Vol.2010-IOT-8 No.32
2010/3/2

イーサネットワークのトポロジの推測と表示について ～インタフェース速度を用いた推測アルゴリズムの改良～

藤田俊輔† 飯田隆義† 森山京平†† 吉田和幸†††

我々は LAN スイッチを主として構成されるイーサネットワークのトポロジを推測するアルゴリズムを提案し，機器間の接続関係を推測・表示するシステムを作成し利用してきた. 本システムは FDB を基にしてインタフェース間の接続を推測し，トポロジを実際にはケーブルを辿ることなく決定するものである．イーサネットではインタフェース間の通信速度を自動判定する機能があり，FDB 同様機器からその情報を収集できる．本論文では機器間の接続を推測する際にインタフェース速度を用いることについて述べる．

Inference and Visualizing of Ethernet Network Topology ~ Improvement of Inference Algorithm using transmission rate ~

Shunsuke Fujita† Takayoshi Iida† Kyohei Moriyama†† and Kazuyuki Yoshida†††

We proposed the algorithm that infers the Ethernet Network Topology, and implemented to the system which infers and displays network topology. This System infers connections between LAN interfaces based on FDB(Forwarding Database), and decides physical connection without actually tracing the cable. The function to decide the transmission rate between interfaces automatically is provided in Ethernet, and the information can be collected from the equipment as well as FDB. In this paper, we describe application of transmission rate information for topology inference.

1. はじめに

ネットワークの構成情報を把握することは，ネットワーク管理を行う上で非常に重要である．ネットワークの構成を正確に把握することにより，ネットワーク管理者は問題に的確に対処し，あるいは予防することができる．しかしながら，物理的構成を反映しているイーサネットワークレベルでのネットワークの構成を正確に把握することは困難である．

ネットワークの急速な発達とその社会的有用性から，ネットワークの巨大化・複雑化が進み，その依存度も高くなっている．そのため，ネットワークが円滑に運用されていることが重要であり，ネットワーク管理者の負担の負担を軽減するために様々な研究がなされており，支援ツールが作られている．また，イーサネットの速度もネットワーク発達に伴いその速度を増しており，10 年余り前では 10～100Mbps が一般的だったものが，現在では 1～10Gbps が一般的になってきている．

我々は LAN スイッチから収集できる FDB(Forwarding Database)を用いて LAN スイッチ間の接続関係を推測するアルゴリズムを提案し，スイッチ間の接続関係を推測・表示するシステムを作製し利用してきた[1]-[4]．FDB は受信フレームを適切なポートに送信するためのテーブルで，フレームの受信時に送信元 MAC アドレスを受信ポートに関連付ける．そのため，FDB による LAN スイッチ間の接続関係の推測が可能となる．

我々のシステムでは, FDB 情報を取得するために SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いて BridgeMIB と拡張 BridgeMIB の情報を収集している．また，FDB 以外にもネットワーク機器のインタフェースごとに設定されている MAC アドレス情報を用いることで, LAN スイッチ以外のルータやサーバなどの接続関係も発見することができる．

ネットワーク構成の推測の後，本システムでは推測したネットワークの構成情報を基にしてグラフィカルに表示することで，イーサネットワークの接続関係を分かりやすくユーザに提供する．

我々の提案してきたイーサネットワークのトポロジ発見のアルゴリズムとシステムでは，ネットワーク全体を表すような完全な FDB 情報を収集できなくても，管理対象となるネットワークの接続関係を可能な限り推測することができる．しかし，先に述べたようにネットワークの急速な発展により, LAN 内で使用されるイーサネットの

† 大分大学大学院工学研究科知能情報システム工学専攻
Dept. of Computer Science and Intelligent Systems, Oita University
†† 大分大学工学部知能情報システム工学科
Dept. of Computer Science and Intelligent Systems, Oita University
††† 大分大学学術情報拠点情報基盤センター
Center for Academic Information and Library Services, Oita University

