

# 論文内容要旨 (和文)

平成26年度入学 大学院博士後期課程

電子情報工学専攻

氏 名 KARIYAWASAM INDIPALAGE AMILA SAMPATH 印

## 論 文 題 目

Techniques for Reducing Peak-to-average Power Ratio in Carrier-suppressed  
Optical Single-sideband Modulation

(搬送波抑圧光SSB変調のピーク対平均電力比低減方法に関する研究)

近年、情報通信技術の発展と携帯情報機器の普及による通信量増加に伴い、光ファイバ通信ネットワークの通信容量拡大に対する要求が高まっている。ファイバ損失や光増幅器の波長特性に起因した伝送帯域制限のため、高い周波数利用効率を実現できる変調技術が求められている。光単側波帯(SSB)変調方式は、信号の占有帯域幅を半分にでき、周波数使用効率の向上だけでなく、光ファイバ分散耐性に優れる点や電氣的に分散補償が容易である点などの特徴があり、伝送特性上も有望な変調方式である。さらに、搬送波を抑圧した光SSB(搬送波抑圧光SSB)変調は、送信電力のほとんどが信号成分であり、伝送路内の電力効率の高い方式である。この変調方式では、側波帯抑圧のためにヒルベルト変換を利用するが、一般にベースバンド信号のヒルベルト変換波形は高いピーク強度を持つため、光SSB信号は高いピーク対平均電力比(PAPR: Peak-to-average power ratio)を有する。高いPAPRは、変調器における非線形性によって側波帯抑圧比の劣化をもたらし、伝送光ファイバ内で自己位相変調(SPM: Self-phase modulation)効果に起因した波形劣化をもたらす。搬送波抑圧光SSB信号のPAPRを低減する技術が求められている。

本研究では、搬送波抑圧光SSB変調信号のPAPRを低減するために、時間領域及び周波数領域の信号処理を用いる三つの新たな方法を提案した。すなわち、時間領域信号処理を用いる方法はピーククリッピング方式とピーク折り返し方式と呼ぶ二つの方式であり、周波数領域信号処理を用いる方法は高域通過ヒルベルト変換方式である。これらの方式について、実験及び理論により原理確認と性能評価を行った。

ピーククリッピング方式では、ヒルベルト変換波形振幅が所定の範囲を超える場合に、波形振幅を固定値(クリッピングレベル)にクリップする方法である。光SSB送信器構成の提案を行い、搬送波抑圧光SSB信号のクリッピングレベル及び変調度がPAPRおよび光ファイバ伝送性能に与える影響について理論的に調査した。その結果、従来手法ではPAPRは4.26であったのに対し、ピーククリッピング方式を採用することにより1.42と低減できた。ピーククリッピングにより光SSB信号スペクトルに高調波成分の増加が見られたが、スペクトル抑圧特性が20dBとなる条件でもPAPRは2.06であり、提案手法によりPAPRを約1/2に低減できた。100kmの光ファイバ伝送解析を行った結果、伝送前のアイパターンに比してアイ開口度が1dB劣化する平均光ファイバ入力強度をSPM閾値とすると、ピーククリッピング方式を採用することで、搬送波抑圧光SSB信号のSPM閾値を2.63dB改善できることがわかった。

ピーク折り返し方式は、光変調器の入力電圧対出力光電力の関係が周期的であることを利用し、ヒルベルト変換波形のピーク波形を折り返すことにより、搬送波抑圧光SSB変調信

号のPAPRを低減する方法である。この方法では、光変調器の周期的特性と光源強度で決まる出力光強度を超えることはない。理論モデルを構築しその性能を調査した結果、PAPRは1.52に低減できた。ピーククリッピング方式と同様に、光SSB変調スペクトルに高調波成分の増加が観測された。スペクトル抑圧特性が20dBとなる条件でのPAPRは2.08であり、提案手法によりPAPRを約1/2に低減できた。光ファイバ100km伝送時のSPM閾値は、提案手法を用いることにより2.40dB改善できることがわかった。

