



IP over WDM ネットワークに おける統合経路制御のための リンクコスト関数の提案と評価

大阪大学 大学院情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻

小泉 佑揮

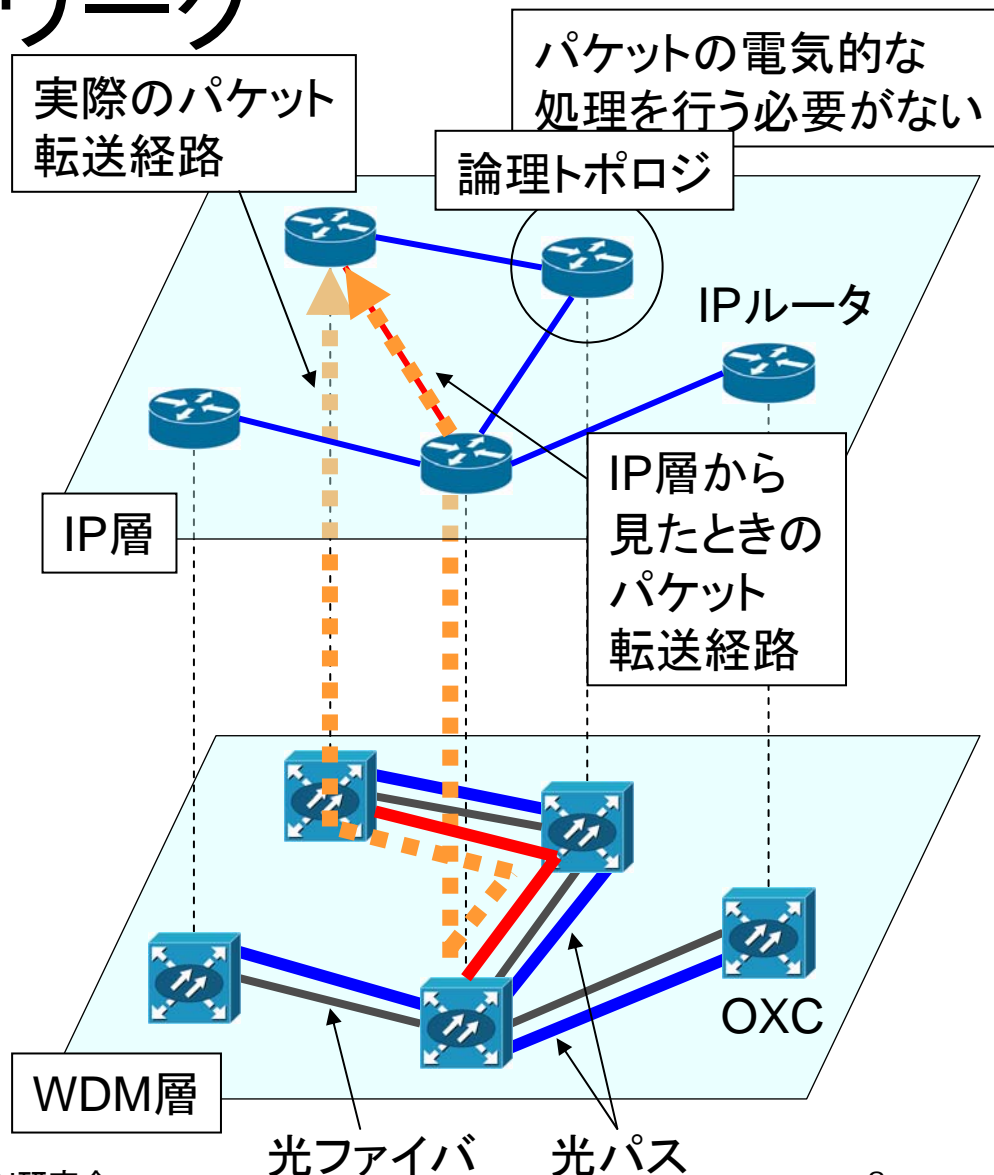
e-mail: ykoizumi@ist.osaka-u.ac.jp

発表内容

- 研究背景
 - IP over WDMネットワーク
 - 従来研究の問題点
- IP over WDMネットワークにおける統合経路制御手法の提案
- 性能評価結果
- 流体モデルに基づく計算機シミュレーション
- まとめと今後の課題

