
アプリケーションフロー単位での経路設定と ネットワーク QoS 向上に関する研究

工学資源学部情報工学科 橋本 仁

1. はじめに

インターネットトラフィックは増大し、遅延や応答速度といった各種品質の向上が望まれる IP 電話やストリーム放送などのアプリケーションが拡大している。OSPF(Open Shortest Path First)[1]に代表されるルーティングプロトコルではリンクに定義されたコストの総和を、経路上で最小にする経路を用いるが、経路が静的なものと考えられ、発ノードと着ノードが同じトラフィックでは全て同一経路を通り、トラフィックが運ぶアプリケーションによって要求 QoS(Quality of Service) が異なる場合などには対応は難しいと考えられる。また最小コスト経路がユニークな場合は当該経路のみが使用されるため、安定なネットワーク運用に有利なトラフィック分散が行われにくい課題もある。トラフィック分散の目的には MPLS-TE(Multi Protocol Label Switching -Traffic Engineering) の手法 [2] があり、同様の効果をコストの値の設定で実現するアプローチ [3] もあるが、必ずしも TE の効果は十分ではないなどの課題がある [4]。

ここでは IP フローを複数のフローに区分し、使用するメトリックを柔軟に適用する経路設定とその効果について検討している。具体的には IP フローをより上位のレイヤのヘッダ等で細分化したアプリケーションフロー (AP フロー) を考え、AP フロー単位で参照するコストを定義し、AP フローはそのコストを用いた最小コスト経路を使用することを考える。QoS 的な要求特性がコストの値に反映するものであれば AP フロー種毎に特性向上が期待される。

また、TE を実現する経路に関しては一般的にはコストメトリックで得られる経路とは異なるためソースルーティングによる明示的な経路設定も可能と仮定した。この場合はフローが分岐するなど複数に分かれるとみなせることから、AP フローの一種と考えることとした。

本研究は、こうした AP フローレベルの制御がアプリケーション QoS に反映するかを検討したものである。

2. ネットワーク問題におけるメトリックと経路設定

本研究では LP(Linear Programming) におけるネットワーク問題として扱い、線形な目的関数を最適化する。LP での定式化の詳細は省略するが、対象としたのは次の 2 つのメトリックである。

2-1. コストメトリック

OSPF でコスト最小経路を使用するのと同様に、各リンクに定義された何らかのコストを定義し経路上でのコストの総和が最小となる経路を使用するものである。コストとしては、HOP 数や帯域の逆数の他、遅延や不稼働率などネットワークの通信品質にかかわる値が考えられる [5,6]

リンク容量が大きい場合は、帯域の制限は影響せず、各トラヒックに対する個別の最小コスト経路の計算と同じ結果となる。対地を定めたとき、最小コスト経路が唯一の場合は、経路を定める変数は0または1の値をとり、経路はユニークに定まる。遅延であれば応答速度に影響し、あるいは経済的な経路を使用可能になるなど、サービス品質にかかわる量をコストメトリックとして定義することにより、ユーザにとって高品質な経路設定を提供可能となる。また一般に、コストメトリックでは、特定の最小コスト経路にトラヒックが集中するといった傾向がある。

2-2. TE におけるメトリック

トラヒック平滑化は、トラヒックがネットワーク内でなるべく分散されることを目的とする。コストメトリックと違い、トラヒックの集中を回避することが可能である。これはネットワークオペレータからの要請である。しかし同じトラヒック需要であった場合、各リンクでの平均的な使用可能帯域は大きいと考えられるためスループットの向上が期待される。したがってTE 的な収容をしたほうが、ネットワークの収容効率があがるといったことだけでなく、ユーザが体感できるネットワーク品質の向上も期待できると考えられる。

3. ネットワークシミュレータによるモデル化

複数のメトリックを使用する環境で、遅延やアプリケーションの応答速度などネットワークの振る舞いを評価するためのモデル作成を行う。ここではネットワークシミュレータ OPNET[7] を使用した。

3-1. ネットワーク要素

ネットワーク要素を表1に示す。クライアントAは、エンドエンドでクライアントサーバ型サービスを定義するものであり、クライアントBはトラヒックソースである。いずれも well known の他任意のポート番号を指定できる。

