

ノード信頼度の相関関係を考慮したアドホックネットワークの信頼度制約問題について

02005720	法政大学	*阿部 祐二	ABE Yuji
01900070	法政大学	若山 邦紘	WAKAYAMA Kunihiro

1. はじめに

近年、既存の交換機や基地局に依存せずに、ネットワークの構築が可能な無線携帯端末がノードとして構成するアドホックネットワークの研究が盛んに行われている。アドホックネットワークでは、端末自体が交換機機能を有しているため自由に動かすことが出来、柔軟にかつ低コストで構築が可能である。すなわち、ある限られた域内で簡易なネットワークの構築の手段として有効である。遠く離れたユーザとの通話は、相手のユーザの途中にいるユーザの端末を経由することにより行うことができる。しかし、トポロジーが動的に変化することによる通信回線の不安定性や、同一周波数帯を用いるための中継ノードでの電波の干渉、通信負荷の増大が問題となる。アドホックネットワークにおいて、中間端末間でどの端末を経由して情報を転送していくか、その経路の決定が極めて重要である。すなわち経路の最適化により、複数の送信元からそれぞれの送信先へ通信経路を分散する事で、上記の問題緩和が可能となる。その際経路には安定に利用可能なリンクを極力利用する事が望ましい。また、利用可能なノード（端末）の、通信を維持する性能によっても安定性は変わってくる。そこで信頼度向上のためにこれまで研究されてきたアドホックネットワークのための信頼度制約ルーティング問題に、新たにノード信頼度の相関関係を加え、組み合わせ最適化問題として定式化し、そのアルゴリズムを考えながらアドホックネットワークの信頼度について検証する。

2. 信頼度制約ルーティング問題

2.1 問題背景

本問題を定式化するにあたり、いくつかの仮定を与える。

例えば図 1 の様にネットワークトポロジーをグラフで表現する。グラフの各頂点はネットワーク上のノード、各辺はノード間のリンクを表している。

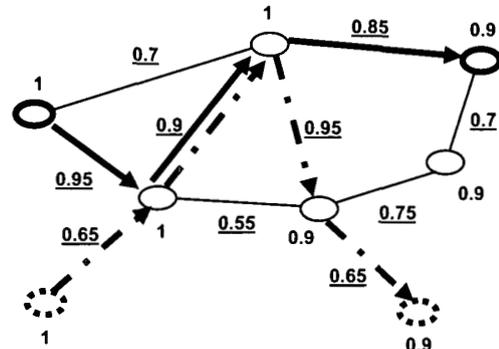


図 1. ネットワークトポロジーの例

各リンク、ノードにはそれぞれリンク信頼度、ノード信頼度が存在する。今回はネットワークトポロジー、リンク信頼度、ノード信頼度及び各ノードのユークリッド座標が、何らかの方法で与えられるものとする。また、本アルゴリズムはトポロジーの変化には未対応であるから、与えられたトポロジーが変化しない程度の微小時間を想定する。

リンク信頼度、ノード信頼度とは、そのリンク、ノードが安定に使える程度を意味する。それぞれの信頼度は $[0,1]$ の範囲で与えられる実数値である。また、ある2局間のマルチポップの信頼度はその経路を構成するリンクの信頼度とノードの信頼度の積で表されるものとする。経路の信頼度が低い程回線が途切れる恐れがあり、本アルゴリズムでは高信頼性を優先するように経路を考える。

本問題では、各通信経路を異なるノードを経由する様に分散する事で電波の干渉、ノードの負荷を抑制することが目的であるが、今回は分散化の指標としてノードの度数に着目する。度数とは、1回の通信に必要な、そのノードのパケットの送受信回数である。各経路で通過するノードに対して中継ノードなら+2、始点（送信元）、終点（送信先）は+1とし、全経路での合計をそのノードの度数とする。

