

令和元年5月28日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00124

研究課題名(和文) 時間空間相関を考慮した無線ネットワークトモグラフィ

研究課題名(英文) Wireless Network Tomography Considering Spatio-Temporal Correlation

研究代表者

松田 崇弘 (Matsuda, Takahiro)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：50314381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無線ネットワークの時空間相関性を考慮した無線トモグラフィ技術について検討した。特に、ドローン通信のための受信電力の空間分布推定技術と屋内RSSマップ推定技術の二つの研究課題に取り組んだ。前者ではテンソル型の無線トモグラフィによる空間分布推定手法とドローンの経路制御手法を提案し、後者では移動端末を用いたカルマンフィルタに基づく無線トモグラフィを提案した。両手法ともシミュレーション実験によりその有効性を確認している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で検討している無線トモグラフィでは、信号処理・統計的推定理論に基づく手法を用いており、最新の理論を現実の問題に応用するという意味で学術的意義は高い。また、対象としている問題はドローン通信や緊急時の位置推定等、今後ますます重要となる問題であり、社会的にも意義のある研究である。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have considered wireless network tomography techniques considering spatio-temporal correlation properties in wireless links. We tackled two different network tomography problems: estimation of spatial distributions of received power for drone communication and indoor RSS map estimation. In the former problem, we proposed a tensor-based wireless tomography scheme and a route control for drones for the wireless tomography scheme. In the latter problem, we proposed a Kalman filter-based wireless tomography using mobile measurement nodes. We validated both the schemes with simulation experiments.

研究分野：情報通信工学

キーワード：トモグラフィ 無線通信 空間相関

## 1. 研究開始当初の背景

情報通信ネットワークの構造は多様化・複雑化しており、そのような状況の中で高信頼な通信を実現するには、ネットワークの内部を計測し、その通信品質を把握することが必要である。しかし、大規模なネットワークや内部構造が未知である通信システムにおいては、その通信品質を的確に把握することは困難である。ネットワークトモグラフィは、通信システム外部から内部に向けて送出された信号やパケットの応答からネットワーク内部の状態を推定するための手段であり、上記の問題を解決するための一つの有効な方法である。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまで何年かにわたり検討してきたネットワークトモグラフィで得られた知見を発展させ、無線ネットワークにおけるトモグラフィ技術について検討する。無線ネットワークでは、フェージング等様々な原因により、伝搬路特性が時間的・空間的に相関の強い性質を持つ。そこで、この相関性の強さを利用した新たなトモグラフィ手法について検討した。本研究では、ドローンネットワークのための受信電力マップ推定手法、および屋内減衰マップ推定のための無線トモグラフィの2つをターゲットとし、それぞれに対し新たな手法を提案し、それらの有効性をシミュレーション実験により検証した。

## 3. 研究の方法

### 3.1 受信電力マップ推定

無人航空機（ドローン）を用いた通信では、ドローンを安心かつ安全に運用するため、地上局とドローン間、あるいはドローン間における高信頼な通信路を確保する必要がある。本研究では、ドローンが飛行する3次元空間上での受信電力の空間分布を計測する方法について検討している。ドローンが飛行する広大な領域内の全ての箇所における受信電力を推定することは、膨大な手間を要する。そこで、本研究では、受信電力分布の空間相関の強さを利用したトモグラフィ手法により、効率的に受信電力マップを推定する手法を提案した。具体的には、図1に示すように、ドローンが通過した経路上で計測された受信電力を用いて領域全体の受信電力マップを推定する。このとき、受信電力マップに強い空間相関を仮定すると、圧縮センシングの技術を用いることにより少ない観測数で受信電力マップを推定することができる。図1は簡単のためドローンが同じ高さを飛行している2次元平面上での提案手法の動作を示しているが、実際には3次元空間上で推定を行うことができる。また、受信電力マップの変化の激しい領域は詳細な推定を行うために観測数を増やし、そうでない領域は観測数を減らすようにドローンの飛行経路を設定することにより、効率的な推定を行う手法についても提案した。

