

MobileIPv6 MIBおよびNEMO MIBを用いた ネットワーク構成情報の可視化手法

阿部 春彦^{†1} 中村 直毅^{†2} Mansfield Keeni Glenn^{†3}
菅沼 拓夫^{†1} 白鳥 則郎^{†1}

近年、ユビキタス環境の実現に向けた通信プロトコルとして、ネットワークのモビリティを提供する Network Mobility (NEMO) が標準化され、その普及が期待されている。NEMO 環境では、Mobile Node(MN) や Mobile Router(MR) の移動に伴うアドレスの変化の隠蔽と、Home Agent (HA) と MR との間のトンネルリングによるネットワーク構成の複雑化により、その構成の把握が困難となっている。そこで本稿では、ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク構成の複雑化に注目し、ネットワーク構成を正確に把握するための可視化手法を提案する。評価実験を通して、提案手法により正確にネットワーク構成情報を可視化することができることを確認し、本提案方式の有効性を示す。

Visualization Method of Network Configuration Information by Using MobileIPv6 MIB and NEMO MIB

HARUHIKO ABE,^{†1} NAOKI NAKAMURA,^{†2} M. K. GLENN,^{†3}
TAKUO SUGANUMA^{†1} and NORIO SHIRATORI^{†1}

In recent years, the Network Mobility (NEMO) protocol that provide the mobility of the network is standardized as a communication protocol suitable for ubiquitous environment, and its wide spread deployment is expected. In the NEMO protocol, to achieve seamless communication, because the movement of Mobile Router (MR) is not recognized from surroundings, the grasp of network configuration becomes difficult. Also, to achieve the mobility of the network, because tunnel is established between a number of MR with the Home Agent (HA), the network configuration is complicated and the grasp it becomes difficult. In this paper, we pay attention to the complication of the network configuration in NEMO environment, and examine the visualization method of network configuration to understand it more accurately.

1. はじめに

近年、インターネットの発展に伴い、コンピュータネットワークは重要な社会インフラとなっている。安定したコンピュータネットワークを運用するためには、ネットワークの構成を正確に把握することが重要となる。しかしながら、ネットワークの大規模化・複雑化に加え、VLAN の普及によりネットワークの論理的構成と物理的構成の差異が生じてきているため、その把握が困難になってきている。

ネットワーク構成の把握を容易にするため、ネットワークの可視化手法が提案されている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。これらの手法は、SNMP¹⁾、および ICMP²⁾ を用いてネットワークの構成情報を自動的に取得し、取得した情報を用いてネットワーク構成を可視化することで、管理者は視覚的に論理的および物理的なネットワークの構成を把握することが可能となる。

また近年、ネットワークモビリティ環境を実現するための基礎技術として、Mobile IPv6 (MIPv6)³⁾、および Network Mobility (NEMO)⁴⁾ が注目されている。ネットワークモビリティ環境とは、管理領域の異なる複数の無線ネットワークを IP モビリティを持つノードおよびネットワークが移動する際に、シームレスな通信を可能とするネットワーク環境である。

しかしながら、ノードの移動によりネットワークの構成が頻繁に変化するネットワークモビリティ環境において、従来のネットワーク構成の可視化手法を適用すると、ネットワーク構成情報を頻繁かつ大量に情報を取得することが必要となるため、通信帯域が圧迫されることが懸念される。また、MR や MN の移動を通信相手や周囲に隠蔽する通信方式であるため、従来の可視化手法では情報を取得することが困難となっている。加えて、複数のトンネルを用いることでシームレスな通信を実現する方式であるため、トンネルリングによりネットワーク構成が複雑化している場合にも適応することが可能な可視化手法が必要となる。

そこで本稿では、ネットワークモビリティ環境における取得すべき情報の複雑化とトンネルリングによるネットワーク構成の構成の複雑化の問題を解決するため、ネットワークモビリ

^{†1} 東北大学 電気通信研究所/大学院情報科学研究科

Research Institute of Electrical Communication/Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

^{†2} 東北大学 医学系研究科

Tohoku University School of medicine

^{†3} (株) サイバー・ソリューションズ

Cyber Solutions Inc.

