



Title	長距離・大容量ファイバ伝送に向けた光変復調方式の高度化に関する研究
Author(s)	中村, 政則
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82241
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (中村政則)

論文題名

長距離・大容量ファイバ伝送に向けた光変復調方式の高度化に関する研究

論文内容の要旨

本論文は、長距離・大容量ファイバ伝送に向けた光変復調方式の高度化に関する研究成果をまとめたものであり、以下の6章で構成した。

第1章は序論であり、本研究の背景として高度情報通信社会のデータ通信を支える基盤的光ネットワークにおける光伝送システムについて説明した。次に、光伝送技術の発展の歴史と近年の技術動向を踏まえ、将来の光伝送システムの方向性について示した。その上で、将来の光伝送システムにおける波長あたりの伝送容量の拡大と伝送距離の長延化の重要性を説明した。さらに、目標とするアプリケーションに応じた波長あたりの伝送容量と要求される伝送距離について述べるとともに、本研究の目的を示した。

第2章では、将来の光伝送システムに求められる、波長あたりの伝送容量と伝送距離を実現するための主要技術と関連研究動向について述べた。その上で、デジタルコヒーレント光送受信機における光変復調方式に着目し、波長あたりの伝送容量の拡大に向けた課題について説明した。さらに、雑音耐力の向上を可能とする光変復調方式の高度化についての関連研究を紹介し、本研究の位置づけを明らかにした。

第3章は、多次元変復調方式を用いた伝送距離の長延化に関する章であった。本章では、8次元空間における最密充填格子に基づく変復調方式の設計法について述べ、従来の変復調方式である8QAMとシンボルあたり同じビット数を持つ8次元変復調8D-16QAMを提案した。次に、変復調速度が96 GBaudの波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)環境における伝送実験を通じて、提案方式と従来方式についての雑音耐力と伝送特性の比較を行った。その結果に基づき、提案方式の適用により従来方式に比べて雑音耐力の向上および伝送距離の長延化が可能であることを示した。また、多次元変復調方式の演算量解析を実施し、復調時の演算量が課題であることを明らかにした。

第4章は、第3章で新たな課題として明らかとなった多次元変復調における復調時の演算量低減に関する章であった。多次元変復調方式には、変復調の次元数および送信するビット数の増加に伴い、復調時の探索シンボル数が指数関数的に増加するという課題があった。本章では、多次元空間における受信信号を、複数の低次元空間に射影することによって候補シンボル数を絞り込み、かつ、多次元空間でのビット単位対数尤度比(Log-Likelihood Ratio: LLR)を更新することによって低演算量で実現可能な復調方式を提案した。さらに、多次元空間でのLLR更新時に重みを変更することにより、簡易化の過程で発生する近似誤差を低減する手法についても提案した。次に、波長あたりの伝送速度が600 Gbpsとなる120 GBaud 8D-16QAM信号のWDM伝送実験を通じて提案復調方式の性能を評価した。その結果から、提案する復調方式により最適復調に対するQ値ペナルティが0.03 dBと非常に小さな劣化のみで8D-16QAM信号を復調可能であることを示した。

第5章は、Probabilistic shaping技術を用いた波長あたりの伝送容量のさらなる大容量化に関する章であった。デジタル信号処理技術による送受信機特性の高精度な補償技術や複数の低速信号を広帯域なアナログデバイスで合成し、高速信号を出力する帯域ダブラ技術、InP (Indium Phosphide)などの化合物半導体を用いた超広帯域な光フロントエンド技術を用いることにより生成した高速信号にProbabilistic shaping技術を適用することを提案し、波長あたりの伝送容量を1 Tbps以上とした伝送を実現した。まず、現実的な回路構成で実現可能なProbabilistic shaping技術の一つであるProbabilistic Amplitude shaping (PAS)方式の動作原理と評価方法について述べた。高速信号への適用性を評価するために、PAS方式により生成したProbabilistically shaped QAM (PS-QAM)を用いてWDM伝送実験を実施した。その結果から、高速信号にPS-QAMを適用することによって波長あたりの伝送容量が1 Tbps以上のWDM伝送が実現可能であることを明らかにした。

