

L-024

## リンクステート型ルーティングプロトコルの拡張による自律的トラフィック制御の実現 Implementation of an Autonomous Traffic Control via a Link-State Routing Protocol

辰己 真一郎† 山崎 仁† 白川 正知‡ 古川 泰男‡  
Shinichiro Tatsumi, Jin Yamasaki, Masatomo Shirakawa, and Yasuo Furukawa

### 1. はじめに

近年のインターネットにおいて、通信サービスの多様化とブロードバンド化による急速なユーザ数の拡大により、トラフィックが急激に増大している。さらに、インターネット技術に対して、さまざまな通信品質が要求され、そのため、ベストエフォートサービスを補完し、発展させる、さまざまな技術が開発され、多くのサービスが実現されている。

とくに、通信品質保証技術では、サービス間の公平性や遅延を考慮した次世代インターネット技術が提案されている。次世代インターネット技術にとって公平性や遅延保証の観点から、ブロードバンド化によるアクセス網のコア網への影響が大きくなったことから重要であると考えられる。

そこで、本研究室では、フロー間の公平な帯域配分と余剰帯域の有効利用を実現するために、トラフィック状況に応じた動的経路選択とパケット転送技術、さらにフローごとの動的帯域配分技術からなる、自律的トラフィック制御技術について研究開発を行っている。これまでに、自律的トラフィック制御を用いたときのルータにおけるスループットや転送遅延など、技術的効果について提案手法を検証してきた。[1-3]

本論文では、自律的トラフィック制御アルゴリズムをリンクステート型ルーティングプロトコルの拡張機能として実装を行ったので、その性能評価について報告する。従来ルーティングプロトコルを拡張することで、本技術の互換性と実用性が飛躍的に向上させることができた。さらに、ルータのスループットや帯域利用について性能向上を実現することができた。

### 2. 自律的トラフィック制御

本研究の目的は、公平な帯域配分と余剰帯域の有効利用を実現する新たなルーティング技術とルータの研究開発を行うことである。

研究開発の内容は以下の技術に関して行っている。

- (1) トラフィックと優先度により決定するスケジューリング技術
- (2) 動的経路選択技術
- (3) 動的帯域配分技術

動的経路選択・帯域配分技術の概要について、図1に示す。各ルータは、ルータ間リンクのトラフィックや遅延

†豊橋技術科学大学大学院工学研究科,  
Graduate School of Engineering, Toyohashi University of Technology

‡豊橋技術科学大学未来技術流動研究センター,  
Research Center for Future Technology, Toyohashi University of Technology

からコストを算出し、コストをラベルとした階層型ルーティングテーブルにより経路選択に冗長性を持たせる。

あるリンクの余剰帯域が減少すると、従来の経路選択法では、静的な選択のため経路変更はされず、通信が輻輳状態へと至る場合もある。それに対して、本技術では、経路表の冗長性から、優先度を基準に低いフローから別の経路へ割り振ることができる。結果として、優先度の高いフローが最短経路を使用しながらも、余剰帯域を改善できる。

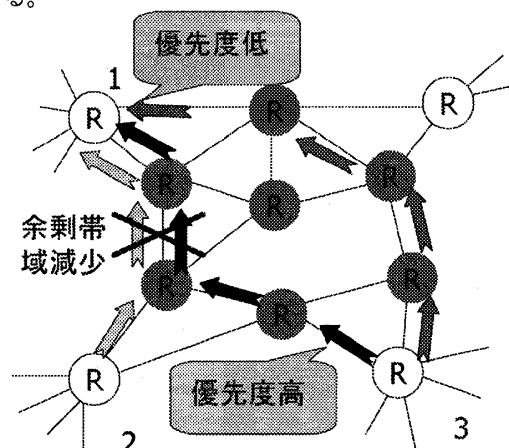


図1 動的経路選択・帯域配分技術の概要

提案する自律的トラフィック制御技術の利便性や有益性は以下のようにまとめられる。

- (1) トラフィックの偏りを改善
- (2) 優先度に応じた公平な帯域配分を実現
- (3) 余剰帯域の有効利用を実現
- (4) フロー制御の負荷を分散

従来技術では考慮されないトラフィックに基づいた経路コストにより複数経路へトラフィックを分散できる。また、帯域占有、優先、ベストエフォート通信サービスを混在させ、利用状況に応じて各サービスへの帯域割当てを行うことができる。さらに、アプリケーションに必要な帯域を確保するために適した経路を動的に選定できる。さいごに、各ルータでの自律的な制御ができ、TCPフロー制御の処理を軽減する。伝搬遅延の大きなフローでも経路上のルータで即時対応ができ、通信速度の復帰が速くなる。

これまでの技術的課題として、従来技術との互換性があった。とくに静的経路制御との互換性を図る必要があった。この課題を解決するために、リンクステート型ルーティングプロトコルへ拡張機能として、本技術を実装した。

