

# 研究計画書

## 地理情報を含むインターネット通信の計測手法と その可視化に関する研究

慶應義塾大学環境情報学部

自署:

学籍番号 70343658

希望プログラム名: サイバーインフォマティクス (CI)

2006 年 7 月 25 日

### 概要

今日のインターネットは、世界各国を接続している、地球規模のネットワークインフラになりつつある。地域の情報流通量の拡大を効率的に推進するためには、地域間のネットワークの品質を明らかにする必要がある。ネットワークの品質を計測する既存の手法は、地理情報を考慮していないため、特定の地域に注目してのトポロジやネットワークの品質を把握することができない。

本研究は、広域に広がる地域間のネットワークトポロジを明らかにし、ネットワークインフラの品質を地図上で表現する。特定の地域から他の地域までの、トラフィック量、通信遅延、帯域幅といった既存の計測より得られるインターネットの品質の情報を解析し、地域間のネットワークインフラの現状を明らかにする。それにより、国際協調や政策によるネットワークインフラの整備を、効率よく進める手助けとなる。

### 1 背景

今日のインターネットは、世界各国を接続している、地球規模のネットワークインフラになりつつある。映像伝送や VoIP といった様々なコミュニケーション技術が発展することで、既存のテレビ回線網や電話回線網の代わりに利用されつつある。そのため、インターネット全体のネットワークインフラは経済活動によって発展してきた。例えば、インターネットの利用者が増えることで、より広帯域な回線が必要になる。そういった需要から、国間を接続するグローバルな回線の帯域幅や通信遅延といったネットワークの品質が向上する。しかし、人口の少ない地域は、光ファイバ等の敷設コストの採算が合いにくく、商用 ISP によるネットワークインフラ整備だけでは、地球規模のネットワークインフラを構築するのが難しい。したがって、ネットワークインフラの未整備地域のさらなる発展を目指すには、国際協調や政策による高品質なネットワークインフラの拡大が重要である。

このような背景から、現在、ネットワークインフラを拡大するための国際協調が推進されている。例えば、アジア・ブロードバンド計画 [1] は、地域 IX などのアジア地域の各国間を直接接続するネットワークインフラを整備し、アジア地域における情報流通量の拡大を目指している。しかし、IX 等の接続拠点を設置しなければならない具体的な場所や、重点的にネットワークインフラを支援すべき地域が明確になっていない。

現在の国際協調や政策は、重点的に支援すべき地域を把握するために、地域におけるインターネットの普及率や ICT (Information and Communication Technology) 浸透度の調査を行っている。例えば、アジア・ブロードバンド計画では、アジア各国の ISP 加入者数と人口を比較することで、インターネットの普及が十分でない国を判断のしている。しかし、この調査結果は、インターネットの接続性の有無のみを測定基準にしている。具体的に、IX 等の接続拠点をどこに整備すれば、情報流通量が拡大するかは、このような調査結果からは知る事ができない。特定の地域で、インターネットを用いた活動の品質を保つためには、つまり、VoIP や

映像伝送といったインターネットを用いた活動が十分にできるかどうかは、地域間の接続性だけでなく、他の地域に対してのネットワークの安定性や、帯域幅、遅延時間といったネットワークの品質を考慮しなければならない。また、地域間のネットワークインフラ戦略の前提となる計測をするためには、ネットワークインフラの品質と、地域の地理情報を対応づける必要がある。

### 2 既存のネットワーク品質計測手法

地域の情報流通量の拡大を効率的に推進するためには、地域間のネットワークの品質を明らかにする必要がある。それにより、どの地域間に対して重点的に支援する必要があるかについての指標になる。

この章では、既存のネットワークの品質を計測する手法を検討する。

#### ping

ping は、対象のノードまでのパケットの到達性と通信遅延を確認できる。ICMP パケットを対象のノードに対して送信することで RTT (Round Trip Time) を計測する。また、smokeping [2] は、ping によるパケットの到達性の確認を利用し、時系列によるパケットロス率や通信遅延を計測する。それにより、ネットワークの安定性を確認できる。

