HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	二重位相共役鏡による光衛星間通信システムの高性能化に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	西牧, 可織
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11757号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58879
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kaori_Nishimaki_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（情報科学）　　氏名　西牧　可織

学　位　論　文　題　名

二重位相共役鏡による光衛星間通信システムの高性能化に関する研究
（Study on performance improvement of optical inter-satellite communication systems by using a double phase conjugate mirror）

惑星探査・気象情報の取得など多様な情報通信目的に用いられている衛星間通信技術において, 近年, 電波に代わりレーザ光を搬送波として用いた光衛星間通信技術の研究開発が活発に行われている. 光衛星間通信は, 高速・大容量通信が可能であるほか, レーザ光の指向性が高いことから, 搬送波の拡散が抑制され消費電力の低減が可能となる, また, 電磁干渉の影響がなく, 送受信アンテナの小型化も達成できるなど利点が多い.

しかしながら, 光衛星間通信の技術開発において主に二つの課題が挙げられる. 一つ目が, 衛星の捕捉・追尾の難しさである. 指向性の高いレーザ光を数 100〜1000km も距離の離れた衛星のアンテナに入射させるのは非常に難しく, そのためには高精度な捕捉・追尾を行うことのできる機能の搭載が不可欠となる. このような機能の搭載によって衛星は大型化・複雑化することとなり, 結果的には打ち上げコストの増大を招いてしまう. 二つ目が太陽光を主とした背景光の低減である, 信号光とともに背景光を受光すると, 信号を判定するしきい値処理において, ビットエラーが生じてしまい, その結果, 信号の再送が必要となり, 通信速度が大幅に低下してしまう. この対策として, 信号光のパワーを増幅させることが考えられるが, 消費電力の増大が懸念される. これまで, 背景光と信号光を分離するフィルタ (波長フィルタなど) を適用することで背景光のカットを行ってきたが, 波長フィルタは同波長, 偏光フィルタは同じ偏光成分, 遮光板は通信方向と同方向からの背景光成分を透過してしまうことから十分とは言えない.

このような状況に際し, 本論文では, 小型で簡易な光学系で捕捉・追尾精度を緩和し, 背景光の空間フィルタリングも同時に行うことを目的として, フォトリフラクティブ効果による二重位相共役鏡を用いた光衛星間通信システムを新たに提案した. また, 二重位相共役鏡の動作実験や衛星間のビーム伝搬解析を行うことにより提案手法の優位性を明らかにした. 二重位相共役鏡とは, 入射した互いにインコヒーレントな二本の光ビームに対して, それぞれの位相共役波を回折するデバイスのことである. 位相共役波は波面補正効果と時間反転性を有する. 本論文ではこの性質に着目して, 衛星間の通信光として位相共役波を用いる手法を考案した. 二重位相共役鏡の動作実験および数値解析を行うことにより, 本手法が, 従来手法では拡散してしまう通信光を収束させつつ, 相手衛星の自動追尾を可能にすることを明らかにした. また, 本論文では, 二重位相共役鏡が, 回折格子を動的に書き換え可能な性質を有していることを示した. この性質を用いて, 衛星間の光軸のずれに動的に対応できること, および, 追尾機能の大幅な向上が図れることを明らかにした. さらに, 本論文では, 位相共役波の波面補正作用を利用して背景光と通信光を分離する手法を提案し, 従来の雑音除去フィルタでは取り除けなかった背景光雑音を大幅に除去することにも成功した.

第 1 章では, 当該研究の背景について述べた.

第 2 章では, 光衛星間通信の現在までの研究動向について述べた.

第 3 章では, フォトリフラクティブ結晶の特徴と, これを用いた位相共役波の生成手法である二重位相共役鏡について述べた.

第 4 章では, 二重位相共役鏡を用いた光衛星間通信システムを提案した. 第 3 章で述べた二重位相共役鏡を用いることによって, 衛星間通信における要求光および信号光の両波面が位相共役関係になるように変換できることを示した. 本手法によって, 衛星の自動的な追尾が可能となるほか, 背景光と通信光の間に波面差異を生み出すことができるため, 空間的なフィルタリングを行うことができる.

第 5 章では, 第 4 章で提案した光衛星通信システムにおける衛星の追尾機能に関して, 追尾の時間的・空間的精度に関わる二重位相共役鏡の動作特性に着目し, 実験および数値解析を行った. 二重位相共役鏡によって回折される位相共役波の時間応答を明らかにした上で, 従来の光衛星間通信における時間的・空間的な追尾性能と比較し, 本手法が追尾精度を大幅に緩和できることを明らかにした.

第 6 章では, 第 4 章で提案した光衛星通信システムにおける背景光低減効果について検証した. 本章では, 背景光と信号光を空間的に分離するために,2 値の位相マスクを新たに設計し, 受信機衛星に搭載することを提案した. 送受信機衛星間の通信光と背景光の伝搬解析を行い, 背景光低減率が 99% になることを明らかにした. 同時に, 従来のフィルタを用いた場合と比較して, 許容伝送速度が最大で 11 倍向上することも明らかにした.

第 7 章では, 位相共役技術の地上における光無線通信システムへの応用について述べた. 地上における光無線通信では, 大気中に含まれる水分や塵などの通信光波面への影響も問題となる. そこで, 位相共役技術を用いることによって通信光の波面補正を行うことの検討, および, 中継器への応用に関して述べた.

第 8 章では, 本研究で得られた成果の総括を行った.