



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光時分割多重ネットワークにおけるリソース共有化手法の研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	服部, 恭太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13522号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74254
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kyota_Hattori_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 服部 恭太

学 位 論 文 題 名

光時分割多重ネットワークにおけるリソース共有化手法の研究
(Resource sharing methods in optical time division multiplexing network)

ブロードバンド契約者の総ダウンロードトラフィック量は、年率約 30% で増加しており、今後も増加し続ける見込みである。特に、モバイル通信では、5G(第 5 世代移動通信システム) 等のブロードバンド化に加え、あらゆるモノがネットワークに接続される IoT (Internet of Things) 化が進んでいくことが予想される。5G では、数 ms 以下の低遅延化を目指してエッジコンピューティングの適用の検討が進んでいる。これにより、基地局至近でのコンピューティング処理が可能となり、基地局近辺でのトラフィックの流入が発生すると予想される。一方、IoT では、コネクテッド・カーやウェアラブルデバイス等により、トラフィックの量・通信先・通信頻度がダイナミックに変動することが予想される。このため、将来は、従来のようにブロードバンドサービス用のサーバ宛だけでなく、送信元と宛先が動的に変化する通信が発生する可能性がある。したがって、これらの通信を収容する将来のメトロネットワークでは、宛先と量が短期間に変動するトラフィックを効率的に収容することが課題となる。しかし、従来の手法でこれらのトラフィックを収容する場合、設備コストが増大する問題が発生する。本研究では、通信トラフィックのパターンに合わせてその時点で使用可能なリソースを効率的に活用可能となるように、光時分割多重により各宛先間で波長帯域と光インタフェースを最大限共有可能なリソース共有化手法の確立を目指す。

第 1 章では、本研究の背景および狙いを明らかにし、本研究の意義および目的を示す。研究の背景として、メトロネットワークの構成例を説明し、その課題をまとめ、本研究の目的を述べる。

第 2 章では、高需要地域のメトロネットワークの設備コスト低減化を目的に、光時分割多重スイッチをベースとしたメトロ光時分割多重ネットワークを提案する。従来の一般的な手法では、光信号により装置間の伝送を行うものの、宛先毎の最大トラフィック量に合わせた波長設定を用いるとともに、装置毎に全信号を電気信号に変換して電氣的にスイッチング処理を行う構成をとる。このため、今後の予期しないトラフィック変動に対応するためには設備コスト増となる問題が生じる。一方で、これまで、設備コスト低減化に向けて、アクセスネットワークで適用されている Passive optical networks (PON) で培った光バースト制御技術と光時分割多重スイッチをメトロネットワークに適用する検討はなされていない。そこで、PON の光バースト制御技術と、光時分割多重スイッチにより、高需要地域のメトロネットワークを低コストに構築可能とする光時分割多重メトロネットワークを提案する。提案ネットワークは、メトロネットワーク内のパケットバッファと宛先識別処理部をネットワークエッジに集約し、ネットワーク内に必要であった電気のパケットスイッチの代わりに光時分割多重スイッチを配備することで、網内のパケットバッファ・宛先識別処理部を削減でき、設備コストを低減可能となる。提案ネットワークにおける設備コストの定式化を提示するとともに、数値計算による有効性を定量的に評価し、従来方式と比べて波長数を最大 58%、光インタフェース数を最大 70% 低減可能なことを示す。さらに、提案技術の実現可能性を示すために、試作機による実験網での評価を行った結果について報告する。

第 3 章では、メトロ光時分割多重ネットワークの高信頼性を目的に、経路障害に伴う任意経路への切り替えを可能とするタイムスロット再同期方式を提案する。一般的に、メトロネットワークでは、現用系のファイバと予備系のファイバがそれぞれ異なる経路を通る。これにより、災害等により現用系の経路に障害が発生した場合でも、物理的に離れた位置にある予備系の経路を利用でき、ネットワークの稼働率を高めることができる。従来の光時分割多重ネットワークでは、網内からパケットバッファを排除するために、ノード間の伝搬遅延時間をタイムスロットの整数倍に設定する必要があるため、経路長調整によりネットワーク運用コストが増加する問題があった。経路毎に光インタフェースを配備することで経路長調整を回避可能な従来方式もあるが、設備コ

ストの増加が問題となる。そこで、経路障害発生時に、各タイムスロットが経由するノード間の伝搬遅延時間に応じて、タイムスロット制御タイミングを動的に切り替えることで、任意距離での経路切り換えに対応可能とするタイムスロット再同期方式を提案する。提案方式により、メトロネットワークで一般的に採用されているリング構成を前提に、光時分割多重ネットワークにおける経路冗長化に対応可能となる。提案技術の実現可能性を示すために、試作機によるマルチリングネットワークの実験網における経路障害発生時のタイムスロット再同期実験を行い、任意距離の任意経路間でのタイムスロット交換の継続性を示す。また、提案方式適用時の各ノードにおける光インタフェース数の定式化を提示するとともに、数値計算により有効性を定量的に評価し、従来方式と比べて光インタフェース数を最大 30% 低減可能なことを示す。

第 4 章では、クラウドエッジを効率的に収容可能とする低需要地域のメトロネットワークの設備コスト低減化を目的に、パッシブデバイスをベースとしたメトロ光時分割多重ネットワークを提案する。高需要地域については、前述の通りトラフィック需要変動に対応可能とするように、光時分割多重スイッチをベースとした光時分割多重制御技術の研究を進めてきた。しかし、各ノードからのトラフィック量がタイムスロットの帯域に満たない低需要地域に対しては、タイムスロット単位にスイッチングを行う光時分割多重スイッチを適用した場合、設備利用効率が低下する問題が生じる。さらに低需要地域においては、IP 電話サービスを始めとした各種サービス処理を行う IP エッジの設備利用効率を高めるためにネットワーク機能を仮想化したクラウドエッジの導入が急務である。クラウドエッジでは、各 IP エッジのリソース利用状況に応じて、IP エッジのサービス処理位置が動的に変更される。このため、将来の低需要地域のメトロネットワークでは、クラウドエッジにより宛先と量が動的に変わるトラフィックを効率的に収容することが重要となる。これまで、クラウドエッジに対応したメトロネットワークの設備コスト低減化の検討はなされていない。そこで、低需要地域のメトロネットワークの設備コスト低減化に向けて PON で培った光バースト制御技術とパッシブデバイスを活用して、クラウドエッジに対応可能とする光インタフェース共有化方式を提案する。提案方式には、1 つのバースト光受信器で光バースト信号と光連続信号の両方を受信可能とし、光インタフェース数とパケットスイッチを削減可能となる特徴がある。提案方式における設備コストの定式化を提示するとともに、数値計算により有効性を定量的に評価し、低需要地域のメトロネットワークについても設備コストを削減可能なことを示す。さらに提案技術の実現可能性を示すために実施した試作機による実験網での実験について、その評価結果を報告する。

以上を要するに、本研究ではメトロネットワークの設備コスト低減化を目的とし、光バースト制御技術を活用したメトロ光時分割多重ネットワークにおけるリソース共有化手法について提案し、その有効性を示した。高需要地域については光時分割多重スイッチを基本とし、また低需要地域については光パッシブデバイスを基本とした光時分割多重方式を適用することで、コスト効率の高いメトロネットワークを構築可能と結論付けた。