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

速度は 10Mbps～10Gbps まで異なる速度の混在があり得る．イーサネットではケーブルの両端のインタフェースの速度が異なる場合，互いに相手の通信速度等を自動判定し，最適な設定で通信を行う機能がある．これにより，100Mbps まで利用可能なインタフェースと 1Gbps まで利用可能なインタフェースを接続した場合に，100Mbps が自動的に設定され，この二つのインタフェース間では最適な速度で通信が行われる．SNMP ではこのようにして設定されたインタフェースの速度を取得することもできるため，この情報を LAN スイッチ間の接続関係の推測に利用することを提案する．

本論文では，ネットワークトポロジを推測するに当たり必要となるインタフェースの速度情報の収集について述べ，インタフェースの速度情報をどのように接続関係の推測に適用するかについて述べる．まず，2 章では関連研究について述べ，3 章でネットワーク構成情報表示システム(以下，本システム)の概要と，本システムの対象とするネットワーク及びネットワークを構成する機器について述べる．4 章ではネットワーク機器から収集する情報とその収集方法について詳しく述べる．5 章では収集した情報をもとにネットワーク機器間のトポロジを推測する条件式について述べる．6 章では新たに収集するインタフェースの速度情報について述べ，インタフェースの速度情報のトポロジ推測への適用について述べる．7 章に結論としてまとめと今後の課題について述べる．

2. 関連研究

関連研究として，Lowekamp 氏らによる"Topology Discovery for Large Ethernet Networks"[5]と, Breitbart 氏らによる"Topology discovery in heterogeneous IP networks"[6]がある．彼らのアルゴリズムでは対象となる機器すべての間での接続関係が判明した上で，物理的な接続の推測を行う．一方，我々の推測アルゴリズムでは機器間の接続は，必ずしもすべてが判明する必要がなく，また，Lowekamp 氏らのアルゴリズムでは対応できない VLAN により作られるループ構造も不完全ではあるが検出可能である．

その他に Son 氏らによる"Topology Discovery in Large Ethernet Mesh Networks"[7]では，STP のみによるネットワークトポロジの発見を行っている．しかし，すべての機器が STP を実装する必要があり, VLAN によるループのない環境でなければならない. 様々な機器の混在するネットワークでは，我々のシステムほど有効ではない．

3. イーサネットワークトポロジ表示システムの概要

本システムはネットワークの構成情報を収集する「構成情報収集部（以下, 収集部)」，収集した情報を基に接続関係を推測する「構成情報推測部（以下，推測部)」，推測結果を見やすく表示する「構成情報表示部（以下，表示部)」の 3 つからなる．図 1 に本システムの概要図を示す．収集部と推測部については，以降の章で述べる．

3.1 管理対象ネットワークの構成について

本システムが管理対象とするネットワークは LAN スイッチ・ルータ・サーバ等がイーサネットにより接続されたネットワークであり，これらのネットワーク機器についてネットワーク構成に関する情報を収集し，トポロジを推測する．また，イーサネットワークの MAC アドレスを基にトポロジの推測を行うため，管理対象となる機器は単一の管理用 VLAN に属する必要がある．LAN スイッチの他，ルータやサーバを管理対象とする理由だが，ルータについてはインターネット，または内部の他のサブネットワークへの中継点として重要であるためである．一方サーバには様々な役割があるが，中でも DHCP サーバや DNS サーバなどはインターネットとの接続に重要な役割を持っている. インターネットに接続するために必要な IP アドレスは DHCP サーバから取得する必要があり，WWW やメールで利用されるドメイン名は DNS サーバを利用し IP アドレスへ変換しなければならない．このようなサーバとのやりとりもイーサネットワークにおいてサーバまでの経路が確保されていることが前提となっている．そのため，ルータやサーバも含めたトポロジがネットワーク管理において重要となってくる．

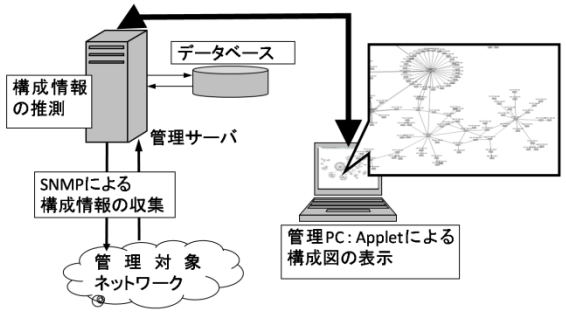

図 1 イーサネットワークトポロジ表示システムの概要

3.2 構成情報表示部

ネットワークトポロジ表示部は，JavaApplet で作成している．ネットワーク機器を現すノードをランダムに配置し，スプリング手法により徐々に整った配置に移動させる．図 2 はトポロジ情報を読み込んだ時点，図 3 は自動配置を行った時点の実効結果である．

