

キャリアネットワークにおける MPLS TE LSP 確立に関する ロードバランス手法の提案と評価

熊木 健 二[†] 中川 郁 夫^{††} 永見 健 一^{††}
長谷川 輝之[†] 阿野 茂 浩[†]

近年、キャリアは、既存ネットワークを統合する傾向にある。これらのネットワークを統合するコアルータでは、インターネットトラフィックや企業系トラフィック等、様々なアプリケーションを扱う必要があり、大容量化が必須である。これらのトラフィックを制御する手法の 1 つに MPLS TE (Multi-Protocol Label Switching Traffic Engineering) 技術があり、多くのキャリアで使用されている。MPLS ネットワークのルータ間に複数のリンクが存在する ECMP (Equal Cost Multi Path) 環境において、自動計算を用いて予約帯域 0 の MPLS TE LSP (Label Switched Path) を確立する場合、各リンクを通過する MPLS TE LSP の本数を均等にできない。そのため、本論文では、ECMP 環境において、予約帯域 0 の MPLS TE LSP を効率的に確立する新たな経路選定手法を提案する。また、実ネットワークを考慮した環境で、従来の経路選定手法と提案する経路選定手法の比較を行う。提案する手法が、決定的アルゴリズムで、既存の MPLS TE LSP の本数を考慮して、MPLS TE LSP を均等に確立することが可能であった。そのため、キャリアの実運用およびネットワーク設計に対して、非常に有益な手法であることが分かった。

Proposal and Evaluation of Load Balancing Algorithm for MPLS TE LSP Setup in Carrier Network

KENJI KUMAKI,[†] IKUO NAKAWAGA,^{††} KEN-ICHI NAGAMI,^{††}
TERUYUKI HASEGAWA[†] and SHIGEHIRO ANO[†]

Recently some carriers try to build a converged network as NGN (Next Generation Network) and need to control high-capacity traffic which includes some kinds of applications such as voice, video and data. MPLS TE (Multi-Protocol Label Switching Traffic Engineering) was introduced as one of the methods to control this traffic in some carrier's network. Currently, we face the problem which 0-bandwidth MPLS TE LSPs (Label Switched Path) are established by using some specific links in case parallel links exist between routers in ECMP (Equal Cost Multi Path) environment. This paper focuses on a path selection algorithm taking into account a load balancing of control plane when 0-bandwidth MPLS TE LSPs are established and proposes a new path selection algorithm to solve this problem. Finally, we confirm that 0-bandwidth MPLS TE LSPs are established equally taking into account the number of existing MPLS TE LSPs in case parallel links exist between routers in ECMP environment.

1. はじめに

近年、キャリアは、NGN (Next Generation Network) として、既存ネットワークを統合する傾向にある。このため、これらのネットワークを統合するコアルータにおいて、インターネットトラフィック、企業系トラフィック、固定電話、携帯電話等の音声トラヒッ

ク、ならびに地上デジタル放送や VOD (Video On Demand) 等の映像トラフィックを扱うことが必要であり、ネットワークの大容量化が必須である。

現在、ネットワークの大容量化のために、商用 IP ネットワークでは、下記の技術が適用されている。

1. Link aggregation/bundling^{1),2)}: 物理インタフェースを束ねて、論理インタフェースを形成し、ルーティングプロトコルでは、1本のリンクと見なす技術
2. ECMP (Equal Cost Multi Path)³⁾ 環境を利用したロードバランス: 同じコストの宛先に対して、

[†] 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

^{††} インテック・ネットコア
Intec NetCore Inc.

複数の経路がある場合、その経路に対して、ロードバランスを行う技術

商用 MPLS (Multi-Protocol Label Switching)⁴⁾ ネットワークでも、上記技術の適用が想定されている。これらの大容量トラフィックを制御する有力な手法の 1 つに MPLS TE (Multi-Protocol Label Switching Traffic Engineering) 技術⁵⁾ がある。音声・映像トラフィックについては、ルータ障害時や回線障害時にトラフィックを高速迂回するために、MPLS TE を利用した FRR (Fast ReRoute) 機能⁶⁾ が必須となる。

しかし、MPLS TE ネットワークで、Link aggregation/bundling を用いる場合、実運用上、下記の問題がある。

1. FRR の問題：物理インタフェースの障害時、瞬時に FRR の切替えができない。また、FRR を動作させる基準を設定する必要がある。

そのため、MPLS TE ネットワークでは、ECMP 環境において、ある始点ルータ (head-end ルータ) が終点ルータ (tail-end ルータ) に対して、ルータ間の各リンクを通過する MPLS TE LSP (Label Switched Path)⁵⁾ の本数を均等にロードバランスする必要がある。

ECMP 環境を利用して、MPLS TE LSP を確立する方法には、予約帯域 0 (以下、帯域 0) で確立する方法と帯域を要求して確立する方法がある。キャリアが、帯域 0 で MPLS TE LSP を確立する主な理由は、下記のとおりである。

1. 実運用上、ルータの台数や MPLS TE LSP の本数から、大規模な MPLS ネットワークでの対地ごと、アプリケーションごとの帯域設計は、複雑になり、運用負荷が高くなる。
2. リンクおよびノード障害を最小に軽減する FRR 機能に限定して、MPLS TE LSP を使用している。

しかし、ECMP 環境において、ある始点ルータから終点ルータに対して、帯域 0 の MPLS TE LSP を確立する場合、そのルータ間において、各リンクを通過する MPLS TE LSP の本数を均等にロードバランスできない。その結果、コアルータ間の複数のリンクを効率的に有効活用できない。

本論文では、ECMP 環境において、帯域 0 の MPLS TE LSP を効率的に確立する手法について述べる。本論文で提案する経路選定手法は、始点ルータが、CSPF (Constrained Shortest Path Fast)⁷⁾ を使用して、MPLS TE LSP の ERO (Explicit Route Object)⁵⁾ を決定する際に、リンクを通る MPLS TE LSP の本数を用いることを特徴とする。遠隔のルータが、リン