IP over WDMネットワーク

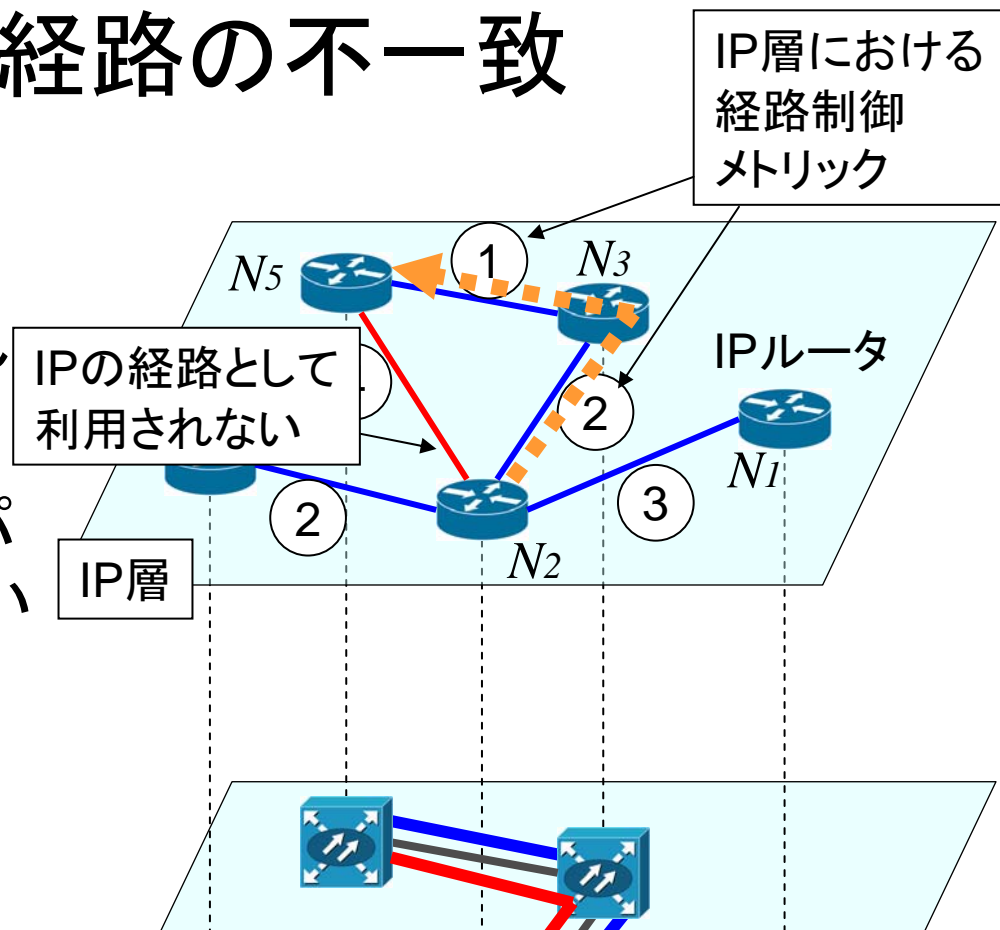
- IPパケットを光パス上に転送
- 光パスの中間ノードでは、パケットの電気的な処理を行う必要がない
- 論理的なトポロジを構成する
- 論理トポロジの構成方法
 - トラフィック計測に基づいて静的に構築する
 - トラフィック状況に応じて動的に構築する



IP層とWDM層での経路の不一致

■ IPとWDMの経路制御手法は個別に設計されている

- WDM層で設定した光パスがIP層で利用されないことがある
- ネットワーク資源を有効に利用できない



ネットワーク資源を効率的に利用するためには
IPとWDMの経路制御の統合が必要

研究の目的

- IP over WDMネットワークにおける統合経路制御手法を提案する
 - トラフィック変動に対して柔軟に対応する
 - IPが設定した光パスを確実に利用する
 - WDMネットワークの波長資源を有効利用する
- 高速・大容量ネットワークでのトラフィック特性を調査するためのシミュレーション手法を提案する
 - ネットワークの高速化に伴い計算機シミュレーションによるトラフィック特性の調査が困難になる

他のIPとWDMの統合化研究の問題点

- IPネットワークとしてIP/MPLSを想定 [1]
 - IPトラヒックを一定帯域を要求するLSP (Label Switching Path) の設定要求にマッピングする
 - LSP設定要求の棄却率減少を主目的とする
- IP/MPLS over WDMとすることでプロトコルスタックが増える
 - ルータにMPLSの機器を導入する必要がある
 - 複数のレイヤにまたがった最適化は容易ではない
- 棄却率での評価ではなく、スループットや遅延での評価を行うことが重要

[1] J. Li, G. Mohan, E. C. Tien, and K. C. Chua, "Dynamic routing with inaccurate link state information in integrated IP over WDM networks," *Computer Networks*, vol. 46, pp. 829–851, Dec. 2004.
2005/8/19

