



Title	IM-DD伝送方式のAPN適用に向けた伝送距離拡大の研究
Author(s)	田中, 康就
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16995号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16995
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99839
Type	doctoral thesis
File Information	Tanaka_Yasunari_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 田中 康就

学 位 論 文 題 名

IM-DD 伝送方式の APN 適用に向けた伝送距離拡大の研究 (Study on Transmission Distance Extension for Applying IM-DD to APN)

データセンタやサービス形態の多様化に伴い、大容量・低遅延・低消費電力・プロトコルフリーなネットワークが求められている。これらの要求に応えるため、近年、All-Photonics Network(APN)と呼ばれる通信基盤が提唱された。APN では、インターネットプロトコル (IP) ベースのネットワークなど、従来のプロトコル依存型ネットワークで行われていた集約やルーティングなどの電気的処理を最小限に抑えることで、消費電力と遅延の削減を図り、直接的な光接続を実現する。これにより、従来は電気スイッチ (SW) の帯域幅によって制限されていた伝送容量を飛躍的に向上させることが可能となる。

従来のネットワークサービスと比較すると APN サービスの利用料金は高く、現状ではユーザが限定される課題がある。そのため、今後の本格的な普及に向けては経済的な APN の実現が求められる。従来の PON サービスなどで使用されている数十 km 以内の伝送距離に対応した強度変調直接検波 (Intensity modulation-direct detection: IMDD) 方式は、デジタルコヒーレント方式に比べて低コストで低消費電力であるため、伝送速度や伝送距離の要求が比較的緩いユーザに対しては IMDD 方式を適用することで経済的な APN を実現できる可能性がある。しかしながら、IM-DD 伝送方式を APN に適用にあたり、大きく 2 つの課題がある。

第一に、伝送距離に関する課題である。IM-DD 伝送方式はデジタルコヒーレント伝送方式よりも伝送距離が制限される。光信号が光ファイバ中を伝搬するにあたり、波長分散 (Chromatic Dispersion) が生じる。IM-DD 伝送方式ではこの波長分散による波形劣化を完全に補償することが困難であるため、デジタルコヒーレント伝送方式よりも伝送距離が制限される。

第二に、制御信号のプロトコルフリー化に関する課題である。APN は IP ネットワーク、光伝送ネットワーク、Ethernet などのプロトコルに依存しない多様なネットワークサービスを提供可能とするため、プロトコルに依存しない制御信号を伝送する必要がある。従来の方式は In-band 方式と呼ばれ、主信号フレームの中に制御信号をいれる方式が使用されており、ルーターなどで光電変換する際にフレーム処理を行うことで制御信号を取り出していた。一方で、APN では途中の光電変換を行わないため、フレーム内の制御信号を取り出すことができないという問題がある。このため、制御信号をプロトコルフリーで伝送し、さらにその制御信号を途中で抽出する方法を検討することが課題となる。

本研究では経済的な IM-DD 伝送方式を APN に適用するにあたり、伝送距離拡大に関する課題と制御信号のプロトコルフリー化に関する課題の 2 つについて検討する。

第 1 章では、光通信の変遷から始まり、多種多様なサービスの拡大に伴い、新たな通信基盤となる APN の概要、およびその経済化に向けた方針について述べる。また、伝送方式に着目するにあたり、経済的な IM-DD 伝送方式を APN に適用するにあたり、伝送距離拡大に関する課題と制御信号のプロトコルフリー化に関する課題について説明する。

第2章では、IM-DD 伝送方式の概要を説明する。IM-DD 伝送方式の原理及びシステムへの適用例について述べる。また、IM-DD 伝送方式で伝送距離が制限される要因となる波長分散についても述べ、従来技術についても整理する。

第3章では、IM-DD 伝送方式で伝送距離が制限される課題を解決するため、波長分散を低減するための零分散波長推定技術の提案を行う。光ファイバには波長分散が零になる零分散波長が1点だけ存在するが、その値を推定する必要があることを説明する。次に、光ファイバの零分散波長を推定し、発振波長を零分散波長に合わせることで波長分散を低減する提案手法を理論的に示し、実機でも確認する。

第4章では、3章で述べた零分散波長推定技術を零分散波長推定技術の光アクセスシステムへ適用することを提案する。零分散波長推定技術を実運用上で利用するにあたっての課題を整理し、それぞれの課題への解決策を示す。

第5章では、APN における制御信号のプロトコルフリー化、光直結における制御信号の抽出方法及び長距離伝送を同時に解決するための制御信号の重畳方法及びネットワーク構成の提案を行う。プロトコルフリーな制御信号を実現する方法として、従来の主信号フレームに制御信号を重畳する In-band 方式とは異なり、主信号とは別の信号として重畳する Out-band 方式である AMCC 信号の利用を提案する。また、APN における長距離伝送を実現するためにはパケットの拡大が必要であるため、送信器には半導体光増幅器が集積されたデバイスの利用が候補となるが、このデバイスに対して上記の AMCC 信号を重畳する際に電気重畳方式と光重畳方式の2つの方式が考えられる。この2つの方式において、どちらが信号品質の観点で優れているかを実機で確認し、APN に適用する送信側の手法を提案する。さらに、重畳した AMCC 信号を APN コントローラで受信し、主信号をユーザまで伝送するネットワーク構成を提案する。さらに、そのネットワーク構成で主信号と制御信号の伝送距離を最大限にする手法についても実機で確認する。

最後に第6章で結論を述べる。

以上のように、本研究では IMDD 伝送方式における信号の伝送距離に関する課題と制御信号のプロトコルフリー化の課題を解決し、経済的な IM-DD 伝送方式の APN への適用を提案する。