クを通る MPLS TE LSP の本数を知る方法として、文献 8) の sub-TLV (Type Length Value) を拡張した OSPF (Open Shortest Path First) の LSA (Link State Advertisement) を使用する⁹⁾。以下、本提案に対し、シミュレーションならびに実装を用いた動作検証と比較評価を行い、本提案が、実ネットワークにおいて有意であることを示す。

本論文は、以下の章で構成されている。2 章では、MPLS TE のロードバランスに関する関連研究を述べる。3 章では、キャリアネットワークによる MPLS TE ネットワークの現状と課題に関して述べる。4 章では、提案する MPLS TE LSP 経路選定手法に関して述べる。5 章では、MPLS TE LSP 確立時のロードバランスに関して、従来の手法と提案する手法との評価を行う。6 章では、考察および課題を述べ、7 章で、まとめを述べる。

2. 関連研究

ロードバランスに関係する論文として、Long ら¹⁰⁾ は、経路を形成するリンクの数や未使用帯域を考慮し、CR-LDP (Constraint-based Label Distribution Protocol) を利用した MPLS TE LSP のロードバランスアルゴリズムを提案している。Gao ら¹¹⁾ は、遅延を考慮した MPLS TE LSP のロードバランスアルゴリズムを提案している。また、Salvadori ら¹²⁾ は、ローカルリンクの輻輳状況を考慮した MPLS TE LSP のロードバランスアルゴリズムを提案している。

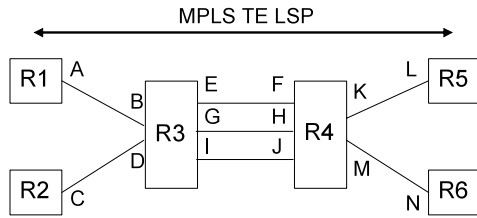
これらの論文では、経路選定において、いずれも制約の部分が、経路を構成するリンクの本数、帯域、遅延である。一方、本論文では、経路選定において、制約の部分が、リンクを通る MPLS TE LSP の本数である。

本論文では、MPLS ネットワークの ECMP 環境において、ルータ間に複数のリンクが並列に存在する場合、始点ルータが、帯域 0 で MPLS TE LSP を確立し、各リンクに対して、その MPLS TE LSP を均等にロードバランスするための新たな経路選定手法を提案する。

3. キャリアネットワークによる MPLS TE ネットワークの現状と課題

3.1 MPLS TE

MPLS TE では、従来の OSPF や IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) の IGP (Interior Gateway Protocol) ルーティングである宛先ベースのルーティングとは異なり、明示的なルーティ



R1,R2,R5,R6:エッジルータ R3,R4:コアルータ

図1 ネットワーク構成図
Fig.1 Network configuration.

ング (explicit routing) が可能である。明示的なルーティングでは、始点ルータが、IGPのコストに依存することなく、終点のルータに対して、未使用の帯域やある要求条件に適合した経路を選定する。経路選定の手法は、運用者による静的な経路選定と CSPF による動的な経路選定がある。CSPF は、経路選定をするためのアルゴリズムであり、従来の OSPF に TE メトリック、最大予約可能帯域、未使用帯域、管理グループ (administrative group) 等 Link TLV の拡張⁸⁾ をした制約を加え、経路選定を行う。始点ルータは、終点ルータに対して CSPF を適用し、RSVP を拡張したシグナリング⁵⁾ を用いて、MPLS TE LSP を確立する。

キャリアのバックボーンネットワークは、コアルータとエッジルータから構成される。本論文では、MPLS TE LSP の経路計算を行う際に、経路上に ECMP 環境が存在する場合の経路計算の手法について論じており、図 1 のようなネットワークにモデル化して議論を進める。

図 1 において、MPLS TE LSP 確立時の経路選定について述べる。本論文では、ルーティングプロトコルの観点から、1 本の物理インタフェースを、1 本のリンクとする。各リンク A-B, C-D, K-L, L-M は、10Gigabit Ethernet とし、各リンク E-F, G-H, I-J は、POS (Packet-over-SONET) OC-192 と仮定する。

本論文では、運用者が、帯域 0 として MPLS TE LSP を設定することを前提としているため、R1 から R5, R6 に対して MPLS TE LSP を確立する場合、従来の CSPF を使用すると、CSPF の帯域制約部分がない SPF (Shortest Path fast) と同等の動作となる。

実運用としては、下記の経路選定が望まれる。

1. R1 から R5 に対して：R1-R3-[E-F]-R4-R5, R1-R3-[G-H]-R4-R5, R1-R3-[I-J]-R4-R5
 2. R1 から R6 に対して：R1-R3-[E-F]-R4-R6, R1-R3-[G-H]-R4-R6, R1-R3-[I-J]-R4-R6
- すなわち、R1 が、均等に 3 本のリンクを含んだ

ERO を決定し、MPLS TE LSP を確立することが望まれる。

3.2 キャリアにおける MPLS TE ネットワークの現状

実ネットワークでは、エッジルータ間もしくはコアルータ間で、MPLS TE LSP を確立している。運用者が、これらの MPLS TE LSP を設定する方法は、下記のとおり、2 つの方法がある。

1. 始点ルータで、経由するルータのアドレスを hop by hop で静的に設定し、経路選定する。
2. 始点ルータで、終点ルータである宛先アドレスを設定し、CSPF を用いて動的に経路選定する。

前者のケースのみで MPLS TE LSP を運用する場合、設定作業や管理業務において、運用負荷が非常に高い。また、後者のケースのみで MPLS TE LSP を運用する場合、始点ルータから終点ルータに対して、ルータ間の各リンクを通過する MPLS TE LSP の本数を均等にロードバランスできない。そのため、実ネットワークでは、運用者は、適材適所にこれらの方法を用いて MPLS TE LSP を確立している。

