

光 MPLS 網のパス設計について

	NTT サービスインテグレーション基盤研究所	*徳久 正樹 TOKUHISA Masaki
	NTT サービスインテグレーション基盤研究所	能上 慎也 NOGAMI Shinya
01006850	NTT サービスインテグレーション基盤研究所	阿部 威郎 ABE Takeo
01206340	株式会社 構造計画研究所 数理技術部	斉藤 努 SAITO Tsutomu

1 はじめに

本稿では、フォトニック MPLS ネットワークにおける光パス設計法を非線形整数計画問題として捉えたアプローチとその結果について報告する。

2 課題の位置付け

ここで対象としている光パス設計とは、波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)をベースとしたネットワークにおいてあるトポロジーが与えられ、始点/終点ルータ間で光パス(OLSP: Optical Label Switched Path)を設定するとき各パスの経路を決定する問題である(基本的には1つの波長が1つのパスに割り当てられる)。

これは次の2つの観点から新しい課題であり、既存のパス設計法は適用できない。即ち、

- (i)ネットワーク内に波長切替機能有り/無しのルータの混在を考慮する必要があること(従って複数の波長が一つのパスに割り当てられる可能性が有る)[1]、
- (ii)通常使用する「現用パス」と、故障発生や工事の際に現用経路から切り替えてトラフィックを救済するための「予備パス」の両方を設計する必要があること。

3 解導出の手順

まず与えられたネットワークトポロジーを無向多重グラフによってモデル化する。その際に、ルータ間を繋ぐリンクにそれぞれ付帯情報として「距離」と「コスト」を与える。「距離」はリンクの長さの関数であり、「コスト」はリンクの長さや帯域の関数である(パスの距離、コストはこれらのリンクの距離、コストの和で定まる)。次に、入力情報(4.1節)を与え、それにより定まる各種マトリックス(4.2節)を定め、制約条件(4.3節)を満たしかつ目的関数(4.4節)を最小化するものを解として探索する。

4 定式化

4.1 入力情報

入力情報として以下の項目が必要となる。

- ・波長:許容波長数, 波長群の識別番号

- ・ルータ:数, 波長切替回数上限値
- ・リンク:数, 各リンクの容量, 長さ, コスト, 両端のルータ番号
- ・パス:要求パス数, パス長の上限值, 両端のルータ番号, 余剰リンク数, 余剰リンク長
- ・予備経路の要/不要
- ・故障シナリオ(同時故障で使用不可能となるルータ及びリンクの集合):該当ルータ, 該当リンク

4.2 マトリックス

定式化する際の変数の一例として、リンクマトリックスについて述べると、現用パスに関しては、始点番号、終点番号、パス番号、波長番号情報を含み、予備パスについてはそれに加えて故障シナリオ番号が割り当てられる。同様に波長マトリックス、釣合マトリックスも定義される。

4.3 制約条件

制約条件としては、以下のようなものが挙げられる。

- ・全てのリンクの使用帯域が容量以下である。
- ・同一リンクで同一波長が使用されていない。
- ・同一のパスが同一リンク上を重複していない。
- ・各ノードの波長切替回数が上限値以下となる。
- ・各パスの距離が上限値以下となる。
- ・現用経路が故障シナリオの対象となっている。
- ・予備パスが故障した箇所を経由していない。

4.4 目的関数

目的関数は、現用パス設計ではコストの総和と設定する。即ち、制約条件を満たす現用パスの組の中でコストの総和が最小のものを解とする。また、現用&予備パス設計では、(現用/予備パスの両方の)コストの総和と予備パスの数と設定する。即ち、現用/予備パスのコストの総和を最小化し、なおかつ必要な予備パス数が最小になる解を探索する。

5 近似解法アルゴリズム

本検討の設計問題は、NP 困難のクラスに属する非線形整数計画問題になる。波長切替機能付きルータ無しでかつ現用パス設計のみという条件であれば、ノード数が10数個程度であれば厳密解法にて解を求

