

# NTMobileにおける通信経路冗長化を抑制する リレーサーバ選択手法の提案

若杉純<sup>†</sup> 土井敏樹<sup>‡</sup> 鈴木秀和<sup>†</sup> 内藤克浩<sup>††</sup> 渡邊晃<sup>†</sup>

<sup>†</sup>名城大学理工学部 <sup>‡</sup>名城大学大学院理工学研究科 <sup>††</sup>三重大学大学院工学研究科

## 1 はじめに

スマートフォンなどの通信端末や無線通信技術の普及により、自由に通信ができ、かつ通信中にネットワークを切り替えたいという要求が高まっている。接続するネットワークの構成に関わらず通信を開始できる通信接続性と、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 [1]。

NTMobile では端末どうしが直接通信を行うことが基本であるが、特定の条件下ではRS (Relay Server) を経由して通信を行う。NTMobile ではRSの分散配置と選択が可能である。そこで、本稿ではNTMobileを実装した端末からRSまでのルータ経由数を調査し、冗長化を最も抑制した通信経路を実現するRS選択手法を提案する。

## 2 NTMobile

### 2.1 NTMobileの動作

NTMobile は、NTMobile を実装した通信端末 (NTM 端末)、共に NAT 配下にある NTM 端末どうしの通信や、一般端末との通信を中継する RS、NTM 端末や RS を管理する DC (Direction Coordinator) により構成される。RS と DC はグローバルネットワーク上に配置される。

NTM 端末のアプリケーションは、DC から配布された仮想 IP アドレスを識別子として利用する。NTM 端末は起動時に、DC に対して実 IP アドレスの登録を行い、仮想 IP アドレスを取得する。NTM 端末は通信開始時に、DC に対して経路指示を依頼する。DC から指示された通信相手までのトンネルを構築し、仮想 IP アドレスによるパケットを実 IP アドレスでカプセル化する。端末どうしが直接通信できない場合、DC は NTM 端末に対して、RS との間にトンネルを構築し、RS を経由した通信を行うように指示する。

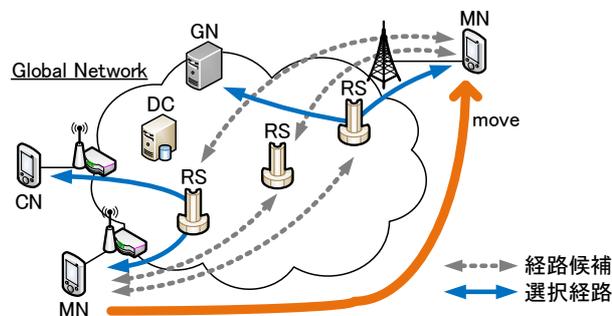


図 1: NTMobile のネットワーク構成と RS 選択

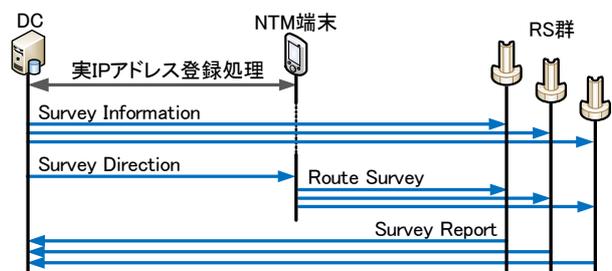


図 2: NTM 端末から RS までのホップ数調査

NTM 端末はネットワークを移動すると、DC に対して実 IP アドレスの更新処理を行う。このとき DC の経路指示により新しいトンネルが構築されるが、仮想 IP アドレスが変化しないため通信は継続される。

### 2.2 RS を経由することによる課題

図 1 において、MN (Mobile Node), CN (Correspondent Node) は NTM 端末、GN (General Node) は一般端末である。

RS を経由した通信では、経路の冗長化によるスループットの低下が懸念される。よって図 1 に示すように、NTM 端末が移動した先々において、経路の冗長化を抑えた適切な RS を選択することが求められる。

## 3 提案方式

### 3.1 提案方式の動作

通信経路の冗長化を抑制するため、通信経路のルータ経由数 (ホップ数) を最小とする RS 選択手法を提案する。図 2 に示すように、NTM 端末が DC へ実 IP アドレスの登録を行うと、その都度 DC は NTM 端末から RS までのホップ数の調査を実施する。DC は調査結果を基に、NTM 端末にとって最適な RS を選択する。

### Proposal of the Nearest Relay Server Selection Method in NTMobile

Jun Wakasugi<sup>†</sup>, Toshiki Doi<sup>‡</sup>, Hidekazu Suzuki<sup>†</sup>, Katsuhiko Naito<sup>††</sup>, and Akira Watanabe<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Faculty of Science and Technology, Meijo University

<sup>‡</sup>Graduate School of Science and Technology, Meijo University

<sup>††</sup>Graduate School of Engineering, Mie University

### 3.2 ホップ数の調査

NTMobile の前提によると、NTM 端末と RS の間には信頼関係がない。そのため両者と信頼関係がある DC が一時鍵を生成・配布することにより、調査時において NTM 端末と RS の間に一時的な信頼関係を構築する。

DC は管理下の RS に対し、NTM 端末の情報と調査用一時鍵を、Survey Information により通知する。また NTM 端末に対し、RS の IP アドレスと調査用一時鍵などを含む Survey Direction を送信し、RS までのホップ数調査を指示する。

ホップ数は、IP ヘッダ内の TTL (Time to Live) を用いて調査する。Route Survey は、NTM 端末から RS までの経路における、TTL の変化を見るためのメッセージである。TTL の初期値はカーネルによって異なるため、NTM 端末は自身が生成する TTL の初期値を取得する。そして Route Survey に TTL 初期値などを記載し、改ざん検知のために調査用一時鍵を用いた MAC (Message Authentication Code) を付加し、各 RS へ送信する。

RS は Route Survey の MAC 認証を行う。認証により正規のパケットであると判断したとき、メッセージの IP ヘッダ内の TTL と、Route Survey メッセージ内の TTL 初期値の差をホップ数とする。そして Survey Report により、DC へ調査結果を報告する。

### 3.3 RS の選択

DC は、MN から CN への通信開始時においては、各 RS を経由したときの総経路のホップ数を算出し、最もホップ数が小さくなる RS を選択する。MN または CN の一方から各 RS までのホップ数調査を終了していない場合、それぞれの NTM 端末が調査済みの RSの中から、各 NTM 端末から見て最も近い RS を選択する。MN から CN への通信においては、MN に最も近い RS を利用することにより、経路の冗長化を抑制する。

## 4 実装と動作検証

### 4.1 実装

NTMobile は Linux 環境での実装が行われている。DC, RS, および NTM 端末には、NTMobile の制御メッセージを交換する NTM デーモンが、ユーザスペースに実装されている。DC, RS および NTM 端末の NTM デーモンを拡張し、3.2 節に示したホップ数調査を行うモジュールをプロトタイプとして実装した。

RS では Route Survey を受信したとき、IP ヘッダ内の 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フェースである PF\_PACKET を利用した。

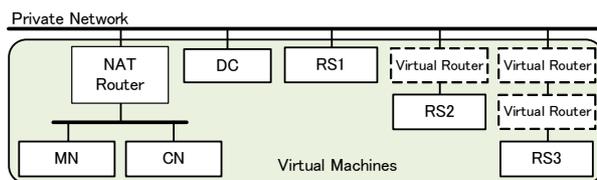


図 3: ネットワーク構成

DC の NTM デーモンには、MN および CN から各 RS までのホップ数調査の結果を基に、MN と CN の通信において適切な RS を選択する処理を追加した。

### 4.2 動作検証

図 3 に、動作検証を行ったネットワークの構成を示す。VMware Player 6.0.1 を利用し、Ubuntu 10.04 上に DC, 3 台の RS (RS1, RS2, RS3), そして MN と CN を構築した。DC および 3 台の RS はプライベートネットワークへ直接接続し、MN と CN は同一の NAT 配下に接続した。

NTM 端末から各 RS までのホップ数に差異が存在し、RS1 が MN と CN の間において最も適切な RS である環境を想定した。そのため、RS までの経路に仮想的なルータが存在するように、RS2 でのホップ数計算ではホップ数を 1 つ、RS3 ではホップ数を 2 つ加え DC に報告することとした。

この環境において、DC と各 RS を立ち上げた後、MN, CN を起動した。MN と CN からのホップ数調査が完了したことを確認した後、MN から CN までの到達性と経路の確認のため、MN から CN に対して ping を実行した。MN と CN の間において適切な RS として、DC は RS1 を選択し、ping は RS1 を経由して送受信された。以上により、ホップ数調査および RS の選択が正常に動作したことを確認した。

## 5 まとめ

NTMobile において、RS までのホップ数を調査し、端末間の通信経路の冗長化を抑制する RS 選択手法を提案した。また提案方式のプロトタイプを実装し、ホップ数調査と RS の選択が正常に動作することを確認した。今後は実装を完了し、実環境での評価を行う。

### 謝辞

本研究は、SCOPE/PREDICT の委託研究に基づく結果である。

### 参考文献

- [1] 鈴木秀和, 他 : 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) .

# NTMobileにおける 通信経路冗長化を抑制する リレーサーバ選択手法の提案

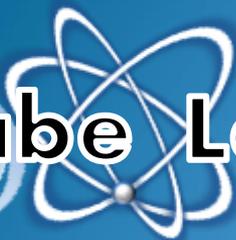
若杉 純<sup>†</sup> 土井敏樹<sup>††</sup> 鈴木秀和<sup>†</sup> 内藤克浩<sup>‡</sup> 渡邊晃<sup>†</sup>

<sup>†</sup>名城大学理工学部

<sup>††</sup>名城大学大学院理工学研究科

<sup>‡</sup>三重大学工学研究科

Watanabe Lab.



