

# 最適なパケット中継装置選択手法の提案と実装

153430021 三宅佑佳

渡邊研究室

## 1. はじめに

モバイル端末の普及や無線通信技術の発展に伴い、インターネットのトラフィックが増加しており、通信効率の向上が求められている。そのため、通信経路の冗長は可能な限り抑えることが望ましい。通信端末が異なる NAT (Network Address Translation) 配下にあるとき、あるいは IPv4/IPv6 ネットワークが混在する環境下の相互通信においては、パケットを中継する装置が必要となる場合がある。このとき、複数の中継装置から最適な装置が選択できると有用である。中継装置の選択指標として、エンド端末と中継装置間の RTT (Round Trip Time) を用い、測定値が最小の中継装置を選択する手法が検討されている。しかし、RTT は無線環境において値が大きく、揺らぐという特性がある。そこで本稿では、無線区間を除去した経路の RTT を調査し、最適な中継装置を選択する手法を提案する。提案手法を NTMobile (Network Traversal with Mobility) [1] に実装し、性能評価を行った。

## 2. 中継装置の選択指標

### 2.1 想定するネットワーク

図 1 に想定するネットワーク構成について示す。モバイル端末 MN (Mobile Node)、複数のパケット中継装置 RS (Relay Server)、1 台の端末管理装置 DC (Direction Coordinator) によって構成される。コアネットワークはほとんど有線であるが、MN は無線で接続されることが多い。また、大陸を跨ぐネットワークは海底ケーブルで接続されている。RS は各国のグローバルネットワーク上に分散配置されている。図 1 から分かるように、MN から NAT 間の無線区間については、経路が絞られるので経路選択の余地がない。そのため、RS と NAT 間の RTT を調査し、その結果を基に RS を選択すれば良い。

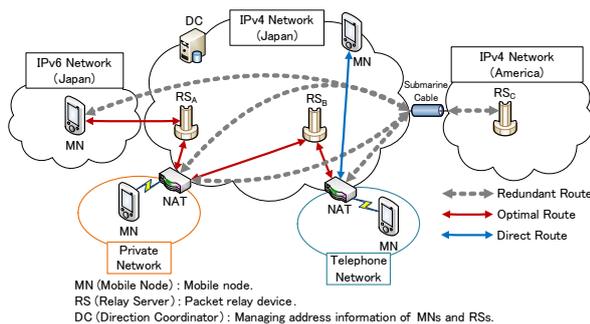


図 1: 想定するネットワーク構成

### 2.2 有線・無線における RTT

有線と無線では RTT にどの程度の違いがあるのかを調査した。無線環境 (3G)、有線環境の各環境において、日本国内の Web サーバ 8 か所とアメリカの Web サーバ 8 か所に対して ping パケットを送信して、それぞれ RTT の測定を行った。無線環境とは通信端末が 3G 経由で接続している場合、有線環境とは通信端末が有線で接続している場合である。図 2, 3 にそれぞれの環境下における国内外の

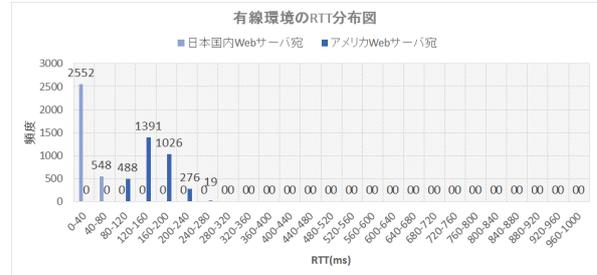


図 2: 有線環境における RTT 分布図



図 3: 3G 環境における RTT 分布図

Web サーバ宛の RTT 測定結果を示す。縦軸が頻度、横軸が RTT (ms) である。このグラフから、無線環境の RTT は、有線環境の RTT と比べて値が大きく、かつ振れ幅も大きいことが分かる。また、図 2, 3 より、有線環境では国内・国外の Web サーバ宛の RTT の分布は重なる部分がないが、無線環境ではその分布が重なっていることが分かる。

RTT を用いた経路選択指標の関連研究は多数あるが、エンド端末と中継装置間の RTT を測定するものがほとんどである。エンド端末が無線で接続されている場合、RTT による選択が困難になることが分かる。

## 3. 提案方式

### 3.1 提案方式の概要

図 1 において MN を起動した際、当該 MN を配下に持つ NAT と RS の間の RTT を調査し、その結果を DC が保管しておく。MN が通信開始時に上記の結果を基に DC が最適な RS を選択する。MN が新しいネットワークに接続するごとに新たに RTT を調査し直す。RTT の値が最小となる RS を選択することで、通信経路冗長化、及びネットワーク負荷を最小限に抑制することができる。

### 3.2 RTT の調査方法

図 4 に MN が配下にある NAT (以下 NATMN) と RS 間の RTT 調査シーケンスを示す。MN は起動時、あるいはネットワーク接続時に、DC に対して自身のアドレス情報登録処理を行う。DC は途中に NAT がある場合、受信パケットの送信元から NATMN の IP アドレスを知ることができる。DC は MN のアドレス情報登録処理後、自身の管理下にある全ての RS から NATMN までの経路について、

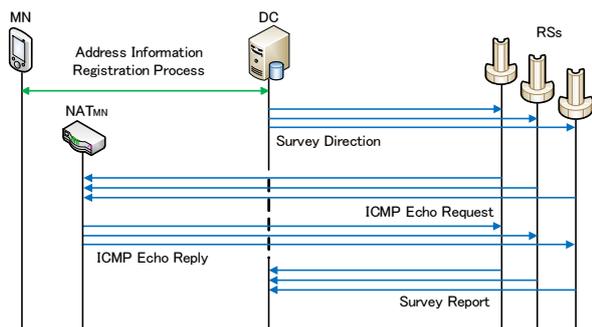


図 4: NAT と RS 間の RTT 調査シーケンス

RTT の調査を行う。RS 側から RTT を調査することにより、無線区間を除去した RTT を測定することができる。DC は各 RS に対して、NATMN の IP アドレスを記載した Survey Direction を送信し、RTT 調査を行うよう指示する。各 RS は、それぞれ NATMN に対して ICMP Echo Request を送信する。NATMN からの ICMP Echo Reply を受信すると、ICMP Echo Request の送信時刻と ICMP Echo Reply の受信時刻の差分から RTT を取得する。各 RS は RTT 取得後、Survey Report に、MN の Node ID、RS の IP アドレス、RS と NATMN 間の RTT の値を記載し、調査指示を出した DC に対して調査結果を報告する。DC は、管理下の RS から NATMN までの RTT を RTT Table に記録する。

#### 4. 実装と評価

本稿の提案手法を、NTMobile[1] の機能として実装した。NTMobile は、通信接続性と移動透過性を IPv4/IPv6 混在環境において実現する独自の通信技術であり、Linux 環境での実装、及び動作が確認されている。NTMobile ではエンド端末間が直接通信できない場合に中継装置 RS を経由する。RS は複数設置できるが、RS の選択方法は定められていなかった。そこで、本提案手法を NTMobile の RS 選択に適用した。NTMobile において、MN のアドレス管理を行う DC、パケット中継装置である RS に対して、提案方式のプロトタイプの実装を行った。

##### 4.1 実装

DC はユーザ空間の NTMobile デーモンと、BIND を利用した DNS により構成される。DC の NTMobile デーモン内に、RTT 調査を行う Route Survey モジュールのプロトタイプの実装を行った。

RS はユーザ空間の NTMobile デーモンと、カーネル空間の NTMobile カーネルモジュールによって構成される。RS にも、NTMobile デーモンに RTT 調査を行う Route Survey モジュールのプロトタイプの実装を行った。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 モジュールが IP ヘッダを含むパケットを受信可能とした。また、RTT の調査を行う際、ICMP Echo Request / Reply を Raw ソケットにより作成した。

##### 4.2 評価

仮想環境において、NAT と各 RS 間の RTT 調査における処理時間を計測し、性能評価を行った。図 5 に性能評価を行った仮想環境を示す。仮想マシンの構成は表 1 に示す通りである。実環境での調査時間の検討の為、各仮想マシンに遅延を発生させて測定を実施した。DC、RSA が日本国内のグローバルネットワーク上、RSB が日本国外（ア

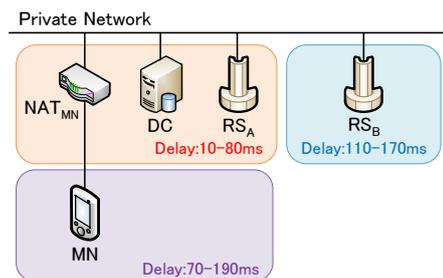


図 5: 動作検証におけるネットワーク構成

表 1: 仮想マシンの構成

	DC, MN, RSA, RSB	NAT
OS	Ubuntu 12.04	Ubuntu 12.04
Linux Kernel	3.2.0-37-generic	3.2.0-37-generic
CPU	Intel Core i7-2600	Intel Core i7-2600
Memory	各 1GB	各 512MB

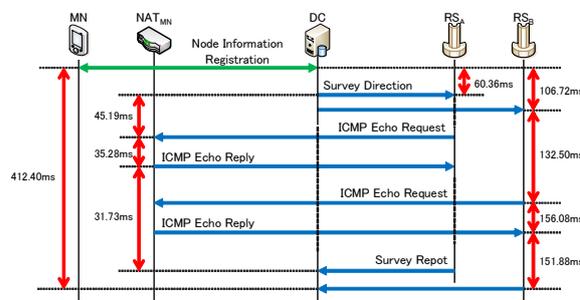


図 6: RTT 調査時間

メリカ)のグローバルネットワーク上に存在し、MN が 3G ネットワークに接続することを想定した。仮想マシンの遅延は、DC、NAT、RSA にそれぞれ 10ms から 80ms の間、RSB に 110ms から 170ms の間、MN に 70ms から 190ms の間でパレート分布に基づき遅延が生じるよう設定した。

図 6 に RTT 調査時間を示す。RTT 調査にかかった時間は DC にて Wireshark<sup>1</sup> により取得し、試行回 40 回の平均時間を示す。DC と MN 間でアドレス情報登録処理が完了してから、DC が各 RS から Survey Report を受信するまで、すなわち RTT 調査にかかる時間の内訳を示している。国内に設置した RSA と NAT 間の RTT は平均 35.28ms、国外に設置した RSB と NAT 間の RTT は平均 156.08ms であった。この測定結果から、国内外の RS の区別は明確に可能であり、最適な RS を選択することができるという。

##### 4.3 まとめ

RS 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し、そのプロトタイプを NTMobile の機能として DC、及び RS に実装した。動作検証の結果、仮想マシンのネットワークにおける MN が配下にある各 NAT と各 RS 間までの RTT の測定が正常にできることを確認した。

##### 参考文献

- [1] 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, Jan 2013.