ティ環境に適応したネットワーク構成の可視化手法を提案する。

本稿の構成は以下の通りである。2章では、ネットワークモビリティ環境の概要と、既存のネットワーク構成の可視化手法について述べ、ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク構成の可視化における課題について考察する。3章では、提案するネットワークモビリティ環境におけるネットワーク構成の取得方式について述べ、4章では、提案手法の実装とその評価について述べる。最後に5章で結論を述べる。

2. 既存研究

2.1 ネットワークモビリティ環境の概要

ネットワークモビリティ環境とは、IPモビリティを持つノードにより構成されるネットワーク環境である。ネットワークモビリティ環境を実現するための基礎技術として、Mobile IPv6 (MIPv6)³⁾、および Network Mobility (NEMO)⁴⁾ が注目されている。これらの方式は、管理領域の異なるネットワーク間を移動するノードである Mobile Node (MN) に対して、MN がネットワーク間を移動しても同じセッションを維持できる移動透過性と、MN の現在位置に関わらず通信相手が常に一定のアドレスで MN にアクセス可能となる常時発呼可能性を保証することで IP モビリティを提供する。この2つのプロトコルの違いは、IP モビリティを提供する対象である。MIPv6 は各ノード、NEMO はネットワークに IP モビリティを付与することで、そのネットワークに属するノードに対してシームレスな通信を実現する。

図1にネットワークモビリティ環境におけるノード間の通信の仕組みを示す。MN は、そのノードが属するネットワークである Home Network (HN) で付与される永続的な Home Address (HoA) と、移動先のネットワークである Foreign Network (FN) で一時的に付与される Care of Address (CoA) を持つ。HoA は MN に固有であり、実際に接続しているネットワークに依存しない。これら2つのアドレスの対応関係は HA で管理しており、MN の通信は常に HA を経由して行うことで、MN の移動により発生する CoA の変更を隠蔽し、IP モビリティを実現する。

2.2 既存のネットワークポロジの取得方式

ネットワーク構成の可視化手法は、一般的に (i) ネットワーク構成情報の取得、(ii) ネットワーク構成情報の識別、(iii) ネットワーク構成の可視化の三つに分類される。(i) では、ネットワークを構成する機器類(ノード、スイッチ、ルータ等)から、ネットワーク構成情報を自動的に取得する。次に、(i) においては、取得した情報からネットワークの論理的、およ

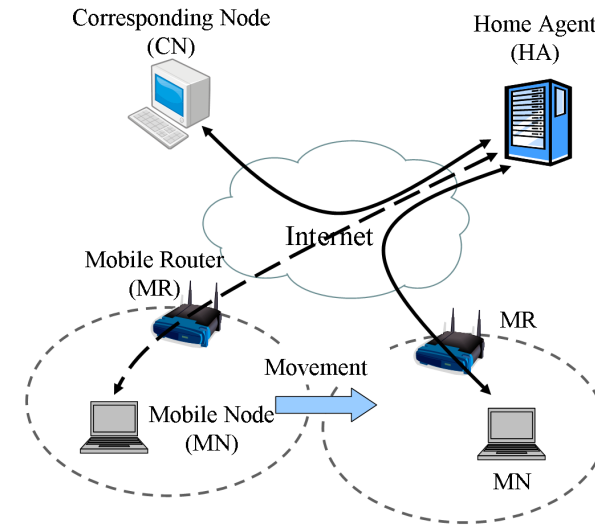


図1 ネットワークモビリティ環境におけるノード間の通信の仕組み

び物理的な構成を識別する。最後に、(ii) で得られるネットワークの構成を可視化し表示する。これにより、管理者は視覚的に論理的、および物理的なネットワークの構成を把握することが可能となる。

従来の IPv4 ネットワークにおけるネットワーク構成の可視化手法として、文献⁵⁾では、既存のネットワークのアドレス空間の全アドレスから情報の取得を試みることによって、対象のネットワークに存在するすべてのノードの情報を取得している。しかし、この手法では、対象となるネットワークのアドレス空間のすべてのアドレスから情報の取得を試みるため、アドレス空間の広い IPv6 ネットワークに適用することは困難である。この問題点に対して、文献⁶⁾では、各リンク上に Local Agent を配置し、各 Agent がそれぞれのリンク上の情報を収集、それを管理者が収集することで、管理対象のネットワーク全体のネットワーク構成の把握を効率的に行っている。また、文献⁷⁾では、IPv4、IPv6 それぞれのネットワークについて、既知のルータに隣接するルータとホストの位置を、SNMP を用いて各ルータの持つルーティングテーブルから情報を取得する。さらに、この操作を再帰的に行うことでネットワーク全体の構成を把握している。

