

バッファレスルーチングをベースとした次世代ネットワーク構成法の研究開発 (061102003)

A Study on Next Generation Network Architecture based on Buffer-less Packet Routing

研究代表者

行松健一 秋田大学工学資源学部
Ken-ichi Yukimatsu, Akita University

研究分担者

橋本仁[†] 小林真人[†] 内海富博[†] 山林由明^{††}
Masashi Hashimoto[†], Mahito Kobayashi[†], Tomihiro Utsumi[†], Yoshiaki Yamabayashi^{††}
[†]秋田大学工学資源学部 ^{††}千歳科学技術大学総合光科学部
[†]Akita University ^{††}Chitose Institute of Science and Technology

研究期間 平成 18 年度～平成 20 年度

概要

次世代ネットワークの実現には、光技術を最大限に活用しうるアーキテクチャを確立することが不可欠である。本研究では、光ルータの実用化に道を開く「バッファレスルーチング方式」について、その実現可能性を示すため、具体的なネットワーク構成法やルーチングプロトコルを提案するとともに、バッファレスでも現在のネットワークと同程度の通信品質が得られることを、シミュレーションによって評価した。また、これまでレイヤごとに独立に行われてきたネットワーク最適化手法やトラフィック制御方法を見直し、ネットワークリソースを最大限に活用しうるレイヤ横断的なトラフィックエンジニアリング手法を新たに提案し、その有効性の検証を行った。

Abstract

The all optical packet router is considered to be one of the essential components for the next generation high-throughput networks. To provide the practical solutions of using no or a few amount of optical packet buffers, we proposed novel packet routing methods and examined their feasibility. Our study results show that the proposed methods can be effective for realizing the practical all-optical networks. We also investigated various multi-layer network design and traffic engineering methods which provide more efficient usage of network resources.

1. まえがき

インターネット利用の爆発的な増加に応えるためには、先進技術を積極的に導入することによって、ネットワーク規模の大幅な拡大と、機能・性能の飛躍的な向上が求められている。我々は、これからのキー技術の一つと考えられている光ルータの実用化・導入をめざして、現在実現上の課題となっている光パケットバッファを極力用いない新たなネットワークアーキテクチャを提案し、その適用可能性を検証する研究に取り組んだ。また、階層化されたレイヤごとに独立に最適化を行う手法が、必ずしもネットワークリソースの有効利用の面で十分な効果をあげていないことに着目し、レイヤ横断的なネットワーク設計手法やトラフィックエンジニアリングの方法についても検討を進めた。将来的には、バッファレスルーチングネットワークを前提としたレイヤ横断的なトラフィックエンジニアリングにまで研究を発展させたいと考えているが、これについては今後の研究課題である。

2. 研究内容及び成果

2.1 バッファレスルーチング方式に関する検討

実用化のネックとなっているパケットバッファをなくすもしくは削減する方策として最も有効と考えられるのは、現行のルーチングプロトコルのように最短経路にのみルーチングするのではなく、送出可能な空いた方路にもルーチングすることで、パケットの衝突を回避する方法（いわゆる、ディフレクションルーチング）である。我々も、基本的にはディフレクションルーチングの考えにもとづいて、新たなソリューションを見いだすというアプローチ

をとった。具体的には、次の2つのアプローチで研究を進めた。

- (1) 必ずしも完全なバッファレスにはならないが、できるだけ既存のネットワークトポロジやルーチングプロトコルを生かしてバッファレスに近いルータの導入可能性を探り、具体的な実現方法を明らかにする（以下、「優先度付きルーチングテーブルを用いたマルチパスルーチング方式の研究」）。
- (2) 完全にバッファレスのルータを用いて、ある程度の値以下（たとえば、 10^{-5} ～ 10^{-6} ）のパケット廃棄率を達成しうるネットワークトポロジとルーチングアルゴリズムを見つけ出し、その有用性と実現可能性を検証する（以下、「格子状ネットワークモデルを用いた完全バッファレスルーチング方式の研究」）。

2.1.1 優先度付きルーチングテーブルを用いたマルチパスルーチング方式の研究

パケット衝突を回避する手段としてディフレクションを用いるものの、選択しうる経路ごとにあらかじめコストを計算し、コストの小さい順に出方路選択の優先度を設定する「優先度付拡張ルーチングテーブルを用いたマルチパスルーチング方式」を提案し、主としてコンピュータシミュレーションによってパケット廃棄率特性などを評価した。経路探索を行う際には、OSPFと同様に周辺ノードから経路情報を収集し、Dijkstra アルゴリズムで得られる最小コスト以外の経路の情報もルーチングテーブルに記述して、それらにコスト順に優先度を付与する。ルーチングの際には、優先度に従って空き方路を選択し、パケットを送出する。COST239 コアネットワークモデルを用いて、

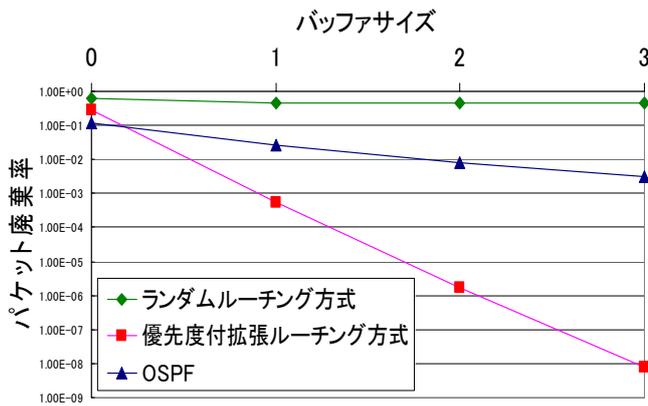


図1 ルーチング方式とパケット廃棄率

本方式を適用した場合のパケット廃棄率特性を評価した。その結果を図1に示す。図1から、本方式を適用しても完全にバッファを取り除くと、パケットは頻りに廃棄されてしまい、実用的ではない。しかし、各ノードに数パケット分のバッファを置くと、本方式によってパケット廃棄率は顕著に低下することが明らかになった。光ファイバ遅延線などを用いて数パケット分のバッファを置くことは実用上大きな問題ではないので、我々が提案する方式は、光ルータの実用化に向けて、一つの道筋をつけるものといえる。

