

NTMobileにおける端末移動後を考慮した リレーサーバ選択手法の提案

三宅 佑佳¹ 鈴木 秀和¹ 内藤 克浩² 渡邊 晃¹

概要：移動通信端末の普及や無線通信技術の発展により，ネットワーク環境によらず自由に通信できる通信接続性と，通信中にネットワークを切り替えても通信を継続できる移動透過性が求められている．通信接続性と移動透過性を同時に実現する技術として，我々は NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案している．NTMobile では基本的に端末間で直接通信を行うが，相手通信端末が一般サーバであるなど，直接通信ができない場合は RS (Relay Server) を経由した通信を行う．しかし，RS を経由する場合，直接通信を行う場合と比べて通信経路が冗長になる．本論文では NTMobile において最適な RS を選択し，通信経路の冗長を抑制する手法を提案する．Linux 上で提案方式のプロトタイプを実装し，仮想環境上で動作検証を行った．また，提案方式の性能評価を行い，RS 選択にかかるオーバーヘッドは無視できる程度であることを確認した．

Proposal of Selection Method of Relay Server Considering Node Movement in NTMobile

YUKA MIYAKE¹ HIDEKAZU SUZUKI¹ KATSUHIRO NAITO² AKIRA WATANABE¹

1. はじめに

スマートフォンのような移動通信端末の普及や無線通信技術の発展により，ネットワーク利用の需要が急激に増加している．それに伴い，ネットワークにおける高トラフィックを回避するため，複数の無線回線にトラフィックを分散させたいという要望，更に，ネットワークを切り替えても通信を継続したいという要求が高まっている．

IP ネットワークでは，通信端末に割り当てられた IP アドレスが各端末の通信識別子となっている．通信端末の移動によりネットワークが切り替わると IP アドレスが変化するため，通信を継続することができない．そのため，ネットワークを切り替えても通信を継続できる移動透過性の実現が要求されている．また，現在の主流である IPv4 ネットワークでは，グローバルアドレスの枯渇に対応する

ため，NAT (Network Address Translation) が導入されている．しかし，NAT を用いたネットワーク構成は，グローバルネットワーク側から NAT 配下のプライベートネットワークに対して通信を開始できないため (NAT 越え問題)，通信端末の双方向通信を妨げる要因となっている．一方，長期的な解決策となる IPv6 は IPv4 との互換性が無いため，普及が滞っている．このような背景から，今後も長らく IPv4 ネットワークが利用されることが想定されるため，本稿では IPv4 ネットワークを中心に記述する．

IPv4 における移動透過性を実現する技術として，MIPv4 (Mobile IPv4) [1] が標準化されている．MIPv4 は NAT 環境でも利用できるよう仕様が拡大されている [2]．これらの技術は，アドレス管理機能とパケット中継機能を兼ねる通信中継装置 HA (Home Agent) を用いて通信を行い，NAT 越えや一般サーバとの通信も実現する．しかし，MIPv4 は HA の位置が固定化されるため，通信経路が冗長になる可能性がある．

我々は，通信接続性と移動透過性を実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案している [3-6]．

¹ 名城大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

² 愛知工業大学 情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

NTMobile は基本的に端末間でエンドツーエンドの直接通信を行うが、通信相手端末が一般サーバの場合等、直接通信を行うことができない環境下においてはパケット中継の役割を担う RS (Relay Server) を経由した通信となる。RS はグローバルネットワーク上に分散配置が可能であり、複数の RS から通信に使用する RS を自由に選択することができる。そこで、本論文では通信端末と RS との間のルータ経由数を調査し、最適な RS を選択することによって通信経路の冗長を抑制する手法を提案する。また、提案手法のプロトタイプを実装し、動作検証、及び性能評価を行う。

以後、2 章では既存技術について、3 章では NTMobile について述べる。4 章では提案する RS の選択手法について説明し、5 章では提案手法の実装と動作検証の結果、性能評価を示し、最後に 6 章でまとめる。

2. Mobile IPv4

2.1 Mobile IPv4 の概要

MIPv4 [1] は、IPv4 ネットワークを対象とした移動透過技術である。MIPv4 では、移動により変化しないアドレス HoA (Home Address) と、位置識別子として移動先ネットワークで割り当てられる CoA (Care of Address) の 2 種類のアドレスを持つ。アプリケーションが HoA を用いて通信を行うことにより、端末が移動した際に CoA の変化を隠蔽し、移動透過性が実現されている。

通信相手端末 CN (Correspondent Node) は MN の位置に関わらず、MN の HoA を宛先にして通信を行う。MN は異なるネットワークに移動すると、移動先のネットワークで CoA を取得し、HA に HoA と CoA を対応付けて登録する。HA はホームネットワークにおいて、MN の HoA 宛てに送信されたパケットを受信すると、MN が移動した先のネットワークに送信する。このとき、パケット内の宛先アドレスが HoA であり、移動先のネットワークアドレスと異なるため、MN と HA との間にトンネルを構築してパケットのカプセル化を行う必要がある。MN は HoA 宛てのパケットを受信すると、送信元を HoA とした CN 宛てのパケットを送信する。

このとき、MN から CN までの経路上のルータがインGRESS フィルタリングを行っている場合、送信元 IP アドレスを偽造しているものと判断され、パケットが破棄される恐れがある。そのため、MN から CN 宛のパケットも HA を経由する Reverse Tunneling [7] という方法も定義されている。

MIPv4 は NAT 越えを実現するために仕様が拡張されている [2]。図 1 に NAT 越えを実現した Mobile IPv4 を示す。MN が NAT 配下のネットワークに移動すると、MN と HA の間でトンネルを構築することで NAT 越えが実現される。すなわち、NAT 環境では Reverse Tunneling が必ず適用される。更に、MN は立ち上げ時に HA を動的に選

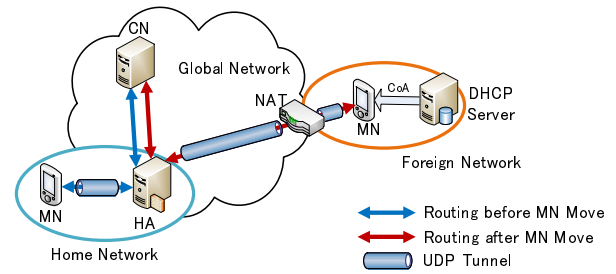


図 1 NAT 越えを実現した Mobile IPv4

択ができるよう拡張されている [8]。

2.2 Mobile IPv4 の課題

MIPv4 では、HA を常に経由した通信になるため、通信経路が冗長になり、スループットの低下やネットワーク負荷の増大が懸念される。MN が起動時に HA を選択することができるが、その後は変更できないため、MN が移動した際に通信経路冗長化が懸念される。また、Reverse Tunneling により、MN と CN の通信は必ず HA を経由するため、冗長な通信経路となる。HA の設置場所は必ずグローバル上に設置されるため、MN ごとに HoA としてグローバルアドレスが必要になる。これは、IPv4 アドレス枯渇問題に逆行する致命的な課題である。

3. NTMobile

3.1 NTMobile の概要

NTMobile は、仮想 IP アドレスに基づいた通信をアプリケーションが行うことにより、移動透過性を実現する技術である [5]。仮想 IP アドレスは、端末の移動により変化せず、実ネットワークに依存しないアドレスである。そのため、通信中の端末が移動した場合でも、IP アドレスの変化を通信相手端末 CN やアプリケーションに対して隠蔽し、通信を継続することができる。

図 2 に NTMobile のネットワーク構成を示す。NTMobile は NTMobile を実装した NTM 端末、通信中継装置 RS、NTM 端末や RS のアドレス情報を管理する DC (Direction Coordinator) によって構成される。DC は、NTM 端末に対して仮想 IP アドレスを割り当てる役割を持つほか、通信時に利用する RS を必要に応じて自由に選択し、NTM 端末と RS にトンネル構築の指示を行う役割を担う。DC 及び RS は、グローバルネットワーク上に自由に分散配置することが可能である。また、RS は中継装置として独立しており、適切な RS を選択することができる。

NTM 端末は、起動時に自身の実 IP アドレス等のアドレス情報を DC に対して登録する。その際、NTM 端末は DC から仮想 IP アドレスを割り当てられ、NTM 端末は仮想 IP アドレスを端末識別子として利用する。また、NTM 端末の実 IP アドレスは位置識別子としてパケットのルー

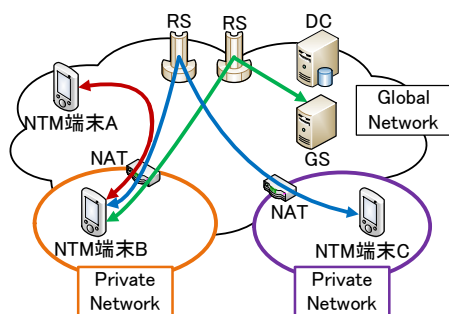


図 2 NTMobile のネットワーク構成

ティングに利用され、全ての packets は実 IP アドレスによってカプセル化される。NTM 端末のアプリケーションは割り当てられた仮想 IP アドレスを自身の IP アドレスと認識して通信を行う。

3.2 RS の役割

NTMobile では、基本的に NTM 端末間で直接通信を行うが、直接通信ができない場合は RS を経由した通信となる。直接通信できない通信環境は、NAT 配下に存在する NTM 端末同士の通信の場合、NTM 端末と NTMobile を実装していない一般サーバ GS (General Server) との通信の場合、更に、IPv4/IPv6 混在環境での相互通信の場合である。RS が通信を中継することによって、端末間で直接通信ができない環境下でも接続性を保障することができる。また、NAT 配下の NTM 端末同士の通信においては、自律的経路最適化を適用することによって、MN と CN の間で直接トンネルを構築して通信を行うことができる場合がある [9]。ただし、MN 側と CN 側の両 NAT が Symmetric NAT であると、経路最適化が適用されないため、RS を経由した通信となる。

3.3 NTMobile の動作

3.3.1 NTM 端末のアドレス情報登録処理

NTM 端末は起動時とネットワーク切り替え時に、DC に対してアドレス情報の登録を行う。NTM 端末は、NTM 端末の実 IP アドレスや FQDN 等の情報を載せた NTM Registration Request を DC に対して送信する。DC は NTM Registration Request を受信すると、NTM 端末の FQDN から NTM 端末が一意に決まる Node ID を生成する。また、DC のデータベースに受信した NTM 端末の端末情報を登録し、NTM 端末に仮想 IP アドレスを割り当てる。そして、DC は NTM 端末に対して仮想 IP アドレス等を記載した NTM Registration Response を返信する。

3.4 NTM 端末と一般サーバの通信におけるトンネル構築処理

GS は通信相手を RS として認識する, NTM 端末の移動

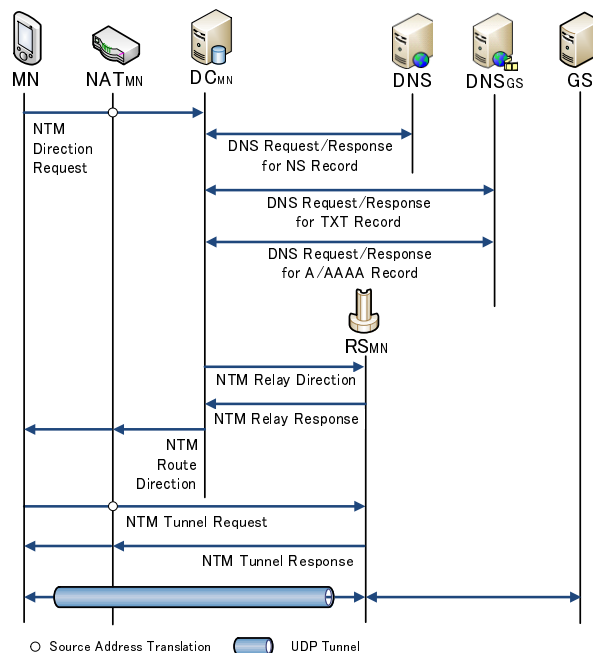


図 3 NTM 端末と一般サーバとの通信シーケンス

透過性を確保するため、GS との通信を中継する RS がパケットのカプセル化・デカプセル化、及び仮想 IP アドレスと実 IP アドレスのアドレス変換を行う。

図 3 に MN から GS に対して通信を開始する際のトンネル構築シーケンスを示す [6]. まず, MN は DCMN に対して GS の名前解決及びトンネル構築依頼のため, NTM Direction Request を送信する. 依頼を受けた DCMN は DNS Request / Response for NS Record により, GS の権威サーバ DNSGs のアドレスを取得する. 次に, DNSGs に対して DNS Request/Response for TXT Record の交換を行い, 通信相手端末が NTMobile の機能を持たない GS であると判断する. そして, DCMN は DNS Request / Response for A / AAAA Record により, GS のアドレス情報を取得する. DCMN は GS のアドレス情報を取得すると, その情報を記載した NTM Relay Direction を RSMN に送信し, MN との間で通信の中継を行うよう指示する. そして, RSMN は NTM Relay Response を返信する. その後, DCMN は MN に対して RSMN との間にトンネル構築するよう指示するため, NTM Route Direction を送信し, その指示を受け取った MN は RSMN に対して NTM Tunnel Request を送信し, RSMN との間においてトンネル構築を行う.

3.5 RS を経由する通信経路の課題

RSを経由する通信において、通信開始時に適切なRSが選択されない場合、NTM 端末と通信相手端末間の通信経路が冗長になる可能性がある。特に、NTM 端末とGSとの通信においては、通信中にRSを切り替えることができないため、NTM 端末の移動後を考慮せずRSを選択した

場合、更に経路が冗長になることが懸念される。

通信時に冗長な経路をとることによる課題として、パケット伝送遅延の増加、スループットの低下、更に、ネットワーク負荷の増大が挙げられる。そのため、通信時に通信経路が冗長性にならず、NTM 端末がネットワーク切り替え後についても考慮した RS を選択する手法を確立する必要がある。

4. 提案方式

NTM Mobile では中継機能が RS として分離されており、通信ごとに RS を選択することができる。また、NTM 端末同士の通信においては、通信中に経路を切り替えた際、RS も同時に切り替えることができる。そこで、通信経路の冗長化を抑制するため、経路構築時に通信経路のルータ経由数（ホップ数）が最少となるような RS 選択手法を提案する。NTM 端末同士の通信の場合、NTM 端末が起動した際、NTM 端末から RS までのホップ数調査を行う。そして、その結果を基にして NTM 端末から各 RS までのホップ数を算出し、その中から最適な RS を選択する。NTM 端末と GS との通信の場合は、通信開始時に RS と GS までのホップ数調査を行う。GS との通信の場合、NTM 端末は移動する可能性があるが、GS は移動を行わない。また、GS は RS を通信相手と認識して通信を行うため、通信中に RS を切り替えることができないという制約がある。そのため、DC は各 RS と GS 間のホップ数を比較し、ホップ数が最少となる RS を選択する。以後、NTM 端末が移動しても RS の切り替えは行わない。

4.1 RS の評価指標

RS の評価は、通信経路上のルータのホップ数とする。IPv4 ネットワークにおけるホップ数は TTL (Time to Live) を用いて調査する。TTL は IP パケットがルータを経由するごとに値が減少するため、初期値との差を算出することでホップ数を取得する。

通信経路の評価指標として、パケットの往復遅延を示す RTT (Round Trip Time) を利用する方法が考えられるが、以下の理由で採用しなかった。NTM 端末が接続するネットワークは無線環境であることが想定されるが、回線の帯域の狭いネットワークにおいては、調査用制御メッセージを多数送受信することは望ましくない。また、帯域の狭いネットワークでは RTT が比較的長く、振れ幅が大きいため、NTM 端末から RS までの RTT を正確に測定するには、多数の制御メッセージの往復が必要である。これは、ネットワークと端末にかかる負荷が増大し、NTM 端末が移動を行うほど影響が大きくなるため、RTT は評価指標として適さない。一方、ホップ数は通信経路の環境に依存する指標であるため、接続したネットワークごとに端末間で制御メッセージを 1 つずつ送信するだけでよい。

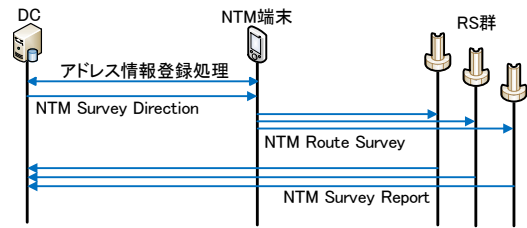


図 4 NTM 端末同士の通信におけるホップ数調査シーケンス

CAIDA (The Cooperative Association for Internet Data Analysis) [10] による RTT とホップ数の関連性の調査により、ホップ数が増加すると、それに伴い RTT も上昇する傾向があることがわかっている。従って、通信経路のホップ数を少なくすることで伝送遅延を抑え、スループットを向上させることができると考えられる。以上の理由により、ホップ数を評価指標として採用した。

4.2 ホップ数調査の方法

4.2.1 NTM 端末同士の通信におけるホップ数調査

図 4 に NTM 端末から RS までのホップ数調査のシーケンスを示す。NTM 端末は自身の起動時、もしくはネットワーク切り替え後に、DC に対してアドレス情報の登録処理を行う。DC は NTM 端末のアドレス情報登録処理を行うと、NTM 端末に対して、調査対象となる RS の IP アドレスなどを記載した NTM Survey Direction を送信し、各 RS までのホップ数調査を行うよう指示する。NTM Survey Direction を受信した NTM 端末は、各 RS に対してホップ数調査を行うためのメッセージ NTM Route Survey を送信する。NTM Route Survey には、NTM 端末を識別する Node ID、NTM 端末の TTL 初期値、更に調査指示を出した DC の IP アドレスを記載する。各 RS は NTM Route Survey を受信すると、NTM 端末の TTL 初期値、NTM 端末から RS までのルータを経由したことによる TTL の値の変化を確認し、ホップ数を算出する。RS はホップ数を算出すると、NTM Survey Report に、NTM 端末の Node ID、RS の IP アドレス、NTM 端末から RS までのホップ数を記載し、調査指示を出した DC に対してホップ数調査の結果を報告する。DC は NTM Survey Report を受信すると、NTM 端末から RS までのホップ数を Hop Table に記録する。