2.3 ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク構成の可視化に関する課題

ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク構成情報を取得するため、以下の三つの課題が挙げられる。

1. HA からの透過的なパケットの転送

ネットワークモビリティ環境では、MR や MN へ HA がパケットを転送する際、Home Network の Network Prefix が割り当てられた Home Address 宛に通信相手から送信されたパケットを、HA が中継することによりノードやルータの移動性を確保している。この際、通信相手や経路上のルータは MN や MR が移動したことを意識せずに通信できるように設計されており、MN や MR、そして MR の配下のモバイルネットワーク宛のパケットは HA によって転送される。そのため、HA はルータと同様の動作をするにも関わらず、隣接したルータはその情報を持っていない。そのため、従来の⁷⁾のようなルーティングテーブルの情報のみでは、移動ルータの存在やその位置を確認することはできないため、HA のパケットの転送処理が考慮されたネットワーク構成情報の取得手法が必要である。

2. トンネリングによるネットワーク構成の複雑化

HA では、MR へパケットを転送する際、MR との間にトンネルを構成して、透過的にパケットを転送する。このトンネルによって、複数のルータを経由する場合にも、論理的には一本のリンクとなっている。図 2 にトンネルによる経路の複雑化の例を示す。HA1 と MR1 の間の経路が一本のリンクとしてみなされるため、中間の HA2 や MR2 などで通信障害が発生した場合、障害箇所を特定することは困難である。したがって、トンネルによって構成される論理的なリンクだけでなく、物理的な通信路を正確に把握することは重要である。

3. 効率的なネットワーク構成情報の取得

ネットワークモビリティ環境では、MR や MN の移動によってネットワーク構成が頻繁に変化する。常に最新のネットワーク構成を維持するには、ネットワークの構成情報を頻繁に取得することが必要であるため、通信帯域が圧迫されることが懸念される。また、MR の下に複数の MR や MN が接続されている場合、この MR や MN の通信は、すべて接続先の MR を通る。図 3 に MR へのトラフィックの集中の例を示す。この時、MR1 以下のすべての MR と MN のトラフィックがすべて MR1 を通るため、MR1 の上流のリンクの通信帯域が圧迫されることが懸念される。したがって、通信帯域などのリソースを圧迫せずに、情報を取得するための手法の確立が必要である。

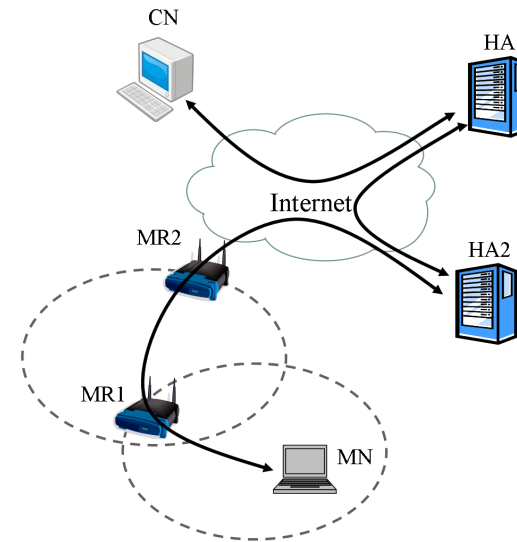


図 2 トンネルによる経路の複雑化

3. ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク可視化方式の提案

3.1 MIPv6-MIB/NEMO-MIB

ネットワークモビリティ環境では、MR や MN が頻繁に移動する。そのため、ネットワークの構成を正確に把握するためには、ネットワークやノードの位置情報の収集が必要となる。しかしながら、従来の MIB-II における sysLocation では、固定の位置情報の提供を想定しているため、ネットワークモビリティ環境に特化した位置情報を取得することが出来ない。そこで我々は、ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク管理を効率的かつ容易にするための技術として、MobileIPv6-MIB⁸⁾ と NEMO-MIB⁹⁾ を提案した。