# はじめに

- ▶ 携帯端末や無線通信技術の普及
  
- ▶ 通信接続性と移動透過性の要求
  - ネットワークの構成に関わらず通信を確実に開始
  - 通信中にネットワークを切り替えてもコネクションが切断されない
    - ▶ Mobile IPv4
    - ▶ NTMobile (Network Traversal with Mobility)
  
- ▶ 最短経路での通信の要求
  - スループット向上
  - ネットワーク負荷低減

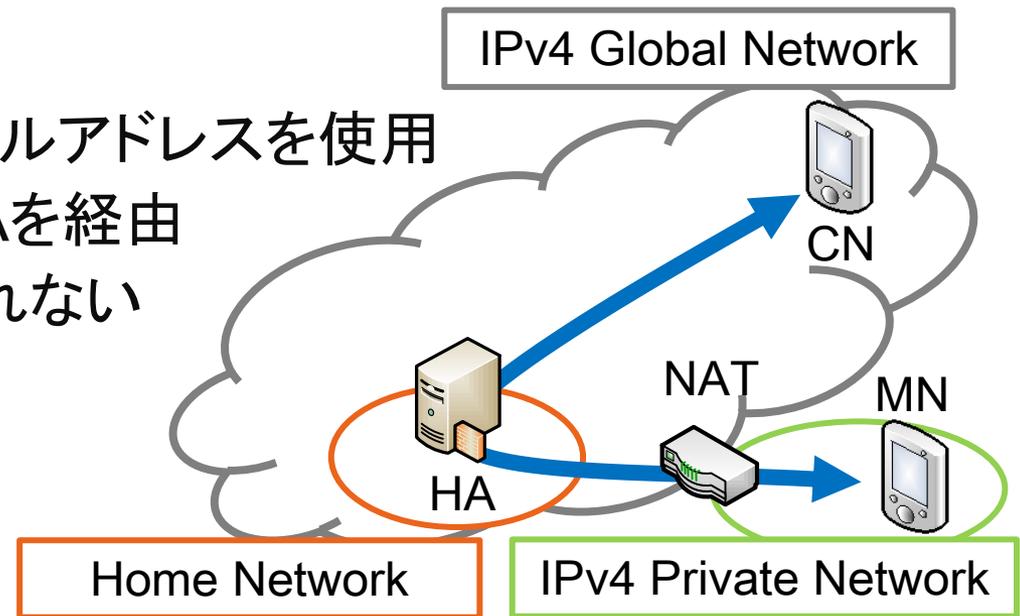
# 関連研究 Mobile IPv4

- ▶ HA (Home Agent) : 中継装置
  - ホームネットワーク内に配置
- ▶ HoA (Home Address) : HAが移動端末に配布
  - ホームネットワークのIPアドレス
  - 通信相手はHoA(ホームネットワーク)宛に通信
- ▶ 課題
  - HoAとしてIPv4グローバルアドレスを使用
  - 移動中の通信は必ずHAを経由
  - 端末はHAを切り替えられない
    - ▶ スループット低下
    - ▶ ネットワーク負荷増大

MN (Mobile Node) : 移動端末

CN (Correspondent Node) : 通信相手

NAT (Network Address Translation)

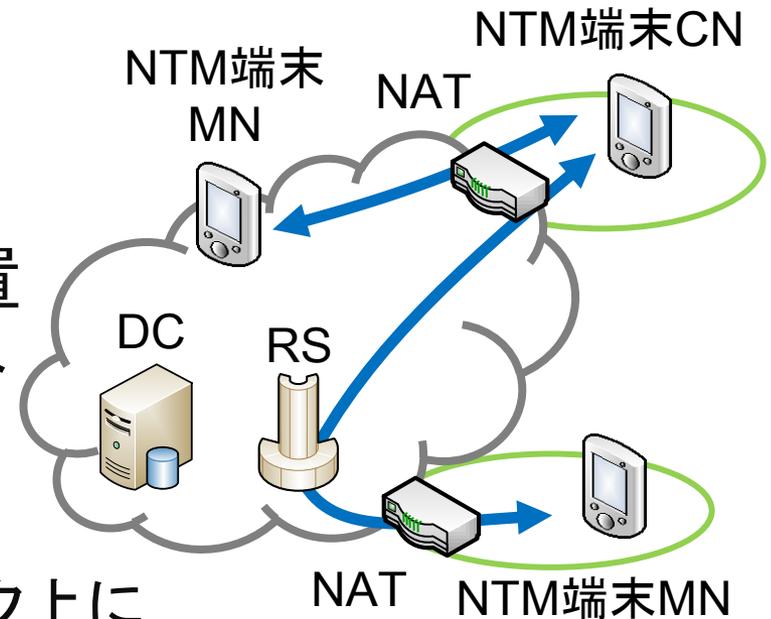


Perkins, C.:IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF(2010).

Proposal of Relay Server Selection Method that Avoids Redundant Routes in NTMobile

# NTMobile (Network Traversal with Mobility)

- ▶ DC (Direction Coordinator) : 管理, 経路指示を担当
- ▶ 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) : 中継装置
  - 直接通信できない環境をサポート
    - ▶ NAT配下の端末どうしの通信
  - RSは通信相手毎に選択可能
  - DC, RSはグローバルネットワーク上に分散配置可能

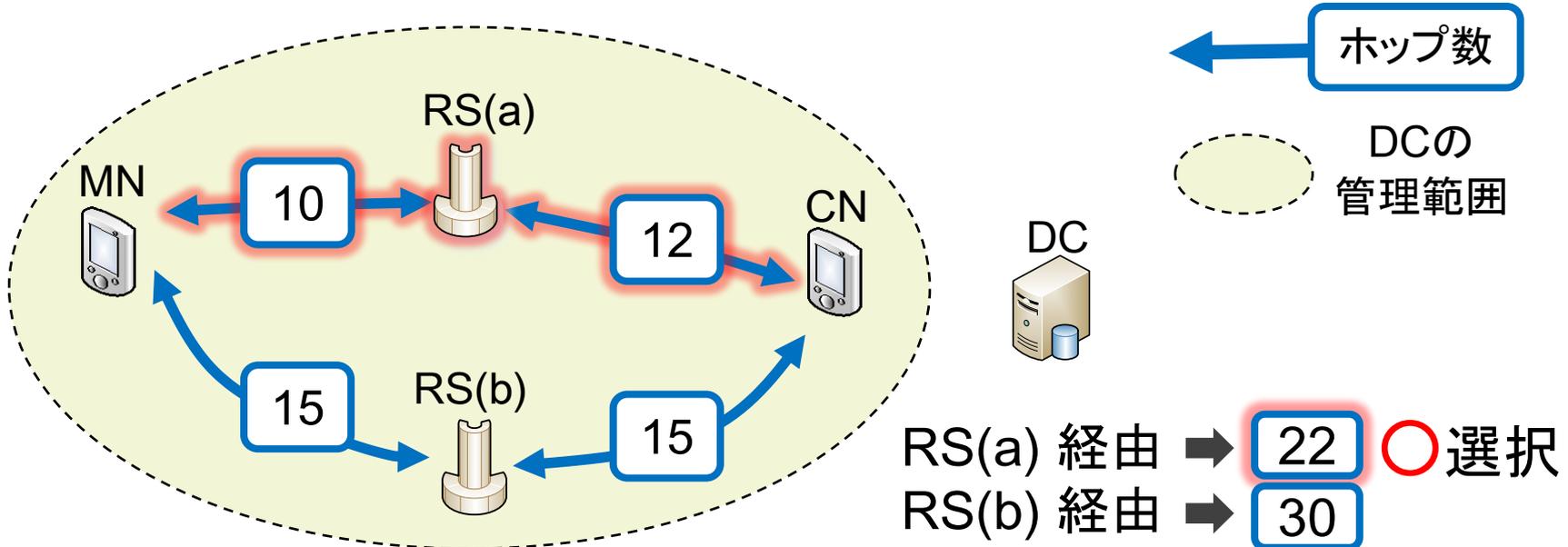


## 目的

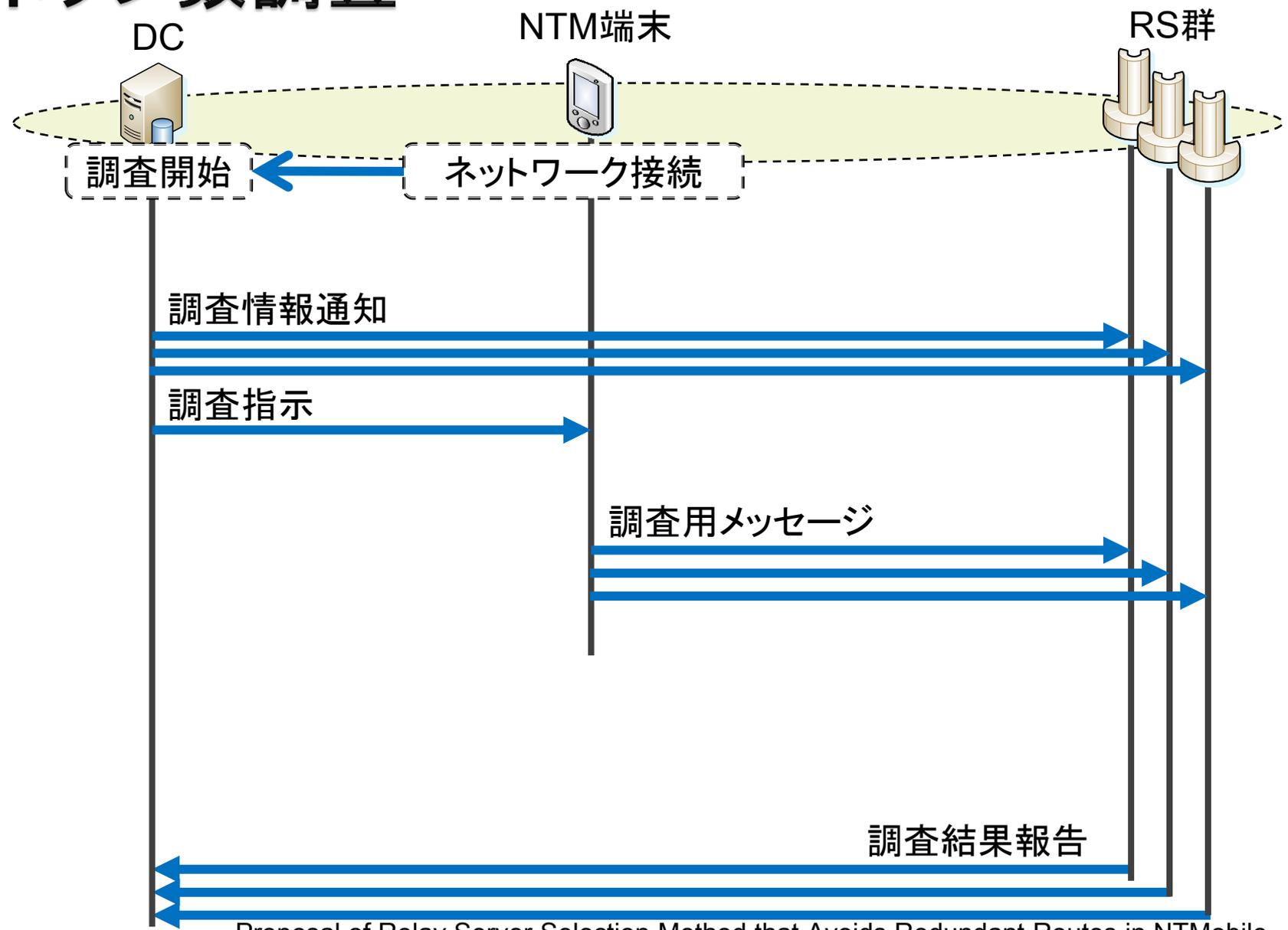
- RSの選択手法を具体的に定義し, 実装
- RSを経由する場合でも, 最短経路での通信を実現