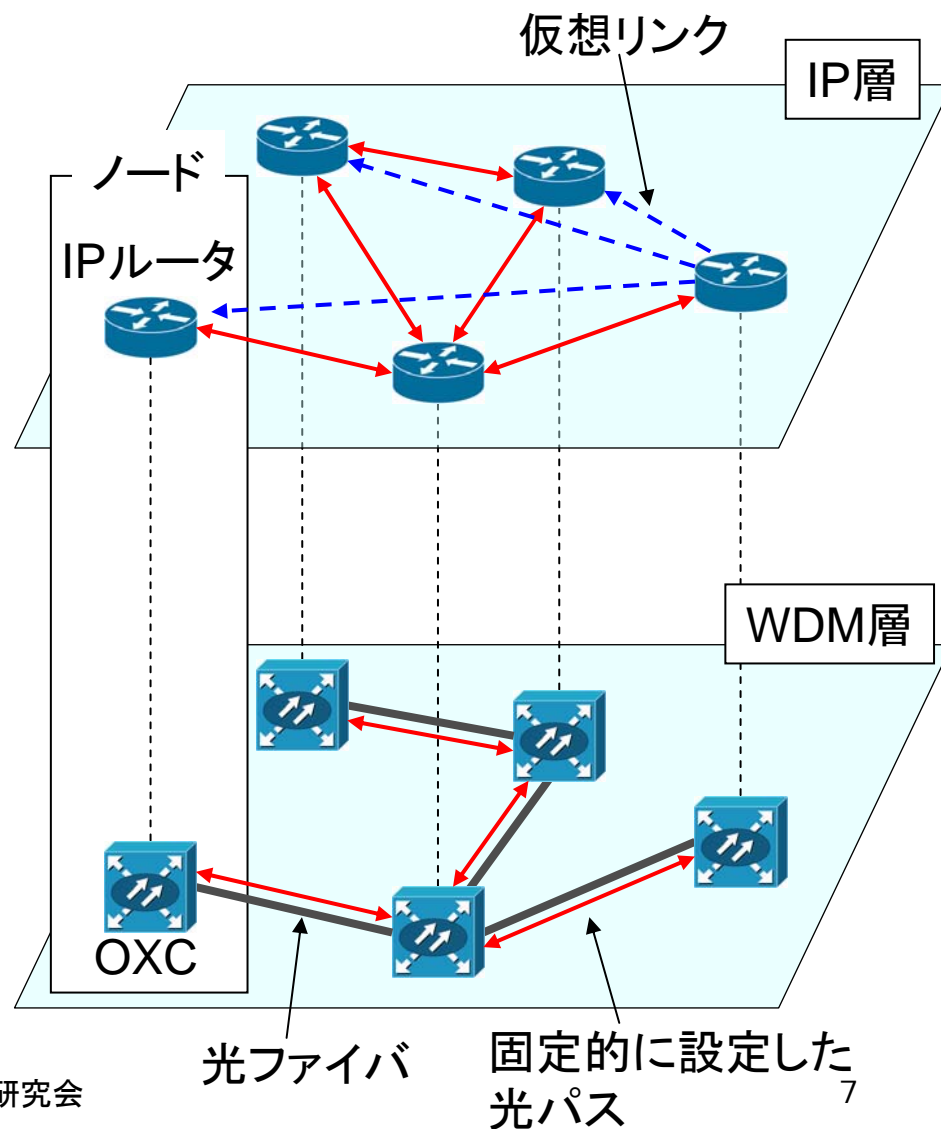
ネットワークモデル

■ 想定するネットワークモデル

- ノード: IPルータ, OXC
- リンク: 光ファイバ
- 隣接ノード間に固定的に光パスを設定
 - エンド・エンド間の到達可能性を保証するため

■ 仮想リンク

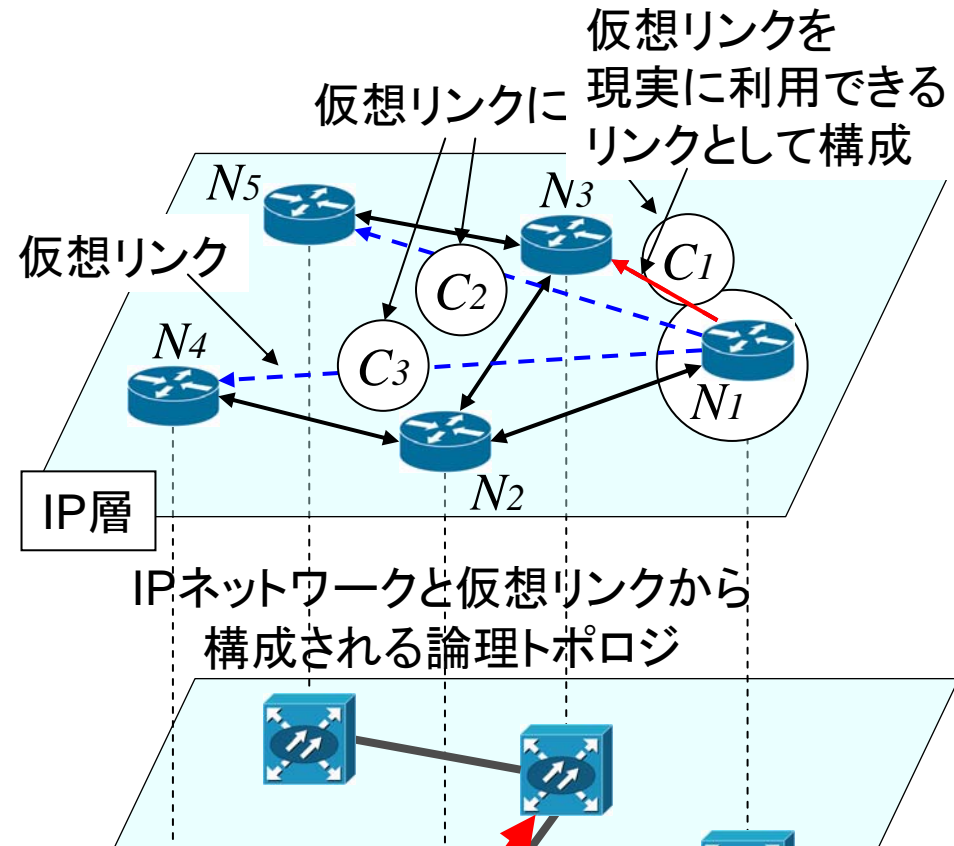
- 経路計算時に利用する仮想的なリンク
- 仮想リンクを用いて経路制御を統合する



仮想リンクを用いた経路制御メトリックの統合化

■ 経路計算

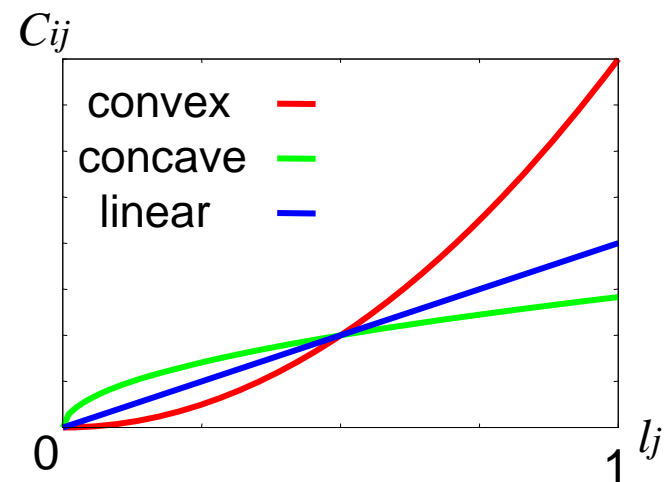
1. 論理トポロジ上に仮想リンクを設定する
2. 仮想リンクにコスト値を設定する
3. 仮想リンクを含む論理トポロジから、最小コスト経路を探索する
4. 仮想リンクがIPの経路として選択されたときは、波長資源を予約し、光パスを設定する



設定した光パスは、IPの経路制御メトリックを利用して選択されているため、確実にIPパケットの転送に利用される

仮想リンクのコスト関数

- ノード負荷の削減を目的とする
- 仮想リンク終端ノードのIPルータの負荷をコスト関数に利用する
 - 負荷の高いノードに流入するトラフィック量を制限する
 - ノードの負荷を分散させる
- 3種の関数について評価
 - 下に凸 (convex): $C_{ij} = (\alpha l_j)^2$
 - 上に凸 (concave): $C_{ij} = \sqrt{\alpha l_j}$
 - 線形 (linear): $C_{ij} = \alpha l_j$



シミュレーションモデル (1/2)

