

多階層光パスネットワークにおける再配置アルゴリズムの研究

M2011MM060 佐田裕輔

指導教員：奥村康行

1 はじめに

近年、ネットワーク内を流れるトラフィックの量はインターネットの動画コンテンツの増加などにより増加している。そんな中、限りあるネットワークリソースを効率よく使用し、通信を行うことができる GMPLS による波長パスネットワークが注目されている。またパスネットワークにおいてもトラフィックの増加によりスイッチ規模が大きくなっているという問題が起こっており、これに対して複数の波長パスを一括して扱うことでスイッチ規模を抑えることのできる多階層光パスネットワークが注目されている。本研究ではリソース効率という観点を中心に多階層光パスネットワーク環境において波長パス構成を最適な状態に保つためのパス再配置アルゴリズムについて研究を行った。

2 光パスネットワーク

光パスネットワークを実現するための技術について述べていく。

2.1 GMPLS

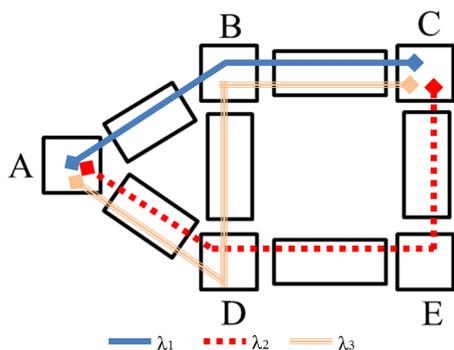


図 1 GMPLS によるパスネットワーク

GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) とは光通信において、光の波長を識別子 (ラベル) として波長ごとにデータを割り当てて通信を行う技術である。通信を中継するノードは光の波長をみて各データの次の送り先ノードを決定するため波長ごとにデータの経路が決定される。ラベル (波長) によって決定する経路のことを LSP (Label Switched Path) と呼ぶ。本研究ではこの LSP をパスと記述する。メリットとして、データの種類などによって割り当てるリソースをコントロールすることができる TE (Traffic Engineering) が可能な点があげられる。図 1 に GMPLS によるパスネットワークの例を示すように宛先、送り先が同じであるデータでも波長ごとに異なる経路を割り当てることが可能である [1]。

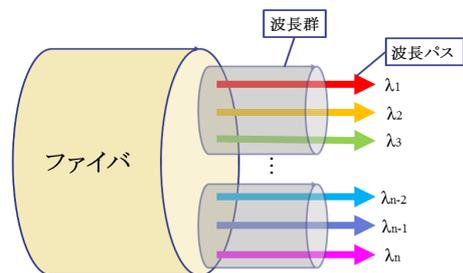


図 2 多階層光パスネットワーク

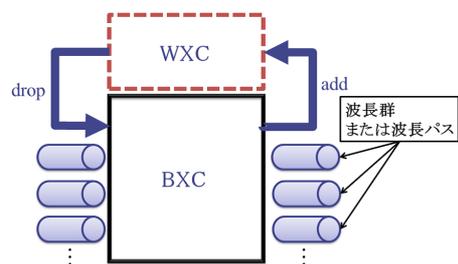


図 3 HOXC

2.2 多階層光パスネットワーク

多階層光パスネットワークの概要図を図 2 に示す。波長を用いたパスネットワークにおいて需要の近接する複数の波長パスを、波長群パスとして論理的に束ね、一本の波長パスとして扱うネットワークである。パスの経路切り替えを行うスイッチである HOXC (Hierarchical Optical Cross Connect) の構造を図 3 に示す。波長群の経路切り替えを行う BXC (WaveBand Cross Connect) と波長パスの経路切り替えを行う WXC (Wavelength Cross Connect) の 2 階層からなる。波長群の導入により一階層光パスネットワークよりもスイッチ規模を抑えることができるため現在研究が行われている [2]。

3 再配置アルゴリズム

再配置とは冗長化した波長パスを最適な状態にすることである [3]。通信を繰り返す中でネットワーク内の波長パス構成は必ずしも常に最適な状態であるとは限らない。それに対し、再配置を行うことでネットワーク内のパス構成を最適な状態に保ち効率のよい通信を行うことが可能となる。現在 3 つの再配置アルゴリズムが提案されており [4]、本研究ではそれら 3 つのアルゴリズムをシミュレーションによって比較する。1 階層光パスネットワークでは波長パス単位、多階層光パスネットワークではそれに加えて波長群単位での再配置を行う。