ルータ	入力パケットのポート番号まで参照し、転送
クライアントA	各ルータに接続し、クライアントA間でCS型アプリケーションを定義 well knownポートの他、ポート番号を指定可
クライアントB	各ルータに接続し、クライアントB間のトラヒックを生成. sourceとsink として機能 指定するポート番号を使用 トラヒック量の正弦波状の時間変化定義機能
リンク	ルータ間に定義し、パケットを伝達

表1 ネットワーク要素のモデル化

3-2. 機能と動作

表2に動作を示した。OSPFと同様に最短経路ルーティングを行うが、コストが複数定義可能であり、各コストでのルーティングテーブルを作成する点が異なる。各コストには、パケットのL4のポート番号が対応づけられている。入力パケットは、対応するコストのルーティングテーブルを使用する。ソースルーティングは、発クライアントと着クライアントとポート番号を指定して定義する。等コストの際は等分岐、故障時は最短経路を再決定し使用する。

ポート番号識別	入力パケットのポート番号をみてルーティング
複数コスト対応ルーティングテーブル	リンク上のコストを定義。このコストセットを複数定義可。各セットに対して最短経路のルーティングテーブルを生成
ポート番号と参照コストの対応機能	入力パケットのポート番号により使用するコストセットを定義。定義されていない場合は既定(OSPF)プロトコルによる。
ソースルーティング定義	指定するポート番号のパケットは、別に指定したソースルーティングによる経路を使用

表2 機能と動作

4. シミュレーション

4-1. LPによる計算とコストメトリックにおける経路の差異

ここではHOP数最小と遅延最小の2つのコストメトリックを考えた。通常はHOP数最小を使用している場合で、遅延最小メトリックを使用するとアプリケーション応答特性が向上するかを評価するためである。そこでまず、HOP数最小の経路が遅延最小の経路と異なる場合はどのくらいの割合であるかを調査した。各項目は、経路が一致しないトラヒックの本数、トラヒック量の割合、一致しないトラヒックに関するトラヒックの比である。表3にこの結果を示した。ここでCOST239はヨーロッパ、NSFNETは北米のモデルであり、いずれも各ノードには実際の都市が対応しているため距離、従って遅延が定義できる。遅延のメトリックにはこの値を使用した。

	トポロジ	
	COST239	NSFNET
トラヒック本数/全本数	16/110	30/182
遅延の比	1.19	1.35
トラヒック量(%)	8.3	13.8
上:traffic1 下:traffic2	12.0	19.0

表3 メトリックと経路

トラヒックはフルメッシュの双方向トラヒックとした。各トラヒックの値を定めるトラヒック分布にはさまざまなモデル[8]がある。シミュレーションでは、トラヒックの出発および到着ノードの人口に比例すると同時に両ノード間の距離の2乗に反比例するとしたトラヒック(traffic1)トラヒックの出発および到着ノードの人口に比例するトラヒック(traffic2)、そしてすべて同一とする均一トラヒックの3種類を使用した。表3からトラヒック本数で15%前後、ト