■ ネットワーク

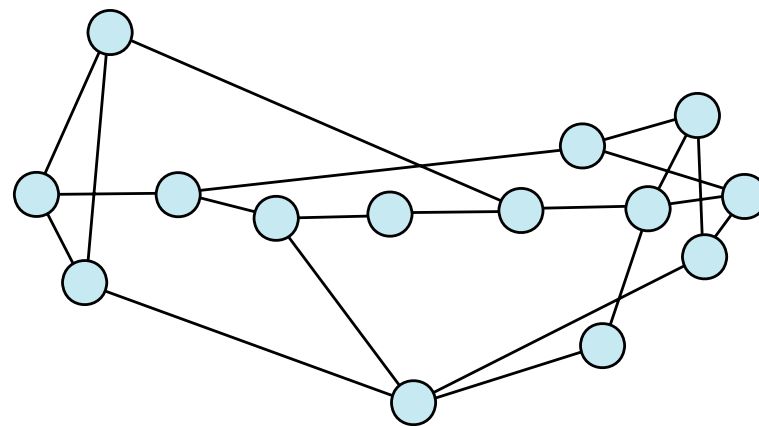
- NSFNet (14ノード, 21リンク)

■ パラメータ

- 波長多重数: 8
- ルータの処理能力: 10Gbps
- 1波長あたりのリンク帯域: 10Gbps

■ トラヒック

- フロー長: 平均75Mbyteの指数分布
- フローの到着間隔: トラヒックデマンド行列にしたがいポアソン過程で到着



シミュレーションモデル (2/2)

■ トラヒック変動

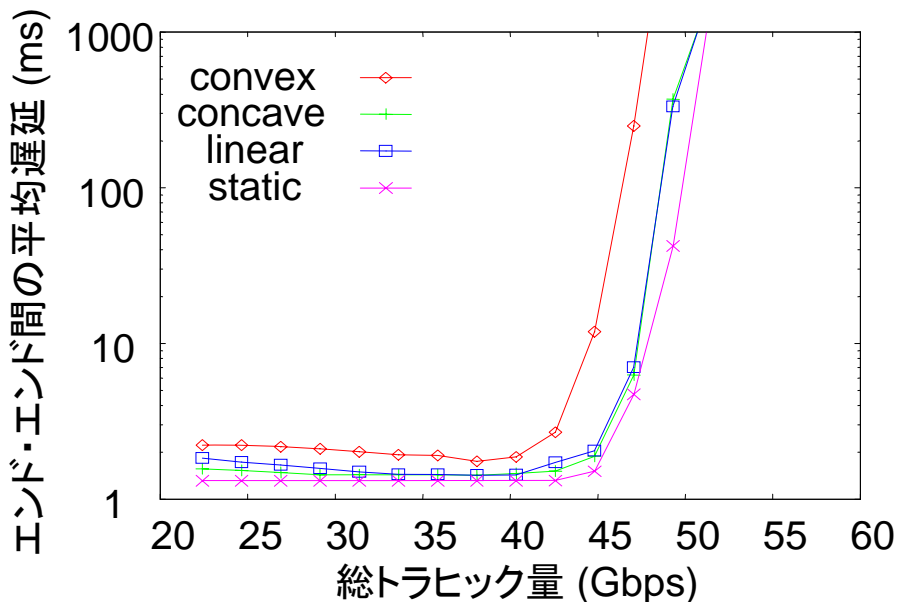
- 200秒ごとにランダムにトラヒックデマンド行列を生成することで変動を与える

■ 提案手法の比較対象として静的論理トポロジ設計手法を利用

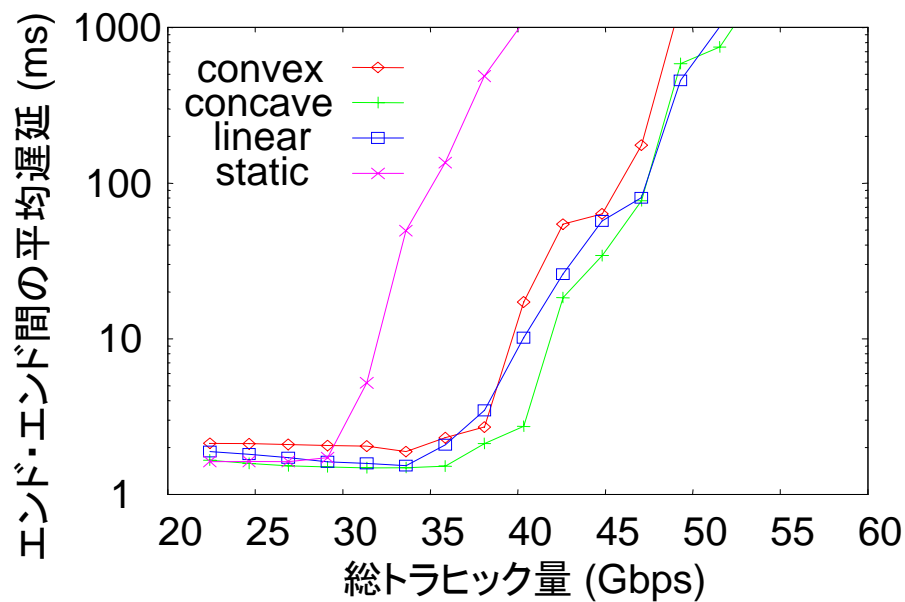
- 与えられたトラヒックデマンド行列の値の大きいノードペア間から順に静的に光パスを設定

