

アドホックネットワークにおける ネットワークトモグラフィを用いた電力推定手法の提案

桑嶋 真也[†] 中村 嘉隆[†] 高橋 修[†]

[†]公立はこだて未来大学 システム情報科学部

1. はじめに

無線通信技術の発達に伴い、ユビキタスネットワーク社会を実現する技術として、無線接続できる端末のみで構成されたネットワークであるアドホックネットワークが広く研究されている。また、近年、Voice over IPといったリアルタイム性の高いサービスが増えている。こうしたサービスをユーザが利用していて不快にならないように安定して提供するには、ネットワークの通信品質を把握し、常に高く維持しておかなければならない。

ネットワークの内部状態把握を実現する技術としてネットワークトモグラフィ(Network Tomography)が挙げられる[1]。ネットワークの内部状態には遅延やパケットロス率、輻輳などがある。既存の研究は主に遅延[2][3]やパケットロス率[1][2][3]の推定に関するものであり、電力といったその他の内部状態を推定する研究は少ない。

そこで本稿ではネットワークトモグラフィを用いてアドホックネットワークにおいて重要な内部状態のひとつであるノードの残余電力を推定することを目指す。

2. 関連研究

ネットワークの内部状態を知るための技術の一つに、ネットワークトモグラフィ(Network Tomography)がある。ネットワークトモグラフィとは、対象のネットワークのエンド・ツー・エンド計測により得られる計測情報からネットワークの内部状態であるリンク性能やノード状態を推定する技術である[1]。この技術を用いることによりネットワークの内部状態を個々に調べるより低コストで計測することが可能となる。

ネットワークトモグラフィは線形逆問題として定式化され、数学的に解くことができる。推定したい内部状態を $\mathbf{x} = (x_1 \ x_2 \ x_L)^T$ (L はリンク数, T は転置を表す), エンド・ツー・エンド計測によって得

られたパスの計測情報を(M はパス数, T は転置を表す)とすると, \mathbf{x} と \mathbf{y} の関係はネットワークのパスとリンクの構造を表す $M \times L$ の行列 $A \in \{0,1\}^{M \times L}$ を用いて

$$\mathbf{y} = A\mathbf{x} \quad (1)$$

という線形方程式として定式化できる。図1に内部状態を推定したいネットワークのトポロジ例を示す。図1中の矢印はデータの流れを表す。 $e_{j,k}$ がノード j から k へのリンクを表すとする、図1における計測パスは $path1 = (e_{1,2}, e_{2,3})$, $path2 = (e_{1,2}, e_{2,4})$ のようになり、このときの行列 A は以下のように表される。

$$A = \begin{pmatrix} e_{1,2} & e_{2,3} & e_{2,4} \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} path1 \\ path2 \end{matrix}$$

式(1)を解くことによって内部状態 \mathbf{x} を推定できる。しかし、 $M < L$ となると一意に内部状態 \mathbf{x} を定めることができない不良設定問題となるが、複数のパスの計測情報の相関関係などから、式(1)を最適化問題と見なすことで、既存の数学的手法を使用し効率的に解くことができる[4]。

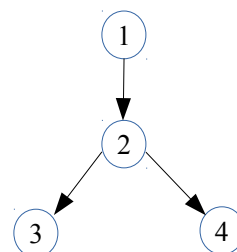


図1 ネットワークのトポロジ例

3. 提案方式

本稿では、アドホックネットワークにおいて重要な内部状態のひとつであるノードの残余電力をネットワークトモグラフィを用いて推定する方式を提案する。

前提条件として、アドホックネットワークでは通常、ノードは移動してもかまわないが、ネットワー

“An energy estimation method in ad-hoc network using network tomography”

Shinya Kuwajima[†], Yoshitaka Nakamura[†], Osamu Takahashi[†]
[†]School of Systems Information Science, Future University
 Hakodate

クトポロジの変化などは推定結果に悪い影響を与えることが先行研究から確認されている[5]。従って、本研究においては、ノードは移動しないものとして推定を行う。また、推定の際、対象のネットワークのトポロジ全体は既知のものとする。

