

ネットワークトポロジの発見と その表示について

Discover and Display the Network Topology

吉田 和幸

Kazuyuki YOSHIDA

大分大学総合情報処理センター

Information Processing Center, Oita University

ネットワーク構成情報を把握することは、ネットワーク管理をする上で重要なことである。ネットワークの構成を正確に把握しておくことによって、ネットワークの障害時に管理者は問題に的確に対処し、あるいは防止することができる。port VLANにより複数のポートを1つのVLANとして扱ったり、tag VLANにより、1つのポートに複数のVLANを多重化したりすることができる。このため、IP層でのネットワークトポロジとデータリンク層でのネットワークトポロジとは1対1に対応しない。物理層でのネットワークトポロジを反映しているデータリンク層のネットワークトポロジを把握することが、ネットワークの障害監視では重要である。しかしながら、ネットワークの物理的構成を把握することは困難である。我々はLANスイッチから収集したFDB(Forwarding Database)から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、LANスイッチのFDBからスイッチ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。本論文ではLANスイッチ間のトポロジの発見とそれを表示するシステムについて述べる。

キーワード： ネットワーク管理, ネットワークトポロジ, ネットワークトポロジ発見

It is important for network administrator to grasp network topology. By grasping network topology correctly, network administrators manage a problem quickly, or can prevent. Two or more ports can be treated as one subnet(VLAN) by port VLAN, or two or more VLANs can be multiplexed in one port by tag VLAN. For this reason, the network topology in IP layer does not correspond to the network topology in a data link layer. However, it is difficult to grasp network topology in a data link layer which corresponds to physical network topology. We proposed the algorithm which infers the LAN topology from FDB (Forwarding Database) collected from the LAN switches. And we implement and use the system which discovers LAN topology using this algorithm, and displays it visually. The system can obtain a almost steady result. In this paper, we describe the system for discovering and displaying network topology.

Keywords: Network Topology, Network Topology Discovery, Network Management

大分大学総合情報処理センター

〒870-1192 大分市旦野原 700

Information Processing Center, Oita University

Dannohararu, Oita 870-1192, JAPAN

1. はじめに

ネットワーク構成を把握することは、ネットワーク管理を行う上で非常に重要なことである。ネットワークの構成を正確に把握しておくことにより、ネットワーク障害等に素早く対処でき、あるいは防止することができる。port VLAN により複数のポートを1つのVLANとして扱ったり、tag VLAN により、1つのポートに複数のVLANを多重化したりすることができる。このため、IP層でのネットワークポロジとデータリンク層でのネットワークポロジとは1対1に対応しない。物理層のネットワークポロジを反映しているデータリンク層のネットワークポロジを把握することは、ネットワークの障害監視では重要である。

ネットワーク層では、経路制御プロトコルによって隣接ルータ間で経路情報を交換し、その結果、経路表のNext Hop Routerが明示される。一方、物理的構成を反映しているデータリンク層でのネットワークポロジをLANスイッチの持っている情報から抽出することは容易ではない。LANスイッチが持っているIPネットワークの経路表に対応するデータリンク層(イーサネット)の情報はFDB(Forwarding Database)である。しかしながらFDBには、最終目的地のイーサネットアドレス(MACアドレス)の情報はあるが、隣接するLANスイッチの情報は入っていない。我々の研究室では複数のLANスイッチからこのFDBを収集し、これらの情報から、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てきた。さらに、このアルゴリズムを用いて推測されたLANスイッチ間の接続関係を表示するシステムを作成し、利用してきた^{1),2),3),9),10),11)}。FDBは、しばらく参照されないとタイムアウトし、消えてしまう。収集できたFDBの量にかかわらず、このシステムではほぼ安定した推測結果を得ることができている。

また、LANの中にループが存在するのは、現在本システムを使いトポロジ情報を抽出している大分大学学内LANは、スパニングツリーは用いていないが、トラフィックの分散等のためにLANの中にループを構築しているからである。

本論文では、LANスイッチで構成されたLANのデータリンク層のトポロジの発見とその表示について述べる。まず、2章でLANスイッチからの情報の収集について述べ、その情報を用い

