

トポロジー抽象化におけるQoS情報の大きさに 関する調査

本 田 治

マルチドメインネットワークでQoS (Quality of Service) を保証した通信路を提供するサービスの実現には、トポロジー抽象化が必要となるといわれている。トポロジー抽象化の手法は数多く研究されているが、その有効性を示す際に、どれだけ正確に情報を抽象化できたか、どの程度情報が削減できたかが重要な指標の1つとなる。これを議論するためには抽象化前の情報がどのような特徴を持つかが重要であると考えられるが、筆者の知る限り、これらは明らかにされていない。そこで本稿では、シミュレーションによる実験を通して、トポロジー抽象化におけるQoSに関する情報の特徴、特に情報量を明らかにする。実験の結果、帯域とリンクコストという2次元のQoSに関する情報量はあまり大きくなく、それらに時間を加えた場合に、情報量が非常に大きくなることがわかった。

キーワード：GMPLS、LSP、マルチドメインネットワーク、PCE

1. はじめに

アプリケーションによる通信の品質に対する要求は今後より多様化すると考えられる。そのような通信の品質に対する要求に答えるため、マルチドメインネットワークでQoS (Quality of Service) を保証した通信路（以降パスと表記）を予約できるサービスが期待されている^[1, 2]。そのようなサービスを提供するためには、他のドメインに対し、ネットワークのトポロジーと、リンクのQoSに関する情報（以降QoS情報と表記）を通知することが必要となる。しかしながら、多数のドメインが自ドメインのQoS情報を送信すると、ネットワークで消費される帯域や、QoS情報を処理する際のルーター等の負荷などが問題となる。この問題を解決するため、ネットワークのトポロジーとQoS情報を抽象化する、トポロジー抽象化 (Topology Aggregation) と呼ばれる手法が多数研究されている^[3, 4, 5]。

トポロジー抽象化の有効性を示す際は、抽象化の正確性と抽象化による情報削減量の2つの指標が重要となる^[3, 4, 5]。正確性は、実際のネットワークではパスを作成することがで

きるが、トポロジー抽象化後の情報を元に計算するとパスが作成できない、またはこの逆のようなことがどの程度発生するのかである。情報削減量は、トポロジー抽象化前におけるネットワークとQoS情報についての情報量と、トポロジー抽象化後の情報量を比較し、どの程度情報量が減少したかである。これらの指標を用いて評価する際によく用いられる手法は、シミュレーション実験か、QoS情報を座標空間で表し、抽象化前と後で座標空間上の面積や体積（座標空間の次元による）の変化を計算することである。しかしながら、そもそもトポロジーを抽象化する前に、QoS情報の情報量がどの程度なのかについては、筆者の知る限りほとんど明らかにされていない。

本研究では、ネットワークのトポロジーや規模、パスの発生数によって、QoS情報の情報量がどのような特徴を示すかについて明らかにすることを研究目標とする。具体的には、シミュレーションにより、ネットワークのトポロジーや規模、パスの平均発生数を変化させ、QoS情報がどのように変化するかを調べた。また、既存のほとんどのトポロジー抽象化手法はQoS情報として2つの情報すなわち帯域とリンクコストのみを想定している。しかし、本稿ではQoS情報として帯域とリンクコストに時間を加えた3つのQoS情報で評価を行っている。

本稿では、2. でシミュレーション実験について述べている。そして、3. まとめを行っている。

2. シミュレーションによる実験

2.1 シミュレーションの設定

シミュレーションで用いたネットワークのトポロジーを図1と図2に示す。図1は、ネットワーク分野の研究においてシミュレーション実験で使用されることが多いトポロジーであり、ISP（Internet Service Provider）のネットワークを模している。典型的なISPのネットワークでQoS情報がどのようになるのかを明らかにするため、このトポロジーを用いることとした。また、図2は縦横のノード数が同じ数となる正方形格子のトポロジーである。完全な正方形格子状のネットワークは現実にはほとんど存在しないと考えられる。しかしながら、ネットワークの規模、特にパスの経路の候補が多いか少いかにより、QoS情報にどのような影響を与えるのかを明らかにするために、正方形格子を採用することとした。正方形格子のネットワークでは、格子を構成する縦横のノード数を変化させてシミュレーションを行っている。

