

氏名	やまもととしあき 山本 俊明
学位の種類	博士 (情報学)
学位記番号	情博第119号
学位授与の日付	平成16年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科通信情報システム専攻
学位論文題目	A fast and accurate method for evaluating Raman crosstalk in wavelength-division-multiplexed optical transmission systems (波長分割多重方式光伝送システムにおけるラマンクロストークの高速かつ高精度な評価法)
論文調査委員	(主査) 教授 佐藤 亨 教授 吉田 進 教授 橋本 弘藏

論 文 内 容 の 要 旨

近年、加入者系網も光ファイバになってきており、インターネットのブロードバンド化により、幹線系ではますます大容量通信が求められてきている。幹線系の大容量化には、異なる波長に伝送データをのせる波長分割多重 (WDM) を利用するのが一般的である。その場合、光ファイバ非線形効果による劣化が問題となる。光ファイバ非線形効果の一つである誘導ラマン散乱 (SRS) は、従来の利用波長域では利得が小さいため、無視されてきたが、利用波長域の拡大や、他の非線形効果を抑圧する分散マネージド伝送路の開発に伴い、SRSを無視することができなくなってきた。本論文では、SRSの通信品質への影響を容易に、かつ高速に評価する手法について研究を行い、その成果をまとめている。

光ファイバ非線形効果を評価する方法には、光信号の伝搬を伝送路に沿ったシミュレーションにより光ファイバ非線形効果を記述する非線形シュレディンガー方程式を数値的に解く方法と、非線形シュレディンガー方程式に対して近似を行い伝送後の光強度や位相の変化を解析的に解く方法がある。前者では高精度な解を得るためには膨大な計算時間が必要となり、後者では計算量が少ない反面、その精度は用いた近似に依存する。

本論文は、SRSによる伝送特性劣化を高速かつ高精度に計算できる解析的手法の導出と改良についてまとめたものである。提案法の精度については、より高精度な数値シミュレーションとの比較により検証している。また、提案法を様々な伝送路に適用し、SRSによるシステム性能制限を明らかにしており、全7章から構成されている。

第1章では、本研究の背景について述べ、伝送特性劣化の要因となる光ファイバ非線形効果、光ファイバ非線形効果の評価法、目的について述べている。

第2章では、数値シミュレーションを用いてSRSによる伝送特性劣化を計算し、他の非線形効果との比較により、SRSがシステム性能制限の主要因となりうることを示している。また、計算に用いるWDMチャンネル数やビット系列長と計算時間との関係について検討し、SRSによる伝送特性劣化について数値シミュレーションを用いて評価する際に、長い系列長の擬似ランダム符号を用いる必要のあることを明らかにしている。

第3章以降では、様々な伝送路においてSRSによる伝送特性劣化を評価する解析的手法の導出と改良について述べている。まず第3章では、SRSによる光パワー変化を平均パワー減衰と波形劣化とに分離し、システム性能制限の要因となるのは波形劣化の方であることを明らかにしている。また、波形劣化の評価方法について検討し、アイパターンとの対応でそれを明らかにしている。さらに、適用例として様々なファイバについて平均パワー減衰と波形劣化のビットレート依存性を明らかにしている。

第4章では、第3章で提案した評価法について、SRS波形劣化を統計的に扱えるような形に拡張している。第3章までに述べたSRSによる光パワー減衰だけではなく、光パワー増幅を独立に考慮に入れることで、全WDMチャンネルの劣化量を正確に評価することが可能となることを明らかにしている。また、これらの結果を、数値シミュレーションとの比較により検証している。

第5章では、第4章で提案した評価法を、自己／相互位相変調による伝送特性劣化が小さくなるとされている分散マネージド伝送路に適用できる形に拡張する手法について述べている。また、これらの結果を、数値シミュレーションとの比較により検証している。さらに、SRS波形劣化と非ガウス雑音を考慮した誤り率の計算法を用いることでSRS波形劣化によるシステム性能制限を示している。

第6章では、第5章で提案した評価法を、増幅器による雑音が小さく任意の波長帯において広い増幅特性が得られる分布ラマン増幅伝送路に適用できる形に拡張する手法について述べている。また、分布ラマン増幅を用いた分散マネージド伝送路におけるSRS波形劣化の計算例が示されている。これらの結果は数値シミュレーションとの比較により検証されている。

第7章は結論であり、本論文で得られた主要な成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、将来の大容量光ファイバ通信の実現をねらいとして、現状の利用波長域を拡大していった際に影響が大きくなると予想される誘導ラマン散乱（SRS）の伝送特性に対する影響の評価方法についての研究成果をまとめたものであり、非常に簡易な評価式を提案するとともに、数値シミュレーションとの比較によりその精度が非常に高いことも明らかにしている。得られた主要な研究成果は次の通りである。

- (1) 光ファイバ非線形効果として一般的な自己／相互位相変調効果を数値シミュレーションする際には問題にはならなかったが、SRSを評価するに際しては長い系列長の擬似ランダム符号を用いる必要のあることを明らかにした。
- (2) 従来、SRSの影響はその平均光パワーの減衰のみで評価されており、伝送特性との対応があまり直接的でなかったが、波形劣化の影響を評価するためには平均光パワーの減衰部分からの変位を評価すればよいことを明らかにした。
- (3) SRS波形劣化の統計的評価において、従来SRSによる光パワー減衰だけが評価されており、また最悪チャネルとして最短波長チャネルのみが評価されていたが、さらに光パワー増幅を独立に考慮に入れることで、全WDMチャネルの劣化量を正確に評価することが可能となることを提案し、その精度を明らかにした。光ファイバの種類により最短波長チャネルのみが最悪チャネルとならない場合もあり、光ファイバの種類によらず劣化量を正確に評価ができることも明らかにした。
- (4) 分散が異なる複数の種類のファイバを接続して伝送路を構成する分散マネージド伝送路や、SRSを積極的に利用して伝送路を増幅媒体として利用する分布ラマン増幅伝送路に対して適用可能なように、前出の評価法の拡張方法について検討し、それを提案している。また、その精度も十分であることを示している。分散マネージド伝送路や分布ラマン増幅伝送路は現在の光ファイバ通信システムの研究において不可欠な技術であり、これらへも適用が可能となる意義は大きい。

以上要するに本論文は、将来の大容量光ファイバ通信で問題となるSRSによる伝送特性劣化を高速かつ高精度に評価することが可能であり、任意のシステムに適用できる高い拡張性をもつ解析的評価法の提案を行うとともに、その有用性ならびに優れた特性を明らかにしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月23日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。