<sup>1</sup><https://www.wireshark.org/>

# 最適なパケット中継装置選択手法の 提案と実装

---

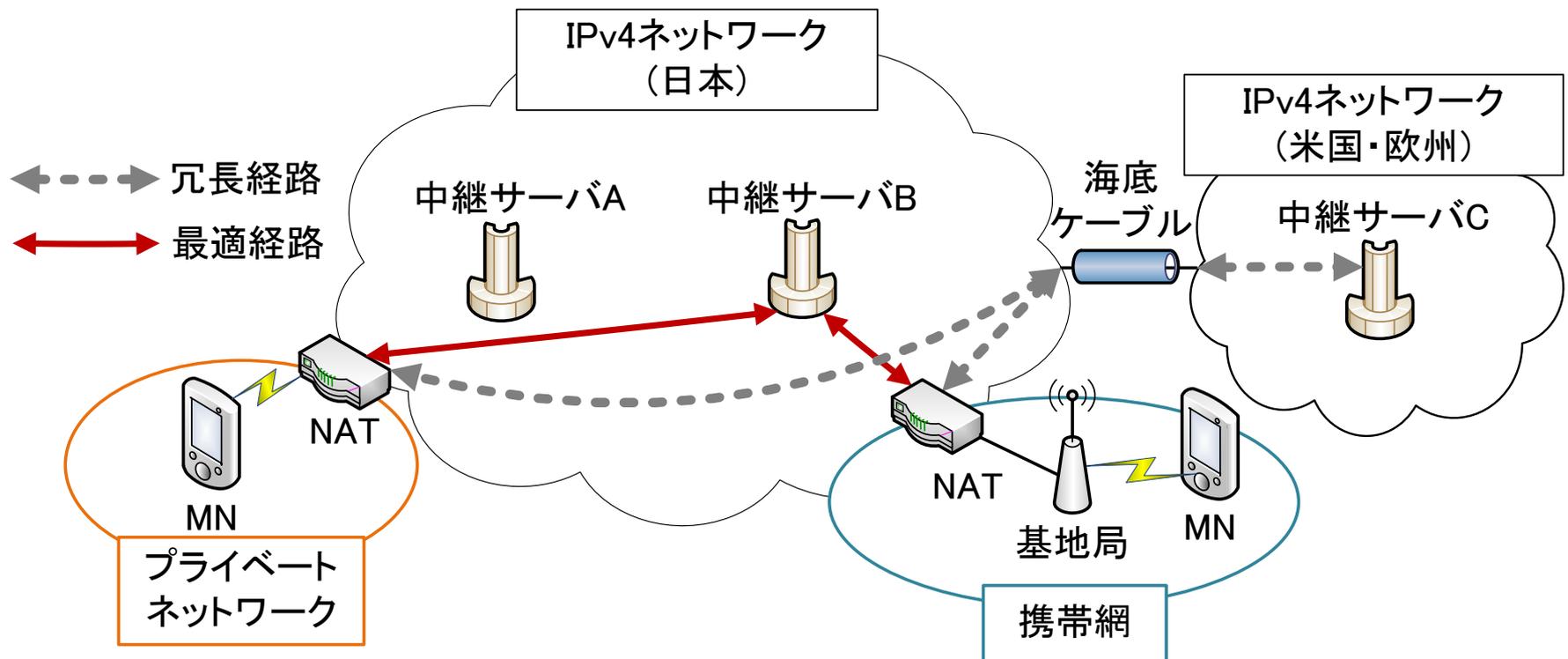
名城大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻  
渡邊研究室

153430021 三宅佑佳



## ◆現状のネットワーク

- コアネットワークは有線・多くの通信端末MN (Mobile Node)は無線
- 大陸間のネットワークは海底ケーブルで接続されている
- 時間経過によりトラフィックが大きく変化
- 通信において中継サーバが必要となる場合がある
  - 通信端末が異なるNAT (Network Address Translation) 配下にある場合

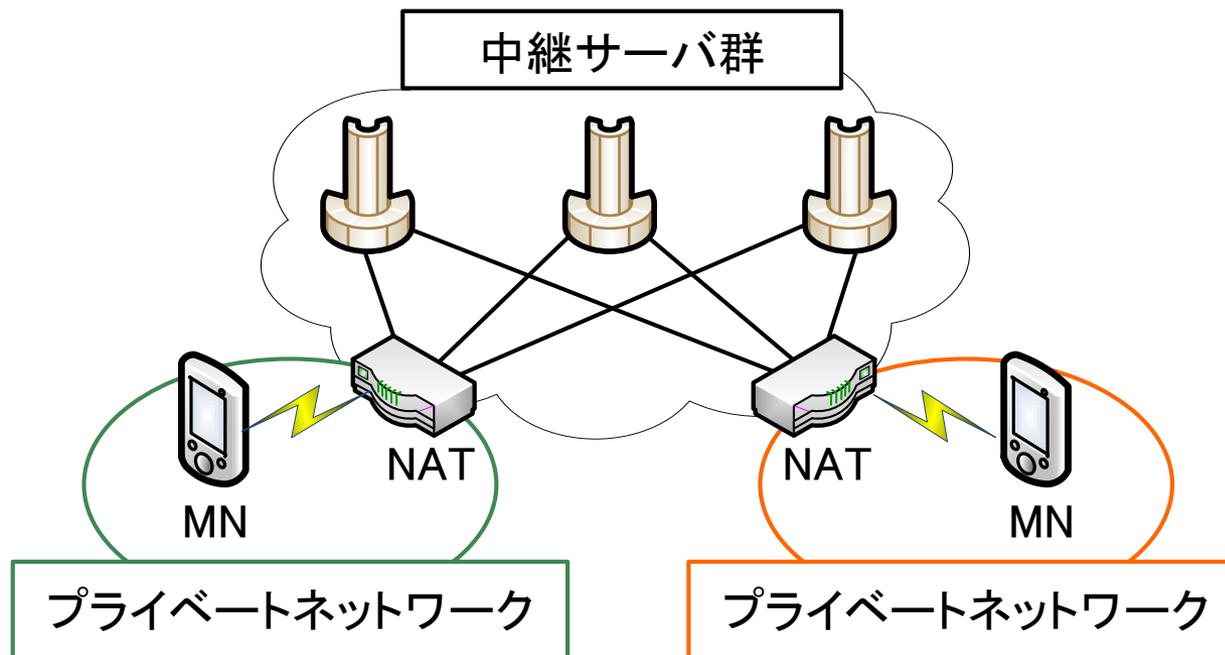


## ◆最適な中継サーバを選択する手法

- パケット往復時間RTT(Round Trip Time)を用いた選択手法を検討

$$\text{スループット(bps)} = \text{TCPウィンドウサイズ(KB)} * 8 / \text{RTT(s)}$$

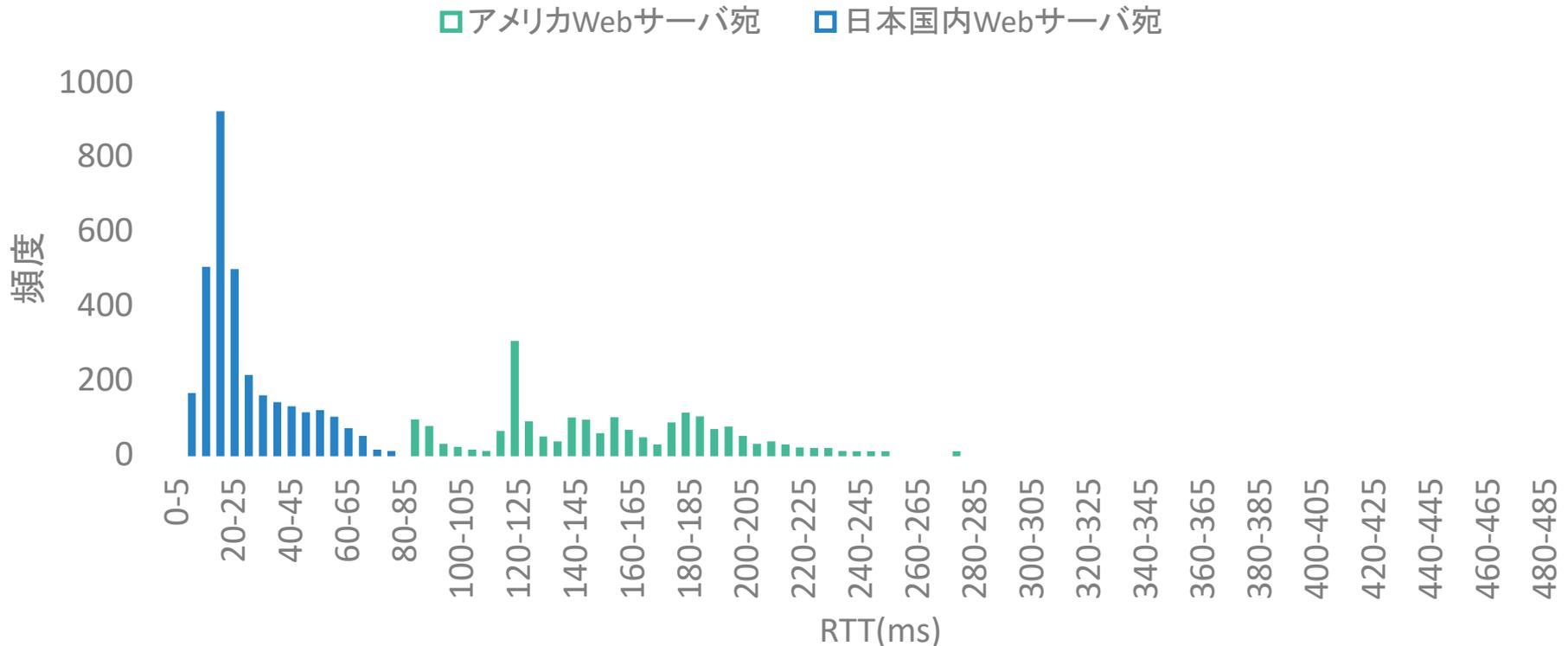
- これまでも通信経路やサーバの選択指標としてエンド端末間の経路のRTTを用いる手法が多数検討
  - RTTは無線環境で値が大きくなり、揺らぐという特性をもつ
    - ➡ 無線で接続されたエンド端末からRTTを測定すると正確性に欠ける