シミュレーションで発生させるパスに関するパラメータを表1と表2に示す。パスには発側となるノードと着側となるノードが存在する。パスのためにリンクの帯域を確保するのは、発側ノードから着側ノードの向きのみである。表1と表2では、パスの発着ノードを、

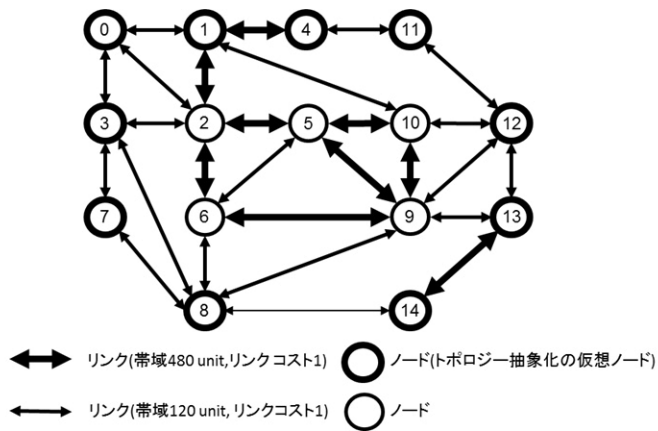


図1 ISPを模したネットワーク

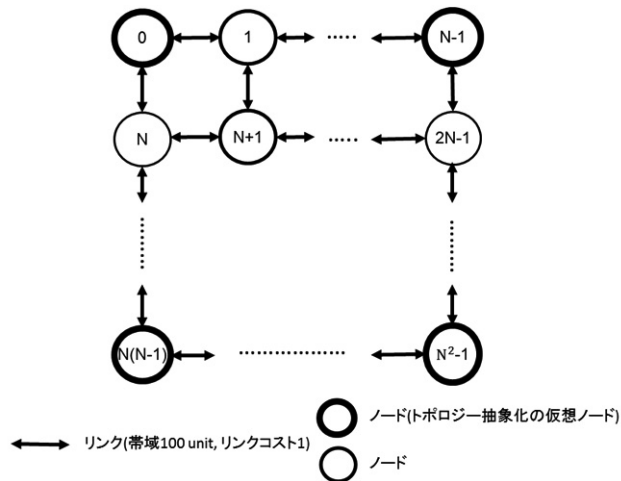


図2 正方格子のネットワーク

それぞれ図1と図2のノード番号で示している。パスの発着ノードがどのノードとなるかは、表1または表2のノードのなかから一様分布に従ってランダムに選択する。次に、表中の平均発生数は、ネットワーク全体で、単位時間（1 step）あたり平均して何本のパスの作成要求が発生しているかを示す。単位時間あたりの発生数は、ポアソン分布に従ってランダムに決定する。有効化までの平均時間とは、パスの予約に成功してから実際にそのパスのために帯域が確保されるまでの平均時間を示す。有効化までの時間は、指数分布に従ってランダムに決定する。要求帯域はパスのために確保する必要がある帯域をユニット数で示している。要求帯域は、表中の最小値と最大値の間で一様分布に従ってランダムに決定される。平

均ライフタイムは、パスを使用する（帯域が確保されている）平均時間を示す。ライフタイムは指数分布に従ってランダムに決定する。

表1 パスに関するパラメータの設定（ISPネットワーク）

パスの発着ノード	0, 1, 3, 4, 8, 12, 14
平均発生数	1, 5, 10(パス/step)
有効化までの平均時間	10(step)
要求帯域	1-50(unit)
平均ライフタイム	10(step)

表2 パスに関するパラメータの設定（格子ネットワーク）

パスの発着ノード	全てのノード
平均発生数	1, 6, 8, 10(パス/step)
有効化までの平均時間	10(step)
要求帯域	1-50(unit)
平均ライフタイム	10(step)