4.2.2 NTM 端末と一般サーバとの通信におけるホップ数調査

図 5 に RS から GS までのホップ数調査のシーケンスを示す。GS との通信開始時、DC は GS の名前解決を行うため、一般 DNS サーバとの間で名前解決処理を行う。そして、DC が GS の A/AAAA レコードを取得すると、GS と DC 管理下の全ての RS との間のホップ数調査を開始する。DC は管理下の RS に対して、GS の IP アドレスを載せた

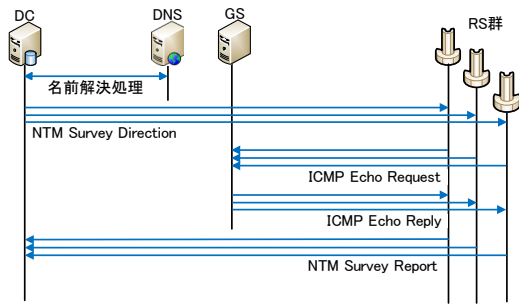


図 5 NTM 端末と一般サーバとの通信時におけるホップ数調査シーケンス

NTM Survey Direction を送信し、各 RS までのホップ数調査を行うよう指示する。NTM Survey Direction を受信した各 RS は、GS に対してそれぞれ ICMP Echo Request を送信する。各 RS は、GS から ICMP Echo Reply が返ってくると、そのパケットの IP ヘッダにある TTL の値と GS の TTL の初期値との差分をとり、ホップ数を算出する。TTL 初期値は OS (Operating System) によって異なるが、推測が可能であり、ホップ数を算出できる。その後、RS は調査指示を出した DC に対してホップ数調査報告をするため、NTM Survey Report を送信する。DC は NTM Survey Report を受信すると、NTM 端末から管理下の RS までのホップ数を Hop Table に記録する。

4.3 RS の選択

RS の選択について、NTM 端末同士の通信の場合、NTM 端末と GS との通信の場合に分けて説明する。これらの通信について、それぞれ通信経路冗長化を抑制する最適な RS の選択を行う。

図 6 に NTM 端末同士の RS を経由した通信を開始するシーケンスを示す。この場合、MN と CN は DCMN-CN 管理下の全ての RS に対して既にホップ数調査を行っており、DCMN-CN の Hop Table に図 6 のような調査結果が登録されている。

DCMN-CN は MN より NTM Direction Request を受け取ると、DCMN-CN の Hop Table の中から最少ホップ数となる最適な RS を選択する。DCMN-CN は Hop Table において、MN から各 RS までのホップ数、及び CN から各 RS までのホップ数の情報を、MN や CN の Node ID、RS の IP アドレスをキーとして検索する。そして、MN から各 RS までのホップ数と CN から各 RS までのホップ数を合算し、総経路ホップ数を算出する。図 6 では DCMN-CN は算出した各総経路ホップ数の中から、ホップ数が最少の 25 となる RSx を選択し、トンネル構築までの経路指示手順を実施する。

図 7 に MN と GS との通信時における RS 選択のシーケンスを示す。NTM 端末と GS が通信を行う場合、DCMN が GS の A/AAAA Record を取得すると、図 5 に従って

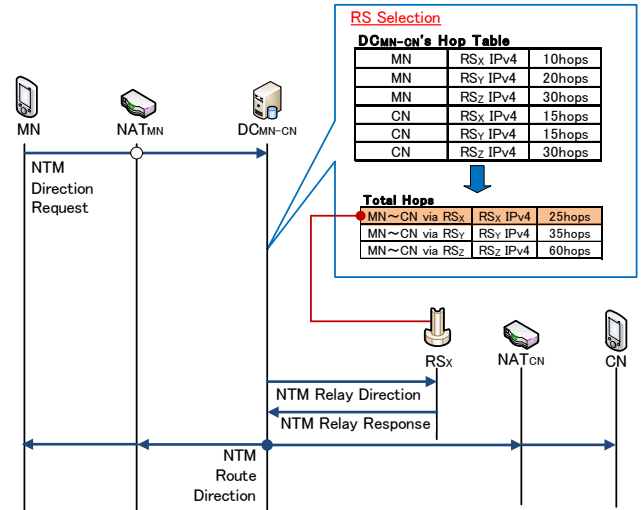


図 6 NTM 端末同士の通信時における RS 選択

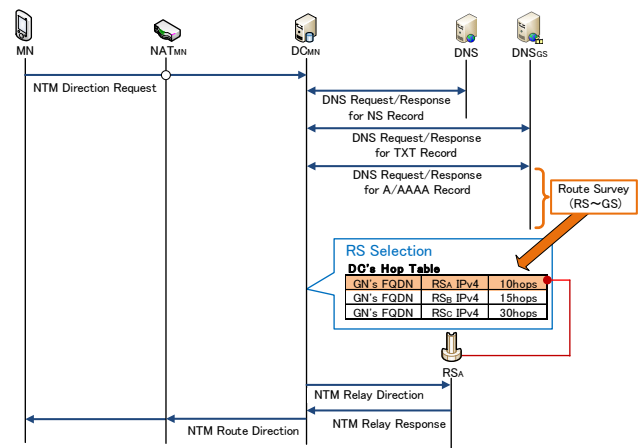


図 7 NTM 端末と一般サーバとの通信時における RS 選択

ホップ数調査が開始されるが、図 7 ではホップ数調査のシーケンスは省略する。ホップ数調査後、DCMN は Hop Table の中から最適な RS を選択する。DCMN は Hop Table において、その中から最もホップ数の少ない RSA を選択し、トンネル構築までの経路指示手順を実施する。

5. 実装と評価

本章では、提案方式の実装とその動作検証、及び性能評価について述べる。

NTMobile の基本動作は Linux 環境での実装が行われており、動作が確認されている。提案方式のプロトタイプを DC, RS, NTM 端末へそれぞれ追加実装を行った。

動作検証として、提案するホップ数調査の動作が正常に行われるかどうか確認した。また、提案方式の評価として、ホップ数調査を行うことにより生じる処理遅延を測定した。

5.1 実装

提案方式のプロトタイプの実装構成を以下に示す。

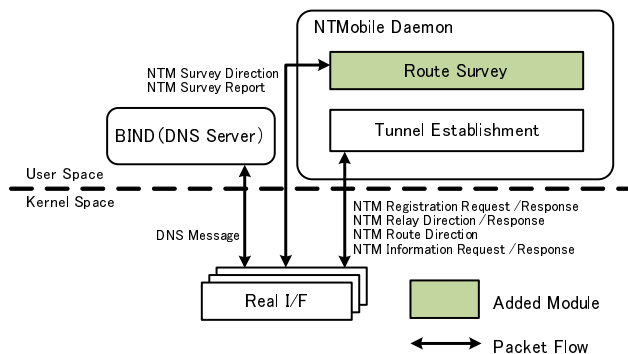


図 8 DC のモジュール構成

5.1.1 DC への実装

図 8 に DC のモジュール構成を示す。DC はユーザ空間の制御メッセージの送受信を行う NTM デーモンと、BIND を利用した DNS サーバにより構成される。DC の NTM デーモンに、ホップ数調査を行うモジュールとして Route Survey のプロトタイプの実装を行った。

NTM 端末同士の通信の場合は、DC が NTM 端末のアドレス情報の登録が完了したタイミング、NTM 端末と GS との通信の場合は、DC が GS のアドレス情報を取得したタイミングでホップ数調査を開始するようプロトタイプを作成した。

NTM 端末同士の通信の場合における Route Survey では、MN から RS まで、及び CN から RS までの経路調査の結果から、ホップ数が最少となる最適な RS が選択できるよう処理を記述した。また、NTM 端末と GS の通信における Route Survey には、GS と RS までのホップ数調査結果を基に最適な RS 選択ができるよう処理を記述した。

5.1.2 RS への実装

図 9 に RS のモジュール構成を示す。RS はユーザ空間の NTM デーモンと、カーネル空間の NTM カーネルモジュールによって構成される。RS には NTM デーモンに、ホップ数調査を行うモジュールとして Route Survey のプロトタイプの実装を行った。

NTM 端末と RS の間の経路調査を行う場合は Route Survey の IP ヘッダから TTL を取得する必要がある。そのため、RS ではデバイスレベルのパケットインターフェースである PF_PACKET を利用することによって、Route Survey が IP ヘッダを含むパケットを受信可能とした。

GS と RS の間の経路調査を行う場合は ICMP Echo Request / Reply を Raw socket により作成し、送受信を行うことによって、IP ヘッダから TTL を取得することが可能となる。

5.1.3 NTM 端末への実装

図 10 に NTM 端末のモジュール構成を示す。NTM 端末はユーザ空間の NTM デーモンと、カーネル空間の NTM カーネルモジュールにより構成される。NTM デーモンは

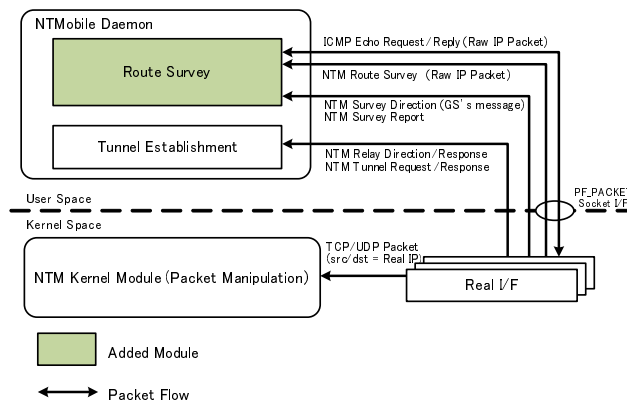


図 9 RS のモジュール構成

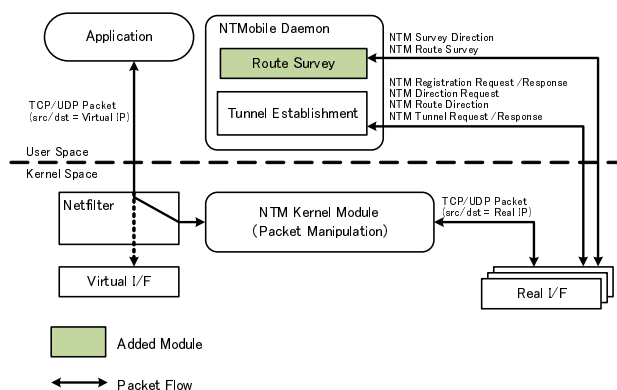


図 10 NTM 端末のモジュール構成

表 1 ホスト PC の構成

	ホスト PC
OS	Windows7 64bit
CPU	Intel Core i7-2600 3.40GHz
Memory	8.00GB

DC に対する NTM 端末情報の登録と仮想 IP アドレスの取得、及びトンネル構築を行う。NTM カーネルモジュールはパケットのカプセル化 / デカプセル化、及び暗号化処理を行う。NTM デーモンに、NTM 端末と RS の間でホップ数調査を行うモジュール、Route Survey のプロトタイプの実装を行った。

5.2 動作検証

表 1 にホスト PC の構成、表 2 に仮想マシンの構成、図 11 に動作検証におけるネットワーク構成を示す。1 台のホスト PC 上に VMware Player^{*1} を用いて、DC, MN, 3 台の RS (RSA~RSC), DNS サーバ, GS, ルータを構築した。DC, MN, RSA, DNS サーバ, GS を同一 IPv4 ネットワークに接続し、このネットワークと RSB 及び RSC との間に 1 つルータを接続した。この動作環境において、ホップ数調査が正常に行われることを確認した。

^{*1} <http://www.vmware.com/jp/>

表 2 仮想マシンの構成

	DC, MN, RSA, RSB, RSC, DNS, GS	Router
OS	Ubuntu 10.04	Ubuntu 10.04
Linux Kernel	2.6.32-24-generic	2.6.32-24-generic
CPU	Intel Core i7-2600(3.40GHz)	Intel Core i7-2600(3.40GHz)
Memory	各 1GB	各 512MB

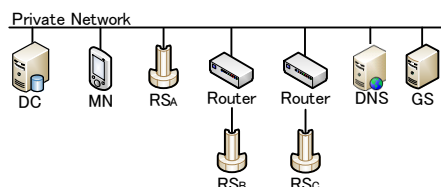


図 11 動作検証におけるネットワーク構成

5.3 性能評価

NTM 端末と RS 間、及び GS と RS 間のホップ数調査における処理時間を計測し、性能評価を行った。図 11 の環境において実行した NTM 端末と RS 間のホップ数調査実施時間を図 12、GS と RS 間のホップ数調査実施時間を図 13 に示す。ホップ数調査にかかった時間は DC にて Wireshark*² により取得した。図 12 については、アドレス情報登録処理を 25 回行った平均時間、図 13 については、GS と NTM 端末から GS に対して通信を 25 回行った平均時間を示す。

5.3.1 NTM 端末と RS 間のホップ数調査

図 12 は、MN が DC から NTM Registration Response を受信してから、各 RS からの NTM Survey Report を受信するまでの時間の内訳を示す。MN が DC から NTM Registration Response を受信し、更にその後 NTM Survey Direction を受信するまでにかかった時間は 0.533ms であった。そして、MN が DC から NTM Survey Direction を受信し、MN からの NTM Route Survey を RSA を受信するまで、7.461ms であった。MN において、NTM Survey Direction を受信してから NTM Route Survey を送信するまでの間には、MN においてホップ数調査用のスレッドを生成する処理があり、それによる遅延が発生していると考えられる。その後、送信された RSB に対する NTM Route Survey は 0.843ms、RSC に対する NTM Route Survey は 0.244ms であった。また、RSA、RSB、RSC が NTM Route Survey を MN から受け取り、DC に対して NTM Survey Report を送信するまでにかかる時間は、それぞれ 1.095ms、1.274ms、1.866ms であった。この時間には、各 RS において MN までの間のホップ数を算出する処理の遅延が含まれている。

この環境において、MN のアドレス情報登録処理をトリガーにしたホップ数調査は 10.974ms で完了した。

5.3.2 GS と RS 間のホップ数調査

図 13 は、DC が DNS サーバから DNS Response for A/AAAA Record を受信してから、各 RS からの NTM Survey Report を受信するまでの時間の内訳を示す。DC が、DNS サーバから DNS Response for A/AAAA Record を受信してから、RSA に対する NTM Survey Direction を送信するまでにかかった時間は 1.584ms であった。その後、送信された RSB に対する NTM Survey Direction は 0.915ms、RSC に対する NTM Survey Direction は 0.695ms であった。DC において、DNS Response for A/AAAA Record を受信してから NTM Survey Direction を送信するまでの間には、ホップ数調査用のスレッドを生成する処理があり、それによる遅延が発生していると考えられる。

RSA、RSB、RSC から GS に対して ICMP Echo Request を送信し、GS が各 RS に ICMP Echo Reply を返すまでの時間は、それぞれ 1.408ms、3.598ms、3.776ms である。RSA は、RSB、RSC と比べてメッセージの送受信に時間がかかっているが、これはルータを経由しているためである。また、RSA、RSB、RSC が ICMP Echo Request を GS から受け取り、DC に対して NTM Survey Report を送信するまでにかかる時間は、1.996ms、2.248ms、2.521ms である。この時間には、各 RS において GS までの間のホップ数を算出する処理の遅延が含まれている。

この環境において、GS の名前解決処理をトリガーにしたホップ数調査は 21.120ms で完了した。

5.3.3 実環境におけるホップ数調査

実環境での調査時間の検討のため、NTM 端末、DC、各 RS、DNS サーバ、GS が日本国内のグローバルネットワーク上に存在し、NTM 端末が 3G ネットワークに接続することを想定する。また、グローバルネットワークの RTT を約 20ms、3G ネットワークの RTT を約 120ms であるとする [5]。提案する MN から RS までのホップ数調査のシーケンスにおいて、NTM Route Survey、NTM Survey Report はそれぞれ送信時に 10ms 程度、NTM Survey Direction は送信時に 60ms 程度の一方方向遅延が生じる。従って、図 12 の場合における MN から RS までのホップ数調査は、90.974ms 程度で正常に完了すると考えられる。ネットワーク接続時に行う処理であることを考えると、実用上問題ない値であると言える。

GS から RS までのホップ数調査のシーケンスにおいて、NTM Survey Direction、ICMP Echo Request、ICMP

*² <https://www.wireshark.org/>

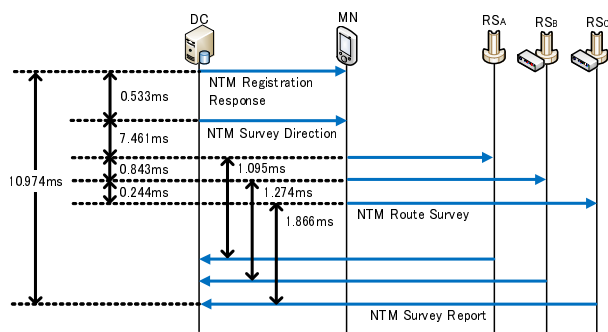


図 12 NTM 端末と RS 間のホップ数調査時間

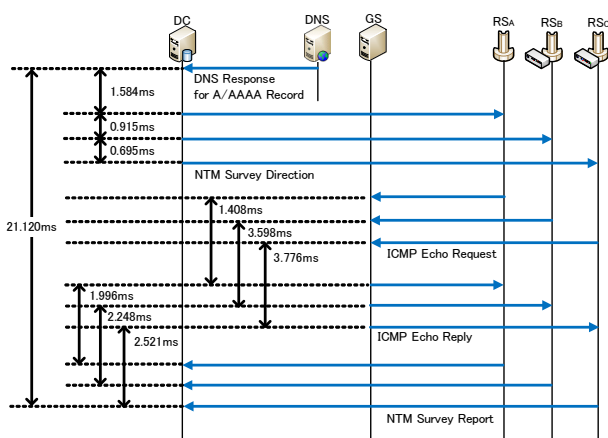


図 13 GS と RS 間のホップ数調査時間

Echo Response, NTM Survey Report はそれぞれ送信時に 10ms 程度の一方方向遅延が生じる。従って、図 13 の場合における GS から RS までのホップ数調査は、61.12ms 程度で正常に完了すると考えられる。また、図 3 において、MN から GS に対して通信開始してから、MN と RS の間にトンネル構築が完了し、NTM 端末と GS の通信が行われるまでにかかる時間は仮想環境にて 268.849ms であった。

