社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2008－DSM－48 (3)
2008－QAI－26 (3)
2008／3／6

ハッシュ型テーブルオーバレイ方式によるセキュアVLAN分析システム

園田 健太郎† 松田勝志†
†NECサービスプラットフォーム研究所

概要：VLANは，物理ネットワークのように目視確認ができず，パケットの流れを把握することが難しいという管理上の問題がある．これまでに筆者らは，VLANの通信状態を高速に特定するためのインデックス生成技術であるテーブルオーバレイ（TO）方式を考案した．しかし，TO方式はあらかじめ接続ポート間の通信可否を検査するという特性上，スイッチの状態によって経路が動的に変化する冗長ネットワークには未対応であった．また，インデックス生成に時間がかかるという問題があった．本稿では，冗長ネットワークにも対応できるインデックス生成技術であるハッシュ型TO方式について述べる．また，TO方式とハッシュ型TO方式のそれぞれのインデックス生成時間を測定し，ハッシュ型TO方式の高速性を示す．

A Secure VLAN Analysis System by Table-Overlay Method using Hash Table

Kentaro SONODA†, Katsushi MATSUDA†
†Service Platforms Research Laboratories, NEC Corporation

Abstract: Network administrators who manage their networks using VLAN have issues, one of which is difficult to understand the packet flow because they can not grasp the flow by tracing physical connections. Table-overlay (TO) method which is an indexing technique to inspect VLAN communication ranges overcomes above the issue. The TO method, however, has two problems. One is to not inspect communication ranges in redundancy networks, the other is to take much time to generate the index. In this paper, we propose a new TO method using hash table which can be applied to the redundancy networks. We made an experiment to evaluate the indexing speed with several network configurations. The result shows that the new TO method is faster than previous one.

1．はじめに

LANスイッチ（以下，スイッチと称す）の重要な機能のひとつにVLANがある．VLANを使うことで，物理構成に依存しない仮想ネットワークを柔軟に構築することができる．しかし，VLANを使った仮想ネットワークの構成は，物理ネットワークのように目視による確認ができないため，パケットの流れを把握することが難しく，過剰通信許可ポート（管理者の意図しない通信を許可する接続ポート）を見落とす可能性があり，セキュリティ上危険である．過剰通信許可ポートを発見するためには，ネットワーク上の全スイッチの接続ポートに対して通信可否を検査する必要がある上，VLAN間ルーティングやフィルタリング等の通信制御も考慮しなければならず，膨大な時間がかかる．

これまでに筆者らは，VLANの通信範囲を高速に特定するためのインデックス生成技術であるテーブルオーバレイ（TO）方式を考案した．TO方式は，通信状態を表すテーブルをネットワークレイヤ別に生成し，それらのテーブルを組み合わせてあらかじめネットワーク上の全接続ポート間の通信可否を求めておく方法である．しかしながら，TO方式は，あらかじめ接続ポート間の通信可否を検査するという特性上，スイッチの状態によって通信経路が動的に変化する冗長ネットワークには対応できない．また，インデックス生成に時間がかかるという問題がある．

本稿では，冗長ネットワークに対応するVLANの通信範囲を特定するためのインデックス生成技術であるハッシュ型TO方式と，それを使ってVLANの通信範囲を高速に出力するセキュアVLAN分析システムについて述べる．また，TO方式とハッシュ型TO方式の各インデックスの生成時間を測定した結果について述べる．

2．研究背景

2．1 仮想ネットワーク管理の問題

管理者は，VLANによる仮想ネットワーク構築時に，その通信状態が管理者の意図する通りであるかを検査する必要がある．通信状態とは，スイッチの各接続ポートのコンフィグ設定上の通信可否を指す．VLANの

通信状態の検査を人手で行うことは，スイッチやVLAN が数百～数千となる大規模ネットワークでは，管理者の作業負荷が非常に大きい．その上，VLAN 間ルーティングによる通信範囲の拡大やフィルタリング等による通信制御が含まれていると，通信状態を誤って判定してしまうような検査ミス発生の可能性がある．

