VLAN タグを用いたリングネットワーク

正 員 清水 洋

Ring Network with VLAN Tag

Hiroshi Shimizu, Member

The proposed Ring Network with VLAN Tag offers the features of wrapping/steering control functions and 1+1 path protection function, keeping the compatibility with Ethernet media access control scheme. The key technology for “Path concept” is VLAN tag swapping operation. A set of primary and back-up paths is defined between ring nodes, which are distinguished by a flag bit in VLAN tag field. On failure detection, the path is switched within the path set by the tag swapping. Tag swapping at the failure detection node, while tag swapping at the source node achieves staring operation, achieves Wrapping operation. The restoration behavior is almost the same as that of Resilient Packet Ring (RPR). Since the tag swapping control is based on hardware processing, high-speed operation is also expected. Furthermore, because the paths are independently designed from the physical topology, the scheme can be applied to other networks than physical ring networks. The proposed scheme will fit to the path control for next generation Ethernet over WDM system.

キーワード：VLAN タグ、タグスワッピング、リングネットワーク、レジリエントパケットリング

Keywords：VLAN Tag, Tag Swapping, Ring Network, RPR

1. はじめに

ネットワークの大容量化と低価格化の両立を図るべく、いろいろの技術開発が進められており、10Gbit Ethernet に代表される Ethernet 技術の MAN (Metropolitan Area Network), WAN (Wide Area Network)への適用は、着実な進歩を遂げている⁽¹⁾。MPLS⁽²⁾技術を用いた IP ネットワーク上での VPN サービスがあるが、経済性を重視し、世界に先がけて開始された我が国の広域 Ethernet サービスも、大きく発展している⁽³⁾。とりわけ、Ethernet QoS (Quality of Service)保証技術の進展によって、中間帯域での VPN サービスが提供され、より経済的な価格設定が可能となり、需要の増大に拍車をかけている。今後は、大容量・低価格性に加え、信頼性・スケーラビリティの確保など、従来のデジタル専用線サービスに近づくべく、高規格の広域 Ethernet サービスの実現が望まれるであろう。実際、企業内 VoIP サービスや IP-TV 会議・映像監視サービスなど、帯域保証を必要とする IP サービスが、急激な勢いで伸びつつある。そうした中、画像系のサービスをベースにしたビジネスの拡大には、広域 Ethernet サービスの高規格化は不

可欠である。

本論文では、アクセス系バックボーンネットワーク、自治体・自営網向けキャンパスネットワーク、データセンタ内ネットワークといったメトロエリア向けの Ethernet リングネットワークを提案する。

2. メトロ L2 (Layer2) ネットワーク技術

はじめに、現状のメトロ L2 技術を簡単に説明する。

〈2・1〉 広域 Ethernet 技術 Ethernet 技術の広域ネットワークへの適用を図ったものであり、低価格性を重視したものである。中でも、VLAN タグ (IEEE802.1Q) に関しては以下の機能につき技術開発⁽⁴⁾⁽⁵⁾が促進された。

1) スタッキング⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾：ユーザが管理する VLAN タグの外側に、オペレータが管理する拡張 VLAN タグを付加する。これにより、オペレータ独自の VLAN 管理が可能となる。

2) QoS 制御：VLAN タグをフローの単位とするに帯域保証を実現する。この機能を搭載した LAN スイッチの出現により、きめ細かな帯域サービスが可能となっている。

3) スワッピング：オペレータの異なる広域 Ethernet 間を接続するために開発されたもので、タグ ID を変換する。

しかしながら、障害時の復旧制御としてはスパンニングツリーが一般的であり、高速復旧制御が要求されるメトロ向けには適用に限界がある。この問題を解決すべくベンダ固有の経路制御が実現されているが、SDH が提供する 50

日本電気株式会社 中央研究所 研究企画部
〒211-8666 川崎市中原区下沼部 1753 番地
Research Planning Division, Central Research
Laboratories, NEC Corporation
1753 Shimonumabe, Nakahara, Kawasaki, 211-8666

msec 程度の 1+1 プロテクション復旧制御には、高速性の点で及ばない。

〈2・2〉 レジリエント・パケット・リング (RPR)

