目次

[1. はじめに 2](#_Toc156625159)

[1.1. 研究背景 2](#_Toc156625160)

[1.2. 研究目的 2](#_Toc156625160)

[2. 論理型ネットワークトモグラフィ 3](#_Toc156625162)

[2.1. ネットワークトモグラフィとは 2](#_Toc156625160)

[2.2. グループ検査 2](#_Toc156625160)

[3. ネットワークトモグラフィの数理モデル 4](#_Toc156625163)

[3.1. グラフネットワークによる表現方法 2](#_Toc156625160)

[3.2. 数理モデルによる定式 2](#_Toc156625160)

[4. 故障リンク検出手法とその評価 4](#_Toc156625163)

[4.1. 数値計算で使用するネットワークの概要 2](#_Toc156625160)

[4.2. 問題の前提条件 2](#_Toc156625160)

[4.3. 故障リンク検出アルゴリズム 2](#_Toc156625160)

[5. 性能の評価 4](#_Toc156625163)

[5.1. 評価の方法 2](#_Toc156625160)

[5.2. 各ネットワークに対しての性能評価 2](#_Toc156625160)

[6. 考察 4](#_Toc156625163)

[7. まとめと今後の展望 4](#_Toc156625163)

[参考文献 4](#_Toc156625163)

# はじめに

## 研究背景

近年,急速な技術革新により情報通信網におけるトラフィックが急増している(**表 1**).この背景の一つに情報通信機器の性能向上や利用拡大があげられる.現在私たちが利用しているスマートフォンで生成されるトラフィックはフィーチャー・フォン37台分に相当するといわれている.また,携帯電話販売台数に占めるスマートフォンの割合は2011年では26.6%であったのに対し,2015年では51.5%と急成長している.フィーチャー・フォンより多くのトラフィックを生成するスマートフォンの増加が影響を与えていることが分かる.二つ目にデータの高品質化があげられる.主に動画の高画質化であり,スマートフォンにおけるトラフィック増大の原因であると考えられる.

情報通信技術を用いた様々なサービスがあるが,IP電話やテレビなどの映像配信サービスはリアルタイムでなければならないという特徴がある.ネットワークの品質が劣化している場合,サービスは断片的になってしまう.IP電話であれば交信が断片的になってしまい,動画視聴ではロードによる待ち時間が発生してしまう.リアルタイムにサービスを提供する為には高品質なネットワークが要求される.ネットワークの品質を劣化させる要因はノードやリンクの故障など無数にある.迅速に故障箇所を推定し対応できればネットワークの品質を高めることができ,高品質なサービスの提供に繋がる.しかしネットワークの大規模化・多様化に伴い故障箇所の推定が困難になっている.そこで急増するトラフィックとリアルタイム性のサービスのための高品質なネットワークの提供を目指し,ネットワークトモグラフィを用いた故障リンク検出の評価を行う.

表 1 インターネットの変遷

|  |  |
| --- | --- |
| **年** | **世界のインターネット トラフィック** |
| **1992** | 100GB/日 |
| **1997** | 100GB/時 |
| **2002** | 100GBps |
| **2007** | 2000GBps |
| **2014** | 16,114GBps |
| **2019** | 51,795GBps |

## 研究目的

本研究の目的は,故障リンクを適応型ネットワークトモグラフィによって推定し,推定するまでに用いた観測パス数を非適応型と全パス観測と比較し,性能を検証する.実験方法として,コンピュータシミュレーションを用いてネットワークトモグラフィを再現する.

　性能評価には3つのネットワークを用い,それぞれのネットワーク中に故障リンクを1~2個発生させる.全リンクの全ての組み合わせでリンクを故障させ,故障リンクを見つけるまでに要した観測パス数を計測する.それぞれのネットワークで計測した観測パス数の最大値・平均・分散を算出し,ネットワークトポロジーが適応型ネットワークトモグラフィの性能にどのような影響をもたらすか調べる.

# 論理型ネットワークトモグラフィ

## ネットワークトモグラフィとは

トモグラフィ(Tomography)とは,計測が困難な内部情報を計測可能な外部情報をもとに推定するための手法である.日本語では断層撮像法とも訳され,医療現場で使用されるCT(Computed Tomography)スキャンが有名である.CTスキャンでは,電磁波の一種であるX線を検査対象に照射する.X線はその後検査対象に一部吸収され,照射元の反対側にあるX線検出装置に到達し記録される.記録されたデータはフーリエ変換や行列計算をすることによって複合され,検査対象の内部情報を目に見える形で得ることができる.しかし,特定方向からのX線照射によって検査をした場合,2次元での情報しか得られない.つまり,検査対象が人間の身体であった場合,得られるのは表面上でどの位置にあるかで,表面からどのくらの深さに位置しているかは推定することができない.そこで,様々な角度からX線を照射し得られた記録を解析することにより3次元での情報を得ることができる.

ネットワークトモグラフィにおいても,CTスキャン同様に考えることができる.CTスキャンにおける照射物であるX線は,ネットワークトモグラフィでは2ノード間のパケット転送に置き換えられる.また,検出する対象は故障リンクとする.図 1に示すように,観測する2ノード間の経路はノードとリンクによって形成されているため,複数のパスを構築することができる.複数のパスを使いノードSからパケットを転送させ,そのパケットがノードGまで到達するか否かを調べる.複数の観測パスの疎通を確認することにより,故障箇所を推定することができる.**図 1**では1個のパスでパケットを転送させ観測している様子のイメージ.



