

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：32690

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00193

研究課題名(和文) 協調型自動運転に対する無線通信固有攻撃の防御に関する研究

研究課題名(英文) Network Behavior Estimation Method for Wireless Ad-Hoc Network by Analyzing Data Transmission Traffic

研究代表者

寺島 美昭 (Terashima, Yoshiaki)

創価大学・理工学部・教授

研究者番号：90450965

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：協調型自動運転システムにおいて、自動運転制御や地域交通渋滞情報の交換に用いるアドホックネットワーク型車車間、路車間ネットワークに対する無線ネットワーク固有攻撃検知を目的とするネットワーク動作推定手法を開発した。本手法は、車両と路側に配置される無線端末の送信電波の時間変化記録の追跡と比較解析から、攻撃の影響を通信ルート変化として間接的に推定する。ネットワークシミュレーションを用いた検証により、攻撃による通信ルート変化を追跡する推定手法の推定精度を確認し、実用化の見込みと課題を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無線通信に対する妨害技術は、電子戦と呼ばれる電波妨害に長い歴史がある。近年は防衛システムでも無線通信の高機能化が進み、ジャミング攻撃とサイバ攻撃が連携する戦術的な通信攻撃が危惧されており、将来予想される無線通信固有の攻撃に対する防御技術の開発は必須、かつ急務である。本推定手法は、ネットワーク詳細仕様や詳細パラメータ情報が無くとも、サイバ攻撃、ジャミング攻撃、これらの連携攻撃などによる通信妨害が通信ルートに与える影響を検出することを目的に、各無線端末の送信情報量の時間変化を解析する汎用性と実用性を備えた新たな解析方法として学術的、社会的意義を有する。本研究成果は、10件の学会発表にて報告した。

研究成果の概要(英文)：In a cooperative self-driving system, a wireless ad hoc network is used to exchange information for driving control and gathering transportation traffic information. We developed a network behavior estimation method for detecting wireless network-specific attacks on the wireless ad hoc network of vehicle-to-vehicle and road-to-vehicle networks. The method can detect the ad hoc network route and track its transmission by analyzing the time variation of the transmission amount. The evaluation experiment confirms the estimation accuracy and it was found that it is possible to estimate the network behavior.

研究分野：ネットワーク評価

キーワード：ネットワーク動作推定 無線ネットワーク固有攻撃 協調型自動運転 アドホックネットワークルート推定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車(車両)が相互に監視や協調しながら走行する協調型自動運転システムは、運転の利便性に加え、地域の交通渋滞を解消する将来の交通基盤として期待されている。この実現に用いる車車間、路車間ネットワークは、アドホックネットワーク型通信(無線通信)を用いて、広範囲の車両や路側に設置された無線通信端末間で情報を交換する。

一方、無線通信に対する妨害技術は、防衛分野にて電子戦と呼ばれる電波妨害(ジャミング)に長い歴史がある。近年は防衛システムでも高機能化が進む無線通信に対しては、ジャミング攻撃とサイバ攻撃が連携する戦術的な無線通信攻撃が危惧されている。例えばジャミング攻撃が通信を遮断しつつ、サイバ攻撃により攻撃を隠ぺいして検出遅延を図る技術や、アクセスポイントなど、通信を統括する重要無線設備を検出してピンポイント攻撃することにより、最小限の攻撃時間で広域、かつ長時間の通信妨害を実現する、無線通信の特徴を突く固有攻撃の登場が予想されている。将来、これらの無線通信攻撃が協調型自動運転システムを含む生活インフラシステムの信頼性を損なう威嚇になることは避けられない。

2. 研究の目的

本研究は、協調型自動運転システムにおいて、ネットワーク詳細仕様やパラメータ値など無線端末の詳細仕様に関する情報が無くとも、各無線端末の送信情報量の時間変化(時系列送信ログ)のみの分析により、無線通信攻撃の影響をアドホックネットワークの通信ルートの変化として間接的に推定する、ネットワーク動作推定手法を開発して実現性を検証する。このため、時系列送信ログ解析から協調型自動運転システムの現実的な状況を設定した通信ルート検出と変化追跡について、シミュレーションを用いた評価実験により推定精度を確認する。