# 提案方式

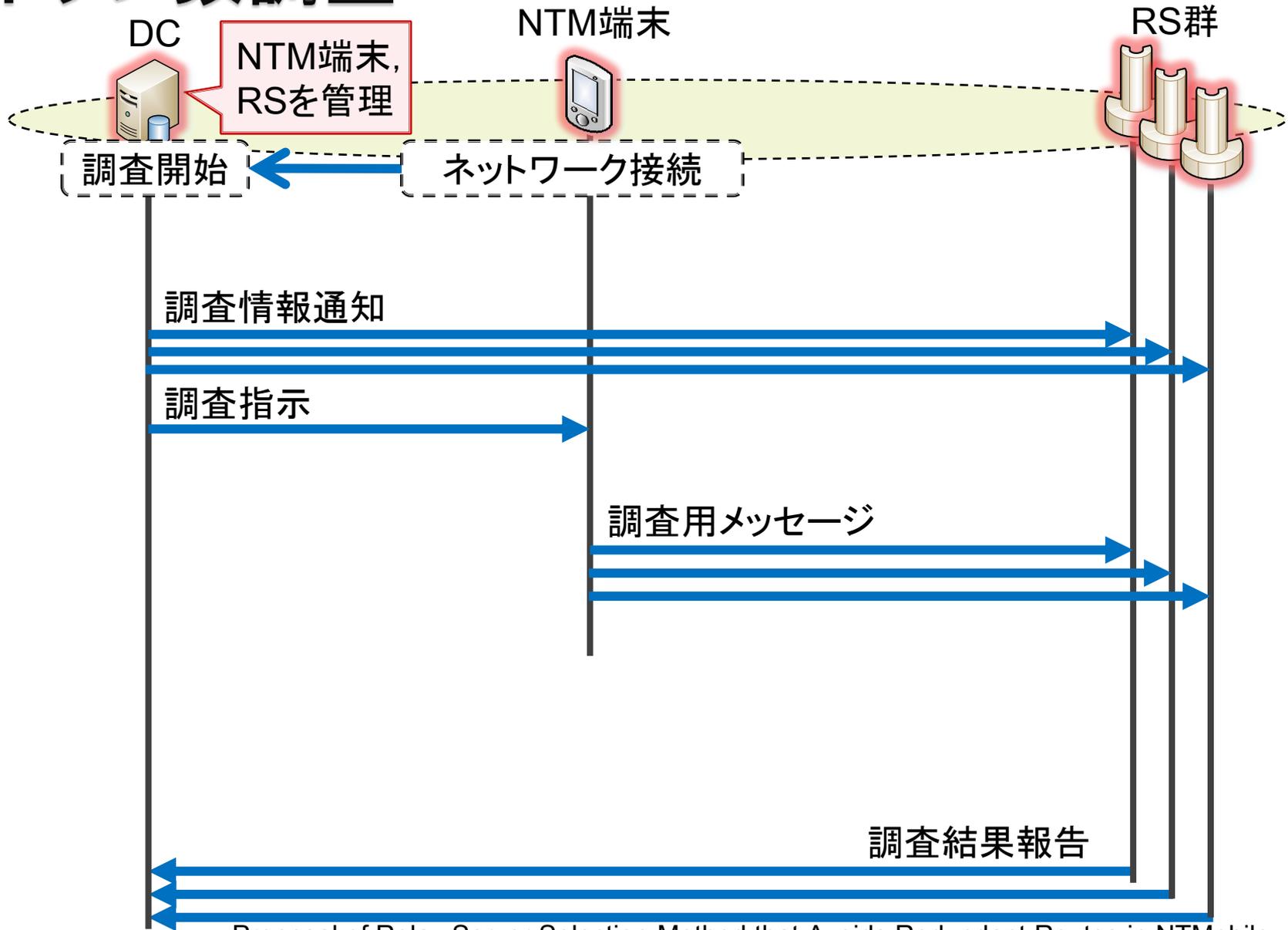
- ▶ NTMobileにおけるRS選択手法を提案
  - 端末が接続するネットワーク・通信相手毎に**最短経路**を構築
  - **ルータ経由数(ホップ数)**を, 経路距離の評価に利用
    - ▶ NTM端末～RS間の距離を調査
    - ▶ ホップ数と通信遅延に正の相関関係
  - 端末とネットワークの負荷を最小限に抑え, 安定して動作



