

論文内容の要旨

博士論文題目

Studies on Policy Based Route Management for
Intra-domain and Inter-domain Networks

氏 名 衛 藤 将 史

(論文内容の要旨)

本論文は、現在のインターネット環境における通信経路管理について、新たな管理フレームワークで運用品質を高めるためのエンジニアリング手法を提案し、その実装と実証実験を通じた検証について報告している。この取り組みは、近い将来のインターネットの管理運用に対して、比較的小さなオーバーヘッドで高い品質を得る基盤を成立させるための第一歩とすることができる。

現在のネットワーク運用では、管理者は低遅延・広帯域といった回線利用を求める顧客からの要求と、ネットワークの機能の限界や回線維持費といった経済的な制限に基づいて、利用すべき経路を決定している。一般に、遅延や帯域といった性能指標に基づく経路選択、あるいはその方針をポリシーと定義する。管理者は、ポリシーをネットワークに反映する際には個々のルータ機器の機能を組み合わせて目的とする経路選択を規定している。しかしネットワーク規模の増大にともなって、管理者が全ての機器に対する設定をポリシーに矛盾なく反映することは難しくなっている。結果としてポリシーとは反した経路選択が行われる場合があり、現在のインターネットにおいても障害原因となったことが報告されている。

この問題に対して本研究では Policy Based Route Management (PBRM) と呼ばれる管理フレームワークを提案する。PBRM はポリシーに基づいてネットワーク全体の経路選択を一元的に管理し、俯瞰性を与えることで、ポリシーに即したネットワークの運用と管理

コストの低減を目指す。また PBRM を管理ドメイン内 (AS 内) およびドメイン間ネットワークの双方に適用することでインターネット全体の管理を容易にすることも目標とする。

ドメイン間ネットワークの運用現場では、インターネットの普及にともなう AS の増加により、全ての隣接 AS に対して相手側と協調した設定作業を行うのが困難となっている。この問題に対して、IRR を利用したネットワーク管理手法が提案されている。IRR には Routing Policy Specification Language (RPSL) と呼ばれる経路制御ポリシーが記述されており、各 AS がポリシーを IRR に集約することによって、統一的に隣接 AS との経路選択の状況を管理することが出来る。IRRToolSet と呼ばれるツールを用いることにより自 AS のルータ設定情報を生成することが可能なことから IRR を利用することでドメイン間ネットワークにおける PBRM を実現できると考える。しかし IRR の情報の信頼性が低いためルータへ直接設定を行った場合にインターネット全体に影響を及ぼす可能性がある。そのため、本研究では IRR の信頼性を向上するための取り組みを行った。この取り組みは、IRR における情報の整合性管理を行う機構を提案実装した。さらに、日本国内に試行的に運用されている JPIRR に対しても適用し、その実証運用を通しての知見集積とシステム改善に取り組み、実用レベルへの展開を目論んでいる。

一方、ドメイン内ネットワークに PBRM を適用する際に問題となるのは、現状のドメイン内ネットワークで広く普及している OSPF をポリシーで管理するための機構が存在していないことである。そのため本研究ではドメイン内ネットワークにおけるポリシー記述手法を定義した。また、その定義にしたがって OSPF ルータのコスト値を生成し、ポリシーに基づいた経路選択を行うための機構を提案した。この機構により、ドメイン内ネットワーク管理について、運用技術者の経験に基づいた運用ではなく、運用前検証が可能な基盤を与える。

この研究は、今後大規模化するインターネット基盤の、合理性の高い経路管理基盤を与えることに貢献している。しかしながら、この研究単独で基盤構築ができるわけではない。今後、このフレームワークを強化する多種多様な技術を産み出し、集積することにより、より強固なインターネット管理運用基盤が形成できる。そのための残された課題についても併せて論じている。

(論文審査結果の要旨)

本論文はネットワークの経路設定に管理者の意図を正確に反映し、かつ一括して設定を行うことで、人為的な設定ミスとネットワークの管理負荷を低減することに焦点をあてている。これまでのネットワーク運用では、各ルータへの経路選択の設定は、管理者の能力と経験をベースに主に手動で行ってきたが、インターネットの拡大にともない、管理者の能力に依存したままでは、合理性をもった設定が困難になっている。この問題に対して本論文では管理者が経路選択をする際の判断基準をポリシーと定義し、合理性の高いルータ設定をポリシーから機械的に導出することを目指した。

本論文で提案する **Policy Based Route Management (PBRM)** は、ネットワーク全体の経路をポリシーに基づいて一括して設定するための機構である。**PBRM** を管理ドメイン間 (AS間) およびドメイン内の両ネットワークに適用することでインターネット全体での管理コストの低減を目指した。本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 管理ドメイン間ネットワークでは **Routing Policy Specification Language (RPSL)** と呼ばれるルーティングポリシーの記述言語および、そのポリシーを統一管理する **Internet Routing Registry (IRR)**、さらにポリシーの変換機構である **IRRToolSet** などの提案がなされている。よって、これらの既存の技術を利用することでドメイン間ネットワークにおける **PBRM** の実現を目指した。その第一歩として **IRR** に登録されている隣接 **AS** 間のポリシー間に不整合が存在することによりその利用の普及が妨げられていることに着目した。

この問題に対して本論文ではポリシーの整合性の検証機構である、**Policy Check Server** の提案を行った。**Database Checker** の機能により、現状の **IRR** 内に登録されている経路制御ポリシーの約 **55.8%** に不整合が存在していることを明らかにし、整合性検査の必要性を確認した。この結果から **AS** 管理者が **IRR** にポリシーを登録する際に、隣接 **AS** のポリシーとの間の整合性を事前に検査するための機構、**Policy Checker** を実装した。**Policy Checker** により、任意の **IRR** に経路制御ポリシーを登録する **AS** 管理者が容易に整合性検査を行えるようにした。また本研究の取り組みの一環として、**Policy Check Server** を **JPNIC** で運営される **IRR (JPIRR)** に配置し、その機能を一般に公開した。

2. ドメイン内ネットワークにおける **PBRM** の適用のため、本論文ではポリシーによる **OSPF** のリンクコスト設定アルゴリズムの提案を行った。ドメイン内ネットワークでは管理ホストの増加にともない、手動によりネットワーク全体の経路選択ポリシーを反映することが困難になっている。しかしこれまで、**OSPF** ネットワークの経路選択をポリシーによって一括設定する手法は提案されてこなかった。本研究では目的ノード間における遅延・帯域・安定性といったポリシーの表現手法を定義し、そのポリシーから適切な経路設定を行うための、**OSPF** ルータのコスト値を生成するアルゴリズムを実装した。アルゴリズムでは複数の目的ノード間の多次元的な要求を解決するため、線形計画法を用いて最適なコスト値を求めた。これによりポリシーによる経路選択の集中管理を実現した。

以上のように、本論文はドメイン間およびドメイン内の両ネットワークにおいてポリシーに基づく経路選択の集中的な管理手法の提案を行った。本論文は学術だけでなく、今後のネットワーク管理手法を大きく変革するための新しいアプローチとしてもその貢献度は大きいと言える。よって本論文は博士 (工学) の学位論文としてふさわしいものと認める。