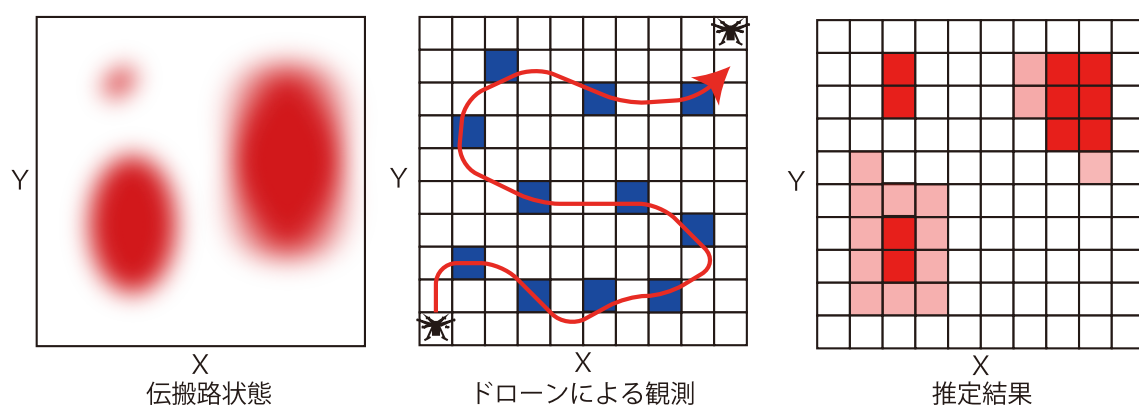


図1 受信電力マップ推定

### 3.2 屋内減衰マップ推定

屋内で位置推定を行う場合、GPSを用いることが困難であるため、事前に位置が分かっている地点（アンカーポイント）からの相対的な関係を用いることにより位置推定が行われる。受信信号強度（RSS: Received Signal Strength）を用いた屋内位置推定手法もその一つであり、複数のアンカーポイントからのRSS値を用いて位置推定が行われる。本研究では、火災が発生している建物など容易に踏み込むことが困難な領域においてRSSを用いた位置推定を行う手法について考える。具体的には、火災現場に突入する救助隊員の安全を確保するための位置推定が応

用先として考えられる。

RSS を用いた位置推定手法において、信号が伝搬する経路上に遮蔽物が存在した場合、受信電力の減衰が大きくなるため、位置推定の精度が劣化する。この問題を解決するためには、領域内の各地点での信号減衰量（減衰マップ）を推定すればよいが、上記に述べたような緊急時には、減衰マップを事前に知ることは困難である。そこで本研究では、無線トモグラフィによる減衰マップ推定手法について検討した。無線トモグラフィでは、領域外部に無線端末を配置し、無線端末より領域内部に送出された信号の減衰量から減衰マップを推定する手法である。既存の無線トモグラフィ手法では、多数の無線端末を領域外部に配置する手法が提案されているが、本研究では、図2に示すように、ドローン等移動端末を領域外に配置し、移動端末を用いた観測により無線トモグラフィを行う手法について検討した。移動端末を用いることにより等価的に多数の観測値を得ることができる。提案手法では、移動端末から得られる観測値と減衰マップの関係を状態空間モデルとして定式化し、カルマンフィルタを用いて減衰マップを推定する手法を提案している。

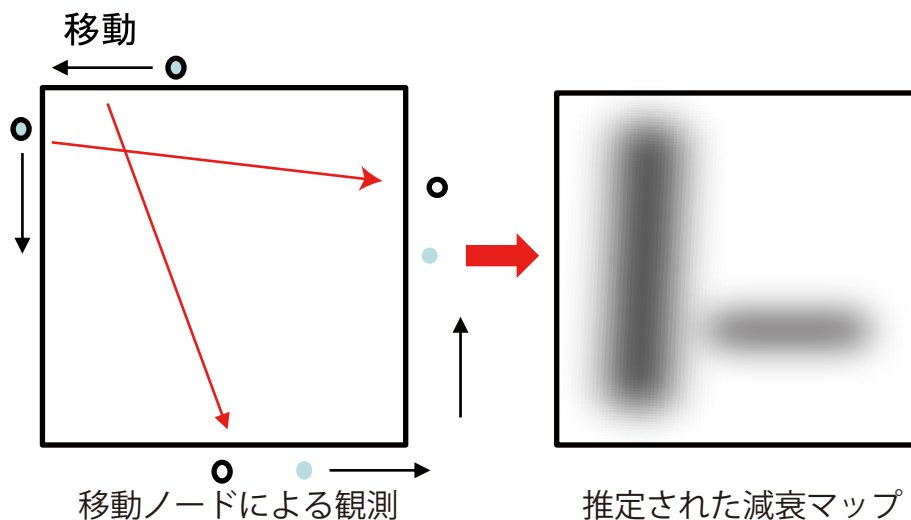


図 2 減衰マップ推定手法

#### 4. 研究成果

##### 4. 1 受信電力マップ推定の性能評価

提案した受信電力マップ推定手法の有効性を検証するため、シミュレーション実験を行った。図3左に示すように減衰マップを423ブロック(=24×18)に分割し、これらのブロックからランダムにサンプリングされた250ブロックの受信電力を用いて受信電力マップを推定した結果が図3右である。図より、6割程度のサンプル数であれば高精度な推定を行えることが分かる。さらに、受信電力マップの変化が激しい領域を重点的に観測することにより、さらに効率的に推定が行えることも確認している。

