

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

福岡宏一[†] 山本美幸[†] 横谷哲也^{‡1} 齋藤正史^{‡2} 寺島美昭[†]

1 はじめに

自動車の自動制御運転（以下自動運転と呼称）では、自動での運転のための情報の交換を、車車間や路車間で直接通信を行う無線アドホック通信を用いることが想定されている。その際、無線通信に対する攻撃等によるネットワーク異常は、自動運転の安全性を脅かす。本稿は、攻撃検知の前段階として提案したネットワークの基本的な機能の動作推定方式を、複数のネットワークトポロジーで検証を行い、精度の確保が難しいケースを明らかにする。また、実験の結果から今後の手法改良の提案を行う。

2 動作推定方式

2.1 動作推定フローと推定項目

本方式は、図 1 に示すよう各端末の送信電波を利用し、これを観測機によって観測する。観測機では、この送信電波から各端末のデータ送信量を抽出し、1 秒毎にデータ送信量を累積する。観測者は、累積したデータを各端末内での解析や、他端末との比較解析を行うことで、無線ネットワークの動作を推定し、ネットワーク監視を行う。

従来の提案では、ネットワークの基本的な動作の推定を目的として以下の 2 項目の動作推定を行った。

- ・推定 1 ルーティングプロトコル推定
- ・推定 2 通信経路推定

動作推定を行う際、観測者はネットワークの端末の位置と各端末の番号、そして送信量がどの端末のものであるのかを把握しているものとする。

2.2 推定 1 ルーティングプロトコル推定

現在、アドホックネットワークで使用されるルーティングプロトコルは、通信要求後に経路探索を行い、経路を構築するリアクティブ型と、ネットワーク起動時にあらかじめ経路探索を行い、経路を構築するプロアクティブ型の 2 種のプロトコルに大別される。これら 2 種のプロトコルの最大の差は、経路探索のタイミングにあり、プロアクティブ型では、リアクティブ型と比較して送信元端末と宛先端末の相関関係が弱くなる。

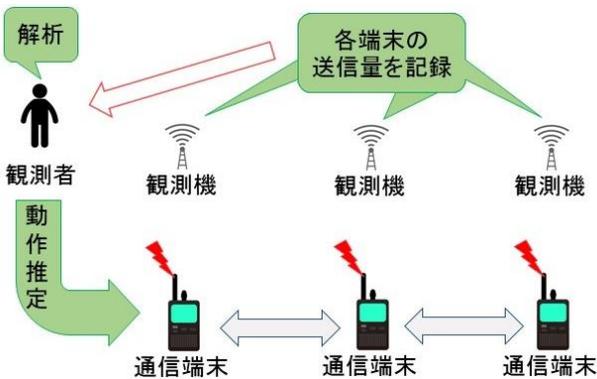


図 1 想定システム図

この傾向を利用し、送信元に対する宛先の相関係数を計測した。宛先端末の相関係数が閾値以上であればリアクティブ型、閾値未満であればプロアクティブ型とする。

2.3 推定 2 通信経路推定

アドホックネットワークでは送信元から宛先までいずれかの端末を中継して通信を行うため、通信を中継する関係にある端末間において、送信量の変化傾向が一致する。

提案手法では変化傾向の一致度を利用し、送信元と各端末の相関係数を計測した。中継端末の相関係数の値が閾値以上であった場合、相関が強く存在すると判断し、その端末は通信経路に使用されている端末であると判断する。また、相関係数のみでは検知漏れしてしまう場合が存在する。これは、通信の不安定化により、パケットがパースト的に放出されてしまう現象に起因する。この場合、ほかの端末に比べて該当端末は送信スループットの振れ幅が大きくなる。この傾向に着目し、標準偏差を計測し、閾値以上であればその端末も通信経路端末であると判断する。図 2 に推定アルゴリズムを示す。

```

入力:1 秒毎の送信量合計 (TNt)
出力:通信経路端末集合 A
N=Node 番号
S=発信元 Node 番号
x=simtime(秒)
A=端末集合
for(N=1;N<=最大 Node 数;N++){
    CN =  $\frac{\frac{1}{x} \sum_{t=1}^x ((T_{St}-T_S)(T_{Nt}-T_N))}{\sqrt{\frac{1}{x} \sum_{t=1}^x (T_{St}-T_S)^2} \sqrt{\frac{1}{x} \sum_{t=1}^x (T_{Nt}-T_N)^2}}$  (CN は相関係数)
    SN =  $\sqrt{\frac{1}{x} \sum_{t=1}^x (T_{Nx}-T_N)^2}$  (SN は標準偏差)
    if(CN>X){ (X は閾値)
        NodeN は通信経路
        集合 A に NodeN を追加
    }else if(SN>Y){ (Y は閾値)
        NodeN は通信経路
        集合 A に NodeN を追加
    }
}
    
```

図 2 通信経路推定アルゴリズム

3 精度検証実験

3.1 実験設定

本研究では、提案手法の理論的な検証を第一に考え、実機環境ではなくネットワークシミュレータ QualNet を実験環境として用いる。その他の設定は表 1 を用いた。

また、トポロジーは図 3 に示す格子状に端末を配置したトポロジーと、格子状の端末の内部を送信端末が移動するトポロジーを用いた。端末間の距離はそれぞれ 180m で、斜め方向には 1 ホップで通信できない距離を実験的に算出した距離である。