パスの発側ノードと着側ノードの間のルーティングは、帯域に関する制約条件付きの最短経路アルゴリズムを使用している。シミュレーションでは全てのリンクのコストは等しく1に設定しているため、ルーティングは、要求されている帯域が確保できるリンクのみで、ホップ数に対する最短経路を求める。

トポロジー抽象化の際は、図1と図2の「トポロジー抽象化の仮想ノード」と表記されているノード間でフルメッシュに仮想リンクを作成する^[3]。仮想リンクのQoS情報は帯域、リンクコスト、時間の3次元である。

2.2 シミュレーションの結果と考察

シミュレーションの結果を図3から図7に示す。シミュレーション結果は、シミュレーション開始から十分時間が経過し、定常状態に達した際に計測した結果である。同じ設定のシミュレーションを50回繰り返し、平均を求めている。

図3、図4、図5は、図1のトポロジーでパスの平均発生数をそれぞれ1、5、10としたときの結果である。横軸は時間（現在から何step先か）を、縦軸はQoS情報の帯域とリンクコストの組み合わせの数である。凡例で示すホップ数とは、抽象化前のネットワークにおける仮想ノード間の最短経路におけるホップ数である。図1のネットワークでは、仮想ノードのすべての組み合わせで求めると1から4までのホップ数となる。なお、パスの要求に対する

棄却率を図のタイトルに併記してある。

図3、図4、図5の結果より、QoS情報の組み合わせの数は、ホップ数やパスの平均発生数（または棄却率）の違いにより多少の差はできるものの、2前後の値であることがわかる。また、時間が50から70程度でQoS情報量が1に収束することがわかる。なお、図には記していないが、図3~図5の実験結果すべてにおいて標準偏差は高い値をとる場合でも1未満である。

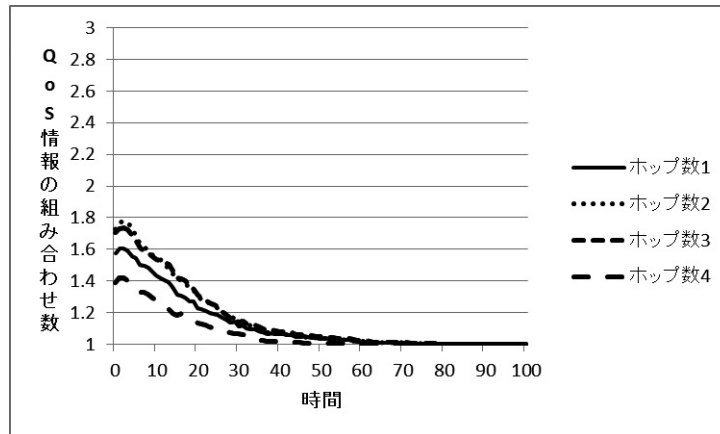


図3 図1のネットワークのシミュレーション結果
(パスの平均発生数が1の場合 (棄却率0.00))

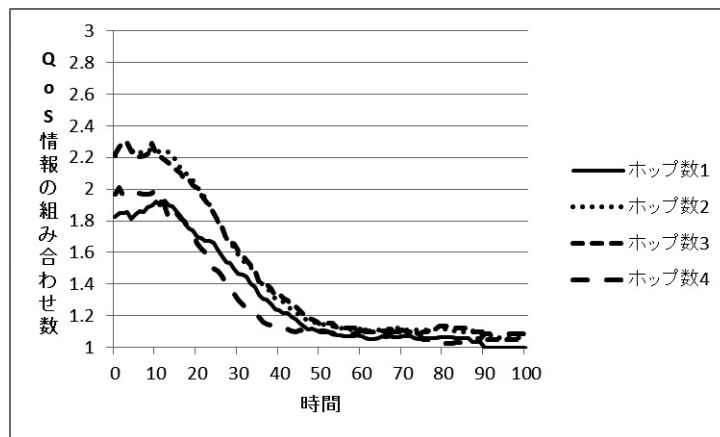


図4 図1のネットワークのシミュレーション結果
(パスの平均発生数が5の場合 (棄却率0.06))