## ◆有線環境と無線環境でのRTTの違いについて

- 4日間に渡り23:00前後にRTTを測定
  - 1日のトラフィックの推移のうち、23:00前後が最も混雑している時間帯であったため
- 日本国内, アメリカのWebサーバに対して実施

### 有線環境RTT分布図

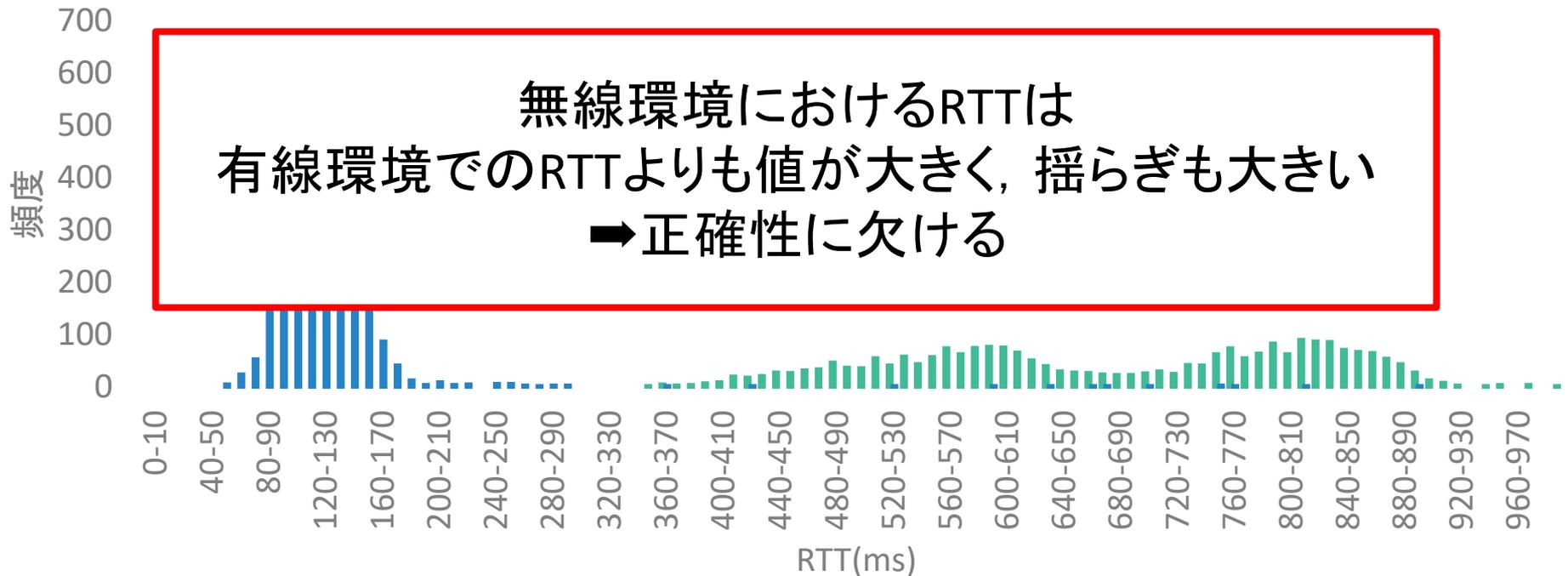


## ◆有線環境と無線環境でのRTTの違いについて

- 4日間に渡り23:00前後にRTTを測定
  - 1日のトラフィックの推移のうち、23:00前後が最も混雑している時間帯であったため
- 日本国内, アメリカのWebサーバに対して実施

### 無線(3G)環境RTT分布図

□ アメリカWebサーバ宛   □ 日本国内Webサーバ宛



## ◆ 平均値算出時の基となるデータ数とRTTのばらつきについて

- 96時間(4日間)有線環境にてRTTを測定
  - 5分毎に3回ずつ測定パケットを送信して測定
  - 日本国内, アメリカ, ヨーロッパのWebサーバに対して実施

## ◆ RTTの標準偏差

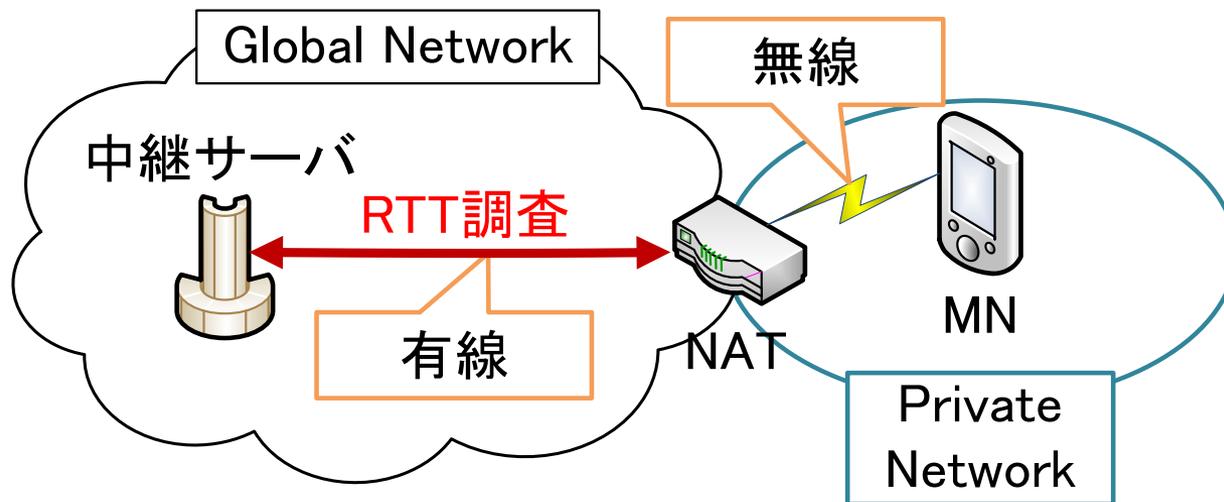
	日本 (www.facebook.com)	アメリカ (www.apn-gcr.org)	ヨーロッパ (www.dailymotion.com)
平均を取らない場合	5.82	5.77	5.67
2値の平均	4.82	4.92	4.91
3値の平均	4.40	4.61	4.51
5値の平均	3.96	4.34	4.12
10値の平均	3.40	4.06	3.67
15値の平均	3.14	3.86	3.44
20値の平均	2.97	3.68	3.23

