

# Routing Architecture for the Dependable Internet

小原泰弘 (yasu@sfc.wide.ad.jp)

2008/01/09

## 1 はじめに

本研究は、既存の技術では自動的に回復できず、長時間持続するようなインターネットの障害を、一般的な複数パス経路制御メカニズムを用いて回避するための新しい経路制御アーキテクチャを提案する。

通信ネットワークの信頼性は様々な要素から成る。たとえば、ハードウェア装置の信頼性、ネットワーク運用者の信頼性などである。既存の研究は、これらの信頼性の要素のうちの一つを個別に改善するにはどのようにすれば良いかを議論するのみであった。これには二つの問題点がある。一つは、全ての要素に対する信頼性改善の研究が網羅されていないことである。通信に関わる様々な要素、例えばプロトコルを実装する個別のソフトウェア、およびそれを運用するネットワーク管理者の信頼性を改善する研究などは充分ではない。二つ目に、各信頼性を考慮する技術が失敗した際の改善の回避策が提供されていない。例えば、計算機や装置のフォールトトレラント機構が失敗した際に、いかに通信可能性を回復するかという回避策が示されていない。結果として、ネットワーク全体の信頼性は充分でない。インターネットでは緊急電話をサポートすることができるほどの信頼性が提供されていない。社会基盤としての高信頼通信ネットワークはいまだ実現していない。

経路制御技術に焦点を当て、本研究は、どのような種類の問題にも代替経路を使うという戦略を通して、通信システム全体の実践的な信頼性を向上する経路制御アーキテクチャを提案する。そのような試みの第一歩として、本研究は AS 内経路制御システムに焦点を当てる。

本研究の貢献は以下である。第一に、SimRouting という新しい経路制御シミュレーションツールが開発された。SimRouting は通信システム全体の信頼性を予測

することを助けることができる。第二に、ネットワーク全体の上に行えるだけ多数の複数パスを計算する新しい経路計算アルゴリズム、MARA を提案した。第三に、新しい経路制御アーキテクチャ、Drouting アーキテクチャを提案した。Drouting は多数の可能なパスから一つの通信パスを選択するために、パケットタグ転送方式を利用する。Drouting の障害回避特性は既存の経路制御技術、Deflection より性能が良いことが示された。第四に、Drouting アーキテクチャでのトラフィックエンジニアリングの実現可能性が、ネットワーク最適化のための LP 問題を解決することで、示された。

本研究の結果として、代替経路を利用するための単純かつ実践的な手法が、インターネット信頼性向上の一戦略として提示された。インターネット経路制御システムは「最善の経路を利用し、障害は経路制御機構が回避する」という思想にもとづき、信頼性について約 30 年の間本質的な改善がなされていない。本研究は、経路制御技術を改変し、経路制御機構自身を含む、通信に関わる様々な機構が失敗した際の問題回避を代替経路の利用により実現する。より高信頼なネットワークのための実践的な経路制御アーキテクチャを提案する。

## 2 SimRouting: 経路制御シミュレーションツール

本研究では、SimRouting と呼ばれる新しいネットワークシミュレーションツールを開発した。経路制御機構に焦点を当て、SimRouting はあるネットワーク設定におけるネットワーク全体の状態の概要を計算することを目的とする。ネットワーク状態の概要は、グラフ理論やネットワークフローの分野で行われるように、抽象的グラフ構造に対して計算される。既存のネッ

トワークシミュレータは通信レイヤスタックモデルを採用しているため、本ツールのアプローチには新規性がある。通信レイヤスタックモデルではトラフィック要求やネットワークポロジの様々な組み合わせを試すことが困難であった。

SimRouting の目的は以下である。1) ネットワーク状態の図示、表現、表示。2) 各ネットワーク設定を組み合わせて取り扱う。3) あるネットワーク設定の変更が全体に与える影響を調査する。4) 経路制御手法を他との比較により評価する。5) 新しい経路制御手法を構築する環境を提供する。