て、我々が提案するLANスイッチ間の接続関係を推測するアルゴリズムについて述べる。3章ではネットワークポロジの表示について述べる。

4章では結論である。

2. 情報収集とトポロジの推測

2.1 FDB等の収集

LANのトポロジ推測のために、SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いてあらかじめテキストに設定した示しておいた収集対象のとなる全てのLANスイッチから表1に示すのBridgeMIB⁷⁾、や拡張BridgeMIB⁸⁾およびMIB2のifPhysAddressを収集しから、FDB及びLANスイッチ自身のMACアドレスの情報を抽出する取得する。LANスイッチによっては、BridgeMIB、拡張BridgeMIBのどちらか一方だけしかインプリメントしていない。そのためこれら2つのMIBからFDBを集めている。拡張BridgeMIBを用いると、VLAN情報も集めることができるが、すべてのスイッチから集めることはできないので、この情報は捨てている。さらにLANスイッチによっては、SNMPのコミュニティ名に設定値@VLAN ID(例:public@500)という名前を指定して収集する必要がある。

表1 収集するMIB

| | MIB |
|-------------------------------|---|
| ifPhysAddress(スイッチ自身のMACアドレス) | .1.3.6.1.2.1.2.2.1.6 |
| BridgeMIB | .1.3.6.1.2.1.17.4.3.1.2 |
| qBridgeMIB | .1.3.6.1.2.1.17.7.1.2.2.1.2 |
| BridgeMIB(CISCO) | .1.3.6.1.2.1.17.4.3.1.2 コミュニティ@VLAN-ID |

表2 収集されるFDB情報

| MACアドレス | ポート番号 |
|-------------------|-------|
| 00:00:85:01:9A:C6 | 2 |
| 00:00:85:20:EA:6A | 1 |
| 00:00:85:24:30:C4 | 4 |
| 00:00:C9:04:98:2D | 1 |
| 00:00:E2:35:1E:64 | 5 |
| ... | ... |

実際にLANスイッチから得られる収

集される FDB 情報は表 2 のようになる。左が機器の MAC アドレス, 右がポート番号を示している。この情報から, どの機器がどのポートに接続されているのかということを知ることができる。

2.2 ネットワークトポロジの推測

接続を推測するにあたって, 次のように用語及び表記法を定義する。

定義 1 「接続」

LAN スイッチ同士が直接あるいは他の LAN スイッチを経由して一つ以上のネットワークを介してでも接続されている場合, それを「接続」と呼ぶ。

定義 2 「直接接続」

LAN スイッチ同士が一つの物理線によって直接接続されている場合には, 「直接接続」と呼ぶ。

定義 3 表記法

A_{ip} : スイッチ i のポート p に接続されているネットワーク機器の MAC アドレスの集合

C_{ip} : スイッチ i のポート p に接続されているスイッチの集合

D_{ip} : スイッチ i のポート p に直接接続されているスイッチ, $C_{ip} \supseteq D_{ip}$ である。

M_i : スイッチ i 自身の MAC アドレスの集合。LAN スイッチによっては, またはスイッチのインターフェースごとに異なる MAC アドレスを持つ等, 複数の MAC アドレスを持つ場合がある。のインターフェースごとの MAC アドレス

2.2.1 接続の決定

まず, 2つのスイッチの間で, それぞれどのポートをもちいて接続しているかを決定する。

条件 1

$$(A_{ip} \cap A_{jq} \neq \varnothing) \wedge (A_{ip} \cap A_{jm} \neq \varnothing) \Rightarrow C_{ip} \ni j$$

スイッチ i がスイッチ j に接続することを決定するためには, スイッチ i の別々のポートに接続された 2つの機器(MAC アドレス)を必要とする。

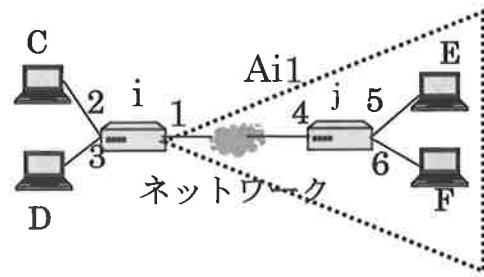


図 1 ネットワーク例(条件 1)