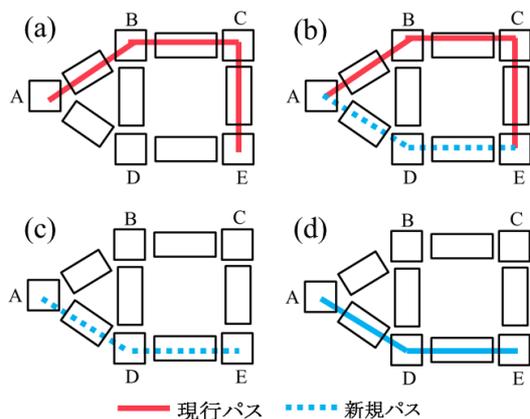


図4 動的再配置方式

3.1 動的再配置方式

動的再配置方式の手順を図4に示す。図2の(a)を初期状態とし、ノードAからEに配置されているパスの再配置を考える。経路の評価指標はパスのホップ数とする。同図(b)の新規経路探索ステップでは、現行パスよりもよりホップ数の少ない新規パスの検索を行う。探索にはダイクスト法を用いる。Aを始点、Eを終点とする経路を探索した場合A→E→F→Gという経路が最適であるという結果がでたので、これを新規パスと設定する。同図(c)のパス切断ステップでは現行パスの切断・解放を行う。このとき、このパスを利用して通信は一時的に切断状態となる。同図(d)のパス配置では、経路探索ステップにて探索した代替経路に光パスを配置して再配置完了となる。これらの処理を優先度の高い波長パス・波長群から行っていく。

3.2 計画的再配置方式

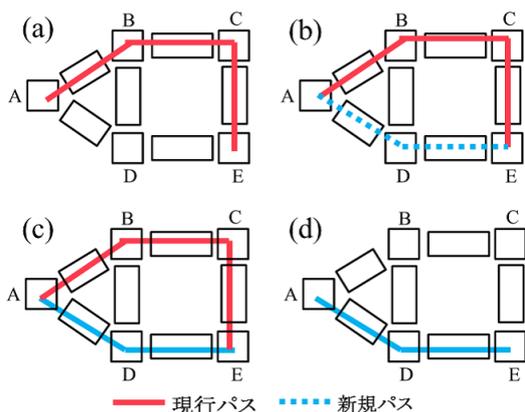


図5 計画的再配置方式

計画的再配置方式の手順を図5に示す。図5の(b)新規経路探索ステップでは、動的再配置方式と同様に新規経路の探索を行う。同図(c)のパス配置ステップでは、新規経路探索ステップで探索した経路に光パスを配置し、現行光パス(実線)から新規路を使用した光パス(点線)への通信の切替を行う。同図(d)のパス切断ステップで不要となっ

た元の経路の光パスを切断・解放し、リソースとして使用できるようにして再配置完了となる。計画的再配置方式では先に新規パスへの通信切替を行ってから、元の経路を切断・解放することにより、動的再配置方式のステップ2と3の間に発生していた通信切断期間をなくし、通信の安定性を確保している。しかし、パスの通信を切り替える直前までリソースを使い続けるので、再配置前のパスが使用していたリソースは新規経路探索の際に使用可能なリソースとして扱うことができない。よって動的再配置方式よりも再配置後のポップ数が大きくなってしまおうと考えられる。