ラヒック量で10%弱から19%程度のトラヒックに対して効果が期待できる可能性があることがわかる。

4-2. ネットワークシミュレータを用いた評価

4-2-1. シミュレーションイメージと経路出力情報

以上のモデルを OPNET 上に実現し、シミュレーションを行った。図1に NSFNET トポロジを使用したシミュレーション画面例を示す。

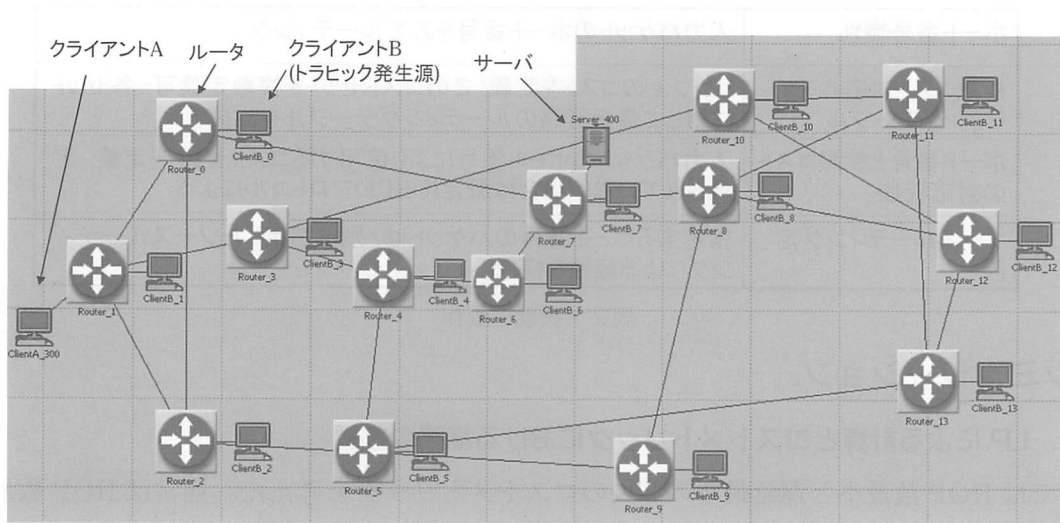


図1 OPNET におけるネットワークモデルの記述例

本方法では適用するメトリックにより経路設定を変更可能としているため、OPNET を用いたシミュレーションでも通過している経路を確認できる必要がある。この確認のため経路出力機能を用意し、その出力例を図2に示した。HTTPによる3つの通信を行なった場合の例であり、それぞれポート番号が、well known, 10011, 10012と異なる。10011はHOP数をメトリックとして使用すると設定しており、well knownの場合の経路と一致している。ポート番号10012のフローは遅延最小をメトリックとしており、異なる経路となっていることが確認できる。フローの遅延や使用メトリックの値等も出力させている。上段はクライアントからサーバに向かうフローに関する経路情報と下段はその逆方向のフローのものである。この出力は、OSPF、コスト、ソースルーティングのいずれのフローに対しても得られるものである。尚、経路はLPで求めた最短経路と比較して同一であることを確認した。

Time	Source	Destior	Applicati	ポート番号 経路		Packe	Traffic	遅延	経路のmetric	
				Port Numb	Route			Delay	Path Cost	
3000	300	405	HTTP	80	1,0,7	102	285600	0.020845	2	client→server
3000	300	405	HTTP	10011	1,0,7	66	184800	0.020845	2	
3000	300	405	HTTP	10012	1,3,4,6,7	144	403200	0.016015	2976721	
3000	405	300	HTTP	80	7,0,1	107	926288	0.021263	2	server→client
3000	405	300	HTTP	10011	7,0,1	133	1116712	0.021214	2	
3000	405	300	HTTP	10012	7,6,4,3,1	126	1073592	0.016545	2976721	

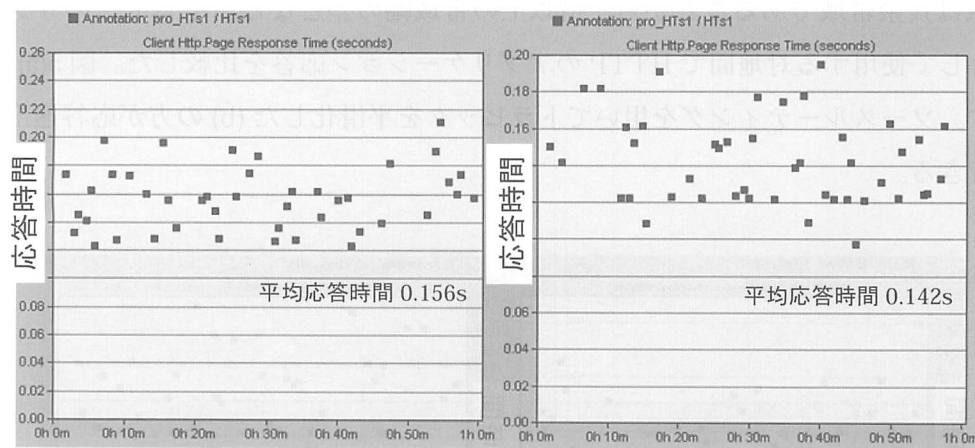
図2 経路情報の出力例

4-2-2. アプリケーション応答評価 (1): 使用コストメトリックの効果

次にアプリケーションの QoS に関するものとして、OPNET 標準の CS 型サービスである HTTP と Video のアプリケーション応答を測定した。ここでは NSFNET のモデルにおいて、traffic1 の分布のフルメッシュの背景トラフィックを、遅延最小メトリックを使用して与えてある。