MN や MR の接続先が変更になった場合、HoA は変化しないため、通信に用いているアドレスを監視するだけでは MN や MR の移動を検出することができない。そこで、MN や MR の移動の検出を可能するため、SNMP を用いて接続先毎に変化する CoA を取得する mip6MnBLTable を与えている。

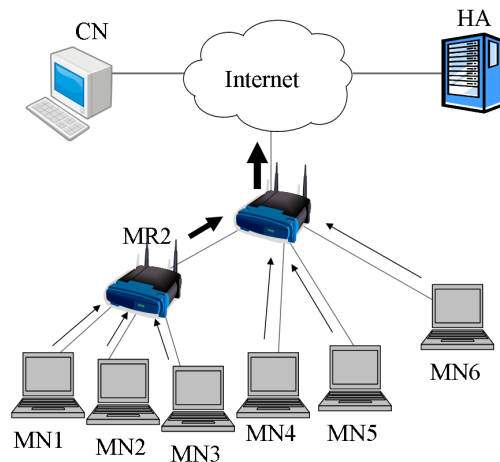


図 3 MR へのトラフィックの集中

CoA を監視することにより、MN や MR 単体の移動を検出することができるが、自身の接続しているネットワーク全体が移動した場合には、CoA は変化しないため、ネットワーク全体の移動を検出することは出来ない。この場合には、対象としているノードがどの MR の配下に接続しているかの把握が必要である。そこで、HA より管理下のどの MR がどの Network Prefix を持っているかの情報を取得出来るように `nemoHaMobileNetworkPrefixTable` を与え、これにより、対象ノードの接続先の MR の特定することが可能である。したがって、CoA が変化しない場合でも、接続先の MR の移動などの検出できるとともに、対象ノードの移動を検出することができる。

また、ネットワーク構成を把握するためには、対象ノードの位置のみを把握するのではなく、隣接したノードの情報を取得することが必要となる。その際、隣接するノードの種類に応じて、取得することが可能な情報も異なる。そこで、対象ノードが NEMO や MIPv6 に対応しているかに関する情報を取得するため、`nemoStatus`, `mip6Status` を与え、これによりノードの種類に関する情報を取得することができる。また、NEMO や MIPv6 に対応しているかどうかを識別するため、`nemoCapabilities`, `mip6Capabilities` という管理オブジェ

クトを与えている。

上記以外にも、トラフィック量に関するオブジェクトなど、複数の管理オブジェクトを与え、ネットワークモビリティ環境における円滑な運用管理を支援するための統計情報の取得するための定義も与えている。

3.2 提案手法の概要

本稿では、上記の HA からの透過的なパケット転送と、HA・MR 間に形成されるトンネルによってネットワーク構成が複雑化する点に焦点をあて、トンネルを形成する物理的な通信経路の可視化方式を提案する。

本手法は、ルーティングテーブルのみでは特定できない移動ノード・ルータの位置を、HA を基準にして SNMP, ICMP を用いて特定する。また、CoA と Network Prefix の関係から、トンネルを張っている MR の直接の接続先を導出する。

最初にネットワーク構成の情報として、トンネルによる論理的なリンクとそれ以外の物理的なリンクにより表されるネットワーク構成 (論理的ネットワーク構成と呼ぶ) の情報を SNMP と ICMP を用いて取得する。次に、HA と MR から取得できるネットワークモビリティ環境特有の情報と論理的ネットワーク構成の情報を組み合わせ、ノードとノードの物理的な接続情報を表す物理的ネットワーク構成を取得する。さらに、取得した論理的・物理的ネットワーク構成の情報と、HA から取得される HA と MR 間のトンネルの情報を組み合わせ、トンネルに対応する論理的なリンクの物理的な通信経路を取得する。最後に、図 4 に示されたトンネルに対応する物理的な通信路を可視化する。

また、本稿では以下の前提条件の下でネットワーク構成情報を取得する。

- 管理対象全てのノードでは、MobileIPv6, NEMO-MIB が実装されており、SNMP による情報の取得が可能である。
- SNMP による情報の取得できない管理外のノードが存在する。
- 管理対象のネットワークに存在する HA のアドレスが既知とする。
- 管理対象ネットワークの固定部分の構成は既知とする。

