

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500077

研究課題名(和文)複数リンクで構成されるサイト内のIPv6アドレス自動割当

研究課題名(英文)Automation of IPv6 Address Assignment in a Site of Multiple Links

研究代表者

大平 健司(OHIRA, KENJI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・特任助教

研究者番号：40515326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、IPv6経路制御に広く用いられているOSPFv3プロトコルをベースとした、重複のないアドレス割当方式を確立し、IPv6導入において手動での管理設定を要する項目を削減でき、IPv6の導入障壁を下げることに貢献した。

技術的な面での本研究の大きな成果は、1)ネットワーク全体で使用可能なアドレス範囲を示すためのホスト経路情報(128ビット)をどのように構成するかについての指針を与えた点、2)各ルータが重複のないIPv6アドレスを設定するためにどのような処理を行うかの指針を与えた点、3)ルータIDの重複があった場合には検出可能とするための指針を与えた点、である。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have developed an IPv6 address assignment method which is based on a popular routing protocol OSPFv3. The developed method is free from address duplication. With this method, we can reduce the amount of manual configurations of routers. This contributes to remove some barriers to introduce IPv6 to a network.

Major technical fruits of this project are 1) a layout of an IPv6 host route which shows an address space a network can use, 2) a procedure on each router in a network in order to assign IPv6 addresses without duplication and 3) a mechanism to detect if there is a duplication of router ID.

研究分野：計算機ネットワーク自動設定

キーワード：インターネット高度化 IPv6 アドレス割当 自動化

### 1. 研究開始当初の背景

IPv6 は、次世代インターネットプロトコルとされながら、2011 年 2 月 3 日に IPv4 アドレスの IANA プールが枯渇した現在もなお、十分に普及していない。その理由の一つに設定の複雑さに起因する、導入への抵抗感があったものと考えられる。

本研究では IPv6 アドレス設定の自動化により導入障壁を下げることを目的とする。IPv6 ネットワーク接続機器に IPv6 アドレスを自動的に割り当てる既存の方法として、ICMPv6 を用いた Router Advertisement による方法と、DHCPv6 による方法が挙げられる。また、リンクに割り当てるプレフィクスを管理する方法として DHCPv6-PD が存在する。しかしこれらを再帰的に適用して、複数リンクからなるネットワーク全体を全自動で設定完了させられるような方式は確立されていなかった。

研究代表者はこれまでに OSPFv3 を用いてサイト内全域に情報を広告し、受信機器が広告内容に沿って自機のネットワーク設定を自動的に変更する手法を確立した。ネットワークに接続する機材はリンクローカルアドレスのみ付与されていればこの広告を受け取れる点がこの手法の特徴である。これまでの研究ではこの広告機構を通じて送信元アドレス依存経路制御のための情報を広告していたが、この広告内容を変更することによって、複数リンクからなるネットワーク全体を全自動でグローバルアドレス設定できるのではないかという着想に至った。

本研究の学術的なポイントは、コンピュータネットワークを稼働させるための最小限の設定は何かを追究することにある。ネットワーク内の IPv6 アドレス設定は、各ネットワークインタフェースのハードウェアアドレスが先天的に割り当てられているという仮定の下、1) ネットワーク全体で利用可能なアドレス空間、2) 配布アドレス管理サーバの IPv6 アドレス、をネットワーク全体に広告することにより実現できるのではないかと予想している。広告の対象となる情報はネットワーク内の 1 箇所管理すればよい。設定不整合による通信不良の可能性を減じられる。また、リナンバリング等でネットワーク設定の変更が必要となる際にも 1 箇所の変更のみでよくなる。

本研究により IPv6 普及が進めば、IPv6 運用に関する知見が多く得られることが期待される。

### 2. 研究の目的

複数のリンクで構成されるネットワークにおいて、その全域で IPv6 を使用可能にする場合、現状では図 1 に示すように全てのルータに IPv6 アドレスを手動で設定する必要がある。

