

# 適応的論理型ネットワークモグラフィにおける初期観測パス選択に関する検討

A Study on Initial Path Selection in Adaptive Boolean Network Tomography

向本 将規<sup>1</sup>      松田崇弘<sup>1,3</sup>      原晋介<sup>2,3</sup>      小野文枝<sup>3</sup>      滝沢賢一<sup>3</sup>      三浦龍<sup>3</sup>  
Masaki Mukamoto    Takahiro Matsuda    Shinsuke Hara    Fumie Ono    Kenichi Takizawa    Ryu Miura

大阪大学大学院工学研究科<sup>1</sup>      大阪市立大学大学院工学研究科<sup>2</sup>  
Graduate School of Engineering, Osaka University    Graduate School of Engineering, Osaka City University  
独立行政法人情報通信研究機構<sup>3</sup>  
National Institute of Information and Communications Technology

## 1 まえがき

複数の観測パス上を通過させたパケット転送の成否から故障ノードを特定する論理型ネットワークモグラフィについて検討する。論理型ネットワークモグラフィにおいて、効率的な故障検出を実現するため、故障箇所疑いのあるノード集合に応じた適応的観測パス設定手法が提案されている [1]。本稿では、適応的観測パス設定手法における適切な初期観測パス選択について検討する。

## 2 論理型ネットワークモグラフィ

ネットワークモグラフィは、エンド-エンドの観測情報からネットワークの内部状態を推定する手法である。論理型ネットワークモグラフィでは、観測情報と内部状態を 0 と 1 の 2 値で表す。M 本のパス上で得られた観測情報を  $y = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_M)$  とすると、 $y_m = 0$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) のとき、パケットがパス m を通過したことを表し、 $y_m = 1$  のとき故障ノード通過のためパケットが廃棄されたことを表す。また、ノード数を N とし内部状態を  $x = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N)$  と表す。 $x_n = 0$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) のときノード n は正常、 $x_n = 1$  のとき故障を表す。論理型ネットワークモグラフィは、y とパケットの通過経路から x を推定する問題である。

文献 [1] では、少ない観測パス数で故障箇所を推定するため、適応的観測パス設定手法が提案されている。本手法では、図 1 に示すように、まず送受信ノード間に初期観測パス集合を設定し、故障ノードの疑いのあるノード集合 (故障ノード候補集合) を決定する。次に、故障ノード候補集合に応じて、故障ノード候補集合が最小となるまで逐次的に観測パスを追加する。

文献 [1] では、初期観測パス集合は、パス数が少なくなるように設定されている。しかし、単に観測パス数が少なくなるように初期観測パス集合を設定すると、パス長が長くなり、パケットが通過するノード数が増加し、ネットワーク資源浪費の原因となる。また、初期観測パス集合により判定後の故障ノード候補集合が大きくなる可能性もある。本稿では、次式のようにパス長の最大値を拘束条件とした観測パス数の最少化問題を解くことにより初期観測パス集合を決定する。

$$\min \sum_m p_m \quad \text{subject to} \quad \sum_m p_m e_{mj} \geq 1 \ (\forall j \in N) \\ \sum_j p_m e_{mj} \leq t \ (\forall m \in M_{\text{all}})$$

ただし、 $p_m$  ( $m = 1, 2, \dots, M_{\text{all}}$ ) は、パス m が初期観測パスとして選択された場合  $p_m = 1$ 、そうでない場合  $p_m = 0$  とする。 $M_{\text{all}}$  は候補となる観測パス数であり、

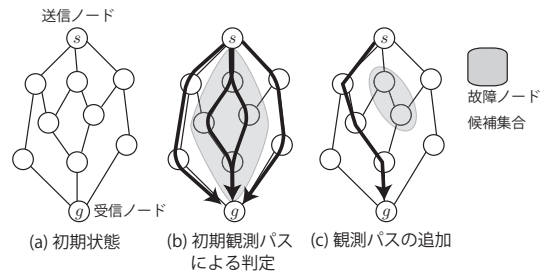


図 1 論理型ネットワークモグラフィ

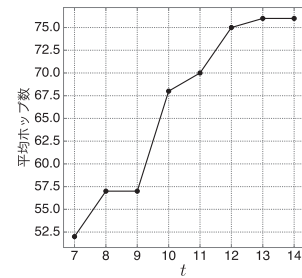


図 2 性能評価結果

本稿では送受信ノード間の全観測パスを用いる。また、 $e_{m,j}$  はパス m がノード j を含んでいる場合、 $e_{m,j} = 1$ 、そうでない場合  $e_{m,j} = 0$  とする。最初の拘束条件は、全ノードが初期観測パス集合のいずれかのパスに含まれることを表し、次の条件ではパス長を制限している。

## 3 性能評価

ノード数 14、リンク数 22 のネットワークポロジリーに対し、送受信ノードを除くノードのうち 1 カ所を故障させ、上記に述べた手法を適用した。図 2 は、t に対するパケットが通過するノード数の総数を示している。図より、最大パス長を抑制することによりネットワーク資源の消費量を抑えられていることがわかる。

## 4 まとめ

適応的な論理型ネットワークモグラフィにおける初期観測パス構築手法を提案し、その有効性を確認した。

謝辞 本研究成果の一部は平成 26 年度総務省委託研究開発「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携および共用技術の研究開発」、および科学研究費補助金基盤研究 (B) (No. 25289115)、基盤研究 (C) (No. 25330102)、挑戦的萌芽研究 (No. 24656243) による。

参考文献 [1] 向本他, 信学技報, vol. 114, no. 209, CQ2014-65, pp. 147-152, 2014 年 9 月。