3.3 論理的ネットワーク構成の取得

論理的ネットワーク構成の取得するため、管理対象ネットワークに存在する HA から、HA に登録されている MR と MN の情報を取得する。これにより、管理下にある全 MR, MN のアドレスと、MR の持つ Mobile Network Prefix の情報を取得する。続いて、登録されている MR から配下のノードの位置情報を取得し、その配下のノードに対しても配下のノードの位置情報を再帰的に取得することで、対象とする MR 以下のネットワーク全体の構成

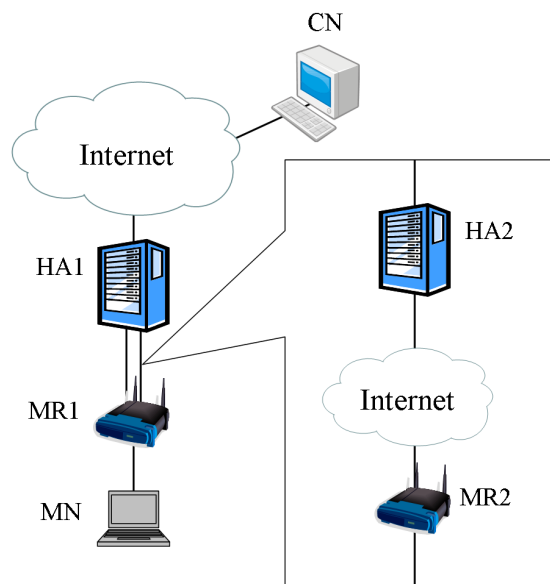


図 4 トンネルに対する物理的な通信路の可視化

を取得する。本手法では、HA に登録されているすべての MR から、位置情報を再帰的に取得し、MR の配下に形成される論理的なネットワーク構成の情報をすべて取得する。最後に、取得した各 MR の持つ位置情報を組み合わせることにより、管理下にあるネットワーク全体のネットワーク構成を取得する。論理的ネットワーク構成を取得するフローチャートを図 5 に示す。

既知の HA と、HA に登録された MR の配下に構成される論理的ネットワークの構成の情報は、下記の手順 1 から 13 により取得する。

1. 既知の HA から登録されている MR と MN に関する情報 (mip6BindingCOA, nemoBindingMrFlag, nemoHaMobileNetworkPrefix, nemoHaMobileNetworkPrefixLength) を SNMP を用いて取得する。
2. HA に登録されているある MR を情報取得対象ノード (以後対象ノード) とする。
3. 対象ノードから mip6MnHomeAddressTable の mip6MnHomeAddress を SNMP により取得することで、対象ノードの HoA を取得する。

4. 対象ノードの HoA 宛に traceroute を行い、対象ノードへの論理的な通信経路の情報を取得する。
5. 対象ノードの Network Prefix 部が取得した MNP である Interface が Ingress Interface であることに着目し、ipv6AddrTable の ipv6AddrAddress を SNMP により取得することで Ingress Interface の Index を取得する。
6. その他の Egress Interface や Tunneling Interface に関する情報 (nemoMrActiveEgressIfIndex, nemoMrEstablishedHomeTunnelIfIndex, IfDescr) を SNMP を用いて取得する。
7. ipv6RouteTable の ipv6RouteIfIndex を SNMP を用いて取得することで、Ingress Interface の近隣ノードのアドレスのリストを取得する。
8. 対象ノードをリスト内のノードに変更する。
9. 対象ノードから nemoStatus を SNMP により取得し、対象ノードにて NEMO が機能しているか否かを確認する。
10. 9. において NEMO が機能していた場合は、対象ノードから nemoCapabilities を SNMP により取得し、対象ノードが MR であるか否かを確認する。
11. 10. において、MR である場合は 3. へ戻る。
- 10'. 9. において、NEMO が機能していない場合は、対象ノードから mip6Status を SNMP により取得し、対象ノードで MIPv6 が機能しているか否かを確認する。
- 11'. 10' において、MIPv6 が機能している場合は、対象ノードから mip6Capabilities を SNMP によって取得し、対象ノードが MN であるか否かを確認する。
12. 11' において、MN である場合は、mip6MnHomeAddressTable の mip6MnHomeAddress を SNMP により MN の HoA 取得し、対象ノードをリスト内の次のノードに変更して 8. に戻る。
13. 12' において、MN, MR 以外のノードであった場合は、固定ノードとみなし、リスト内の次のノードに対象ノードを変更して 8. に戻る。
14. 2. において対象とした MR の配下の全ネットワーク構成が明らかになったら、1. で取得した
以上の手順により、論理的ネットワーク構成の取得することができる。また、次で述べる物理的ネットワーク構成の取得に備え、この手順で取得した MNP と MR の対応関係を保持しておく。

