

## ネットワーク最適構成問題への禁断探索法の適用方法の比較

02302573 富山県立大学 \*田中 祥晃 TANAKA Yoshiaki

(申請中) 富山県立大学 高木 昇 TAKAGI Noboru

01401593 富山県立大学 中島 恭一 NAKASHIMA Kyoichi

## 1 はじめに

本研究では、ネットワークの信頼性や遅延特性を一定以上確保しつつ、総コストが最小になるような端局間の回線網の構成問題など、信頼性を考慮したネットワークの最適構成問題を取り扱う。この種の問題は組合せ最適化問題となり、ネットワークの規模が大きくなるにつれ計算量が指数的に増加するため、効率的な近似解法 [1] が必要となる。我々はネットワークの最適構成問題への様々なメタ戦略の適応を試み [2]、その中でも禁断探索法の有効性を示し、その探索の効率化を試みた [3]。

今回は、禁断探索法の効率良く解くための解法を提案し、前回の方法と比較検討を行う。

## 2 ネットワーク最適構成問題

## 2.1 データ構造

グラフのデータ構造は、要素が  $\{0, 1\}$  の隣接行列を用いる。枝の状態を  $x_{i,j} \in \{0, 1\}$  (0:接続されていない, 1:接続されている) と表現した時、グラフの状態は  $(x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{i,j}, x_{|N|-1,|N|})$  と表せる。これをトポロジーと呼ぶ。

## 2.2 問題定義

グラフの全端局間信頼度  $R(\mathbf{p})$  を一定値  $R_0$  以上に確保し、かつ平均遅延時間  $T$  を一定値  $T_{max}$  以下に確保しつつ、総コスト  $Z(\mathbf{x})$  が最小となるグラフを求める。この組合せ最適化問題は以下のように定式化される。

$$\text{Minimize} : Z = \sum_{i=1}^{|N|-1} \sum_{j=i+1}^{|N|} c_{i,j} x_{i,j} \quad (1)$$

$$\text{Subject to} : R(\mathbf{p}) \geq R_0 \quad (2)$$

$$T \leq T_{max} \quad (3)$$

この問題の評価関数を式 (5) に示す。第 2 項以降は制約を満足しなかった時、ペナルティとなる関数である。よって、値が小さくなるほど最適に近いグラフとなる。なお、グラフの信頼度  $R(\mathbf{p})$  の計算についてはモンテカルロ・シミュレーションを用い、遅延時間  $T$  [4] の計算には式 (4) を用いている。

$$T = \left( \sum_{i=1}^{|N|-1} \sum_{j=i+1}^{|N|} \lambda_{i,j} \right)^{-1} \sum_{i=1}^{|N|-1} \sum_{j=i+1}^{|N|} \frac{f_{i,j}}{C_{i,j} - f_{i,j}} \quad (4)$$

$$Z(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{|N|-1} \sum_{j=i+1}^{|N|} c_{i,j} x_{i,j} + \mu \times (\alpha \times (R(\mathbf{p}) - R_0)^2 + \beta \times (T - T_{max}^2)) \quad (5)$$

## 3 禁断探索法

禁断探索法は [5],  $N(x) \setminus (x \cup T)$  の中で最良の解を次の解として選ぶ。  $T$  は、解の循環を避けるために用意される、禁断リスト (短期メモリ) と呼ばれる解集合である。このように、禁断探索法では常に、  $T$  以外の新しい解に移行するため、  $T$  に最近探索した解を含めていけば  $T$  以外の新しい解への移動が強制され、短い周期のサイクリングを防ぐことができる。禁断探索法では更に特定の変数を変更した頻度や探索してきた解の特徴を長期に渡り記憶しておく長期メモリにより、未探索の領域へ探索を方向づけしている。また、  $T$  により解の移動が禁止されている場所でも、未探索の領域へ探索する可能性がある、現在より最適な解を見つける可能性があるといった場合、移動を許可するアスピレーション基準という特例がある。

## 4 探索方法

近傍、禁断リスト、アスピレーション、長期メモリには、様々なものが考えられるが、本研究では 2 つの方法を提案し比較する。なお、近傍に付いては、両方法とも共通で現在のトポロジーを 1 ビット反転したものを用意する。つまり、枝数分の探索解が存在する。

## 4.1 方法 1

禁断リストは  $(t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{i,j}, t_{|N|-1,|N|})$  とし、  $t_{i,j}$  に枝の変換を禁止する回数を入れておく。  $t_{i,j} = 0$  ならば  $x_{i,j}$  の枝を変換できるが、  $t_{i,j} \neq 0$  ならば  $x_{i,j}$  の枝を変更することは許されない。禁止回数は  $x_{i,j}$  の枝が変換されるたびに一定値になり、探索が 1 回進む (近傍を生成し、その中から評価値の低いものを選ぶ) と全ての  $t$  から禁止回数を 1 減少させる。これにより、同じ枝を変換させて探索がサイクリングすることを防ぐ。枝の禁止回数は比較した結果枝数の 1/2 が良かったのでこれを使う。アスピレーションは、禁断リストで  $x_{i,j}$  の変更が禁止されていて

