

## 審査の結果の要旨

氏 名 長 橋 賢 吾

本論文は、「Global Routing Information Management for Internet System」（和訳:インターネットシステムにおけるグローバルなルーティング情報管理に関する研究）と題し、インターネットにおけるルーティングアーキテクチャを広域分散データベースシステムの視点から整理、その要求事項に基づいて BGP(Border Gateway Protocol)における経路情報の整合性を改善・向上するアーキテクチャの提案をおこなっている。本論文は、6 章から成り立っており、広域分散データベースシステムの視点からインターネットアーキテクチャおよびルーティングシステムの分析、さらにこの知見を基にしてグローバルインターネットシステムの経路制御プロトコルである BGP を分析・評価し、さらに、IRR(Internet Routing Registry)を利用したインターネットルーティングシステムにおける整合性の改善・向上を実現するアーキテクチャの提案をおこなっている。本論文の新規性としては、(1)従来のインターネットルーティングプロトコルは、個別の技術課題を比較的アド・ホックに解決してきたが、本論文で、広域分散データベースシステムの視点からインターネットルーティングプロトコル設計と改善に関するエンジニアリング的な指針を提供したこと、(2)インタードメインにおける整合性の欠如を上記の視点に基づき指摘し、その整合性を改善・向上するアーキテクチャの提案をしたこと、の 2 点に集約することができる。

第 1 章では、「Background」として、現在のインターネットアーキテクチャとして問題点を 2 点述べている。(1)現状のインターネットルーティングは、様々な問題が指摘されているが、この問題を”dirty hack”とよばれるアド・ホックな手法で解決していること、(2)インターネットアーキテクチャは、誕生してから 30 年もの年月が経過したが、30 年前と現在とは利用するコミュニティが変化したにもかかわらず、現状のルーティングとして本質的な違いはないことの 2 点を指摘している。

第 2 章では、「Analysis of Internet Architecture」として、インターネットアーキテクチャの分析をおこなっている。インターネットアーキテクチャのゴールは、transparency を提供することであり、そのアーキテクチャとしてのゴールは、基本的には、広域分散データベースシステムと同じである。ゆえに、本論文ではインターネットアーキテクチャを広域分散データベースシステムの一つであると仮定し、この仮定が正しければ、広域分散データベースシステムにおける要求事項をインターネットアーキテクチャも同様に満たすことができることを検証している。分散データベースの要求事項とは(1)location (2)duplication,(3)fragment,(4)failure transparency,(5)function に対して transparency を提供することであり、これをインターネットアーキテクチャに適用した場合、(4)の failure はルーティングプロトコルに依存するがそれ以外は満たされることを証明している。

第 3 章では、「Analysis of Internet Routing Architecture」として、failure にたいする transparency はインターネットルーティングアーキテクチャに依存することを指摘し、個別のインタ

インターネットルーティングアーキテクチャの分析をおこなっている。その分類手法として分散データベースにおける分類方法を用いている。分類手法とは、(Type)Vertical か Horizontal か、(type2)Outband か Inband か、およびそのタイプから引き出されたメトリックである (1)Scalability,(2)Redundancy,(3)Consistency,(4)Convergence である。この分類の結果、convergence, consistency, redundancy ではリンクステート方式の OSPF が、scalability では BGP が優れていることを指摘している。

第 4 章では、「Analysis of BGP」として、BGP に関する分析をおこなっている。BGP が scalability に関して優れているのは、horizontal 形式のルーティングプロトコルであるにも関わらず、scalability 面で優れているのは、その operation が Tier1 を頂点とした緩やかな vertical な方式(loose vertical) になっていると指摘している。すなわち、これによって scalability が確保されている一方、loose ゆえに root からの authorization ができないことを明らかにしている。Authorization の欠如は、権限のない AS が別の AS が所有するプレフィックスを広告することが可能であることを意味し、本論文ではその例として prefix hijacking をあげている。Authorization の欠如の本質的な原因として、インターネットにおける信頼モデルの変化を指摘している。すなわち、BGP が設計された当初はインターネットにおけるコミュニティはユーザーも管理者もすべて同じコミュニティであったがゆえに authorization をする必要性がなかった、しかし現在ではインターネットの発展にともないコミュニティも多様化し、authorization が必要になってきていることを指摘している。そして、本論文では第 3 者による prefix authorization の必要性を主張している。

第 5 章では、「Design of Prefix Authorization Architecture」として、前章で指摘した prefix authorization の要求事項の整理、およびアーキテクチャの提案をおこなっている。Prefix authorization として、(1)S-BGP,(2)NLRI-DNS,(3)IRR が現時点での候補として挙げられている。BGP と協調して動作するためには、prefix authorization もルーティングプロトコルの要求事項を満たす必要があり、その整理を本論文ではおこなっている。その結果、DNS-NLRI がもっとも優れていることを指摘しているが、deployment の観点から DNS-NLRI を普及することは困難だとして、IRR(Internet Routing Registry)を用いた prefix authorization を提案している。

第 6 章では、「Conclusion」としていままでの議論をまとめ、今後の課題について述べている。

以上のように、本論文は、(1)分散データベースの視点から、インターネットルーティングプロトコルとは、(type)Vertical/Horizontal, Inband, Outband および(Metric)Scalability, Redundancy, Consistency, Convergence という制約条件の中でデザインされていることを検証し、今後のルーティングプロトコルデザインの指標を提供したこと、(2)BGP は loose vertical なゆえに authorization ができないために consistency が欠如しており、この consistency を改善向上するアーキテクチャを提案したこと、の 2 点は従来の手法にはない手法であり、インターネットコミュニティおよび情報理工学分野に対する貢献は少なくない。

よって、本論文は、博士(情報理工学)の学位論文として合格と認められる。