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

自動配置終了後，各ノードの座標値をファイルに格納することができる．このことにより，別の日に収集したデータから得られたネットワークトポロジとの比較が容易になる．

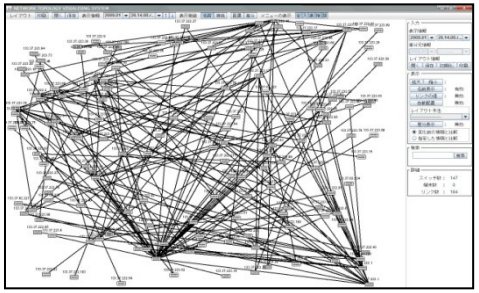

図 3　自動レイアウト前

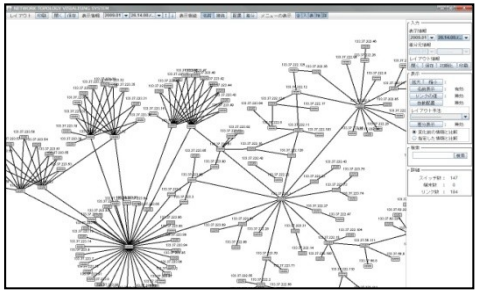

図 2　自動レイアウト後

4. 構成情報収集部

本章では本システムの運用環境である大分大学旦野原キャンパスの LAN(以下，学内 LAN)のネットワーク環境と収集する情報について詳しく述べる．

ネットワーク情報の収集方法としては, telnet などを用いることも考えられるがこの場合は機器ごとに必要なコマンドと収集した情報の形式が異なるため構成情報の収集と処理に非常に手間がかかり，有効ではない．そこで本システムではベンダに依存しないネットワーク管理プロトコルである SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いる．SNMP を用いることでベンダだけではなく，LAN スイッチやサーバといった機器の種類も意識する必要がなく，得られる情報も統一された形式となる．そのため，管理対象となる機器も SNMP が利用可能である必要があり，サーバには個別に SNMP エージェントをインストールしなければならない．

4.1 収集情報

3 章で述べたネットワークについて，実際に LAN スイッチ及びルータ・サーバから収集する MIB[8]-[12]について主なものを表 1 に示す．SNMP では，インタフェースに関わる MIB のグループである Interfaces グループが実装されていなければならない．そのため SNMP が利用可能な機器からはこれら Interfaces グループの情報を取得することができる．

基本的には表 1 にある SystemMIB，InterfacesMIB，BridgeMIB について各ネットワーク機器に設定されたコミュニティ名で MIB 情報を収集するのだが, いくつか例外がある．Cisco 社の LAN スイッチでは FDB を VLAN ごとに管理しており，LAN スイッチに設定しているコミュニティ名で dot1dTpFdbPort を収集しても，すべての FDB を収集できない．また，VLAN ごとの FDB である dot1qTpFdbPort を実装していないため，VLAN ごとの FDB を得るためには SNMP のコミュニティ名に「@VLAN-ID」を付加して，dot1dTpFdbPort を取得し，VLAN ごとの FDB 情報として用いる必要がある．AlaxalA 社の LAN スイッチはファームウェアのバージョンアップ前では，dot1dBasePortIfIndex が VLAN に対応していないため，privateMIB の axsVBBasePortIfIndex を収集し，dot1dBasePortIfIndex の代わりにする必要がある．逆にファームウェアのバージョンアップ後では，axsVBBasePortIfIndex ではインタフェースと FDB のポートの関連付けが正しくないため，dot1dBasePortIfIndex を用いなければならない．