たとえば、運用者は、音声や映像等の特定アプリケーショントラフィックに関して、低遅延で安定している回線を hop by hop で静的に選定する。また、IP-VPN¹³⁾ のような多対多の通信に関しては、ルータ間でフルメッシュに MPLS TE LSP を確立している。多対多の場合、hop by hop で静的に MPLS TE LSP を確立すると、MPLS TE LSP 初期設定だけでなくその管理業務や再設定作業において運用負荷が非常に高くなるため、始点ルータが、終点ルータである宛先アドレスを設定して、CSPF を用いて動的に経路を選定している。

3.3 キャリアにおける MPLS TE の課題

キャリアのネットワーク運用では、ネットワークの大容量化に備え、効率的にネットワーク資源を有効活用するために、IP ネットワークにおいて、複数のリンクに対して、ロードバランスを行ってきた。MPLS ネットワークにおいても、3.1 節で述べたように、複数のリンクに対して、各リンクを通過する MPLS TE LSP の本数を均等にロードバランスして確立することが求められている。3.2 節の 1. で述べたように、hop by hop の静的な設定で MPLS TE LSP のロードバランスを実現することは可能であるが、設定作業や管理業務等運用負荷の観点から、3.3 節の 2. で述べた方法が望ましい。しかし、現状の CSPF を用いて動的に MPLS TE LSP を確立する場合、複数リンクに対して、各リンクを通過する MPLS TE LSP の本数を

均等にロードバランスして確立することができない。

これは、以下のとおり説明できる。図1のECMP環境において、ルータ間に複数のリンクが並列に存在する場合、R1が、R5、R6に対してMPLS TE LSPを確立することを仮定する。R1は、CSPFを使用してEROを決定するが、帯域0で設定するため、SPFと同等の動作となり、R1からR5、およびR1からR6の経路に対して、コストが最小になる経路を選定する。実装により、複数のリンクが存在するR3-R4間では、CSPFのPATH listから下記の選定を行っている。

1. リンクE-F, G-H, I-Jのうち1つのリンクを集中的に選定する。ルータのリロードやインタフェースの障害等トポロジの変化がない限りそのリンクを選定する。
 2. リンクE-F, G-H, I-Jをランダムに選定する。しかし、均等にリンクを選定しないケースがある。
- また、3.2節で述べたように、実ネットワークでは、運用者が、静的な経路選定と動的な経路選定を行っている。確立方法の異なるMPLS TE LSPが混在する場合、静的な経路選定によって確立されたMPLS TE LSPの本数やすでに確立されたMPLS TE LSPの本数を考慮して、動的な経路選定をする必要がある。

そのため、本論文では、MPLSネットワークのリンクを通過するMPLS TE LSPの本数を、CSPFの計算の要素に含めることで、従来のCSPFの動作を改善する。

始点ルータが、この改善したCSPFを使用して計算することで、コアルータ間にある複数のリンクに対して、均等にロードバランスできる。この結果、実運用およびネットワーク設計において、効率的にネットワーク資源を有効活用し、1つのリンクに偏らずMPLS TE LSPを確立できる。

4. 提案するMPLS TE LSP経路選定手法

提案する経路選定手法では、あるリンクを通過するMPLS TE LSPの本数を、新たなsub-TLVを用いて、OSPFドメイン内に広告する。

始点ルータは、CSPFの計算をする場合、文献8)、9)で定義され広告されるLSAを用いて、下記の動作を実行する。

手順1：ECMPをすべて列挙する。 n 本のECMPがあると仮定すると、

$$ECMP = [P1, P2, \dots, Pn] \quad (1)$$

と表現できる。

手順2：1本のMPLS TE LSPが、 m 本のリンクからなるとすると、 i 番目 ($1 \leq i \leq n$)のMPLS TE

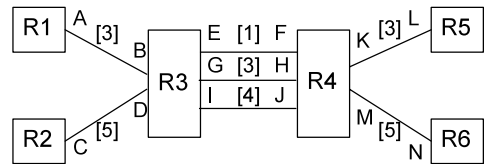


図2 帯域0のMPLS TE LSPの本数を含んだネットワーク構成図

Fig. 2 Network configuration including the number of 0-bandwidth MPLS TE LSPs.

LSPは、

$$Pi = [Li,1, Li,2, \dots, Li,m] \quad (2)$$

と表現できる。 P は、 m 本のリンクからなるMPLS TE LSPを示す。

また、式(2)において、 j 番目のリンクを通るMPLS TE LSPの本数 Ni,j ($1 \leq j \leq m$)とすると、 i 番目のMPLS TE LSPは、

$$PNi = [Ni,1, Ni,2, \dots, Ni,m] \quad (3)$$

と表現できる。 PN は、リンクを通るMPLS TE LSPの本数を示す。

手順3： PNi の最大値 $MAX(PNi)$ を各 i について求める。ただし、

$$MAX(PNi) = MAX[Ni,1, Ni,2, \dots, Ni,m] \quad (4)$$

である。

手順4：式(4) ($1 \leq i \leq n$)に対して、最小値が k 番目のMPLS TE LSPだとすると、

$$Pk = \underset{i}{MIN}(MAX(PNi)) \quad (5)$$

となり、 Pk のMPLS TE LSPを確立する。

なお、式(5) ($1 \leq k \leq n$)に対して、複数の最小値が存在する場合、その最小値が存在するMPLS TE LSPを列挙する。それぞれのMPLS TE LSPに対して、リンクを通るMPLS TE LSPの本数の総和を求め、その最小値が l 番目 ($1 \leq l \leq n$)のMPLS TE LSP (Pl)だとすると、 Pl のMPLS TE LSPを確立する。リンクを通るMPLS TE LSPの本数の総和に対して、複数の最小値が存在する場合、 l の最小値を選定する。

たとえば、図2のように、リンクA-Bに3本、リンクC-Dに5本、リンクE-Fに1本、リンクG-Hに3本、リンクI-Jに4本、リンクK-Lに3本、リンクM-Nに5本のMPLS TE LSPが通過していると仮定する。ここで、R1からR5に対して新たなMPLS TE LSPを確立する場合、下記のとおりとなる。

手順1：R1からR5へのECMPは、式(1)より、

$$ECMP = [P1, P2, P3]$$

と表現できる。

手順 2 : $P1, P2, P3, PN1, PN2, PN3$ は, 式 (2), (3) より, それぞれ下記のように表現できる.

$$P1 = [A - B, E - F, K - L]$$

$$P2 = [A - B, G - H, K - L]$$

$$P3 = [A - B, I - J, K - L]$$

$$PN1 = [3, 1, 3]$$

$$PN2 = [3, 3, 3]$$

$$PN3 = [3, 4, 3]$$

手順 3 : $PN1$ から $PN3$ の最大値は, 式 (4) から, それぞれ

$$\text{MAX}(PN1) = 3$$

$$\text{MAX}(PN2) = 3$$

$$\text{MAX}(PN3) = 4$$

となる.