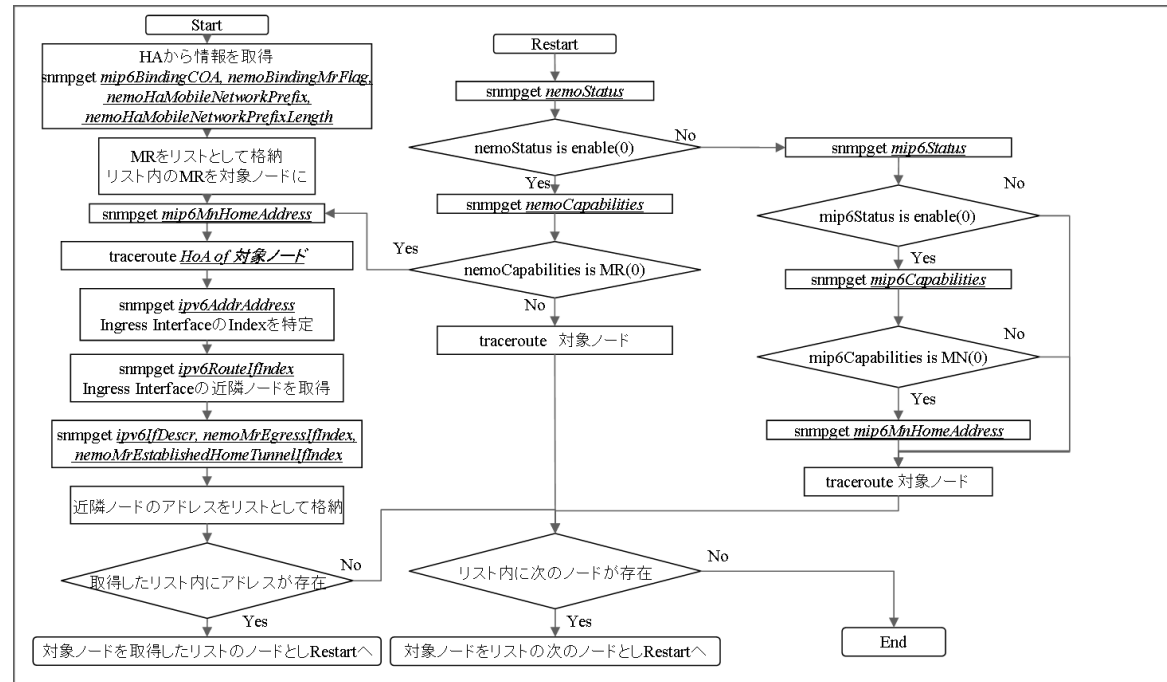


図 5 論理構成取得のフローチャート

3.4 物理的ネットワーク構成の取得

物理的なネットワーク構成は以下の手順により取得する。

1. 論理的ネットワーク構成にて把握しているある MR を情報取得対象ノード (以後対象ノード) とする。
2. 対象ノードの CoA のネットワークの Prefix 部分と取得済みの MNP を比較する。
3. 対象ノードの CoA のネットワークの Prefix 部分と MNP が一致した場合、一致した MNP を持つ MR の下に対象ノードが接続していることが分かる。対象ノードの CoA の Prefix と既知の固定のネットワークの Network Prefix が一致した場合、既知のルータに接続していることが分かる。いずれの Network Prefix とも一致しなかった場合、接続先は管理外のネットワークであることが分かる。
4. 対象ノードと上流との接続関係を保存し、まだ上流との接続を確認していない MR を

対象ノードとし、手順 2. に戻る。

以上の手順により、全 MR が物理的にどのノードの下に接続されているかの情報を取得できるため、ネットワーク全体の物理的な構成を把握することが可能である。

3.5 トンネルに対応する物理的な通信路の可視化

トンネルに対応する物理的な通信路は、以下の手順 1 から 3 により取得する。

1. 可視化の対象のトンネルを形成する MR を対象ノードとする。
2. 物理的ネットワーク構成から、対象ノードの上流のノードを取得する。
3. 上流のノードが MR であれば、通信路が上流の MR とその HA とそれらをつなぐトンネルによって構成されているものとし、対象ノードを上流の MR として手順 2. へ戻り、トンネルに対応する通信路を再帰的に取得する。
- 3' 上流のノードが MR でない場合、物理的ネットワーク構成における対象 MR と HA 間