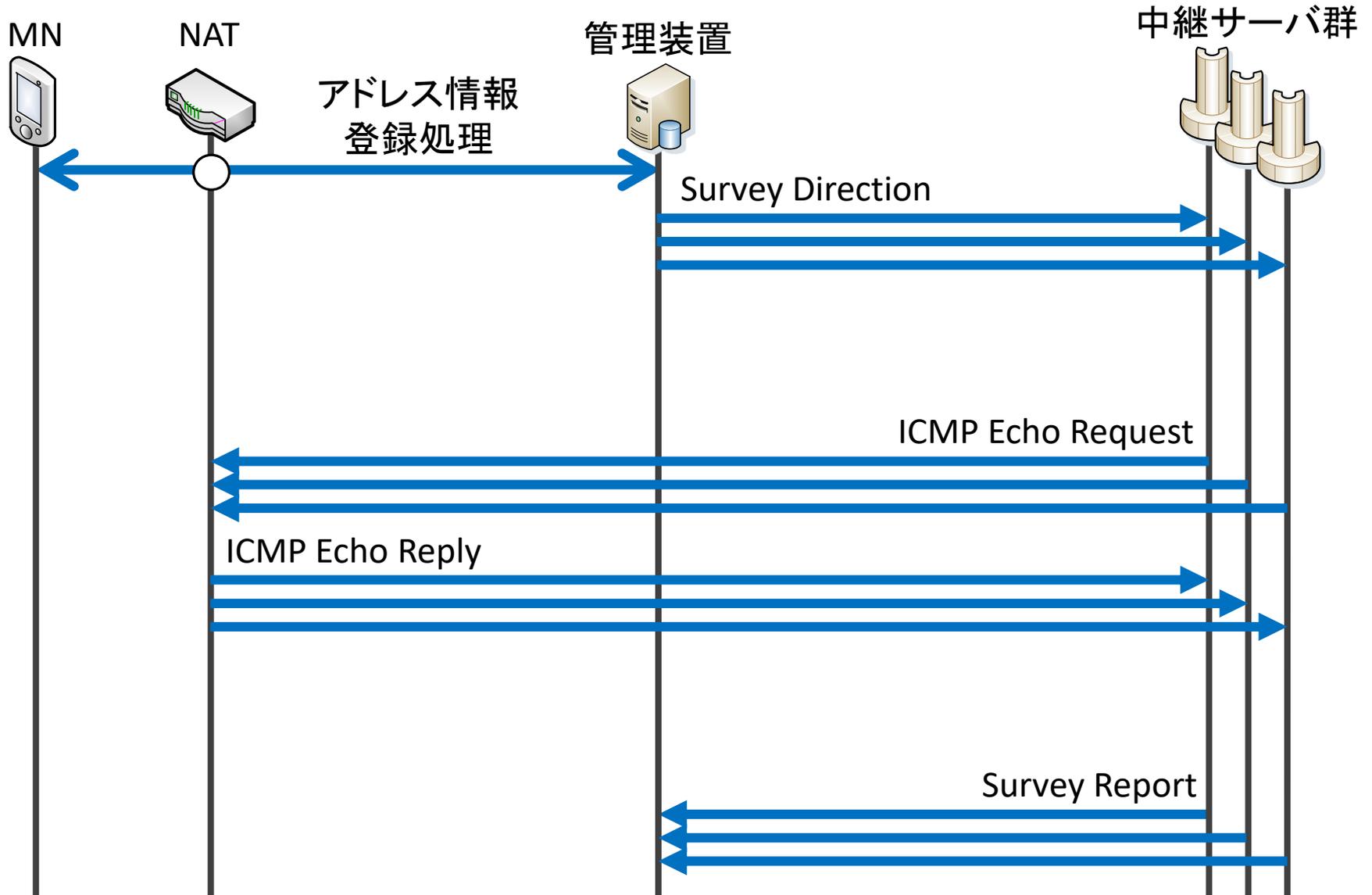
  

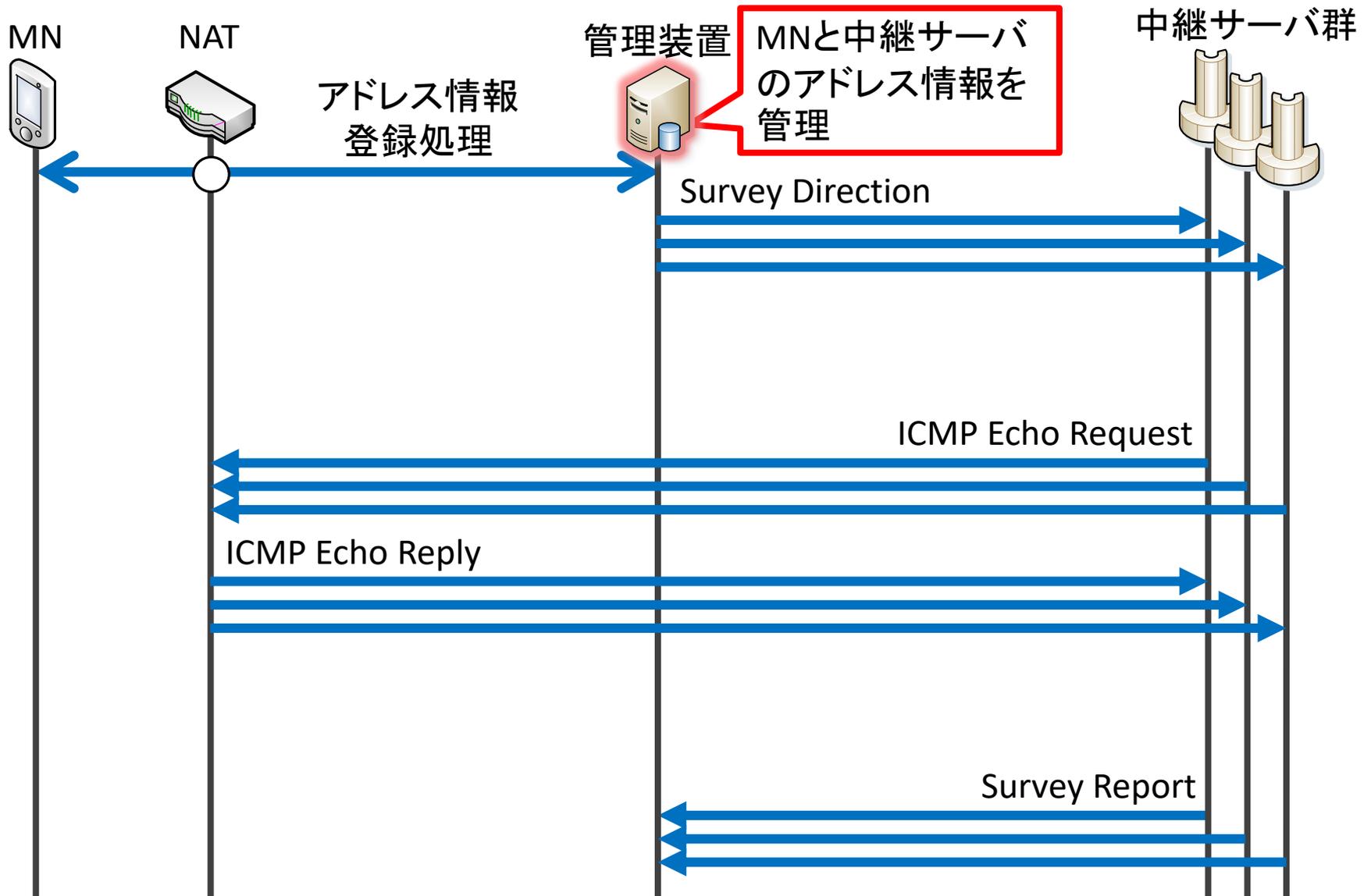
	-1.86	-1.43	-1.55
	-0.56	-0.28	-0.45
	-0.26	-0.20	-0.23
	-0.17	-0.18	-0.21