2．2 テーブルオーバレイ方式

これまでに筆者らは，この問題を解決するためにTO 方式を考案した．TO 方式は，VLAN の通信範囲を高速に特定するためのインデックス生成技術である．VLAN の動作範囲であるレイヤ 2 を中心にして，レイヤ 1 とレイヤ 2 間，及びレイヤ 2 とレイヤ 3 間の通信状態を別々に保持し，各通信状態の結果を組み合わせて接続ポート間の通信可否を求める方法である[1]．

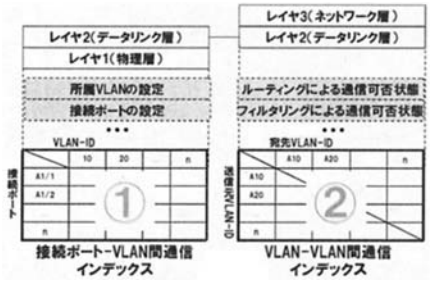

図 1．TO 方式によるインデックス生成

図 1-①はレイヤ 1-2 間の通信状態を表すインデックスであり，図 1-②はレイヤ 2-3 間のインデックスである．前者は各スイッチの接続ポートに対するVLAN-ID 毎の通信状態を表し，後者は各スイッチに設定される全 VLAN 間の通信状態を表す．後者のインデックスを使って通信可能な VLAN を調べ，そのVLAN が設定される接続ポートを前者のインデックスを使って調べることで，通信範囲を特定できる．この 2 つのインデックスは，レイヤ間の通信状態をあらかじめ計算した結果であり，これらのインデックスを使うことで，任意の VLAN の通信範囲を求める際に必要な計算処理量を大幅に削減できる．

2．3 冗長ネットワークへの対応

近年，企業のミッションクリティカルな業務増加に伴い，企業ネットワークの冗長化が一般的となってきている．TO 方式は，静的なネットワークの通信状態を事前に計算することで高速化しているため，冗長ネットワークには対応していない．そのため，冗長ネットワークの普及に対応する必要がある．

冗長ネットワークには様々なトポロジが考えられるが，一般的に図 2 のような 3 階層モデルに基づいていることが多い．

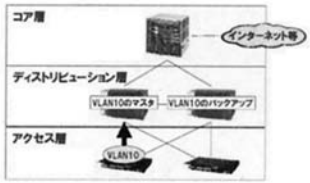

図 2．ネットワークの 3 階層モデル

このモデルでは，ブロードキャストストームを防止するため，アクセス層から伝送されてくるパケットを二重化したスイッチのどちらで受信するかをあらかじめ決めておく必要がある．受信スイッチの選択には様々な方法があるが，VLAN 毎にマスタ／バックアップの設定をすることが多い．つまり，冗長ネットワークでは，VLAN 毎に通信経路が異なる．TO 方式によって生成されるインデックスには，スイッチの二重化によって通信経路が複数存在する場合の経路選択情報は含まれていない．つまり，TO 方式は通信経路が一意に決まっているネットワークにしか対応できない．

2．4 機器障害を想定した通信範囲特定への対応

TO 方式では，分析対象のネットワークは，常に正常稼動していることを前提としていた．しかし，ネットワーク管理の現場では，正常稼動時における VLAN 通信範囲の特定だけでなく，スイッチに障害が発生した場合に，他のスイッチに通信途絶を及ぼす範囲を知りたい，といったニーズがある．さらに，2.3 節で述べた冗長ネットワークの場合，マスタスイッチの障害時にバックアップスイッチが作動して通信が確保されるような正しいコンフィグ設定となっているかを確認したい，というニーズもある．

TO 方式の場合，スイッチ障害時の VLAN 通信範囲の特定を行うためには，全てのスイッチの障害発生パターンを算出して，パターン毎にインデックスを用意しなければならない．これでは，スイッチの増加と共に膨大なパターンが発生するため，インデックス生成に非常に時間がかかってしまう．

2．5 インデックス生成時間の高速化

これまでに筆者らは，TO 方式を実装したセキュアVLAN 分析システム Ver.1（以下，SVAS1 と称す）を使って，インデックス生成時間と通信範囲特定時間の測定を行った．通信範囲特定時間とは，管理者がVLAN の通信範囲を調べるために，SVAS1 上でVLAN-ID を指定してから，通信範囲の結果が出力されるまでにかかる時間である．その測定結果を表 1 に示す．測定用 PC のスペックは，Xeon3.6GHz／メモリ 2GB である．

