5W-04

有線フィールドネットワークのトポロジー推定：送・受信インピーダンス変化を利用したノード位置の同定方法

山川亮太†　　久代紀之†

†九州工業大学

1. はじめに

通信配線は当初，図面等で管理されているが，端末の増設・移設を繰り返すうちにその全貌が把握できなくなる．しかし，通信障害が発生した場合の障害解析には，通信配線形態（どの端末が何 m の位置に，どのようなトポロジーで接続されているか）を把握しておくことが必須である．これらを背景として，我々はベースバンド通信を用いた制御用ネットワークを対象とした通信配線形態推定ツールの実現を目指している．本研究では，システム動作時の送信・受信時のインピーダンスの変動に着目した配線長推定方式の開発した．

2. アプローチ

2.1. 配線長推定

本研究では，線路に接続された各端末からの配線長に応じた反射波により端末までの距離を同定する．その手法として TDR(Time Domain Reflectometry)法[1]を用いる．

一般に，通信端末では受信時のインピーダンスは高く，送信時のインピーダンスは低いので，受信状態端末からの反射波は上り階段状になり，送信状態端末からの反射波は逆に下り階段状になる．このことから，線路中の全ての端末を受信状態に設定した場合と，位置を同定したい端末のみを送信状態に設定し，他の全ての端末を受信状態に設定した場合それぞれに TDR 法を用いて波形を観測し，２つの波形の差分を取ると，差分波形は位置を同定したい該当端末からの反射波の応答時間後に立ち上がる．以上より，差分波形の立ち上がりを検出することで，位置を同定したい任意の端末からの反射波の応答時間を原理的には導出できる．

$\mathbf{L}$を配線長，$\boldsymbol{V_c}$を光速，$\boldsymbol{\varepsilon_r}$を実行比誘電率，$\boldsymbol{T_r}$を反射波の応答時間とし，式(1)より配線長推定を行う．

$$\mathbf{L} = \frac{\boldsymbol{V_c}}{\sqrt{\boldsymbol{\varepsilon_r}}} \times \boldsymbol{T_r} \times \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \qquad (1)$$

2.2. トポロジー推定

各端末における配線長推定の結果から，想定されるトポロジーの数は限定できる．想定される全てのトポロジーに対して TDR 法を用いた場合の波形をシミュレーションし，実際の観測波形とのマッチングすることで，トポロジー推定を行う．

3. 配線長推定アルゴリズム

TDR 法に基づき，複数端末が接続された線路中に通信に影響を及ぼさない高周波の小レベルのパルスを印加する．この時，端末は通信を行なっているため，観測波形は端末による通信波形にパルスが重畳された波形になる．そのため，まず通信波形からパルス成分を抽出し，抽出したパルスの DC バイアスの除去，量子化誤差等のノイズの除去を行い，差分波形の分析を行う．配線長推定アルゴリズムの概要を図１に示す．

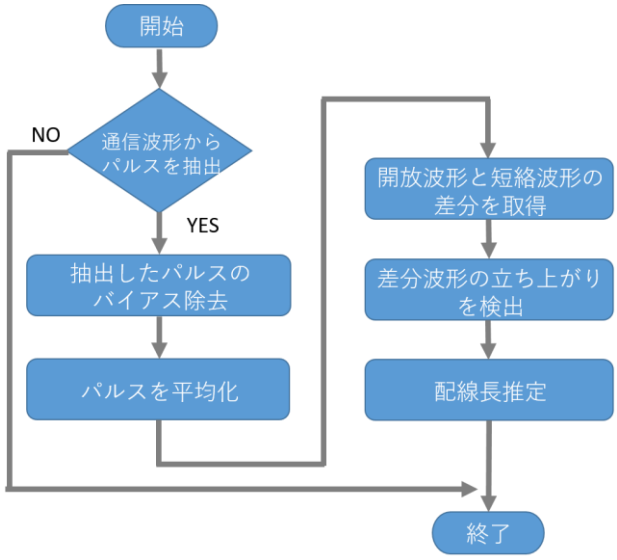


図１：配線長推定アルゴリズム

Estimation of wired field network topology - Method of identifying nodes position based on changes in send and receive impedance -

