

Title	A Study on Wavelength-Division Multiplexing Transmission Based on Coherent Modulation and Demodulation
Author(s)	水落, 隆司
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45068
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	水 落 隆 司
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 18794 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学位論文名	A Study on Wavelength-Division Multiplexing Transmission Based on Coherent Modulation and Demodulation (コヒーレント光変復調による波長多重光伝送に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 小林 哲郎 (副査) 教授 岡村 康行 教授 占部 伸二 教授 北川 勝治

論文内容の要旨

近年の波長多重光伝送技術の進展により、数百 Gb/s 級の大容量データを大洋横断伝送することが可能になった。光ファイバや光増幅技術の目覚ましい高性能化が大きく寄与しているが、光変復調方式は依然として最も簡便な強度変調 (On-Off Keying : OOK) 直接検波方式が使われており、数十年来大きな進展が見られない。本論文は波長多重光伝送システムの伝送容量と距離をさらに拡大するための最適変復調方式の探求を目的とし、3つの変復調方式：強度変調 (OOK)、周波数変調 (Frequency-Shift Keying : FSK) および位相変調 (Phase-Shift Keying : PSK) を理論と実験の両面から比較した。

第一に、OOK として Carrier-Suppressed Return-to-Zero (CS-RZ) OOK を有望な方式として取り上げた。ファイバ実効断面積の長手方向の最適化方式と、相互位相変調による劣化を抑える対称衝突伝送方式の提案により、従来の約 1.5 倍である 85 波の 20 Gb/s 信号を 9180 km 伝送できることを実証した。また、一心双方向伝送においてラマン増幅励起波長を分割する新方式により 32 波の 40 Gb/s 信号が伝送できることを示した。

第二に、FSK として Continuous-Phase FSK (CP-FSK) を有望な方式として取り上げた。掃引型ファブリペロ干渉計を用いた新しい多波長一括制御方式を提案し、従来不可能であった 10 GHz 間隔の波長多重が可能になることを実証した。16 波の CP-FSK 信号の伝送実験により伝送特性劣化要因である 4 光波混合が理論と一致することを示し、劣化を最小にする波長数を見出した。

第三に、PSK として Differential PSK (DPSK) を有望な方式として取り上げた。100 波の 10 Gb/s DPSK と OOK との長距離伝送特性をはじめて実験比較することで、DPSK の優位性と、伝送特性劣化要因が自己位相変調と光増幅雑音の相互作用であることを初めて理論および実験的に明らかにした。得られた技術をもとに、40 波の 40 Gb/s 信号を 8400 km 伝送した。

第四に、さらなる伝送特性の向上を目指し、ブロック・ターボ符号を用いた新しい誤り訂正技術を提案した。従来を上回りシャノン限界に 0.8 dB に迫る誤り訂正能力を実証した。この技術と DPSK を組み合わせることで、ショット雑音限界である 10 フォトン/bit を超える 7 フォトン/bit の受信が可能になることをはじめて実証した。

第五に、これまで近似式でしか表されていなかった 3 つの変復調方式の符号誤り率を与える式を導出した。DPSK

がOOKよりも3 dB優れることを理論的に示した。

以上の結果を総合し、考える方式の中でDPSKとブロック・ターボ符号の組み合わせが最適であると結論付けた。将来の光伝送システムの大容量化と長距離化に貢献するものと期待される。

論文審査の結果の要旨

近年の波長多重光伝送技術の進展により、数百 Gb/s 級の大容量データを大洋横断伝送することが可能になった。光ファイバや光増幅技術の目覚ましい高性能化が大きく寄与しているが、光変復調方式は依然として最も簡便な強度変調 (On-Off Keying : OOK) 直接検波方式が使われており、数十年来大きな進展が見られない。本論文は波長多重光伝送システムの伝送容量と距離をさらに拡大するための最適変復調方式の探求を目的とし、3つの変復調方式：強度変調 (OOK)、周波数変調 (Frequency-Shift Keying : FSK) および位相変調 (Phase-Shift Keying : PSK) を理論と実験の両面から比較検討した結果を7章にまとめたものである。

まず第1章で研究の背景と目的を述べた後、第2章ではOOKとしてCarrier-Suppressed Return-to-Zero (CS-RZ) OOKを有望な方式として取り上げている。ファイバ実効断面積の長手方向の最適化方式と、相互位相変調による劣化を抑える対称衝突伝送方式の提案により、従来約1.5倍である85波の20 Gb/s信号を9180 km伝送できることを実証し、また一心双方向伝送においてラマン増幅励起波長を分割する新方式により32波の40 Gb/s信号が伝送できることを示している。次いで、第3章では、FSKとしてContinuous-Phase FSK (CP-FSK)を有望な方式として取り上げている。まず、掃引型ファブリペロ干渉計を用いた新しい多波長一括制御方式を提案し、従来不可能であった10 GHz間隔の波長多重が可能になることを実証している。そして16波のCP-FSK信号の伝送実験により伝送特性劣化要因である4光波混合が理論と一致することを示し、劣化を最小にする波長数を見出している。第4章では、PSKとしてDifferential PSK (DPSK)を有望な方式として取り上げている。100波の10 Gb/s DPSKとOOKとの長距離伝送特性をはじめ実験比較することで、DPSKの優位性と、伝送特性劣化要因が自己位相変調と光増幅雑音の相互作用であることを初めて理論および実験的に明らかにし、得られた技術をもとに、40波の40 Gb/s信号を8400 km伝送することに成功している。

第5章では、さらなる伝送特性の向上を目指し、ブロック・ターボ符号を用いた新しい誤り訂正技術を提案し、これをもとに従来を上回りシャノン限界に0.8 dBに迫る誤り訂正能力を実証している。この技術とDPSKを組み合わせることで、ショット雑音限界である10フォトン/bitを超える7フォトン/bitの受信が可能になることをはじめて実証している。このほか、第6章でこれまで近似式でしか表されていなかった3つの変復調方式の符号誤り率を与える式を導出し、DPSKがOOKよりも3 dB優れることを理論的に示している。第7章はまとめて全体を総合して、考える方式の中でDPSKとブロック・ターボ符号の組み合わせが最適であると結論付けている。

WDM方式光通信の進展と伝送情報量の拡大技術の進展は著しく、今のところ単純なOOKでも特に問題が生じていないが、マイクロ波領域をみても分かるように、近い将来、限られた帯域で如何に高品位で多くの情報を伝送するかが切実な問題となることは確実であり、変調方式の比較検討は重要な意味を持つてくる。ここでの研究成果は、この将来の光伝送システムの大容量化と長距離化に貢献するところが非常に大きく、博士(工学)の学位論文として十分に価値あるものと認める。