手順 4 : 手順 3 から得られた最小値は, 2 つ存在する. それぞれの MPLS TE LSP に対して, リンクを通る MPLS TE LSP の本数の総和を求めると, $P1$ が 7, $P2$ が 9 となる. そのため, $P1$ である R1-R3-[E-F]-R4-R5 に対して, 新たな MPLS TE LSP を確立する. 同様に, R2 から R6 に対して, 新たな MPLS TE LSP を確立する場合には, R2-R3-[E-F]-R4-R6 となる.

具体的な実現方法は, 文献 9) で定義されているように, Traffic Engineering LSA の Link TLV (Type 2) 内に sub-TLV を拡張し, その中の NB-0-BW-LSP を使用する. sub-TLV は下記のように定義される.

1. Type (2 octets) : 18
2. Length (2 octets) : 4
3. Value (4 octets) : あるリンクを通る帯域 0 の MPLS TE LSP の本数

5. MPLS TE LSP 確立時のロードバラン ス評価

実ネットワークでは, 運用者が, 静的に経路を指定して MPLS TE LSP を確立する場合と, 終点ルータの宛先のみを指定して, 始点ルータが, CSPF に従って動的に MPLS TE LSP を確立する場合の両方が考えられる. 本論文では, 両方の MPLS TE LSP が存在する環境で評価を行う.

また, 実ネットワークに近い環境を想定するため, 下記のとおり 3 パターンに関して, 検証を行う.

パターン 1 : 静的な経路を指定した MPLS TE LSP が, 3 本のリンクに対して均等に分配しているケース

パターン 2 : 静的な経路を指定した MPLS TE LSP が, 2 本のリンクに対して均等に分配しているケース

パターン 3 : 静的な経路を指定した MPLS TE LSP が, 1 本のリンクに対して集中しているケース

各パターンでの検証方法は, 以下のとおり, 4 つの手法を用いて, MPLS TE LSP を確立する検証を行う. 手法 1 : R1 (始点ルータ) から R5 (終点ルータ) に対して, 始点ルータが, ランダムに MPLS TE LSP の経路を計算し, LSP を確立する. 経路選定は, 乱数を発生させ, シミュレータを使用して計算した.

手法 2 : R1 (始点ルータ) から R5 (終点ルータ) に対して, 始点ルータが, MPLS TE LSP の経路を計算し, LSP を確立する. 経路選定は, ルータ A の実装を用いて行った. 図 1 のような複数の ECMP 環境が存在する場合には, CSPF ロードバランス規則が適用され, 本評価では帯域 0 で MPLS TE LSP の経路計算を行うため, デフォルトの動作となる¹⁴⁾.

手法 3 : R1 (始点ルータ) から R5 (終点ルータ) に対して, 始点ルータが, MPLS TE LSP の経路を計算し, LSP を確立する. 経路選定は, ルータ B の実装を用いて行った. 図 1 のような複数の ECMP 環境が存在する場合には, PATH list の最上位のパスを選択する¹⁵⁾.

手法 4 : R1 (始点ルータ) から R5 (終点ルータ) に対して, 始点ルータが, 本論文で提案する方法を用いて, MPLS TE LSP の経路を計算し, LSP を確立する. 経路選定は, シミュレータを使用して計算した.

ここでは, 拡張した OSPF LSA が, 始点ルータに到着したことを確認した後に, 次の MPLS TE LSP を確立することを仮定する.

5.1 静的な経路を指定した MPLS TE LSP が 3

本のリンクに対して均等に分配しているケース

図 1 のネットワーク構成図において, 始点ルータが, 静的に経路を指定して, R2 から R6 に対して, MPLS TE LSP を 30 本確立しておく. 経路は, R2-R3-[E-F]-R4-R6, R2-R3-[G-H]-R4-R6, R2-R3-[I-J]-R4-R6 とする. 個々の経路に対して, 始点ルータが, MPLS TE LSP を 10 本確立していると仮定する.

手法 1 に従い, MPLS TE LSP を 1 本ごとに 15 本まで確立する場合の結果を図 3 に示す. 図 3 の結果から, 始点ルータは, 3 本の並列リンクに対して, 均等に確立している MPLS TE LSP の本数を考慮して, MPLS TE LSP を確立しているように見える. 理論的にはランダムに経路を選定しているため, 新たに MPLS TE LSP を確立する場合, すでに確立している MPLS TE LSP の本数に関係なく, R3-R4 間の複数リンクを均等に使用している.