エンド・ツー・エンド計測により得られた計測情報から内部状態を推定するための数学的手法はいくつかある。不良設定な線形逆問題である式(1)を効率的に解く手法は主に、MLE(Maximum Likelihood Estimation: 最尤推定)、ベイズ推定、EMアルゴリズム(Expectation Maximization algorithm)が挙げられる。しかし、MLEやベイズ推定は高い推定精度を得るために事前分布を知る必要があるが、実際に得ることは難しいとされている[5]。従って、本研究ではEMアルゴリズムを使用して内部状態のひとつである電力を推定する。

内部状態をノード j の放電率 c_j (%)とおき、パス i の放電率を C_{pathi} とおくと、パスとノードの関係は $C_{pathi} = \sum_{j \in pathi} c_j$ と表すことができ、電力残余率(%)との関係は $100 - c$ と表される。このとき x , y はそれぞれ $x_j = c_j$, $y_{pathi} = C_{pathi} = \sum_{j \in pathi} c_j$ と表される。

EMアルゴリズムは反復法的一种であり、EステップとMステップからなる。Eステップは現在の推定されているパラメータ θ' の分布に基づいて、尤度の期待値を計算する。

$$Q(\theta, \theta') = E_{x|y, \theta'} \log p(y_n; \theta), n=1, \dots, m$$

E は期待値を表し、 $\log p(y_n; \theta)$ は対数尤度関数を表している。MステップではEステップで求められた尤度の期待値を最大化するようなパラメータを求める。

$$\theta^i = \underset{\theta \in \Theta}{\operatorname{argmax}} Q(\theta, \theta')$$

Mステップで求められたパラメータは次のEステップで使用される潜在変数の分布を決定するために用いられる。二つのステップを交互に繰り返すことで計算が進行し、パラメータの最尤推定値が定まる[5]。

4. 基本評価実験概要

提案手法の有効性を確かめるための実験を検討している。実験はネットワークシミュレータであるns3上で行う。ノードを配置し、送信元ノード、あて先ノードを決めて通信する。推定の際の不良設定性を弱めるために、通信経路の一部を含む予備経路をとる。通信経路および予備経路上の電力残余率を収集し、提案手法を用いて個々のノードの電力残余率を推定する。このとき電力残余率が推定されるノードは予備経路を含めた通信経路上にあるノードとなる。実験で用いるトポロジ例を図2に示す。

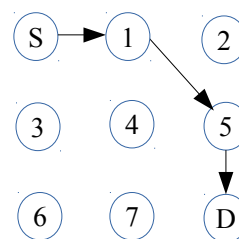


図2 実験用トポロジ例

5. おわりに

本稿ではアドホックネットワークにおけるネットワークトモグラフィを用いた電力推定手法を提案した。提案手法によって、アドホックネットワークにおいて測定対象となった各ノードの電力残余率が推定されることが期待される。

今後はns3上での提案方式の実装、有効性の評価を課題とする。また、推定精度向上のために、最適な計測パスを得ることができるルーティングプロトコル、電力消費を表す確率分布、詳細な電力の振る舞いを表す電力消費モデル等を検討していく。

6. 参考文献

- [1] 宮本敦史, 渡辺一帆, 池田和司, “アクティブ計測とパッシブ計測を用いたパケット損失率推定法,” 信学技報, vol. 111, no. 480, pp. 117-121, 2012.
- [2] Yi Gao, Wei Dong, et al., “Passive Per-Packet Delay Tomography in Wireless Ad-hoc Networks,” IEEE International Conference on Madrid, Distributed Computing Systems(ICD-CS), pp. 419-428, 2014.
- [3] Ye Yao and Wandong Cai, “Ad Hoc Network Measurement Based on Network Tomography: Theory, Technique, and Application,” JNW, vol. 5, no. 6, 2010.
- [4] 松田崇弘, 永原正章, 林和則, “ l_1/l_2 最適化を用いたネットワークトモグラフィ,” 信学技報, vol. 110, no. 449, pp. 211-216, 2011.
- [5] M S Khan, “Network tomography application in mobile ad-hoc networks,” University of Louisville, 2013.