本ツールは NS-2, GloMoSim, QualNet, OPNET, OmNet++, GTNetS と機能の比較により評価された。概念と比較評価の結果は以下の論文に記載し投稿中である。

- Yasuhiro Ohara, Masaki Minami, Osamu Nakamura and Jun Murai, “SimRouting: A Routing Simulation Tool”, IPSJ, submitted

また、以下の URL から GPL フリーソフトウェアとして配布している。

- <http://www.simrouting.net/>

### 3 MARA: 経路制御アルゴリズム

高信頼な IP ネットワークを実現するため、ホップバイホップネットワークにおける全ノードに対して最大数の代替経路を提供する複数経路計算アルゴリズムを開発した。

インターネット経路制御の目的として、ネットワーク中の全てのリンクを活用する有向非循環グラフ (Directed Acyclic Graph, DAG) を構築することは、これまで考えられておらず、本研究により初めて調べられた。複数の目的に対する DAG の構築方法が議論され、新しいアルゴリズムとして記述された。目的は、終点に対して全ノード中最小の最大流を持つノードの最大流の最大化、最小の連結度の最大化、最短経路制御の拡張としての代替経路の最大化などである。これらの経路制御アルゴリズムを MARA と名づけ、各目的に対して最適性が証明された。また、シミュレーションにより様々なネットワークにおける実行性能が評価された。これらの結果を論文にまとめ投稿予定である。

最小の最大流の最大化と最小連結度の最大化に関する記述と証明は、以下に記載されている。

- Y. Ohara and S. Imahori, “Computing a DAG using MA ordering for the all-to-one maximum flow routing problem,” Mathematical Engineering Technical Report METR2007-09, Department of Mathematical Informatics, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, 2007.

### 4 Drouting 経路制御アーキテクチャ

障害回避が可能であることはインターネットのような通信ネットワークにとって好ましい機能である。しかし、インターネットでは全ての障害が回避できるわけではない。これは、障害を検知し回避する責任を持つ経路制御機構が全ての障害を検知できるわけではないことが原因である。結果として、障害はインターネット通信を数時間のような長い間遮断する場合がある。

本研究では Drouting と呼ばれる、柔軟な障害回避を実現する新しい経路制御アーキテクチャを提案する。Drouting では MARA の計算する複数経路を利用する。IP パケットはエンドホストが設定するパケットタグを持ち、これは複数経路から実際に利用する一つの経路を選択するために利用される。Drouting アーキテクチャの障害回避性能は Deflection という他の障害回避技術とシミュレーションにより比較評価され、より優れた障害回避性能を持つことが示された。

これは論文にまとめられ、投稿中である。

- Yasuhiro OHARA, Hiroyuki KUSUMOTO, Osamu NAKAMURA and Jun MURAI, “Drouting Architecture: Improvement of Failure Avoidance Capability using Multipath Routing,” IE-ICE, submitted

### 5 Drouting におけるネットワーク最適化

Drouting アーキテクチャでは、複数経路に対してトラフィック分割割合を指定できる。トラフィック分割

割合は、ランダム値を持つパケットタグが該当経路に転送される確率を示す。トラフィック分割割合を指定することで、ネットワーク最適化が実現できる。

ネットワーク最適化は、GLPK や AMPL などを利用して数理計画法として解くことができる。トラフィック分割割合の設定によっては複数経路のうち一つしか利用されない場合もあり、この場合には障害回避性能が損なわれる。障害回避とネットワーク最適化を同時に実現するための数理計画法モデルを開発した。これを論文にまとめる予定である。

## 6 まとめ

本研究ではインターネットの信頼性向上を目的とし、経路制御シミュレーションツール SimRouting、新しい経路制御アルゴリズム MARA、新しい経路制御アーキテクチャ Drouting を提案した。Drouting では、エンドホストやユーザアプリケーションが問題を検知し、任意の理由で確率的に経路を変更する機能が実現される。障害回避とネットワーク最適化を同時に実現する手法についても論じた。これらにより、高信頼なインターネットを実現する一手法が示された。