手法 2 に従い, MPLS TE LSP を 1 本ごとに 15 本まで確立する場合の結果を図 4 に示す. 図 4 の結果から, 始点ルータは, すでに確立している MPLS TE

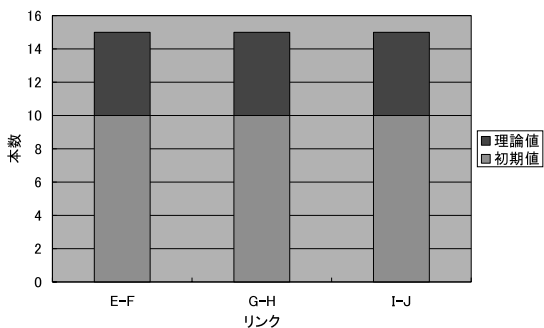


図 3 ランダムの LSP 経路選定 (理論値)(1)

Fig. 3 Random path selection for LSPs (theoretical value) (1)

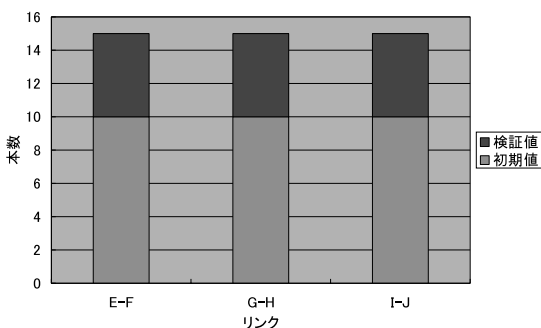


図 6 提案の LSP 経路選定 (1)

Fig. 6 Proposed path selection for LSPs (1).

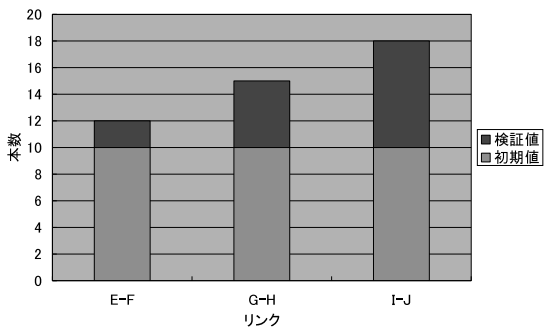


図 4 実装 A の LSP 経路選定 (1)

Fig. 4 Path selection for LSPs (implementation A) (1).

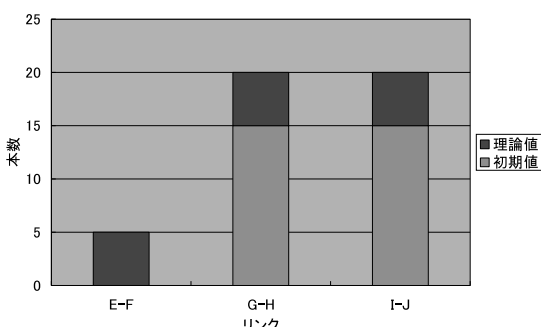


図 7 ランダムの LSP 経路選定 (理論値)(2)

Fig. 7 Random path selection for LSPs (theoretical value) (2).

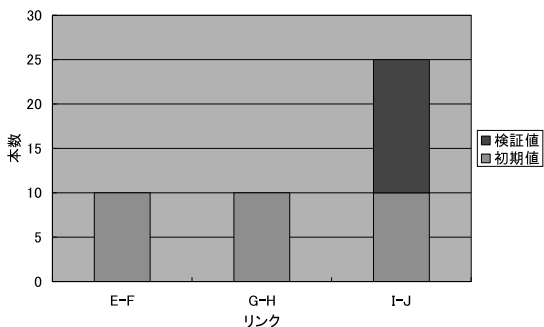


図 5 実装 B の LSP 経路選定 (1)

Fig. 5 Path selection for LSPs (implementation B) (1).

LSPの本数を考慮に入れず確立している.文献14)では,各リンク上の MPLS TE LSPの本数が均等になるように経路選定するとされているが,新たに確立する MPLS TE LSPは,R3-R4間の複数リンクを均等に使用していない.

手法3に従い,MPLS TE LSPを1本ごとに15本まで確立する場合の結果を図5に示す.図5の結果から,始点ルータは,すでに確立している MPLS TE LSPの本数を考慮に入れず確立している.実装では,R1がR5に対してMPLS TE LSPの経路計算をす

るたびに,PATH listの最上位のパスを選択しているが¹⁵⁾,当該パスがつねにリンクI-Jを通過するパスであるため,1本のリンクに偏っている.

最後に,手法4に従い,MPLS TE LSPを1本ごとに15本まで確立する場合の結果を図6に示す.図6の結果から,R3-R4間の複数リンクを通過する MPLS TE LSPの本数を考慮し,始点ルータが,終点ルータに対してMPLS TE LSPを確立し,R3-R4間の複数リンクを均等に使用している.

5.2 静的な経路を指定した MPLS TE LSP が 2本のリンクに対して均等に分配しているケース

図1において,始点ルータが,静的に経路を指定して,R2からR6に対して,MPLS TE LSPを30本確立しておく.経路は,R2-[G-H]-R6,R2-[I-J]-R6とする.個々の経路に対して,始点ルータが,MPLS TE LSPを15本確立していると仮定する.

手法1に従い,MPLS TE LSPを1本ごとに15本まで確立する場合の結果を図7に示す.図7の結果から,始点ルータは,すでに確立している MPLS TE LSPの本数を考慮に入れず確立している.理論的にはランダムに経路を選定しているため,新たに MPLS

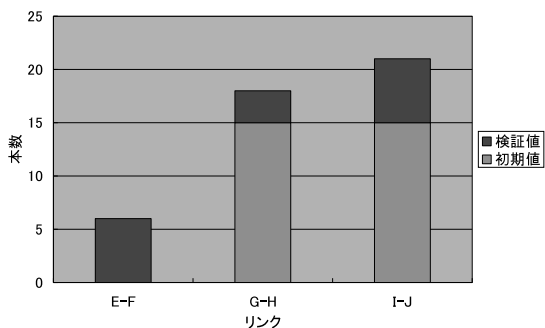


図 8 実装 A の LSP 経路選定 (2)

Fig. 8 Path selection for LSPs (implementation A) (2).

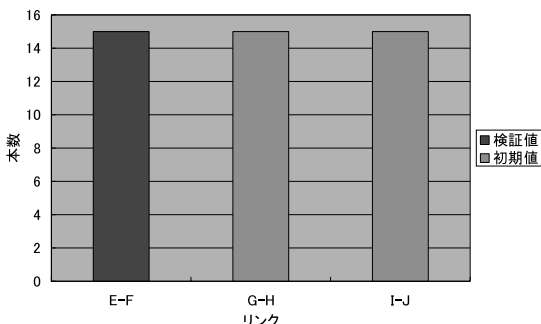


図 10 提案の LSP 経路選定 (2)

Fig. 10 Proposed path selection for LSPs (2).