表 1 主に収集する MIB

名前	MIB の意味
SystemMIB	
sysDescr(mib-2.1.1.0)	システム名など
sysUpTime(mib-2.1.3.0)	システム起動後からの累積時間
InterfacesMIB	
ifDescr(mib-2.2.2.1.2)	インタフェースの説明
ifType(mib-2.2.2.1.3)	インタフェースの種類
ifPhysAddress(mib-2.2.2.1.6)	インタフェースの MAC アドレス
BridgeMIB	
dot1dBaseBridgeAddress(mib-2.17.1.1.0)	LAN スイッチのブリッジとしての MAC アドレス
dot1dBasePortIfIndex(mib-2.17.1.4.1.2)	ポート番号とインタフェース番号の対応表
dot1dTpFdbPort(mib-2.17.4.3.1.2)	FDB 情報
dot1qTpFdbPort(mib-2.17.7.1.2.2.1.2)	VLAN ごとの FDB 情報
dot1dStpPortDesignatedBridge(mib-2.17.2.15.1.8)	STP におけるそのポートの代表ブリッジ
dot1dStpPortDesignatedPort(mib-2.17.2.15.1.9)	STP におけるそのポートの代表ブリッジ側のポート
privateMIB(AlaxalA)	
axsVBBasePortIfIndex	dot1dBasePortIfIndex の代替
axsOadpNeighborSNMPAgentAddress	隣接機器の IPv4 または IPv6 アドレス
axsOadpNeighborIfIndex	隣接機器の送信インタフェースの ifIndex の値

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-IOT-8 No.32
2010/3/2

NetGear 社の LAN スイッチのように，仕様には BridgeMIB をサポートしているとありながら，SNMP による FDB の取得ができない機器も存在する．その他にも，ベンダごとに規格の異なる NDP(Neighbor Discovery Protocol)も収集している．本論文では Cisco 社の CDP，Extreme Networks 社の EDP，NEC 社の OADP といった隣接機器探索のためのプロトコルを NDP と総称する．表 1 には AlaxalA 社の LAN スイッチに実装されている OADP の MIB 情報を提示している．

4.2 FDB 収集の事前準備

FDB はどのインタフェースの先にどのような機器が存在するかを記憶するデータベースであるが，FDB に保存される MAC アドレスの中には本システムで管理対象とするルータやサーバ，更に LAN スイッチ自身の MAC アドレスが含まれる．しかしルータやサーバと異なり，LAN スイッチは基本的には自発的な通信を行わないため，LAN スイッチの MAC アドレスが学習されることは少ない．また，FDB の情報は一定時間で揮発し，FDB の収量が一定しない．本システムでは機器間で通信を行わせるため TCP の 3-way ハンドシェイクを利用している．通常の 3-way ハンドシェイクでは通信を行う 2 つの機器間でのみ行われ，その他の機器との間でトラフィックは発生しない．そこで，送信元 MAC アドレス，送信先 MAC アドレス，送信元 IP アドレス，送信先 IP アドレスが記述されている TCP のイーサヘッダと IP ヘッダを図 4 のように変更する．送信元 IP アドレスを機器 Y と通信させたい機器 Z に偽装することで，図 4 のように機器 Y が受け取る SYN パケットは機器 Z から送信されたと判断され，機器 Y からの(SYN+ACK)パケットは機器 Z に向けて送信される．機器 Z では予期しないパケットであるため，機器 Y に向けて RST パケットを送信する．このやりとりにより，本来通信を行わない LAN スイッチ同士を通信させることが可能となり，FDB に LAN スイッチの MAC アドレス情報を蓄えることが可能となる．なお，TCP で必要となるポート番号は SNMP のポート番号 161 を使用する．