図 1 のようなネットワークでは, $A_{i1} = \{E, F\}$ であり, $A_{j5} = \{E\}$, $A_{j6} = \{F\}$ なので, $(A_{i1} \cap A_{j5} \neq \varnothing) \wedge (A_{i1} \cap A_{j6} \neq \varnothing)$ となり, $C_{i1} \ni j$ となる。

条件 1a

$$(A_{ip} \cap M_j \neq \varnothing) \Rightarrow C_{ip} \ni j$$

スイッチ i のポート p にスイッチ j 自身の MAC アドレス M_j の一つが含まれていれば, スイッチ i のポート p にスイッチ j が接続していることを決定できる。

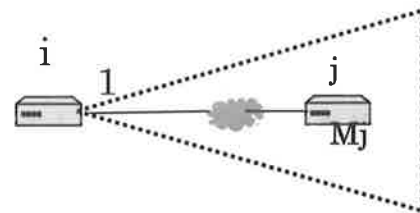


図 2 ネットワーク例(条件 1a)

図 2 のようなネットワークでは, $(A_{i1} \cap M_j \neq \varnothing)$ であり, $C_{i1} \ni j$ となる。

2つのスイッチ間で双方向とも条件 1, 1a が適用できればいいが, そうでないとき, 条件 2 を適用する。

条件 2

$$(C_{ip} \ni j) \wedge (A_{jq} \cap A_{in} \neq \varnothing) \Rightarrow C_{jq} \ni i$$

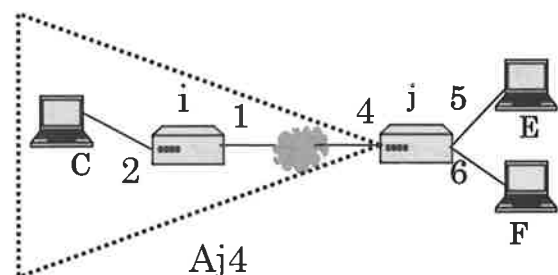


図 3 ネットワーク例(条件 2)

図3のようなネットワークでは、スイッチ*i*のポート1がスイッチ*j*に接続している($C_{i1} \ni j$)と、($A_{j4} \cap A_{i2}$) = {*C*} ≠ ∅なので、スイッチ*j*のポート4がスイッチ*i*に接続している($C_{j4} \ni i$)。

2.2.2 直接接続の推測

ネットワーク構成を推測するためにはスイッチ間の直接接続を決定する必要がある。そこで、条件1, 1a, 2を用いて接続の推測を行い、その推測結果であるLANスイッチ間の接続だけを基に直接接続の推測を行う。直接接続の条件として次の3つを考える。

条件3

$$C_{ip} = \{j\} \Rightarrow D_{ip} = j$$

LANスイッチ*i*のポート*p*にLANスイッチ*j*だけが接続されているとき、スイッチ*i*のポート*p*はスイッチ*j*に直接接続する。

条件4

$$(D_{ip} = j) \wedge (C_{jq} \ni i) \Rightarrow D_{jq} \ni i$$

2つのスイッチ間で、スイッチ*i*のポート*p*がスイッチ*j*に直接接続していると決定した場合、スイッチ*j*もポート*q*でスイッチ*i*に直接接続されていると決定できる。

条件3, 4で決定できない場合を考慮して条件5を考える。

条件5

$$C_{ip} \ni j \wedge C_{jq} \ni i \wedge (C_{ip} \cap C_{jq}) \neq \emptyset \Rightarrow D_{ip} \neq j$$

LANスイッチ*i*のポート*p*にLANスイッチ*j*が接続され、スイッチ*j*のポート*q*にスイッチ*i*が接続されており、さらにスイッチ*i*のポート*p*とスイッチ*j*のポート*q*とに接続される共通のスイッチがあるとき、*i*と*j*が直接接続されることはない。図4のようなネットワークで、スイッチ*j*はポート5でスイッチ*i*に接続されており、スイッチ*i*もスイッチ*j*に接続されている。さらに、 $C_{i1} \cap C_{j5} \neq \emptyset$ なので、 $D_{i1} \neq j$ となる。

