

再構成可能なマルチホップ WDM ネットワークの

5 U-8

動的な波長割当

釘本 健司

NTT 未来ねっと研究所

1 はじめに

近年、インターネットの普及に伴ってトラフィックが増加しつづけている。これに対応するため、一本の光ファイバに異なる波長の光を多重化する技術として WDM (Wavelength Division Multiplexing) が注目されている。WDM には多重化の他に、物理トポロジの上に仮想トポロジ (論理トポロジ) が構築できるという特徴がある。物理ネットワークが連結グラフであり、かつ波長数の制限がなければ、仮想トポロジは物理トポロジにかかわりなくどのような構成可能である。仮想トポロジを動的に再構成することができれば、その時々状況に応じて効率的にネットワークを運用することができる。しかし、現実には一本のファイバに収容できる波長数には制約があるため、仮想トポロジの構成にも制約がある。このため、この制約の範囲内で、もっとも効率的な仮想トポロジを構成するための波長割当の組合せを求める必要がある。ところが、この波長割当問題は NP 困難であり、比較的小さな規模のネットワークでも現実的な時間内で解くことが困難である。そこで、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm)、ニューラルネットワークなどを用いた Heuristic な戦略をもつアルゴリズムが必要となる。

本研究の目的は、この波長割当問題を解く Heuristic なアルゴリズムを追求することである。このとき、ネットワーク全体の遅延ができるだけ小さくなり、かつ、できるだけ多くのトラフィックを取り扱えるネットワークを目標とする。本稿では、この問題を解くアルゴリズムとして GA を取り上げて適用手法を提案し、計算機によるシミュレーションを通して評価する。

2 ネットワークの定義

本論文で扱うネットワークを以下のように定義する。ネットワークはノードとリンクから構成される。ノードは名前と数値から成る。数値は 0 以上で、この数値をノード遅延と呼ぶ。また、リンクとはノード 2 つと数値一つからなる集合であり、二つのノードには方向は無いものとする。数値は 0 以上の値を持ち、リンク遅延と呼ぶ。2 つ以上のノードから成る列を経路と呼ぶ。ここでは方向は考えない。経路の隣り合うノードからなるリンク (経路内のリンクという) は、与えられたリンク集合中に存在しなければならない。また、経路上に同じノードが二つ以上存在してはならない。経路に波長が割り当てられると、経路は通信可能であるという。経路 R1 と R2 があるとき、R1 と R2 に同一のリンク (共有リンクと呼ぶ) が存在しない場合に、同

じ波長を割り当てることができる。経路 R1 と R2 に共有リンクがある場合には、異なる波長を割り当てることで R1 と R2 は同時に通信可能となる。2 つのノードの間が 1 つ以上の通信可能な経路で結ばれるとき、2 つのノードは到達可能であるという。この時のノードの列を到達可能経路という。経路遅延と通信可能経路を接続するノードの遅延の和を到達可能経路の遅延と呼ぶ。ここで経路遅延とは、経路内のリンク遅延の和である。ネットワーク中の到達可能経路の遅延の総和を全遅延と呼ぶ。また、通信を行いたい二つのノードと数値からなる集合を目標対と呼ぶ。数値はノード間のトラフィックをあらわし、目標対が到達可能なときには到達可能トラフィックと呼ぶ。

3 波長割当の目標と組合せ最適化問題

ネットワークに対し、以下を目標として波長を割り当てる。ノードの集合とリンクの集合、経路の集合、目標対の集合が与えられたときに、(1) できるだけ多くの目標対を到達可能とする、(2) 全遅延をできるだけ小さくする、(3) 到達可能トラフィックの総和を最大とする。

ここで波長数は m 以下とする。ノード数を i とし、波長数 m を無限大と仮定すれば、可能な経路は $\frac{i!}{2^{i-2}!}$ 個ある。しかし、実際には可能な経路はポリシー等によって決められるべきものであり、前もって与えられているものとする。いま、あるネットワークに対して可能な経路が n 個与えられるとし、各々の経路に対して任意に波長を割り当てられるとすると、その組合せは 2^n 通りある。この組合せの中で最適解とは、前述の波長割当の目標 (1), (2), (3) を考慮して定義された評価関数による評価値が最良となるものである。しかし、全ての組合せから最適解を求める問題は NP 困難である。そこで、現実的には、評価値が比較的良いと考えられる準最適解を求めることになる。本稿では、準最適解を求めるアルゴリズムとして GA を適用する。

4 GA の適用

前節で述べた波長割り当て問題を解くために、GA を取り上げ、波長割当問題に適用する。ここでは問題の単純化のために第 3 節の (1), (3) の定義を変更して、全ての目標対を到達可能とするような組合せのみを求め、トラフィックについては考慮しないこととした。評価値は全遅延である。

ここで用いる GA を以下のように定義する。

4.1 遺伝子表現とアルゴリズム

遺伝子 gen を、与えられた全ての経路に対応するビット列で表現する。経路が選択されていれば 1、選択され

ていなければ0と表現する。遺伝子には評価値がつけられるものとする。

遺伝子を並べたものをプールと呼び、プール内の遺伝子の個数を $N[X]$ とする (以後 NX)。ここで、 X は世代番号である。操作はプールの各々の遺伝子が高評価値となるように、プールに対して行われる。第 X 世代のプールを $gen[X][0] \dots gen[X][NX-1]$ と表す。