#### traceroute

traceroute は、自分のノードから対象のノードまでのパケットの流れる経路を調査するツールである。ICMP パケット TTL を 1 ずつ増やして送信することで、指定したノードに到達する途中で経由するルータが順番に分かる。それにより、エンドノード間のネットワークの通信遅延と、パケットの経由する経路がわかり、ネットワークトポロジの把握に利用できる。

#### pathchar

pathchar [3] は、traceroute の機能と同様に RTT を計測する。プローブという UDP パケットを作り、

ホップ数を増加させながら送信することで、ターゲットのノードまでの経路の RTT を計測する。パケットサイズを変化させながら経路中の回線を調査する。自ノードから経由するルータごとの帯域幅、遅延時間、パケットロス率を推測する。異なるネットワークを経由するノードまでの帯域幅を計測することが可能である。ただし、pathchar は計測にかかる時間が長く、現在のインターネット全体の状況を把握するのが難しい。計測パケットサイズが大きく、ネットワークに負担をかけてしまう。

#### Skitter

Skitter[4] は CAIDA[5] プロジェクトによって運営されるグローバルなネットワークを計測するシステムである。同システムの稼働するサーバから、traceroute と同様の機能を持つツールを利用し、多数の測定ホストに向けてパケットを送信する。それにより、グローバルなトポロジデータを収集し、解析する事でトポロジを可視化している。Skitter で収集されたデータを元に図 1 のようにグローバルなトポロジを視覚化できる。それにより、大まかなインターネット全体の時系列に沿った成長の推移を把握できる。しかし、地理情報が考慮されていないため、どの地域のネットワークがどこに対して成長しているか把握できない。

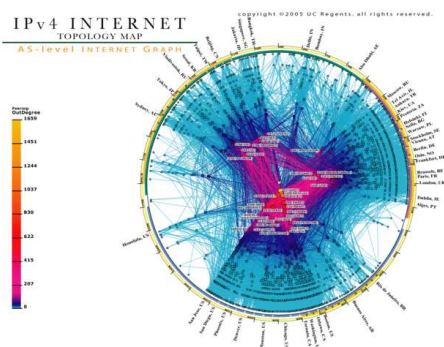


図 1: CAIDA: AS Internet graph

ping, traceroute, pathchar は、管理者が自組織内のネットワークの現状を把握し、障害検知や性能を評価するために用いられる。それにより、ネットワーク管理者が運用支援等の目的で利用する。また、Skitter の例に見られるように、インターネット全体のグローバルなトポロジを計測することで、IP アドレスの使用数や BGP のルート数などのインターネットの規模を把握できる。

これらの手法は、地理情報を考慮していないため、特定の地域に注目してのトポロジやネットワークの品質を把握することができない。特に、地域へのネットワークインフラ戦略の前提となる根拠になるためには、対象の地域から各地域に対してのネットワークの品質を把握する必要がある。

### 3 目的

本研究は、広域に広がる地域間のネットワークトポロジを明らかにし、ネットワークインフラの品質を地図上で表現する。世界各地の地域間のネットワーク品質を把握するには、地図への情報の表示が把握しやすい。特定の地域から他の地域までの到達性を地図に対応付け、地域間のトラフィック量、通信遅延、帯域幅といった既存の計測より得られるインターネットの品質の情報を付加する。それにより、特定の地域に注目することで、インターネットのグローバルなネットワークに対して、特にアジアなど地域レベルのネットワークの品質を明らかにする。図 2 は、日本から、それぞれのアジア地域に対してのトラフィック量を表したイメージ図である。地域間のインターネットの現状が明らかになる事で、重点的にネットワークの品質を強化すべき地域を明らかにできる。