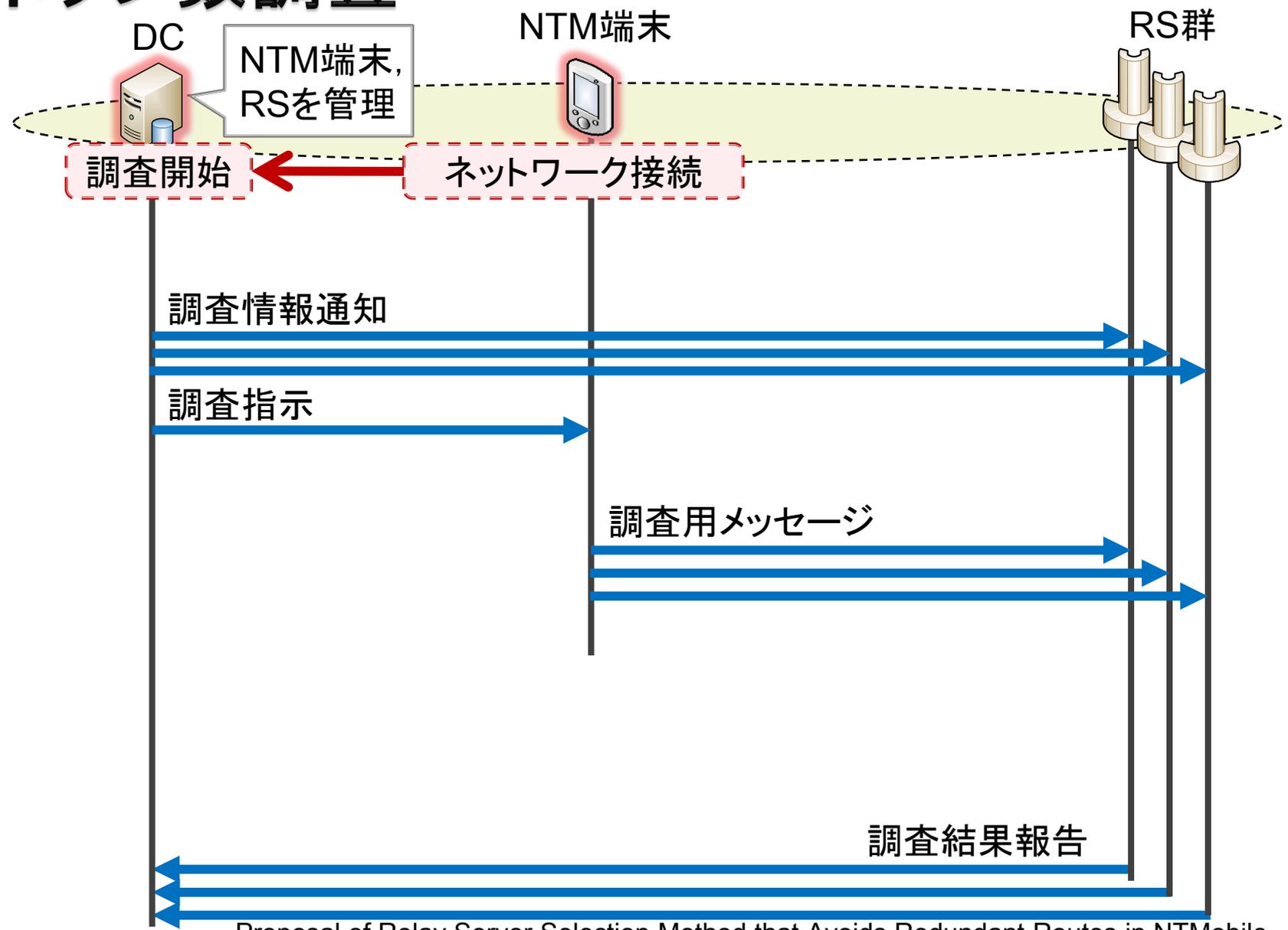
# ホップ数調査



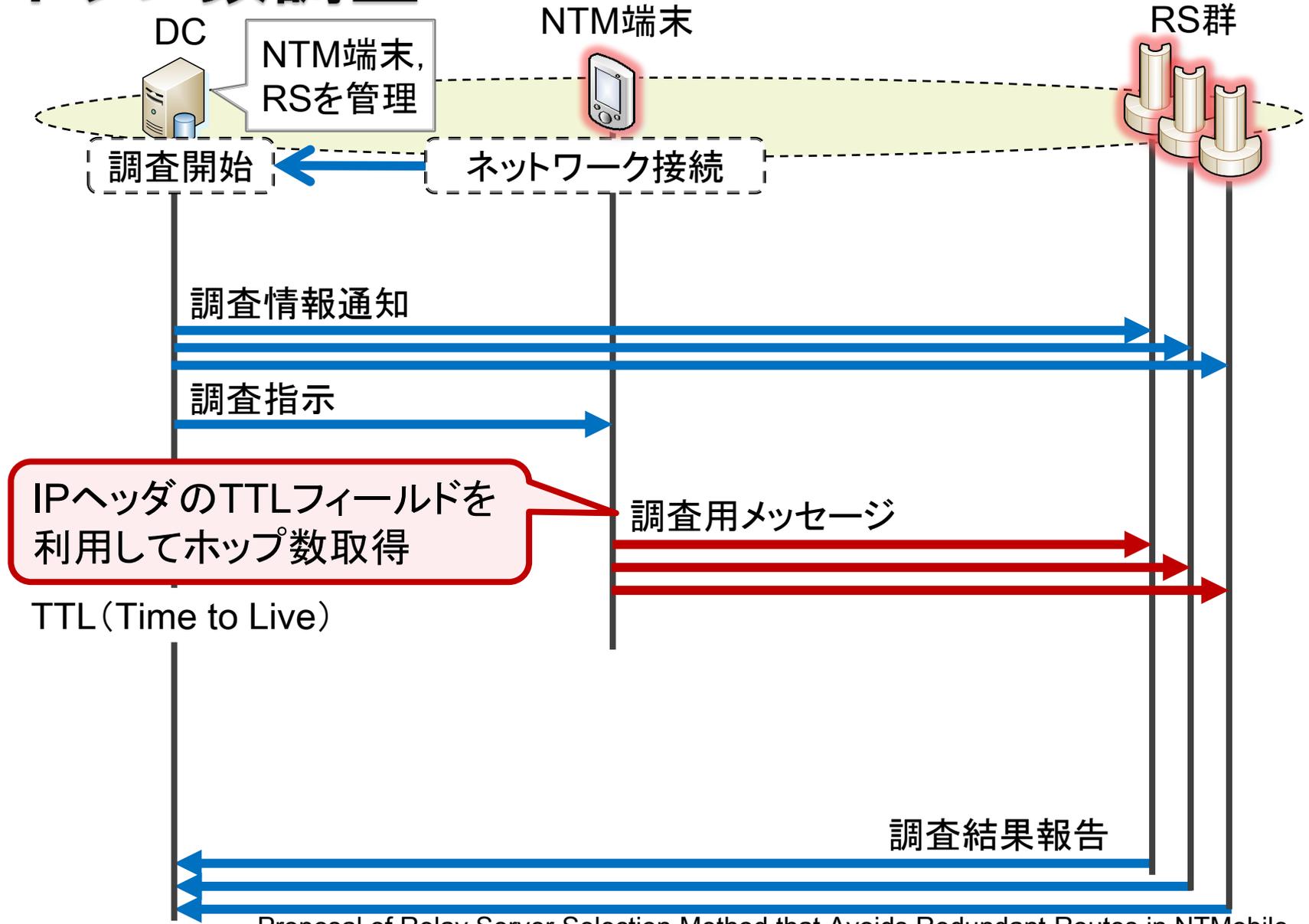
# ホップ数調査



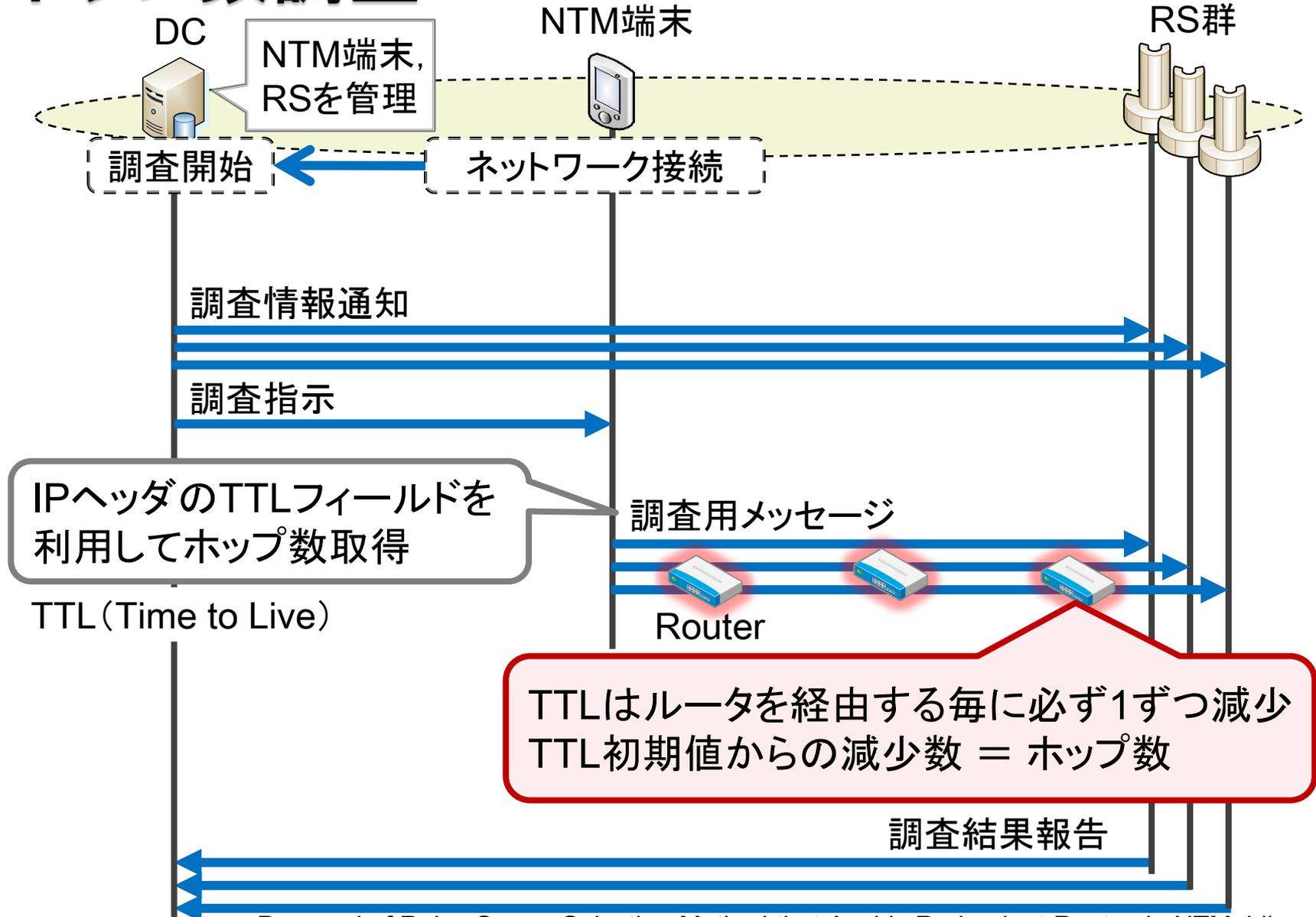
# ホップ数調査



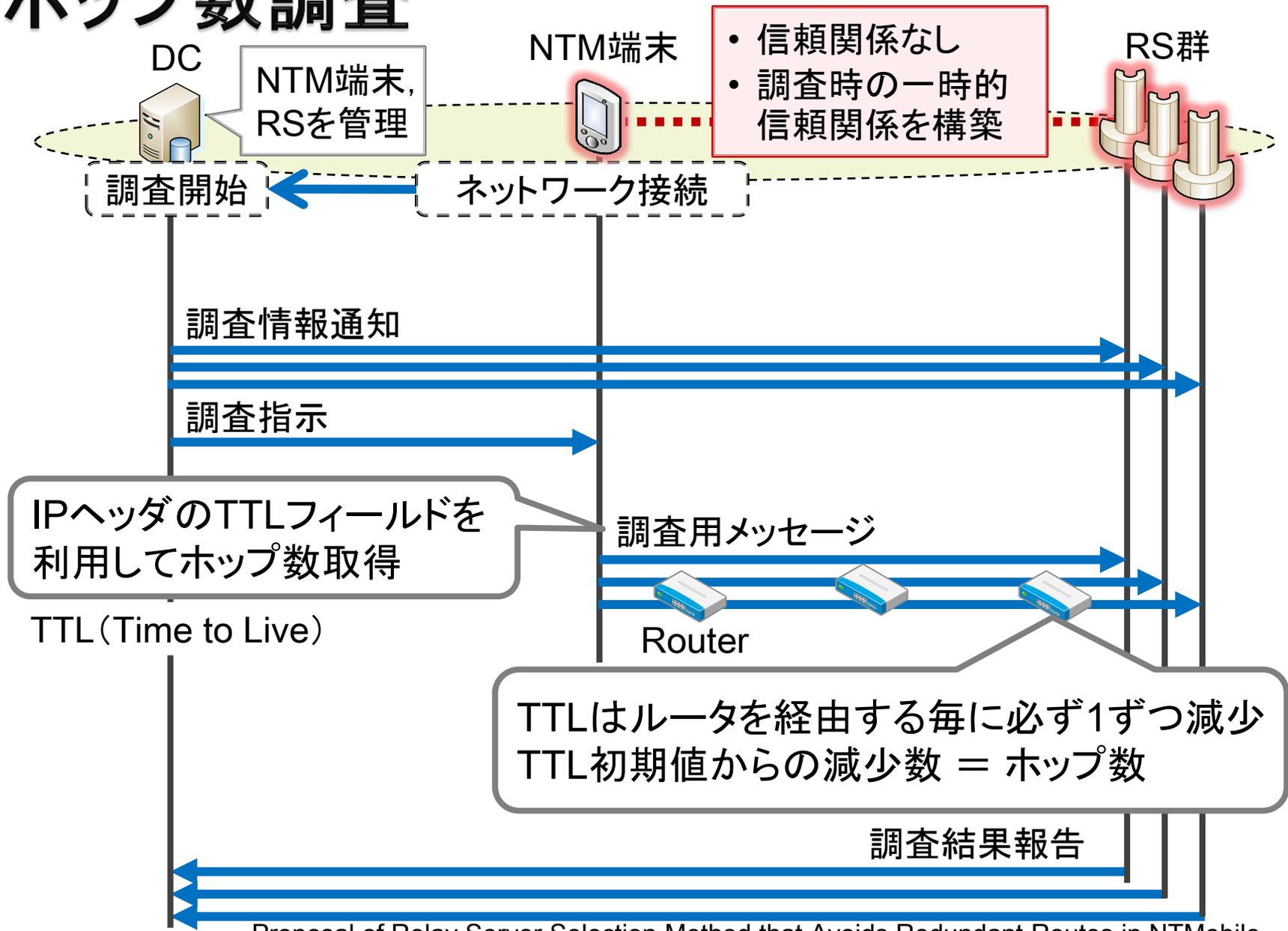
# ホップ数調査



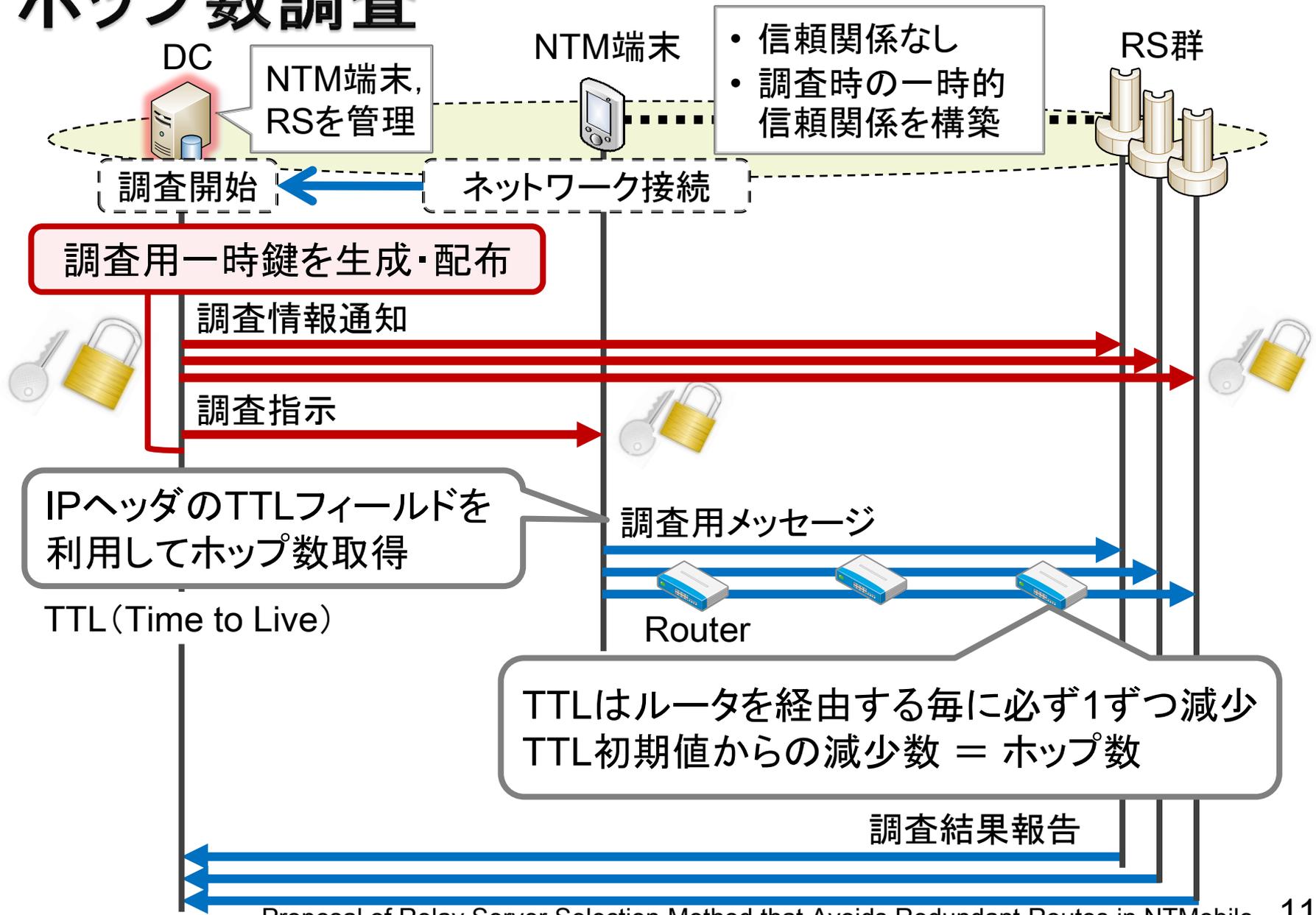
# ホップ数調査



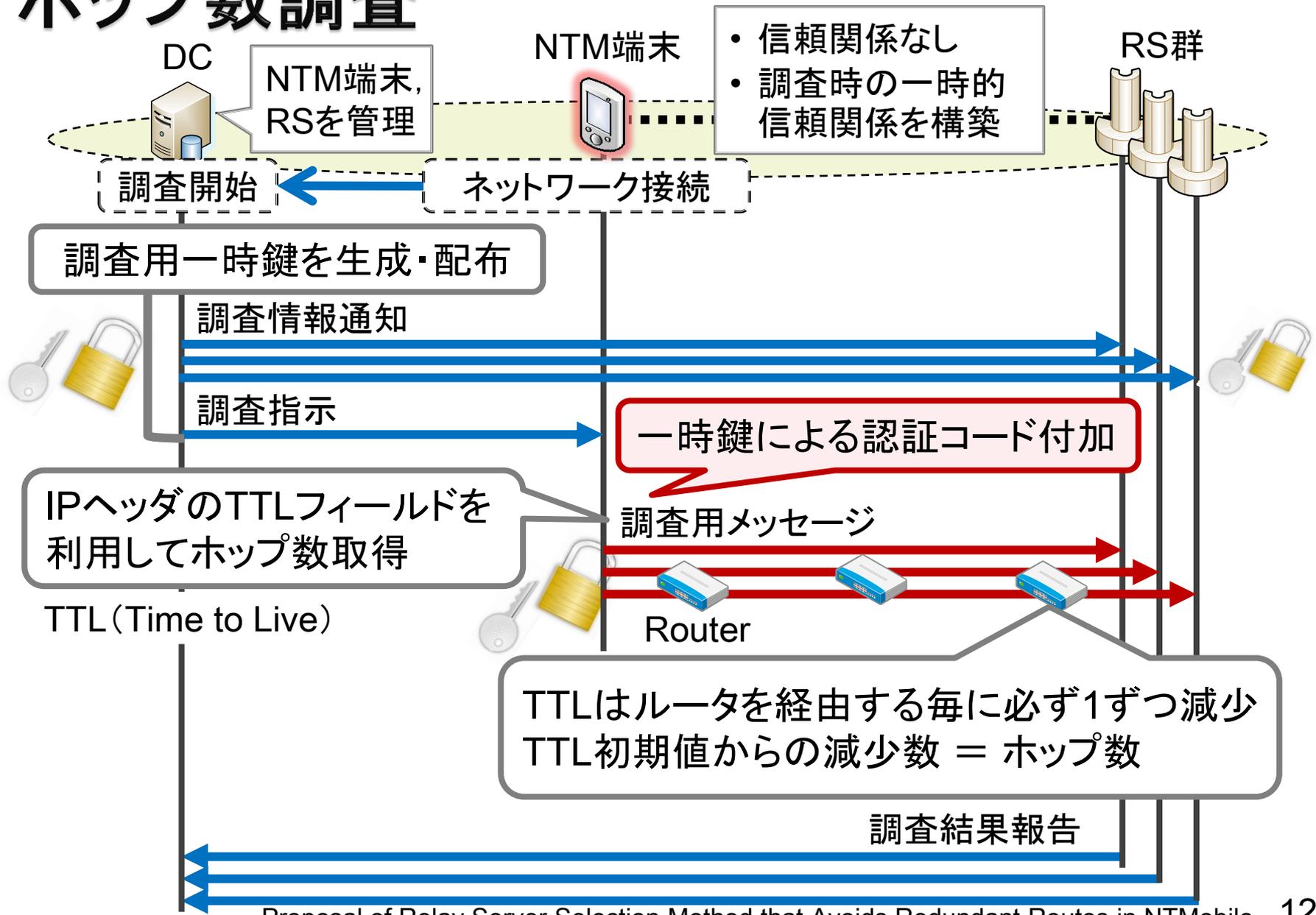
# ホップ数調査



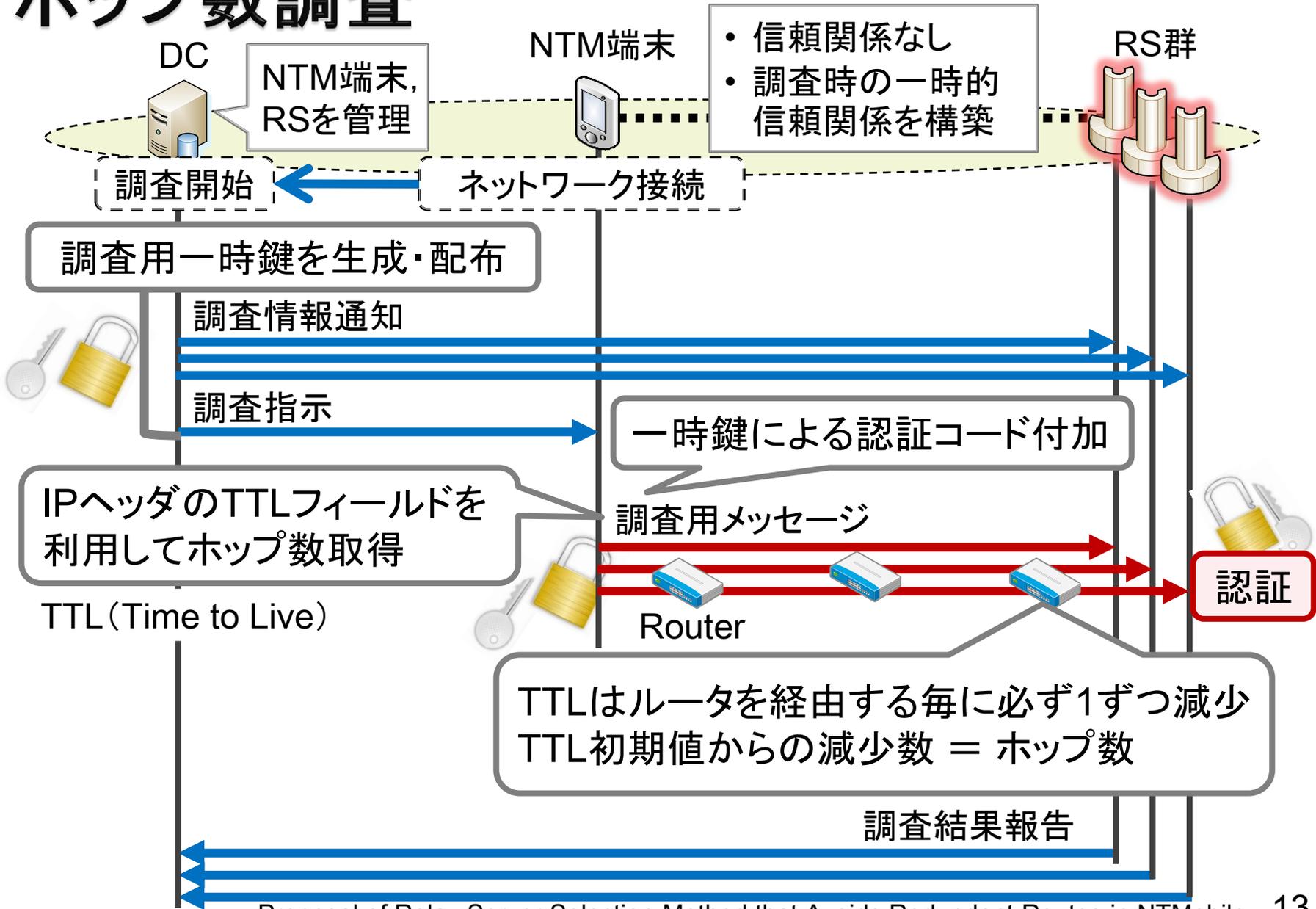
# ホップ数調査



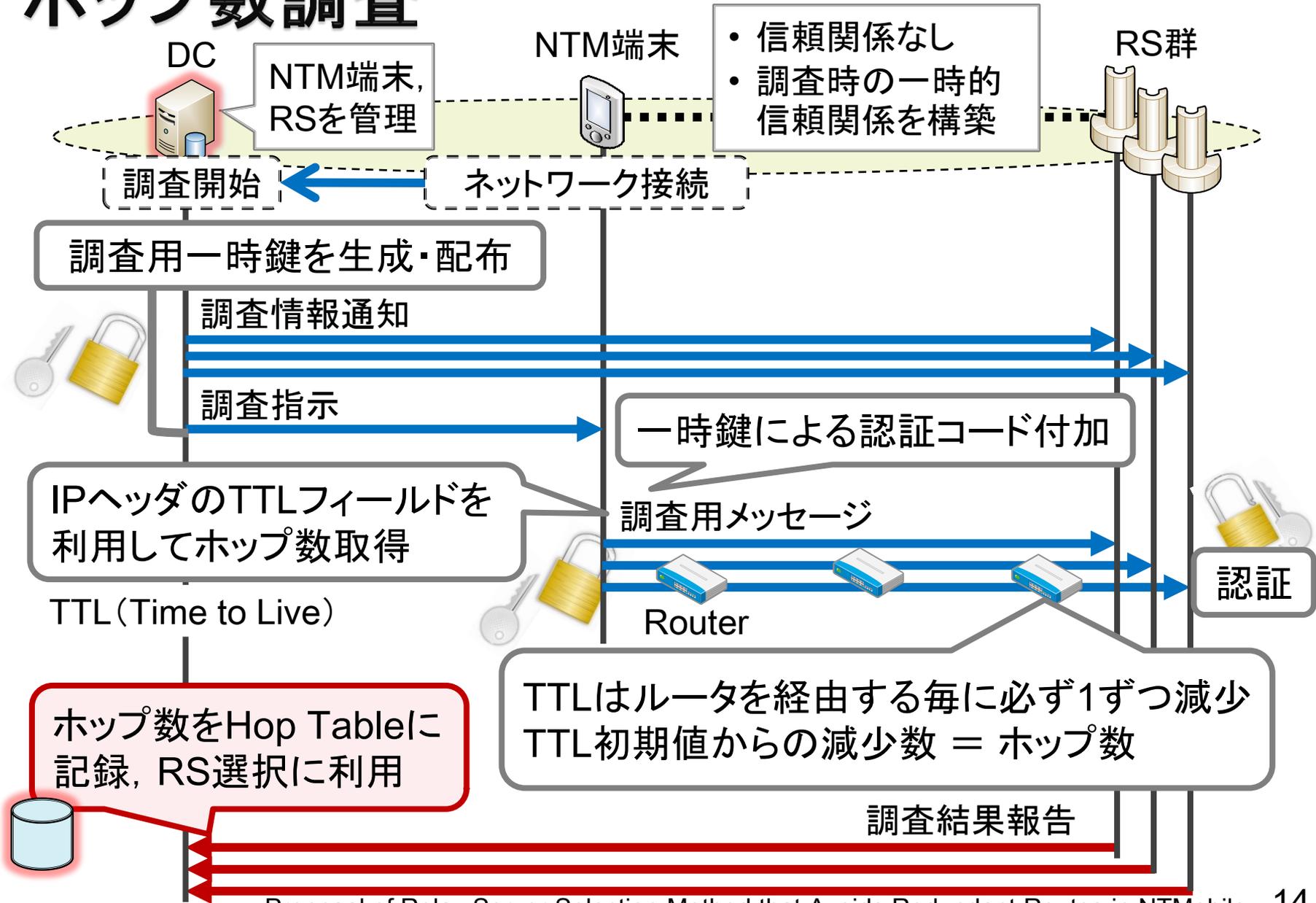
# ホップ数調査



# ホップ数調査

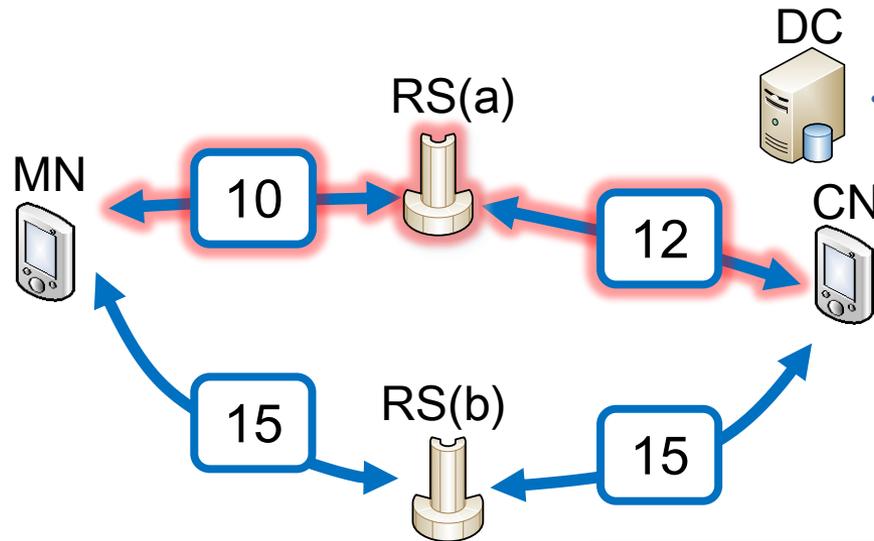