3. 研究の方法

本研究は3年計画であり、各年度では以下の検討と検証を行う手順で実施した。

2017年度：研究推進のためのネットワークシミュレーション環境の構築と整備、及び、推定手法の入力となる時系列送信ログ解析の基本的な方法の検討

2018年度：車両移動の無い静的ネットワークを対象とする、ネットワーク動作推定の基本推定手法を開発

2019年度：移動車両による通信ルート変化の追跡を実現する、ネットワーク動作推定の手法拡張開発と推定精度の検証

研究は申請者、研究分担者A、研究分担者Bの3名にて実施した。申請者はネットワーク動作推定手法の検討と評価を担当した。研究分担者Aは、自動運転全般の社会的背景や実証実験状況の分析、ネットワーク仕様の研究を行い、本研究における評価方法と想定シナリオを検討した。研究分担者Bは、無線通信制御がネットワークトラフィックに与える影響の研究を行い、時系列送信ログ解析からネットワーク動作推定を行う妥当性を検討した。

4. 研究成果

(1) ネットワーク動作推定の概要

時系列送信ログ解析によるネットワーク動作推定の概要を図1に示す。車両や路側に配置する無線端末が送信する情報量時間変化の記録である時系列送信ログには、情報量の変化が車両1, 2, 3間で行う通信ルートに沿う伝搬が現れる。しかし、通信ルートの維持や複数無線機間の混

在により、時系列送信ログには様々な雑音となる情報も記録される．ネットワーク動作推定手法は、この雑音を除去して伝搬関係に関わる情報選別を解析し、通信ルートの検出、車両移動による変化を追跡する．

(2) 推定手法の構成

図2は本推定手法の手順である．推定手法は経路端末集合推定、経路変化推定、隣接端末推定の3種類のアルゴリズムから構成しており、全無線端末から取得する時系列送信ログを入力として、通信ルートと時間変化の推定結果を出力する．経路端末集合推定は、通信経路に關与する端末を通信ルート端末集合として抽出する．経路変化推定は、一定時間(端末集合計算周期)ごとに通信ルートに關与する端末の変化(追加と削除)を、通信ルートの差分として検出する．隣接端末推定は、通信ルート端末集合内の無線端末間の隣接関係と通信ルートに沿って通信に關与する順序を分析する．これらのアルゴリズム適用を端末集合計算周期ごとに繰り返すことにより、通信ルート検出と時間変化を追跡する．

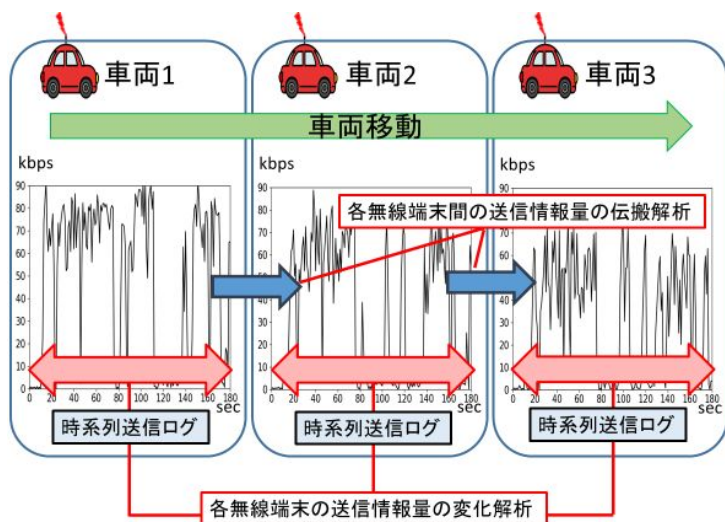


図1 ネットワーク動作推定の概要

(3) 通信ルート集合推定アルゴリズム

本アルゴリズムは、時系列送信ログから、計測期間に關与する全ての通信ルートを構成する端末を、通信ルート端末集合として抽出する．通信ルートを構成する中継端末間で通信情報の伝搬に対応する類似性を抽出するために、時系列送信ログ間の相関係数を計算して通信ルート端末集合のメンバを選定する．