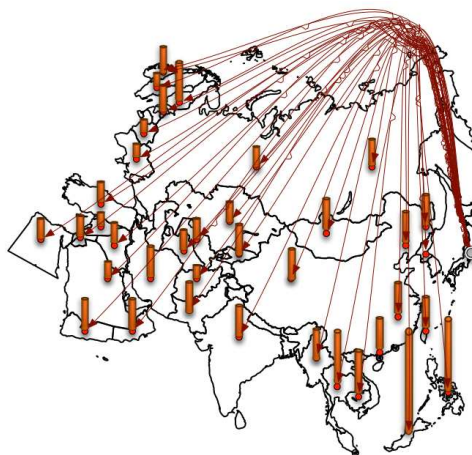


図 2: イメージ図: 日本からアジア地域に対するトラフィック量

### 4 アプローチ

インターネットの地域間の現状を表した地図を作成するには、広域な AS(Autonomous System) トポロジを明らかにして、各 AS のネットワークと地理情報を対応づける必要がある。広域な AS 間トポロジは、traceroute の結果から接続性を確認したり、多地点の BGP ルータの情報から AS パスを抽出し接続性を確認することで作成できる。しかし、AS パスから単に接続性を解析するだけでは、AS の到達性を把握する事ができない。AS 間の関係性を考慮することで、AS 間のトラフィックの向きを把握できる。しかし、AS によっては、他の AS 間との関係性を開示しない。そこでインターネット全体のトポロジを推測するための手法が研究されている [6]。

本研究では、AS 間の関係性を BGP テーブルから推測する既存の手法を利用し、AS 間の関係性を含めたトポロジを作成する。

また、地域性を調べるためには、どの AS と AS が繋がっているかに加え、どこで繋がっているかという地理情報が重要となる。BGP テーブルから推測された AS トポロジから、地域単位で情報を抜き出す事により、地域レベルのインター

ネットの現状を明らかにできる。そこで、AS の BGP ルータ等の地域内の接続拠点の場所を識別する必要がある。

本研究は、AS トポロジの推測手法を用いて AS トポロジを推測し、IP アドレスから推測した地理情報を元に AS トポロジと地理情報の対応付けを行なう。地理情報を考慮したインターネットのトポロジを地図上で表現することで、特定の地域間のネットワークの現状を把握する。

#### 4.1 AS 間トポロジの関係性の推測

現在のインターネットは、商用 ISP や大学、企業といった事なる管理ポリシーを持つ組織が互いに接続されている。組織間の接続を計測する事で、インターネット全体の接続を把握する事ができる。

AS は、同一の管理ポリシーを共有するネットワークの集合である。現在のインターネットは、相互に接続された AS によって形成される。例えば、商用 ISP、大学、企業、研究機関といった組織が、AS を形成する 1 つの集合になる。AS は、AS 番号を利用して、その組織内で独自の管理ポリシーの元にネットワークの運用が行われる。

BGP は、AS 間の経路制御プロトコルである。AS の境界にある BGP ルータが、経路を他の AS の BGP ルータと交換する。インターネット全体の経路を持つ BGP ルータからアクセスを提供してもらうことで、エンドノードまでの通信経路がわかる。BGP の特徴として、特定の AS まで、経路するすべて AS を知る事ができる。目的の AS までの AS 番号のリストを AS パスという。それにより、ルータ同士が経路を交換するだけでなく、自 AS 内の管理ポリシーを反映しての制御が可能である。管理ポリシーは、それぞれの経路について、経路の受諾、選択、通過を自ドメインで指定できる。BGP を利用することで、AS 内の管理ポリシーを他の AS に公開せず、相互接続が可能となる。企業等の運用ポリシーによっては、他の AS との接続状態を開示していない可能性がある。

BGP ルータの各経路情報から AS パスを取得できる。しかし、BGP は、ポリシーベースの経路制御プロトコルであって、AS 間の到達性は保障されない。例えば、図 3 のように、ISP A と C が B に対してトランジットを提供している。AC は、B を中継して接続しているが、AC 間の到達性や性能を推測することはできない。インターネットの構造を把握するためには、AS の接続性だけでなく、それぞれの AS の管理ポリシーを調査して、広域な関係性を把握する必要がある。

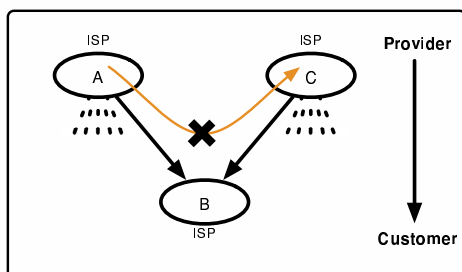


図 3: ISP A と C は B 経由で接続しているが到達性はない

AS パスの情報からは、単にどの AS 繋がっているかだけでなく、BGP テーブル全体の経路の AS パスを解析するこ

とで、それぞれの AS 間がどのような関係性で繋がっているか推測できる。階層的な AS トポロジを推測する事により、インターネットの構造を把握することができる。

本研究は、既存の AS トポロジの関係性を推測する手法 [6][7] を用いることで、広域な AS 間トポロジの推測を行なう。AS 間の関係性のトポロジは、AS 間の関係性の特徴と、BGP の AS パスの特徴を元に推測される。