[†] 創価大学大学院 工学研究科

^{‡1} 金沢工業大学 工学部

^{‡2} 金沢工業大学 情報フロンティア学部

Simulation Time	180s
Radio Type	802.11b
Data Rate	2Mbps
Frequency Band	2.4GHz
Application	Constant Bit Rate(CBR)
Routing Protocol	AODV/OLSR INRIA

表1 実験用パラメータ設定

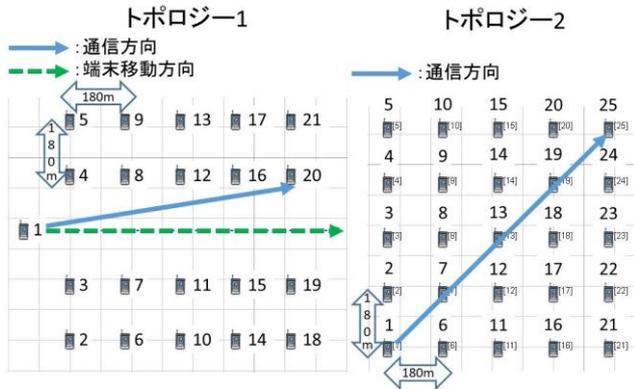


図3 通信経路推定アルゴリズム

3.2 実験結果

2種のトポロジーに対してそれぞれ推定1ルーティングプロトコル推定を適用した後、推定2通信経路推定を適用した。

図3のトポロジー1では、推定1によるAd hoc On-Demand Distance Vector (AODV)とOptimized Link State Routing INRIA (OLSR)のプロトコルの判別が可能であった。また、同一トポロジーで100ケース試行し、すべてのケースで成功した。また、推定2によって図4の結果の様に通信経路の推定ができた。こちらはOLSRでも同様であった。しかし、どちらのプロトコルの場合でも経路が切替されるタイミングはこのアルゴリズムでは判別できない。

図3のトポロジー2では、トポロジー1と同様に100ケース試行し、推定1においてすべてのケースでプロトコル判別に成功した。また推定2では、OLSRでは経路の推定が可能であったものの、AODVでは送信元の隣接端末のみ推定が可能となっている。

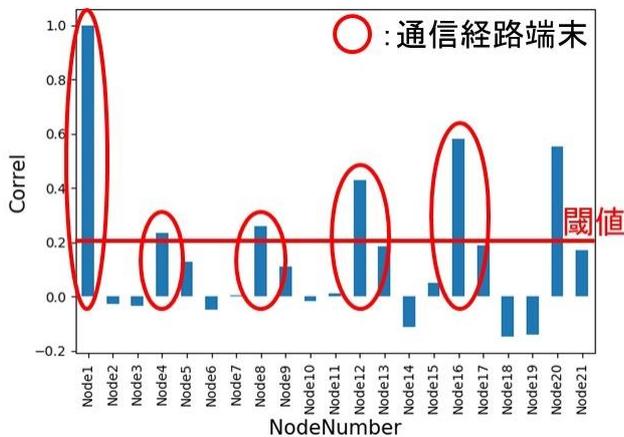


図4 AODV 推定結果

4 解析手法改良

図3のトポロジー1で発生した移動端末を含むトポロジーでの経路切替のタイミング推定の問題に対応するため、時間毎に分割して標準偏差を計測する。2.3項で示した従来開発の推定方式で判別した通信経路であった端末の標準偏差が閾値を下回った際、その端末が通信経路から除外されると判断する。これにより経路切替のタイミングが推定でき、移動端末が含まれる場合に、より高精度に経路推定が可能となる。図5にアルゴリズムを示す。

入力:1秒毎の送信量合計 (T_{Nt})

出力:NodeNの通信経路除外時刻

$x=t+30$

$i=0$ (i はカウント用変数)

for($N=1;N \leq$ 最大Node数; $N++$) {

for($t=0;x \leq$ 最大simtime; $t+30$) {

$$S_{Ni} = \sqrt{\frac{1}{x} \sum_{t=1}^x (T_{Nx} - \overline{T_N})^2}$$

if($N=$ 通信経路端末&& $S_{Ni} < X$) { (X は閾値)

$t-30$ 秒から t 秒の間にNodeNは通信経路から除外された

}

}

}

図5 通信経路切替時刻推定アルゴリズム

5 改良手法検証

3項の実験と同様の設定で、改良手法の検証実験を行った。トポロジーは図3のトポロジー1を用いた。図5のポイント1の端末は、通信開始から45秒頃まで通信経路に使用される。経路切替によって除外された結果が、実際に除外された時間の次の区分である60秒から90秒の標準偏差に反映されており、移動に追従した高精度な経路推定が可能となった。

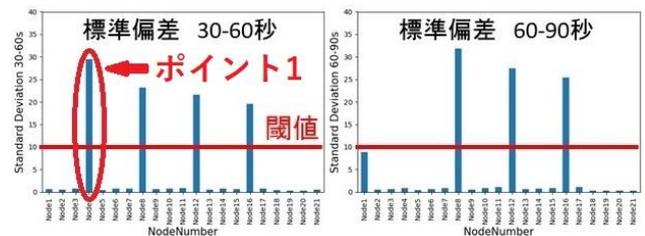


図5 改良手法による実験結果

6 おわりに

本稿では、従来提案した動作推定方式の精度を検証し、移動端末が存在する場合でもより高精度に推定が可能な、改良した経路推定手法を提案した。また、改良手法が有効であることを確認した。今後は、さらなる精度改善と、推定手法をより多くの条件にも適用可能とするため、実験を重ねて手法の改良に取り組む。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP17K00193 の助成を受けて実施した。