

平成28年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 : 160イ01

課 題 名 : エラスティック光アグリゲーションネットワークの研究開発

個 別 課 題 名 : エラスティック光メディアアクセス技術

副 題 : 多様なサービス、多様なネットワーク構成を実現する
伸縮自在光メディアアクセス技術

(1) 研究開発の目的

本研究では、エラスティックな光パス及び複数のサービスへの対応が可能な新たな光アクセス・メトロ統合ネットワークの光メディアアクセス制御を実現する上でキーテクノロジーとなる、距離・リンク数スケールフリーアグリゲーション技術、マルチサービス・QoS アグリゲーション技術、高可用性ライフラインサービス技術の研究開発を推進し、エラスティック光アグリゲーションネットワークを世界に先駆けて実用化することを目的とする。

(2) 研究開発期間

平成24年度から平成28年度(5年間)

(3) 実施機関

日本電信電話株式会社<代表研究者>
沖電気工業株式会社
株式会社日立製作所
学校法人慶應義塾(実施責任者 教授 山中 直明)

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 529百万円(平成28年度 93百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

課題イ-1 距離・リンク数スケールフリーアグリゲーション技術の開発

課題イ-1-1 OLT 内動的帯域割り当て機能の高度化

(日本電信電話株式会社)

課題イ-1-2 エラスティック光信号パラメータ制御方式の検討

(沖電気工業株式会社)

課題イ-1-3 エラスティック光メディアアクセス統合リソース制御技術の開発

(株式会社日立製作所)

課題イ-1-4 OLT 間動的帯域割り当て機能の検討

(慶應義塾大学)

課題イ-2 マルチサービス・QoS アグリゲーション技術の開発

課題イ-2-1 マルチサービス制御方式の検討、および実装

(株式会社日立製作所)

課題イ-2-2 マルチサービス収容アーキテクチャの検討

(慶應義塾大学)

課題イ-3 高可用性ライフラインサービス技術の開発

課題イ-3-1 高可用アグリゲーション網の構築

(慶應義塾大学)

課題イ-4 エラスティック光アグリゲーションネットワークの実証実験

課題イ-4-1 OLT 内動的帯域割り当て機能の実証実験

(日本電信電話株式会社)

課題イ-4-2 エラスティック光信号パラメータ制御方式の実証実験

(沖電気工業株式会社)

課題イ-4-3 OLT 間動的帯域割り当て機能の実証実験

(慶應義塾大学)

課題イ-4-4 マルチサービス制御方式の実証実験

(株式会社日立製作所)

課題イ-4-5 高可用アグリゲーション網の実証実験

(慶應義塾大学)

(6) これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

		累計(件)	当該年度(件)
特許出願	国内出願	27	3
	外国出願	3	0
外部発表	研究論文	8	2
	その他研究発表	90	20
	プレスリリース・報道	8	0
	展示会	33	11
	標準化提案	3	0

(7) 具体的な実施内容と成果

課題イ-1 距離・リンク数スケールフリーアグリゲーション技術の開発

目標：複数ユーザが使用するポイントツーマルチポイント光リンクや、専用線、モバイルバックホール等のポイントツーポイント光リンクの通信帯域を動的に制御する超多リンク動的帯域割り当て技術を確立する。また、エラスティックに光電気多重化レベルを変更することで、OLT/ONUの省電力化、多様なサービスへの対応、伝送距離の可変化を実現する。

課題イ-1-1 OLT 内動的帯域割り当て機能の高度化(日本電信電話株式会社)

実施内容：考案した動的帯域割り当てアルゴリズムの実装仕様に従い、最大伝送帯域を自由に変更可能なPONシステムのシミュレーション環境を構築し、考案したアルゴリズムの動作を確認した。

成果：実装可能パラメータを用いたシミュレーション評価により、提案アルゴリズムを用いることで、固定割当に比べて、システム全体のスループットを向上、または維持しつつ、異なる変調度とシンボルレートに設定された複数ユーザ間のフレームロス率を向上できることを確認した。

課題イ-1-2 エラスティック光信号パラメータ制御方式の検討(沖電気工業株式会社)

実施内容：OFDM伝送に用いる最適な光信号パラメータを決定するアルゴリズムを検討した。モデルネットワークに本アルゴリズムを適用した際の改善効果を試算した。

成果：各ONUに対し送受信可能なパラメータから最良なものを決定し、次にOFDMA可能なONUの組み合わせを探索することを特徴とするアルゴリズムを提案した。従来方式と比べ、帯域利用効率が平均22.6%、距離の柔軟性が平均10km改善することを確認

