

論文の内容の要旨

論文題目	Contention Resolution Techniques for Optical Networks (光ネットワークにおける競合制御)
学 位 申 請 者	ナッタポン キットスワン

全光ネットワークは、電気-光変換と光-電気変換に要する消費電力の増加を回避する有望な技術であると考えられている。高速データ転送やリアルタイムテレビ会議などの数多くのサービスが、インターネットを介して提供され、通信トラフィック量は急激に増加している。波長分割多重 (WDM) 技術が導入された光ネットワークでは、同一ファイバ上に、異なる波長を用いて、同時にデータを転送することができる。

データはパケットと呼ばれる小さな転送単位に分割され、パケットはルーティング制御により宛先に転送される。波長ルーティングネットワークでは、単一の波長が特定の送信元と宛先のペアに割り当て、多数の波長が必要となる。光バーストスイッチング (OBS: Optical Burst Switching) ネットワークでは、単一の波長を、複数の送信元と宛先のペアで共有することで、必要な波長の数を減らすことが可能となる。光パケットスイッチング (CPS: Optical Packet Switching) ネットワークでは、大量のデータを送信する際に、中間ノードでデータをバッファリングする必要があるが、これらの大量のデータを格納する光バッファの実現は難しい。WDMを採用したバックボーンネットワークと、リング型の光時分割多重方式を採用した地域ネットワークを統合したネットワークは、Time-Wavelength-Time (TWT) ネットワークと呼ばれ、波長ルーティングとOBSの利点を活用している。しかし、OPSネットワークは、バッファリングの問題を克服することにより実現可能であると考えられている。

タイムスロットや波長などのネットワークリソースが利用出来ない場合に、競合が発生する。本論文では、TWTネットワーク、及び、OPSネットワークにそれらの競合の解決について述べる。タイムスロットの競合を解決するために、TWTネットワークでは、既存のデータを新しいデータで置き換えることが可能な、動的置換方式 (DR) を導入する。OPSネットワークでは、バッファを持たないパラメトリック波長変換器 (PWC) が使用されている。波長の競合を解決するために、ポンプ波長選択方式とマッチングアルゴリズムを導入する。さらに、入力バッファを有する将来のOPSにおいて、parallel iterative matching (PIM) のスループットを解析する。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景ならびに目的を述べ、本論文の構成を示す。

第2章では、WDMを採用したバックボーンネットワークと、リング型の光時分割多重方式を採用した地域ネットワークの両者を統合したTWTネットワークにおける競合制御について述べる。データを転送するフレームは、即時的なデータ伝送を行う目的で、リング内を従来の二周する方式ではなく、一周のみ周回する方式を採用する。また、ノード間でスループットのmax-min公平性を保つためのデータ伝送方式を提供する。本方式では、利用可能なフレームが残されていない場合は、新規のデータと既にフレーム中にあるデータの置換処理を行うことで、ノード間の公平性を確保する。この置換処理とデフラグ処理は光領域で行われる。

第3章では、バッファを持たない、PWCを採用した光スイッチについて述べる。本スイッチでは、波長の競合を解決するために、ポンプ波長選択方式とマッチングアルゴリズムを導入する。本スイッチにおいて、それぞれ異なるPWCのポンプ波長を設定し、提案方式と従来方式を比較する。

第4章では、タイムスロットに応じて、動的にポンプ波長を切替えるPWCを用いた光パケットスイッチを導入する。このスイッチはダイナミックポンプ波長選択(DPS: Dynamic Pump-wavelength Selection)スイッチと呼ばれる。スイッチの性能を向上させるために、DPSのスイッチでは、入力ポートと出力ポートを接続するマッチングアルゴリズムと、ダイナミックポンプ波長選択機能を備えている。従来のスイッチでは、初期に与えられたポンプ波長は固定されており、静的なマッチングしかできない。

第5章では、PWCを用いたOPSにおいて、波長変換を再帰的に行うことで、変換される波長数を最大化する手法を導入する。この手法は、再帰的なパラメトリック波長変換(RPWC: Recursive Parametric Wavelength Conversion)方式と呼ばれる。既存方式では、出力ファイバにおいて、利用可能なポートがある場合でも、PWCが波長に変換できない場合は、パケット消失が発生することがある。RPWC方式では、この無駄となっていた未変換の波長ペアを、新しい波長変換ペアが作成される。性能評価により、トラフィック需要が均一な場合でも、不均一な場合でも、RPWCは従来の方式よりも低いパケット損失率を実現することが示される。

第6章では、入力バッファパケットスイッチにおける、並列反復マッチング(PIM: Parallel Iterative Matching)の理論的解析を提示する。従来の研究では、一様分布を持つトラフィックに対して、スループット性能が解析されていたが、全てのマッチングの状態を示していなかった。この章では、全てのマッチングの状態を考慮したスループット性能解析法を示し、スループットの数値結果を示す。