表 1. インデックス生成と通信範囲特定にかかる時間

スイッチ数／VLAN数	セキュアVLAN分析システムVer.1	
	インデックス生成時間	通信範囲特定時間
10台/10個	8秒	1秒
10台/50個	76秒(1分16秒)	1秒
10台/100個	537秒(8分57秒)	1秒
50台/10個	1875秒(31分15秒)	1秒
50台/50個	7454秒(2時間4分14秒)	1秒
50台/100個	32640秒(9時間4分)	1~2秒
100台/10個	5日以上	数秒以内(推定)
100台/50個	5日以上	数秒以内(推定)
100台/100個	5日以上	数秒以内(推定)

通信範囲特定時間は，TO 方式で生成されたインデックスによって，スイッチ数・VLAN 数が増加しても数秒で完了することが確認できている．しかし，インデックス生成時間は，スイッチ数・VLAN 数の増加に伴って指数関数的に増加してしまう結果となっている．少なくとも数時間程度に抑えなければ実用的ではない．

2．6 関連技術

櫻田は，2 点の接続ポート間において，任意の VLAN-ID を持つパケットが通信可能か否かをモデル検査を用いて自動で判定する技術を提案している[2]．しかしながら，冗長ネットワークにおける複数経路の選択方法は言及されておらず，スイッチの障害発生も考慮されていない．櫻田の方式と類似する技術に宮本ら[3]や鈴木ら[4]の提案があるが，同様の問題がある．

山下らは，全ての接続ポート間で試験フレームを送信し，その経路上のスイッチや接続ポートでの通過状況をトレースして伝送状態を確認することで，フレームの通信遮断（障害）箇所を検出する技術を提案している[5]．しかし，実際のネットワーク上に試験フレームを流す必要があるため，稼働中のネットワークに対して適用することは難しい．

綱木ら，及び大浦らは，ネットワーク上のスイッチから MIB 情報や MAC アドレステーブルを収集して利用することで，レイヤ 2 トポロジを自動検出する技術を提案している[6][7]．この場合，レイヤ 2 トポロジを正確に把握することが可能だが，接続ポート間の通信状態は MIB 情報や MAC アドレステーブルに含まれていないため，VLAN の通信範囲を調べることはできない．同様に，スイッチ障害時の迂回経路を把握することもできない．

この他，冗長ネットワークにおける VLAN 毎の通信経路やスイッチ障害を考慮した通信状態の検査を行う技術は見つかっていない．

3．ハッシュ型 TO 方式による通信範囲特定

これらの問題を解決するために，冗長ネットワークに対応する VLAN 通信範囲を特定するためのインデックス生成技術であるハッシュ型 TO 方式を考案した．

3．1 ハッシュ型テーブルオーバレイ方式

ハッシュ型 TO 方式は，冗長ネットワークにおける VLAN の通信範囲を特定するためのインデックス生成技術である．スイッチ内の接続ポートの通信範囲のみを TO 方式と同様にインデックス化し，スイッチ間の通信経路の候補をハッシュテーブルに登録する．そして，検査実行時に経路を特定するプロトコルに応じたルールを用いてハッシュテーブルを連鎖的にたどることで，通信範囲を求める方法である．すなわち，ハッシュ型 TO 方式は，ルーティングに無関係な部分はインデックス生成時にあらかじめ計算し，ルーティングに関係する部分は管理者による検査実行時に経路特定ルールに従って行う方式である（図 3）．

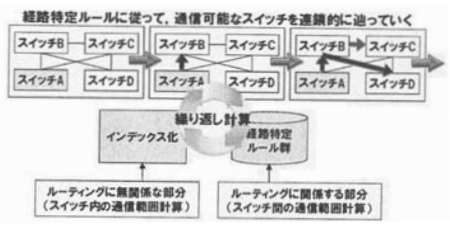

図 3. ハッシュ型 TO 方式

これによって，スイッチの状態によって通信経路が動的に変化する冗長ネットワークにおける VLAN 通信範囲の特定が可能となる．また，経路の動的な変化に対応できるため，スイッチの障害発生を想定した VLAN 通信範囲の特定も行うことができる．また，経路特定処理を分離化したことで，インデックス生成時間の短縮化が可能となる．