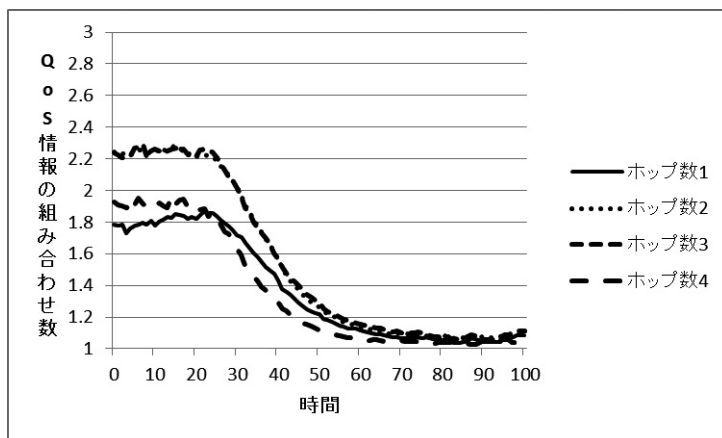


図5 図1のネットワークのシミュレーション結果
(パスの平均発生数が10の場合 (棄却率0.25))

次に、図6、図7に、図2のトポロジーで正方格子の1辺を構成するノードの数を5、10としたときの結果を示す。横軸は時間（現在から何step先か）を、縦軸はQoS情報の帯域とリンクコストの組み合わせの数である。凡例で示す平均発生数は、パスの平均発生数であり、ホップ数は、抽象化前のネットワークにおける仮想ノード間の最短経路におけるホップ数である。図6の結果において、パスの要求に対する棄却率は、平均発生数1、2、3、4のときに、それぞれ0.00、0.01、0.04、0.09である。また図7結果において、パスの要求に対する棄却率は、平均発生数4、6、8、10のときに、それぞれ0.00、0.02、0.06、0.12である。なお、図には記してないが、図3~図5の実験結果すべてにおいて標準偏差は高い値をとる場合でも1.5未満である。

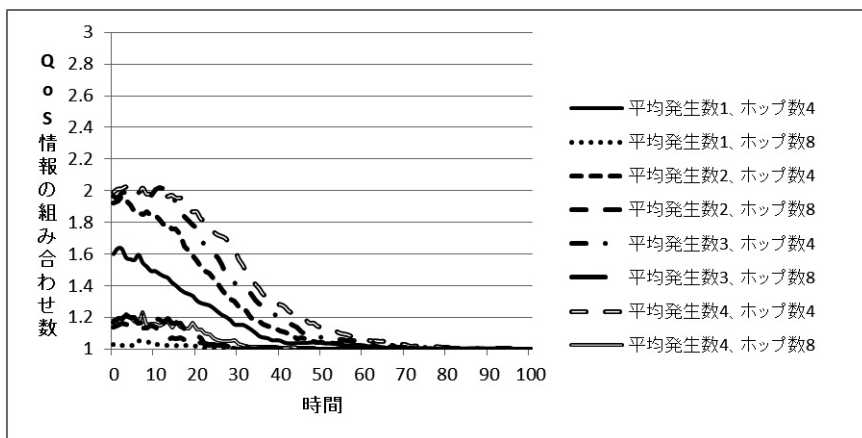


図6 図2のネットワークのシミュレーション結果 (N=5の場合)