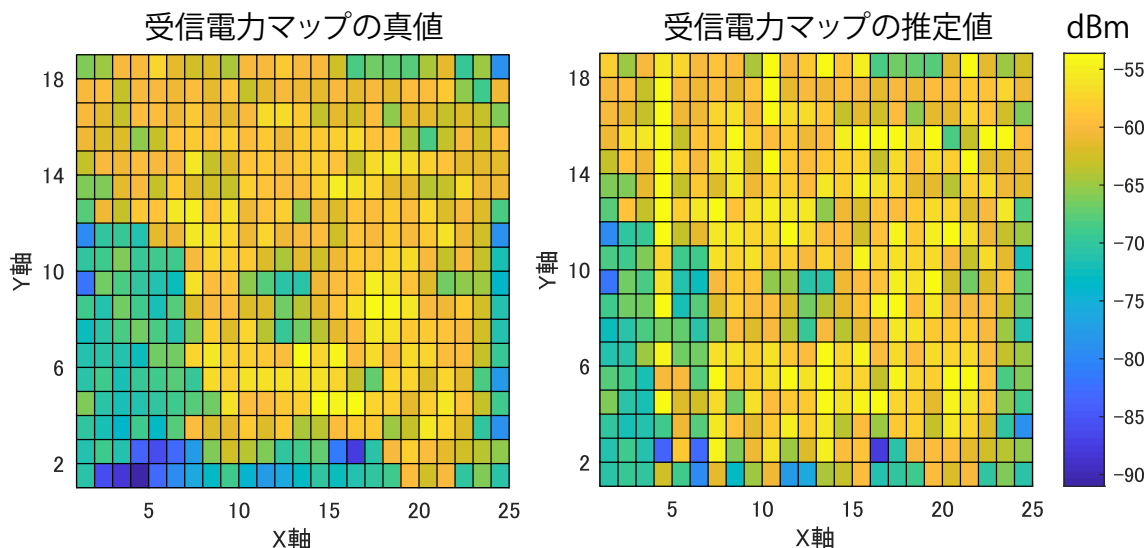


図 3 受信電力マップ推定手法の性能評価

本研究で得られた結果より、提案した受信電力マップ推定手法の有効性が確認された。本手法は、空間的な分布だけでなく、受信電力の周波数特性の推定へも拡張可能であり、今後はこれらの拡張について検討することにより、本手法のより柔軟な利用について検討していく必要がある。

#### 4. 2 屋内減衰マップ推定の性能評価

提案した屋内減衰マップ推定手法の有効性を検証するため、シミュレーション実験を行った。

図4に示す減衰マップを与え、無線端末数を2, 3, 4としたときの減衰マップの推定結果を図5に示す。図より、無線端末数が増加するにつれ、減衰マップの推定精度が改善し、無線端末数3, 4では良好な結果が得られていることが分かる。また推定した減衰マップを用いて位置推定を行った結果、位置推定精度が改善していることも確認している。

これらの結果より、提案した屋内減衰マップ推定手法が有効であることが確認できた。今後は、高効率・高精度な推定を行うための移動端末の操作などについて検討していく必要がある。