# ホップ数調査



# RSの選択

- ▶ MNからCNへの通信開始時
- ▶ Hop TableからMN, CNのホップ数調査結果を取得



最適なRSを選択

最短経路でのRS経由通信を実現,  
スループット向上, ネットワーク負荷低減

提案による追加処理  
DC's Hop Table

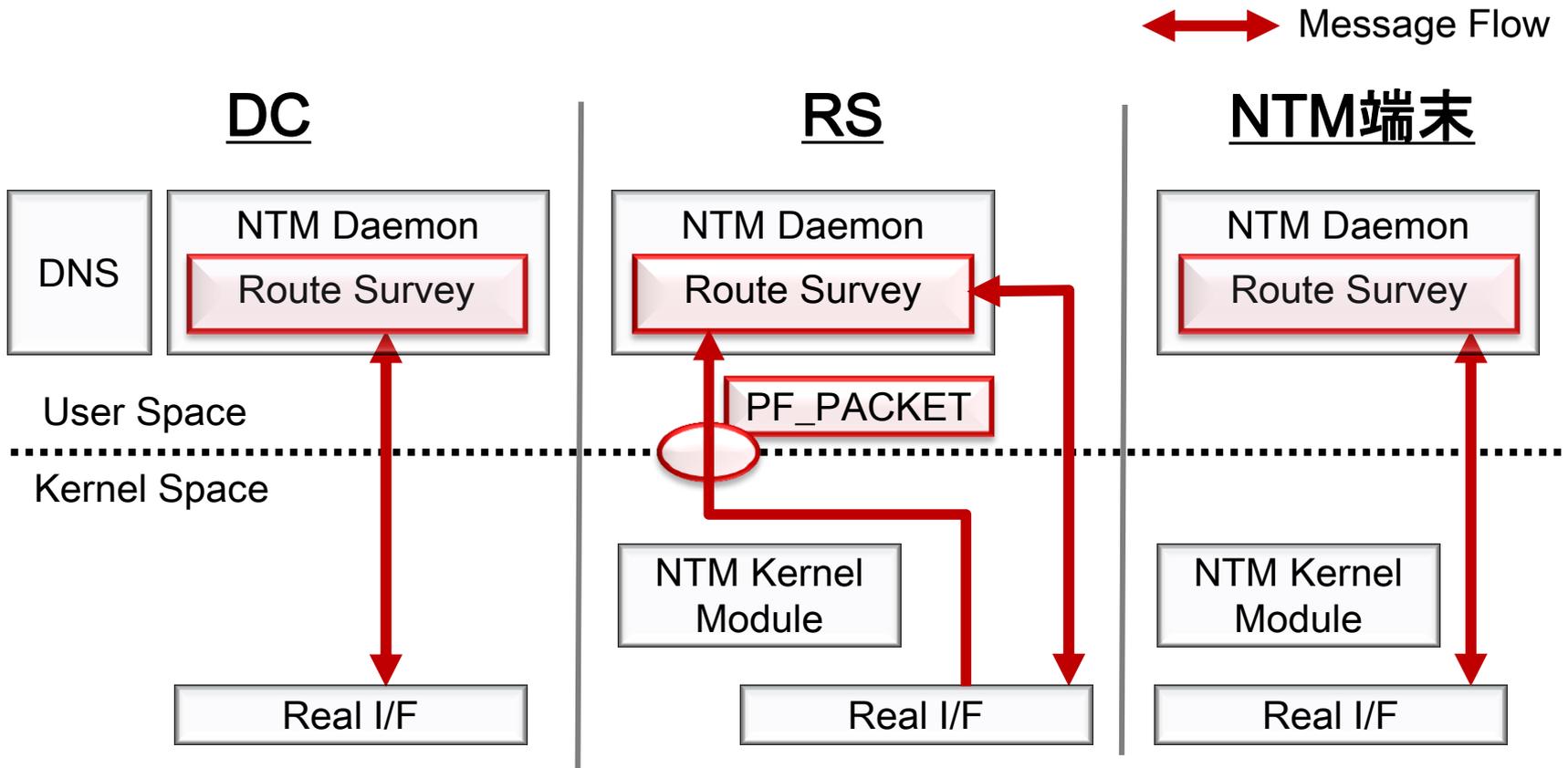
| NTM Node | RS    | hop |
|----------|-------|-----|
| MN       | RS(a) | 10  |
| MN       | RS(b) | 15  |
| CN       | RS(a) | 12  |
| CN       | RS(b) | 15  |

RS毎の総経路  
ホップ数を算出

| Route           | hop |
|-----------------|-----|
| MN~CN via RS(a) | 22  |
| MN~CN via RS(b) | 30  |

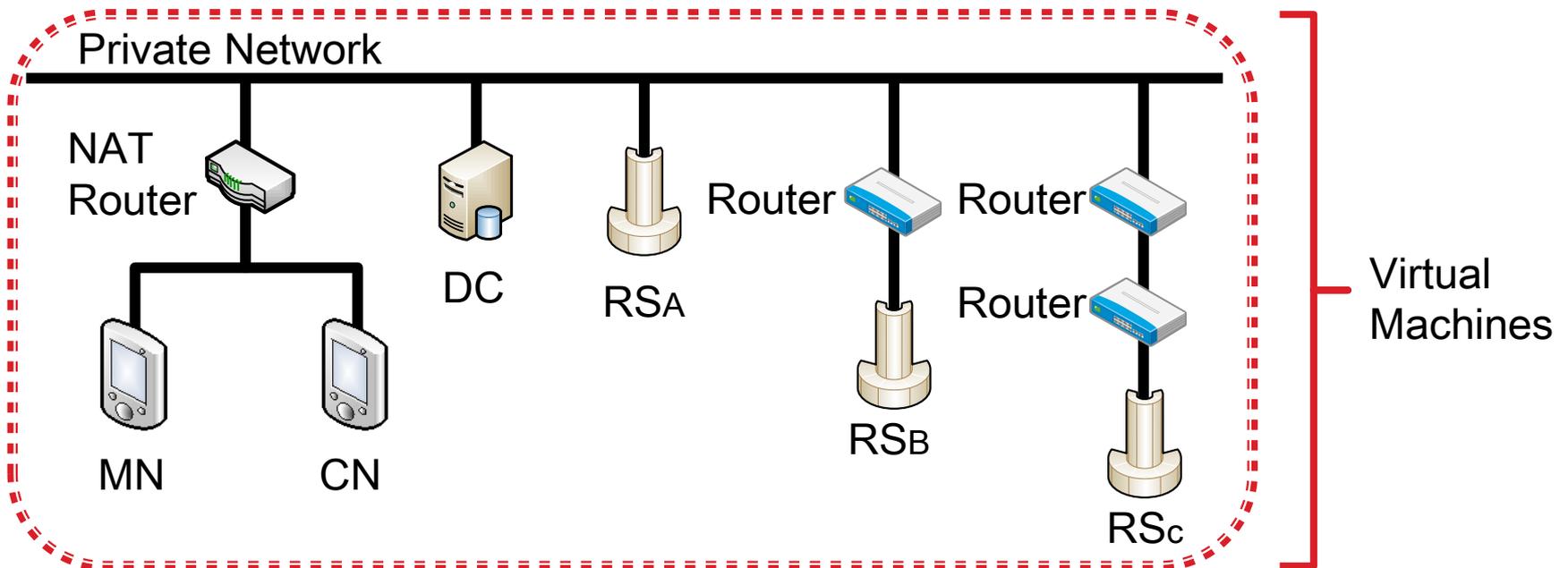