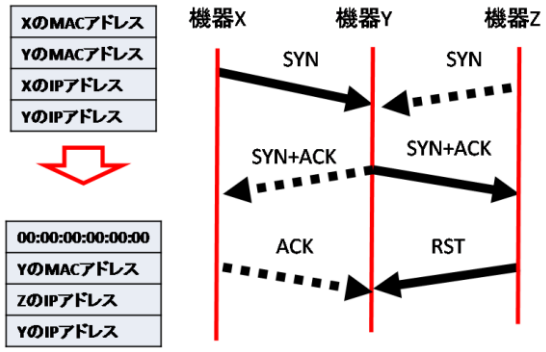

図 4 送信元を偽装した 3-way ハンドシェイク

5. 構成情報推測部

LAN スイッチ間の接続関係を決定する推測するための条件およびそれらの条件の適用順序について説明する．接続の推測にあたって，次のように定義する．

定義1.　「接続」

ある LAN スイッチのインタフェースがネットワークを介してでも，別の LAN スイッチのインタフェースに到達可能な時，これを「接続」という．

定義2.　「直接接続」

2 つのインタフェースが 1 本の物理線によってのみ接続されている場合，これを「直接接続」という．直接接続でない接続を「非直接接続」という．

5.1 接続の推測条件

LAN スイッチ間の接続関係は，推測を必要としない方法と FDB の状態から推測する方法の 2 種類がある．前者を「機器自身の MAC アドレスに基づく接続」と呼ぶ．後者は Lowekamp 氏の接続の推測の条件を 2 段階に分割したもので，それぞれ「一方向からの接続」，「逆方向からの接続」と呼ぶ．

条件1.「機器自身の MAC アドレスに基づく接続」

4 章 2 節において，LAN スイッチ自身の持つ MAC アドレスと，その MAC アドレスを学習させる手法について述べた．この手法を用いることで FDB に直接他の LAN スイッチへの経路が書き込まれる．この FDB の状態を利用し，LAN スイッチ間の接続関係を容易に取得することが可能となる．

条件2.「一方向からの接続」

条件 1 で多くの接続を取得可能であるが，VLAN を用いてトポロジの制御をおこなっている場合，条件 1 で示した FDB の学習方法ではデータフレームの通過しないパスが存在する．そこでこのような接続を取得するため，機器 i のインタフェース x に関連付けられた FDB に注目する．図 5 のように機器 i のインタフェース x が参照している MAC アドレス A と B が，機器 j のインタフェース y と z に分散されている場合，機器 i のインタフェース x から機器 j への一方向の接続があると推測される．これはスター型トポロジでのネットワークの分岐を推測している．

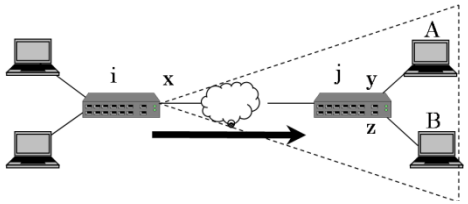

図 5 一方向の接続

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

条件3.「逆方向からの接続」

条件1ではFDBにより参照される機器自身(以下，機器j)のMACアドレスを基に接続を取得するが，このときMACアドレスが機器jのインタフェースと1:1対応している場合には2つの機器でお互いのインタフェースが判明する．しかし，MACアドレスが機器j全体を表わしていたり，複数のインタフェースと対応していたりすると，機器j側のインタフェースが判明しない．また，条件2でも機器j側のインタフェースは考慮されていない．そこでこれらの場合に機器j側のインタフェースを推測する必要がある．これは機器jのインタフェースyのFDB情報と，機器iのインタフェースr(≠x)のFDB情報に共通のMACアドレスが存在する場合に決定できる．図6はこの場合の接続例である．

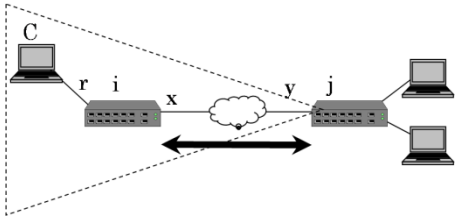

図 6 逆方向からの接続

5.2 直接接続の推測

条件4.「非直接接続の推測」

相互に接続関係にあるインタフェースが互いに同じ機器と接続している場合，インタフェース間に何らかの機器が存在することになる．このような接続を非直接接続とする．また，すでに直接接続が決定しているインタフェースがある場合，そのインタフェースとの直接接続以外の接続も，非直接接続とする．

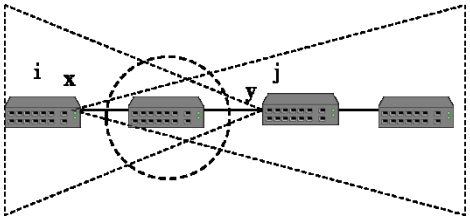

図 7 非直接接続の例

図7は非直接接続となるトポロジの例である．機器iのインタフェースxと機器jのインタフェースyは接続関係にあるが，それぞれ同一の機器に接続しており，実際には直接接続でないと推測される．