この度数の最大値を経路の変更により小さくする。つまり、

次数の最大値を最小化することで各通信経路を分散化が出来たものとし、これを本問題における目的関数とする。

2. 2 問題の定式化

本問題を以下のように定式化する。

始点の集合 S ，終点の集合 D ，ユニキャスト SD ペア $SD_i = (s_i, d_i)$ 。ここで、 $s_i \in S, d_i \in D, (i=1, \dots, N)$ ， N は SD ペア数とする。また経路信頼度の下限 Δ を与える定係数 α ，各 SD ペアの信頼度を p_{SD_i} ，各 SD ペアの経路のみを対象とした時の、ノードの次数を x_{SD_i} とすると、

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & p_{SD_i} \geq \Delta \\ \text{min. Max} & [x_{SD_i}] \quad (1) \end{aligned}$$

3. 二段階アルゴリズム

本問題ではまず第一段階で各 SD ペアに対し、同時に複数個の経路探索を行い、その結果を経路候補として記憶する。同時に経路候補の中から初期解を選択する。第二段階で経路候補の置換を繰り返すことによって最適な経路を探索する。以下、第一段階、第二段階の順に説明を行う。

3. 1 経路候補及び初期解生成段階

第一段階では、各 SD ペアに対して、信頼度制約を充足する中で、その値の大きなものから、後述する関数 K_{SD_i} で与えられる個数の経路を生成し、それらを候補として記憶しその中から初期解となる経路を選択する。SD 間の距離が短いほど、存在する中継ノードが少なく、経路選択のバリエーションが限られてくるので、まずユークリッド距離の最小のペアは信頼度最高の候補を選択する。残りの SD ペアは、ユークリッド距離の昇順に経路を選択した時の目的関数の増加を最小とする候補を選択する。以下がそのアルゴリズムである。

1. ダイクストラ法により、各 SD ペアの信頼度最高の経路とその信頼度を求める。
2. 1. で得られた信頼度最高経路の中で、最小の値に定係数 α を乗じたものを信頼度下限 Δ とする。
3. 各 SD ペアについて、制約条件を充たす経路の中から、 K_{SD_i} (式 (2)) の経路を、経路の信頼度の値の大きいものから順次生成し、経路候補として記憶する。
4. SD 間のユークリッド距離が最小のペアは経路の信頼

度最高の候補を、残りの SD ペアはユークリッド距離の昇順に、経路を選択した時の目的関数の増加を最小とする候補をそれぞれ選択し、初期解とする。

3. 2 経路候補数関数の設定

解精度向上のためにはある程度の数の経路候補を用意し、経路候補に多様性を持たせる必要がある。そこで、経路の多様性はノード数及び SD ペア間の距離に依存する事から経路候補数関数 K_{SD_i} をこれら 3 要因から導くようにした。ここで、 A は定係数、 n はノード数、 N は SD ペア数、 l_{SD_i} は SD ペア間の距離である。

$$K_{SD_i} = A(n+10N+l_{SD_i})+1 \quad (2)$$

3. 3 解改善段階

第二段階では、目的関数の値を定めるノードを通過する SD ペアを 1 つ選択し、その SD ペアに対する現在の選択経路以外の経路で目的関数値最小となるものを経路候補の中から選択し、置換する。その様な経路候補が複数ある場合は、経路の信頼度が最も高い経路を選択する。この操作を繰り返すことで解の探索を行う。以下がそのアルゴリズムである。

1. 目的関数値を与えるノードを通過する経路を 1 つランダムに選択する。
2. 他候補を使用した時の目的関数値を確認する。
3. 現在の目的関数値以下になる候補が存在する場合は、目的関数値を最小とする候補の中で最も信頼度の高い候補に置換する
4. この作業を一定回数繰り返したら終了する。

本問題の詳しい実験結果、考察等は当日発表させて頂く。

参考文献

- [1]熊野英嗣「アドホックネットワークのための信頼度制約ルーティング問題とそのアルゴリズムの提案」岡山大学大学院自然科学研究科
- [2]角田良明, 大田知之「アドホックネットワークルーティング」オペレーションズ・リサーチ(2003.3)