図 3 に示す NTMobile のトンネル構築シーケンスにおいて、NTM Direction Request, DNS Request / Response, NTM Relay Direction / Response の送信には各 10ms 程度、NTM Route Direction, NTM Tunnel Response の送信には各 60ms 程度の一方方向の遅延が発生する。よって、通信開始から NTM 端末と GS の通信が行われるまでは 488.849ms かかると推測できる。以上のことから、通信を開始して、NTM 端末と GS との通信を行うまでの時間のうち、ホップ数調査が占める時間は 12.5%程度であり、実用上の影響はないと考えられる。

6. まとめ

本論文では、NTM 端末同士、及び NTM 端末と GS の通信時に、中継装置を経由することによる通信経路冗長化の解決手法について提案を行った。提案方式では、端末や接続したネットワークの構成に関わらず、通信端末から RS

までのホップ数調査を行う手法を確立した。

NTM 端末同士の通信の場合は、NTM 端末が起動時に、NTM 端末と RS の間のホップ数の調査を行い、ホップ数が最少となる RS を選択することによって、最短経路での通信を実現できる。また、NTM 端末と GS の通信の場合は、NTM 端末と GS の通信開始時に、RS と GS の間のホップ数を調査し、ホップ数が最少となる RS を選択することによって、NTM 端末が移動した後も最短経路での通信を実現することが可能となる。

提案方式のプロトタイプを DC 及び RS への実装、動作検証、及び性能評価を行い、実環境において実用可能であることを確認した。

謝辞 本研究は JSPS 科研費基盤研究 (C)15K00140、及び日本私立学校振興・共済事業団平成 27 年度学術研究振興資金（若手研究者奨励金）の助成を受けたものである。

参考文献

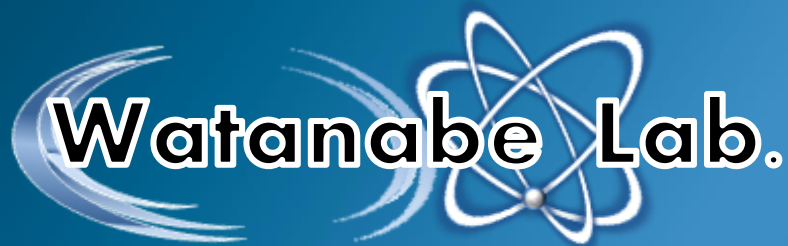
- [1] Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF (2010).
- [2] Levkowetz, H. and Vaarala, S.: Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC 3519, IETF (2003).
- [3] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における通信接続性の確立手法と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 367-379 (2013).
- [4] 内藤克浩, 上醉尾一真, 西尾拓也, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄: NTMobile における移動透過性の実現と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 380-397 (2013).
- [5] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する NTMobile の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 10, pp. 2288-2299 (2013).
- [6] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile におけるアドレス変換型リレーサーバの実装と動作検証, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-MBL-67, No. 11, pp. 1-6 (2013).
- [7] Montenegro, G.: Reverse Tunneling for Mobile IP, revised, RFC 3024, IETF (2001).
- [8] Kulkarni, M., Patel, A. and Leung, K.: Mobile IPv4 Dynamic Home Agent (HA) Assignment, RFC 4433, IETF (2006).
- [9] 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における自律的経路最適化の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 394-403 (2013).
- [10] CAIDA: Archipelago Monitor Statistics, <http://www.caida.org/projects/ark/statistics/> (2015 年 1 月 26 日アクセス).

NTMobileにおける端末移動後を考慮した リレーサーバ選択手法の提案

三宅 佑佳[†] 鈴木 秀和[†] 内藤 克浩[‡] 渡邊 晃[†]

[†]名城大学大学院 理工学研究科

[‡]愛知工業大学 情報科学部



研究背景

- ▶ ネットワーク接続の需要の増加
 - 現在の主流はIPv4ネットワーク
 - IPv4アドレス枯渇問題
 - ▶ NAT(Network Address Translation)が必須
- ▶ 通信接続性と移動透過性の要求
 - ネットワーク環境によらず確実に通信の開始が可能
 - ネットワークを切り替えても通信の継続が可能
 - ▶ Mobile IPv4
 - ▶ NTMobile(Network Traversal with Mobility)
- ▶ 通信経路冗長化抑制の要求
 - スループットの向上
 - ネットワーク負荷の低減

既存技術 Mobile IPv4

▶ HA (Home Agent)

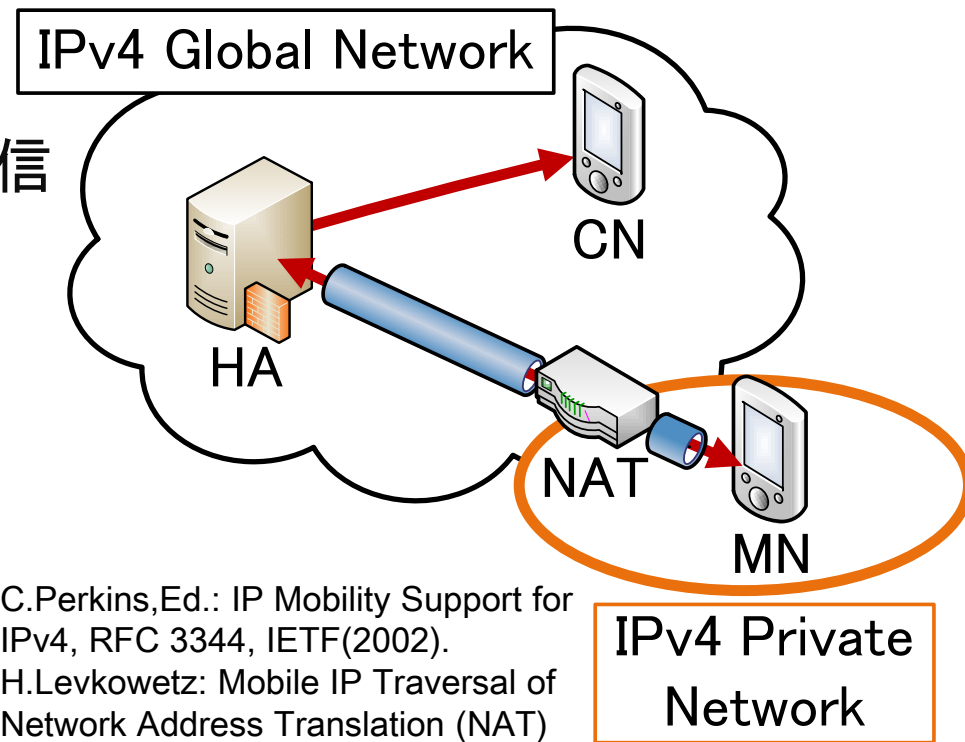
- アドレス管理と通信中継を行う装置
- グローバルネットワーク内に設置
- MN起動時に選択

▶ HoA (Home Address)

- HAが移動端末MNに配布
- 相手端末CNはHoA宛に通信

▶ 課題

- HoAとしてMNごとにグローバルアドレスが必要
 - ▶ アドレス枯渇問題に逆行
- 常にHA経由の通信



MN (Mobile Node) : 移動端末
CN (Correspondent Node) : 相手端末

C.Perkins, Ed.: IP Mobility Support for IPv4, RFC 3344, IETF(2002).
H.Levkowetz: Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC 3519, IETF(2003).

NTMobile (Network Traversal with Mobility)

▶ NTM端末 (NTMobile Node)

- 仮想IPアドレスにより通信を識別
- 基本的に直接通信

▶ RS (Relay Server)

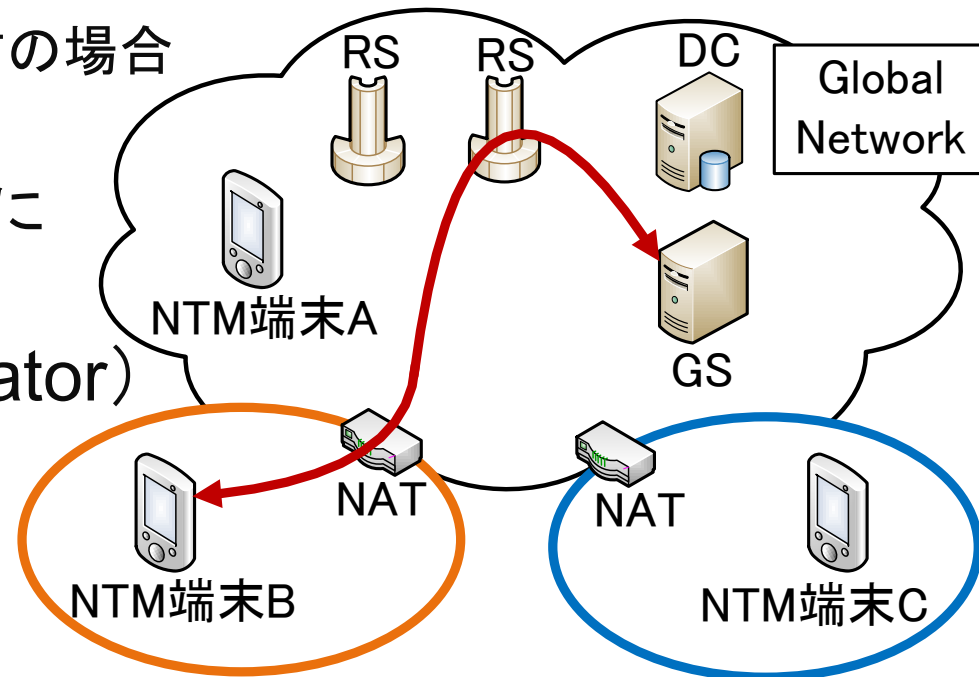
- 直接通信できない場合の通信の中継

▶ 一般サーバ (GS) との通信の場合

- 通信毎に自由に選択可能
- グローバルネットワーク上に分散配置可能

▶ DC (Direction Coordinator)

- アドレス情報の管理
- NTM端末やRSの管理



GS (General Server) : 一般サーバ

研究の目的と提案

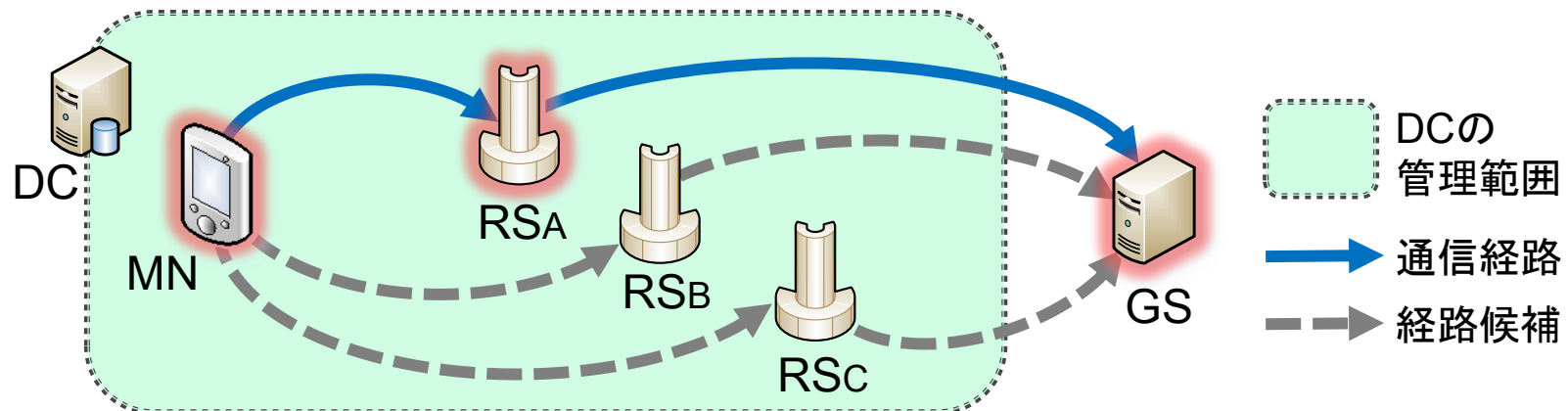
- ▶ RSを経由する通信は直接通信よりも経路が冗長
- ▶ RSの選択手法が不十分



- 最適なRS選択手法を確立
- RSを経由する場合でも最短経路での通信を実現

▶ RSの最適な選択手法の提案

- ルータ経由数(ホップ数)を用いる
 - ▶ 通信端末とRS間の距離を調査
 - ▶ ホップ数が最少となるRSを選択し通信経路の最適化を図る



NTM端末同士の通信時のRS選択

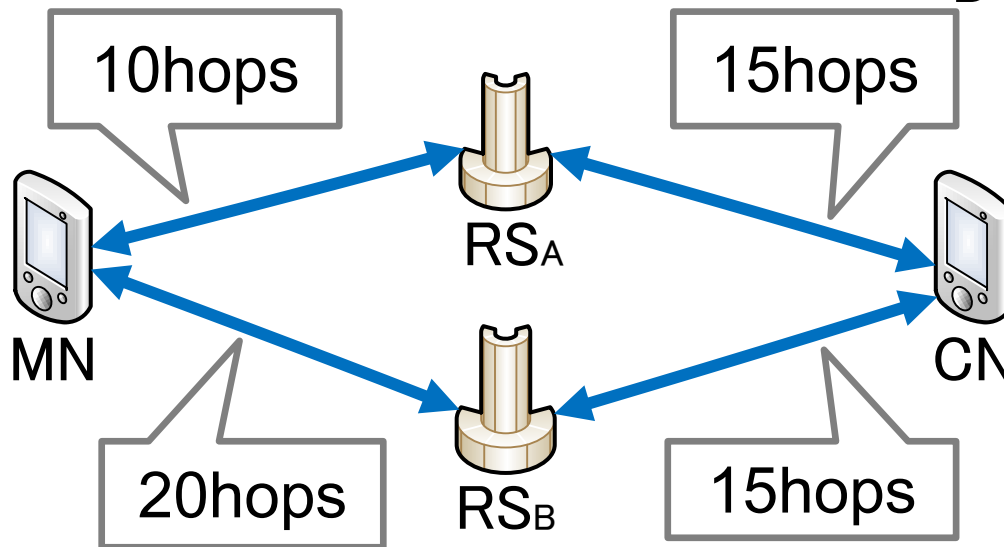
▶ NTM端末同士(MNとCN)の通信

- 両端末ともに移動の可能性
- 通信中にRSを切り替えることができる
- 各RSを経由した際のホップ数を算出
 - ▶ MN～各RS間,
各RS～CN間で算出
- 最少ホップ数となるRSを選択



Hop Table

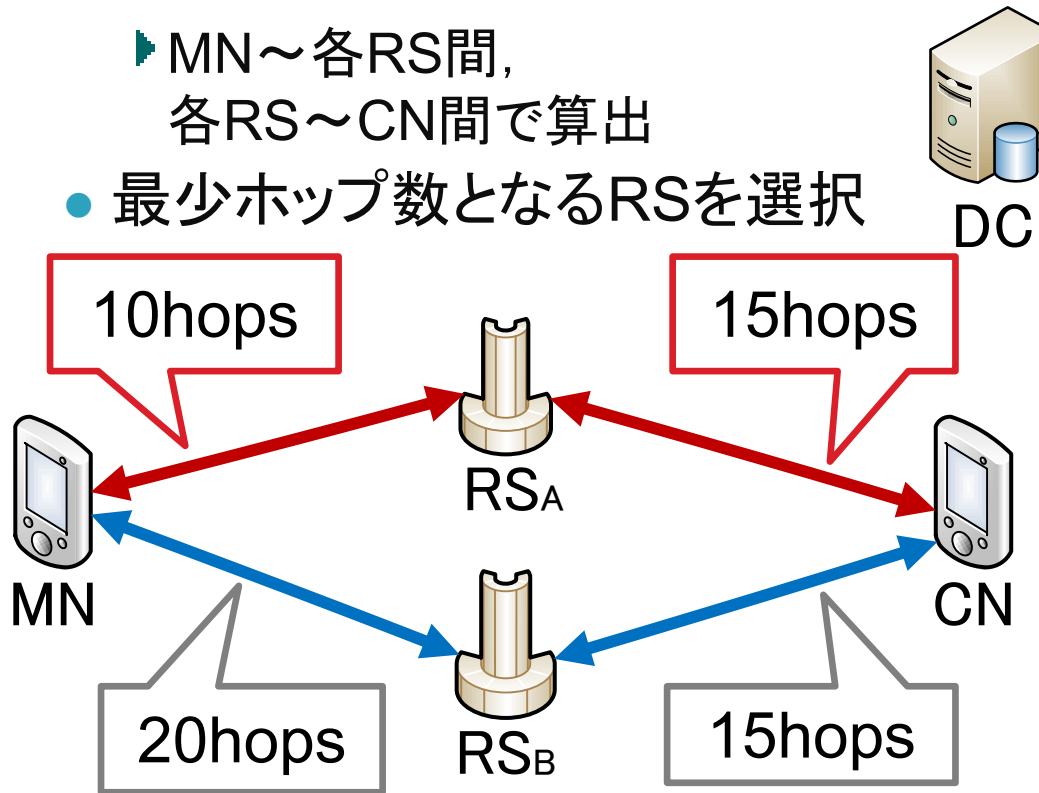
Node	RS	Hop
MN	RSA	10hops
MN	RSB	20hops
CN	RSA	15hops
CN	RSB	15hops



NTM端末同士の通信時のRS選択

▶ NTM端末同士(MNとCN)の通信

- 両端末ともに移動の可能性
- 通信中にRSを切り替えることができる
- 各RSを経由した際のホップ数を算出
 - ▶ MN～各RS間,
各RS～CN間で算出
- 最少ホップ数となるRSを選択