AS 間関係性を図 4 に示す。BGP テーブルの経路それぞれの AS パスに現れるすべての AS 間を、Provider と Customer、Peering、Sibling と 3 つの関係に分類する。それぞれの関係性は、以下のような特徴がある。

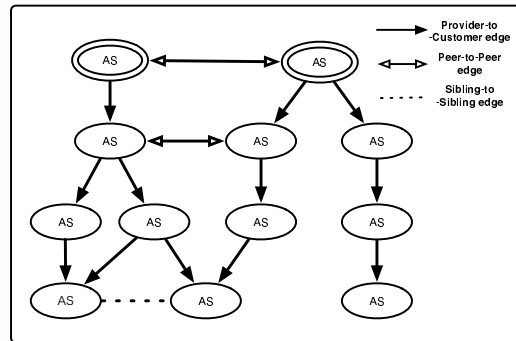


図 4: AS 間の関係性の階層構造

#### Provider と Customer の関係

Customer が金銭を支払うことで、Provider にトランジットを購入する。

#### Peering の関係

自 AS の全経路を AS 間ですべて交換する。そのため、Peer の関係にある AS は、BGP テーブルのサイズがほぼ等しい。

#### Sibling の関係

AS 間で相互にトランジットを行なう。

また、Provider を上位、Customer を下位、Peering、Sibling の関係を同列と扱う事で、AS トポロジを階層的に表現できる。階層構造の AS トポロジで BGP の AS パスは、谷折りのパスが存在しない。例えば、Provider-Customer のパスを通過した後は、より下位の AS である Provider-Customer のパスもしくは、Sibling のパスのみ通過する。Provider-Customer のパスを通過後、Customer-Provider のパスは存在しない。この谷折りのパスが存在しないことを「Valley-free」という。

これらの関係性と AS パスの特徴を考慮することで、AS の関係性を推測する。図 5 に AS の関係性を推測する手法を示す。

1. BGP ルータから得たすべての経路の AS パスを解析し、観測できるすべての AS の接続数を把握する。
2. AS の関係性で最も多くの接続数がある AS を構造の一番上位に位置するものと定義する。この AS は、valley-free の特徴から、上位の Provider がいない、トランジットの提供もしくは、Peer の関係性のみ



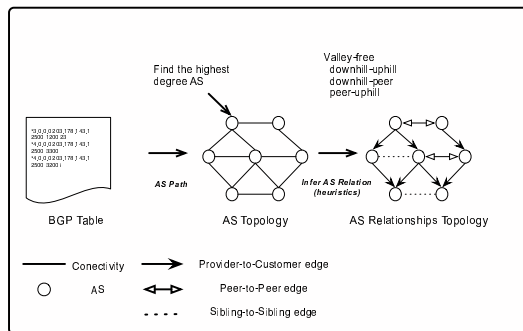


図 5: AS 間の関係性の推測

を持つ。

3. AS の繋がりや Valley-free から, AS 間のトランジットの方向を推測する。最上位の AS を見つけることで, その AS より前に出現する AS 間の関係性は, Customer-Provider もしくは, Sibling の関係しかない。また, 最上位の AS より後に出現する AS の関係性は, Provider-Customer もしくは, Sibling 関係のみ存在する。
4. 最後に, 双方向のトランジットが存在している AS 間を Sibling, 最上位の AS と同程度の接続数をもつ AS 間の関係性が Peering と推測する。

観測できるすべての AS 間の関係性を把握することで, 図 3 のような AS トポロジがわかる。また, このような BGP の特徴から AS トポロジを推測する手法は他にも提案されている。AS 間の接続数ではなく, 関係性を元にした手法 [8] では, それぞれの関係性の特徴を評価し, それぞれの AS に対してランク付けを行なう。よりランクの高い AS を上位の AS としてトポロジを推測する。