また各リンクはすべて同一容量の双方向リンクとしてある。最小遅延経路と最小 HOP 経路が異なる対地間で測定した。

図3は HTTP 応答速度の例であり、(a) が HOP 数最小、(b) が遅延最小である。図を見ると (b) の方が応答速度が速いことがわかる。すなわちこの場合、低遅延の経路を通ることで、このモデルでは遅延最小メトリックを適用するポート番号を使用することで、ユーザへの応答特性の改善が期待できることがわかる。



(a) HTTP応答特性:
背景トラフィックは遅延最小経路使用

(b) HTTP応答特性:
背景トラフィックはTEによる経路設定使用

図3 HTTP アプリケーション応答速度

次に UDP を使用した Video アプリケーションの応答を調べた。経路上の遅延に関しては図3に示した経路出力情報からも得られ傾向としては同一と考えられるが、ここで測定されるのはアプリケーションとしての遅延である。図4に結果を示した。遅延最小メトリックを使用する

ことで、アプリケーションの遅延特性の改善が確認できた。

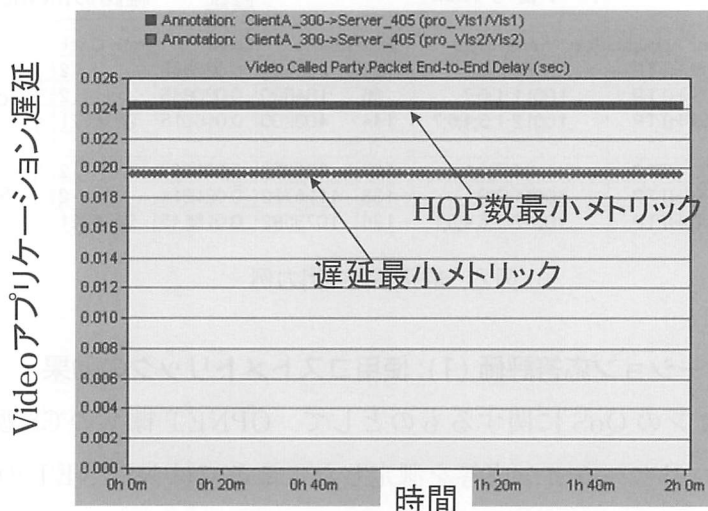
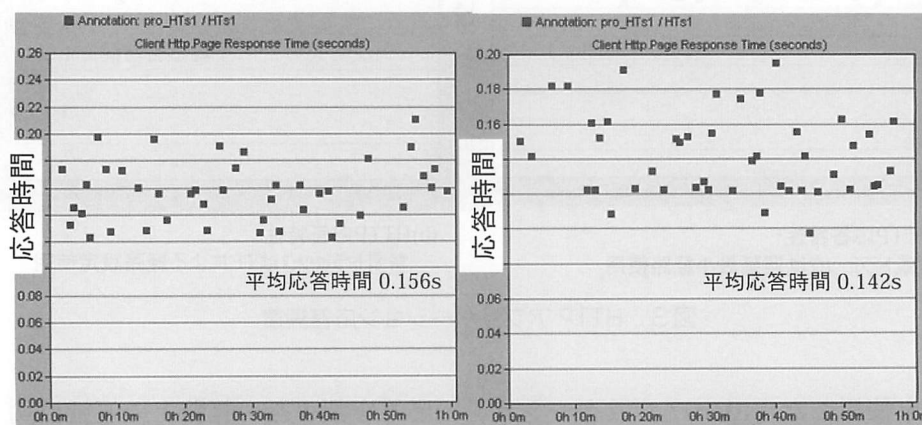