した。

課題イ-1-3 エラスティック光メディアアクセス統合リソース制御技術の開発 (株式会社日立製作所)

実施内容：ONU 初期接続時や障害復旧時に ONU の光伝送パラメータを自動的に設定する技術、及び、通信中に光伝送パラメータを通信断なく切り替える技術を開発した。開発技術を OLT/ONU 試作機に実装し、初期接続時の登録動作、同一の多値数・シンボルレートからなるグループ毎のサブキャリア数の切替動作を検証する実験を実施した。

成果：下り OFDM 方式、上り WDM/TDM 方式のシステムにおいて、ONU が利用する波長、サブキャリア総数、多値数・シンボルレートを自動設定する初期登録動作を、最大伝送距離 40km の環境で実証した。また、ONU512 台収容の系でフレームロス無でのグループ毎サブキャリア数切替動作を実証した。

課題イ-1-4 OLT 間動的帯域割り当て機能の検討 (慶應義塾大学)

実施内容：光アグリゲーションネットワークに対して適用可能な OLT 間動的帯域割り当て機能を実現するために、論理 OLT256 台、論理 ONU65,536 台を収容し、複数 OLT が協調動作する光分配網構成を検討した。また、論理 OLT のマイグレーション機能を用いた省電力 OLT 間動的帯域割り当て方式を検討し、上記のネットワーク規模に適用可能なアルゴリズムを確立した。

成果：少数の素子でブロッキング率 10^{-3} 未満を達成し、論理 OLT256 台、論理 ONU65,536 台に対応可能な、空間スイッチ型網構成を策定した。さらに、物理 OLT を必要な数だけ稼働させ省電力化を達成する OLT 間動的帯域割り当て技術を、線形計画法およびヒューリスティックアルゴリズムの形で確立した。本アルゴリズムは物理 OLT512 台の環境下でも計算時間が 1ms 程度であり、ターゲットに定めた規模の光アグリゲーションネットワークにも適用可能であることを確認した。

課題イ-2 マルチサービス・QoS アグリゲーション技術の開発

目標：サービス毎に異なるトポロジー、フレームやプロトコルをプログラマブルに収容できるアグリゲーション技術を確立する。また、スループット大、帯域保証、低遅延、高速レスポンス、高信頼といった異なるサービス要求に対して、サービス毎に完全に分離して実現できる QoS 技術を実現する要素技術の確立を行う。

課題イ-2-1 マルチサービス制御方式の検討、および実装 (株式会社日立製作所)

実施内容：外部装置の指示に合わせてプロトコルを変更可能な MAC 機能、及び、通信中にトラヒック状況に合わせて波長やグループ毎のサブキャリア数を変えて通信可能なトラヒック制御技術を開発した。開発技術を OLT/ONU 試作機に実装し、複数プロトコルでの通信動作、容量可変な光パスでのパケット導通動作を検証する実験を実施した。

成果：下り OFDM 方式、上り WDM/TDM 方式の光アクセスシステムにおいて、複数プロトコル 2 種 (PtP/PtMP) の通信によるマルチサービス収容を実証した。また、グループ毎サブキャリア数可変な光パスでフレームロス無導通を実証した。

課題イ-2-2 マルチサービス収容アーキテクチャの検討 (慶應義塾大学)

実施内容：様々なサービスを論理 OLT 及び論理 ONU に効率よく収容するサービスアダプテーションレイヤのアーキテクチャを確立し、MAC フレームフォーマットの策定を行った。また、OLT/ONU のプログラマビリティの活用及び高可用アグリゲーション網を実現するための通信チャネルの実現手法について決定した。

成果：マルチサービスを収容するためのアーキテクチャとして Pseudo Wire over MPLS-TP over Ethernet 方式の採用を決定し、OAM 管理ポイントを定義した。また、ONU からサービスに適した論理 OLT へのサービスパス設定を要求するための Control-Tree、

及びプログラマブル ONU 制御用の通信チャネル実現技術を策定した。

課題イ-3 高可用性ライフラインサービス技術の開発

目標：災害等の非常時におけるリストラクションを超える耐障害手法として、(1)高優先サービスを稼働可能な少数の OLT を用いて維持する方式 (TDMA 型サービス救済) 及び(2)アドホック的にライフライン通信を確保する方式 (光アドホック方式) を検討し、その有効性を確認する。

課題イ-3-1 高可用アグリゲーション網の構築 (慶應義塾大学)

実施内容：エラスティック光アグリゲーションネットワークにおける、災害等発生時の通信路確保手法について策定を行った。TDMA 型サービス救済及び光アドホック方式の 2 種類について技術確立を行い、実験及び理論的評価によりその有効性を検証した。