3.3 グリーディ再配置方式

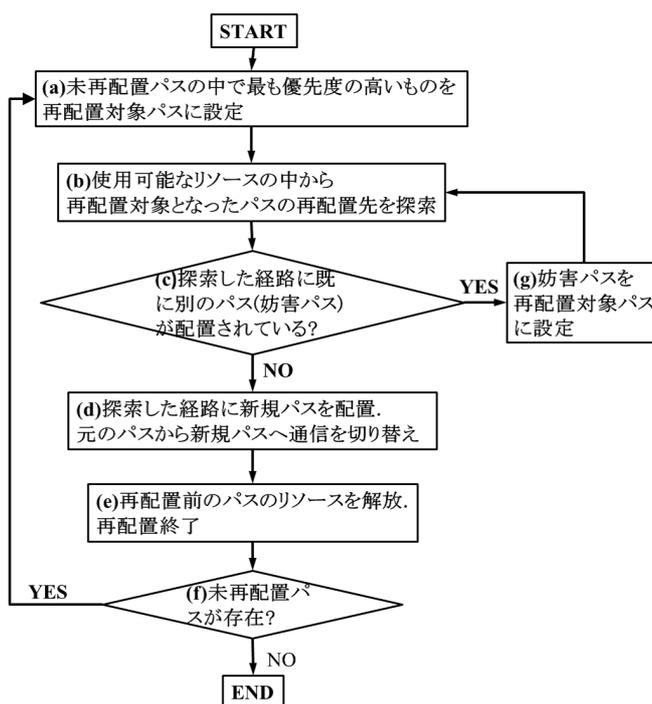


図6 グリーディ再配置方式

グリーディ再配置方式の手順をフローチャートを用いて図6に示す。この方式では再配置処理の再呼び出しを用いて優先度の高いパスの再配置先に既に別のパスが配置されている場合には先にそのパスの再配置を行い回避させながら処理を進めていく方式である。他2方式と異なり優先度の高いパスに優先的にリソースを割り当てることができ、通信の切断も起こらない方式である。図6(b)の新規経路探索ステップにおいて本方式では他2方式とは異なり、再配置対象パスよりも優先度の低いパスが配置されている経路も使用可能なリソースとして探索を行う。ステップ(c)で発見した経路に既に配置されているパスが存在しているかどうかの判定を行い、パスが配置されていなければ同図(d),(e)に従いそのまま再配置を続行する。この場合の再配置処理の手順は前述の計画的再配置方式と同様なものになる。(c)において再配置先に既に他のパス(妨害パス)が配置されていた場合、一旦パス再配置を中断し、再呼び出しにより妨害パスを再配置対象

パスに設定し再配置を行う。これにより妨害パスを退避させることにより優先度の高い元の再配置対象パスのためのリソースを確保することが可能となる。本方式の欠点として非常に混雑したパスネットワークにおける再配置の際に何度も再呼び出しによる妨害パスの再配置が発生し、ノードが行う再配置処理が増え、オーバーヘッドが大きくなってしまふということが挙げられる。

4 シミュレーション

本節では多階層光パスネットワークにおける前述の3アルゴリズム、また一階層光パスネットワークと多階層ネットワークを比較するためのシミュレーションについて記述する。本研究ではC言語によるプログラムを作成、実際のパス再配置をシミュレートし比較を行う。

シミュレーションの手順を以下に示す。

1. 設定したネットワークモデル内に最適なパス構成となるようパスを配置。その際パスに1から10までの値をランダムに設定。値が大きいほど再配置優先度の高いパスとする。
2. 配置されているパスを何本か切断し、リソースを解放。ここで解放されたリソースが余っている状態となるためネットワークが”最適ではないパス構成”となる。
3. 経路の重複するパスを波長群として収容。
4. 優先度の高い波長群から順に各アルゴリズムに基づき再配置を実行（多階層光パスネットワークでのシミュレーションのみ）。
5. 優先度の高い波長パスから順に各アルゴリズムに基づき再配置を実行。
6. 結果を出力。

このシミュレーションを多階層光パスネットワークと1階層光パスネットワークの2つのネットワーク環境下で各アルゴリズムごとに行う。初期に配置するパスの本数は10,50,100,150,300,500本の6パターンとし、パスのホップ数については1~5までの一様な乱数に基づきパスごとに設定する。この条件で各本数につき100回のシミュレーションを行った。

4.1 出力項目

結果として以下の項目を出力する。

1. 配置パスの総距離
ネットワーク内に配置されているパスの距離の和である。リソース効率の比較に用いる。各アルゴリズムのシミュレーションにおいて初期に配置するパスの構成は同様に設定するため再配置後のこの値が小さいほどリソースを効率よく使用した再配置を行うことができたと考えられる。
2. ノード処理数
各ノードが波長群・波長パスの配置・切断処理を行った回数の和である。ノードごとに各々のノードを経由する波長/波長群パスが配置・切断された回数をカウントし全ての再配置が終了した際にそれらの和を