50msec 程度の高速復旧制御を最大の訴求点とするリングネットワーク技術として RPR⁽⁹⁾がある。Ethernet とは異なる MAC 技術を用いるもので、片側予備系の二重化 SONET リングに比べ、両系アクティブにできるなど、伝送帯域の効率的利用という特徴を有している。また、障害箇所での復旧するラッピングと、送信元に遡って復旧制御するステアリング機能とを有している。しかし、リングネットワークをまたいで機能しないので、リング間中継ノードの障害に対しては、スパンニングツリーで対処するしかなく、復旧時間が秒単位と大きく性能が低下する。

3. VLAN タグリングネットワーク

以上、紹介したように Ethernet を用いた広域ネットワークでは、QoS 制御、スタッキング、スワッピングが個々の VLAN タグ技術として実現されているが、これらをうまく連携させる方式検討が十分でないため、低価格で大容量の通信サービスを指向しつつも、プロテクションは SDH システム、高信頼化制御は RPR といった別のシステムに依存するといった状況にある。

本論文では、これらの VLAN 処理技術を連携させ、“VLAN タグをベースにしたパス”という概念を用い、Ethernet 技術のみで各種プロテクション機能を実現する方式技術を提案する。実際、次世代コアネットワークとして期待される Ethernet Over WDM システムなどように Ethernet 技術と WDM 技術のみで構築されているシステムにおいては、Ethernet に閉じたネットワーク制御技術の果たす役割は大きい。

〈3・1〉 VLAN タグパストポロジー及び特徴 パストポロジーとしては、図 1 に示す、ノード対毎にパスを与えるポイント・ポイント型、送信ノードから複数の宛先ノードに対しパス経路が分岐してゆくブランチ型と、図 2 に示す、宛先ノードに向かってパスが集約してゆくマージ型の 3 通りが考えられる。パスベースのトラフィックエンジニアリングを実現するのに重要なのは、ラベル情報によりパスが運用管理、具体的には経路制御が可能なことである。この点で言えば、ラベル情報が宛先を特定しないブランチ型方式は、経路制御の実現が困難であるということで、パストポロジーとしては、適当でないと考える。

次に、重要な点は、長さが 12 ビットと MPLS ラベルの 20 ビットに比べ短い VLAN タグ方式では、所要パス数が少なく済むことが望まれる。この点で言えば、ポイント・ポイント型では、ノード数 N に対し、 $N(N-1)/2$ 個のラベルパスが必要となるのに対し、VLAN タグが送信ノードに対応付けられるブランチ型、受信ノードに対応付けられるマージ方式では、所要パス数は N に抑えられる。

これらの比較を表 1 に示す。表が示すように、所要パス数即ち VLAN 数が少なく済み、かつ経路制御が可能なマ

ージ型パスが最適といえる。マージ型パスとは、図 2 に示すように、ノード B 宛の packets 全てに同じパスラベルを与えられ、ノード A、X、Y からのパスはマージがされるものであり、宛先ノード対応に VLAN を設定する方式は、GoE(Global on Ethernet)⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾技術の中で開発されている。この考え方をパスアーキテクチャに発展させ、本論文では、経路制御可能なマージ型パスを対象として検討する。

提案するマージ型 VLAN タグパスの特徴を以下に示す。

- 1) MPLS と同様、統計多重ベースのパスであり、優先制御機能を有する。ただし、SDH や ATM パスと同様、帯域保証は可能である。
- 2) パスラベル値 (VLAN タグ) は、宛先ノードを特定するマージ型のパスである。
- 3) MAC アドレスに依存しない経路制御を提供することができる。

図 1 VLAN タグパストポロジー

Fig. 1 L2 Path topology.

図 2 マージ型パスを用いたリングネットワーク

Fig. 2. Ring Network with Merge-type path.

表 1 パストポロジーの比較

Table 1. Path topology comparison.