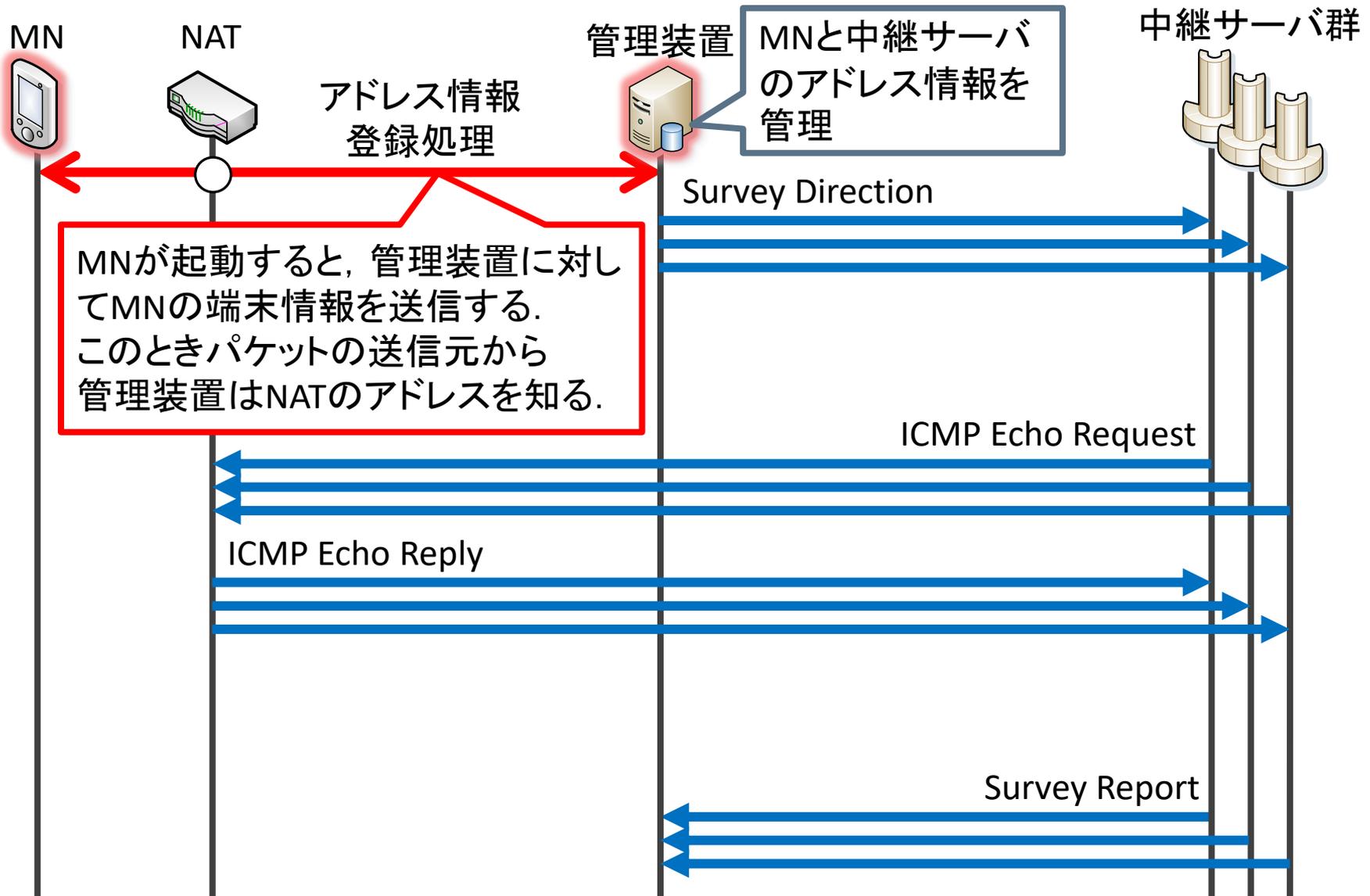
## ◆最適な中継サーバを選択する手法を提案

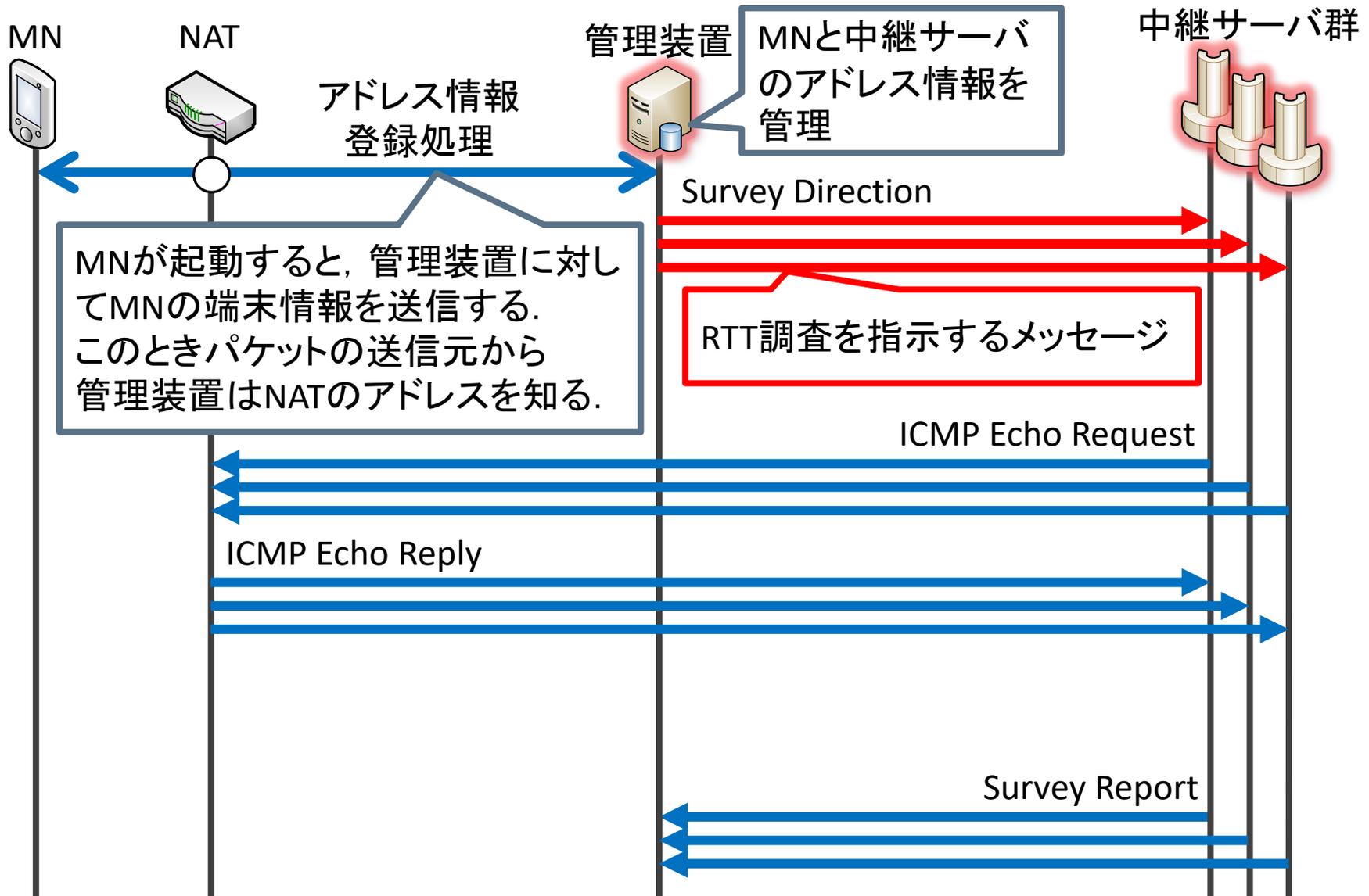
- RTTを選択指標として用いる
  - RTTが最小となる中継サーバを選択
- MN起動時・ネットワーク接続時にNATと中継サーバ間の**有線区間**を調査
  - MNはグローバルネットワーク上にあるサーバとの通信の際にNATを経由するため
  - NATが無い場合は中継サーバとデフォルトゲートウェイ間の通信経路を調査
- RTT調査を複数回実施
  - 複数回分の測定値の平均をとることにより正確な選択指標に