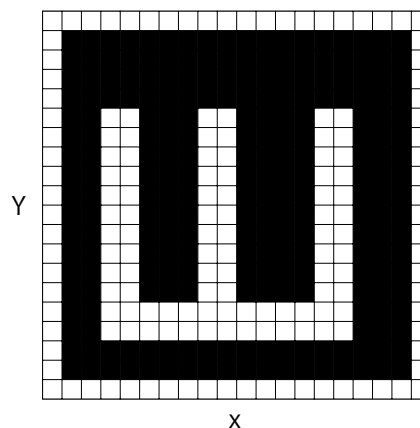


図4 減衰マップの真値

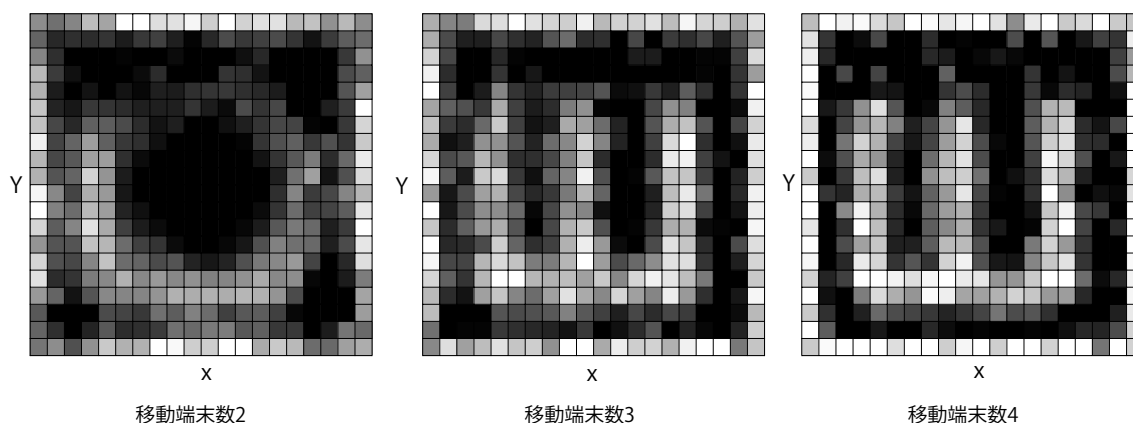


図5 減衰マップの推定結果

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

[1] Kensuke Nakanishi, Teruhito Naka, Shinsuke Hara, Takahiro Matsuda, Kenichi Takizawa, Fumie Ono, and Ryu Miura, ``Route Referencing and Ordering for Synchronization-Free Delay Tomography in Wireless Networks,`` EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2018, no. 1, p. 211, Aug. 2018. 査読有

[2] Takahiro Matsuda, Kengo Yokota, Kazushi Takemoto, Shinsuke Hara, Fumie Ono, Kenichi Takizawa, and Ryu Miura, ``Multi-Dimensional Wireless Tomography Using Tensor-Based Compressed Sensing,`` Wireless Personal Communications, vol. 96, no. 3, pp. 3361-3384, 2017. 査読有

[3] 松田崇弘, 原晋介, ``通信システムにおける圧縮センシングを用いたトモグラフィ技術,`` 映像情報メディア学会誌, vol. 73, no. 3, pp. 445-450, 2019年5月. 査読無

〔学会発表〕(計7件)

[4] Kento Fukuda, [Takahiro Matsuda](#), Fumie Ono, Shinsuke Hara, Ryu Miura, and Fumihide Kojima, ``Sequential Radio Tomographic Imaging Using Mobile Measurement Nodes,`` 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW 2019), May 2019. 査読有

[5] Hiroto Nishioka, Azusa Danjo, Shinsuke Hara, [Takahiro Matsuda](#), Fumie Ono, Ryu Miura, and Fumihide Kojima, ``A Compressed Sensing-Based 3D-RSS MAP Completion for UAV Routes Planning,`` 2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST 2018), Dec. 2018. 査読有

[6] Naoya Kiyofuji, [Takahiro Matsuda](#), Shinsuke Hara, Kenichi Takizawa, Fumie Ono, and Ryu Miura, ``Reflective Boolean Network Tomography for Node Failure Detection,`` Proc. the 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2017), pp. 70-73, Dec. 2017. 査読有

[7] 福田健人, [松田崇弘](#), 小野文枝, 原 晋介, 児島史秀, 三浦 龍, ``移動端末を用いた観測に基づく無線トモグラフィ,`` 電子情報通信学会総合大会, A-17-5, 2019年3月. 査読無

[8] 西岡寛人, 原 晋介, [松田崇弘](#), 小野文枝, 三浦 龍, 児島史秀 ``無人航空機システムのための圧縮センシングを用いた受信信号強度分布の推定,`` 信学ソ大, A-17-3, 2018年9月. 査読無

[9] 清藤直也, 西岡寛人, [松田崇弘](#), 原晋介, 小野文枝, 三浦龍, 児島史秀, ``無人飛行機を用いた3次元受信電力分布の推定,`` 信学技報, vol. 117, no. 348, RCC2017-98, pp. 269-274, 2017年12月. 査読無

[10] [松田崇弘](#), ``モバイル・無線ネットワークのためのネットワーク計測手法,`` 信学技報, vol. 116, no. 276, SR2016-69, pp. 77-84, 2016年10月. (招待講演) 査読無

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。