■ 流体モデルに基づく計算機シミュレーションを利用

エンド・エンド間の平均遅延



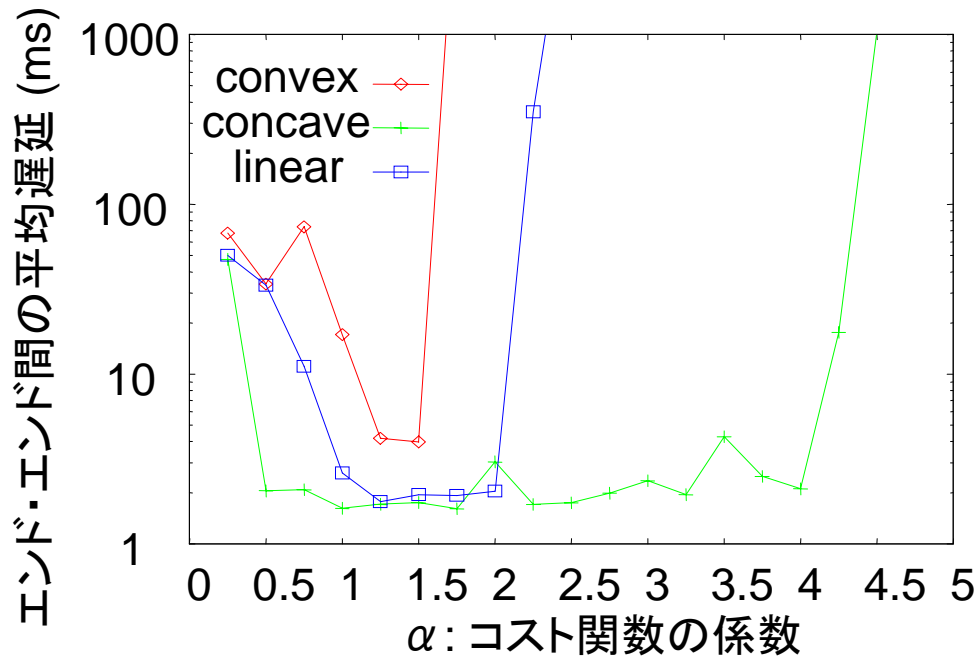
(a) トラヒック変動なし



(b) トラヒック変動あり

- 提案手法はトラヒック変動時の遅延の増加が小さい
 - トラヒック変動に対して耐性がある
- concaveが優れた性能を示している

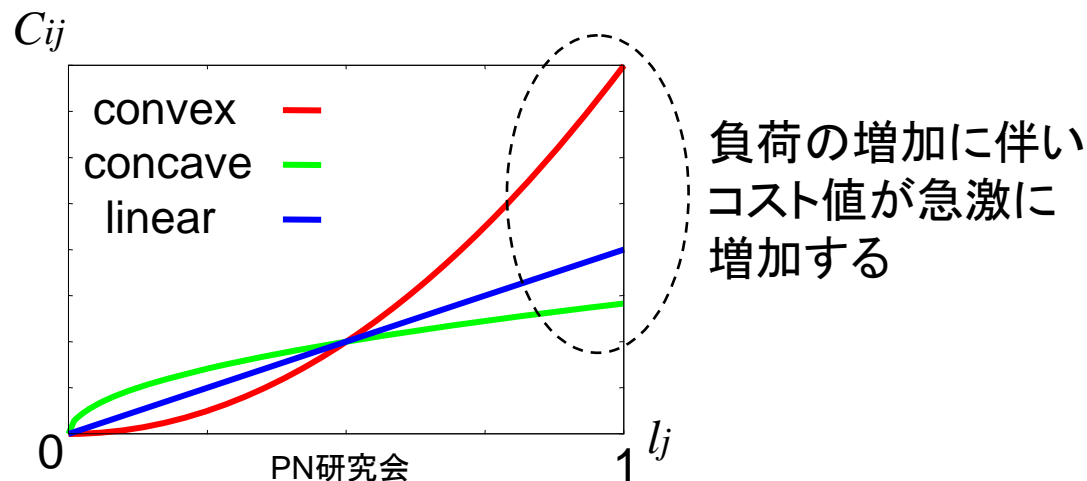
コスト関数の係数 α と遅延の関係 (1/2)