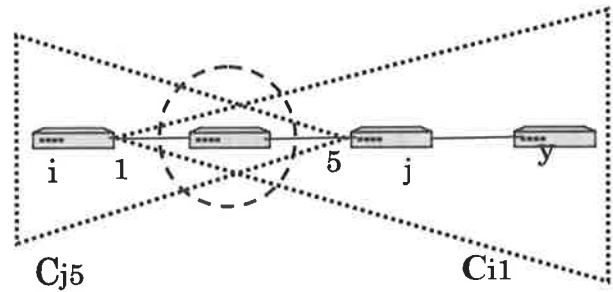


図4 ネットワーク例(条件5)

条件5を用いて、直接接続でないスイッチを除外することで、条件3, 4だけでは推測できなかった直接接続を決定できる場合がある。

2.2.3 VLANを考慮に入れた推測

2.2.3.1 同一MACアドレスが複数ポートに現れる

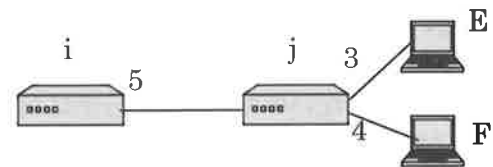


図5 MACアドレスが分散されている例

表3 スイッチ*i,j*(図5)のFDB

| スイッチ <i>i</i> | | スイッチ <i>j</i> | |
|---------------|---------|---------------|---------|
| ポート | MACアドレス | ポート | MACアドレス |
| 5 | E | 3 | E |
| 5 | F | 4 | F |

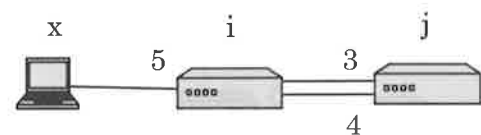


図6 同一MACアドレスが2つのポートに現れる例

表4 スイッチ*i,j*(図6)のFDB

| スイッチ <i>i</i> | | スイッチ <i>j</i> | |
|---------------|---------|---------------|---------|
| ポート | MACアドレス | ポート | MACアドレス |
| 5 | X | 3 | X |
| 5 | X | 4 | X |

スイッチ*i,j*が図5のように接続されているとき、スイッチ*i,j*のFDBは表3のようになっており、 $A_{i5} \ni A_{j3} = \{E\}$, $A_{i5} \ni A_{j4} = \{F\}$ である。これは条件1を満たしているのでスイッチ*i*と*j*の接続を決定できる。一方、スイッチ*i,j*が図6のように接続さ

れていて、サーバ x とスイッチ i との間に tag 付きで複数の VLAN が設定されており(tagVLAN), その VLAN の中の2つがそれぞれスイッチ i からスイッチ j の 3, 4 番ポートに接続されているとする。スイッチ j の 3 番ポートからスイッチ i を通ってサーバ x に至る VLAN と、スイッチ j の 4 番ポートからスイッチ i を通ってサーバ x に至る VLAN が存在する。このときの各スイッチの FDB を表 4 に示す。 $A_{i5} \ni X, A_{j3} \ni X, A_{j4} \ni X$ である。この場合も、 $A_{i5} \ni A_{j3}, A_{i5} \ni A_{j4}$ である。図 5, 図 6 とも、 $A_{i5} \ni A_{j3}, A_{i5} \ni A_{j4}$ となり、 i と j の接続関係が逆であるにもかかわらずこれらを区別できない。

VLAN を考慮しなければ「LAN スイッチ内では 1 つの MAC アドレスは 1 つのポートに対応している。」しかし VLAN を使用すると同じ MAC アドレスが複数のポートに対応することがある。この VLAN による影響を考慮して推測を行う必要がある。今回、収集している情報の中に VLAN の情報は含まれていないので、あるスイッチにおいて、1 つの MAC アドレスが 2 つ以上のポートに現れるとき、その MAC アドレスを取り除いて推測を行うことにした。

