

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330102

研究課題名(和文) 高信頼無線ネットワークのためのトモグラフィ技術

研究課題名(英文) Tomography Techniques for Reliable Wireless Networks

研究代表者

松田 崇弘 (Matsuda, Takahiro)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50314381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高信頼な無線通信ネットワークを構築するためのネットワーク計測技術について検討した。まず、無線マルチホップ上の故障ノードや故障リンクを同定するためのネットワークトモグラフィについて検討し、そのための適応的論理型ネットワークトモグラフィを提案した。シミュレーション実験により少ない経路数で効率的に故障ノードを特定できることを確認した。また、信号減衰の空間分布を推定するためのRFトモグラフィについて検討し、圧縮センシングを用いた手法を提案しその有効性をシミュレーション実験により確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we study network monitoring techniques to construct reliable wireless networks. We first consider a network tomography scheme to identify failure nodes or links in wireless multihop networks such as wireless mesh networks and wireless sensor networks, and propose an adaptive new Boolean network tomography. Simulation experiments show that the proposed network tomography scheme can identify failure nodes with a fewer measurement paths. We next consider a RF tomography scheme to estimate spatial distribution of shadowing loss, and propose compressed sensing-based RF tomography scheme. Simulation experiments show that the proposed schemes can estimate the spatial distribution efficiently.

研究分野：通信ネットワーク工学

キーワード：ネットワーク計測 圧縮センシング ネットワークトモグラフィ

1. 研究開始当初の背景

近年、音声や映像など主に人が利用する情報を転送するだけでなく、機械対機械で通信することを目的とした通信システムが主要な技術となりつつある。このような通信システムは M2M (Machine-to-Machine)通信と呼ばれる。M2M 通信には、工場等で使われる制御システムを、無線ネットワーク等を利用して遠隔操作するネットワーク化制御システムも含まれる。このような通信システムでは、システムを安定に動作させるために高信頼な通信路を構築する必要がある。高信頼な通信路を構築するためには、ネットワーク上のどの部分が劣悪であるのかを的確に把握するためのネットワーク計測が必須である。また、ネットワーク計測は、大規模災害が発生した際に迅速に情報通信インフラを復旧させるための技術としても必要であり、ネットワーク計測技術の重要性はますます高まっている。

2. 研究の目的

本研究では、主に無線ネットワーク内部の通信品質を測定するための計測技術について検討する。情報通信ネットワークのネットワークアーキテクチャは階層的な構造により設計されるため、ネットワーク計測技術もそれぞれの階層に応じた手法を検討する必要がある。本研究では、ネットワーク層の計測技術として、ネットワークトモグラフィについて検討し、物理層の計測技術として RF トモグラフィについて検討した。

ネットワークトモグラフィは、図 2 に示すようにネットワークのエンド-エンド間のパケット送受信の結果から、リンク毎やノード毎の通信品質等、ネットワーク内部の状態を推定するための技術である。一方、RF トモグラフィは、図 1 に示すように、送受信端末間の信号電力の減衰量からネットワークが存在する空間全体の伝搬環境を推定するための技術である。

本研究では、ネットワークトモグラフィおよび RF トモグラフィに関して、少ない観測数で高精度な推定を実現するための技術を開発し、その有効性を示すことを目的とする。

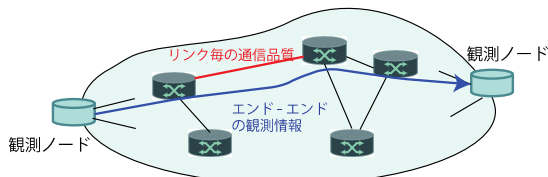


図 2 ネットワークトモグラフィ

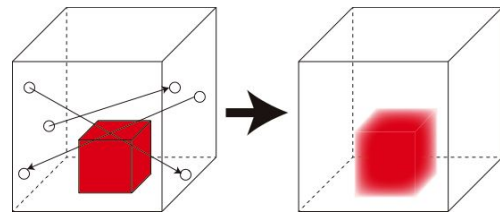


図 1 RF トモグラフィ

3. 研究の方法

本研究では、(1)ネットワークトモグラフィの研究開発、(2) RF トモグラフィの研究開発の二つに分けて研究を進めた。

(1) ネットワークトモグラフィの研究開発

ネットワークトモグラフィを実際のネットワークに適用する場合、計測したいリンク数やノード数以上の観測数を必要とする技術は効率的であるとは言えず、より少ない観測数での通信品質推定が必要である。また、多くの場合、全てのリンクやノードの状態を知る必要はなく、品質の劣悪なリンクやノードだけを抽出すれば十分な場合もある。そこで、本研究では圧縮センシングを用いてネットワークトモグラフィを実現することとした。圧縮センシングは、線形逆問題として定式化されたスパースベクトルの推定手法として知られており、未知ベクトルの個数よりも少ない観測数で未知ベクトルの推定を可能とする。