出力する。値が小さいほどノードの行う処理が少なく、それにとまなうノードへの負担を抑えた再配置を行うことができたと考えられる。

4.2 ネットワークモデル

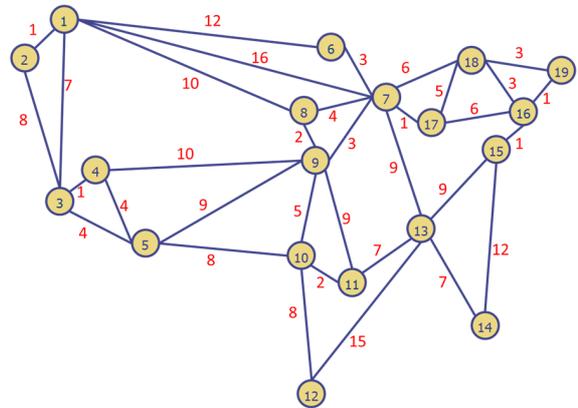


図7 ネットワークモデル

本シミュレーションのネットワークトポロジには図7のようなネットワークモデルを用いる。米大手通信会社 Sprint が公開しているアメリカの MPLS ネットワークを参考に作成したものである [6]。ノード1-2(シアトル-タコマ)間の地理的距離を1としそれを基準とした各ノードの地理的距離をノード間の重みとした。また1ファイバあたりの波長多重数は64, 1ファイバあたりに収容可能な波長群を8, 1波長群あたりに収容可能な波長パスを8と設定した。現在波長変換導入のコストが高く、全てのノードに波長変換の機能を持たせるということはコスト的に難しいため波長変換機能を持たないネットワークを想定する。

5 シミュレーション結果

前述のシミュレーションを行った結果を3つのグラフを用いて述べる。まず多階層光パスネットワーク下において各アルゴリズムの再配置後の総距離数の比較を行った結果のグラフを図8に示す。縦軸は各本数ごとに100通りのシミュレーションを行い、その平均値を出したものである。グラフの各点における縦線は95%の信頼区間を表す。計画的再配置方式が他の2アルゴリズムよりも大きな値を取った。最も総距離が少なかったグリーディ再配置方式は動的再配置方式に比べ約8%パス総距離を抑えることができていた。1階層光パスネットワークにおいても同様の比較を行ったが、3アルゴリズムの関係性は多階層の場合とほぼ同じとなった。次に多階層光パスネットワークと一階層光パスネットワークの各アルゴリズムごとの再配置後総距離の比較を行った。その結果をグラフを図9に示す。グラフの縦軸は各アルゴリズムの各初期パス本数ごとに多階層光パスネットワークと1階層光パスネットワークの再配置後総ホップ数の比(多階層/1階層)をとったものである。最も低い値でも1.0以上の値を取っていることから1階層よりも多階層の方が再配置後のパスの総距離が常に大きくなるっているということ

が分かった。最後にノード処理数についての比較の結果のグラフを図 10 に示す。多階層光パスネットワークがより小さい値をとっており、1 階層と比較して、最大で約 25% のノード処理数を抑えられていることが分かった。

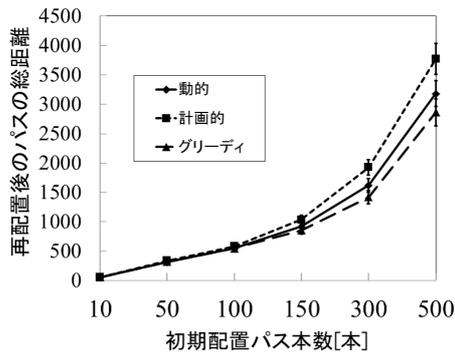


図 8 各アルゴリズムの比較 (パス総距離)