アルゴリズムは1世代の進化が3段階の操作からなる。第1段階でプール内の遺伝子を評価値の昇順にソートする。第2段階は交叉、第3段階は突然変異である。

第1段階は、まずこのプール中の遺伝子の評価値を計算する。このとき、与えられた目標対のどれか一つでも到達可能にできない遺伝子をプールから除く (淘汰)。また、波長数 m では波長割当が不可能となる遺伝子も取り除く。その後、評価値を元に遺伝子を昇順にソートする。

第2段階の交叉とは、親 $P[X]$ から $gen[X+1][2] \dots gen[X+1][NX-1]$ を作ることである。親 $P[X]$ とは、 $gen[X][i], gen[X][j] (i \neq j)$ である。 $P[X]$ は評価値の高い遺伝子が親になる確率が高くなるように選ばれる。こうして選んだ親 $P[X]$ から切断点 C を境として新たな遺伝子を作る (図1)。切断点とは遺伝子の任意の点 (両端は除く) である。切断点で前部と後部に分け、 $P[X][i]$ の前部と $P[X][j]$ の後部を連結して新たな遺伝子をつくる。このようにして新たな遺伝子を $NX-2$ 個作る。作った遺伝子を $gen[X+1][2] \dots gen[X+1][NX-1]$ に置く。プールの残り2個の遺伝子として、現世代での最も評価値の高い遺伝子を2個残すこととし、 $gen[X+1][0] = gen[X][0], gen[X+1][1] = gen[X][1]$ とする。

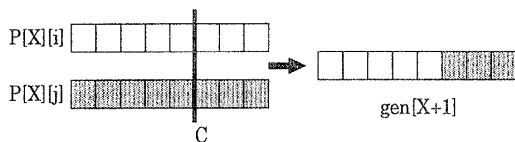


図1: 遺伝子の交叉

また、第3段階の突然変異は、 $[0 \dots 1]$ の値を持つ突然変異率 V が与えられたとき、 $gen[X+1][0] \dots gen[X+1][NX-1]$ の各々の遺伝子に対して、 $[0 \dots 1]$ の乱数 R_i をつくり、 $R_i \leq V$ であれば、 $gen[X][i]$ についてランダムに選んだ遺伝子上の経路を表すビットを反転する。

4.2 シミュレーション

最も全遅延 (評価値) の小さくなる組合せを求めるために、シミュレーションプログラムをLISPで作成した。ひとつは全ての組合せを探索するプログラムであり、もうひとつは前節で説明したGAを用いたプログラムである。シミュレーションはPentium II Xeon 450MHzのPCで行い、LISPシステムとしてFreeBSDの上で動作するTAO/ELIS[1]を用いた。

ネットワークの例として、 a から r までの18個のノードを持つ単純なリング型ネットワークを考える。各々のノード遅延を2とし、リンク遅延は1とする。目標対として、 $(a, k, 100)$, $(a, o, 50)$, $(i, r, 20)$ を与え、経路として、 (a, b) , (b, c) , (c, d) , (d, e) , (e, f) , (g, h) , (h, i) , (i, j) , (j, k) , (k, l) , (l, m) , (m, n) , (n, o) , (o, p) , (p, q) ,

(q, r) , (r, a) , (a, b, c) , (b, c, d, e, f, g) , (d, e, f, g, h, i, j, k) , $(f, g, h, i, j, k, l, m, n, o)$, $(i, j, k, l, m, n, o, p, q, r)$ を与えた。

まず、このネットワークの経路の全ての組合せ 2^{23} 個を全探索したところ、約3日を要した。得られた全遅延のなかで最も小さいものは39であった。

次に、GAを用いたプログラムを使ってシミュレーションを行った。割り当て可能な波長数 m を10、突然変異率 V を0.3として20世代に渡って操作を行った。シミュレーションに要する時間は約5分であった。結果を図2に示す。図中の実線は、プール中の遺伝子で表現されるネットワークの全遅延の平均であり、破線は全遅延のなかで最も小さいものである。世代が進むにしたがって全遅延の最良値が悪くなることはない。

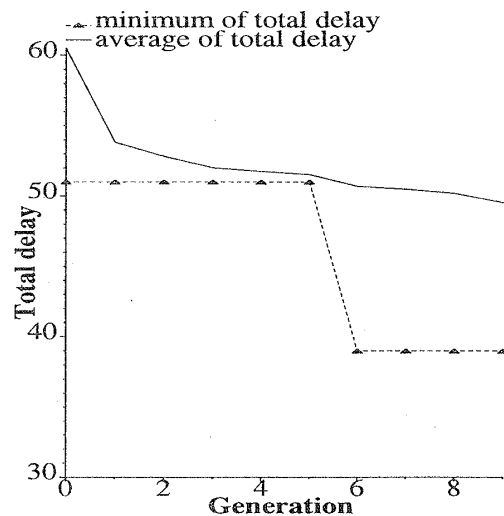


図2: 世代数と全遅延

実験結果から、GAを適用することによって波長割当問題の準最適解を短時間で求めることができ、また世代が進むにしたがってより良い解が得られる可能性があることがわかる。

5 おわりに

本稿では、この問題を解くアルゴリズムとしてGAを取り上げ、問題へのGAの適用手法を提案し、計算機によるシミュレーションを通して評価した。その結果、今回のケースではGAが波長割当問題を解くのに有効であることを示した。

今後はネットワーク構成を動的に変更するために、制限時間内に経路の組合せの準最適解を求める手法について研究を進める予定である。またGA以外の組合せ最適化問題の解法の適用についても検討する予定である。

参考文献

- [1] 天海良治: TAO/ELISのUNIXへの移植, 情報処理学会プログラミング研究会, 17-5, 1998.
- [2] B. Mukherjee: Optical Communication Networks, McGraw-Hill, 1997.