† Ryota Yamakawa
† Noriyuki Kushiro
† Kyushu Institute of Technology

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

4. 評価

4.1. 配線長推定方式の原理評価実験

配線長推定方式の妥当性を評価するために疑似回路上で原理確認のための実験を行った．

多端末を接続した線路の配線長と配線形態を変更した 11 パターンのトポロジーに対し評価した．システム構成を図 2 に，実験結果を表 1 に示す．

研究対象のシステムには最小配線距離が 3m の制約があるため，本研究での許容誤差を 3m とした． 表 1 より，全ての配線トポロジーにおいて誤差は 3m 以内に収まっているため，十分な確度で配線長を推定できており，提案した配線長推定方式は妥当であることを確認した．

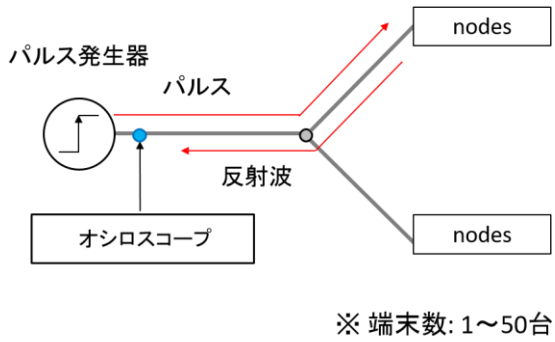


図 2：システム構成

表 1：実験結果

配線パターン	平均誤差[m]	分散
直線型（近端に端末）	0.17	0.02
直線型（中端に端末）	0.43	0.03
直線型（遠端に端末）	0.63	0.07
スター型（等長）	0.32	0.02
スター型（ほぼ等長）	0.53	0.04
スター型（ほぼ整数倍）	1.21	10.40
スター型（非整数倍）	0.47	0.07
ツリー型（等長）	0.68	0.03
ツリー型（ほぼ等長）	0.53	1.40
ツリー型（ほぼ整数倍）	0.53	0.50
ツリー型（非整数倍）	0.83	0.13

4.2. アルゴリズム評価実験

次ステップとして，実際の通信網において提案アルゴリズムの妥当性を評価する実験を行った．

線路に接続された複数端末から位置を同定したい端末を選定してメッセージを送る．端末が存在する場合，返送される ACK コードの低，高インピーダンス部分にそれぞれ TDR パルスを印加する．その後，観測した波形に，本提案のアルゴリズムを適用した．システム構成を図 3 に，実験結果を図 4 に示す．

配線長の推定結果の誤差は 0.777[m]であり，誤差は前述の 3m 以内に収まっているため，十分な確度で配線長を推定できており，アルゴリズムは妥当であることを確認した．

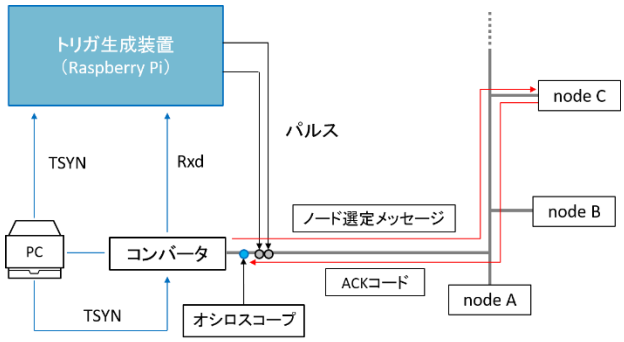


図 3：予備実験のシステム構成

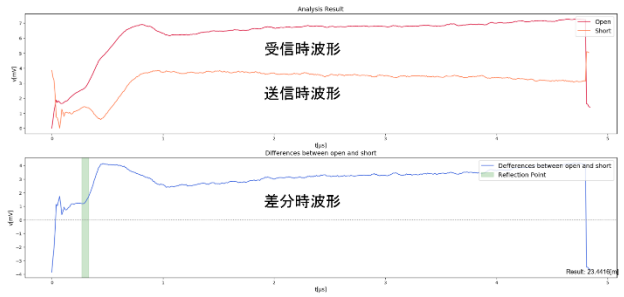


図 4：予備実験の実験結果

5. まとめと今後

提案アルゴリズムにより，原理的に十分な確度で配線長を推定できることを確認した．現状，トリガ生成装置の Raspberry Pi によるパルスの出力タイミングがミリ秒単位で変動する場合がある．今後は，パルス出力タイミングの精緻化とアルゴリズムのブラッシュアップを行い，実通信線路上での評価を精緻化する．さらに，反射波のパターンからトポロジーを同定し，通信障害の箇所・原因を特定できるツールの開発に取り組む．

参考文献

［1］石井聡， アナログ・センスで正しい電子回路計測（アナログ・デザイン・ シリーズ），CQ 出版，2015

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.