



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	多分岐/長延化光アクセスシステムに関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	藤原, 正満
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11307号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55762
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masamichi_Fujiwara_abstract.pdf, 論文内容の要旨



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 藤原 正満

学 位 論 文 題 名

多分岐/長延化光アクセスシステムに関する研究

(A study on high-splitting-ratio and long-reach optical access systems)

1990 年代後半から、インターネットの爆発的普及による通信トラヒックの増大が顕著となり、アクセスシステムの高速化が喫緊の課題となっていた。この要求に応えるため、2000 年以降、FTTH による高速の光アクセスサービスの商用化が本格的に開始され、国内では 2000 万を超えるユーザが FTTH に加入するに至っている。FTTH を支える代表的なシステムが PON(Passive OpticalNetwork) である。PON は、複数の加入者装置 (ONU) を、局舎外に配置したスプリッタを介して単一の局内装置 (OLT) で収容するシステムであり、時間多重 (TDM) 技術を用いて、局舎-スプリッタ間の光ファイバおよび OLT を複数の加入者でシェアすることにより経済化を実現している。現在では、IEEE で標準化された GE-PON や、ITU-T で標準化された G-PON により、Gb/s 級の光アクセスサービスを経済的に提供することが可能である。また、今後の更なるトラヒックの増大要求に応えるため、10Gb/s 級の TDM-PON である 10G-EPON、および XG-PON が、それぞれ、IEEE、および ITU-T で標準化されている。さらには波長による帯域/サービスの拡張性を狙いとした波長時間多重 (WDM/TDM)-PON の標準化が ITU-T で議論されている。PON は複数の国で広く普及しているが、多分岐/長延化の実現によるサービスエリアの拡大が強く求められている。その要求に応えるため、複数の研究機関が PON への光増幅器の適用を研究している。そこでの大きな課題は二つある。一つ目の課題は、広入力レンジ化の実現である。PON の上り信号は、ONU-スプリッタ間の伝送距離の相違により、時間的に強度の異なるパースト信号となることから、光増幅器は広い入力レンジを有する必要がある。特に、近距離 ONU からの強信号が光増幅器に入力されると、光増幅器の利得飽和効果によりパーストフレームや信号波形が劣化すると同時に、増幅後の光強度が強くなり受信器に過負荷が掛かる恐れが生じる。二つ目の課題は、電源供給である。過去の報告は、局舎外に中継器として光増幅器を配置し、伝送距離の大幅な拡大を図ることに注力されていた。しかしながら、光増幅器はアクティブデバイスであるため電源供給が必要であり、その設置位置には制限がある。

本研究は、上記二つの課題を解決することを目的とした。一つ目の課題については、10G-EPON、および WDM/TDM-PON を対象とした上り伝送用の光増幅器を各々提案した。両提案構成は、中継光増幅器の高利得化/高出力化により伝送距離の拡大を図るため、光増幅器をカスケード接続する点において共通するが、広入力レンジ化を実現する機構が異なる。10G-EPON システムでは、カスケード接続した光増幅器の間にフィードフォワード (FF) 型レベル制御機構を備えた高速可変減衰器を配置する。光増幅器をカスケード接続すると、強信号が入力された場合、二段目の光増幅器の飽和増幅領域に光信号が入力されて、パーストフレームや信号波形が劣化する。これを回避するため、高速可変減衰器により、入力光強度に依らず初段の光増幅器の出力を二段目の光増幅器の飽和増幅領域以下の一定値に制御する。これにより、二段目の光増幅器における利得飽和を防ぎ、広入力レンジ化を実現することができる。また、高速可変減衰器の出力は、入力光強度に依らず一定

値に制御されているため、二段目の光増幅器の出力も一定値に保たれる。したがって、強信号が入力されても最終的な出力は弱信号と同じとなり、受信器の過負荷を防ぐ効果を同時に実現する。増幅媒体としてプラセオジム添加光ファイバ増幅器 (PDFA)、および半導体光増幅器 (SOA) を用いた本構成による光増幅中継器を製作し、一定出力を得ることのできる入力レンジを評価した。結果、PDFA 版、および SOA 版について、それぞれ、入力レンジ 22.5dB、18.0dB を達成した。一方、WDM/TDM-PON では複数波長を増幅するため、波長ごとに光増幅器を配置する必要がある。したがって、10G-EPON 以上に装置の経済化が求められることから、増幅媒体として光ファイバ増幅器よりも経済化が見込める SOA を用いる。さらに、高速可変減衰器を用いず、SOA の高速応答性を利用して FF 制御によりその利得を変化させる方式を採用し、装置のさらなる経済化を図る。二段目の SOA に入力される光信号強度を抑えつつ、光増幅器出力を精度よく一定値に保つため、二段目の SOA だけでなく初段の SOA の利得も制御する。具体的には、初段の SOA の利得を入力光強度に応じて二段階に切り替える、すなわち、弱信号が入力されると高利得に設定し、強信号が入力されると小利得に設定する。これにより、強信号が入力された場合であっても、二段目の SOA に入力される光強度を飽和利得領域以下に低減して信号波形劣化を防ぐことができる。同時に、二段目の SOA に入力される光強度レンジが狭められることにより駆動電流の振幅が制限され、出力光強度が精度よく一定値に保たれる。本構成による中継光増幅器を製作し、一定出力を得ることのできる入力レンジとして 19.0dB を達成した。

二つ目の課題については、電源供給の容易な局舎に光増幅中継器を配置し、ONU を効率的に収容するシステム構成を提案した。光増幅器による許容損失の拡大効果は、光増幅器を伝送路の中ほどに設置することで増す。このため提案システムでは、局舎外と局舎内に配置したスプリッタで分岐を按分する多段スプリッタ型の PON システム構成を想定し、OLT 直下ではなく、局内スプリッタ直下に光増幅器を設置する。具体的な提案システムは、単一 OLT により局内スプリッタの一分岐に光増幅器を配置して遠距離 ONU を収容するが、他の分岐には光増幅器を配置せず近距離 ONU を収容する遠近混在システム、および局内スプリッタの全分岐に光増幅器を配置することで多分岐スプリッタの損失を補償し、単一 OLT により多数の近距離 ONU を収容する多分岐システムである。提案システムの上り伝送に光増幅器を適用するためには、強信号増幅時の受信器の過負荷、および光増幅器が放出した自然放出光 (ASE) 雑音が局内スプリッタにおいて重畳されることによる信号性能劣化を同時に回避する必要がある。10G-EPON を対象として製作した SOA 版の光増幅中継器のレベル制御機能を利用してこれらを回避する。受信器の過負荷は先述の光強度一定制御機能により回避できる。また、ASE 雑音の重畳は、FF 制御機構に、閾値以下の信号入力に対して高速可変減衰器の減衰量を最大にする機能を持たせ、接続される全 ONU が上り信号を送出しない時間において SOA の ASE 雑音を遮断することで影響を低減する。10G-EPON を想定した光伝送実験により、遠近混在システムでは、近距離ユーザに影響を与えることなく、遠距離 ONU が接続された分岐の伝送路許容損失を 10.9dB 改善可能であることを示した。また、多分岐システムについては、256 分岐が実現可能であることを示した。