3．2 ハッシュ型インデックス

ハッシュ型インデックスは，スイッチ間の通信経路候補をハッシュテーブルに登録したインデックスである．KEY にはスイッチに登録される VLAN-ID，VALUE には KEY が通信可能な別のスイッチの VLAN-ID，すなわち通信経路候補を持つ．通信経路候補は，TO 方式を使って求める．図 4 は，ハッシュ型インデックスの例である．

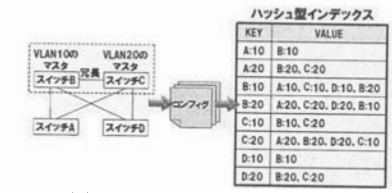

図 4. ハッシュ型インデックス

例えば，図 4 のハッシュ型インデックスの 1 行目は，「スイッチ A から送信される VLAN10 のパケットは，スイッチ B 内の VLAN10 が設定される接続ポートと

通信可能」ということを表す．

3．3 ハッシュ型インデックスを使った VLAN 通信範囲の特定方法

ハッシュ型インデックスを使った VLAN 通信範囲の特定では，ハッシュ型インデックスの走査時にルールを用いる．用いるルールセットは，GSRP や STP，MST のようなプロトコル毎に用意した各プロトコルにおける経路決定方法をルール形式で記述したものである．ここでは簡単のため，GSRP のルールセットを用いた通信範囲の特定方法について述べる．

GSRP のルールセットには，表 2 の 5 ルールがある．

表 2．GSRP 用経路特定ルールセット

ルール1	スイッチの正常稼動時は，バックアップスイッチはマスタスイッチへのみパケットが流れる
ルール2	スイッチの正常時稼動は，冗長経路部分は，マスタスイッチへのみパケットが流れる
ルール3	スイッチの正常稼動時は，マスタスイッチからバックアップスイッチへは，パケットは流れない
ルール4	同じVLAN-IDを持つパケットは，送信元スイッチへ再送されない
ルール5	障害が発生しているスイッチへは，パケットは流れない

スイッチネットワークの冗長化プロトコルとしては，STP が一般的によく使われるが，3 階層モデルを想定した場合，GSRP はアクセス層のスイッチに設定をする必要がないため，全てのスイッチに設定する必要がある STP と比べて運用管理が容易等の理由から，まずは GSRP に対応した．

ハッシュ型インデックスの通信経路候補に対して表 2 の経路特定ルールのマッチングを繰り返すことで，通信範囲を求めることができる．図 4 のネットワーク及びハッシュ型インデックスにおける VLAN の通信範囲を特定する手順の一部を図 5 に示す．

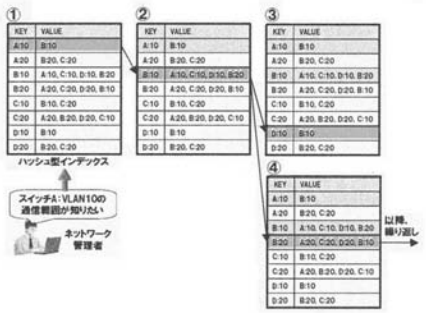

図 5．VLAN 通信範囲の特定の流れ

図 5-①は，図 4 のハッシュ型インデックスと同じである．管理者は，スイッチ A の VLAN10 の通信範囲を調べたいとした時，以下のステップで通信範囲を特定していく．

1．ハッシュ型インデックスの中から「A:10」を持つ KEY の通信経路候補は「B:10」と分かる（図 5-①）
2．「B:10」の通信可否を確認するため，表 2 の経路特定ルールのマッチングを行うと，いずれのルールともマッチしないため，「B:10」は通信可と分かる．さらに，「B:10」の通信経路候補は，「A:10,C:10,D:10,B:20」と分かる（図 5-②）
3．「A:10,C:10,D:10,B:20」のそれぞれに対してルールのマッチングを行うと，「A:10」はルール 4，「C:10」はルール 3 にマッチするため，通信不可と分かる．「D:10」と「B:20」はいずれのルールともマッチしないため，通信可と分かる．この処理を通信可能な経路候補がなくなるまで繰り返す（図 5-③，図 5-④）ことで，VLAN の通信範囲を特定できる．