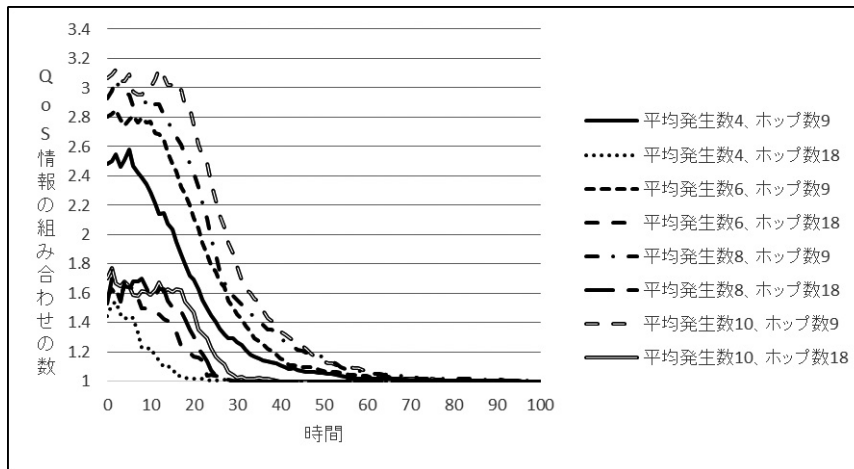


図7 図2のネットワークのシミュレーション結果 (N=10の場合)

図6、図7の結果より、QoS情報の組み合わせの数は、ホップ数が小さいほど大きくなり、平均発生数が多いほど大きくなり、それらは最大で3程度である。また、時間が30から60程度でQoS情報量が1に収束している。

これらの結果より、QoS情報は、帯域、リンクコスト、時間と3つ存在するが、帯域とリンクコストの組み合わせの数は平均して大きくても3程度であり、情報量としてはあまり多くないことがわかる。その一方で、リンクの予約を受け付ける時間の粒度に依存してはいるが、時間は相対的に情報量が多くQoS情報に時間を加えた場合にQoS情報の情報量が大きく増加することがわかる。

図3から図7の結果より、時間30から70程度で、QoS情報の組み合わせの数がほぼ1に収束しているが、これは有効化までの平均時間と平均ライフタイムの和の1.5~3.5倍程度である。このことは、有効化までの平均時間と平均ライフタイムの和のすくなくとも3.5倍程度の時間は、QoS情報として扱うべきであることを示している。

今回のシミュレーションで採用している図1と図2のネットワークは、ノード間の経路が多数存在するため、QoS情報、とくに帯域とリンクコストの組み合わせの数が多くなると考えられる。しかしながら、シミュレーション結果は、そのような結果となっていない。より詳細な実験が必要であるが、今回の結果は、トポロジー抽象化が、既存の多くの研究で採用されている帯域とリンクコストという2次元のQoS情報を扱うより、3次元以上のQoS情報を扱う場合でより重要であることを示している。

3. まとめと今後の課題

本稿では、シミュレーションによる実験を通して、トポロジー抽象化におけるQoSに関する情報の特徴、特に情報量を明らかにした。シミュレーション実験の結果、帯域とリンクコストという2次元のQoSに関する情報量はあまり大きくなく、それらに時間を加えた場合に、情報量が非常に大きくなることがわかった。

しかしながら、今回のシミュレーション実験はまだ限定的なものであり、より詳細な実験、様々な種類のネットワークトポロジー、パス作成の多様なパターンなどが必要と考えられる。

参考文献

- [1] T. Lehman, J. Sobieski, and B. Jabbari, "DRAGON: a framework for service provisioning in heterogeneous grid networks," *IEEE Communications Magazine* 44, pp. 84–90, Mar. 2006.
- [2] R. Douville, J. L. L. Roux, J. L. Rougier, and S. Secci, "A Service Plane over the PCE Architecture for Automatic Multidomain Connection-Oriented Services", *IEEE Communications Magazine*, vol.46, No.6, Jun. 2008.
- [3] S. Uludag, K. Lui, K. Nahrstedt, and G. Brewster, "Comparative Analysis of Topology Aggregation Techniques and Approaches for the Scalability of QoS Routing," *ACM Computing Surveys (CSUR) Surveys Homepage archive*, Vol. 39 Issue 3, 2007.
- [4] Y. Tang and S. Chen, "QoS information approximation for aggregated networks," in *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 2107-2111, June 2004.
- [5] Y. Hua, and C. Wu, "Framework and Algorithm for Grid QoS Infrastructure in Optical Burst Switching Networks with GMPLS Support," *Journal of Communication and Computer*, Vol. 2, No. 5, May 2005.