	Point-to-Point	Branch	Merge
Number of paths	$N(N-1)/2$	N	N
Route Control	Good	Poor	Good
Tag-Indication	-	Source	Destination

N: Number of Nodes

4) 送信用パスと受信用パスは、独立に（非対称に）設定することができる。

5) パスラベル（VLAN タグ値）をスワップさせることにより、経路途中で別のパスに変換することができる。

6), ラベルのスワッピング制御により 0 系, 1 系の 2 つの重ならない (Disjoint な) ネットワークの間でのパスの相互乗り入れが実現される。

〈3・2〉 VLAN タグパスネットワーク構成 図 2 に示すように、リングネットワークが、ブロードバンドアクセス系のバックボーンとして機能する場合について説明する。ブロードバンドアクセス系の末端にある企業ユーザは、リングネットワークのエッジノードに収容され、エッジノード間を VLAN タグパスリングネットワークで接続するという構成である。エッジノードでは、ユーザが付与・管理するユーザ VLAN フィールドの外側に、拡張 VLAN フィールドを設ける（図 7 の Ethernet MAC フレーム参照）。エッジノードでは、宛先エッジノードごとに展開され、パスラベル、即ち 拡張 VLAN タグが付与される（スタッキング処理）。

ノード間には、互いに重ならない時計回り・反時計回りの 2 つのパスを設定する。例えば、ノード A からノード B には実線で示すパス①と破線で示すパス②が設定される。パス設定は VLAN の設定に帰着されるので、物理的ネットワークがリング形態でなくても、互いに重ならない 2 つのパスを設定することにより、論理的にはリングネットワークとして扱うことができる。

パスラベル情報となる VLAN-ID は、ユニキャスト通信においては宛先ノード ID、マルチキャスト通信においては送信ノード ID に対応付ける。従って、リングネットワーク上のパケットは、ユニキャスト通信では受信ノードで、マルチキャスト通信では送信ノードでリングより除去される。各ノードは、図 3 に示すような構成を有し、時計回りの 0 系及び反時計回りの 1 系のリング状伝送路に接続される。伝送路受信部 R0, R1, 及びユーザからのパケットを LAN スイッチ内に供給する ADD 部は VLAN-ID のスワップ機能（パスラベル値の変換）機能を有する。

〈3・3〉 ラッピング（ループバック）制御 本制御は、障害隣接ノードでのループバック機能により実現されるもので、RPR 並みの高速復旧制御を実現するもので、障害箇所の隣接ノードでラッピング制御を実施する。

一般に LAN スイッチデバイスは、転送経路のループ化を防ぐべく、同じポートには戻ってこないという前提で設計されているので、そのままでは、ラッピング（ループバック）されたパケットは転送されない。そこで、ラッピング制御と同時に、VLAN-ID の値を書き換える。この処理を詳しく説明する。各ノードには、0 系・1 系の論理リング対応に 2 つのノード ID を割り当て、この宛先ノード ID を VLAN-ID に対応付ける。説明を簡単にするために、各ノードに割り当てられる 2 つのノード ID は、最下位ビットのみ異なる構成とする。従って、VLAN-ID の最下位ビット（L

図 3 タグスワップによるラッピング制御
Fig. 3. Wrapping control with tag-Swapping.

S B) のスワップにより、0 系・1 系の切り替えが実現される。即ち、0 系上の VLAN-ID パスは、VLAN-ID の最下位ビットの値を反転させることにより、1 系の VLAN-ID パスにスワップ・マージされた形で転送される。下流側のリンク障害を検出すると、反対側の 0 系側受信部 R0 は、受信される全ての VLAN-ID の最下位ビットを 1 に反転させる。また、ユーザを収容するリングへの ADD 部でも同様に、最下位ビットを 1 に設定する。この制御により、本来、0 系の送信部 X0 にスイッチされるべきパケットは全て 1 系の送信部 X1 に転送され、ラッピング状態となる。ラッピングされたパケットは、1 系伝送路上を、送信ノードを通過し宛先ノードに転送される。

この制御が起動されるのは、障害箇所の隣接ノードのみであり、高速にタグパスの切り替え（振る舞いとしてはループバック）が行われる。パケットは宛先ノードにおいてリングより除去されるので、ループバック状態が発生しても、同じパケットが重複して受信されることは無い。