3．4 ハッシュ型 TO 方式の STP 対応

ハッシュ型 TO 方式は，GSRP 以外の冗長化プロトコルにも柔軟に対応できる．例えば STP の場合は，表 3 の STP 用の経路特定ルールセットを GSRP 用ルールセットと置き換える．そして，ハッシュ型インデックス生成時に STP によって通信不可となる接続ポートを MIB 情報を使って調べておく．後は，STP による通信不可ポートを考慮しながらルールのマッチング処理を行っていけばよい．

表 3．STP 用経路特定ルールセット

ルール1	同じVLAN-IDを持つパケットは，送信元スイッチへ再送されない
ルール2	障害が発生しているスイッチへは，パケットは流れない
ルール3	STPによって通信拒否される接続ポートへは，パケットは流れない

その他の冗長化プロトコルについても，各プロトコルの通信制御の特性応じたルールセットを作成することで対応が可能である．

4．セキュア VLAN 分析システム Ver.2

ハッシュ型 TO 方式を用いて VLAN の通信範囲を特定するセキュア VLAN 分析システム Ver.2（以下，SVAS2 と称す）を試作した．

4．1 VLAN 通信範囲の特定

管理者は，SVAS2 を使ってスイッチに登録されている VLAN-ID を指定するだけで，その通信範囲となる接続ポートを知ることができる．VLAN の通信範囲結果は，以下の 4 つに区分けして表示される．

1．同一 VLAN で通信可能な接続ポート（図 6-①）
2．異なる VLAN で通信可能な接続ポート（図 6-②）
3．部分的に通信可／不可の接続ポート（図 6-③）
4．通信不可の接続ポート（図 6-④）

図 6．SVAS2 を使った VLAN 通信範囲特定の結果

通信範囲結果は，図 6 のように文字列で表示する他に，ネットワークトポロジと通信経路結果を重ね合わせて，VLAN 通信範囲を可視化する機能を備えた（図 7 の A）．図 7 の A の各スイッチをクリックすると，そのスイッチが備える全ポートの通信状態が図 6 の 4 区分と同じ色で表示される（図 7 の B）．ネットワークトポロジのグラフィック生成には，Graphviz[8]を使っている．

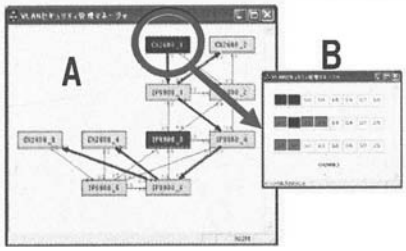

図 7．VLAN 通信範囲の可視化

4．2 機器障害を想定した VLAN 通信範囲特定

ハッシュ型 TO 方式は，スイッチの障害を想定した通信範囲の特定を行うことができる．スイッチの障害発生を想定した VLAN の通信範囲を調べる時は，図 6 の丸枠に表示される「障害想定スイッチ一覧」の中から任意のスイッチを選択した後，通信範囲の分析を実行すればよい．この場合，ハッシュ型インデックスの中から障害発生スイッチが関わる KEY と VALUE をあらかじめ削除した後，3.3 節と同様の通信範囲の特定処理を行うことで，スイッチ障害を考慮した VLAN の通信範囲が特定できる．

4．3 通信範囲同一性分析

通信範囲同一性分析は，スイッチの障害時と正常時の各 VLAN の通信範囲を自動的に比較し，セキュリティリスクとなるコンフィグの設定ミスを検出する機能である．ネットワークを冗長化する場合，スイッチ障害時でも正常時と同じ通信範囲が確保されている必要がある．通信範囲の一致を管理者が目視で確認するのは時間がかかり，確認ミスも出やすい．このため，スイッチの障害時と正常時の VLAN 通信範囲の同一性を簡単かつ正確に検査したいというニーズがある．

SVAS2 では，管理者がスイッチ障害を想定した VLAN の通信範囲を調べる時，同時にスイッチの正常時の通信範囲を求め，両方の通信範囲結果が一致しているかどうかを自動的に確認し，その結果をコメント表示する．通信範囲が一致しない場合は，通信範囲が一致していないスイッチの接続ポートを掲示するため，管理者はコンフィグの設定ミスの所在を容易に特定することができる．

5．評価実験

SVAS2 と SVAS1 を使って，各インデックス生成時間と通信範囲特定時間を測定し，ハッシュ型 TO 方式を使ったインデックス生成の高速性の度合を計った．測定用 PC は，2.5 節と同じスペックのものを用いた．