(4) 経路変化推定アルゴリズム

本アルゴリズムは、変化する通信ルートに対応した通信ルート端末集合の変化を、端末集合計算周期ごとに本集合に追加される、あるいは削除される差分となる無線端末を決定する．ここでは時系列送信ログに記録される送信量にばらつきが、分析における雑音になり、推定精度を劣化させる問題がある．このため図3 (a)に示すように、通信ルートに沿って送信情報量を伝搬

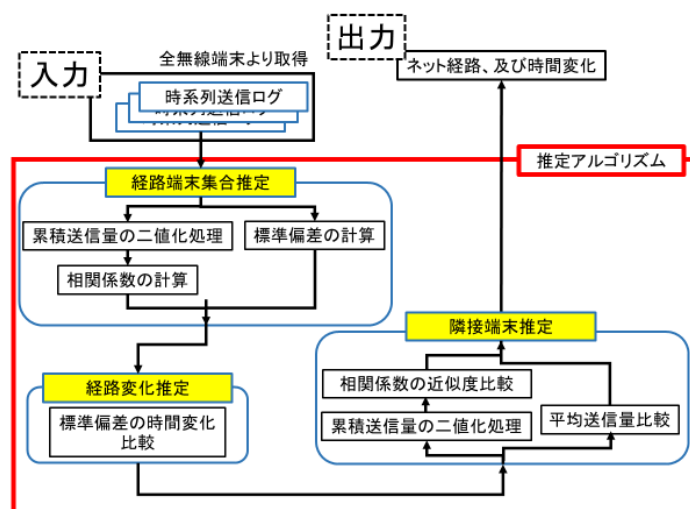
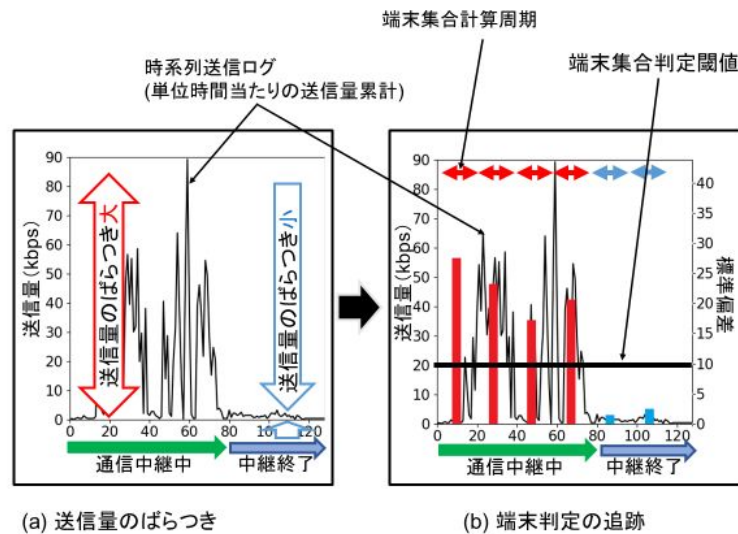


図2 推定手法のアルゴリズム構成と手順

させる無線端末は、送信量のばらつきが大きく、また中継を終了した無線端末は小さい傾向を利用して判別する。図3(b)に示すように、送信量ばらつき度合いを標準偏差にて確認し、端末集合判定閾値を設定して中継であるか否かを判別する。この方法により時系列送信ログによる通信ルート端末集合に含めるかの判定時に雑音となるバースト的な送信情報量を取り除くことができる。さらに2値化によるフィルタリングを用いて推定精度向上を図る。端末番号判定閾値は、利用する通信環境により異なるため、ネットワークシミュレーション解析から決定する。