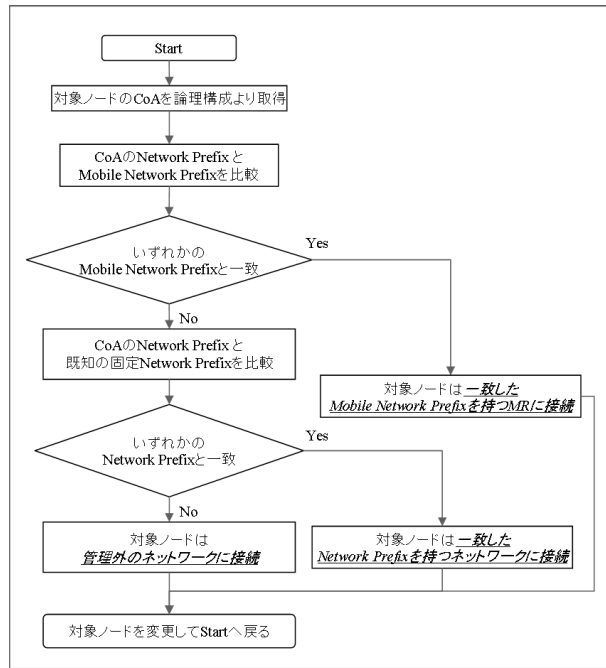


図 6 物理構成取得のフローチャート

のネットワーク構成をそのまま通信路とする。

以上の手順により、トンネルに対応した物理的な通信路の情報を取得することができ、図 4 に示すようなトンネル内のネットワーク構成を可視化することが可能である。

4. 実装・評価

4.1 実 装

提案手法により、トンネル内のネットワーク構成を正しく可視化することができることを確認するため、FreeBSD の SHISA 上にプロトタイプシステムを実装した。

最初に MobileIPv6-MIB/NEMO-MIB で与えられる情報を取得する SNMP Agent を net-snmp 上に実装する。さらに、ネットワーク構成情報の可視化手法を実装する。最後に、取得したネットワーク構成情報を用いて、論理的ネットワーク構成図とトンネルリンクの通

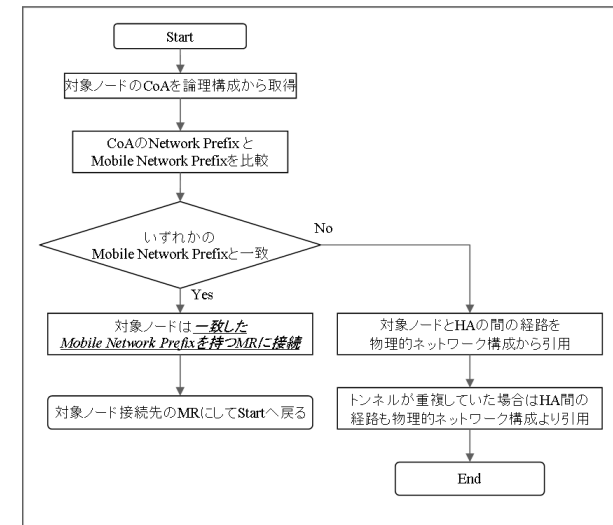


図 7 トンネルの構成取得のフローチャート

信路の構成図を作成する。

4.2 実験・評価

提案手法により構成したネットワーク構成情報が正確に取得できているかどうかを確認するため、実環境における評価実験を行った。

最初に、研究室の IPv6 ネットワーク上に、HA1 台、MR2 台、MN1 台からなる小規模な NEMO ネットワークを構築した。次に、構築した NEMO ネットワーク環境において、提案手法を適用し、ネットワーク構成情報を取得した。最後に、取得したネットワーク構成情報をもとにネットワーク地図を自動で生成した。生成されたネットワーク構成図を図 8 に、各トンネルリンクの物理的な通信経路の構成を図 9 に示す。