2. 1. 2 格子状ネットワークモデルを用いた完全バッファレスルーチング方式の研究

Manhattan Street Network (MSN) などに親和性の高い格子状ネットワークに完全バッファレスルータを配置したモデルをもとに、座標に基づく最短経路優先選択ルーチングを行った場合のパケット廃棄率特性や平均ホップ数などを、シミュレーションによって評価した。

その結果、ノード次数4の格子状ネットワークでは、回線使用率を数%まで下げることで 10^{-3} 程度のパケット廃棄率は達成可能であるが、廃棄率をそれ以下に抑えることは困難であることがわかった。完全バッファレスの場合は、選択可能な出方路数が多いほどパケット衝突を回避できる可能性が高くなるので、物理リンクを波長多重によって複数の論理リンクに分割した場合にどの程度までパケット廃棄率特性が改善できるかを、同様の方法で評価した。その結果を図2に示す。

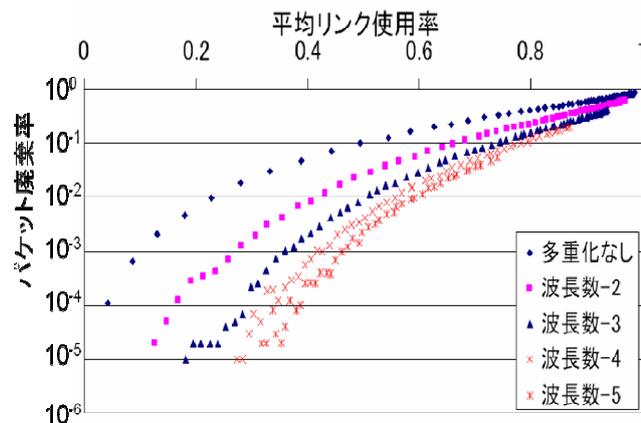


図2 波長分割によるパケット廃棄率の改善効果

図2から、リンクあたりの多重数を5とすると、平均リンク使用率30%以上でもパケット廃棄率は 10^{-5} 以下まで抑えられることがわかった。この結果から、限られた条

件下ではあるが、完全バッファレスのルーチングが現実解として成り立つ可能性があるといえる。

2. 2 レイヤ横断的トラフィックエンジニアリング方式に関する検討

本研究によって得られた成果を要約すると、以下のようになる。

(1) ネットワークレイヤ内のサブレイヤ (パケット転送レイヤと論理パスレイヤ) 間の連携による最適化手法の一つである Wang 法について、これまで概念の提案にとどまっていたものを、① 最大リンク使用率をメトリックとする TE とネットワーク遅延の最小化を両立させる方法として有効であること、② 高速障害復旧方式の一つである MRC 法でのリンク使用率平滑化手法としても有効であることを、具体的なネットワークモデルで検証することができた。

(2) ネットワークレイヤと物理レイヤの連携について、ピアモデルをもとに2つのレイヤのメトリック (最大リンク使用率、ネットワーク遅延) を含む形で線形計画法の定式化を行い、マルチレイヤを考慮した最適化によってそれぞれの評価指標を独立に最適化する場合に比べて特性を向上できることを示すことができた。

(3) アプリケーションフローを考慮したレイヤ横断的 TE については、論理パスレイヤにアプリケーションフロー毎に異なる複数のコストの概念を導入し、そのことによって、アプリケーション毎の QoS 条件とネットワークリソースの有効利用 (トラフィックの平滑化) を両立できる新たな TE の手法を提案することができた。

これらの結果を実ネットワークの具体的な設計に適用するためには、さらに検討が必要であるが、本研究の当初目標はおおむね達成できたものと考えている。

3. むすび

次世代ネットワーク実現に向けて、いくつかの新たなネットワークアーキテクチャを提案し、主としてコンピュータシミュレーションによってその有効性を検証した。いずれの結果も、今後さらに研究を進展させることで、実ネットワークへの適用が十分可能であることを示している。

【誌上发表リスト】

- [1] Masashi Hashimoto, Ken-ichi Yukimatsu, Takashi Miyamura, Kohei Shiomoto, "Partial Traffic Engineering for Guaranteeing Network Quality", APSITT2008 pp48-52 (2008.4.22)
- [2] Tomihiro Utsumi, Yusuke Kanno, Shin Konno, Akinori Sato, Ken-ichi Yukimatsu, Mahito Kobayashi, Masashi Hashimoto, "Bufferless Packet Routing Methods for Next Generation Optical Networks", International Conference on Photonics in Switching 2008 S-05-5 (2008.8.6)
- [3] 今野信、菅野祐輔、内海富博、行松健一、小林真人、"格子状ネットワークモデルにおけるバッファレスパケットルーチングに関する検討"、電子情報通信学会ネットワークシステム研究会 NS2008-113 pp29-34 (2008.12.18)

【報道発表リスト】

- [1] "行松秋大教授らに研究費"、秋田魁新報、2006.4.21

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://erbium.ie.akita-u.ac.jp/index.html>