図4 Video アプリケーションの遅延特性

4-2-3. アプリケーション応答評価 (2): トラフィック平滑化の効果

背景トラフィックをトラフィックに対してソースルーティングにより平滑化し、最大リンク利用率を示すリンクの利用率を下げた場合の応答特性を図5に示す。(c)に示したのは最大リンク利用率を示すリンクの利用率であり、遅延最小メトリックにより背景トラフィックを収容した場合、80%の利用率になる一方、平滑化後は57%程度まで減少する。ここでアプリケーションが利用できる帯域は残余帯域であることから、倍以上の帯域幅の差となる。そしてこのリンクを最小遅延経路として使用する対地間でHTTPのアプリケーション応答を比較した。図5(a),(b)にこの結果を示す。ソースルーティングを用いてトラフィックを平滑化した(b)の方が応答速度で速いことが確認できる。



(a) HTTP応答特性:
背景トラフィックは遅延最小経路使用

(b) HTTP応答特性:
背景トラフィックはTEによる経路設定使用

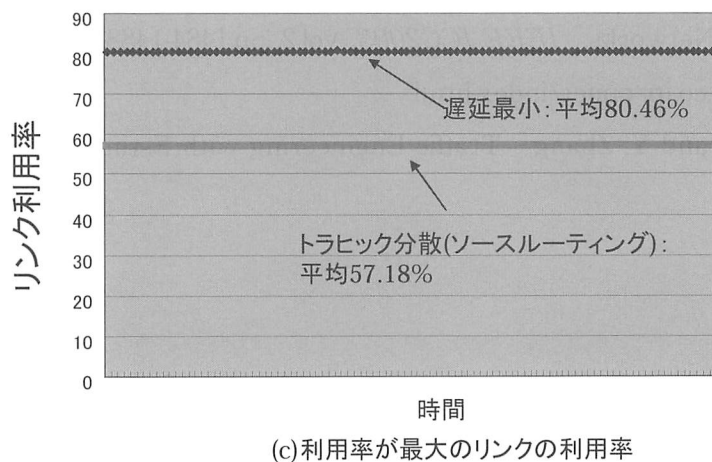


図5 HTTP 応答速度：トラフィック平滑化の効果

5. まとめ

本稿ではアプリケーションフロー毎の経路設定を可能とした場合の、ネットワーク品質について検討した。複数の設定可能なコストメトリックと、経路を明示的に記述するソースルーティングを使用した。その効果を確認するため、OPNET上でモデルを作成した。モデル化に当たってはフローはそのソケットのポート番号で使用するコストメトリックを選択可能としてある。評価したアプリケーション QoS は、HTTP 応答特性と Video 遅延特性である。経路により最小遅延経路のほうが応答速度、応答遅延が改善することが確認できた。また、背景トラフィックを遅延最小メトリック及び TE にした場合で比較した。ソースルーティングによりトラフィックを平滑化すると、HTTP 応答特性も向上することが確認された。このように、ネットワーク内にアプリケーションフローベースの経路設定を行うことで、ネットワーク伝播特性、アプリケーション QoS の向上が期待できることを明らかにした。

参考：

- [1] Moy, "OSPF Version 2," IETF RFC2328, 1998.
- [2] Awduche et al., "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS," IETF, RFC2702, 1999.
- [3] Wang, et al., "Explicit Routing Algorithms for Internet Traffic Engineering," *IEEE ICCCN 1999*, pp.582 - 588, 1999.
- [4] Fortz et al., "Optimizing OSPF/IS-IS Weights in a changing World," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.20, No.4, pp.756-767, 2002.
- [5] R. Bhandari, "Survivable Networks," Kluwer Academic Publishers, 1999.

[6]Zhang, et al., "A New Provisioning Framework to Provide Availability-Guaranteed Service in WDM Mesh Networks," *IEEE ICC2003*, vol.2, pp.1484-1488, 2003.

[7]<http://www.johokobo.co.jp/opnet/index.html>

[8]Roughan, M. Thorup, and Y. Zhang," Traffic Engineering with Estimated Traffic Matrices," *IMC2003*, Oct. 2003.