2000年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

ネットワークの最適構成問題への禁断探索法の適用

02302573 富山県立大学 *田中 祥晃 TANAKA Yoshiaki
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

これまで，信頼性を考慮したネットワークの最適構成問題に対して様々なメタ戦略を適用し，それらの解法を比較検討してきた [1]．比較したメタ戦略 [2] は，多スタート局所探索法，模擬アニーリング法，禁断探索法 [3]，遺伝的アルゴリズム，遺伝的局所探索法である．総合的に信頼性を考慮したネットワークの最適構成問題では禁断探索法が最も良いという結果が得られた．しかし，この禁断探索法は局所探索をしていない．それにもかかわらず，良好な結果が得られた理由に禁断リストや長期メモリがあげられる．これらのオペレータは，同じグラフの探索をできるだけしないようにしており，この操作が信頼性を考慮したネットーワークの最適構成問題に非常に有効であると考えられる．

本研究では，禁断探索法を改善し，アスピレーション基準という反復動作を取入れ，信頼性を考慮したネットワークの最適構成問題の効率的な解法を試みる．

2 ネットワーク最適構成問題

ネットワークを確率的グラフ $G=(N,L,\mathbf{p})$ としてモデル化する．

- G 確率的グラフ
- N 節点 $n_i(i=1,2,\cdots,n)$ の集合 $\{\ n_i\ \}$
- L 節点 n_i,n_j 間の枝 $l_{i,j}(i,j=1,2,\cdots,n)$ の集合 $\{\ l_{i,j}\ \}$
- $\mathbf{p}$ 枝 $l_{i,j}$ の信頼度 $p_{i,j}$ の集合 $\{\ p_{i,j}\ \}$

グラフ G は節点内の接続状態 (枝状態) によって表され，枝 $l_{i,j}$ にはコスト $c_{i,j}$ が伴う．

- $x_{i,j}$ 枝の状態 $x_{i,j}\in\{0,1\}$
- $\mathbf{x}$ グラフの状態 $(x_{1,1},x_{1,2},\cdots,x_{i,j},\cdots,x_{|N|-1,|N|})$
- $c_{i,j}$ $l_{i,j}$ のコスト [$\$/month$]

2.1 データ構造

グラフ G 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 G の状態は $(x_{1,1},x_{1,2}\cdots x_{i,j},x_{|N|-1,|N|})$ と表せる．これをトポロジーと呼ぶ．

2.2 問題定義

グラフ G 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．

$$\begin{aligned} \textit{Minimize} \ &: \ Z=\sum_{i=1}^{|N|-1}\sum_{j=i+1}^{|N|}c_{i,j}x_{i,j} && (1)\\ \textit{Subject to} \ &: \ R(\mathbf{p})\geq R_0 && (2)\\ & \quad\ T\leq T_{max} && (3)\end{aligned}$$

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，$N(x)$ $(x\cup T)$ 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

本研究では，二つの解法を試みた．

方法1 (前発表 [1] による禁断探索法)

- 近傍は，現在のトポロジーを上位ビットから順に1ビット反転したものを用いる．
- 禁断リストは ***Frist in frist out*** の性質を持つ長さが10の待ち行列とする．
- 長期メモリは枝数分の一次元配列を用意し，更新のあった枝の回数をカウントする．長期メモリの使い方は，各枝のカウント数を毎回評価関数に組み込むこととしている．

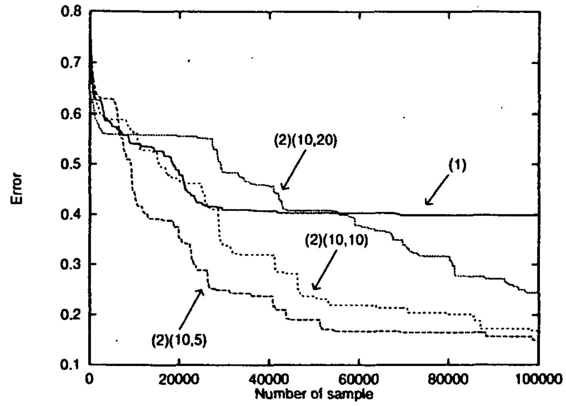
方法2 (アスピレーション基準を考慮した方法)

- 近傍，禁断リストの内容は方法1と同じとする．
- アスピレーション基準は15回の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．
- 長期メモリは枝数分の一次元配列を用意し，更新のあった枝の回数をカウントする．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 (0ならば1，1ならば0) 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．

方法1は，局所探索法にはなっていないが各枝を万弁なく変化させることで，幅広い探索を行っている．方法2は局所探索をし，解の更新がなくなったらアスピレーション基準により局所解付近の探索，長期メモリにより探索空間の変更を行っている．

5 結果の比較

ここでは問題の枝数が45本 (節点数10) に対して，本研究中得られた最適解の平均相対誤差の，サンプル数に対する変化の様子を示す．方法1の結果を1，方法2の結果を2としている．2に関しては $(M, AC) = (10,5), (10,10), (10,20)$ のものを示す．結果は両方とも問題の対し初期値を変え，10回の計算を行いその平均をとった．



6 まとめ

本研究では，ネットワークの最適化構成問題で禁断探索法のアスピレーション基準の使用と，長期メモリの改善で効率的な探索を試みた．詳しいデータは当日発表させて頂く．

参考文献

[1] 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

[2] 柳浦 睦憲，茨木 俊秀：“メタ戦略のロバスト性について”，第8回 *RAMP* シンポジウム論文集 (1996),p109-124.

[3] Fred Glover : “A user's guide to tabu search”, Annals of Operations Reserch 41(1993)3-28

[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.