Hop Table

Node	RS	Hop
MN	RS _A	10hops
MN	RS _B	20hops
CN	RS _A	15hops
CN	RS _B	15hops



総経路ホップ数を算出

Route	RS	Hop
MN-CN	RS _A	25hops
MN-CN	RS _B	35hops

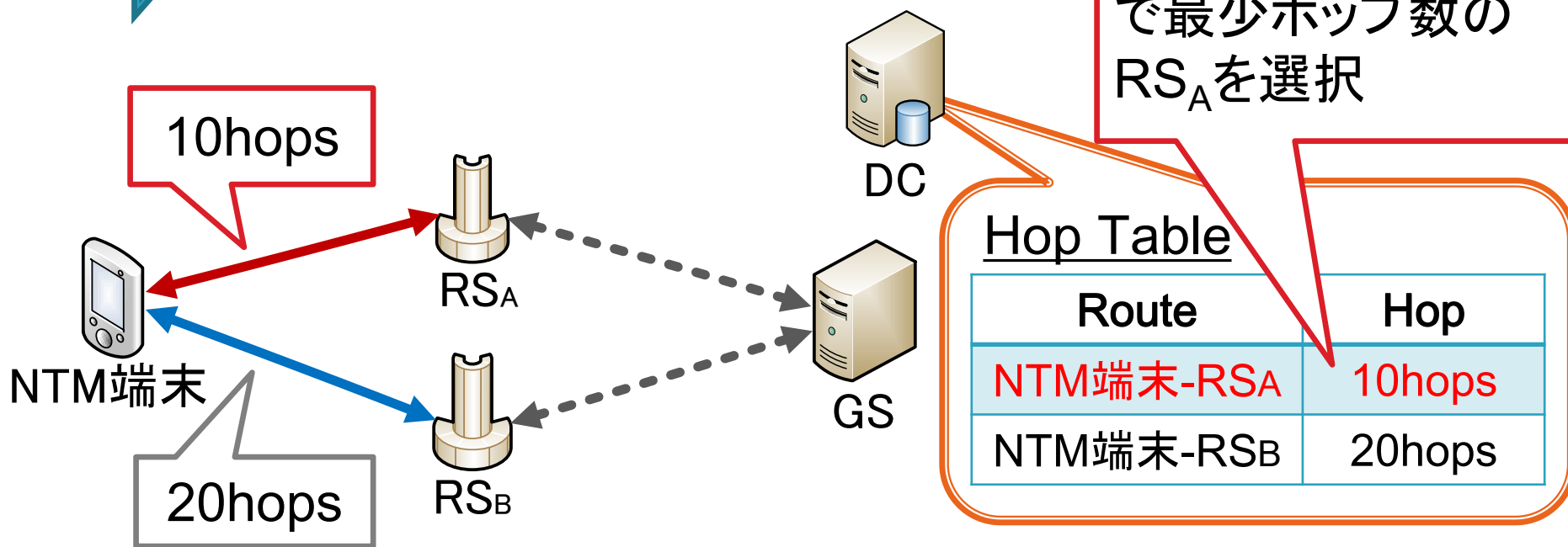
最少ホップ数のRSを選択

一般サーバとの通信時のRS選択

▶ NTM端末と一般サーバの通信

- 一般サーバは移動を行わない
- 通信中RSの切り替えができない
 - ▶ 一般サーバはRSを通信相手と認識して通信

➡ NTM端末移動後の通信経路冗長化が懸念

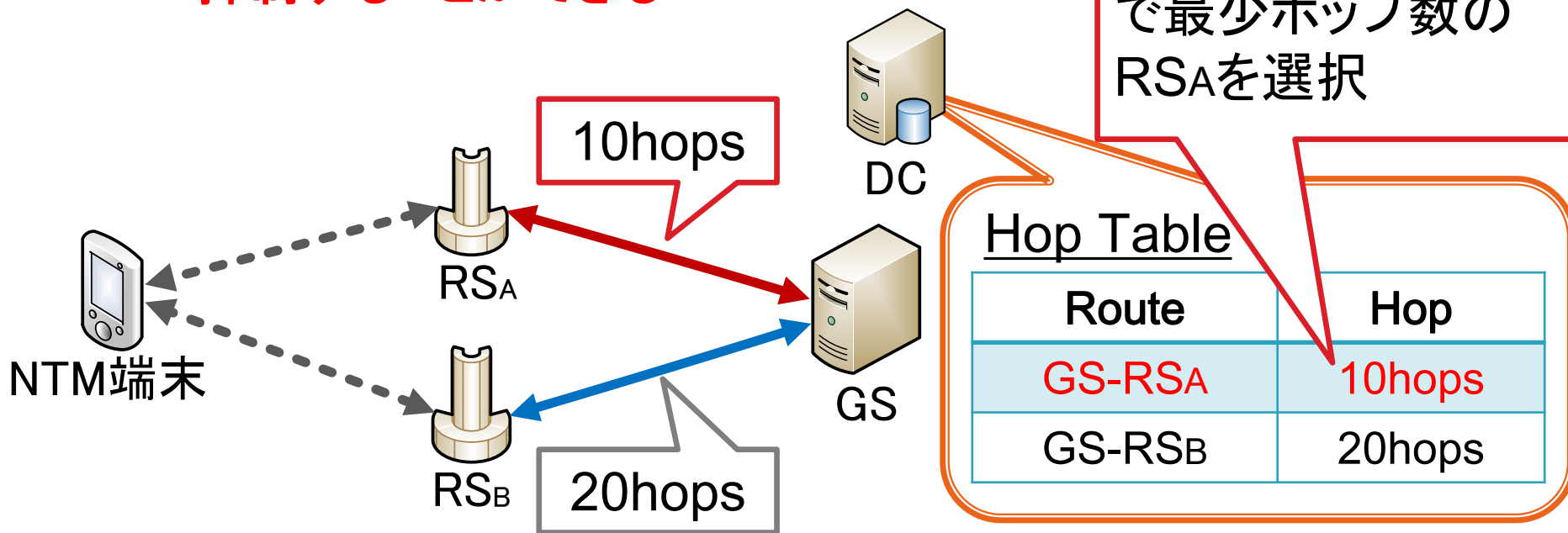


一般サーバとの通信時のRS選択