生成されたネットワーク構成と提案方式によって生成されたネットワーク構成図およびトンネルリンクの構成図を比較すると、実環境のネットワーク構成と一致していることを確認した。これより提案手法によって、ネットワークモビリティ環境におけるネットワーク構成図を正確に構成することができることを確認し、本提案方式の有効性を示した。

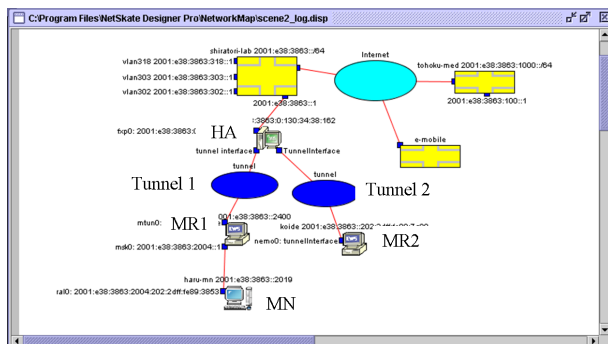


図 8 ネットワーク構成図

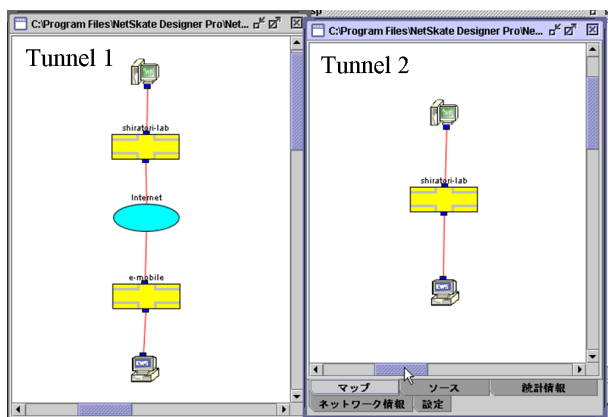


図 9 トンネルリンクの構成図 左: Tunnel1, 右: Tunnel2

5. ま と め

近年のコピキタス環境の実現への期待の高まりから、ノードやネットワークの移動性を提供する NEMO の実現が期待されている。ネットワークモビリティ環境では、HA が MR や MN へ透過的にパケットを転送することから、ルーティングテーブルによる通信経路の特定が困難となっている。また複数のトンネルを用いてノード間の通信が実現されることから、トンネルによるネットワーク構成の複雑化に伴って、ネットワーク構成を正確に把握するた

めの仕組みが必要となっている。

そこで本稿では、我々が今まで提案してきた MobileIPv6-MIB, MEMO-MIB を用いて、SNMP や ICMP などといった標準規格に基づいて構成情報を取得することによって、モバイルネットワーク環境におけるネットワーク構成の可視化を実現する手法を提案した。

今後は、提案手法の有用性を確認するため提案手法の更なる評価を行っていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は、総務省 SCOPE プロジェクト (071502003) および科学研究費補助金 (19200005) の援助を受けて実施した。

参 考 文 献

- 1) J.D. Case, M. Fedor, M.L. Schoffstall, J.Davin, "Simple Network Management Protocol (SNMP)", RFC1157
- 2) J. Postel, "Internet Control Message Protocol", RFC792
- 3) D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC3775, 2004.
- 4) V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert, "Network Mobility(NEMO) Basic Support Protocol", RFC3963, 2005.
- 5) H-C Lin, S-C Lai, P-W,Chen, "Automatic topology discovery of IP networks", IEICE Trans. Inf. & Syst. vol.E83-D, January 2000
- 6) I. Astic and O. Festor, "A Hierarchical Topology Discovery Service for IPv6 Networks", Network Operations and Management Symposium, 15-19 April 2002, pp.497-510
- 7) I-P Hsieh, S-J Kao, "Topology Discovery for Coexisting IPv6 and IPv4 Networks", Computer and Information Science, 2006. ICIS-COM SAR 2006. 5th IEEE/ICIS International Conference on, pp. 89-95, 2006.
- 8) G. Keeni, K. Koide, K. Nagami and S. Gundavelli, "Mobile IPv6 Management Information Base", RFC4295, 2009.
- 9) S. Gundavelli, G. Keeni, K. Koide and K. Nagami, "Network Mobility(NEMO) Management Information Base", RFC5488, 2009.