本研究では、図 2 に示すように、ネットワー

ク内の 1 箇所にのみ手動で IPv6 アドレス設定を投入すれば、その設定を元に全てのルータに自動的に反映されるような機構を構築する。

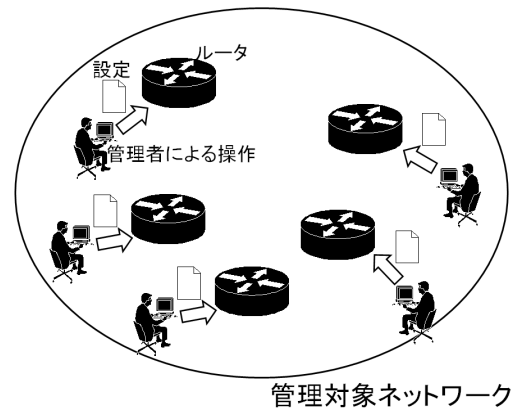


図 1 これまでの IPv6 アドレス設定

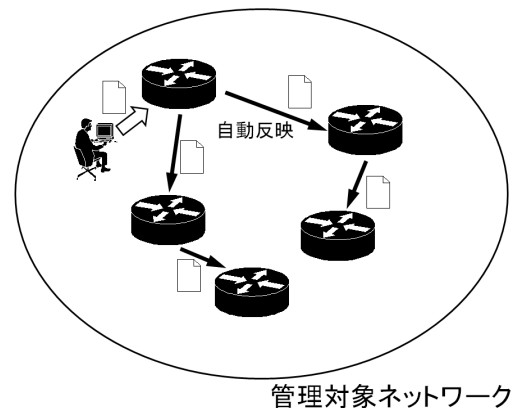


図 2 提案方式下での IPv6 アドレス設定

本研究により IPv6 ネットワーク設定における手動設定の量の最小化を目指す。

どのような設定をネットワーク内のどの機器に行えばネットワーク全域に IPv6 アドレスを配布可能かを明らかにし、その具体的な手法を確立する。

また、提案手法の 1) アドレス衝突回避性能、2) 規模拡張性、3) 耐障害性、4) 障害発生時の復旧までにかかる時間、等についてもそれらがネットワークのどのような特性(ネットワーク内のリンクの数、ルータの段数、トラフィック流量等)によるものなのかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

研究代表者はこれまでに、マルチホーミングサイトにおける送信元アドレス依存経路制御に用いるための広告機構を設計・実装した。この広告機構は OSPFv3 を基にしており、その稼働に先立ってグローバルアドレスの設定を要しない。

本提案研究では、この広告機構に対し、サイト内の各ルータに付与すべき IPv6 アドレスを通知するための改造を行い、改造後の実装によってどのようにサイト内のルータに

IPv6 アドレスが設定されていくのかを確認する。

まず、図3に示すような、ルータ（商用ルータ、PCルータ）計20台程度で構成される実験ネットワークを構築し、この実験ネットワークを用いて広告プロトコル設計・実装及び評価を行う。

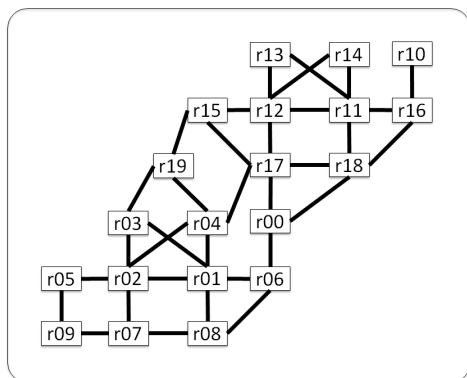


図3 実験ネットワーク

評価は、1) インターネットへ向かう上流 ISP との接続なし、2) 単一の上流 ISP との接続あり、3) 複数の上流 ISP との接続あり、のそれぞれのケースについて、サイト内のネットワーク構成を何通りかに変更し、a) サイト内全域でのアドレス配布にかかる時間の測定、b) アドレス変更の際にアドレス変更にかかる時間の測定、c) サイト内全域でアドレス配布（変更）が完了するまでの間のトラフィックの流れ方、について調査を行う。ここで、どのルータが再起動した場合においてもその再起動前と同じ IPv6 アドレスをリンクに割り当てるため、どのリンクにどのルータがどのようなプレフィクスを割り当てているのかを管理するための機構が必要となる。

この機構のための要素技術として DNS Dynamic Update のような動的な手法を用いることが挙げられる。

本提案研究では、この要素技術を用いてどのように割り当てプレフィクスを管理するか具体的な設計・実装も実施する。

#### 4. 研究成果

##### 【研究の主な成果】

平成24年度には、ルータ（商用ルータとして Cisco Catalyst 3750G 及び Cisco 1921 を用い、PCルータとして Vyatta 6.5 を用いた）計20台程度で構成される実験ネットワークを構築し、この実験ネットワークを用いて広告プロトコル設計・実装及び評価を行った。本研究で使用する広告プロトコルの設計・実装は、科研費21700073「動的ポリシールーティングを用いたユーザトラフィックの詳細かつ容易な制御」の研究課題で得られた設計・実装を一部改造することにより実現した。評価の結果、1) インターネットへ向かう上流