#### 4.2 接続拠点の識別手法

IP アドレスには, その対応する機器の位置情報は含まれていない。しかし, ネットワークの特性を計測したり, 開示されている情報を元に, ある程度の地理的な位置情報を推測することが可能である。ここでは, 位置情報と IP アドレスの対応付けをするための手法を 3 つの手法に分類して説明する。

##### Reverse DNS Lookup からの推測

DNS の Reverse Lookup から IP アドレスを持つ機器のホスト名を得ることが可能である。ネットワーク管理者は, ルータのホスト名に機器のある地理情報やトポロジ情報を付ける慣習がある。ルータ, もしくは, 同じ AS 内の近隣ノードからホスト名を取得し, ホスト名から場所を推測する。しかし, 物理配線の入れ替えなどで, 組織内でルータの配置が代わり, ホスト名を変更しなかった場合, その情報が間違っているかどうか外部からは調べられない。また, 地理名と場所の対応表をあらかじめもっていなければならない。既存の研究 [9] では, 実際に多地点に対しての traceroute の結果を元に, 実際に対応付けされているホストの数

について, どの程度推測できるか評価を行なっている。undns[10] は, 自ら地理名と緯度経度の対応表を持ち, DNS を使って, 場所の推測を行う。

##### 応答遅延計測からの推測

地理的に分けた観測地点から, 該当ホストに対して ping などを使って応答遅延計測を行ない, その地理的な位置を推測する。推測には, 多地点の計測機器が必要なことから, 手軽に利用することはできない。

##### Whois データベースからの推測

Whois や IRR(Internet Routing Registry)[11] を利用して, ドメイン内の管理者が開示している組織の住所や地名を元に, 地理情報を知ることが可能である。それらを元にデータベースを構築して検索環境を提供している GeoIP[12] や hostip.info[13] といったものがある。しかし, Whois のデータベースは, 管理者が任意に記入することから, 情報が古いことや取得できない可能性がある。

## 5 システム概要

本システムは, 地域内に BGP テーブルの収集を行う機器を設置し, そのデータを元に地理情報を考慮した AS トポロジを解析する。本システムの概要を図 6 に示す。

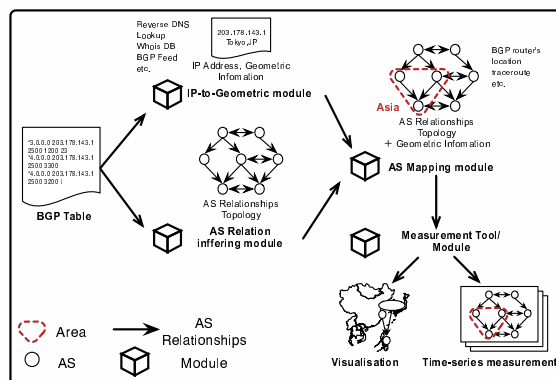


図 6: システム概要図

収集した BGP テーブルから AS パスを抽出することで, AS の関係性のトポロジを構築する。トポロジの解析には, 広範囲な traceroute の結果や AS の関係性の推測手法を用いる。また, BGP の Nexthop Address や機器間の traceroute の結果から AS 内の拠点を調査する。拠点の IP アドレスから地理的な位置を推測することで, AS 内の接続拠点がどの地域からどこに対して接続されているか識別できる。接続拠点の IP Address と地理情報の対応付けは, GeoIP データベースの利用や DNS の逆引きを利用する。

以上のシステムにより, 地域間の広域トポロジ情報を得る。そのトポロジ情報と既存のネットワークの品質を計測する ping や pathchar を用いることで, 各地域間のネットワークの品質を把握できる。例えば, アジアの各地域に注目し, それぞれのネットワークの品質を計測することで, インターネットが十分に普及していない地域が, どの地域に対してどんなネットワークの品質が低いと判断する指標になる。

しかし、観測地点によって、観測できない AS が存在する可能性がある。また、AS の関係性は、推測された関係性であるため、必ずしも正確な AS トポロジと限らない。そのため、地域レベルの精密な AS トポロジを把握するには、異なる AS 内により多くの観測地点が必要となる。また、正確な情報が必要な場合は、推測した手法が正しい地域間の情報が評価するシステムも必要となる。