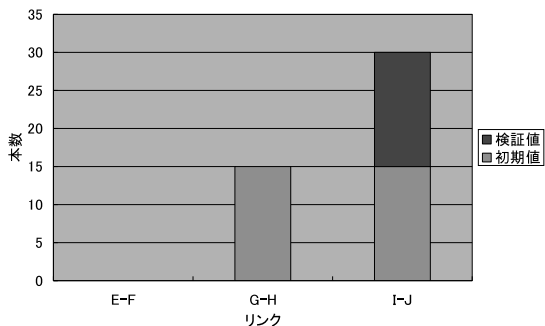


図 9 実装 B の LSP 経路選定 (2)

Fig. 9 Path selection for LSPs (implementation B) (2).

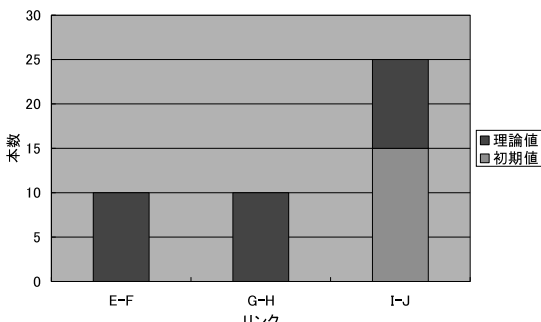


図 11 ランダムの LSP 経路選定 (理論値)(3)

Fig. 11 Random path selection for LSPs (theoretical value) (3).

TE LSP を確立する場合、すでに確立している MPLS TE LSP の本数に関係なく、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用している。

手法 2 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ごとに 15 本まで確立する場合の結果を図 8 に示す。図 8 の結果から、始点ルータは、すでに確立している MPLS TE LSP の本数を考慮に入れず確立している。文献 14) では、各リンク上の MPLS TE LSP の本数が均等になるように経路選定するとされているが、新たに確立する MPLS TE LSP は、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用していない。

手法 3 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ごとに 15 本まで確立する場合の結果を図 9 に示す。図 9 の結果から、始点ルータは、すでに確立している MPLS TE LSP の本数を考慮に入れず確立している。実装では、R1 が R5 に対して MPLS TE LSP の経路計算をするたびに、PATH list の最上位のパスを選択しているが¹⁵⁾、当該パスがつねにリンク I-J を通過するパスであるため、1 本のリンクに偏っている。そのため、リンク E-F には MPLS TE LSP がまったく通っていない。

最後に、手法 4 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ご

とに 15 本まで確立する場合の結果を図 10 に示す。図 10 の結果から、R3-R4 間の複数リンクを通過する MPLS TE LSP の本数を考慮し、始点ルータが、終点ルータに対して MPLS TE LSP を確立し、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用している。

5.3 静的な経路を指定した MPLS TE LSP が 1 本のリンクに対して集中しているケース

図 1 において、始点ルータが、静的に経路を指定して、R2 から R6 に対して、MPLS TE LSP を 15 本確立しておく。経路は、R2-[I-J]-R6 とする。

手法 1 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ごとに 30 本まで確立する場合の結果を図 11 に示す。図 11 の結果から、始点ルータは、すでに確立している MPLS TE LSP の本数を考慮に入れず確立している。理論的にはランダムに経路を選定しているため、新たに MPLS TE LSP を確立する場合、すでに確立している MPLS TE LSP の本数に関係なく、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用している。

手法 2 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ごとに 30 本まで確立する場合の結果を図 12 に示す。図 12 の結果から、始点ルータは、すでに確立している MPLS TE

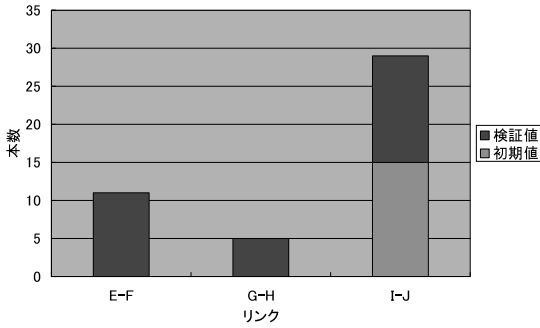


図 12 実装 A の LSP 経路選定 (3)

Fig. 12 Path selection for LSPs (implementation A) (3).

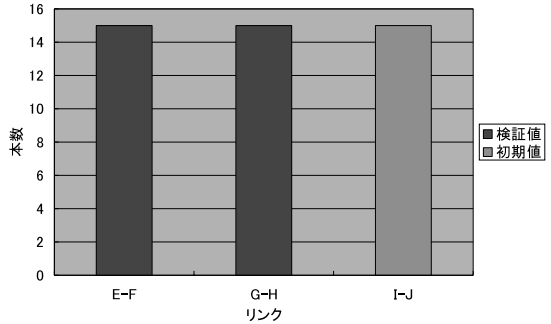


図 14 提案の LSP 経路選定 (3)

Fig. 14 Proposed path selection for LSPs (3).

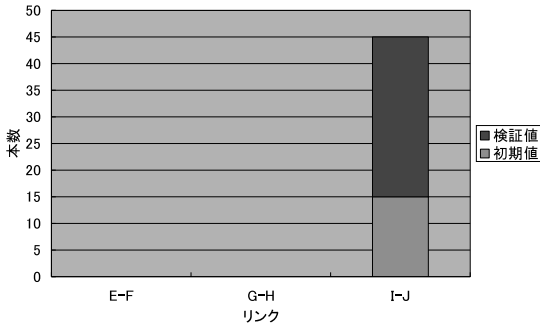


図 13 実装 B の LSP 経路選定 (3)

Fig. 13 Path selection for LSPs (implementation B) (3).