条件5.「直接接続の推測」

直接接続の決定は，あるインタフェースにおける接続関係が一つのみである場合，その接続を直接接続とする．

5.3 トポロジ推測の手順

接続の推測は図8の手順に従って行う．手順4は機器xのインタフェースiが機器yに接続しており，機器y側のインタフェースがわからない場合と，機器yのインタフェースjがインタフェースはわからないが機器xに接続している場合の2つの接続をから，インタフェースiとインタフェースjが接続していると推測されるため，この2つの接続を結合することができる．手順5では手順4で相手側インタフェースが判明した場合，その接続は不要となるため，削除する．

直接接続は図8の手順を終えた後，条件4と条件5を変化がなくなるまで繰り返すことで決定する．

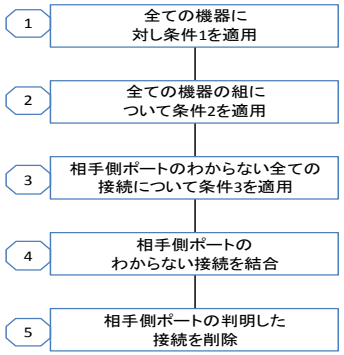

図 8 接続の推測の手順

6. インタフェースの速度情報の収集と推測への適用

イーサネットでは異なる速度をサポートするLANスイッチや機器が接続されることがある．このような場合，お互いのインタフェースで通信速度を自動的に判定(Auto-Negotiationまたは Auto-Sensing)し，最適な速度で通信を行う．

6.1 インタフェースの速度情報に収集について

インタフェースに設定された速度を収集するために，収集するMIBにinterfacesMIBのifSpeed(1.3.6.1.2.1.2.2.1.5)を追加する．このMIBは32bit整数でインタフェースに設定されている速度を表現する．しかし，現在では10Gbpsのインタフェースも一般的となっている．32bitでは4,294,967,296までしか表現できないため，10Gbps(10,000,000,000bps)を正しく表現できない．そこでより詳細なインタフェース情報を提示するifMIBグループ[13]のifHighSpeed(1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.15)も併用する．ifHighSpeedが表現する速度はMbps単位であり，整合性をとるためにifSpeedで得られた値を10^{-6}倍する．

6.2 インタフェースの速度情報の推測への適用

通信速度の自動判定により，直接接続であるインタフェース同士はインタフェース速度が一致する．逆にインタフェース速度が一致しない場合，その接続は直接接続ではないといえる．そこで図8の接続の推測が終わったのち，全ての接続についてイン

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan

タフェース速度が一致するかどうかを判定する．このとき一致しなかった場合は非直接接続として除外することができる．図 9 は図 8 の手順を終え，各機器で推測された接続数をインタフェース速度の確認前後に集計したものと最終的に推測された直接接続の数である．横軸が機器を，縦軸が機器ごとの接続数を示している．このグラフから多くの機器で速度の一致しない接続が除外されていることが分かる．全体では推測された接続数は 9498 から 5004 まで減少した．これにより，明らかに直接接続ではない接続を多く除外できたため，わずかではあるが推測精度の向上がみられた．また，直接接続の候補を半減できたことで直接接続の推測の速度も短縮できた．