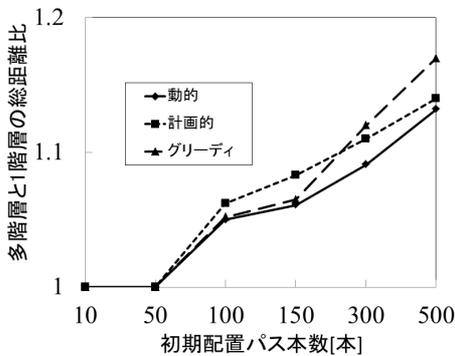


図 9 ネットワークの比較 (パス総距離)

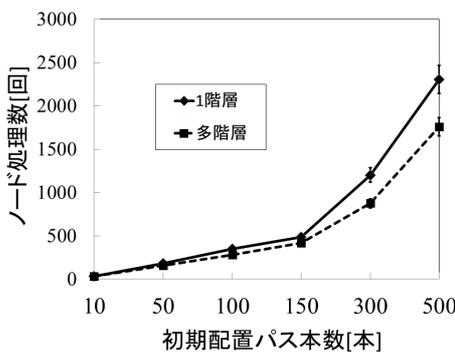


図 10 ネットワークの比較 (ノード処理数)

6 考察

まず図 8 のグラフの結果について考察を行う。動的再配置方式とグリーディ再配置方式に関して、再配置アルゴリズムについての先行研究 [3] における定性的評価において同程度のリソース効率という結果がでていたが本シミュレーションの定量的評価において後者の方がややリソース効率に優れていることが分かった。

次に図 9 の比較について考察を行う。どのアルゴリズムにおいても 1 階層にくらべ、常に多階層光パスネットワークのほうが再配置後の総距離数が大きくなっている。これは多階層光パスネットワークには 1 階層光パスネットワークよりも厳しい波長制約が課されており、再配置の際に利用できるリソースが一階層光パスネットワークよりも制限されてしまうことが原因と考えられる。今後、波長制約によるリソース効率低下を抑える技術である波長変換機能の最適な配置アルゴリズムの研究、低コスト化が進めば効率差は緩和されると考えられる。

最後に図 10 のグラフについて考察を行う。このグラフの結果より多階層光パスネットワークは再配置という処理においてパス切り替えのためのノードの処理数を抑えることができる、ノードへの負担が少ないネットワークであることが分かった。またネットワークが混雑するに従い一階層光パスネットワークとの差が大きくなっているが、これはネットワーク内の波長パスが増えたことにより多くの波長パスを波長群に収容できるようになり、一括処理できる波長パスの数が増えたためであると考えられる。このことから多階層光パスの優位性はより混雑したネットワークにおいて発揮されるということが分かった。

7 課題

今後の課題としては各アルゴリズムの処理速度など今回使用したもの以外の指標を用いたシミュレーションと、波長変換機能を考慮した再配置のシミュレーションが挙げられる。ネットワークコスト削減のためなるべく波長変換器の数を抑えた効率の良い多階層光パスネットワークを構成するためどの位置のノードに波長変換機能を持たせるかを決定するアルゴリズムに関して考察しシミュレーションを行う必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 萩本和男, 山林由明, 今宿互, “身近になる光ネットワーク (17) 光ネットと IP を統合する「GMPLS」,” 日経コミュニケーション, 2005 年 12 月 15 日号 pp154-155, 2005 年 12 月.
- [2] K.Sato, H.Hasegawa, “Prospect and Challenges of Multi-Layer Optical Network”, IEICE TRANS. COMMUN., Vol.E90-B, No.8, pp1890-1902, 2007 年 8 月.
- [3] 高井伸之, 別所雄三, 馬場義昌, “光パス最適再配置方式の提案,” 信学技報, vol.108, no.481, ICM2008-79, pp. 121-126, 2009 年 8 月.
- [4] 三菱電機株式会社, “光パス再配置方法および光通信ネットワークシステム,” 公開特許広報 公開 2010-141704, 2010 年 6 月
- [5] 山田祥之, 長谷川浩, 佐藤健一, “大粒度ルーティング光パスネットワークにおける中間グルーミング導入の効果,” 信学技報, Vol.110, No193, pp. 13-17, 2010 年 8 月.
- [6] Sprint ホームページ, <http://www.sprint.com/>, 2012 年 11 月.