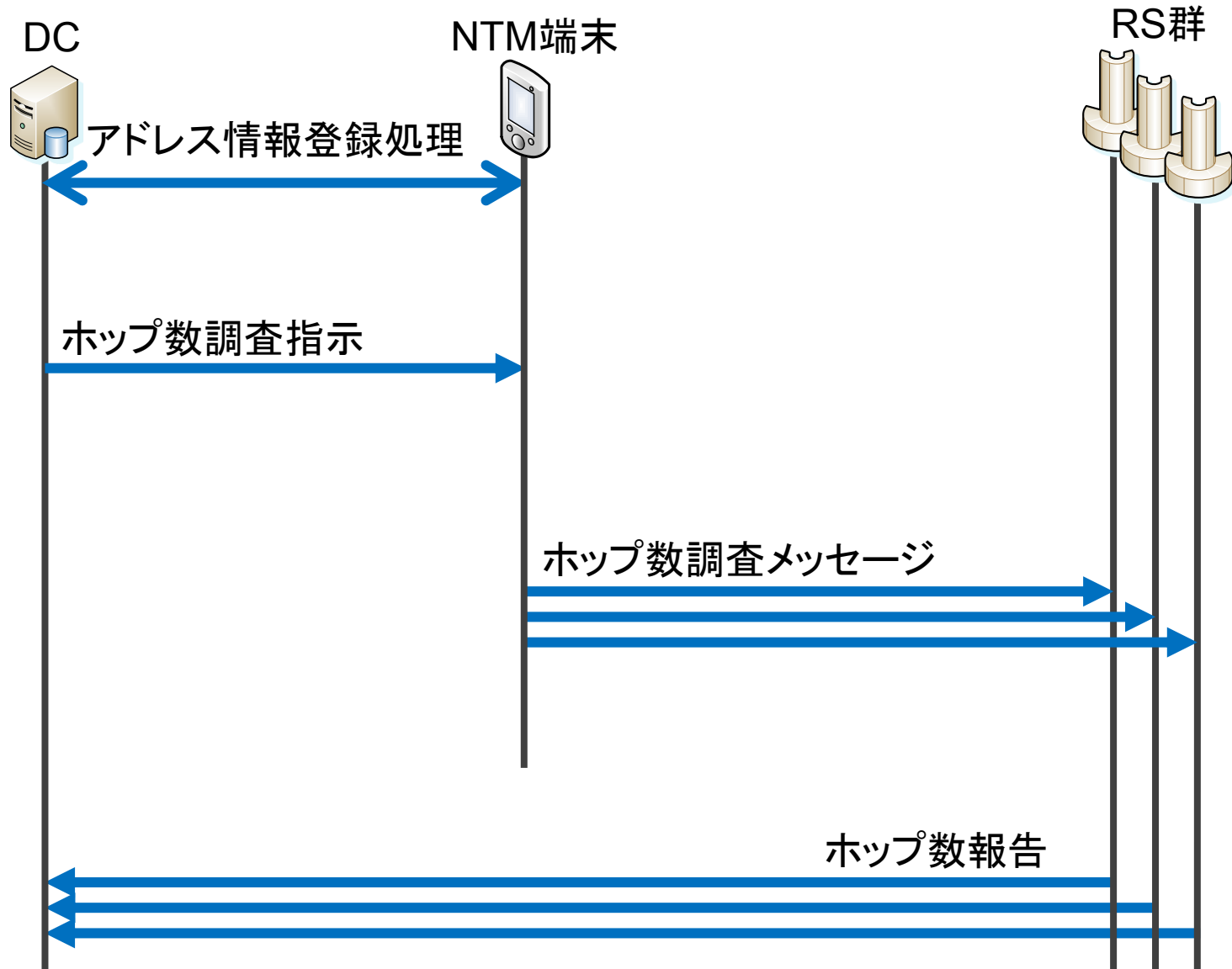
▶ NTM端末と一般サーバの通信

- 移動しない一般サーバ～各RS間でホップ数を算出
- 最少ホップ数となるRSの選択
 - ▶ DCのHop Tableを基に選択

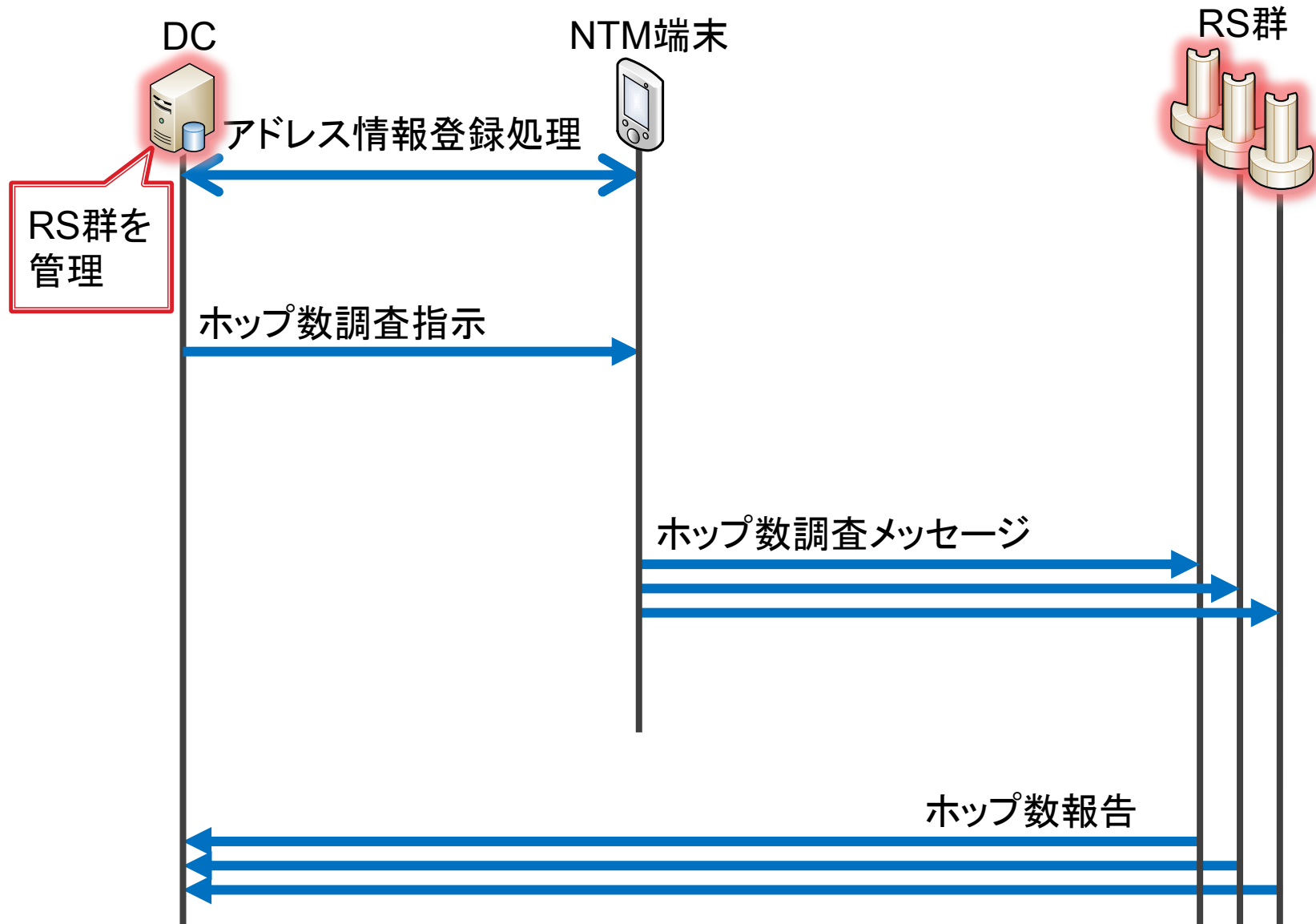
➡ NTM端末移動後も通信経路冗長化を抑制することができる



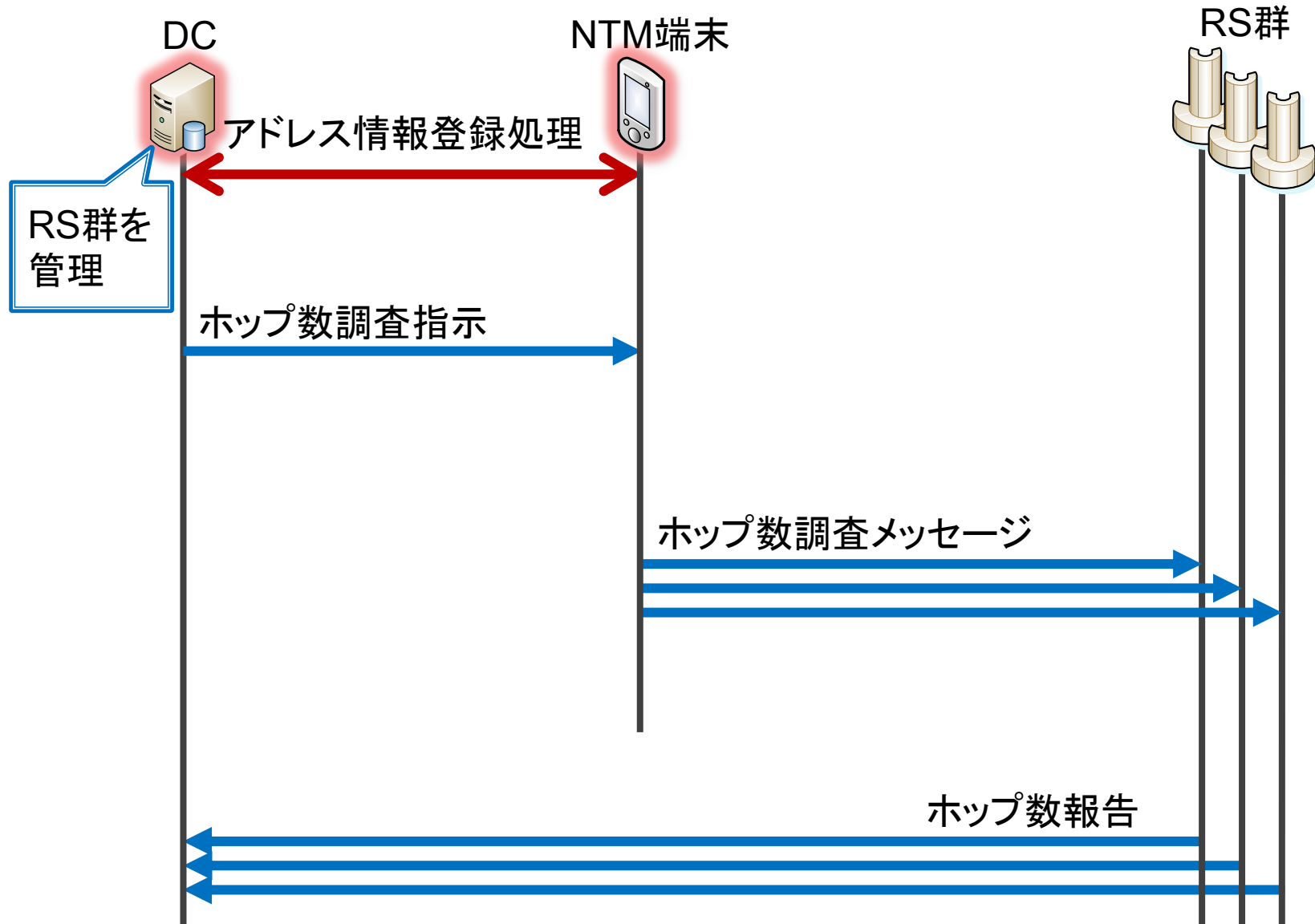
NTM端末とRS間のホップ数調査



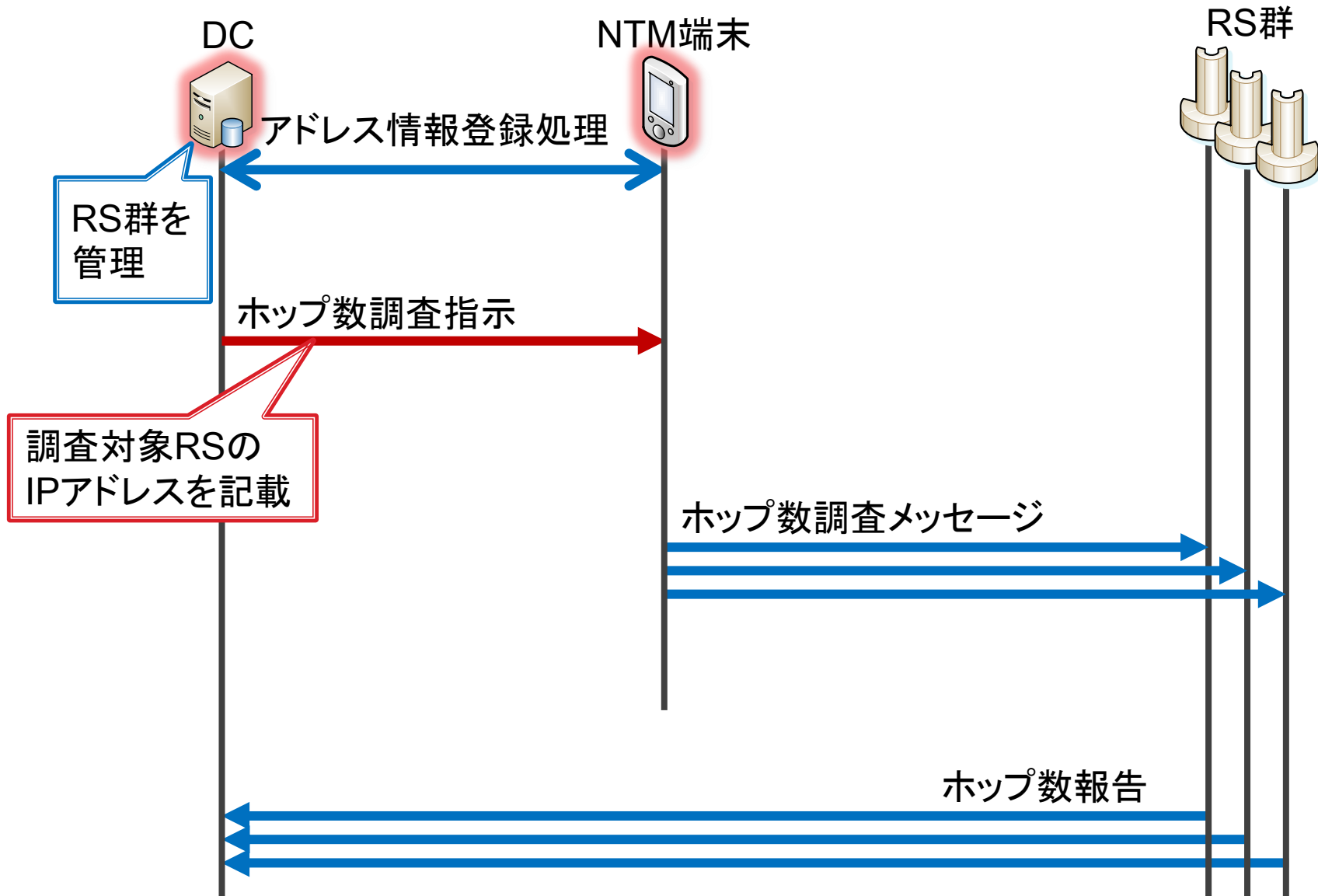
NTM端末とRS間のホップ数調査



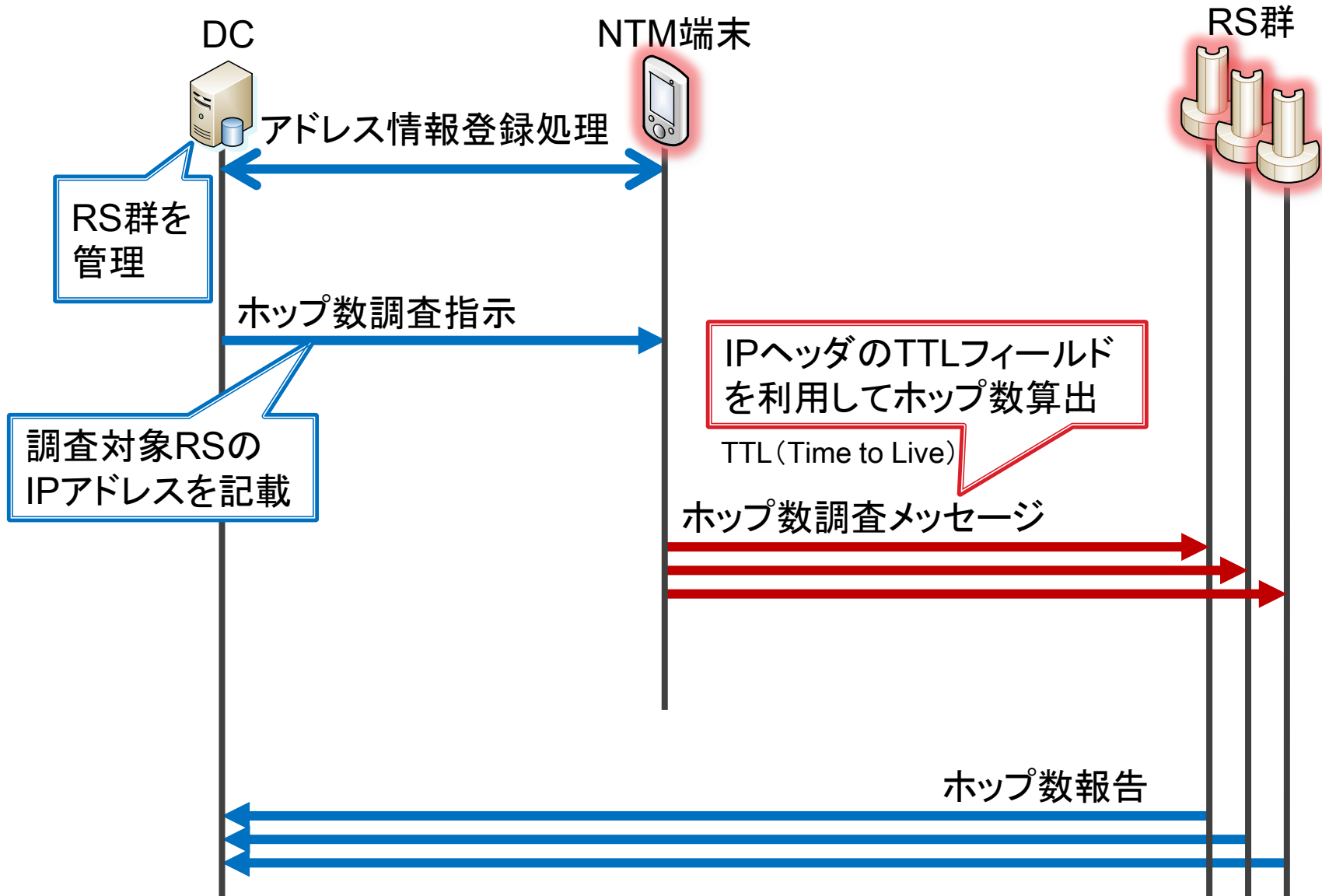
NTM端末とRS間のホップ数調査



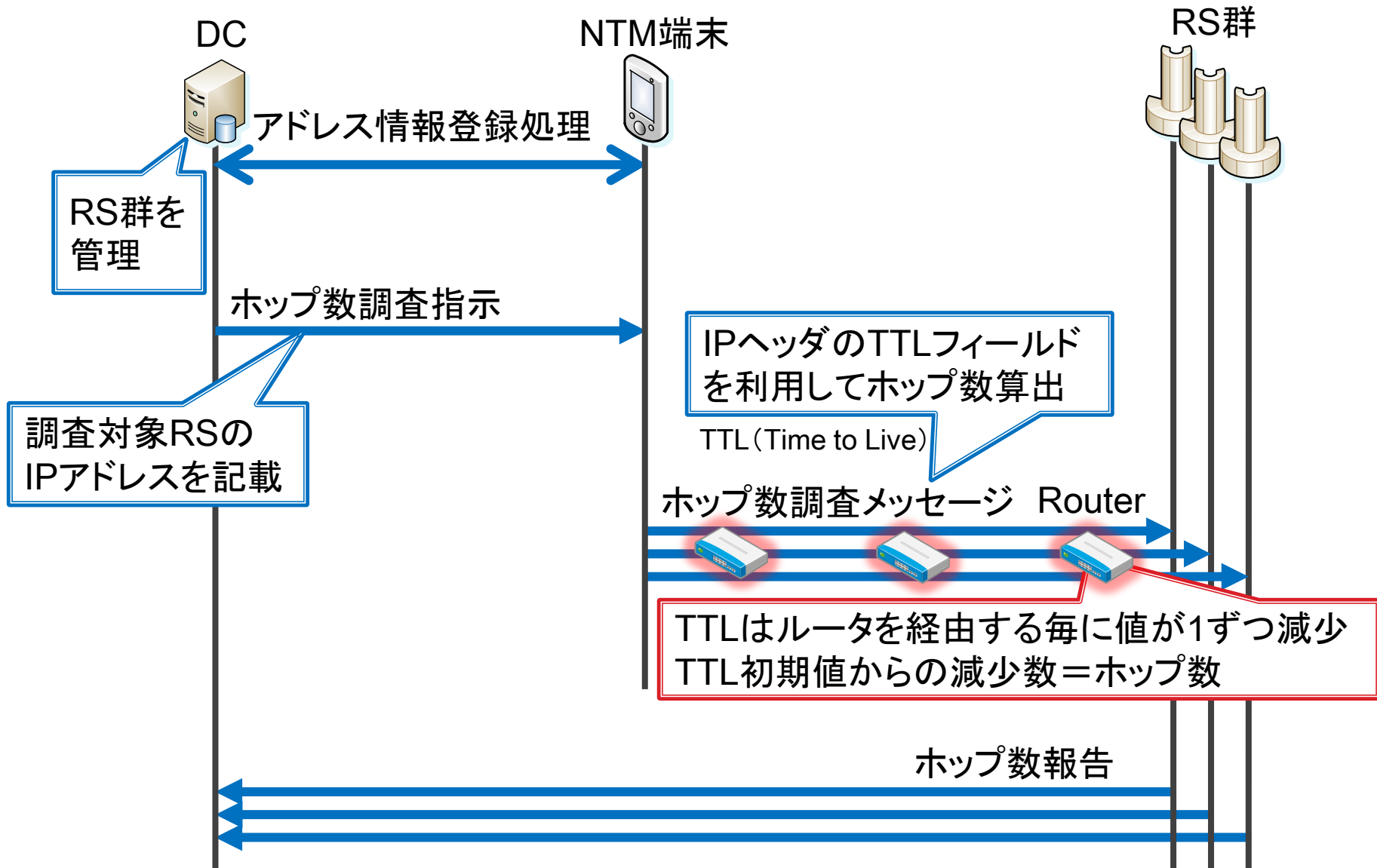
