

審査の結果の要旨

氏 名 孫 咏 梅

本論文は「Design and Implementation of a Burst-Switched Photonic Network (光バーストスイッチネットワークの設計と実装に関する研究)」と題し、全 6 章からなる。近年、増加の一途を辿るブロードバンドインターネットトラフィックを滞りなく転送するために、光ファイバの広帯域性を利用し、超高速の IP ネットワークの物理層としてフォトニックネットワーク技術の研究開発が世界的に推進されている。その中でも光バーストスイッチ (OBS) ネットワーク技術は、近い将来実用化可能なデバイスをベースにブロードバンドインターネットの物理層技術として注目されている。しかるに、OBS 技術に関する研究が世界で活発に行われている一方で、実証実験や性能評価、問題点や課題の洗い出しを行うことが可能な機能を備えた OBS ネットワークテストベッドが現状では存在しないため、様々な OBS 転送手法やプロトコル、衝突回避アルゴリズムなどを現実的なモデルで性能評価・比較評価を行うことができない状況にある。本論文では、主にこの問題に焦点を絞り、実用的な光バーストスイッチネットワークテストベッドのノードアーキテクチャと制御プロトコルの設計と実装、そのテストベッドの実証実験と性能評価、および光バーストレベルの FEC 手法による信頼性向上手法などについて詳細に論じている。

第 1 章は序論であり、ブロードバンドインターネットの普及とそのトラフィックの拡大、光通信技術の進歩、インターネットの物理層としてのニーズと要求条件、光バーストスイッチングネットワークの概要などについて概説し、本研究の背景と各章の目的について述べている。

第 2 章では、光バーストスイッチネットワークを中心に、関連するフォトニックネットワーク技術について述べる。まず、光サーキットスイッチング (OCS)、光パケットスイッチング (OPS)、および光バーストスイッチング (OBS) の概念と特徴を紹介し、その利害得失について比較を行う。次に、光バーストスイッチネットワークのアーキテクチャとノードアーキテクチャに関する研究を示す。最後に、バースト組立、シグナリングプロトコル、スケジューリング手法、衝突回避手法など光バーストスイッチネットワークにおける重要な課題の研究の現状について述べる。

第 3 章では、様々なネットワークトポロジに対応するために、エッジノードにバースト組立/分解と共に、通過バーストの中継も行えるように、「トランシーバ+中継」の機能を保持する新しいアーキテクチャを提案する。また、エッジノードにおける CoS と波長選択の機能をサポートするために、「3 段 FIFO+2 段スイッチ」のバーストランシーバアーキテクチャを新たに提案し、FPGA による実装について述べる。さらに、様々なプロトコルとアルゴリズム、特に複数の衝突回避手法を取り入れたスケジューリング手法についてその実装の問題点と解決方法を示す。このようなトランスペアレントなデータプレーンとリプログラマブルの制御プレーンによって、本テストベッドは様々なタイプのネットワークトポロジ、トラフィック、プロトコル及びアルゴリズムを試験することができる。本構成はその汎用性、モジュール性と拡張性によって、システム構成やデバイスなどの更新を容易に行うことができるメリットを有している。

第4章では、構築した OBS テストベッドで行った様々な実験に関して詳述する。まず、基本機能実証実験の結果を示し、これによってハードウェアとソフトウェアのモジュールが設計通り動作することを確認した。次に、エンドツーエンド遅延、バーストブロッキング率、および TCP スループットなどの性能評価を行い、その結果を分析した。さらに、ビデオストリームデータのリアルタイム転送を本テストベッドで実演した。これらの実験結果によって、OBS ネットワークのボトルネックとなる要因が、バースト組立、光スイッチ、バースト衝突の三つであることを明確にした。また、これらのボトルネックに対する解決方法についても考察した。さらに、OBS ネットワークの産学連携プロジェクトにおいて開発された2つの OBS システムを相互接続した大規模 OBS ネットワーク上で、当研究室で提案した優先度学習型波長割当手法(PWA)と CoS 指向波長割当手法(CWA)を実装して動作させ、その有効性を確認するとともに、OBS における one-way と two-way の二種類のシグナリングプロトコルについて比較と評価を行った。

第5章では、バーストレベルで FEC 手法を適用した高信頼転送メカニズムを提案する。入力エッジノードで、受信した複数の IP パケットから、バーストグループと称する同じ長さの複数のバースト群を生成し、このバーストグループに対して FEC 手法を適用する。出口エッジノードでは、必要数のバーストさえ受信すれば、元々の IP パケットを復元できる。本手法をシミュレーションによって評価した結果、適当な FEC 冗長性とバーストグループのサイズを選択することで、ブロッキング率を低減させることが可能であるがあきらかになった。さらに、本手法を実証するための課題と動的にバーストロス率を適応させる FEC 冗長性の制御メカニズムを議論し、本手法の実現可能性について論じている。

第6章は結論であり、論文全体を総括する。OBS ネットワークの機能、性能を実験するために必要な OBS の諸機能を実装したネットワーク規模の OBS テストベッドとして、開発した本システムは世界最初の実装例であるといえる。また、バーストレベルの FEC 手法の利用によりバーストロス率の向上を可能とした。性能改善によって、将来のブロードバンドインターネットの物理層を担う OBS ネットワークの研究に必要な様々な評価実験が行える実証実験環境を提供可能とした。

以上要するに本研究は今後ますます拡大するブロードバンドインターネットトラフィックを処理可能なネットワーク基盤として有望と考えられる OBS ネットワークの研究開発に必須であるネットワーク規模の OBS テストベッドを設計・実装し、そのテストベッドの有効性を実証することによって、今後のブロードバンドインターネットの研究開発の進展に重要な貢献をするものであり、よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。