(5) 隣接端末推定アルゴリズム

通信ルート端末集合に属する無線端末について、通信ルートを構成する無線端末の隣接関係と、通信ルートに沿って通信する順番を決定するために、各端末の送信量時系列データ間の類似性の強弱(近似度)を計算する。近似度は、通信経路端末集合内の各端末の送信量に対する相関係数を全端末間と比較して、相関の強い端末を選択する。この計算は、通信ルートの変化に追従するため、端末集合計算周期ごとに行う。通信を中継する端末間の時系列送信ログは、隣接端末間であるほど近似度が高く、また送信無線端末に近い隣接端末間の方が、受信無線端末に近い隣接端末間よりも近似度が高い。この傾向に注目し、端末集合周期ごとに通信ルート端末集合に属する無線端末の中で通信ルートを構成する順番を推定する。



(6) 推定精度評価

図3 通信経路端末集合の判定

時系列送信ログの解析による通信ルートを推定する手法の妥当性を理論的に確認するために、ネットワークシミュレーションを用いて計算した時系列送信ログを入力として推定する評価実験を行った。この方法により多彩なシナリオでの推定を確認することができる。ネットワーク動作推定の推定精度を評価するために、協調型自動運転の基本状況シナリオとして、図4に示す複数車両が直線道路を走行する場面を設定した。この基本状況シナリオは、30km/hで走行する車両が、他の車両や路側に設置した無線端末を中継端末として通信する場合を設定しており、車両1、2が無線端末21に対してCBR(Constant Bit Rate)により1024byte/msecの定周期通信を行う。ネットワークシミュレーションを用いて走行速度、

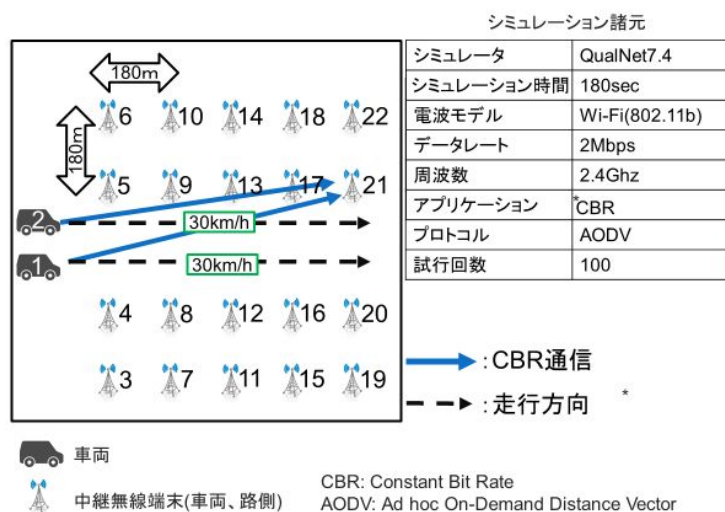


図4 評価実験シナリオとシミュレーション諸元

CBR通信送信量が異なるシナリオ設定して行った評価実験の結果を表1に示す．ここでは経路端末推定、経路変化推定、隣接端末の各アルゴリズムの推定精度、及び、総合精度を示す．

表1 評価実験による推定精度

経路端末集合推定(%)	経路変化推定(%)	隣接端末推定(%)	総合精度(%)
82.6	86.2	51.8	48.5

評価実験から総合推定精度は48.5%であり、実用化には十分な精度とは言えないまでも、時系列送信ログ解析という新たなアプローチによる推定手法に一定の実現性があることが確認できた．推定手法を構成する各アルゴリズムの精度評価では、経路端末集合推定と経路変化推定は、それぞれ82.6%と86.2%であり、高い推定性能であることに対して、隣接端末推定は51.8%に留まり、このアルゴリズムが総合精度に大きく影響する傾向を確認した．また、移動速度100Km/secでは、推定精度は10%程度劣化する．このため本推定手法の推定精度は、ネットワークを構成する端末数よりも、移動速度による影響が大きいことも判明した．