また、この考えをさらに拡張し、通信リンクの品質を良好なリンクと劣悪なリンクに分類して二値で表現した論理型圧縮センシングによるネットワークトモグラフィについても検討した。論理型ネットワークトモグラフィは、エンド-エンド間の観測値とネットワーク内部の状態が論理式で表現され、劣悪なリンクのみを効率的に抽出することができる。

(2) RF トモグラフィの研究開発

RF トモグラフィは、ネットワークが存在する空間の外部に無線送受信端末を設置し、端末間の信号受信電力から信号が通過していない位置も含めて空間内の全座標での信号減衰量を推定する技術である。本研究では、無線伝搬路特性の空間相関が強い環境を想定する。このような伝搬路は、周波数領域等に変換することによりスパースベクトルとして表現することができる。この性質を利用し、本研究では圧縮センシングを用いた RF トモグラフィを提案する。

4. 研究成果

(1) 論理型ネットワークトモグラフィによるネットワーク故障検出

論理型ネットワークモグラフィにより、通信品質の劣悪なノードを故障ノードとして検出する手法について検討した。

既存の論理型ネットワークモグラフィでは、ネットワークの複数のノードに観測ノードを接続し、それらの観測ノード間で計測用のパケットを送受信することにより故障検出が行われていた。しかし、特に大規模災害時の故障検出等の場合、実際にはコストや物理的な制約から多くの観測ノードを設置できない場合が多い。そこで本研究では、ネットワーク上の2つのノードのみに観測ノードを接続可能であるという前提で、論理型ネットワークモグラフィを実現した。この場合、ネットワーク形状により、故障ノードを精度良く推定するためには多くの観測経路を設定する必要がある。この問題を解決するため、本研究では適応的な経路設定手法を提案した。

提案手法の概要を図3に示す。提案手法では、故障が発生しているノードの箇所を段階的に推定することにより、既存の手法よりも少ない観測経路数で故障ノード推定を可能とする。

故障が起こっている可能性のあるノード集合を故障ノード集合と呼ぶことにする。初期状態では全てのノードを故障ノード集合の要素とする(図3(a))。全ノードが一つ以上の経路を通過するように複数の経路を設定し、これを初期観測経路とする。初期観測経路を通過したノードは全て正常ノードであるとし(図3(b))、残りの故障候補ノードに応じて追加の観測経路を設定し(図3(c))、故障候補ノード集合が最小となるまで経路を追加する(図3(d))。

シミュレーション実験により提案手法の性能を評価し、既存の非適応的なネットワークモグラフィよりも観測経路数を大幅に削減できることを確認した。

(2) テンソル型圧縮センシングを用いた RF トモグラフィ

オフィス等、屋内での伝搬環境を外部に設置された無線端末間で信号を送受信することにより推定するための RF トモグラフィについて検討した。既存の手法はネットワークが存在する領域を2次元平面と見なして伝搬路推定を行われていたが、本研究では3次元空間上での RF トモグラフィについて検討した。

3次元空間の無線伝搬路特性は、空間上の各座標での電力減衰量を要素とすると3次元テンソルとして表現することができる。遮蔽物によるシャドウイング等が発生する領域では、減衰量の空間相関が強いため、このテンソルをフーリエ変換するとスパースなベクトルとして表現することができる。また、無線端末間の信号減衰量と各座標での信号減