5．1 実験概要

2 種類の評価実験を実施した．

実験 1：SVAS2 のハッシュ型インデックス生成時間及び通信範囲特定時間の測定

実験 2：SVAS1 のインデックス生成時間及び通信範囲特定時間の測定と実験 1 の結果との比較

評価対象のネットワークは，表 4 のように，スイッチ数と VLAN 数を変化させた 9 種類のネットワーク規模について，ツリー型と冗長型の 2 種類のトポロジを用意し，合計 18 種類のネットワークを用意した．ツリー型とは任意の 2 台のスイッチ間の通信経路が 1 つだけ存在するトポロジであり，冗長型とは通信経路が複数存在するトポロジである．

5．2 実験 1 の結果

SVAS2 のハッシュ型インデックス生成時間及び通信範囲特定時間の測定結果を表 4 及び図 8 に示す．

表 4．SVAS2 の測定結果

スイッチ数/VLAN数	ツリー型ネットワーク		冗長型ネットワーク	
	インデックス生成時間	通信範囲特定時間	インデックス生成時間	通信範囲特定時間
10台/10個	7秒	1秒	7秒	1秒
10台/50個	9秒	1秒	9秒	1秒
10台/100個	13秒	1秒	16秒	1~3秒
50台/10個	17秒	1秒	26秒	1秒
50台/50個	80秒	1~8秒	123秒	1~49秒
50台/100個	223秒	1~31秒	338秒	1~300秒
100台/10個	98秒	1~4秒	208秒	1~5秒
100台/50個	463秒	1~60秒	617秒	1~228秒
100台/100個	1181秒	1~200秒	1929秒	1~1686秒

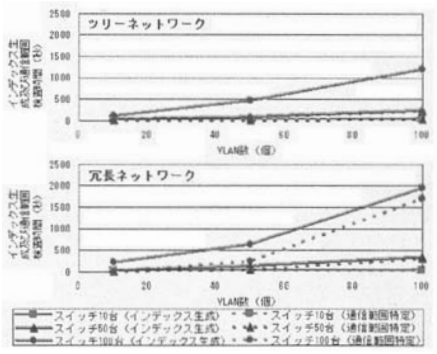

図 8．SVAS2 のインデックス生成時間

スイッチ数が 10 台，50 台の比較的小規模のネットワークでは，ネットワークトポロジによらずハッシュ

型インデックス生成時間は数分，通信範囲特定時間は数秒程度で処理が完了しているが，スイッチ 100 台の中規模ネットワークでは，ハッシュ型インデックス生成と通信範囲特定にそれぞれ数分～数十分かかるという結果となった．特に，冗長ネットワークでは，通信経路が複数存在することから，ハッシュ型インデックス生成と通信範囲特定の各時間は，VLAN 数の増加に伴い線形以上に増大している．なお，1 つの対象ネットワークで通信範囲特定時間が「1～8 秒」等のばらつきが生じているのは，検査対象 VLAN の VLAN 間ルーティングによる影響がある． VLAN 間ルーティングを拒否する場合は，検査対象は自身の VLAN に閉じるため通信範囲が狭く，特定時間も 1～2 秒といった短時間で済む．一方，VLAN 間ルーティングを許可する場合は，検査対象の VLAN が増え，通信範囲が極端に広くなるため，時間がかかってしまう．

5．3 実験 2 の結果

次に，SVAS1 のインデックス生成時間及び通信範囲特定時間の測定と実験 1 の結果との比較を表 5 に示す．

表 5. SVAS1 の測定結果と SVAS2 との比較

スイッチ数/VLAN数	セキュアVLAN分析システムVer.1（ツリーネットワーク）		セキュアVLAN分析システムVer.2（ツリーネットワーク）		インデックス生成時間の高速度合
	インデックス生成時間	通信範囲特定時間	インデックス生成時間	通信範囲特定時間	
10台/10個	8秒	1秒	7秒	1秒	1.1倍
10台/50個	76秒	1秒	9秒	1秒	8.4倍
10台/100個	537秒	1秒	13秒	1秒	41.3倍
50台/10個	1875秒	1秒	17秒	1秒	110.3倍
50台/50個	7454秒	1秒	80秒	1～8秒	93.2倍
50台/100個	32640秒	1～2秒	223秒	1～31秒	146.4倍
100台/10個	5日以上	数秒以内（推定）	98秒	1～4秒	4408倍以上（推定）
100台/50個	5日以上	数秒以内（推定）	463秒	1～60秒	933倍以上（推定）
100台/100個	5日以上	数秒以内（推定）	1181秒	1～200秒	366倍以上（推定）