(7) 結論

本研究では、協調型自動運転システムを対象とする汎用性と実用性を備えた攻撃検知方法として、時系列送信ログ解析によるネットワーク動作推定手法を開発し、片側2車線直線道路での複数車両が走行する基本的な状況において、通信ルート推定が可能であることを確認した．推定精度は実用性には十分ではないものの、車両走行速度による影響が大きい傾向、隣接端末推定に改善が必要であることなど、推定精度に影響する項目の抽出により、精度向上に向けた推定手法の改善項目を明らかにした．引き続き、本研究成果を踏まえて、推定精度向上に向けた手法改良、及び、実験により得られる実際の観測電波を用いた検討も併用して、実用化に向けた研究を継続する予定である．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 福岡宏一, 山本美幸, 横谷哲也, 斎藤正史, 寺島美昭
2. 発表標題 データ送信量解析を用いたアドホックネットワーク動作推定方式の評価
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福岡宏一, 山本美幸, 横谷哲也, 斎藤正史, 寺島美昭
2. 発表標題 データ送信量解析を用いた移動端末を含アドホックネットワークの動作推定方式の提案
3. 学会等名 情報処理学会コンシューマ・デバイス&システム(CDS)研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福岡宏一, 斎藤正史, 横谷哲也, 寺島美昭
2. 発表標題 データ送信量解析によるアドホックネットワークの動作推定方式の提案
3. 学会等名 情報処理学会「マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM2018)」シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiki Kuwabara, Yudai Matsuno, Hiroaki Mukai, Tetsuya Yokotani, Kan Akutsu
2. 発表標題 Evaluation of Multiplexing on the Characteristics of Surveillance Camera Data Traffic
3. 学会等名 International Conference on Information Networking (ICOIN 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原剛希, 松野雄大, 阿久津幹, 向井宏明, 横谷哲也
2. 発表標題 IPFIXを用いた監視カメラトラヒックの多重化特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原剛希, 向井宏明, 横谷哲也
2. 発表標題 多重化トラヒックパターンの特性検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福岡宏一, 齋藤正史, 横谷哲也, 寺島美昭
2. 発表標題 データ送信量観測による無線アドホックネットワークの動作推定方法の提案
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横谷哲也, 田代雅稔, 児玉司, 齋藤正史, 寺島美昭
2. 発表標題 多重化トラヒックにおける簡易な擾乱検出方法
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池保乃加, 福岡宏一, 横谷哲也, 齋藤正史, 寺島美昭
2. 発表標題 自動運転を対象とする移動アドホックネットワーク動作推定方式の検討
3. 学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuya Yokotani, Yoshiaki Terashima, Masashi Saito
2. 発表標題 Performance evaluation on insertion of disturbance in multiplexed IoT traffic flows
3. 学会等名 The 12th International Conference on Future Computer and Communicaiton(ICFCC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Fukuoka, Miyuki Yamamoto, Tetsuya Yokotani, Masashi Saito, Yoshiaki Terashima
2. 発表標題 Network Behavior Estimation Method for Wireless Ad-Hoc Networks by Analyzing Data Transmission Traffic
3. 学会等名 The 12th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福岡宏一, 山本美幸, 横谷哲也, 齋藤正史, 寺島美昭
2. 発表標題 データ送信量解析を用いたアドホックネットワークの動作推定手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO2019)シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺島美昭, 山本美幸, 福岡宏一, 横谷哲也, 斎藤正史
2. 発表標題 電波送信量解析を用いたアドホックネットワーク動作推定方式の検討
3. 学会等名 Association of Old Crows(AOC) Electronic Warfare(EW)研究会/電子情報通信学会SANE研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋藤 正史 (Masashi Saito) (00759425)	金沢工業大学・情報フロンティア学部・教授 (33302)	
研究分担者	横谷 哲也 (Tetsuya Yokotani) (00770801)	金沢工業大学・工学部・教授 (33302)	