めることができるが、ノード数の増加とともにすぐに現実的な時間内の解の出力が困難になる。

そこで、現実的な時間で最良の解を出力するために近似解法が必要となる。近似解法のアルゴリズムとしては様々あるが、ここでは計算時間をできるだけ短くしたいという観点から、探索する解空間を絞り込む手法と「ランダム多スタート局所探索法(random multi-start local search)」とを組み合わせた近似解法を提案した[2]。前者は、解空間を最短パス長の α 倍までのパスの集合に絞り込んでおく手法(6.1節参照)である。後者は、初期解をランダムに生成し、それぞれに対して局所最適になるよう探索を実行するものである。具体的には、初期解として発着ルータ間にランダムなルート、波長のパスを与え、更に総コストが小さくなる解がないかどうかを絞り込まれた解空間内で探索する。これを指定した繰り返し回数 R (6.3節参照)だけ実行し、そこで得られた解の中で最良の解を準最適解として出力するものである。

6 パラメータ調整

上記の近似解法を効率的に使用するには、次の項目に関してパラメータ値を調整することが必要になる。(1)絞込み係数: α 、(2)許容波長数: W 、(3)繰り返し回数: R 。今回は、やや複雑なネットワークポロジ(ルータ数18)に対し、要求パスをフルメッシュ(全153パス)で張るものとして評価を行った。前提条件として、全ルータに波長変換機能は無いものとし、また距離は適当に割当て、コストもそれに比例して付与した。

6.1 解空間の絞り込みについて

近似解法を用いて限られた解空間の中から準最適解を見つけるためには解空間の絞り方が重要になってくる。ここでは、 α を変化させて解空間(パス候補の組み合わせ数)との関係を計算させると、 α の増大により解空間が指数関数的に増加していくことがわかった。即ち、 α を増加させて探索すれば最適解に近づくがその分時間がかかるというトレードオフの関係が有る。今回の条件では $\alpha=1.1$ で解を出力できたが、リンク容量やその他の制約によってはうまく解を出力できない場合もある。従って、現実的な時間で解を出力できる程度に解を絞り込むというパラメータ調整が重要になる。

6.2 許容波長数について

要求するパスの本数分の波長数が用意されていれば、各パスに別々の波長を割り当てれば良いが、ネットワーク全体で使用できる波長数に制約がある場合にはそれが解に影響してくる。即ち、他の入力条件を

固定してこの許容波長数 W を減少させていくと、有るポイントで総コストが増加しはじめ、ついには解が得られなくなる現象が生じる。これは、パス長の長い解が選択され始め、ある値を境に波長の割り当てがうまくいけなくなり解を出力できなくなるからである。つまり、許容波長数と総コストがトレードオフの関係になっていることがわかる。今回の条件では、全153パスを設計するのに50程度の波長数があれば十分であることが確認された。

6.3 繰り返し回数について

この近似解法では、初期解をランダムに選択した後に、ローカルサーチ(パス候補の交換、波長の交換)を行っている。このため、初期解選択からの流れを何度も繰り返すことによりよりよい解を得ることができる。

ここでは、解を探索する際にリスタートさせる回数(繰り返し回数) R とパスの総コストとの関係を調べてみた。 R が増加するに従って、総コストは減少することが確かめられた。但し実際に現実的な時間で解を出力するためには、繰り返し回数に上限を設けなければならない。今回の条件の場合には、 $R=10000$ 程度の試行(多重リンクのトポロジーの場合で3分35秒程度)である程度総コストが抑えられることがわかった。

7 まとめ

本稿では、フォトニック MPLS 特有の制約を考慮したフォトニック MPLS ネットワークの光パス設計問題を非線形整数計画問題として捉えたアプローチについて報告した。この最適化問題は NP 困難であり、ごく小規模なネットワークであれば厳密解法で解を求めることができるが、より大規模なネットワークにおいては本稿で示したような近似解法が必要になる。

今後は、より効果的な他の近似アルゴリズムの検討に着手する予定である。

参考文献

- [1] 岡本聡, 渡辺篤, 長津尚英, “フォトニックネットワークにおける網設計及び管理技術,” NTT R&D, Vol.49, pp.59-66, 2000.
- [2] 徳久正樹, 千葉芳之, 巳波弘佳, 能上慎也, “フォトニック MPLS ネットワークにおけるパス設計,” 信学技報, Vol.102, No.90, CQ2002-63, pp.71-74, 2002.