ISP との接続なし、2) 単一の上流 ISP との接続あり、3) 複数の上流 ISP との接続あり、の各ケースについて、a) サイト内全域でのアドレス配布にかかる時間、b) アドレス変更の際にアドレス変更にかかる時間、はいずれも実用上問題のない範囲に収まることを確認した。また、c) サイト内全域でアドレス配布（変更）が完了するまでの間のトラフィックについて、期間を限定したアドレス変換技術の導入などにより、廃止されたアドレスを送信元とするようなトラフィックへの対応が必要であることを確認した。

さらに、プレフィクス割り当てを受けているルータが再起動した場合においてその再起動前と同じ IPv6 アドレスをリンクに割り当てるための最も簡易な方法として、一度割り当てを受けたプレフィクスを各ルータ内に記録し、再起動時には記録されたプレフィクスを優先的に使用する機構を実装した。

平成25年度には、平成24年度に構築した実験ネットワークを用い、科研費21700073「動的ポリシールーティングを用いたユーザトラフィックの詳細かつ容易な制御」の成果と平成24年度中に構築したプロトコル実装を組み合わせ動作させた際の挙動を調査し、評価を行った。

これにより、複数の上流 ISP と接続し各 ISP から異なるプレフィクスを割り当てられているサイトにおいて、各 ISP から割り当てられているプレフィクスを同時にサイト内に配布し、パケットに付すプレフィクス毎に異なる上流 ISP に向かうようトラフィックを制御できていること、これら一連の動作を自動化可能であることが確認された。

ここまでの成果について、平成26年2月27日から28日の会期で実施された「電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会」（会場：山代温泉瑠璃光、石川県加賀市）に出席し、「複数リンクで構成されるサイト内における OSPFv3 を用いた IPv6 アドレス割当」と題する発表を行った。

平成25年度までに設計・構築したネットワークでは、各ルータのルータ ID は管理者により管理され衝突なく与えられるものとしていた。平成26年度は、事前に設定投入すべき項目を更に減らす試みとして、ルータ ID の値についても、衝突可能性を抑えた上で自動生成する手法の検討を行った。

これにより、 $1/56$  の IPv6 アドレス空間を  $1/64$  単位に分割することを典型例と考えた場合、ルータ数は256程度を想定すれば十分であり、ルータ ID 空間として24ビット用意しそこから各ルータのルータ ID を割り当てれば、1組以上のルータ ID 衝突が含まれる確率は約0.2%となる（ランダムな割当の場合）ことを明らかにした。また、各ルータが広告するホスト経路にルータに含まれるネットワークインタフェースの MAC アドレス（48ビット、重複しないことが仮定される）情報を含めることにより、ルータ ID の重複があった場合

に検出できることも明らかにした。  
研究期間全体を通じて、複数リンクで構成されるサイト内の IPv6 アドレス自動割当の問題について、IPv6 経路制御に広く用いられている OSPFv3 プロトコルをベースとした、重複のないアドレス割当方式を確立できた。技術的な面での本研究の大きな成果は、1) ネットワーク全体で使用可能なアドレス範囲を示すためのホスト経路情報 (128 ビット) をどのように構成するかについての指針を与えた点、2) 各ルータが重複のない IPv6 アドレスを設定するためにどのような処理を行うかの指針を与えた点、3) ルータ ID の重複があった場合には検出可能とするための指針を与えた点、である。

【国内外における位置づけ、インパクト、今後の展望等】

本研究の対象となっている問題は IETF Homenet ワーキンググループにおいて議論されている。

本研究により、IPv6 導入において手動での管理設定を要する項目を削減でき、IPv6 の導入障壁を下げることに貢献できたものと考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 1 件)

大平健司, 複数リンクで構成されるサイト内における OSPFv3 を用いた IPv6 アドレス自動割当, 電子情報通信学会, 2014 年 2 月 28 日, 山代温泉瑠璃光(石川県加賀市).

〔その他〕

ホームページ等

<http://inet-lab.naist.jp/publication/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大平 健司 (OHIRA KENJI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・特任助教

研究者番号: 40515326

##### (2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号:

##### (3) 連携研究者

江原 康生 (EBARA YASUO)

大阪大学・情報基盤本部・講師

研究者番号: 40324686

後藤 佑介 (GOTOH YUSUKE)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号: 10551038