



Title	広域光アクセスシステムにおけるデジタルコヒーレント伝送技術に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	金井, 拓也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15548号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89817
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuya_Kanai_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 金井 拓也

審査担当者 主 査 客員教授 吉田 智暁
副 査 教授 大鐘 武雄
副 査 教授 齊藤 晋聖
副 査 教授 土橋 宜典

学位論文題名

広域光アクセスシステムにおけるデジタルコヒーレント伝送技術に関する研究
(A study on optical digital coherent technology for future optical access network systems)

本研究では、多種多様な通信サービスを同一基盤上で高効率に提供可能な新たなネットワークとして、メトロ・アクセス統合型ネットワークシステムを新たに提案している。提案システムを実現するための要素技術として、ロスバジェットの抜本的な改善や柔軟性の向上を可能とするデジタルコヒーレント伝送技術の光アクセスネットワークへの応用について検討し、加入者装置に搭載する経済的な光コヒーレント送信器について提案と実証を行い、その有効性を示し、提案したメトロ・アクセス統合型ネットワークシステムも構築している。また、さらに将来を見据えた広域光アクセスシステムについて検討し、新たに必要とされるネットワークシステムの管理制御技術について述べている。

第1章では、本研究の背景として、我が国におけるブロードバンド通信サービスの状況と併せて、光ブロードバンドサービスの普及を大きく加速させた PON システムの概要や標準化動向について述べている。さらには、将来の光アクセスネットワークの進展および目指すべき方向性について述べ、本研究の目的であるメトロ・アクセス統合型ネットワークシステムの研究動向について説明している。

第2章では、本研究の目標であるメトロ・アクセス統合型ネットワークシステムを実現するために最も重要な要素技術である光デジタルコヒーレント伝送技術を光アクセスシステムへの応用する際の課題について述べている。デジタルコヒーレント伝送技術を適用した経済的な PON として、上り方向通信にデジタルコヒーレント伝送技術、下り方向通信にシンプルな IM-DD 方式を採用した TDM-PON について検討し、その中で重要となる加入者装置に搭載する光送信器の経済化について述べている。次に、将来の光アクセスネットワークで展開される多種多様な通信サービスを同一基盤上で収容することを可能とするメトロ・アクセス統合型ネットワークシステムにおける要求性能や高い柔軟性を実現するための検討課題について説明している。また、マルチサービス収容で必要となる通信サービスの多様なプロトコルや変調方式に対して適用可能な加入者装置の遠隔管理制御技術について述べている。

第3章では、新たに開発した上りバースト信号に対応した DSP を用いてデジタルコヒーレント伝送技術を適用した PON システムを実機で構築し、システムレベルでのリアルタイムでの 10 Gbit/s 双方向 40 km 伝送実験を行い、従来システムの 64 倍に相当する収容数を実現可能な 50 dB 以上のパワーバジェットを実験により示している。

第4章では、加入者装置への搭載できるレベルの経済的な光送信器の実現を目指し、直接変調レーザ (DML) を用いたシンプルなバーストモード光送信器を提案し、Continuous Phase Frequency Shift Keying (CPFSK) という変調方式を用いたバースト対応光送信器を提案および実証している。また、その際に課題となるキャリア周波数オフセット (CFO) についても、受信側のデジタル信号処理にて、シンプルなアルゴリズムにより CFO 補償を実現する手法を新たに提案し、実機により実証している。これにより、加入者装置の光送受信器において、従来の PON システムと同等レベルの経済性を担保しつつ、デジタルコヒーレント伝送技術を応用することで、広域光アクセスシステムに必要とされる 50 dB 以上のロスバジェットが実現可能となることを示している。

第5章では、様々なネットワークサービスを収容する広域光アクセスネットワークとしてエラスティック光アグリゲーションネットワーク (E λ AN) を提案し、実機による検証結果について述べている。具体的には、E λ AN における災害時のファイバ断を想定した故障発生時の冗長システムへの切替動作の検証を行い、最適な経路や冗長システムを自動で選定する切替動作を世界で初めて実証している。切替動作により、伝送距離が 20 km から 40 km に延伸するため、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) や 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) といった変調方式を柔軟に変更することで、通信品質を落とさず 10 秒以内に復旧することが可能であることを示している。

第6章では、光-電気-光変換処理を極小化したさらに将来の新たなネットワークにおいて、電気処理を介すことなくユーザ装置の監視・制御を可能とする遠隔監視制御方式およびシステム構成について提案し、end-to-end で光直結されたユーザ装置間で、主信号に影響を与えることなく経路中で制御信号の監視・挿入が可能であることを実機により実証している。

以上を要するに、本研究では伝送速度や伝送遅延などの要求条件、伝送方式が異なる多種多様ネットワークサービスを単一のネットワークシステムで収容可能な新たなネットワークシステムとして、デジタルコヒーレント技術を応用した広域光アクセスシステムについて提案し、実機実証を通じてその有効性を示している。デジタルコヒーレント技術を用いることで、光アクセスシステムの抜本的な長延化・多分岐化だけでなく、高い柔軟性も同時に実現することを可能としている。よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。