NTM端末とRS間のホップ数調査



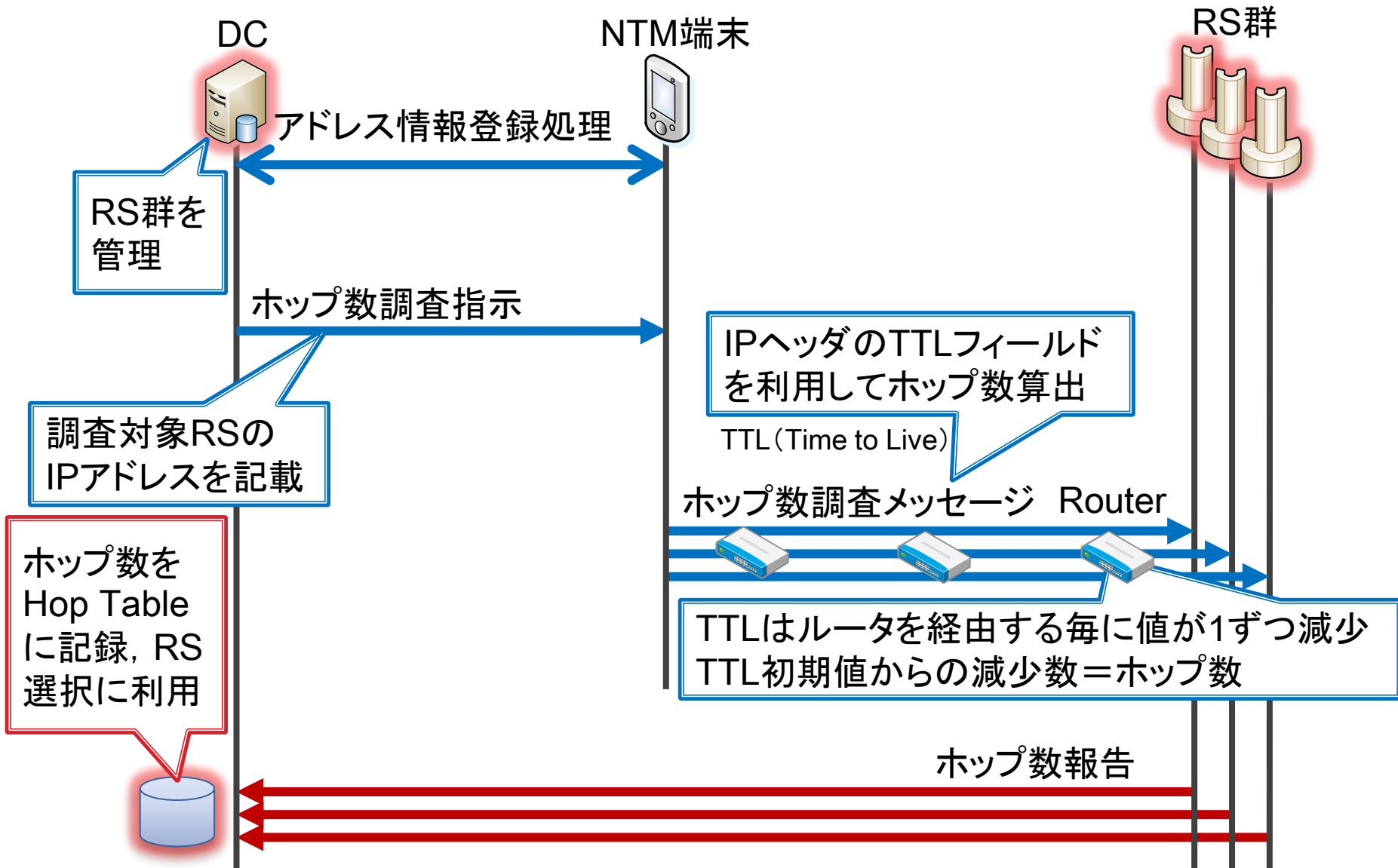
NTM端末とRS間のホップ数調査



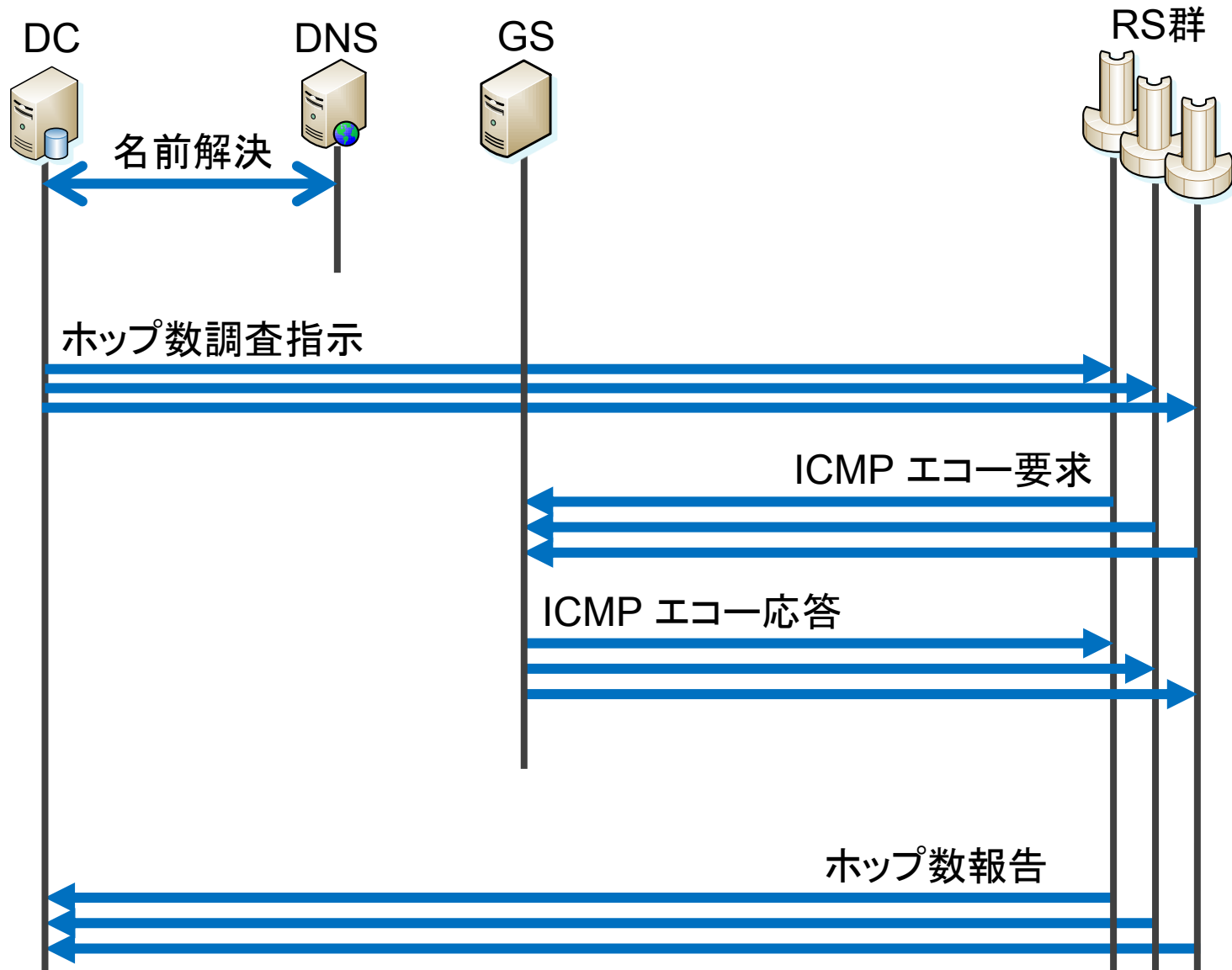
NTM端末とRS間のホップ数調査



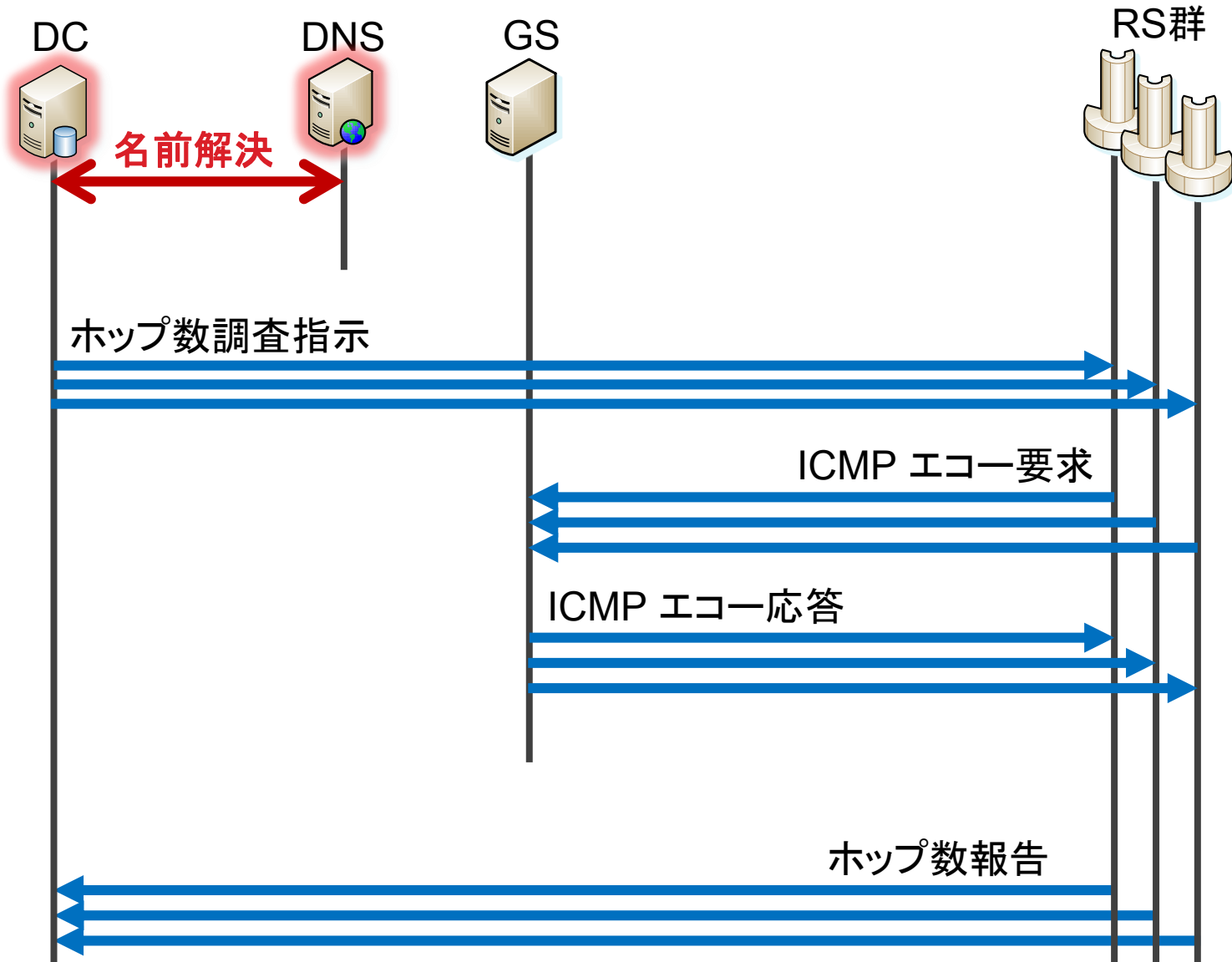
NTM端末とRS間のホップ数調査



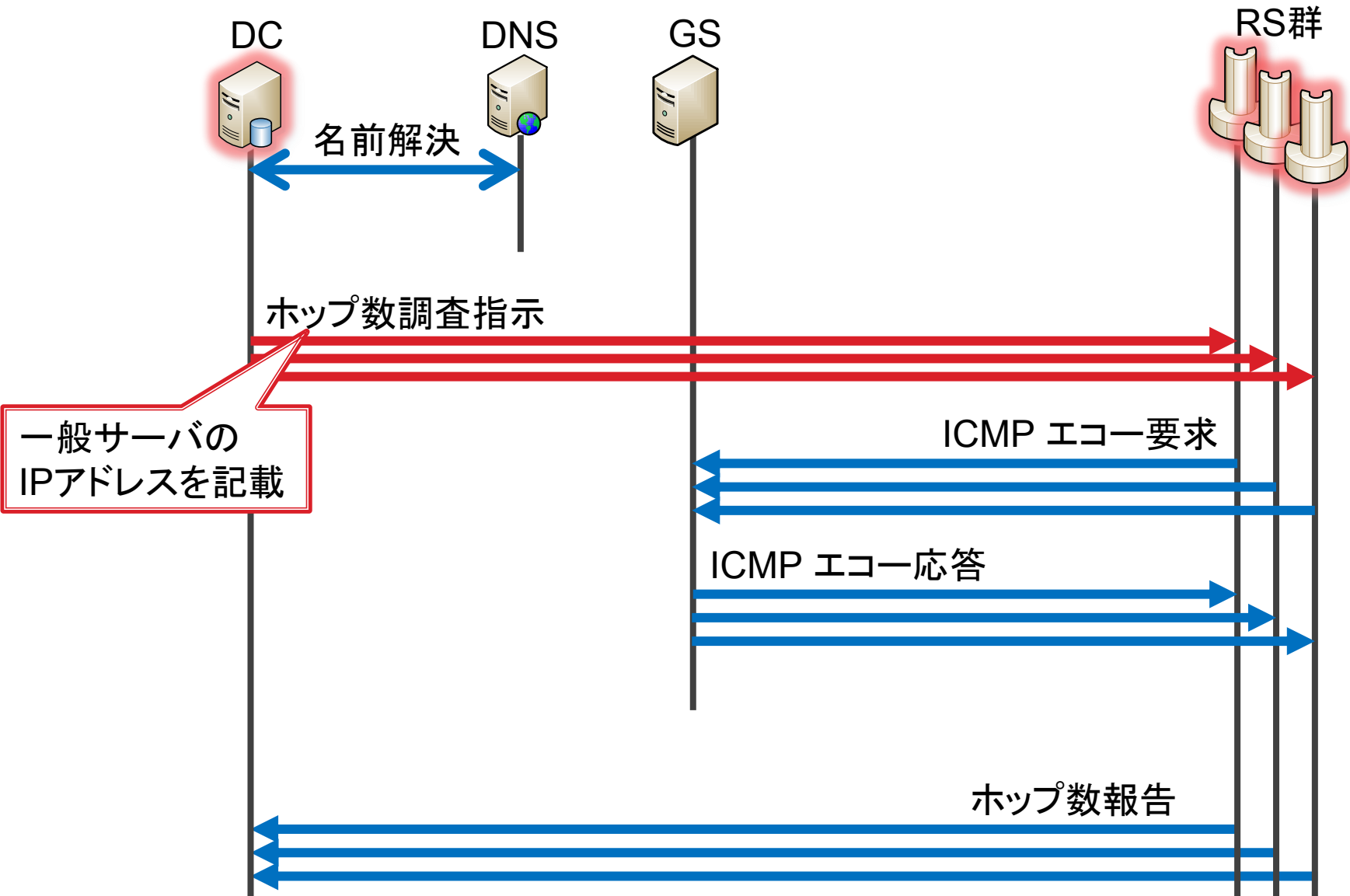
一般サーバとRS間のホップ数調査



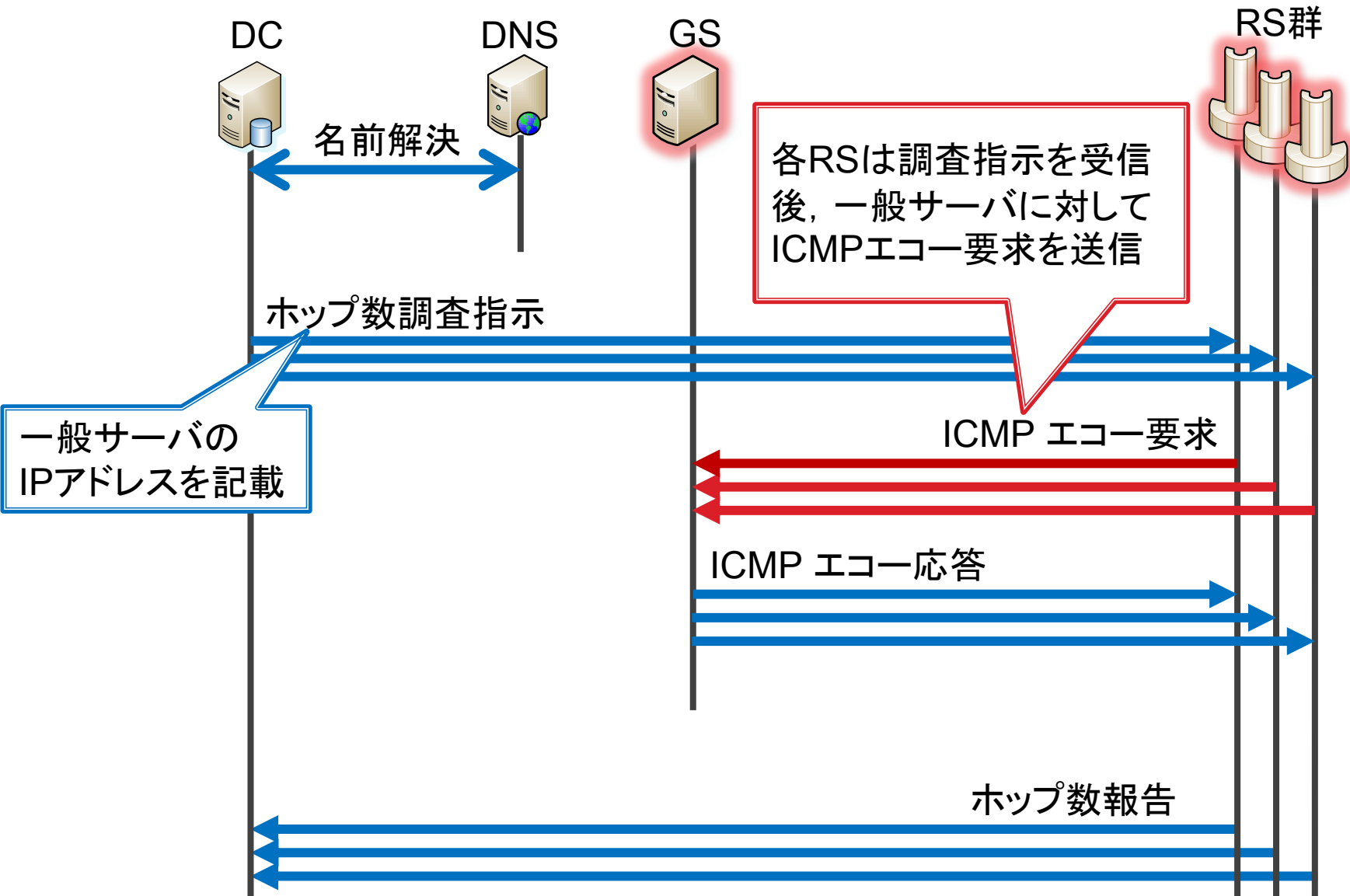
一般サーバとRS間のホップ数調査



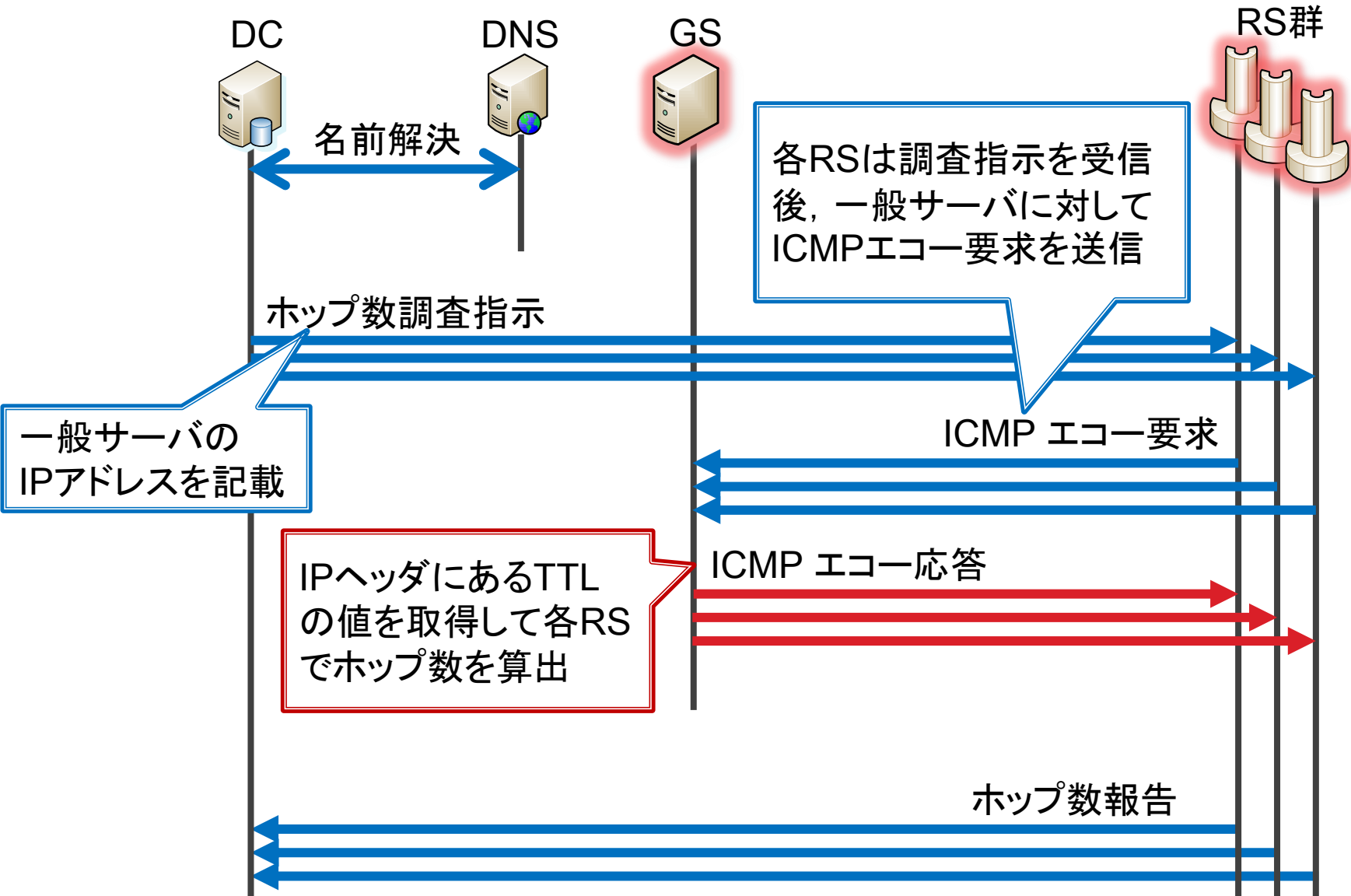
一般サーバとRS間のホップ数調査