第7章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。

本論文では、光ネットワークにおける競合制御の解決方式を提案する。競合は、タイムスロット競合、波長競合、パケット競合の3種類に分類される。タイムスロット競合では、置換処理の技術を利用して、フレームにあるデータが他のノードのデータを置換される。波長競合では、PWCを利用されているOPSでポンプ波長を選択方法と再帰的なパラメトリック波長変換方式を利用する。パケット競合では、入力バッファパケットスイッチで並列反復マッチングを利用する。本論文で導入した競合制御技術は、電気-光変換と光-電気変換に要する消費電力の増加を回避する全光ネットワークに有効であることが示される。本研究で得られた成果は、将来の全光ネットワーク実現に向けて、要素技術となり得る。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 ナッタポン キットスワン

審査委員主査 大木 英司

委員 來住 直人

委員 山尾 泰

委員 寺田 実

委員 三木 哲也

全光ネットワークは、電気-光変換を伴わないで、情報を光処理で転送するため、将来の高速・大容量通信に適したネットワークと期待されている。現在の光ネットワークは、波長多重 (WDM: wavelength division multiplexing) 技術による固定の波長パスを用いて、情報を転送している。トラヒック変動の予測が困難な現実のネットワークにおいては、複数のパケットの塊であるバースト単位でスイッチングするバースト転送技術、及び、パケット単位でスイッチングするパケット転送技術が有効な手段であると考えられている。これらの転送技術は、スイッチング技術の成熟度に応じて、段階的に採用されていく。バースト転送やパケット転送では、予め予約することなしに情報を転送するため、中継ノードにおいて、同一方向に転送される情報の競合が生じ、これらを制御する競合制御が必要となる。

本論文では、バースト転送、及び、パケット転送に必要なネットワーク資源の競合制御技術を提案する。バースト転送ネットワークにおいて、ネットワーク資源を有効に使用するため、情報のタイムスロットへの動的割当方式を導入する。パケット転送ネットワークにおいて、波長変換資源を有効的に利用し、波長利用競合を回避するパラメトリック波長変換器 (PWC: Parametric Wavelength Converter) を用いた波長変換方式を導入する。性能評価により、これらの導入した競合制御方式が有効であることを示している。

第1章では、本研究の背景ならびに目的を述べ、本論文の構成を示している。

第2章では、WDMを採用したバックボーンネットワークと、リング型の光時分割多重方式を採用した地域ネットワークの両者を統合したネットワークにおける競合制御について述べている。データを転送するフレームは、即時的なデータ伝送を行うために、リング内を従来の二周する方式ではなく、一周のみ周回する方式を採用する。また、ノード間でスループットのmax-min公平性を保つためのデータ伝送方式を提供する。本方式では、利用可能なフレームが残されていない場合は、新規のデータと既にフレーム中にあるデータの置換処理を行うことで、ノード間の公平性を確保する。この置換処理とデフラグ処理は光領域で行われる。

第3章では、バッファを持たない、PWCを採用した光スイッチについて述べている。本スイッチでは、波長の競合を解決するために、ポンプ波長選択方式とマッチングアルゴリズムを導入する。本スイッチにおいて、それぞれ異なるPWCのポンプ波長を設定し、提案方式と従来方式を比較する。

第4章では、タイムスロットに応じて、動的にポンプ波長を切替えるPWCを用いた光パケットスイッチを導入している。このスイッチはダイナミックポンプ波長選択(DPS: Dynamic Pump-wavelength Selection)スイッチと呼ばれる。スイッチの性能を向上させるために、DPSのスイッチでは、入力ポートと出力ポートを接続するマッチングアルゴリズムと、ダイナミックポンプ波長選択機能を備えている。従来のスイッチでは、初期に与えられたポンプ波長は固定されており、静的なマッチングしかできない。

第5章では、PWCを用いたOPSにおいて、波長変換を再帰的に行うことで、変換される波長数を最大化する手法を導入している。この手法は、再帰的なパラメトリック波長変換(RPWC: Recursive Parametric Wavelength Conversion)方式と呼ばれる。既存方式では、出力ファイバにおいて、利用可能なポートがある場合でも、PWCが波長に変換できない場合は、パケット消失が発生することがある。RPWC方式では、この無駄となっていた未変換の波長ペアを、新しい波長変換ペアが作成される。性能評価により、トラフィック需要が均一な場合でも、不均一な場合でも、RPWCは従来の方式よりも低いパケット損失率を実現することが示される。

第6章では、入力バッファパケットスイッチにおける、並列反復マッチング(PIM: Parallel Iterative Matching)の理論的解析を提示している。従来の研究では、一様分布を持つトラフィックに対して、スループット性能が解析されていたが、全てのマッチングの状態を示していなかった。この章では、全てのマッチングの状態を考慮したスループット性能解析法を示し、スループットの数値結果を示す。

第7章では、本論文の結論と今後の課題について述べている。

本論文で導入した競合制御技術は、電気-光変換と光-電気変換に要する消費電力の増加を回避する全光ネットワークに有効であることが示される。本研究で得られた成果は、将来の全光ネットワーク実現に向けて、要素技術となり得る。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。