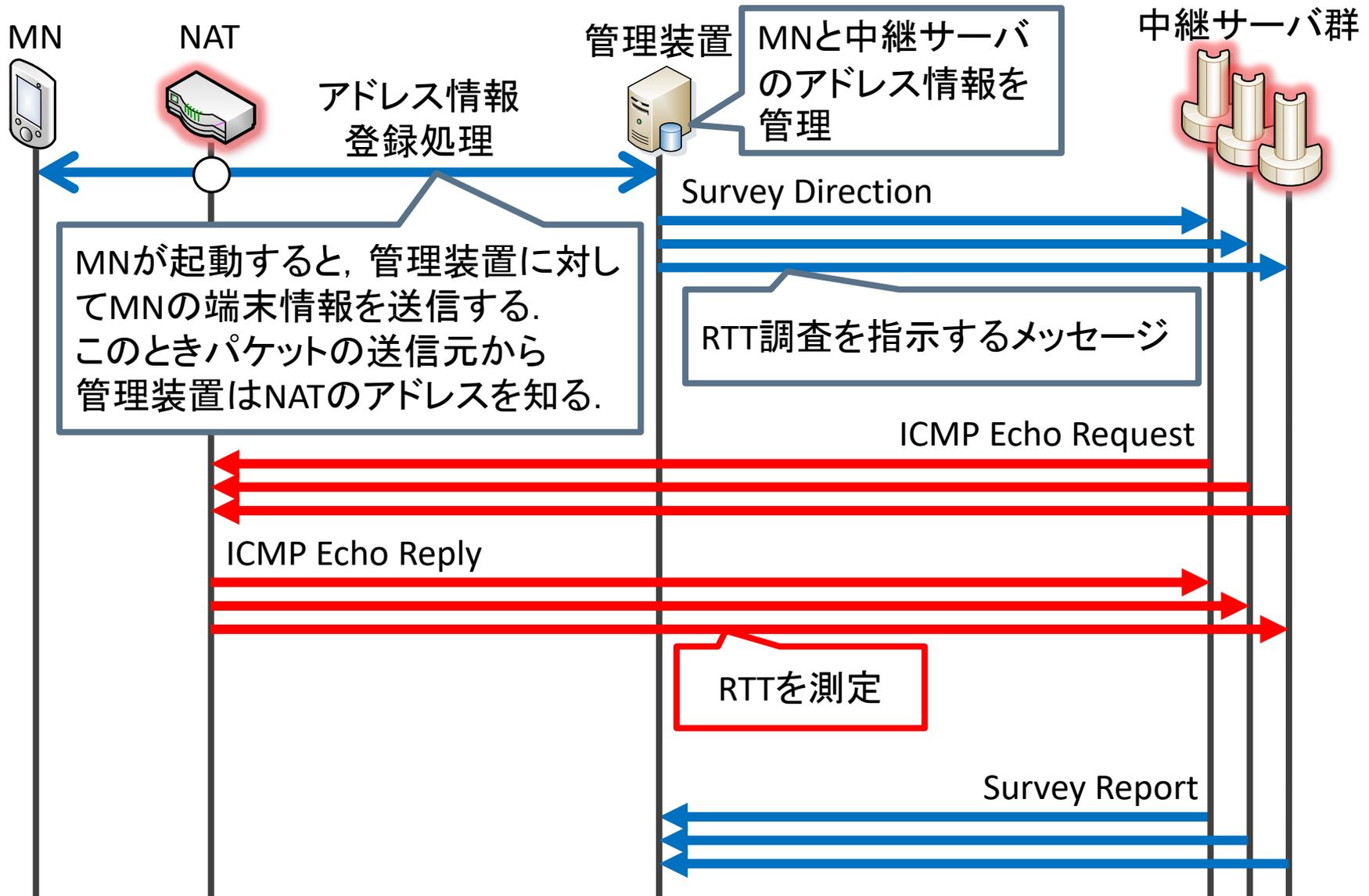




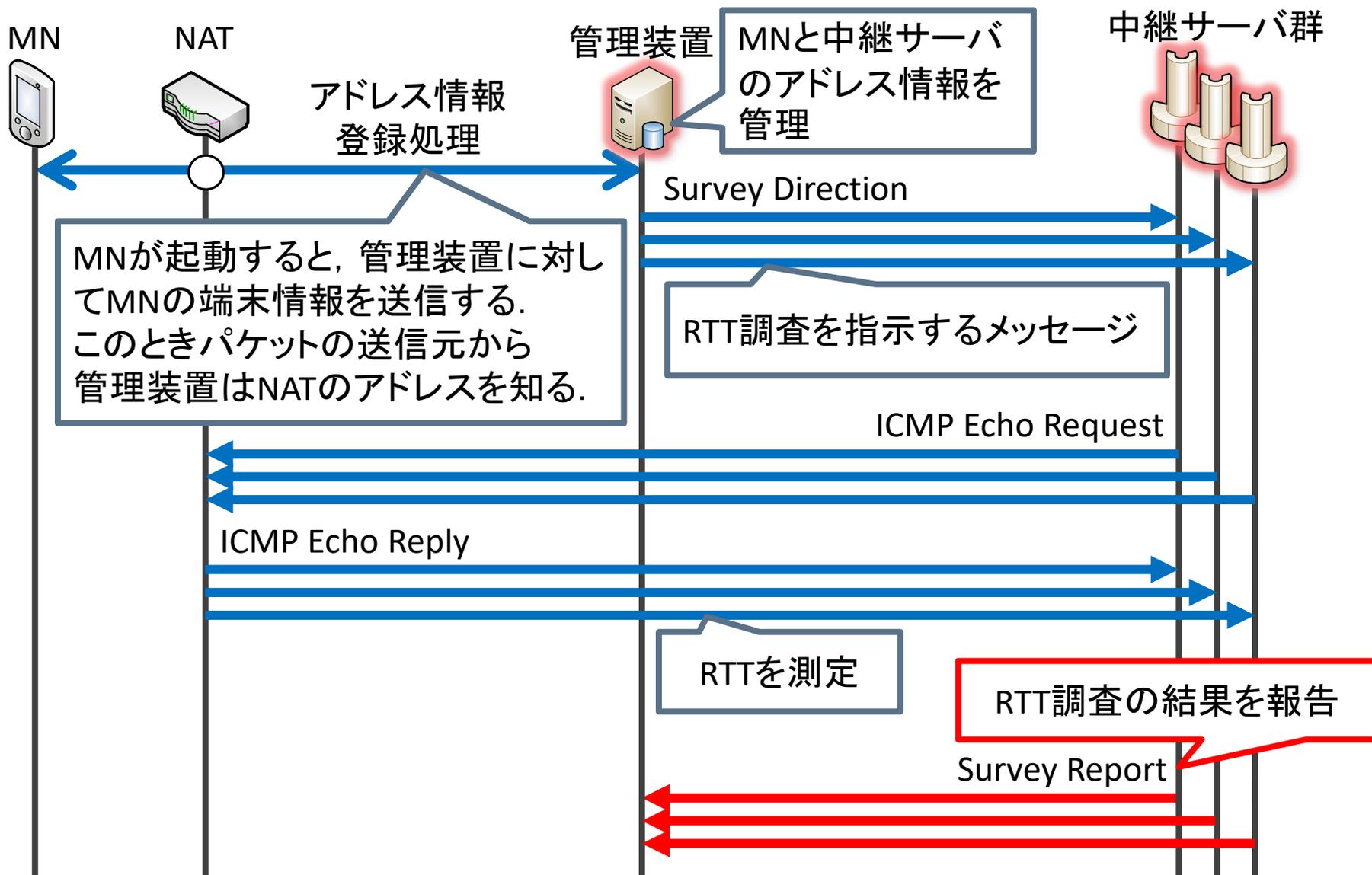




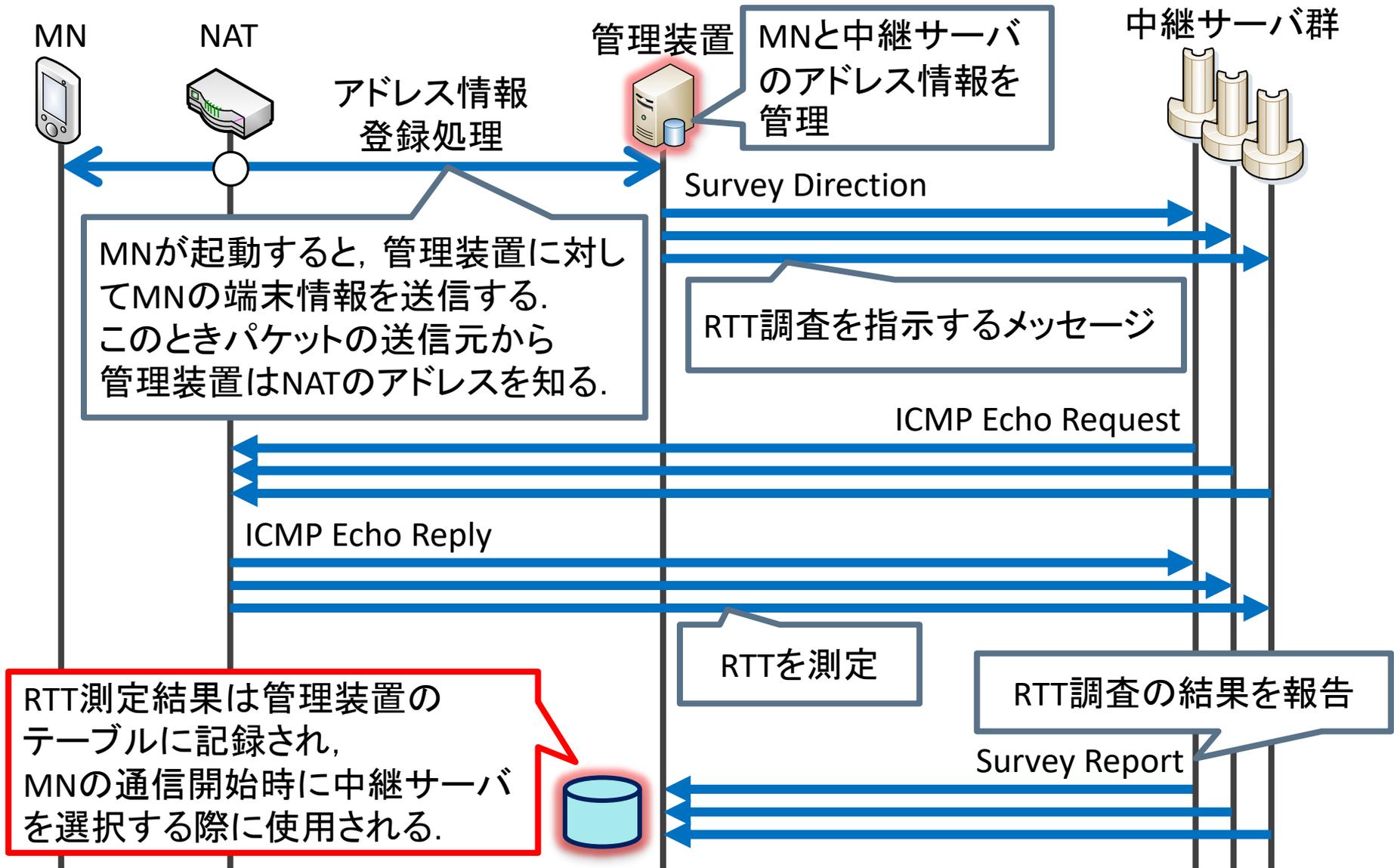




# RTT調査



# RTT調査



# 中継サーバの選択方法

## ◆モバイル端末間の通信

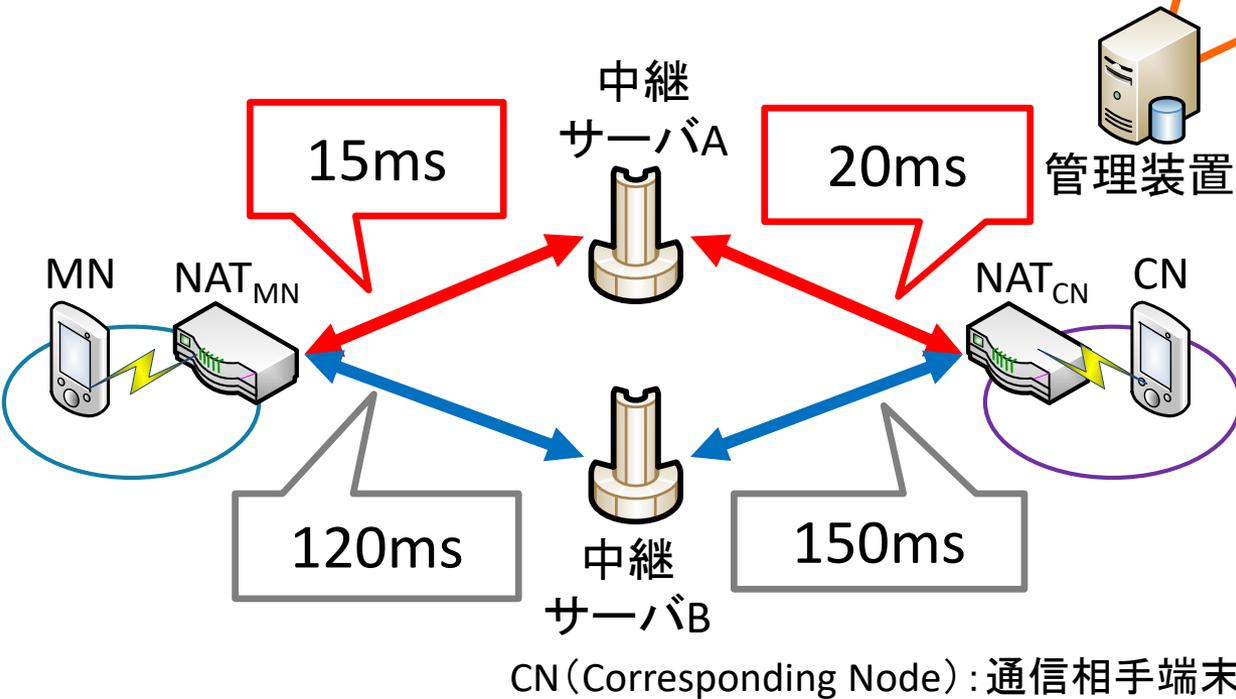
- 中継サーバを経由した経路で無線区間を除いてRTTを測定
  - 各NATと各中継サーバの間の通信経路のRTTの値を算出
- 複数回RTTの測定を実施
  - 測定結果の平均値から適切な中継サーバを選択する
  - 過去5回分の測定値の平均を基に中継サーバを選択