成果：TDMA 型サービス救済方式では、プロトタイプシステムを用いた性能評価実験を実施し、複数 ONU 群の収容時にも Mbps 級のスループット確保が可能であることを確認した。また、光アドホック通信におけるルーチング手法及び波長予約手法を検討し、計算機シミュレーションにより、リストラクション方式と比較して ONU 救済可能率が向上することを確認した。

課題イ-4 エラスティック光アグリゲーションネットワークの実証実験

目標：課題ア及び課題イ-1 から課題イ-3 の要素技術を用いたメトロ・アクセス統合エラスティックアグリゲーションネットワークを実機にて構築し、システムを構成する各要素技術を実証する。

実施内容：課題ア及び課題イ-1 から課題イ-3 の要素技術を用いたメトロ・アクセス統合エラスティックアグリゲーションネットワークの実機検証を及、故障発生時の冗長系への切替動作を、実機により検証し、システムのフィージビリティを確認した。

成果：メトロ・アクセス統合ネットワークシステムを模擬したシステムを世界に先駆けて実機にて実証し、フィージビリティを確認した。また、OLT 故障発生を想定した冗長系への切替動作を実現することで、システムの信頼性についても実証した。

課題イ-4-1 OLT 内動的帯域割当機能の実証実験 (日本電信電話株式会社)

実施内容：課題イ-1-3 と連携して、考案した OLT 内動的帯域割当アルゴリズムをハードウェア実装し、伝送パラメータ (多値度・シンボルレート) が異なる複数 ONU の信号伝送遅延やフレームロス率を実機評価した。

成果：異なる伝送パラメータに設定された ONU 毎に、割当サブキャリア数を変更した場合に、伝送パラメータと割当サブキャリア数に依存して最大伝送レートが変化することを確認した。また、考案したアルゴリズムを用いて、割当サブキャリア数を動的に制御することで、異なる伝送パラメータに設定された複数 ONU 間のフレームロス率の公平制御を確認した。

課題イ-4-2 エラスティック光信号パラメータ制御方式の実証実験 (沖電気工業株式会社)

実施内容：課題イ-1-2 で開発した光信号パラメータ制御アルゴリズムを、最終実証実験系に即した形に実装した。

成果：本アルゴリズムのインタフェースとなる API を策定した。実装した本アルゴリズムが正しい結果を出力することを確認した。ハードウェア上で実行した際の計算処理時間は $210.4 \mu\text{s}$ であることを確認した。

課題イ-4-3 OLT 間動的帯域割り当て機能の実証実験 (慶應義塾大学)

実施内容：模擬実験系において、OLT 間動的帯域割当機能 (課題イ-1-4) を実行するリソー

スコントローラと、EλAN スケジューラ（課題ア-4）及び OLT 装置（課題イ-1-3）との間で制御インタフェースを策定した。リソースコントローラと各装置間において、波長パス設定／削除、トラヒック量収集、OLT パラメータ設定の各機能を実装し、相互接続実験による動作検証を行った。

成果：相互接続実験において、OLT からリソースコントローラへのトリガを起点に、リソースコントローラにおいて OLT 間動的帯域割当機能が設計通りに実行され、計算結果を基に波長パス及び OLT の設定が行われることを確認した。

課題イ-4-4 マルチサービス制御方式の実証実験（株式会社日立製作所）

実施内容：課題イ-1-3 及び課題イ-2-1 で開発した機能を OLT 及び ONU 試作機に実装し、エラスティック光アグリゲーションネットワークを模擬する実験系を構築し、ONU 初期登録動作、複数プロトコル収容動作、伝送容量可変な光パスでの導通を検証する実験を実施した。

成果：エラスティック光アグリゲーションネットワークを模擬する実験系において、ONU 初期登録時の光伝送パラメータ自動設定動作、同一ネットワークでの 2 種の複数プロトコルでの収容動作、伝送容量可変な光パスでのフレームロス無の packets 導通動作を実証した。

課題イ-4-5 高可用アグリゲーション網の実証実験（慶應義塾大学）

実施内容：課題イ-4-3 と共通の模擬実験系を利用して、課題イ-3-1 において開発した高可用性方式の実証実験を実施した。リソースコントローラと各装置間の制御インタフェースを策定し、波長パス障害切替及び装置ステータス収集の各機能について追加実装を行い、相互接続実験による動作検証を行った。

成果：相互接続実験において、OLT の Loss of signal 検出をトリガに、障害の状況に応じてリストラレーションあるいは TDMA 型サービス救済を選択し、それぞれの手法で OLT-ONU 間の通信を設計通りに回復可能であることを確認した。