- シミュレーション環境
 - ネットワークに到着するトラフィック量 42.58Gbps
 - トラフィック変動なし
- convex は最適な場合でも遅延が大きい
- concaveは広い α の範囲で最適な性能を示している

コスト関数の係数 α と遅延の関係 (2/2)

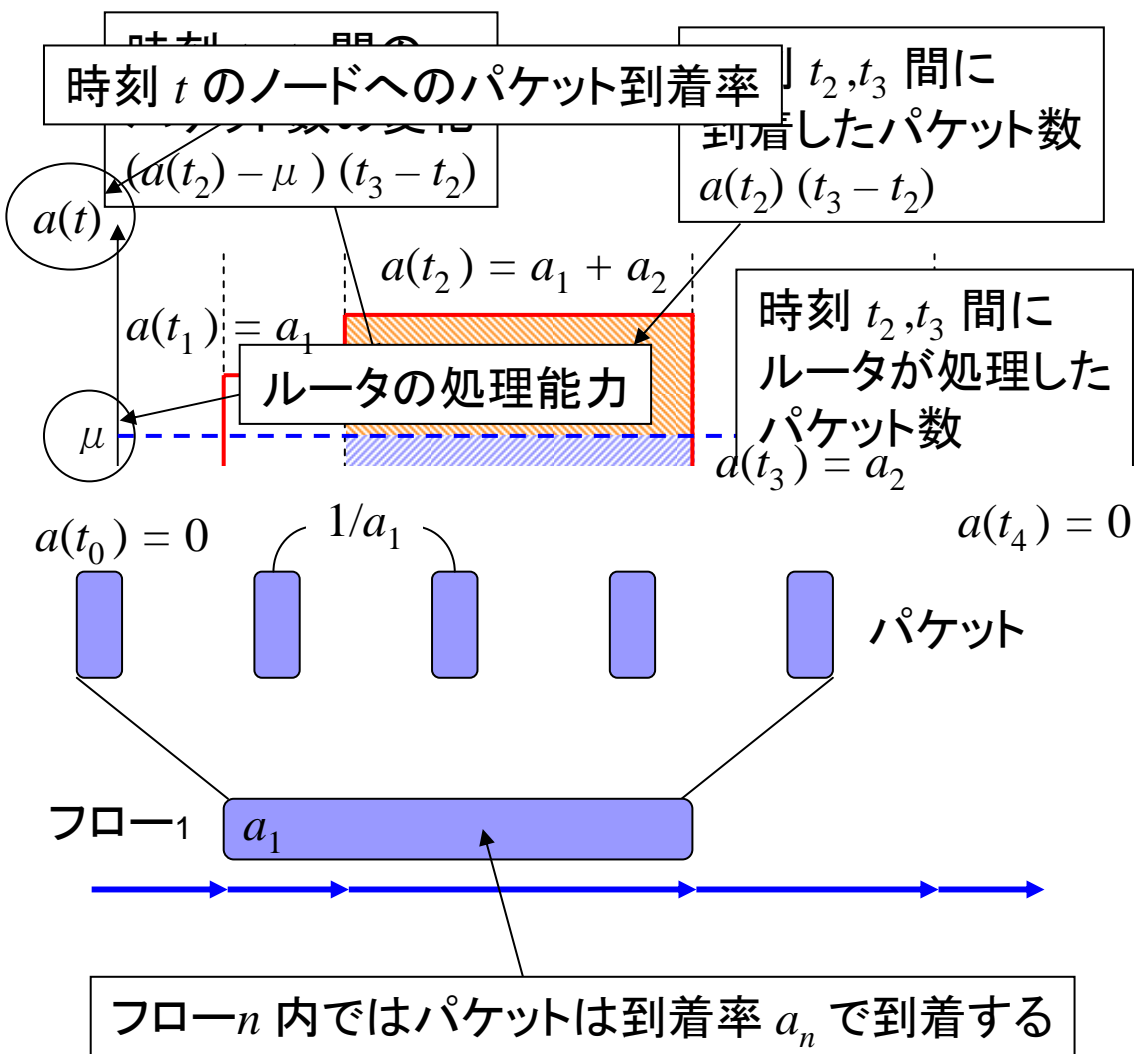
- コストの値による性能の変化の原因
 - コスト値が高い → 光パス設定が促進されない
 - コスト値が低い → 無駄な光パスが設定される
- convexではコストの値が他の関数よりも高くなる傾向がある
 - concaveなどと比較して性能が悪化する