2.2.3.2 トラフィック分散のためループを構成する

図 7 は、スイッチ i, j 間にスイッチ k を経由する線と直接つながる線を張り、それぞれに異なる VLAN を割り当てて、トラフィックを分散させているネットワークである。スイッチ i, j, k 間の接続を推測したときに、 i, j 間、 j, k 間、 k, i 間それぞれで直接接続である接続が最初に見つければ、結果として

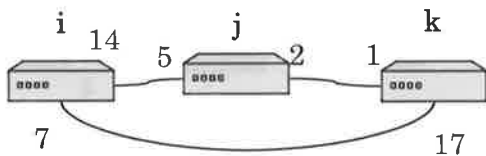


図 7 ループを構成するネットワーク例

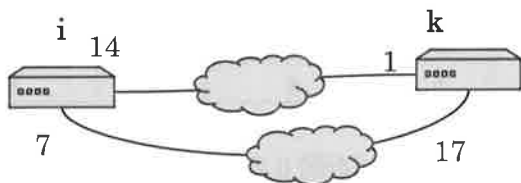


図 8 推測すべき接続例

ループが発見できる。しかしながら一つでも、そうでなければ、ループは発見できない。そのため、

図 8 のように複数のネットワークで接続されていることも考慮して、2 つの LAN スイッチ間で条件 1, 1a, 2 を繰り返し適用し、存在する全ての接続を推測する必要がある。

3. ネットワークトポロジの表示

ネットワークトポロジ情報表示部は、Java Applet で作成している。LAN スイッチをまずランダムに配置し、スプリング手法により徐々に整った配置に移動させる。その際、直接接続されている LAN スイッチ間にはあらかじめ目標距離を定め、目標距離より実際の距離が遠い時には引力が働き、近い時には反発力が働く。直接接続がない LAN スイッチ間には弱い反発力を与えて、全体が広がるようにしている。

自動配置終了後、各 LAN スイッチ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たネットワークトポロジとの比較が容易になる。

実行例として、トポロジ推測の条件を変えて推測した結果を図 9~12 に示す。条件を増やすごとに

図 9 条件 4 までを適用して推測したネットワーク



図 9 条件 4 までを適用して推測したネットワーク

図10: 条件5を加えて推測したネットワーク

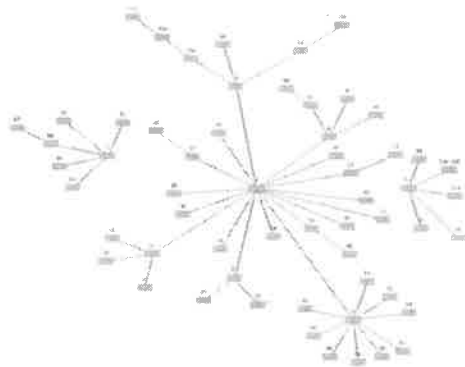


図 10 条件5を加えて推測したネットワーク

図11: VLANを考慮して推測したネットワーク



図 11 VLAN を考慮して推測したネットワーク

図12: ループを考慮した実行結果

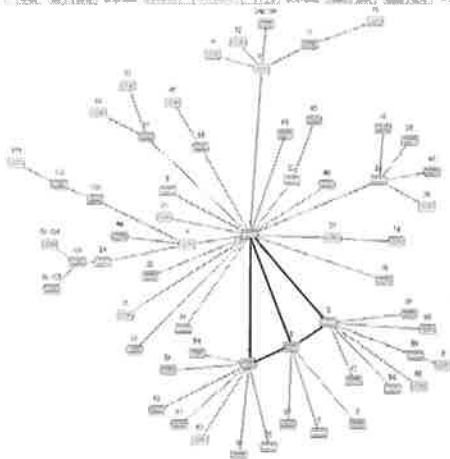


図 12 ループを考慮した実行結果

推測できたスイッチ間接続も増加していることがわかる。図 12 は、他の図と座標値を共有していないため、ネットワークの形が異なっている。

図9~12 では、煩雑になるので各スイッチのポート番号は表示していない。実際には、図 13 のようにLANスイッチ間の直接接続しているポートを表示することもできる。