### 3. 実装と評価

#### 3.1 ルーティングプロトコルへの実装

リンクステート型ルーティングプロトコルに、SPF (Shortest Path First)がある。本研究では、SPFの一実装である、OSPF (Open SPF)への拡張を試みた。実装の概要を図2に示す。OSPFは、いくつかの種類メトリック(リンクコスト)を内蔵しており、コスト値が最小となるパスをダイクストラアルゴリズムにより求めることができる。このコスト値を、本技術のトラフィック状況とリソース消費・還元それぞれの履歴を考慮したフローごとのリンクコストから変換したものを使用できるようにした。これにより、従来SPF実装したルータとの互換性を保つことができる。自律システムエリアの決定や隣接ルータの発見、情報の広告などは従来のOSPFの動作となる。

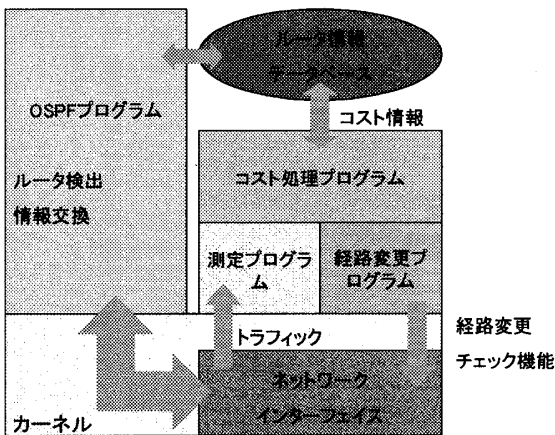


図2 OSPFへの実装概要

ただし、拡張機能として本技術が実装されたルータでは、トラフィック状況を反映したリンクコストをラベルとした階層型経路表により、フローごとの動的経路選択が可能となる。

#### 3.2 動作検証

実装したプログラムの動作検証と性能評価について述べる。図3に実験で使用したネットワークモデルを示す。

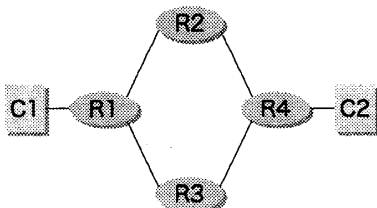


図3 ネットワークモデル

ここで R1-4、C1-2 は、それぞれトラフィック制御ルータ、通信端末を表している。全ての機器は LAN (100BASE-TX) 接続されている。四つのルータにより端末間には二つの経路が存在している。これらの経路を使用し、フローに応じたパケット転送が切り換えられる。トラフィックは、端末間の ICMP パケット (64 バイト) を使用した。動作検証として、R1 と R2 間のリンクに TCP フロー (パケットサイズ 1,500 バイト、送信レート 4%) による

負荷をかける。このとき、経路選択の状況を R2 と R3 上のトラフィックにより確認する。トラフィックの測定結果を図4に示す。同図では、負荷トラフィックである TCP フローも示した。

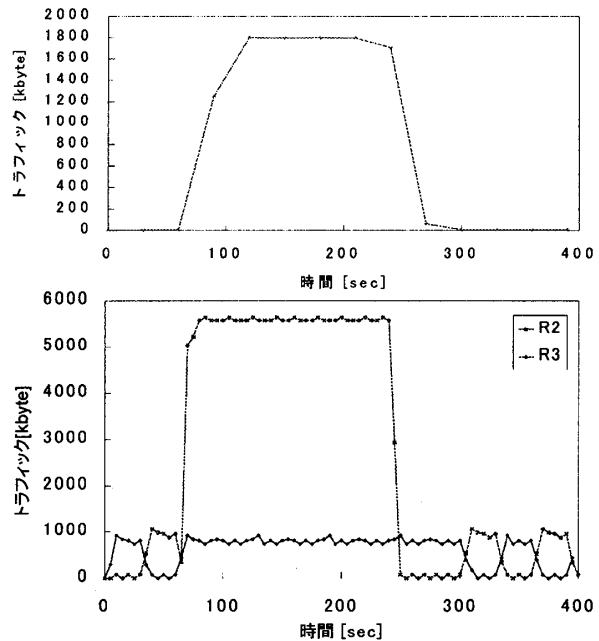


図4 実装検証実験の結果

端末間の通信は、TCP フローが生じると、この経路を避け転送が滞ることなく通信が行えていることがわかる。60 秒以前と 300 秒以降で、経路選択が交互に行われているのは、切り換え特性を測定するため、とくに、制御基準を調整したためである。経路選択は、突然切り換えるようなことはなく、測定結果から、平均 77 バイト/秒で遷移している。さらに、動的経路選択においては、スループットや遅延には影響が見られなかった。パケット順序も入れ替わることもなく交換されていたことを確認した。

以上から、低負荷の通信では、実装に問題がないことが確認された。現在、高負荷の状態での中継器テストを行い、動作検証と性能評価を行っている。

### 4. まとめ

提案手法を実現するルータを OSPF の拡張機能として実装した。

実験により、ルータの低負荷条件での利用アプリケーション通信以外による帯域制限時において、トラフィック状況に応じた動的経路制御が、ルータ性能を損なうことなく、フローに応じて行えることを確認した。

今後の研究において、3 経路以上の中継実験を行い、さまざまなサービスに対する動的経路選択技術と帯域配分技術の通信品質評価を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] 白川、古川、2002 FIT2002, L-6.
- [2] 白川、古川、2002 信学会総合大会, SB-4-6.
- [3] 白川、古川、2001 信学会総合大会, B-7-180.