流体モデルに基づく計算機シミュレーション

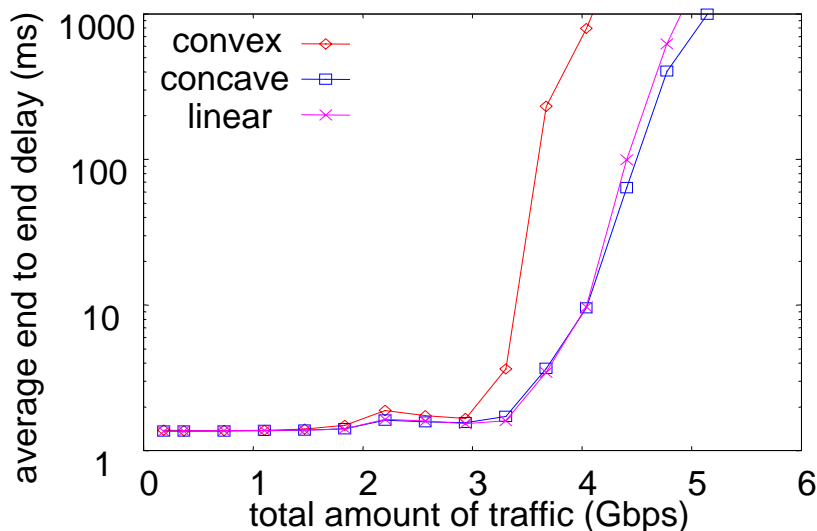
- WDM技術によりリンクが大容量化
 - ネットワーク内のトラヒック量が増加
- パケットレベルの振る舞いをシミュレーションで調査することは困難
- 流体モデルを利用
 - 離散的なIPパケットの到着をフローの到着として扱う
 - 流体モデルによる近似を利用しノードでの遅延を計算する

ノードでの遅延の計算

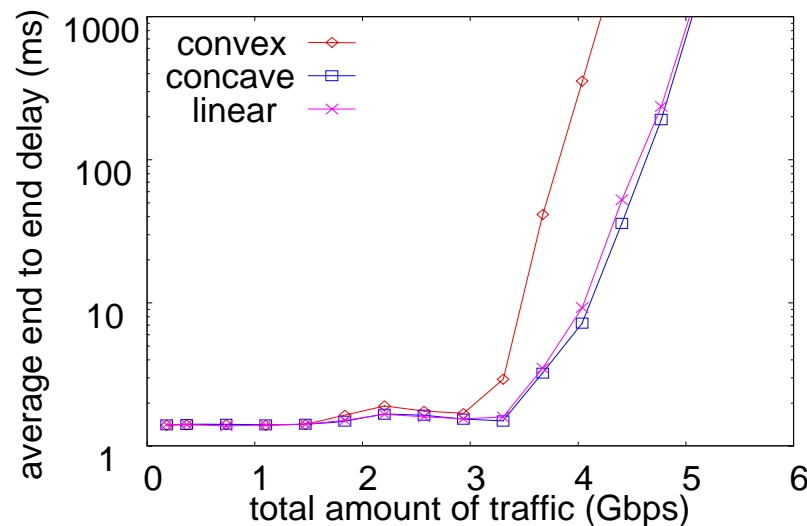


- ノードへのパケット到着率は、各フロー内のパケット到着率の和をとる
- フローの到着、離脱時に到着率を更新する
 - フローの先頭と末尾のパケットのみを転送し、到着率を更新する
- 到着率と時刻からノード内パケット数と遅延を計算する
 - リトルの公式を利用

流体モデルによる近似の妥当性の検証



流体モデルを利用したシミュレーション



パケットレベルシミュレーション

- 近似によってわずかに誤差が生じている
- 遅延の傾向を把握することはできる

まとめと今後の課題

■ まとめ

- WDMネットワークの波長資源の有効利用を目的とした, IP over WDMネットワークにおける統合経路制御手法の提案
- 評価結果
 - 提案手法はトラヒックの変動に対する耐性がある
 - 上に凸なコスト関数が他のコスト関数よりも優れた性能を示している
- 流体モデルに基づいた計算機シミュレーション手法
 - 遅延の傾向を把握することはできる

■ 今後の課題

- 仮想リンクの経路に迂回経路を用いたときの効果を明らかにする