次にマルチキャスト通信に関し説明する。マルチキャスト通信は、パケットがリングを一巡する形で実現され、パケットのリングからの除去は送信ノードで行う。従って、マルチキャスト通信に対しては、VLAN-ID として 0 系・1 系に応じ 2 つの送信ノード ID を割り当てる。ユニキャストかマルチキャストとでは VLAN-ID の割り当て方が異なるので、VLAN-ID 内に識別用フラグを設ける。マルチキャスト通信においては、ラッピングされたパケットは 2 度同じノードを通過することになり、同じパケットが 2 度受信されることになる。これを回避するために、逆走フラグを定義する。送信ノードでは、VLAN-ID をマルチキャストモードにセットし、逆走フラグを 0 にして送信する。このパケットは障害箇所の隣接ノードまでは、通常モードして転送される。ラッピング（タグの最下位ビットは反転）されると同時に、逆走フラグを 1 にセットし、通常モードを逆走モードに切り替える。逆走モードでは、途中の中継ノー

図4 マルチキャスト通信に対するラッピング制御
Fig. 4. Wrapping control for multicast communication.

図5 ユニキャスト通信対応ステアリング制御
Fig. 5. Steering control for unicast communication.

ドは通過させるのみで受信しない。この packets は、反対側の障害箇所隣接ノードまで逆走モードで転送される。この隣接ノードでは、パスラベルの最下位ビットを反転させ、0系対応のパスに戻し、逆走フラグを0に戻す。この結果、このラッピングノードから送信ノードまでは、通常モードとして転送される。逆走モードによって、反対回りしたパケットが、反対側の障害隣接ノードから通常モードを再開する構成となっている。

〈3・4〉ステアリング制御 障害箇所の隣接ノードでループバックを実施するのが、ラッピング制御であるが、ラッピングを行う障害隣接ノードから送信ノードまでのループバック区間は、無駄なトラフィックとなる。ステアリング制御では、ループバック状態の後、送信ノードで0系から1系への切り替えを行い、無駄なトラフィックを抑制するものである。マルチキャスト通信においては、ループバック区間でも受信ノードが存在することがあるので、ステアリング制御は、ユニキャスト通信に対してのみ起動させる。

ループバックされた逆走パケットは、反対側の障害隣接ノードまで逆走モードで転送され、そこでのループバック制御時に、逆走フラグは0に反転・リセットされ、通常モードに戻る。再開後の通常モードで、各ノードは受信処理を行う。各ノードは、ループバックされた逆走パケットをモニタし、このパケットのVLAN-ID即ち宛先ノードIDを記録する。これと同じ宛先のパケットは、送信ノードのADD部で、宛先ノードID即ち、VLAN-ID番号の最下位ビットを反転させ系を切り替えて送信する。これにより、ラッピングされるトラフィックはなくなり、伝送路の使用効率が向上する。障害箇所が回復すると、障害隣接ノードは、マルチキャストモードで、その旨通知する。これにより、各送信ノードは、ステアリング状態を解除し、通常の状態に戻る。

一連の制御をまとめると次の通りとなる。

- 1) ラッピング制御：障害隣接ノードにて、逆走フラグを反転させVLAN-IDのスワップ制御を行う。
- 2) ステアリング制御：逆走フラグ=1のユニキャストパスに対し、送信ノードにて逆走フラグを1にしVLAN-IDのスワップ制御を行う。
- 3) 受信制御：各ノードは、逆走フラグ=0のパケットに対してのみ受信制御・リングからの除去制御を行い、逆走フラグ=1のパケットに対しては中継動作のみを行う。

〈3・5〉1+1プロテクションスイッチ制御 リンクアグリゲーション制御・ラッピング制御の場合では障害時には、必ずしも帯域は保証されない。また、運用管理方針として、SDH的プロテクション機能が必要となることがある。本節では、タグスワップを用いた1+1プロテクション制御を、図6を参照しながら説明する。各ノードは、同じ方向に信号が伝播する1系(稼動系)、0系(予備系)の論理リングにより結合されている。1系のリンク障害を検出すると、反対側の1系受信部Rでは、VLAN-IDの最下位ビットを0に反転設定する。これにより、1系から0系に切り替えられる。切り替えられた0系リンクから受信されるパケットに対しては、対応する受信部RでVLAN-IDの最下位ビットを1に設定する。これにより、0系で受信されたパケットは、1系リンクに戻され出力される。次の段のノードでは、0以上のようにして、タグスワップ制御により、SDHの仕組みが無くても、プロテクションスイッチ制御が可能となる。