# プロトタイプ実装

- ▶ NTMデーモンに，経路調査モジュールを追加実装
  - IPv4上のNTM端末間におけるRS選択に対応
  - PF\_PACKETにより，IPヘッダを含むパケットを取得



# 性能評価 - 装置仕様

|     | ホストPC                     | 仮想マシン          | DC, MN, CN,<br>RSA, RSB, RSc | Router |
|-----|---------------------------|----------------|------------------------------|--------|
| OS  | Windows 7 64bit           | OS             | Ubuntu 10.04 32bit           |        |
| CPU | Intel Core i7 870 2.93GHz | Kernel Version | 2.6.32-24-generic            |        |
| メモリ | 8GB                       | CPU割り当て        | 各1Core                       |        |
|     |                           | メモリ割り当て        | 各1GB                         | 各512MB |



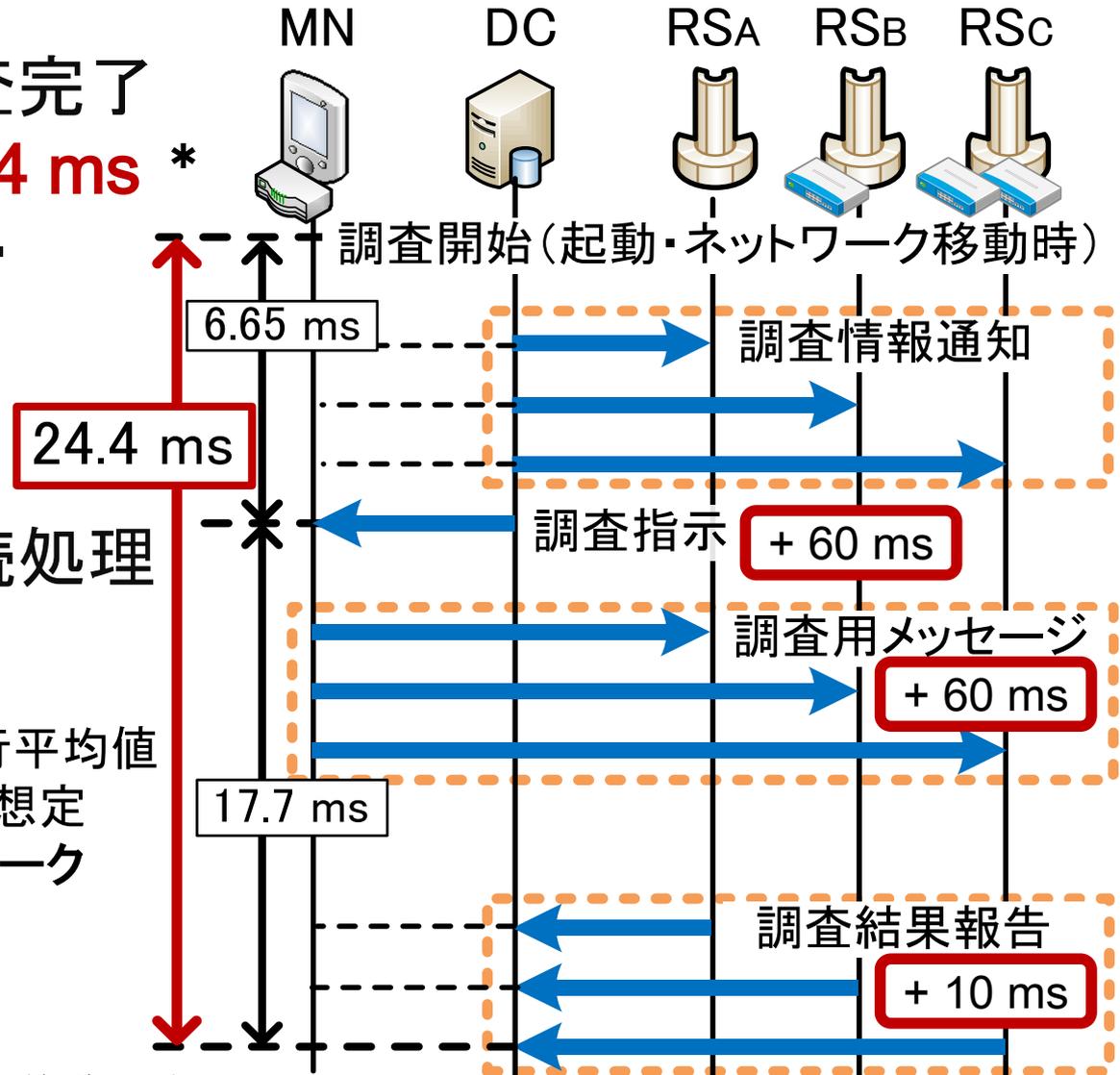
# 性能評価 - ホップ数調査

▶ 調査開始～調査完了  
実環境予測: **154 ms** \*

- ネットワーク接続・IPアドレス取得:  
4.01~5.41 s

▶ 調査時間は接続処理  
全体の **4%未満**

- \* ホップ数調査 35回試行平均値
- \* 実環境予測 3G環境を想定
- \* 国内グローバルネットワーク  
RTT 約20msを想定
- \* 国内3Gネットワーク  
RTT 約120msを想定  
(RTT:Round Trip Time, 往復通信遅延)