図 1 観測の様子

## グループ検査

グループ検査(Group Testing)とは,多数の検体に含まれる少数の陽性の検体を効率よく見つけるための手法である.検査回数の削減を目的とし,医療分野での応用が期待されている.例として,血液検査によって多数の検体から少数の陽性の検体を見つけ出す場合をあげる.検体の血液を一つ一つ調べても陽性の検体を見つけ出すことができるが,検体の数が多い場合コストがかさむ.そこで検体をグループに分け,グループ内の検体から採取したプールと呼ばれる混合させた血液を検査することにより,検査回数を削減することができる.検査したプールが陽性であった場合,そのグループ内に陽性の検体が含まれることを示し,陰性ならそのグループ内には陽性の検体が存在しない.一つの検体を複数のグループに入れることにより,検査結果より陽性の検体を推定することができる.簡単な血液検査のイメージを図 2に示す.上段は検体,下段はプールを表し,実線は検体がどのプールに含まれるかを示している.また,白は陰性,黒は陽性を示している.陽性のプールに血液を混ぜた検体は陽性の疑いがあるが,陰性のプールにも含まれる場合候補から除外されるため推定することができる.図 2の検査段階では,陽性の疑いがある検体を左から4番目と5番目の検体に絞ることができる.この2つの検体の血液を個別に検査することにより,陽性の検体を確定することができる.グループ検査を適応しなかった場合,陽性の検体を確定するまでに8回の検査が必要だが,この例では6回で確定できるため,グループ検査の有用性が確認できる.



図 2 グループ検査の例

グループ検査は大きく分けて,適応型と非適応型に分類することができる.適応型は段階的にグループ検査を行う手法で,検査結果をもとに新たなグループを生成し検査を行う手法である.非適応型は予め全てのグループを決定し検査する手法である.一般的に適応型はグループの生成に扱える情報が多いため,検査回数を非適応型よりも減らせる.しかし,段階的にグループを生成する特性上,検査も段階的に行う必要性がある.一方,非適応型は最初に全てのグループを決定するため,全ての検査を同時に行える.

ネットワークトモグラフィにおいて,2ノード間の観測方法として全パターンの観測パス(全パス観測)を用いることもできるが,好ましくない.ネットワークの多様化・大規模化に伴い,全パス観測では観測パス数が膨れ上がるとともに,不要なパケットを転送してしまうからである.そこで,グループ検査の考え方をネットワークトモグラフィに適応する.検体をリンクとすると,観測パスをグループとみなすことができる.血液検査の例同様に,疎通しなかった観測パスに含まれるリンクは故障の疑いがあるが,他の疎通した観測パスにも含まれている場合は故障候補から除外される.これにより故障リンクを推定することが可能になる.

# ネットワークトモグラフィの数理モデル

## グラフネットワークによる表現方法

ネットワークを有向グラフによって表し, とする.はノード集合, はリンク集合とする.グラフに重み(コスト)はなく,ループと多重辺を含まない単純グラフを使用する.かんたんなネットワークの例を図 3に示す.図 3は, の単純有向グラフである.



図 3 グラフネットワークによる表現の例

## 数理モデルによる定式

*L* = はリンク数とする.また,故障リンク候補集合を とし,故障していないリンクを正常リンクとする.始点ノード(パケットの送信元)を , 終点ノード(パケットの送信先)を とし,これらを観測ノードと呼ぶ.観測パスの集合を とし,番目の観測パス は観測パスに含まれるリンク集合である. は観測パスの数とする.また,同じノードを2回通る観測パスは構築できないものとし,故障リンクを通過するパケットは確率1で破棄されるものとする.

リンク状態ベクトルを と定義し, は次式で与えられる.

つまり, が正常であれば,故障していれば である.また,観測ベクトルを と定義する. は観測パス を使い,始点ノードから送信されたパケットが終点ノードに到達すれば0, に故障リンクが含まれ,パケットが途中で破棄された場合1となる. は次式で与えられる.

つまり,観測パス に含まれる全てのリンクが正常であった場合, パス を使用した観測は疎通するので.疎通しなかった場合 となる.これらより,観測ベクトル とリンク状態ベクトル は次式の関係となる.ただし, は論理積・論理和を表し, はリンク が観測パス に含まれている場合,含まれていない場合 とする.

つまり, は,リンク が観測パス に含まれ,故障リンクであった場合に1となり,論理和をとるため, が一つでも1になった時点で となる.

を要素とする行列を*R*とし,経路行列と呼ぶ.簡単な例として,3.1節図 3に示すネットワークにおける経路行列*R*を考える.観測パス数 とし,各観測パスは, , , とする.経路行列*R*は次の行列で与えられる.

# 故障リンク検出手法とその評価

## 数値計算で使用するネットワークの概要

あ

## 問題の前提条件

あ

## 故障リンク検出アルゴリズム

あ

# 性能評価

## 性能評価の方法

あ

## 各ネットワークに対しての性能評価

あ

# 考察

あ

# まとめと今後の展望

あ

# 参考文献

[1] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014-2019 White Paper