HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | デジタル信号処理技術を用いた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) | 胡間, 遼 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第13301号 |
| Issue Date | 2018-09-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/71900 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Ryo_Koma_review.pdf, 審査の要旨 |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　胡間 遼

審査担当者　主　査　客員教授　可児　淳一
副　査　教　授　大鐘 武雄
副　査　教　授　齊藤 晋聖
副　査　特任教授　山本 強

学位論文題名

デジタル信号処理技術を用いた光アクセスシステムに関する研究
（Study on optical access systems using digital signal processing techniques ）

近年、高精細映像の配信サービスや、クラウドサービス、IoT など様々な要求条件を持つ通信サービス、第五世代移動通信システムや高速無線 LAN 通信規格の実用化に伴い、それらを支える足回りであるアクセスネットワークの多種化・多様化や、トラフィック増等に対応するため要求条件が高まることは想像に難くない。

これらの状況に対し、経済的に高速な通信をユーザに提供できる PON(Passive Optical Network) システムへの期待は大きい。現在広く用いられている TDM-PON(Time division multiplexing passive optical network) では、通信局舎に配置された局側装置 (OLT:optical line terminal) と、各加入者宅に配置された加入者装置 (ONU:optical network unit) とが、光ファイバ、および光スプリッタに代表される光受動素子を用いて接続される。各 ONU は OLT に割り当てられた異なる時間スロットを用いて OLT と通信を行う。OLT の一部 (光/電気変換部等) と、OLT-光スプリッタ間の光ファイバを複数の ONU で共有できるため、非常に高い経済性を実現している。全国に広く敷設された光加入者系のアクセス網を活用し、要求条件の異なる多種多様な通信サービスを単一の PON システムで収容することができれば、ネットワークの運用コスト、および設備に対する初期コストの最小化が期待される。PON システムを用いて多種多様な要求条件を有するサービスを収容するためには、帯域割当の柔軟性の向上、波長あたりの高速化、長延・多分岐化といった PON システムの抜本的な性能向上が必要となる。

本研究では PON システムの抜本的性能向上を狙い、デジタル信号処理技術を用いた PON システムとその実現構成を新たに提案している。また、特に技術的難易度の高い上りバースト信号受信方式について、理論解析および実証実験により実現可能性を示している。

第 1 章では、本研究の背景として、ブロードバンドサービスの普及状況と、PON システムの概要、メタルサービスから PON システムを基盤とした光アクセスシステムへの変遷について述べる。また、PON システムの標準化動向と、将来光アクセスへ期待される性能について述べ、本研究の目的として、PON システムの抜本的性能向上を設定している。

第 2 章では、バースト信号に対応した受信構成を提案する。バースト信号受信においてバースト信号の光強度差の吸収と、DSP の高速応答性を確保することが課題となる。提案構成では、光強度差を吸収と高感度受信のため、自動レベル制御機能付き光ファイバ前置増幅器を OLT に配置している。また、一般的な DSP では、波長分散や、光・電気素子の周波数帯域等によって生じる波形劣化を適応等化フィルタにて補償するが、フィルタ係数の最適化に膨大な反復計算を要する。そこで、補償する波形劣化量が、各 ONU の送信するバースト信号毎に固有であり、かつ時間的な変動が少ない点に着目し、事前計算したフィルタ係数を用いる方式を提案した。事前計算は、ONU の初期認証フェーズである PON ディスカバリでのバースト信号受信時において行われる。以降の通

信では計算したフィルタ係数を適応等化フィルタの初期値として利用する。理論解析とオフライン処理を用いた実験により、提案構成で 20Gbps の QPSK 信号を 40km の長距離伝送と-44.7dBm の高感度バースト受信ができることを示している。

第 3 章では、バースト信号対応 DSP の FPGA 実装に関する検討と、実装したバースト信号対応 DSP の実時間検証結果を報告している。実装したバースト信号対応 DSP では、基本機能として、バースト信号の検出機能を具備しており、適応等化フィルタのフィルタ係数をバースト信号ごとに最適化する。受信ダイナミックレンジ確保のため、光ファイバ増幅器と比較し経済性が期待される自動利得制御型半導体光増幅器を用いる構成を提案している。加えて、実時間検証により、20Gbps の QPSK 変調されたバースト信号をリアルタイム受信でき、かつ、一般的な PON システムで要求される入力信号レンジ 22dB を確保できることを示している。

第 4 章では、経済化に資する要素技術の検討として、前述の自動利得制御型半導体光増幅器の簡易化を実施している。3 章にて検討した構成では、十分な入力信号レンジを確保するため、2 台の自動利得制御型半導体光増幅器を縦続接続していた。これに対し、新規提案した構成では、単一の自動利得制御型半導体光増幅器の出力光信号レベルをもとに、光受信器に搭載された可変利得増幅回路の利得を制御している。これによって簡易な構成でありながら 30dB の広入力信号レンジが得られることを新規製作した自動利得制御型半導体光増幅器を用いて示している。加えて、OLT の波長オフセットの補償範囲を拡大し、ONU に要求される波長制御精度を下げる技術として、バースト信号に対応した新規波長オフセット補償アルゴリズムを提案し、簡易な信号処理構成で 20Gbps の QPSK バースト信号受信時において従来方式と同等である +/-5GHz の波長オフセット量を補償できることを示している。

第 5 章では、帯域割当の柔軟性の向上を実現するため、OFDM(Orthogonal frequency division multiplexing) 方式を活用した PON システム構成、および上り通信方式を新たに提案している。提案システムでは、デジタル信号処理により、変調の多値度とサブキャリア数とを柔軟に変更できる。これにより、従来の時間軸方向に加え、多値度、周波数軸方向での柔軟な帯域割当が可能となった。次に、上り通信において、多値・OFDM 変調信号特有の高いピーク値対平均電力比 (PAPR:Peak to average power ratio) と PON システムにおける ONU-OLT 間の距離の遠近に起因して、入力信号レンジが狭窄化する課題に対し、ONU に具備されたデジタル信号処理回路を用いた送信信号のピーク値のクリッピング処理と、OLT に具備された自動レベル制御機能付き光増幅器による受信信号レベルの等化を組み合わせることで、入力信号レンジを大幅に拡大する構成を提案した。提案構成を用いることで 16QAM 10Gbps のバースト信号受信において、13.5dB の受信ダイナミックレンジが確保できること理論解析およびオフライン処理を用いた実験により示している。

以上要するに、本論文では、将来光アクセスネットワークにおいて、多種多様な要求条件を有するインターネットサービスの収容を狙い、伝送速度や伝送距離の大幅な改善、帯域割り当ての柔軟性の向上といった PON システムの抜本的な性能向上を目的とし、デジタル信号処理技術を用いた PON システムを提案し、実現可能性を理論解析および実証実験により示したものである。提案方式により、高速で経済的な光アクセスネットワークを実現できることが示された。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。