LSPの本数を考慮に入れず確立している．文献 14) では、各リンク上の MPLS TE LSP の本数が均等になるように経路選定するとされているが、新たに確立する MPLS TE LSP は、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用していない．

手法 3 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ごとに 30 本まで確立する場合の結果を図 13 に示す．図 13 の結果から、始点ルータは、すでに確立している MPLS TE LSP の本数を考慮に入れず確立している．実装では、R1 が R5 に対して MPLS TE LSP の経路計算をするたびに、PATH list の最上位のパスを選択しているが¹⁵⁾、当該パスがつねにリンク I-J を通過するパスであるため、1 本のリンクに偏っている．そのため、リンク E-F、リンク G-H には MPLS TE LSP がまったく通っていない．

最後に、手法 4 に従い、MPLS TE LSP を 1 本ごとに 30 本まで確立する場合の結果を図 14 に示す．図 14 の結果から、R3-R4 間の 1 本のリンクを通過する MPLS TE LSP の本数を考慮し、始点ルータが、終点ルータに対して MPLS TE LSP を確立し、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用している．

6. 考察と課題

5章の検証結果より、表 1 のとおり、各評価パターンにおける各手法の比較結果を示す．この表では、○ は実運用上の要求を満たすことを示し、× は実運用上の要求を満たしていないことを示す．“実運用上の要求”の定義は、MPLS TE LSP の本数を考慮して、新たな MPLS TE LSP を、均等にロードバランスして確立することである．

手法 1 は、MPLS TE LSP を確立する場合、あらかじめ R3-R4 間の複数リンクを均等に使用していれば問題ないが、均等に使用されていない場合、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用できないため、実運用上の要求を満たさない．実運用において、静的に経路を指定して、あらかじめ MPLS TE LSP を複数リンクに対して均等に使用することは運用負荷の観点から望ましくはない．そのため、手法 1 は実運用では現実的でない．

手法 2 は、実装の問題ではあるが、新規に MPLS TE LSP を確立する場合、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用すべきであるにもかかわらず、5.1、5.2、5.3 節から均等に使用している結果が得られなかった．これは、実ネットワークにおいて理論的に動作していないケースである．手法 3 は、仕様どおりの動作であるが、つねに PATH list の最上位パスを選択するため¹⁵⁾、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用できない．仮に、均等に MPLS TE LSP を確立することが可能であっても、既存の MPLS TE LSP の本数を考慮して確立することは不可能なため、結果は手法 1 と同じになる．

このように、実ネットワークの運用としては、MPLS TE LSP の本数を考慮して確立したいが、理論的にも、実装的にも要求を満たしていないことが、この評価により明らかになった．

表 1 評価パターンにおける各手法の結果
Table 1 The result of each algorithm in evaluation patterns.

| | 手法1 | 手法2 | 手法3 | 手法4 |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| パターン1 | ○ | × | × | ○ |
| パターン2 | × | × | × | ○ |
| パターン3 | × | × | × | ○ |

それに対し、提案した手法 4 では、3 つの全パターンで、R3-R4 間の複数リンクを均等に使用している結果を得た。この結果は、実運用上の要求を満たし、手法 2、手法 3 と比較し、明らかに手法 4 に有意性があることを示している。そのため、想定した MPLS ネットワーク環境において、効率的にネットワーク資源を有効活用し、1 つのリンクに偏らず MPLS TE LSP を提供することが可能である。

本提案の手法では、アルゴリズムが決定的であるため、ルータ間に複数のリンクが並列に存在する環境において、既存の MPLS TE LSP の本数を考慮して、MPLS TE LSP をすべてのリンクに対して、均等に確立することが可能である。これにより、キャリアネットワークの実運用に貢献できる。なお、本提案では、MPLS TE LSP の経路上に ECMP 環境が存在する場合の経路選択の手法について議論を行うため、図 1 に示すネットワークモデルでの検討および検証を行った。

本提案に対する課題は、3 つある。1 つ目は、提案手法を実現するために使用する OSPF LSA の拡張に関する標準化とその実装である。現在、IETF MPLS WG において、提案手法が使用する OSPF LSA の拡張⁹⁾に関する標準化作業を進めている。また、標準化作業にともない、実装作業が進んでいる。2 つ目は、OSPF の LSA を広告するタイミングである。始点ルータは、OSPF の LSA で構成されるトポロジ情報を利用して、MPLS TE LSP の経路選定を行う。そのため、始点ルータが経路計算を行うときに、LSA の広告の頻度が少なく現状のリンクを通る MPLS TE LSP の数を反映した LSA を使用して計算しない場合、均等に確立できないことがある。また、複数のエッジルータが同時に本提案アルゴリズムを実行した場合も同様である。一方、極度に LSA の広告間隔を短くすることは、MPLS ネットワークを不安定にする原因となることがある。そのため、少ない頻度で広告された LSA に従って MPLS TE LSP を確立し、定期的に均等に MPLS TE LSP を再確立するような最適化を図る機構等の検討が必要である。3 つ目は、より複雑なネットワークへの適用である。本提案では、MPLS TE LSP の経路上に ECMP 環境が存在する場合の経

路選定手法について議論を行うため、図 1 に示すネットワークモデルでの検討および検証を行った。今後、より複雑なネットワークを想定した検証を別途行う必要がある。

7. まとめ

本論文では、ECMP 環境において、効率的にネットワーク資源を有効活用し、1 つのリンクに偏らず MPLS TE LSP を確立できる手法を提案した。その新たな手法により、今までの実運用およびネットワーク設計において問題になっていた点を改善し、それらの観点から、効率的にネットワーク資源を有効活用し、1 つのリンクに偏らず MPLS TE LSP を確立できる方法を検証した。

現在の実装においては、ある始点ルータから終点ルータに対して、複数の MPLS TE LSP を確立する場合、そのルータ間において、ECMP 環境が存在すると、コアルータ間にある複数のリンクを効率的に有効活用できなかった。このため、MPLS ネットワークにおいて、効率的にネットワーク資源を有効活用し、安定的にサービスを提供するキャリアにとっては非常に大きな問題となっていた。