〈3・6〉優先制御 帯域保証型とベストエフォート型の2つのサービスを提供する。帯域保証型のユーザに対しては、契約帯域に従い、各ノードの送受信部(ADD/DROP)において、シェーピング・ポリッシングを行い、Priorityフィールド(図7)に高優先度を与える。一方、ベストエフォートサービスに対しては、低優先度を与える。ラッピングあるいはステアリングなど迂回制御を受けた帯域保証トラフィックに対しては、迂回されていない帯域保証トラフィックに対し影響を与えないよう、系切り替えと同時に中優先度を与える。

〈3・7〉 拡張 VLAN フィールド及び制御 前出の各種制御を実現するためのフレーム構成を図7に示す。今回提案する VLAN-ID パス対応のノード ID を含む 16 ビットの TCI フィールドは、拡張 VLAN という形式で、タギングされる。従って、ユーザが使用するユーザ VLAN-ID は保存される。12 ビットの VLAN-ID は、ノード ID、ユニ/マルチキャストの識別や、0 系・1 系の識別を含むパスを指定し、フラグ B は、ラッピング制御・ステアリング制御に用いられる。フラグ A は、パケットの無限巡回を防止するためのビットである。ノード ID は 8 ビットなので、最大ノード数は 250 規模となる。更に、規模を拡張したい場合は、拡張 TCI を増設する。20 ビットのノード ID₁+ノード ID₂がノード ID として用いられるので、100 万ノード規模のネットワークにまで対応できる。

現行の広域 Ethernet サービスでも、拡張 VLAN フィールドは設定されており、そのフィールドを流用すればよい。また、RPR 方式ではリング制御用に 16 ビットヘッダが付加されており、他の方式に比べ転送性能での遜色は無い。

系切り替えは、ハードウェア処理による VLAN-ID の LSB

図6 タグスワップによる 1+1 プロテクション制御
Fig. 6. 1+1 Protection control with Tag-Swapping.

図7 拡張 VLAN フィールドを含むフレーム構成
Fig. 7. Ethernet frame with extended VLAN field.

の反転制御により実現されるので、RPR 技術と同程度 (50msec) の高速性が期待できる。

4. アーキテクチャモデル

複数のリングから構成される場合、一つの論理リングとして、システムを構成することができるが、大規模ネットワークの場合、サブシステムに分割して運用管理できることが望まれる。図2には、エリアリングに分割され、相互にコアリングにより接続される構成を示している。図8 (a) に示すように、エッジノード間は、リングアクセスが独立な 3 つのリングで接続されることになる。図9 に示すように、リング間中継ノードの間に 1+1 プロテクション制御を採用しても良い。その場合のアーキテクチャモデルは図8 (b) となる。SDH を用いた 1+1 プロテクションとは異なり、中継ノードの障害に対してもプロテクションされる。エッジノード間の負荷分散制御/リンクアグリゲーション制御は、下位の制御とは独立して実施される。以上のように、VLAN-ID パスは、物理的なネットワーク構成に依存しないので、同じ制御メカニズムを用いて、多様な機能要求に対し柔軟に対処することができる。

図8 アーキテクチャモデル
Fig. 8. Architecture model.

図9 1+1 プロテクションマルチリングネットワーク
Fig. 9. Multiple ring network with 1+1 protection.

表 2 SDH 方式/RPR 方式との比較

Table 2. Comparison with SDH/RPR schemes.

	Proposed	RPR	SDH
1+1 Protection	50msec	No	50msec
Single Ring	50msec Wrapping Steering		50msec Loop-Back
Link Reuse	Yes		No
Multiple Ring	50msec Wrapping Steering	No	No