高域通過ヒルベルト変換方式は、ヒルベルト変換波形のピーク強度を抑えるために、スペクトル成分が多く含まれる周波数帯域の通過特性を制限するという着想で、理想的にはオールパス振幅特性であるヒルベルト変換伝達関数を高域通過振幅特性とする方法である。送信器構成の試作を行い、実験を行った。その結果、高域通過特性の遮断周波数の上昇とともにヒルベルト変換波形のピークが抑えられ、その振幅がベースバンド信号の振幅とほぼ一致するまでに抑制できることがわかった。ヒルベルト変換波形のピークレベルによって制限されていた変調度は、本手法の採用により1.73倍まで大きくできることがわかった。PAPRは1.65であり、ヒルベルト変換の振幅特性がオールパス特性であるときのPAPR値4.17に比べて大きく改善できた。遮断周波数の増加とともに変調帯域幅が増加するが、PAPRが最小になる遮断周波数においても両側波帯変調に比べて30%以上の帯域節約が可能であった。光ファイバ100km伝送解析を行い、本手法によってSPM閾値が9.86dB改善できることがわかった。

以上のように本論文では、搬送波抑圧光SSB変調信号のピーク対平均電力比の改善に関して、時間領域および周波数領域の信号処理手法を提案し、理論と実験の両面から原理確認を行ってその優れた性能を示すことができた。これら結果は、周波数利用効率と伝送路内電力効率に優れた搬送波抑圧光単側波帯変調技術の発展に貢献し、光ファイバ通信の大容量化に寄与すると考えられる。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成29年2月10日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 高野 勝美

副査 佐藤 学

副査 中島 健介

副査

副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	電子情報工学専攻 氏名 KARIYAWASAM INDIPALAGE AMILA SAMPATH		
論文題目	Techniques for Reducing Peak-to-average Power Ratio in Carrier-suppressed Optical Single-sideband Modulation (搬送波抑圧光SSB変調のピーク対平均電力比低減方法に関する研究)		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成29年1月24日～ 平成29年2月9日
論文公聴会	平成29年2月9日	場 所	工学部7号館7-302教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成29年2月9日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

光ファイバ通信では、伝送路の有限な周波数帯域幅と許容伝送電力を有効に利用するために、高い周波数利用効率と低伝送電力性能を有する変調技術が求められている。搬送波抑圧光単側波帯(以下、光SSB-SC)変調方式は、変調スペクトルを半分にでき送信光電力を信号成分で占有する方法で、有望な変調方式である。光SSB-SC変調方式は、側波帯抑圧のためにヒルベルト変換を利用する。ベースバンド信号のヒルベルト変換波形はピーク強度が高く、変調後の光波形は高いピーク対平均電力比(以下、PAPR)を有する。これにより、伝送光ファイバ内の自己位相変調効果に起因した波形劣化が引き起こされる課題があった。本論文は、光SSB-SC信号のPAPRを低減する信号処理方法として時間領域及び周波数領域の両面から三つの方法を提案し、原理確認と性能評価を行って有効性を明らかにしたもので、全5章からなる。

第1章は序論であり、本論文の意義と目的について述べている。第2章では、基礎的事項として光SSB-SC変調の原理と方法について述べ、さらに変調器の非線形性および伝送光ファイバ中の自己位相変調効果について述べている。第3章では、時間領域信号処理を用いたPAPR低減方法として、ヒルベルト変換波形のピーク部分をクリップする方法と、光SSB変調器の入力に対する周期性を利用したピーク部分を折り返す方法を提案している。理論的な検討を行った結果、従来手法のPAPR値4.26に対し、スペクトル抑圧特性が20dBとなる条件でクリッピング方式と折り返し方式でPAPRはそれぞれ2.06、2.08と約1/2に低減できた。第4章は、周波数領域においてヒルベルト変換の振幅特性を高域通過型とするPAPR低減方法を提案している。原理確認実験と理論的な検討により、PAPRは1.65であり、従来手法に比して大きく改善できた。変調帯域幅が広がるものの、両側波帯変調に比べて30%以上の狭帯域性を保持している。光ファイバ100km伝送解析を行い、本手法によって自己位相変調効果発生閾値が9.86dB改善できることを示した。これは重要な研究成果である。第5章は結論である。

本論文は、光SSB-SC変調のPAPRを低減するための信号処理手法を提案し、理論または原理確認実験を通じてその有効性を明らかにしており、情報通信工学の発展に大きく寄与する。本論文の研究成果は、論文申請者を筆頭著者として2報の学術論文と3報の国際会議論文に掲載されている。以上より、本論文が審査基準を満たしており、博士(工学)の学位を授与するのに十分であると認め、合格と判定した。

なお、本論文は研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

最終試験は、学位論文を中心とし関連する分野について口頭の質疑応答により行った。いずれの質問に対しても的確な応答がなされたことから、博士(工学)の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断した。以上より、審査員全員の審議の結果、最終試験を合格と判定した。