4. おわりに

各LANスイッチからSNMPを用いてFDB等を収集し、その情報からLANスイッチ間の接続関係を推測するネットワークポロジ推測アルゴリズムについて述べ、その結果を表示するシステムに



図 13 ポート番号の表示例(部分)

について述べた。SNMPによるFDBの収集の際に、各LANスイッチ上のSNMPエージェントは、LANスイッチのそれほど高速でないCPUで実行されるため、130台のLANスイッチからのFDBの収集には5分ほどかかる。一方、収集したFDBからネットワークポロジの推測はすべての処理を主記憶上で行えるので、FDB情報の入力、推測結果の出力を考慮しても数秒で完了する。

VLANを考慮することにより、同一MACアドレスが複数のポートに現れる場合、トラフィック分散のためスイッチ間を複数のVLANで接続する場合にもスイッチ間接続の推測ができるようになった。スイッチ間の接続を多重化(リンクアグリゲーション、ポートランキング等)している場合、FDBには代表ポートしか現れないので、その他のポートの状況についてはプライベートMIBを調べる必要が

ある。我々が提案しているアルゴリズムでは FDB を基にトポロジを推測するので、スパニングツリープロトコルで待機になったスイッチ間の接続は推測できない。待機している部分の存在を認識するには FDB だけではなくスパニングツリーに関する情報も収集する必要がある。ブリッジ MIB を実装していない等 FDB を収集できないスイッチが少数含まれていても、周囲のスイッチの状況からその存在を推測することができるであろう。これらに対応することは、今後の課題である。

本研究の一部は科学研究費補助金特定領域研究(課題番号 18049064)の補助による。

参考文献

- 1) 長野, 松浦, 吉田: ネットワーク構成情報 3 次元表示システムの実現, 1999 年情報処理学会マルチメディア通信と分散処理 (DPS) ワークショップ論文集, p55-60 (1999)
- 2) 山路, 中谷, 久多良木, 吉田: Layer2 ネットワーク構成情報の推測とその表示について, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.103-108 (2003)
- 3) 山路, 中谷, 河野, 戸高, 吉田: Layer2 ネットワーク構成の推測について, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム論文集, Vol.2004, No.7, pp-631-634 (2004)
- 4) Y. Breitbart, M. Garofalakis, C. Martin, R. Rastogi, S. Seshadri, and A. Silberschatz: Topology discovery in heterogeneous IP networks, Procs. of INFOCOM 2000 (2000)
- 5) Y. Breitbart, M. Garofalakis, B. Jai, C. Martin, R. Rastogi, and A. Silberschatz: Topology Discovery in Heterogeneous IP Networks: The NetInventory System, IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 12, NO. 3, pp.401-2004
- 6) B. Lowekamp, D. R. O'Hallaron, and T. R. Gross, Topology Discovery for Large

Ethernet Networks, Procs. of Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, p27-31 (2001)

7) E. Decker, P. Langille, A. Rijsinghani, K. McCloghrie: Definitions of Managed Objects for Bridges, RFC 1493, <http://www.ietf.org> (1991)

8) 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)

9) 河野, 釜崎, 吉田: Layer2 におけるネットワーク構成図表示システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2005) 論文集, Vol. 2005, No. 5, pp. 757-760, (2005)

10) 河野, 釜崎, 平川, 大浦, 吉田: Layer2 ネットワーク構成情報の推測アルゴリズムの改良について, 情報処理学会「分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2005」論文集 pp. 61-66, (2005)

11) 大浦, 河野, 釜崎, 吉田: VLAN を考慮したネットワーク構成情報の推測アルゴリズムについて, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) 論文集, Vol. 2006, No. 6, pp. 629-632, (2006)

(2006 年 11 月 10 日原稿受付)

(2007 年 3 月 20 日採録決定)

著者略歴



吉田和幸 1957 年生, 1979 年九州大学工学部卒業, 1984 年同大学院工学研究科博士課程修了, 工学博士。同年 4 月大分大学工学部講師, 1986 年 4 月同助教授, 2002 年 7 月大分大学総合情報処理センター助教授。