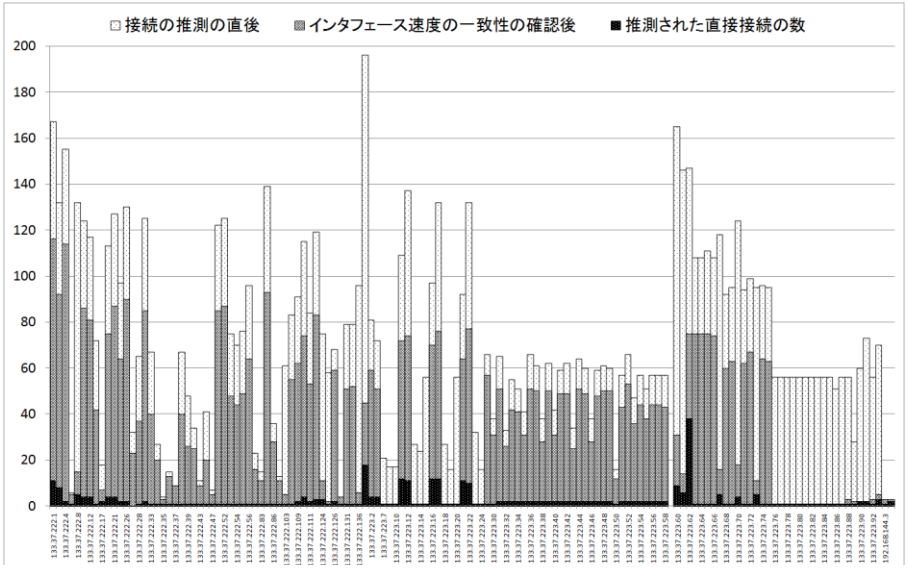

図 9 機器ごとの推測された接続の数

7. おわりに

イーサネットワークのトポロジを把握するために，ネットワークからトポロジに関する情報を収集し，トポロジを推測，表示することについて述べた．推測する際にインタフェースに設定される速度の一致性を利用することで，多くの接続関係が直接接続の推測の前に除外可能となった．ただし，インタフェース速度を有効に活用できる環境は，ネットワークで異なる速度の接続が多数存在する場合である．全ての接続が同一の速度である場合は接続の差別化ができないため，推測精度は従来の推測手法と同等となる．

今後の課題としては現在表示部で提示できる情報がトポロジと接続に使用されるインタフェース番号のみであるため，今回使用したインタフェースの速度や名称，機器の名称などを提示できるようにする必要がある．

謝辞

本研究の一部は，戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）の助成を受けている（課題番号：092310005）．

参考文献

1) 飯田隆義，兒玉清幸，有田敏充，藤田俊輔，吉田和幸，“ネットワーク構成情報表示システムのための自動配置アルゴリズムの改良と，評価”，“マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO 2008)シンポジウム”，pp.11908-1205，2008
2) 藤田俊輔，吉田和幸，Layer2 ネットワーク構成情報表示システムにおける STP および隣接機器探索プロトコルの活用について，情報処理学会第 1 回インターネットと運用技術シンポジウム 2008 論文集，pp.113-pp.120，2008
3) 藤田俊輔，吉田和幸，Layer2 ネットワーク構成情報推測・表示システムのための構成情報の収集-構成情報のベンダ依存性について-, 情報処理学会第 1 回 IOT 研究会 2008 論文集, pp.41-46, 2008
4) 藤田俊輔，吉田和幸，Layer2 ネットワーク構成情報表示システムにおける構成推測条件の適用順序の影響について，情報処理学会第 4 回 IOT 研究会 2009 論文集，pp.185-190，2009
5) B.Lowekamp, D.R.O'Hallaron, T.R.Gross, “Topology Discovery for Large Ethernet Networks”, “Procs. of Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications”, pp.27-31, 2001.
6) Y.Breitbart，M.Garofalakis，C.Martin，R.Rastogi，S.Seshadri，A.Silberschatz，“Topology discovery in heterogeneous IP networks”，“Procs. of INFOCOM2000”，2000.
7) Son，M.，Kim，B.，Lee，J，Topology Discovery in Large Ethernet Mesh Networks，IEICE TRANSACTIONS on Communications，Vol.E89-B No.1，pp.66-75，2006
8) J.Case,M.Fedor,M.Schoffstall,J.Davin, “A Simple Network Management Protocol”, RFC 1157, http://www.ietf.org，1990.
9) K.McCloghrie, “Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets:MIB-2”，RFC 1213，1991.
10) E. Decker，P. Langille, A. Rijsinghani, K. McCloghrie， “Definitions of Managed Objects for Bridges”, RFC 1493, http://www.ietf.org，1991.
11) D.Levi, D.Harrington， “Definitions of Managed Objects for Bridges with Traffic Classes, Multicast Filtering and Virtual LAN Extensions”, RFC 4363, http://www. ietf.org，2006.
12) “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Station and Media Access Control Connectivity Discovery”, 802.1AB-2005
13) K. McCloghrie, F. Kastenholz, "The Interfaces Group MIB using SMIv2", RFC2233, http://www,ietf.org, 1997

ⓒ2010 Information Processing Society of Japan