RTT Table

Node	中継サーバ	RTT
MN	中継サーバA	15ms
MN	中継サーバB	20ms
CN	中継サーバA	120ms
CN	中継サーバB	150ms

↓ 総経路のRTTを算出

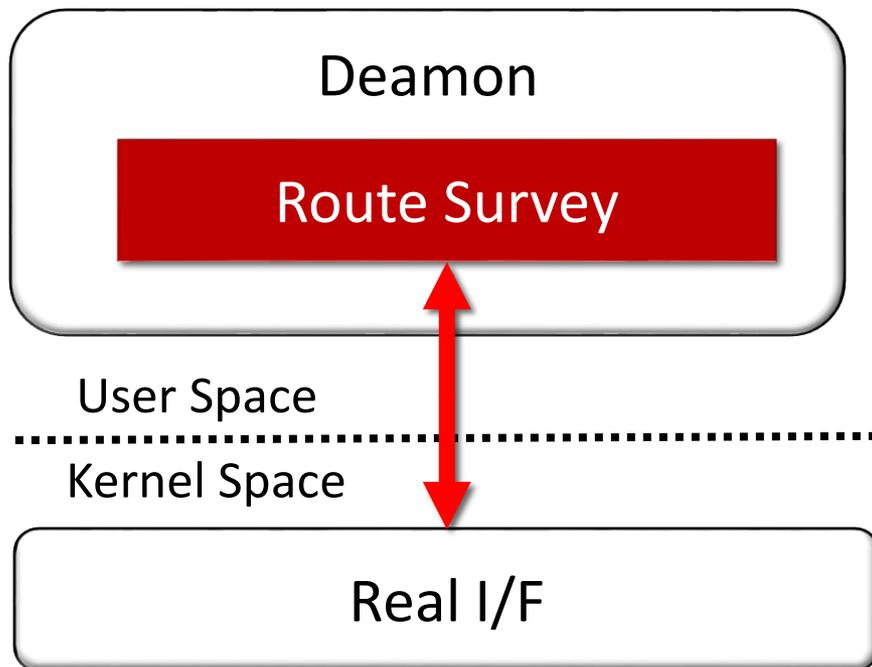
Route	中継サーバ	RTT
MN-CN	中継サーバA	35ms
MN-CN	中継サーバB	270ms