これに対して、本論文で提案した MPLS TE LSP の経路選定手法を用いることで、実運用およびネットワーク設計の観点から、効率的にネットワーク資源を有効活用し、1 つのリンクに偏らず MPLS TE LSP を確立することが可能となった。また、この提案は、ルータ間に複数のリンクが並列に存在する ECMP 環境において、既存の MPLS TE LSP の本数を考慮して、MPLS TE LSP を複数の並列リンクに対して、均等に確立することが可能である。そのため、キャリアの実運用およびネットワーク設計に対して、非常に有益な手法である。

謝辞 本研究について有益なコメントをしていただいたシスコ社 J.-P. Vasseur 氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) Link aggregation.
<http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos80/swconfig80-network-interfaces/html/interfaces-ethernet-config17.html>
<http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos80/swconfig80-network-interfaces/html/interfaces-sonet-config33.html>
- 2) Link bundling.
http://www.cisco.com/en/US/products/sw/iosswrel/ps1829/products_feature_

guide09186a0080103708.html#wp1024997

- 3) Moy, J.: OSPF version 2, RFC2328, IETF (Apr. 1998).
- 4) Rosen, E., Viswanathan, A. and Callon, R.: Multiprotocol Label Switching Architecture, RFC3031, IETF (Jan. 2001).
- 5) Awduche, D., et al.: RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels, RFC3209, IETF (Dec. 2001).
- 6) Pan, P., Swallow, G. and Atlas, A.: Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels, RFC4090, IETF (May 2005).
- 7) Davie, B. and Rekhter, Y.: *MPLS technology and applications*, pp.175–180, MOGAN KAUFMANN (2000).
- 8) Katz, D., Kompella, K. and Yeung, D.: Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2, RFC3630, IETF (Sep. 2003).
- 9) Vasseur, J.-P., Mayer, M., Kumaki, K. and Bonda, A.: A Link-Type sub-TLV to convey the number of Traffic Engineering Label Switch Paths signalled across a link, Internet draft, draft-ietf-mpls-number-0-bw-te-lsps-05.txt, IETF (Dec. 2006).
- 10) Long, K., Zhang, Z. and Cheng, S.: Load Balancing Algorithms in MPLS Traffic Engineering, *High Performance Switching and Routing, 2001 IEEE Workshop*, pp.175–179 (May 2001).
- 11) Gao, D., Shu, Y., Liu, S. and Yang, O.: Delay-based adaptive load balancing in MPLS networks, *Communications 2002 (ICC 2002)*. IEEE International Conference (Apr. 2002).
- 12) Salvadori, E. and Battiti, R.: A Load Balancing Scheme for Congestion Control in MPLS networks, *Computers and Communication 2003 (ISCC 2003)*. Proc. 8th IEEE International Symposium, pp.951–956 (2003).
- 13) Rosen, E. and Rekhter, Y.: BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs), RFC4364, IETF (Feb. 2006).
- 14) Path selection algorithm.
<http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos80/swconfig80-mpls-apps/html/mpls-overview14.html>
<http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos80/swconfig80-mpls-apps/html/mpls-overview15.html>
- 15) Osborne, E. and Simha, A.: *Traffic Engineering with MPLS*, pp.119–124, Cisco Press (2003).

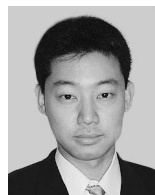
(平成 18 年 6 月 28 日受付)

(平成 19 年 1 月 9 日採録)



熊木 健二

株式会社 KDDI 研究所。1996 年名古屋大学大学院工学研究科修了。同年国際電信電話株式会社（現 KDDI 株式会社）入社。同社にて、internet KDD の設計・開発・運用を経たのち 1999 年より MPLS に関わる技術開発、評価から IP-VPN サービスの立ち上げを行い、設計・開発・運用支援に携わり、2006 年 6 月より株式会社 KDDI 研究所にて、次世代ネットワークアーキテクチャおよびそのプロトコルに関する研究に従事。IETF CCAMP, L3VPN, MPLS, PCE 等の WG で標準化活動を行い、多数の RFC, Internet-Draft を提出している。現在、PCE WG design team のメンバ。



中川 郁夫（正会員）

インテック・ネットコア。1993 年東京工業大学大学院総合理工学研究科システム科学専攻修了。同年株式会社インテック入社。同年研究所でインターネットの経路制御および MPLS に関する研究に従事。2002 年株式会社インテック・ネットコアを設立、同社取締役役に就任。次世代インターネットに関する研究に従事。博士（情報理工学、東京大学、2005）。



永見 健一

インテック・ネットコア。1992 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年株式会社東芝入社。IETF MPLS WG で標準化活動を行い、CSR および MPLS に関する RFC を提出。2002 年株式会社インテック・ネットコア 主席研究員。現在、同社で MPLS および次世代ネットワーク研究に従事。博士（工学、東京工業大学、2001）。



長谷川輝之（正会員）

株式会社 KDDI 研究所。1991 年京都大学工学部電気第二学科卒業。1993 年同大学大学院修士課程修了。同年 KDD (株) 入社。以来、研究所にて、高速通信プロトコル、次世代インターネットの研究に従事。現在 (株) KDDI 研究所 IP 品質制御システムグループ主任研究員。2003 年度電波産業会電波功績賞受賞。



阿野 茂浩（正会員）

株式会社 KDDI 研究所．1987 年
早稲田大学工学部電子通信工学科
卒業．1989 年同大学大学院修士課
程修了．同年国際電信電話株式会
社入社．以来，研究所にて，ATM 交
換方式，IP ネットワーク管理・制御，次世代インター
ネットの研究に従事．現在（株）KDDI 研究所 IP 品
質制御システムグループリーダー．1995 年度情報処理学
会学術奨励賞受賞．電子情報通信学会会員．
