

氏 名 Ping DU

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1049 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 QoS Control and Performance Improvement Methods for
Optical Burst Switching Networks

論文審査委員 主 査 助教授 阿部 俊二
教授 山田 茂樹
教授 米田 友洋
教授 漆谷 重雄
助教授 計 宇生
助教授 戸出 英樹（大阪大学）

論文内容の要旨

With the explosive growth of the Internet and the rapid evolution of Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), optical fiber seems to be the perfect carrier for future high-speed IP networks. IP-over-DWDM has been considered as a solution for the next-generation networks because it can make the best use of the potential huge bandwidth of optical fiber. To realize an IP-over-DWDM architecture, several approaches, such as Wavelength Routing (WR), Optical Packet Switching (OPS) and Optical Burst Switching(OBS), have been proposed. Of these approaches, Optical Burst Switching (OBS) can achieve a good balance between the coarse-grained Wavelength Routing and fine-grained Optical Packet Switching, thereby combining the others' benefits while avoiding their shortcomings.

In this thesis, we analyze several critical issues affecting optical burst switching networks, such as quality-of-service, burst assembly and TCP over OBS.

First we address the issue how to provide proportional differentiated services in OBS networks. A Dynamic Wavelength Selection(DWS) scheme is introduced to provide proportional differentiated services in bufferless OBS networks by assigning more and longer periods of wavelengths to high priority classes dynamically and efficiently due to wavelength-sharing. Then, a Delayed Burst Assignment(DBA) scheme is introduced, by which bursts of the high priority class are given a higher probability for reserving bandwidth by scheduling the bursts of the low priority class with a delay to provide QoS in OBS networks. The integration of these two schemes not only provides proportional differentiated services, but also improves the burst loss performance by giving the burst head packet(BHP) two opportunities to schedule its data burst(DB). We also extend our proposed schemes to provide proportional differentiated services with absolute constraints. We also extend the proposed schemes to provide proportional differentiated services with absolute constraints.

Then we address the issue how to improve the OBS performance by proposing efficient burst assembly methods. Burst assembly at edge nodes is an important issue for the Optical Burst Switching(OBS) networks because it has a great impact on the traffic characteristics. We analyze the assembled traffic of the Science Information Network(SINET) by using the Fractional Brownian Motion(FBM) model. The analytical results show that the general timer-based and threshold-based assembly schemes could not avoid increasing the burstiness, which will deteriorate the network performance. Thereby we propose two novel burst assembly algorithms with traffic shaping functions to reduce the variance of assembled traffic, which are named advanced timer-based assembly algorithm and sliding window-based assembly algorithm. The simulation results show that both the advanced timer-based and the sliding window-based assembly algorithms are better than the timer-based and the threshold-based assembly algorithms in terms of the burst loss ratio. The simulation also indicates that the advanced timer-based assembly algorithm has better performance in terms of edge buffering delay than does the sliding window-based assembly algorithm.

Finally, we develop a precise analytical model to study the performance of TCP traffic in OBS networks. An edge buffering based OBS layer error recovery mechanism is proposed for OBS networks. The analytical and simulation results show that our algorithm can lighten burst loss ratio for TCP flows of the OBS network.

In summary, throughout this thesis, all the proposed schemes solve many of the fundamental issues faced by optical burst switching networks, thereby making OBS more practical and efficient in the near future. Our main contributions of this thesis are as follows:

The first contribution of this thesis is that we proposed Dynamic Wavelength Selection(DWS) and combined it with Delayed Burst Assignment Scheme(DBA) as a rescheduling scheme to provide proportional differentiated services optical burst switching networks.

The second contribution is that we analyzed the assembled traffic and proposed two traffic-smoothing burst assembly methods for the optical burst switching Network.

The third contribution is that we proposed an edge buffering based OBS layer retransmission mechanism to improve the TCP performance over OBS networks.

論文の審査結果の要旨

本博士論文は、光交換方式の一つである光バースト交換 (OBS: Optical Burst Switching) 方式における QoS (Quality of Service) 制御方式とバースト多重などの性能改善に係る研究の成果をまとめたものであり、全 7 章で構成されている。OBS 方式は、一本の光ファイバーに複数の光波長を多重する WDM 技術を用いて高速・大容量化されたネットワークに流れる IP パケットを高速にスイッチングする次世代光交換技術の一つである。特に、OBS 方式は複数の IP パケットを一つの塊にまとめて (バースト多重すること)、高速転送・スイッチングするといった特徴を有している。

本論文の第 1 章と 2 章で、近年の光交換方式の技術動向を踏まえ、各種光交換方式の比較を行い、OBS 方式における QoS 制御とバースト多重に係わる性能改善の研究に至った動機を明らかにすると共に、これら研究の課題を明らかにしている。

第 3 章と 4 章において、OBS 方式における QoS 制御として、インターネットの品質クラス制御の一つとして知られている比例型 DiffServ (Proportional Differentiated Services) を実現する方法の検討を行っている。先ず、品質クラスに識別されたバーストを複数波長に割り付けることを考え、品質クラスの優先順位に従って割り付ける波長数を動的に制御する方式を提案している。この制御は、クラスごとのバーストを波長に割り付ける際に生じる衝突の軽減を図り、バースト廃棄率の抑制を狙うものである。提案方式の評価を、リングおよびスター型ネットワークにおけるバースト廃棄率に関して計算機シミュレーションを用いて行い、従来方式との比較から提案方式の有効性を示している。さらに、その適用範囲も示している。そしてまた、本方式のアイデアを絶対型 DiffServ (Absolute DiffServ) に適用し、その有効性も示している。

OBS 方式では、複数の IP パケットが一つの塊にまとめられ、それが一気に転送・スイッチングされるため、伝送路に流れる IP パケットの時系列過程に揺らぎが生じ、ネットワークにおけるパケット廃棄や遅延の性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで第 5 章では、先ず、OBS 方式で一般的に考えられるバースト多重方式 (タイマー方式やバッファ閾値方式) の IP パケットの時系列過程の分散を示し、性能に大きな悪影響を与えることを明らかにしている。この性能の改善のため、タイマーとバッファによるスムージングを組み合わせた方法により、複数集めた IP パケットの塊の大きさとその転送する間隔が極力一定になるように制御する方式を提案している。提案方式の評価を、計算機シミュレーションを用いて、パケット廃棄率と遅延性能について行い、性能が改善されることを示すと共に有効性を明らかにしている。

第 6 章では、OBS 方式によるネットワークでは、1 つのバーストの廃棄が同時に複数の IP パケットの廃棄につながり、TCP パフォーマンスへの影響が懸念されるため、OBS 方式にバースト廃棄リカバリ機能の導入を提案している。このリカバリ機能の導入により TCP パフォーマンスが改善されることを明ら

かにしている。第7章で本論文の結論と今後の課題が述べられている。

出願者は、本研究に係わる査読付きジャーナル論文と国際会議論文にそれぞれ1件と4件の発表を行っている。

本論文の提案内容は、新規性、有効性、信頼性が十分に備わっており、また学術的価値も十分に認められる。さらに、産業界への貢献も十分に期待できる。したがって、本論文が複合科学研究科における博士授与の基準に達していると判断できる。