衰量の関係は線形な方程式で定式化すること

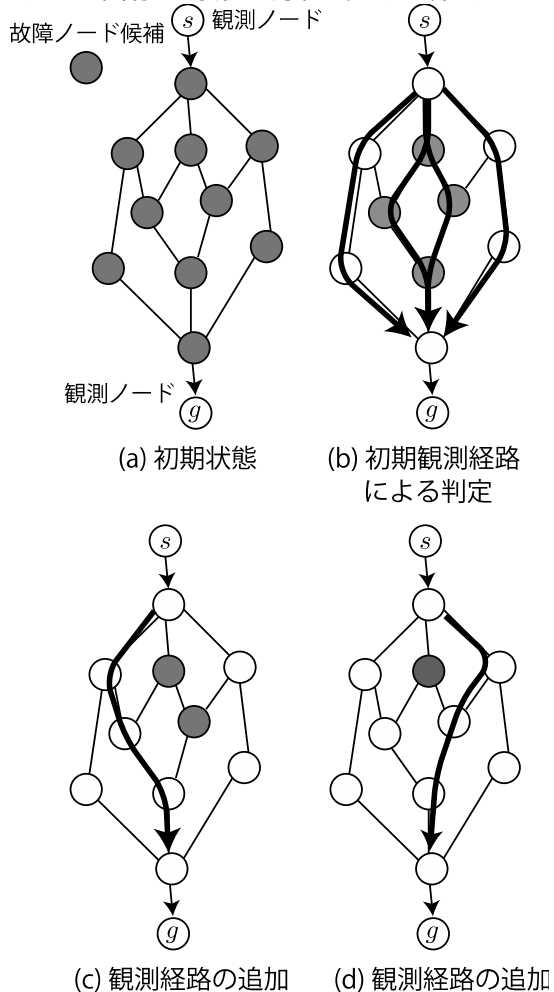


図3 適応的論理型ネットワークモグラフィ

とができる。そこで、圧縮センシングによる RF トモグラフィを実装し、シミュレーション実験によりその有効性を確認することができた。さらに、テンソルを低ランク近似することにより推定するテンソル再構成型の圧縮センシングについても検討し、通常の圧縮センシングよりも効果的であることを確認した。

また、時間変動する3次元空間上の伝搬路特性は4次元テンソルとして表現することができる。そこで、4次元テンソルによる圧縮センシングあるいはテンソル再構成を用いた RF トモグラフィについても実現し、時間変動が緩やかな場合には有効であることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Kensuke Nakanishi, Shinsuke Hara, Takahiro Matsuda, Kenichi Takizawa, Fumie Ono, Ryu Miura, ``Synchronization-Free Delay Tomography Based on Compressed

Sensing,' ' IEEE Communications Letters, vol. 18, no. 8, pp. 1343-1346, Aug. 2014.

〔学会発表〕(計 10 件)

Tatsuya Morita, Takahiro Matsuda, and Tetsuya Takine, ``Spatially Dependent Loss Tomography for Multihop Wireless Networks,' ' Proc. the 30th International Conference on Information Networking 2016 (ICIN 2016), Jan. 2016.

Masaki Mukamoto, Takahiro Matsuda, Shinsuke Hara, Kenichi Takizawa, Fumie Ono, and Ryu Miura, ``Adaptive Boolean Network Tomography for Link Failure Detection,' ' Proc. IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2015), May 2015.

向本将規, 松田崇弘, 原 晋介, 滝沢賢一, 小野文枝, 三浦龍, ``適応的論理型ネットワークトモグラフィのための発見的観測パス構築手法,' '信学技報, vol. 115, no. 496, CQ2015-118, pp. 61-66, 2016 年 3 月.

松田崇弘, 滝根哲哉, ``空間相関の強い無線伝搬路に対する無線ネットワークトモグラフィ,' '信学技報, vol. 115, no. 327, CQ2015-92, pp. 91-94, 2015 年 11 月.

松田崇弘, ``信号処理技術によるネットワークトモグラフィの解法,' '信学技報, vol. 115, no. 321, IT2015-45, pp. 7-14, 2015 年 11 月.

森田達也, 松田崇弘, 滝根哲哉, ``地理的依存性のある無線伝搬路に対するグラフフーリエ変換を用いたネットワークトモグラフィ,' '信学技報, vol. 115, no. 206, CQ2015-45, pp. 31-36, 2015 年 9 月.

向本将規, 松田崇弘, 原 晋介, 滝沢賢一, 小野文枝, 三浦龍, ``移動ノードを用いた論理型ネットワークトモグラフィによるネットワーク故障検出手法,' '信学技報, vol. 115, no. 11, CQ2015-3, pp. 11-14, 2015 年 4 月.

6. 研究組織

(1)研究代表者

松田 崇弘 (Matsuda Takahiro)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50314381