も  $x_{i,j}$  を変更する事で最適解が更新されるなら移動できるようにする。

長期メモリは、暫定解(長期メモリを使用する前で最も良い解)が更新されない回数をカウントし、その回数が10回になると暫定解のトポロジーを全反転させる操作を行う。そして、禁断リストの探索禁止回数を初期化 ( $t_{i,j} = 0$ ) し暫定解に移動先の解を入れ探索を続ける。

## 4.2 方法2(前回提案した方法[3])

禁断リストは長さ10の待ち行列にし、探索したトポロジーを記録しておく。禁断リストに記録してあるトポロジーと同じものが近傍にあれば、これらのトポロジーを近傍から削除する。アスピレーションは15回探索を行い最適解が更新されなければ、禁断リストに含まれているトポロジーの中で最も評価値の良い所へ遷移を行う。

長期メモリは  $(lm_{1,1}, lm_{1,2}, \dots, lm_{i,j}, lm_{|N|-1,|N|})$  とし、枝  $x_{i,j}$  の更新回数を  $lm_{i,j}$  にカウントする。長期メモリの使い方は、閾値  $M$  とパラメータ  $AC$  を用意し、アスピレーション基準を連続実行した回数が  $AC$  を越えた時、長期メモリ内のカウント数が  $M$  以下の枝の場所は全て反転するとした。その際、長期メモリ内のカウントを全て初期化する。  $M, AC$  の値は  $(10,1)$  が最も良い結果が得られたのでこれを使う。

## 5 結果の比較

比較は、方法1と方法2、方法1の長期メモリを外したものの3で行う。扱う問題は枝数が10,21,28,36,45,105,190本の完全グラフのネットワークである。それぞれの問題に対して初期値を変え10回の計算を行い、その平均をとる。図1ではある枝数の問題に対して平均相対誤差を表したものである。サンプル数(探索した述ベグラフ数)は20万としている。図2は枝数が190本の問題でサンプル数に対する平均相対誤差を表している。

図1より、問題の規模が小さい場合(10~36)はどれも変わらないが問題の規模が大きく(45~190)になると方法によって差が現れてきた。図2では、長期メモリの効果ははっきりと見られる。また、方法1と方法2では、方法2の方が良い結果になっている。

## 6 まとめ

方法1と方法2とでは方法2の方が良い結果が得られた。問題の規模が小さい場合は禁断リストだけでも十分良好な結果が得られることが分かり、問題の規模が大きいと長期メモリの必要となる結果となった。今後の課題として、今まで行ってきた設定が他の問題でも通用するのかどうか調べていきたい。

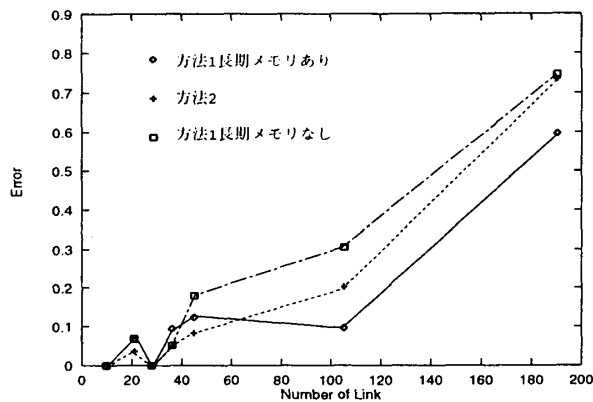


図1 ある枝数の問題に対する平均相対誤差

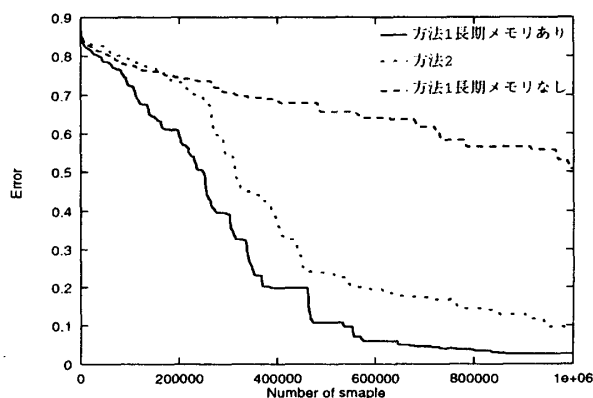


図2 枝数190の問題のサンプル数に対する平均相対誤差

## 参考文献

- [1] 柳浦 陸憲, 茨木 俊秀: “組合せ最適化問題に対するメタ戦略に付いて”, 電子情報通信学会論文誌 D-I Vol.J83-D-I No.1(2000年1月), p3-25.
- [2] 田中 祥晃, 得能 豊, 高木 昇, 中島 恭一: “信頼性を考慮したネットワークの最適構成問題へのメタ戦略の応用”, 1999年度日本OR学会秋季研究発表会アブストラクト集 1-C-4(1999)P50-51
- [3] 田中 祥晃, 高木 昇, 中島 恭一: “ネットワークの最適構成問題への禁断探索法の適用”, 2000年度日本OR学会秋季研究発表会アブストラクト集 2-F-5(2000)P242-243
- [4] Samuel Pierre, Ali Elgibaoui: “A Tabu-Search Approach for Designing Computer-Network Topologies with Unreliable Components”, IEEE Trans on Reliability, VOL.46, NO.3, 1997 SEPTEMBER.
- [5] Fred Glover: “A user's guide to tabu search”, Annals of Operations Reserch 41(1993)3-28