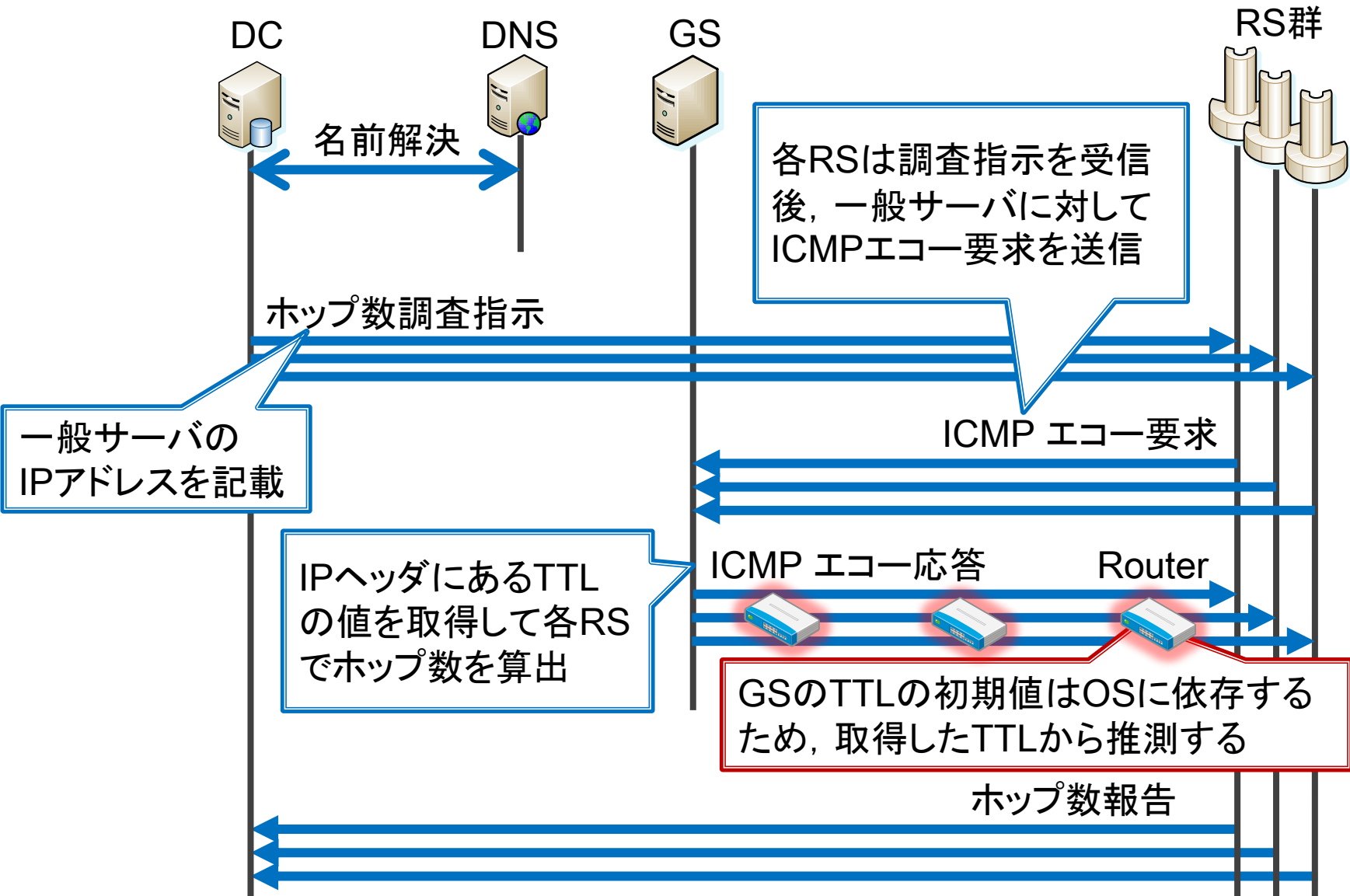
一般サーバとRS間のホップ数調査



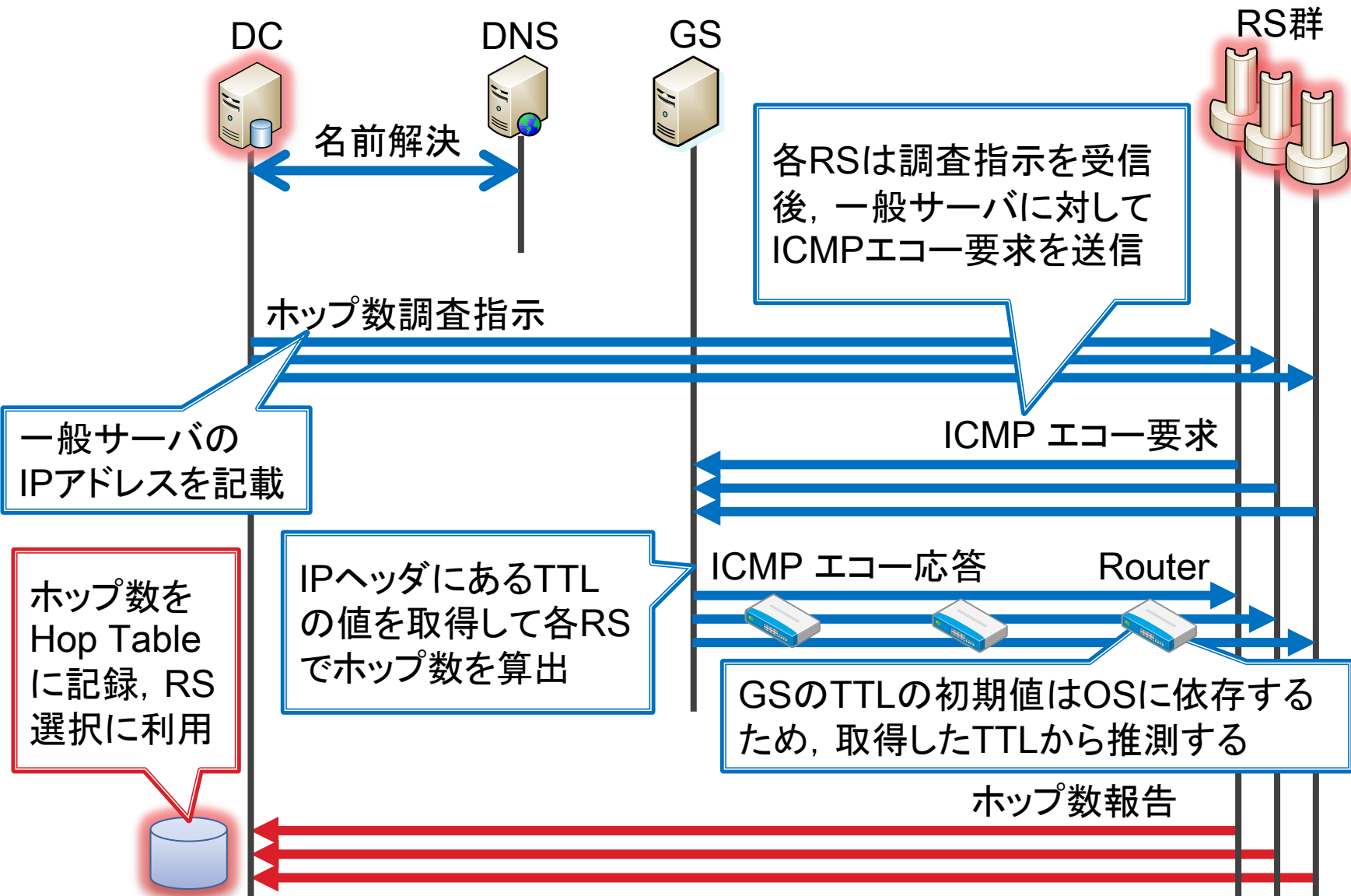
一般サーバとRS間のホップ数調査



一般サーバとRS間のホップ数調査



一般サーバとRS間のホップ数調査



性能評価における装置仕様

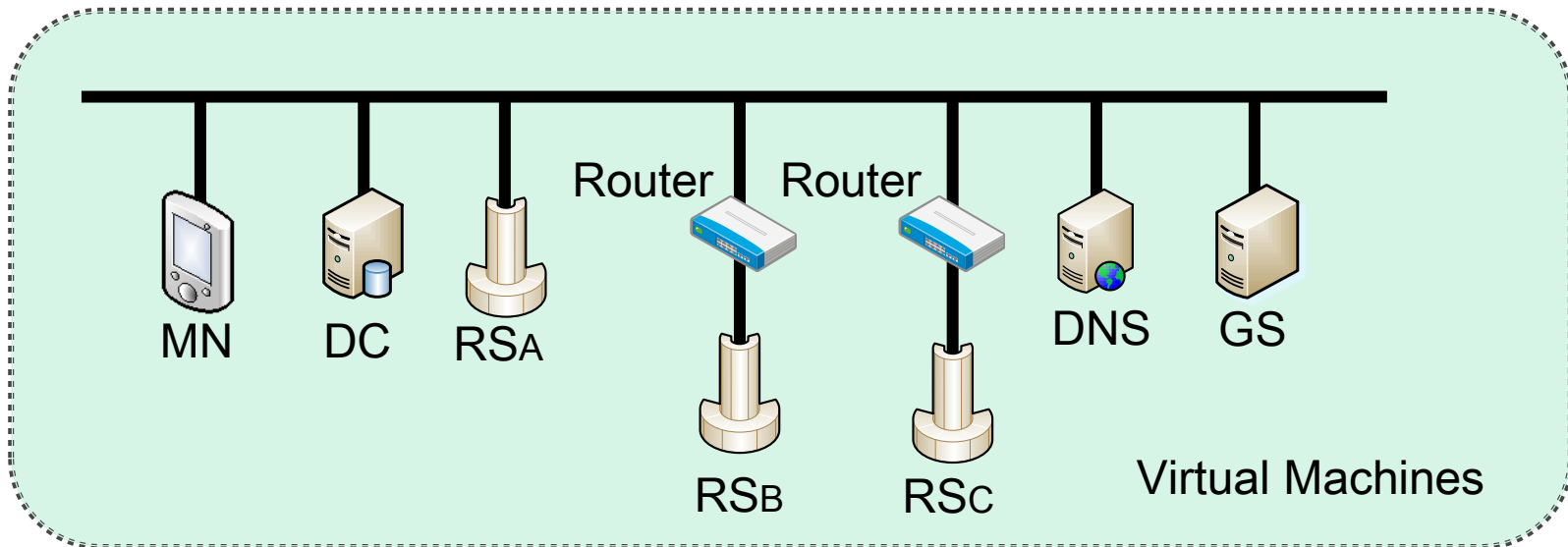
ホストPC

OS	Windows 7 64bit
CPU	Intel Core i7-2600 3.40GHz
メモリ	8.00GB

仮想マシン

DC, MN, GS, DNS,
RSA, RSB, RSc, Router

OS	Ubuntu 10.04 32bit
Kernel Version	2.6.32-24-generic
CPU割り当て	各1Core
メモリ割り当て	各1GB

