向上を見込むシステムとなる。2つの技術を組み合わせることで、複数衛星による経路長差による受信タイミング誤差と、それぞれの局部発振器による周波数誤差が同時に発生する、「時間・周波数非同期チャンネル」となり、MIMO 伝送にとっては非常に劣悪な環境となる。このような環境でいかに両技術を特性劣化なく組み合わせるかが重要となる。本研究では、送信側ではマルチビーム間の干渉低減を図る送信プリコーディングと、受信側では衛星間の干渉低減を図る受信等化を組み合わせることで、時間・周波数非同期チャンネルでの干渉低減を可能としている。また時間非同期に関しては、チャンネル推定に用いるユニークワードの直交性が失われることで、推定精度が劣化することが懸念される。本研究ではユニークワードの分散配置を適用することで、チャンネル推定精度劣化を抑えることを検討する。本稿では、チャンネル推定精度を考慮した伝送容量評価を行い、既存技術に比べて特性が向上することを確認する。

二つ目は、低軌道(LEO)衛星 MIMO(以下、LEO-MIMO)技術である。前述の通り、低軌道衛星はグローバルカバレッジ化のために複数衛星が必要であるため、サービスエリア内には複数衛星が受信できる環境が数多く存在する。LEO-MIMO はこれを利用し、複数衛星から各端末に同時伝送を行うことで、伝送容量向上を図る。LEO 衛星は常時移動しているため、周波数のドップラーシフトが発生し、MIMO 伝送の品質劣化につながることを懸念される。本研究では、同期およびチャンネル推定に用いる制御信号と、データを送信するデータ信号を別帯域に分け、制御信号は衛星毎に固有の周波数帯域に割り当てて同期を簡易にし、データ信号のみ MIMO 多重伝送を行うことで、変動の激しい LEO での MIMO 伝送

を可能としている。本研究ではこれによる周波数利用効率の低下を考慮して、既存の LEO システムとの伝送容量比較を行い、提案する LEO-MIMO の有効性を検証する。

最後に、衛星通信に複数アンテナによる伝送を行うことによって生じるアンテナパターンの取得に関する検討である。地上局のアンテナパターンを取得把握することは、隣接衛星への干渉を回避するために必須事項である。このことを目的として、無線通信規則(Radio Regulation: RR)では、EIRP マスク及びアンテナマスクを規定が規定されており、送信時にはこのマスクを超過しないように送信電力を設定する必要がある。衛星 MIMO 技術で必要とされる複数アンテナ送信では、複数アンテナからのアレーアンテナパターンが必要となるが、様々な条件でのアンテナ測定が困難となる。このことから本研究では、アンテナパターン取得の簡易化を目的とした推定法による取得を検討し、実測値との誤差を実証することで、精度を確認する。

以上のように、本研究では衛星 MIMO 技術による伝送容量向上効果と実用性の検討を行うことで、将来の大容量衛星通信の要素技術確立を目的とする。

研究の第 2 章以降の構成は以下の通りである。第 2 章では、MIMO 伝送の概要を述べた上で、衛星通信の MIMO 技術適用に関する解説を行う。さらに衛星 MIMO の従来技術の紹介を行う。第 3 章では、本研究の一つ目の研究である複数衛星マルチビーム MIMO システムの説明を行う。従来の MIMO 技術とは異なる、衛星 MIMO 特有の時間周波数非同期環境における MIMO 伝送手法として、送信プリコーディング受信等化技術を提案する。計算機シミュレーションによる伝送容量特性評価を行い、従来の MIMO 技術と比較して特性が向上することを示す。第 4 章では、もう一つの提案方式である、低軌道衛星 MIMO(LEO-MIMO)システムの説明を行う。グローバルカバレッジを形成するために必要な複数衛星運用を利用し、複数衛星からの同時伝送を同一周波数で行うことを MIMO 技術によって可能とし、伝送容量向上を図る。LEO 特有のチャンネル変動に対応するために制御信号とデータ信号を分離して周波数割当を行い、これらを考慮した周波数利用効率を従来の LEO システムと比較し、特性評価を行う。第 5 章では、衛星 MIMO 技術を実用するにあたり必要不可欠となる、地上局での複数アンテナのアンテナパターンの取得方法に着目する。MIMO のアンテナ配置は様々であるため、全てのパラメータに基づいてアンテナパターンを取得することは困難となるため、本研究ではアンテナ素子のみ実測によるパターン取得を行い、複数アンテナによるパターンは計算により導出し、アレーパターンを取得することを検討する。このような推定パターンが実測パターンと誤差がないことを確認するため、大規模アンテナパターン実験を行った。2 台の 60cm 径パラボラアンテナで周波数偏波アンテナ配置等のパラメータを変えて測定、比較を行い、推定パラメータの精度が高いことを確認する。最後に、第 6 章において、本研究の総括を行い、今後の課題についての説明を行う。