5. SDH 方式/RPR 方式との比較

表 2 を参照しながら、方式比較を行う。SDH 方式は、1+1 プロテクションあるいは SDH リングという形で冗長機能を実現することができるが、2 系統のリンクを同時に現用系として使用することはできないので、常に一方の伝送路は予備系となり非効率性が生じる。RPR 方式はリングをまたがって機能しないので、図 2 の構成において、リング間中継ノードに障害が発生した場合、スパンニングツリーなど他の技術に依存せねばならず、RPR の特徴を生かすことができなくなる。これに対し、提案方式では、図 9 の構成を含め、多重リングで構成されるなど、物理的なネットワークの構成に依存せず、送信端と受信端との間に互いに交わらない 2 系統の VLAN パスを設定すれば、途中にどのようなリンク障害・ノード障害が発生しても、50msec 程度での高速切り替えが可能となる。また、2 系統のパスを共に現用系とし、それぞれ他方を予備系とすることにより、伝送路の効率的使用が可能となる。更に、管理すべきタグ/ラベル情報は VLAN タグだけであり、Dark Fiber/SDH/ATM などの下位レイヤに依存せず、シームレスなネットワーク制御が実現される。

6. まとめ

VLAN タグパスの設定により物理的なネットワーク形状に依存することなく、リング型の論理ネットワークを形成することができ、その論理ネットワーク上で、L2 パスラベル (VLAN-ID) のスワップを用いた系切り替え制御により、RPR と同等のラッピング制御・ステアリング制御及び SDH の持つ 1+1 プロテクション制御が可能となることを示した。全ての制御・管理を Ethernet フレームの VLAN タグフィールドに集約させているので、高

信頼化を含めたネットワーク設計及び運用管理を、柔軟かつシンプルにすることができる。本技術により、広域 Ethernet サービスの一層の拡大を期待する。

(平成 16 年 6 月 16 日受付, 平成 17 年 3 月 28 日再受付)

文 献

- (1) 岩田 淳・飯島明夫・富久田孝雄:「広域イーサネット標準化動向と NEC における広域イーサネットへの取り組み(その 1)ー通信機器ベンダーの立場からー」, ITU ジャーナル Vol.33, No.10, pp.4-11, (2003-10)
- (2) E.Rosen, A.Viswanathan, and R.Callon: "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC3031 (2001)
- (3) K.Ono: "A View of Wide-area LAN Service, e-VLAN", *NTT Technical Journal*, Vol.15, No.1, pp.15-19 (2003)
小野喜代彦:「広域 LAN サービス e-VLAN の展望」,
NTT 技術ジャーナル, Vol.15, No.1, pp.15-19 (2003-1)
- (4) 岩田 淳・飯島明夫・富久田孝雄:「広域イーサネット標準化動向と NEC における広域イーサネットへの取り組み(その 2)ー通信機器ベンダーの立場からー」, ITU ジャーナル Vol.55, No.11, pp.8-15 (2003-11)
- (5) "IP Networking: Ethernet Solution", *NEC Journal*, Vol.56, No.5, pp.101-104 (May 2003)
「IP ネットワーキング イーサネットソリューション」, NEC 技法, Vol.56, No.5, pp.101-104 (2003-5)
- (6) ANSI/IEEE Draft Standard P802.1Q/D11, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks", (1998)
- (7) P802.1ad/D1-Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: "Virtual Bridged Local Area Networks-Amendment 4: Provider Bridges", May 14 (2003)
- (8) Craig Easley: "EFM Draft v07 for review at the Q1 03 meeting in Dallas", 04040_000_EFM-Ethernet-Multiplexing-Function- v0.7_Easley.doc, Metro Ethernet Forum, Jan. 2001.
- (9) IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Working Group, <http://www.ieee802.org/17>.
- (10) A.Iwata, N.Enomoto, K.Takagi, M.Umabayashi, R.Izmailov, and D.Cavendish: "Global Optical Ethernet Architecture as a Cost-Effective Scalable VPN Solutions", *NFOEC2002* Vol.3., pp.1636-1649 (2002)
- (11) A.Iwata, Y.Hidaka, M.Umabayashi, N.Enomoto, and A.Artaki: "Performance Evaluation of Global Open Ethernet (GOE) Prototype System", *NFOEC2003* Vol.2., pp.997-1006 (2003)

清水 洋

(正員) 1973 年 3 月京都大学工学部卒業 1975 年 3 月京都大学工学研究科修士課程修了。同年 4 月 日本電気(株) 中央研究所に入社。広帯域 LAN, IVDLAN の研究に従事。1990 年よりビジネスユニットにて、フレームリレー交換機、ルータの開発に従事。1999 年 戦略マーケティング本部へ異動, 2003 年現職に異動, 現在に至る。