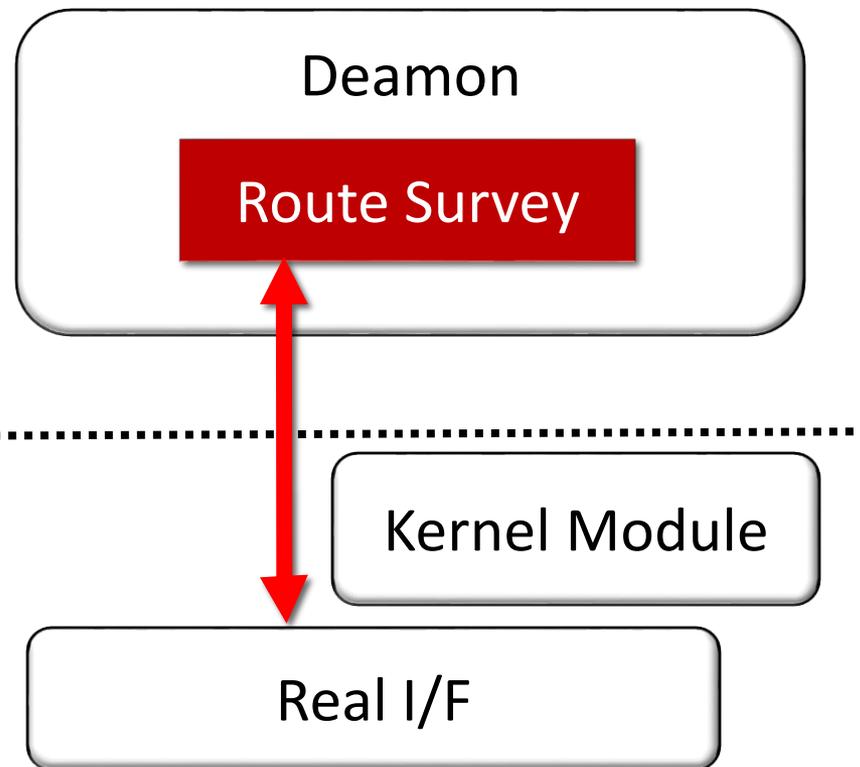
## ◆各装置にRTT調査のモジュールを実装

- 仮想マシン上で動作確認済み
- 本プロトタイプにて性能評価を実施

### 管理装置

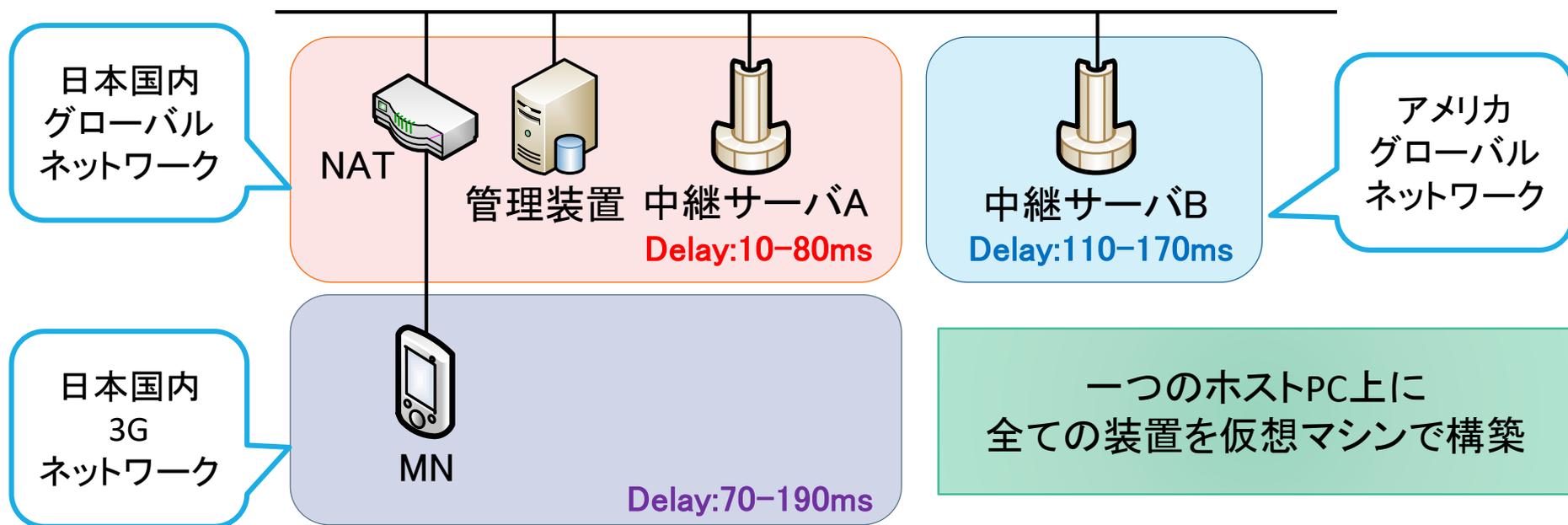


### 中継サーバ



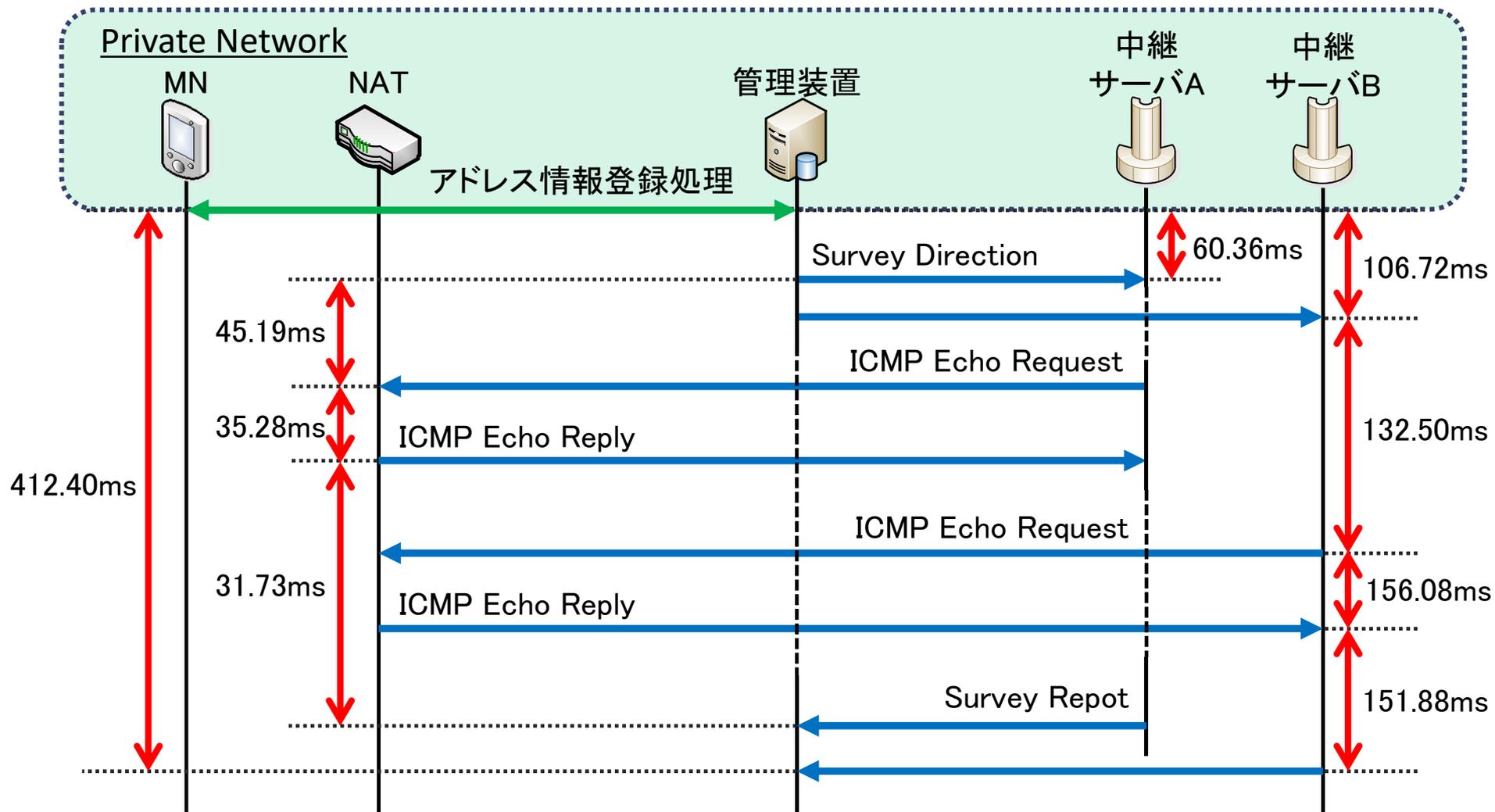
# 性能評価における装置仕様

仮想マシン	管理装置, MN, 中継サーバA・B	NAT	ホストPC	
OS	Ubuntu 12.04 32bit	Ubuntu 12.04 32bit	OS	Windows10 64bit
Kernel Version	3.2.0-37-generic	3.2.0-37-generic	CPU	Intel Core i7-2600 3.40GHz
CPU割り当て	各1Core	各1Core	メモリ	16.00GB
メモリ割り当て	各1GB	各512MB		



## ◆ RTT調査実施時間

- 試行回数40回の平均時間



## ◆最適な中継サーバ選択手法の提案

- 通信経路においてRTTが最小となる中継サーバを選択
  - NAT-中継サーバ間の無線区間を除去した通信経路のRTTを調査
    - RTTは無線環境下で値が大きくなり、揺らぐという特性があるため
  - 定期的に複数回測定実施して平均値を選択指標とする

➡ より正確に適切な中継サーバを選択することができる

## ◆実装・評価

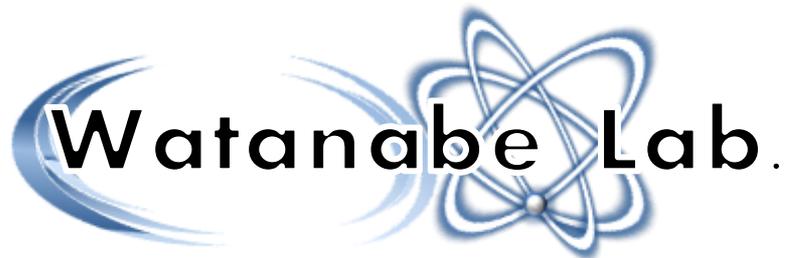
- RTT調査のプロトタイプを実装
- 仮想環境にて正常に動作することを確認

## ◆今後について

- 提案手法におけるRTT測定間隔について検討
- 帯域幅の測定も組み合わせてより適切な中継サーバを選択できるよう検討

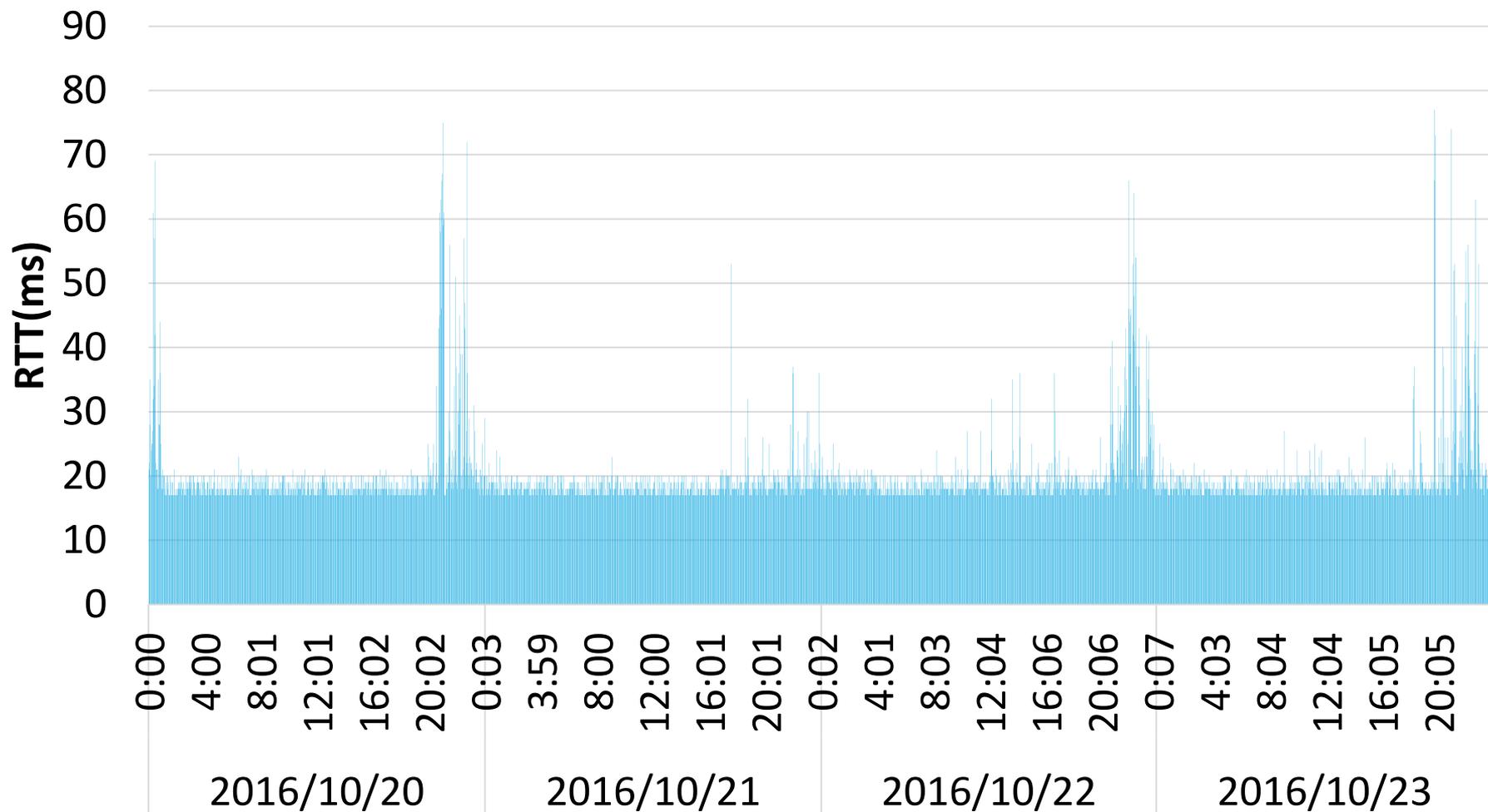
# 補足資料

---



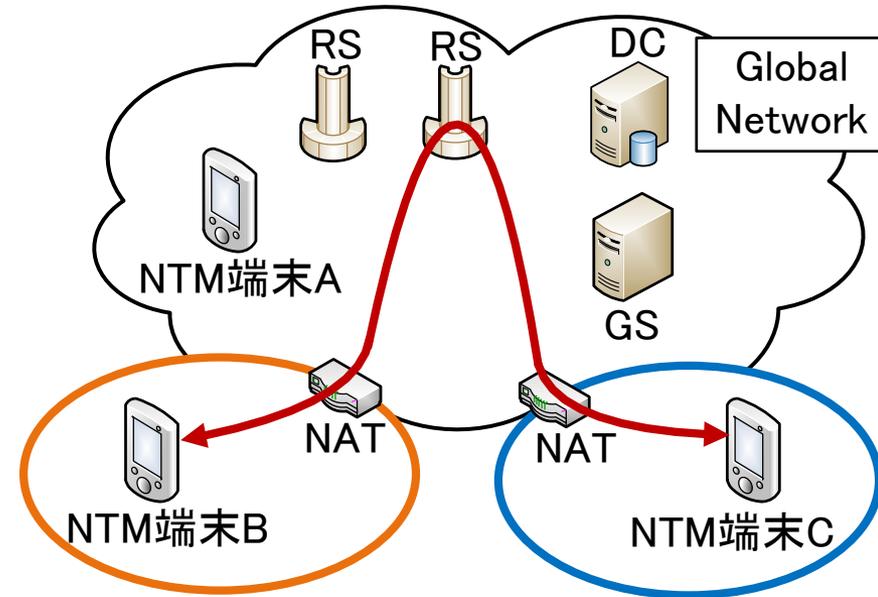
# 時間経過によるRTTの変化の一例

## 日本国内Webサーバ(www.facebook.com)宛ての RTT測定結果



## ◆ 通信接続性・移動透過性を同時に実現する技術

- NTM端末 (NTMobile Node)
  - 仮想IPアドレスにより通信を識別
  - 基本的に端末間の直接通信
- RS (Relay Server)
  - 直接通信できない場合の通信を中継
    - IPv4/IPv6混在環境での相互通信の場合
    - 異なるNAT配下の端末間通信の場合
    - 一般サーバ(GS)との通信の場合
  - ネットワーク上に分散配置可能
  - 通信毎に適切なRSを選択可能
  - NTM端末同士の通信の場合は通信中にRS切り替え可能
- DC (Direction Coordinator)
  - アドレス情報とNTM端末やRSの管理
  - ネットワーク上に分散配置可能



GS (General Server) : 一般サーバ