# 関連研究との比較

|                  | Mobile IPv4                  | NTMobile 提案方式                      |
|------------------|------------------------------|------------------------------------|
| IPv4グローバルアドレスの消費 | <p>×</p> <p>HA, 端末すべてが利用</p> | <p>○</p> <p>DC, RSが分散利用</p>        |
| 中継装置の分散配置        | <p>△</p> <p>ホームネットワークに限定</p> | <p>○</p> <p>自由に可能</p>              |
| 端末起動時・移動後の中継装置選択 | <p>×</p> <p>限定的選択・変更不可</p>   | <p>× → ○</p> <p>最適なRSを選択可能</p>     |
| 通信相手毎の中継装置割り当て   | <p>×</p> <p>利用可能なHAは1つのみ</p> | <p>× → ○</p> <p>通信相手毎に最適なRSを利用</p> |

# まとめ

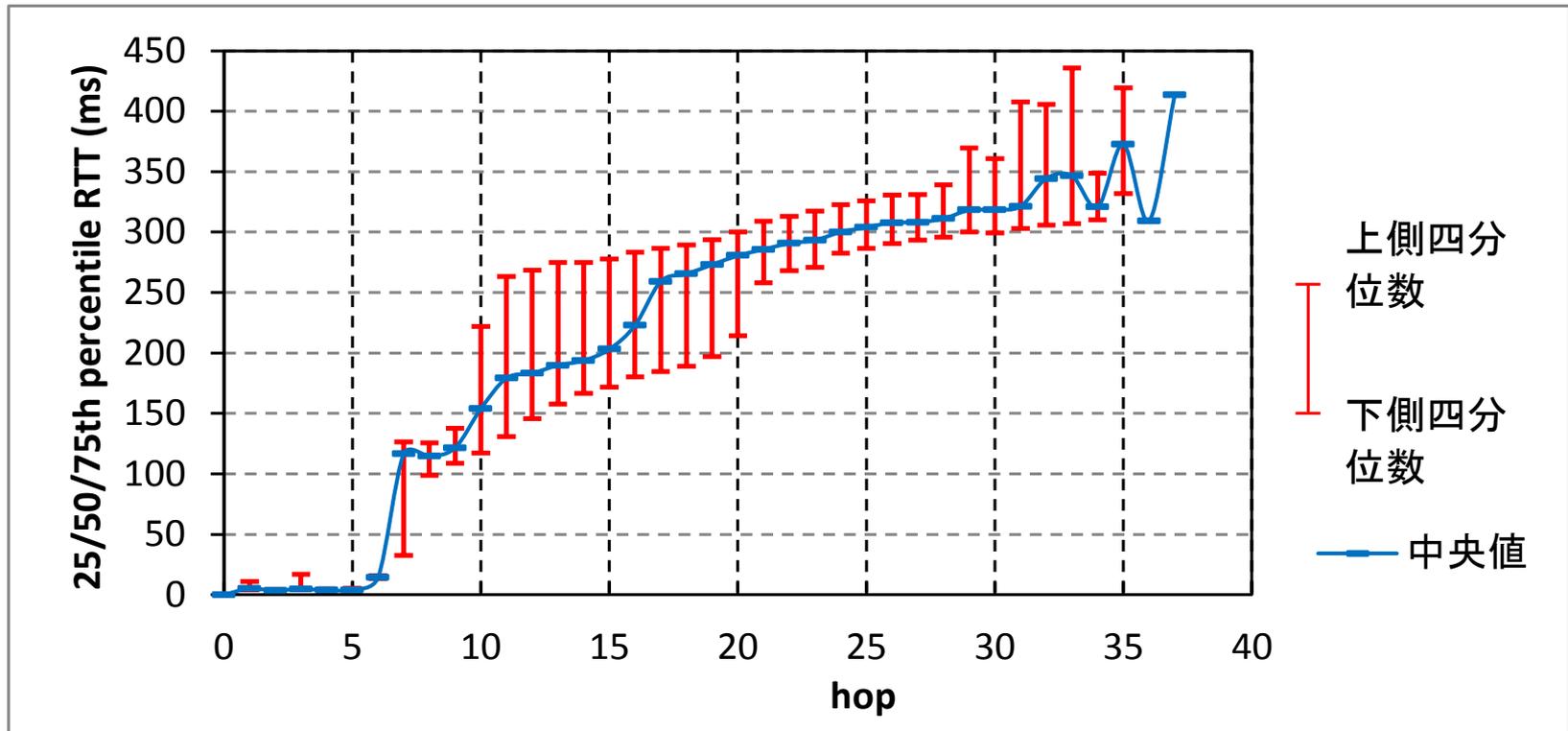
- ▶ NTMobileにおけるRS選択手法
  - NTM端末～RS間のホップ数を調査
  - 端末間の通信経路のホップ数が最小となるRSを選択
  - 経路冗長化の抑制が可能
    - ▶ ネットワーク負荷低減, スループット向上が期待
  
- ▶ プロトタイプ実装・性能評価
  - 仮想環境内において正常な動作を確認
  
- ▶ 今後の課題
  - 実環境における有用性の検証

# 補足資料



# ホップ数とRTTの関係性

- ▶ ホップ数が増加と共に, RTTの中央値と分布も上昇
- ▶ ネットワーク帯域, ネットワークの負荷, 経路長におけるルータ個数により変動



CAIDA (The Cooperative Association for Internet Data Analysis)

- RTT quartiles vs hop distance, Plala NTT (nrt2-jp, 東京)

[http://www.caida.org/projects/ark/statistics/nrt2-jp/med\\_rtt\\_per\\_hop.html](http://www.caida.org/projects/ark/statistics/nrt2-jp/med_rtt_per_hop.html) (2014-02-07アクセス)

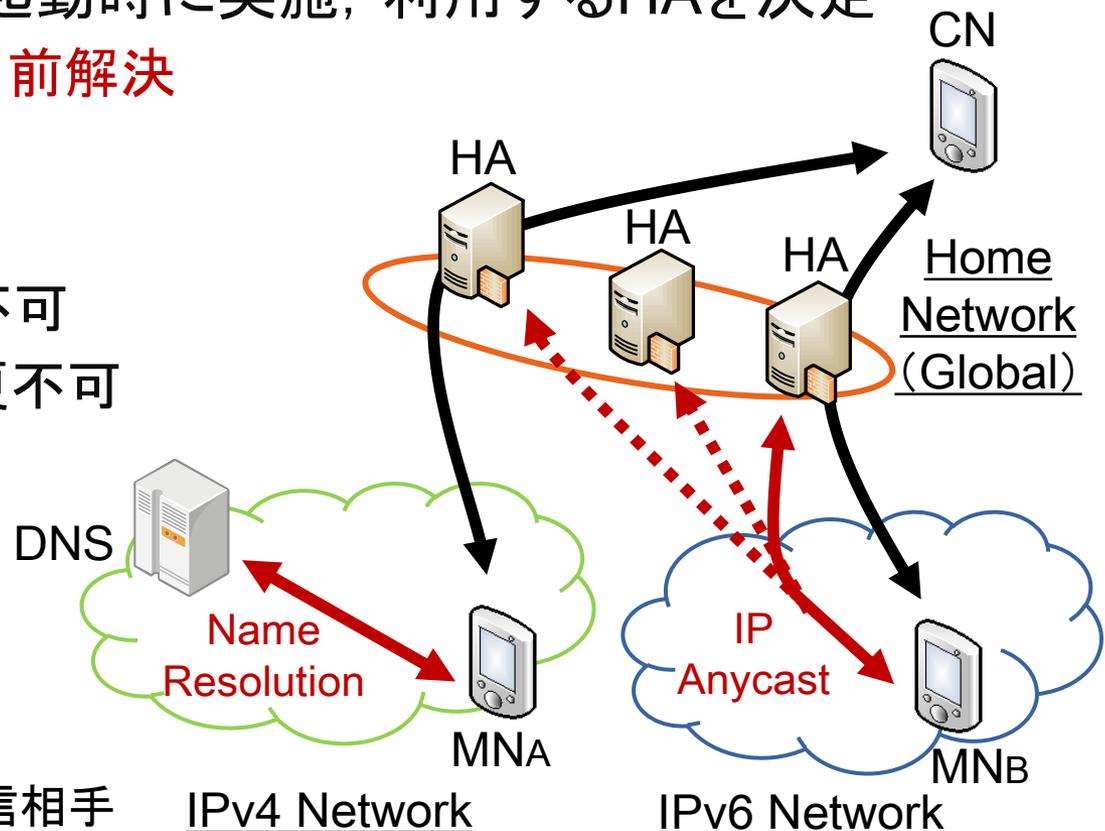
# 通信経路の評価指標の比較

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

# 関連研究

## ▶ DSMIPv6 (Dual Stack Mobile IPv6)

- HA (Home Agent) : 中継装置. ホームネットワーク内に設置
  - ▶ HA経由でパケット送信
- HA発見手法 : 端末起動時に実施, 利用するHAを決定
  - ▶ IPv4: DNSによる名前解決
  - ▶ IPv6: IP Anycast
- 通信経路が冗長
  - ▶ 複数のHAの利用不可
  - ▶ 移動後にHAの変更不可



Soliman, H.: Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers, RFC 5555, IETF(2009).

DNS (Domain Name System)

MN (Mobile Node) : 移動端末

CN (Correspondent Node) : 通信相手