第6章では、以上の研究によって得られた成果を総括し、本論文の結論を述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (中 村 政 則)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 丸田 章博
	副 査	教授 三瓶 政一
	副 査	教授 滝根 哲哉
	副 査	教授 馬場口 登
	副 査	教授 宮地 充子
	副 査	教授 井上 恭
	副 査	教授 鷺尾 隆
	副 査	教授 駒谷 和範
	副 査	准教授 三科 健

論文審査の結果の要旨

高度情報通信社会のデータ通信を支える基盤的光ネットワークにおける将来の光伝送システムにおいて、波長あたりの伝送容量の拡大と伝送距離の長延化技術が重要である。本論文では、デジタルコヒーレント光送受信機における光変復調方式に着目し、波長あたりの伝送容量の拡大と伝送距離の長延化を達成するために必要な光変復調方式の高度化に関して得られた三つの研究成果をまとめている。

(1) 多次元変復調方式を用いた伝送距離の長延化に関して、8次元空間における最密充填格子に基づく変調方式の設計法を示し、従来の変調方式である8QAM方式とシンボルあたり同じビット数を持つ8次元変調8D-16QAM方式を提案している。また、変調速度が96GBaudの波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)環境における伝送実験を通じて、提案方式と従来方式についての雑音耐力と伝送特性の比較を行っている。その結果から、提案方式の適用により従来方式に比べて雑音耐力の向上および伝送距離の長延化が可能であることを示している。また、多次元変復調方式の演算量解析を実施し、復調時の演算量が課題であることを明らかにしている。

(2) (1) で提案する多次元変復調方式には、変調の次元数および送信するビット数の増加に伴い、復調時の探索シンボル数が指数関数的に増加するという課題がある。本論文では、多次元空間における受信信号を、複数の低次元空間に射影することによって候補シンボル数を絞り込み、かつ、多次元空間でのビット単位対数尤度比(Log-Likelihood Ratio: LLR)を更新することによって低演算量で実現可能な復調方式を提案している。さらに、多次元空間でのLLR更新時に重みを変更することにより、簡易化の過程で発生する近似誤差を低減する手法についても提案している。また、波長あたりの伝送速度が600Gbpsとなる120GBaud 8D-16QAM信号のWDM伝送実験を通じて提案する復調方式の性能を評価している。その結果から、最適な復調法に対する提案方式のQ値ペナルティは0.03 dBと非常に小さな劣化のみで復調可能であることを示している。

(3) 波長あたりの伝送容量のさらなる大容量化に関して、デジタル信号処理技術による送受信機特性の高精度な補償技術や複数の低速信号を広帯域なアナログデバイスで合成し、高速信号を出力する帯域ダブラ技術、リン化インジウムなどの化合物半導体を用いた超広帯域な光フロントエンド技術を用いることにより生成した高速信号にProbabilistic Shaping技術を適用することを提案し、波長あたりの伝送容量が1Tbps以上の伝送を実現している。まず、現実的な回路構成で実現可能なProbabilistic Shaping技術の一つであるProbabilistic Amplitude Shaping(PAS)方式の動作原理と評価方法を示し、高速信号への適用性を評価するために、PAS方式により生成したProbabilistically Shaped QAM(PS-QAM)方式を用いたWDM伝送実験を実施している。その結果から、高速信号にPS-QAM方式を適用することにより、波長あたりの伝送容量が1Tbps以上のWDM伝送が実現可能であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は長距離・大容量ファイバ伝送に向けた光変復調方式の高度化に関する研究成果をまとめたものであり、デジタルコヒーレント光送受信機における光変復調方式を新たに提案し、それらの方式について、数値シミュレーションを用いた性能評価および伝送実験による実証を行っている。これらの成果は伝送容量の拡大と伝送距離の長延化が要求される基盤的光ネットワークにおける将来の光伝送システムを構築する上で不可欠な成果であり、工学的な見地から非常に意義深い。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。