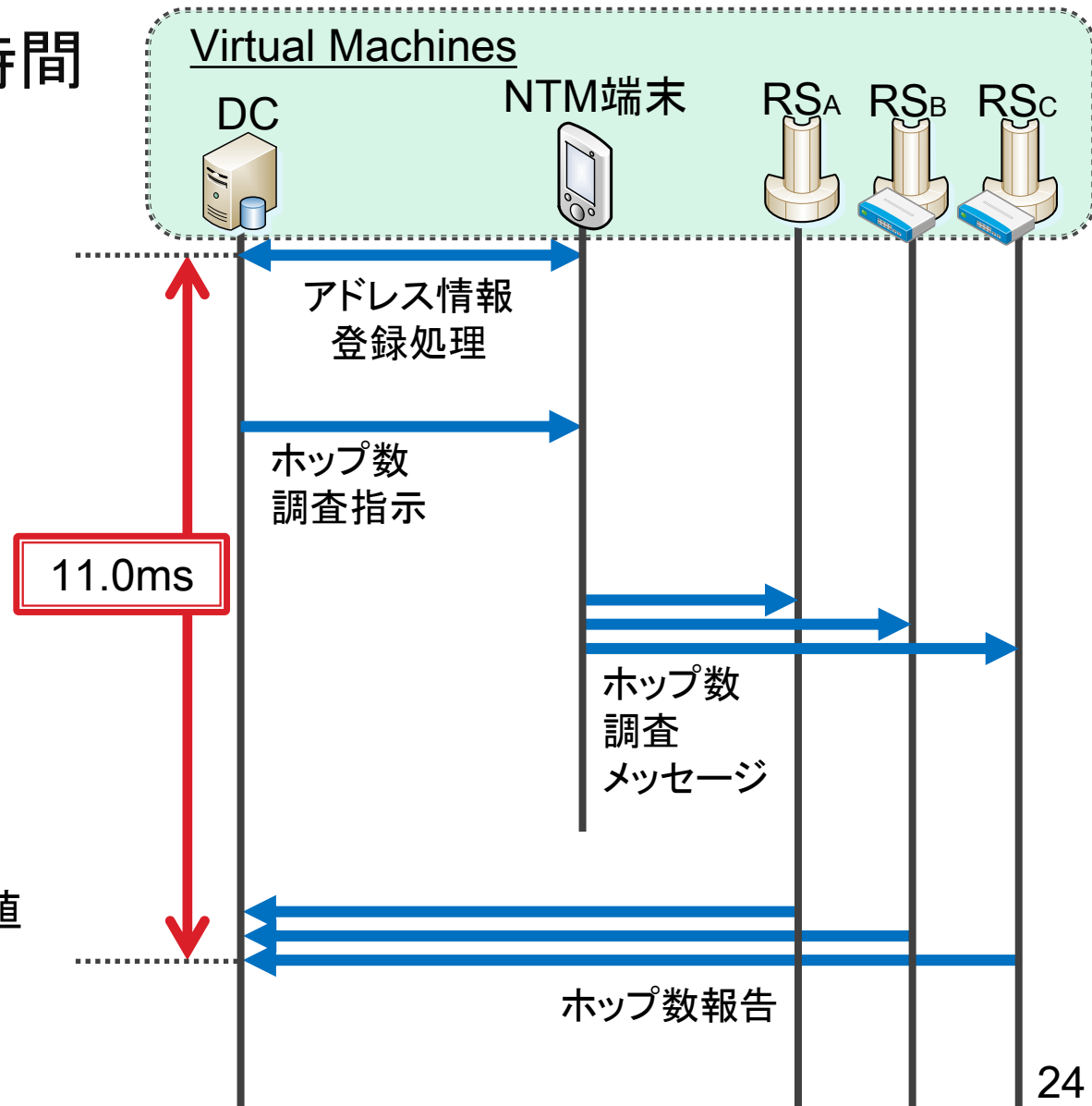


全ての装置を1つのホストPC上に仮想マシンで構築

MNとRS間のホップ数調査の性能評価

▶ ホップ数調査実施時間

- 調査開始～調査完了
仮想環境: **11.0ms***



* ホップ数調査: 25回試行平均値

MNとRS間のホップ数調査の性能評価

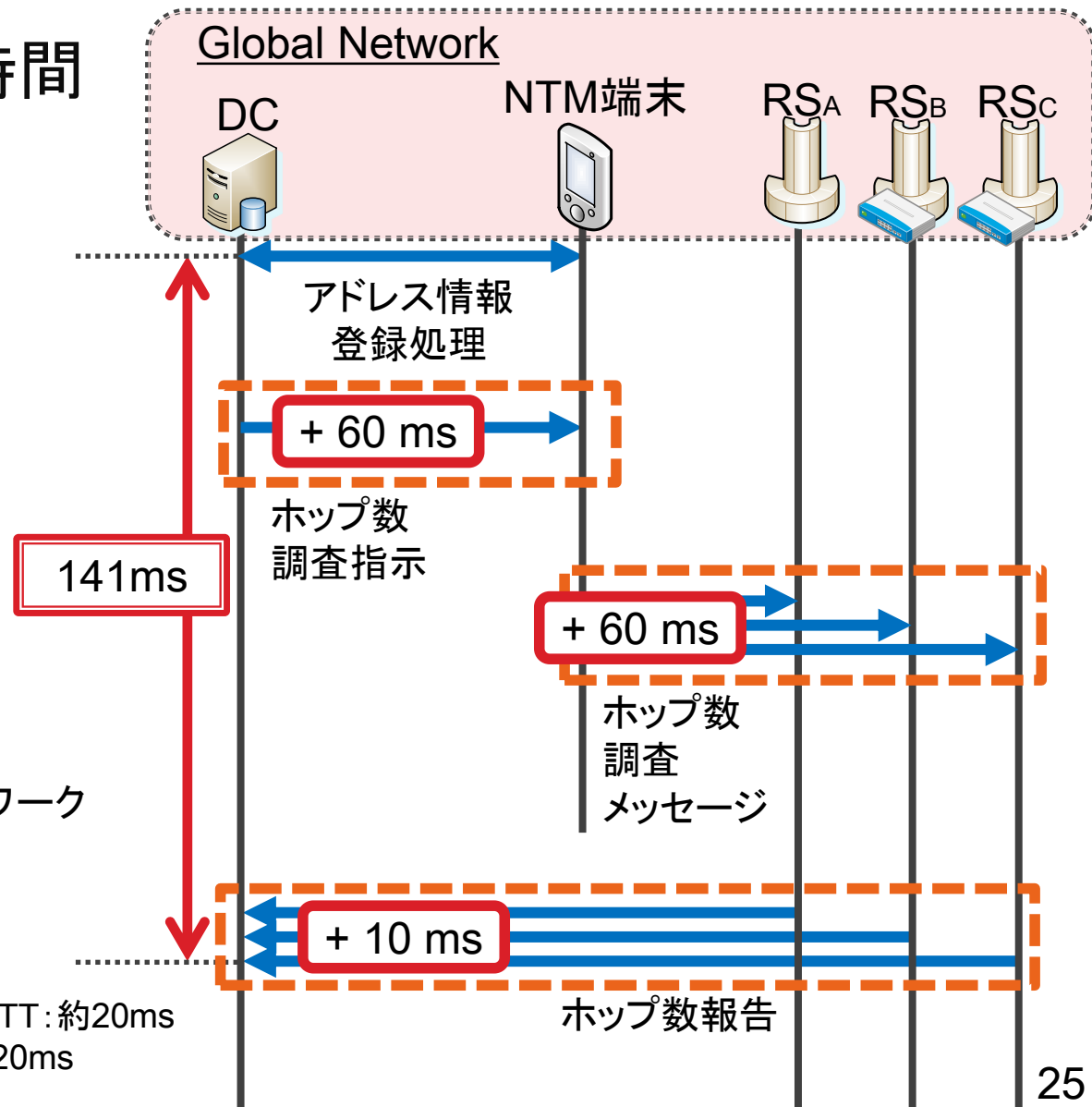
▶ ホップ数調査実施時間

- 調査開始～調査完了
仮想環境: 11.0ms
実環境予測: **141ms***

* 実環境予測

DC, RS : 国内グローバルネットワーク
NTM端末: 国内3Gネットワーク

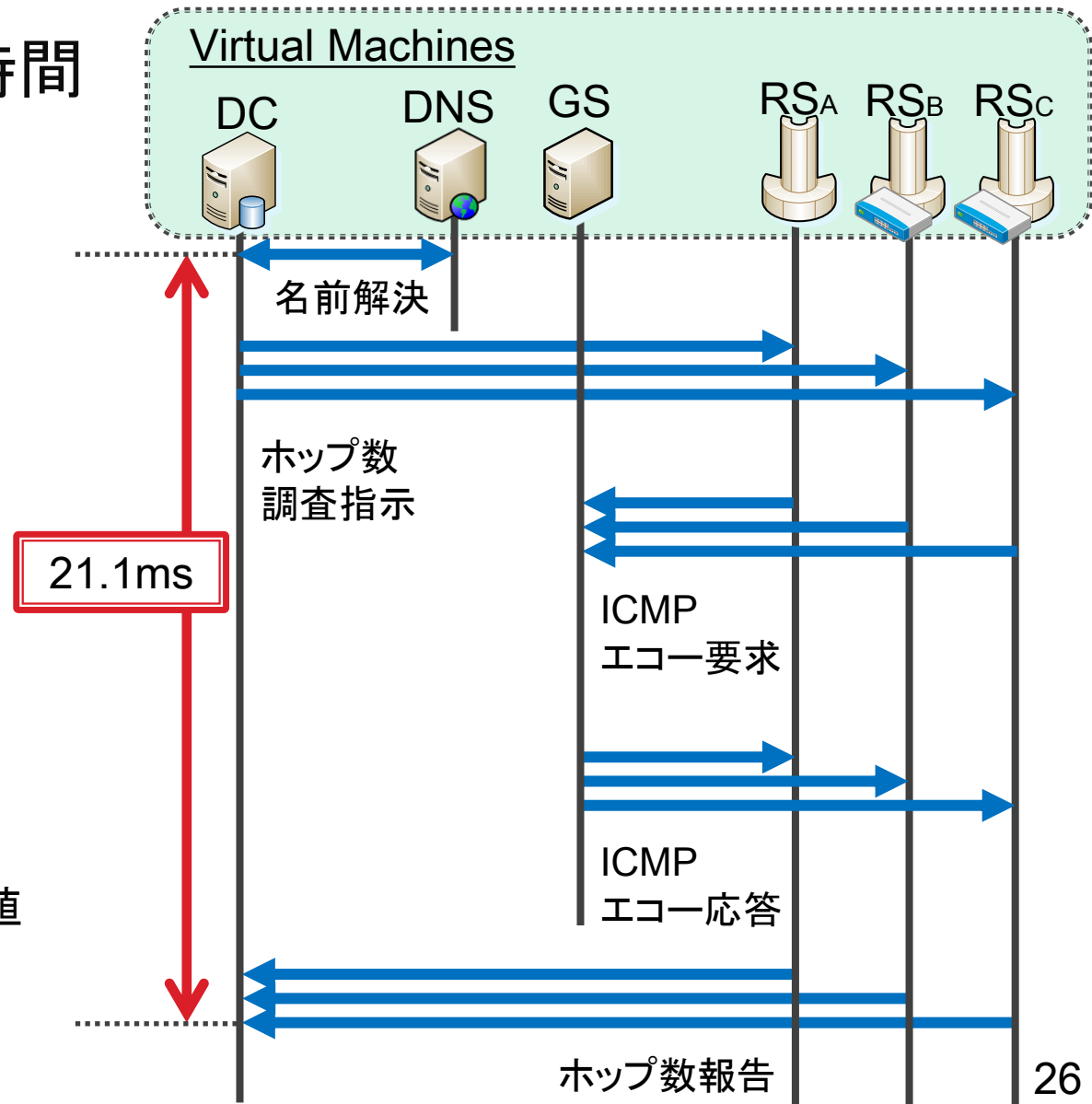
※日本国内グローバルネットワークRTT: 約20ms
日本国内3GネットワークRTT: 約120ms



GSとRS間のホップ数調査の性能評価

▶ ホップ数調査実施時間

- 調査開始～調査完了
仮想環境: **21.1ms***



* ホップ数調査: 25回試行平均値

GSとRS間のホップ数調査の性能評価

▶ ホップ数調査実施時間

- 調査開始～調査完了
仮想環境: 21.1ms
実環境予測: **61ms***

▶ MN-GS間の通信時間

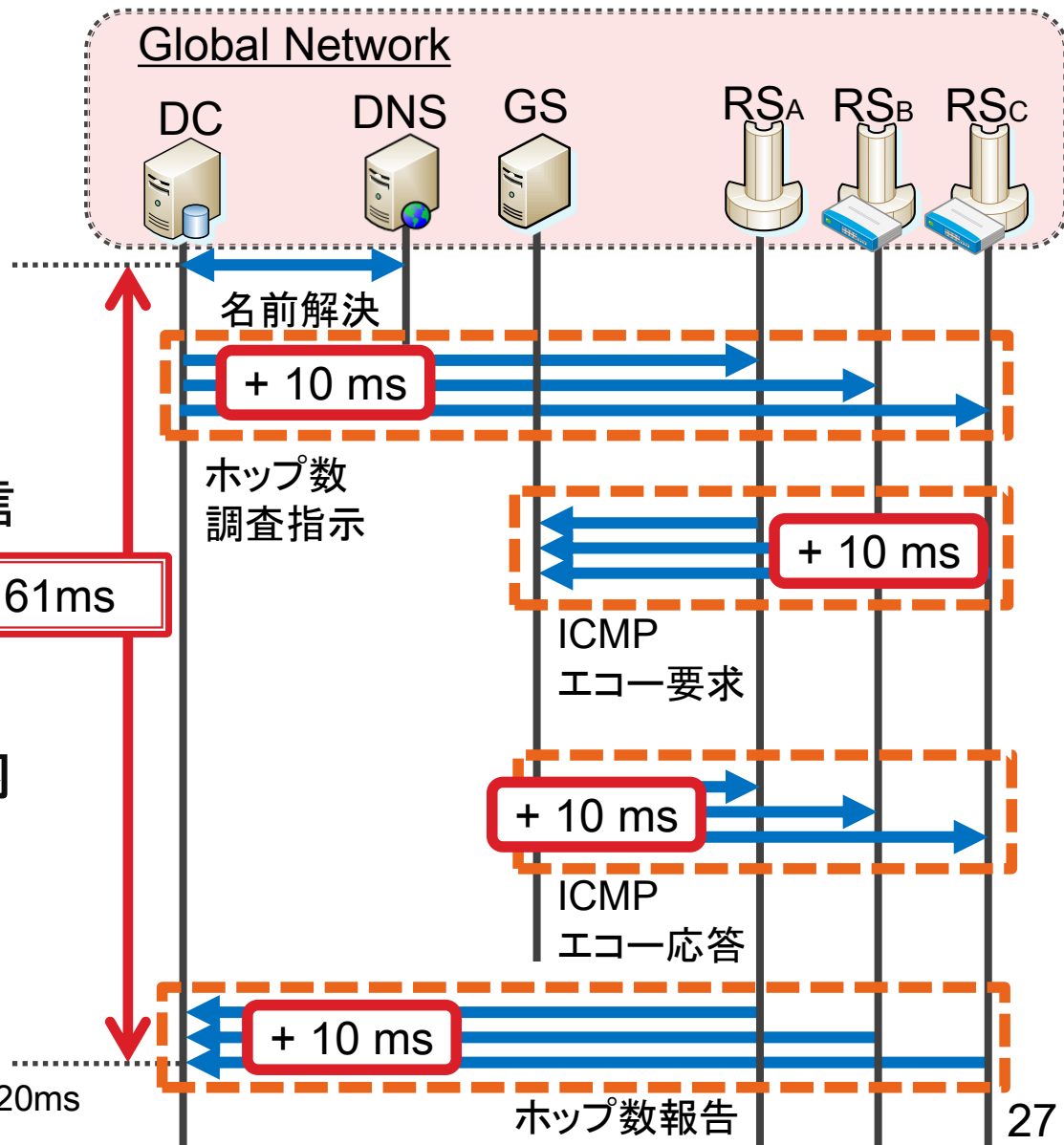
- MNより通信開始
～MN-GS間のデータ通信
実環境予測: 489ms*

▶ ホップ数調査時間は MN-GSの通信時間の内 **12.5%**を占める

* 実環境予測

国内グローバルネットワークを想定

※日本国内グローバルネットワークRTT: 約20ms



まとめ

▶ 最適なRS選択手法の提案

- RSとNTM端末間, 及びRSとGS間のホップ数を調査
 - ▶ 通信経路においてホップ数が最少となるRSを選択
- NTM端末が移動後も経路冗長化の抑制が可能
 - ▶ ネットワーク負荷の低減
 - ▶ スループットの向上

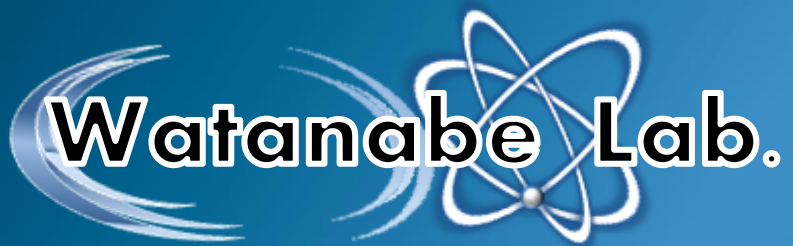
▶ 実装と評価

- ホップ数調査のプロトタイプを実装
- 仮想環境にて正常に動作することを確認

▶ 今後の予定

- 実環境における有用性の検証

補足資料



TTL初期値の推測方法

▶ TTL初期値

- GSのOSに依存

▶ TTL初期値の推測

- 経路途中で通過できるルータ数は最大でも30台まで
- 取得したTTLの値から場合分けにより初期値を推測する

取得したTTLの値	0～64	65～128	129～255
推測するTTLの初期値	64	128	255

通信経路の評価指標の比較

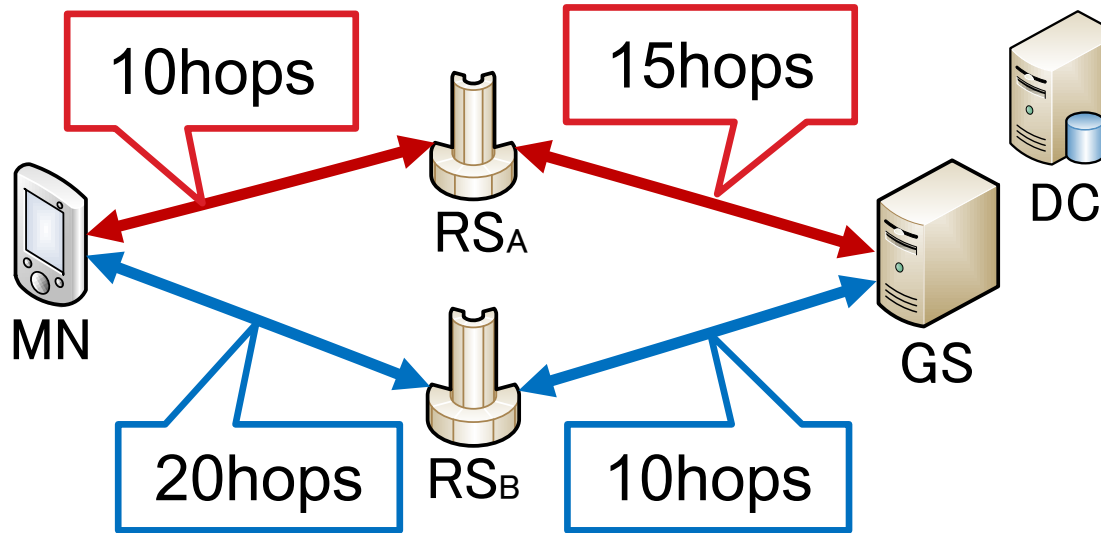
	RTT	ホップ数
通信遅延との関係	 往復通信遅延そのもの	 ルータ経由数が多いほど 伝送遅延・処理遅延発生
測定方法	 パケットの往復	 1つのIPパケットの送信
3Gネットワークとの相性 (帯域幅, 指標のぶれ)	 多数の往復が必須	 設備依存のため安定
総合評価	 頻繁な移動により ネットワークと端末に負荷	 低負荷で安定した 調査が可能

関連研究との比較

	Mobile IPv4	NTMobile
IPv4グローバルアドレスの消費	 HA・端末すべてが利用	 DC・RSが分散利用
中継装置の分散配置	 ホームネットワークに限定	 自由に可能
中継装置の選択	 限定的選択・変更不可	   最適なRSを選択可能
通信相手毎の中継装置割り当て	 利用可能なHAは1つのみ	   通信相手毎に最適なRSを利用

RSの選択について

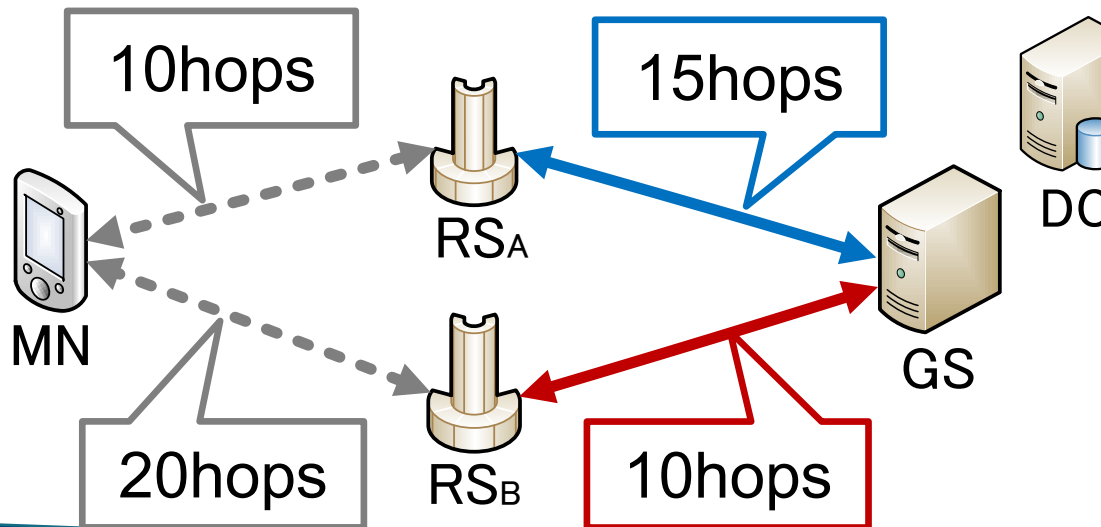
- ▶ MN～GSまで総経路ホップ数により選択した場合



Hop Table

Route	RS	Hop
MN-GS	RS _A	25hops
MN-GS	RS _B	30hops

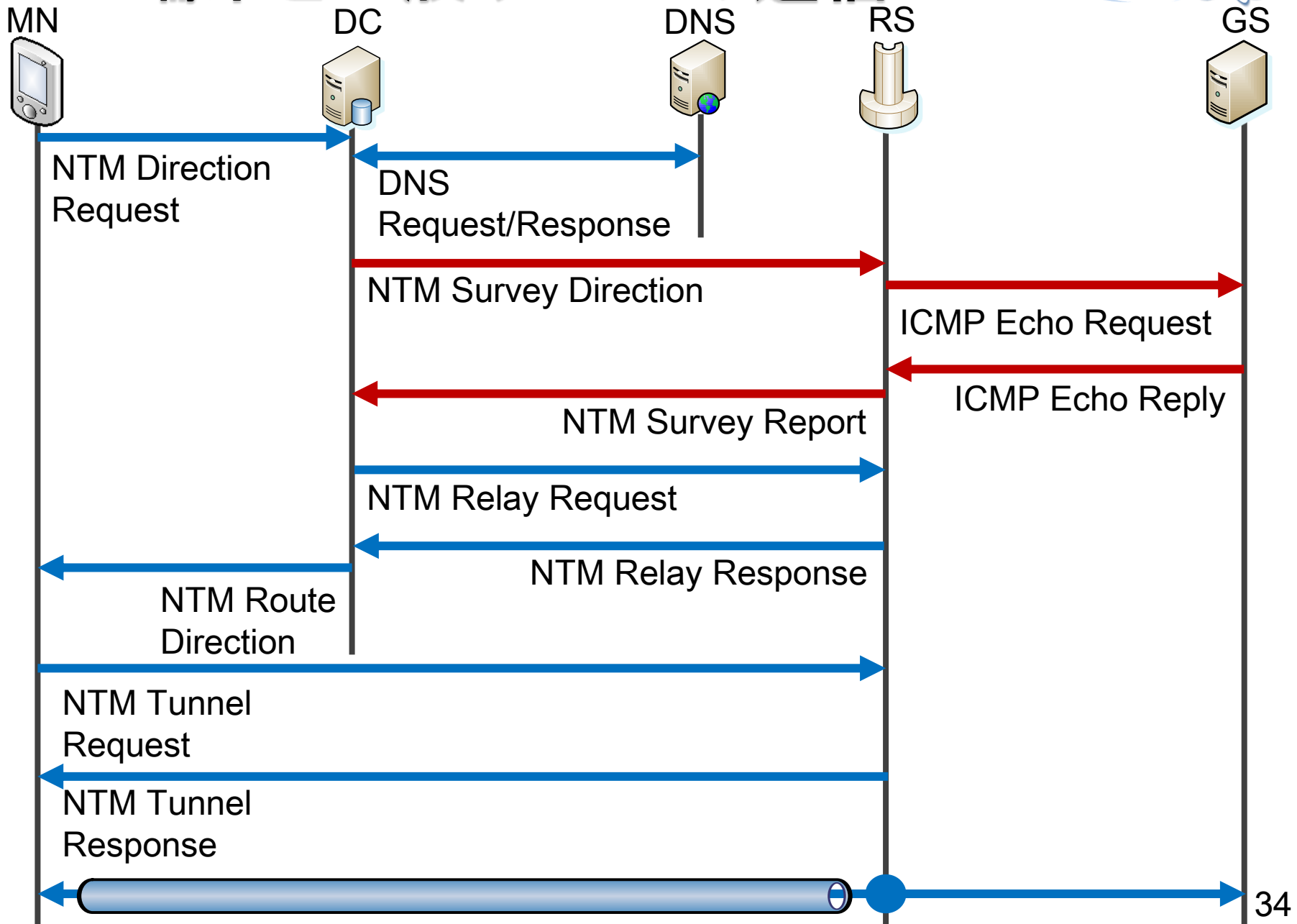
- ▶ GS～各RSまでのホップ数により選択した場合



Hop Table

Route	Hop
GS-RS _A	15hops
GS-RS _B	10hops

NTM端末と一般サーバの通信



提案方式のプロトタイプ実装

- ▶ NTMデーモンに、ホップ数調査モジュールを追加
 - IPv4上のRS選択に対応