SVAS1 は，スイッチ 100 台規模のネットワークでは，インデックス生成に膨大な時間がかかり，結果的に 5 日以内に完了することができなかった．通信範囲特定時間は，スイッチ数や VLAN 数の増減によらず高速であり，スイッチ 50 台規模のネットワークにおいてもほぼ 1 秒で結果が出力された．一方 SVAS2 は，スイッチ 100 台規模のネットワークでも数十分程度でインデックス生成を完了することができた．また，通信範囲特定時間は，VLAN 間ルーティングをしない VLAN の通信範囲であれば，数秒程度で結果を出力することができる．VLAN 間ルーティングによって通信範囲が拡大される VLAN を調べる場合には，数分の時間を要する．

SVAS1 と SVAS2 の各インデックス生成時間を比較して高速化の割合を示したものが表 5 の最右列である．スイッチ数・VLAN 数の増加に伴って SVAS1 と SVAS2 のインデックス生成時間の差は顕著に現れ，スイッチ 50 台／VLAN100 個の中規模ネットワークでは，146.4 倍という高速性を確認することができた．また，通信範囲特定時間は，SVAS1 では 1～2 秒，SVAS2 では 1～31 秒という結果となり，SVAS1 の方が高速である．その理由は，SVAS2 ではインデックス生成時に経路に依存しない部分の通信可否のみを検査しインデックス化するため，通信範囲特定時に経路判定が必要だが，SVAS1 ではインデックス生成時に全ての経路について検査を行いインデックス化するため，通信範囲特定時には経路判定の必要がないからである．

6．おわりに

本稿では，冗長ネットワークに対応する VLAN の通信範囲を特定するためのインデックス生成技術であるハッシュ型 TO 方式と，それを用いたセキュア VLAN 分析システムについて述べた．また，スイッチ数及び VLAN 数が百程度で構成される中規模ネットワークにおける VLAN 通信範囲の特定に対して，ハッシュ型 TO 方式によるセキュア VLAN 分析システムが十分利用できることを示した．今後は，スイッチ一千台以上の大規模ネットワークに対応するためのハッシュ型 TO 方式の改良や，各種冗長化プロトコルへの対応等の技術拡張を行っていく予定である．

【参考文献】

[1] 園田,松田,「テーブルオーバレイ方式によるセキュア VLAN 分析システム」,第 6 回情報科学技術フォーラム講演論文集,第 4 分冊,pp.119-120 (2007)

[2] 櫻田,「モデル検査を用いたタグ VLAN の設定検査」,情報処理学会論文誌,Vol.47,No.7,pp.2247-2257 (2006)

[3] 宮本,田村,鈴木,平岡,松尾,泉,福永,「インターネット応用システムの構築と運用管理　大規模ネットワークにおける VLAN 管理システム」,情報処理学会論文誌,Vol.41,No.12,pp.3234-3244 (2000)

[4] 鈴木,湯浅,「SNMP による MAC アドレス探索とレイヤ 2 通過ノード特定ツール」,情報処理学会研究報告,DSM-38,Vol.2005,No.83,pp.51-54 (2005)

[5] 山下,犬束,平野,松本,鈴木,佐藤,三上,「Ethernet スイッチによる広域 2 層ネットワークの障害検出方法」,電子情報通信学会大会講演論文集,通信 2　B-7-16,p.149 (2001)

[6] 續木,泉,齋藤,塚田,「組織内ネットワークにおける Layer-2 トポロジ検出システムの提案」,情報処理学会研究報告,DSM-43,Vol.2006,No.97,pp.37-42 (2006)

[7] 大浦,河野,釜崎,吉田,「VLAN を考慮した Layer 2 ネットワーク構成情報推測アルゴリズムについて」,情報処理学会シンポジウム論文集,Vol.2006,No.6-2,pp.629-632 (2006)

[8] http://www.graphviz.org