## 6 研究課題

### 6.1 多地点での BGP データの収集

地域レベルの情報の精度を上げるためには、地域内でより多くの BGP テーブルを得たり、地域内のより多くの場所から traceroute による計測を行う必要があり、計測機器を増やす活動を進める事も重要となる。現在、WIDE プロジェクト [14] の活動として、インターネット上の全経路を持つ BGP テーブルの蓄積を行っている。また、CAIDA[5] や PlanetLab[15] との共同プロジェクトを通し、多地点からの計測することが重要である。

### 6.2 多量なトポロジ情報の解析手法

地域内の複数の BGP テーブルから AS トポロジを推測することに加え、それに地理情報が加わることで収集するデータ量は増える。特定の地域間のネットワークを計測する際は、その地理的に対応する情報のみが必要である。本研究の技術課題の 1 つは、計測したデータを利用する際、地理情報を含む広域トポロジ情報をいかに効率よく処理し、縮退するかということである。

### 6.3 広域トポロジの可視化

地理情報を考慮したトポロジを把握するためには、可視化技術を利用する事で、広域な情報を把握することができる。国際協調や政策の前提となるデータを表現するには、重点的に支援するネットワークインフラがわかるような表現手法を研究しなければならない。3 つ目の課題は、地域間の広域トポロジの可視化である。

## 7 本研究により実現する世界

本研究は、地理情報を考慮して広域なネットワークを計測することで、地域間のネットワークの現状を明らかにする。本研究により、どの地域が重点的に強化すべきネットワークインフラが明らかになる。それにより、国際協調や政策によるネットワークインフラの整備を、効率よく進める手助けとなる。例えば、「アジア・ブロードバンド計画」の推進する地域 IX の設置が、効率的にアジア全体の情報流通量の拡大に結びついたかどうか評価するために、本研究の情報を元に、地域間のトラフィック量の推移を推測することができる。

経済活動に任せたインターネットの発展に加え、国際協調によるインターネットの発展が効率よく発展することにより、インターネットが地球規模の情報交流を行うインフラになる。ネットワークの品質が低い地域が明らかになることで、地域間の情報格差を明らかにし、インターネットを利用したコミュニケーションや経済活動が促進される。

## 8 これまでの研究活動

学部 1 年次秋より慶応義塾大学村井研究室に所属し、ネットワークやプログラミングの基礎を学んだ。学部 2 年次から 3 年次にかけて、インターネットの経路制御について学び、OSPF トポロジの視覚化ツールの作成や BFD プロトコルの実装を行なっている。2 年次より Networkd+Interop においてスタッフとして参加し、3 年次には ShowNet Team Member のメンバーとしてネットワークの設計、設営の現場で働いた。また、3 年次からは、WIDE プロジェクト内に計測機器を設置し、対外向けの BGP テーブルの情報の蓄積、計測活動を行っている。

### 9 政策・メディア研究科に進学を志望する理由

本研究は、インターネットの基盤技術を積極的に利用している。そのために、今後の動向を知る上で、最先端のネットワーク環境やコンピュータ資源を有する環境が必須である。また、研究を進める上で、異なる組織の資源も利用することを考慮するために、他プロジェクトとの連携は必要不可欠である。以上の理由から、ネットワークのオペレーションに参加可能である環境、インターネットを活用した分野の実践的な経験を持つ研究指導者がいる政策・メディア研究科への進学を強く志望する。

### 参考文献

- [1] アジアブロードバンド計画. <http://www.asia-bb.net/jp/index.html>.
- [2] Smokeping. <http://oss.oetiker.ch/smokeping/>.
- [3] Pathchar. <http://www.caida.org/tools/utilities/others/pathchar/>.
- [4] Skitter. <http://www.caida.org/tools/measurement/skitter/>.
- [5] CAIDA. <http://www.caida.org/>.
- [6] Lixin Gao. On inferring autonomous system relationships in the internet. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, Vol. 9, No. 6, pp. 733–745, December 2001.
- [7] *Computing the types of the relationships between autonomous systems*, Vol. 1, 2003.
- [8] *Characterizing the Internet hierarchy from multiple vantage points*, Vol. 2, 2002.
- [9] Venkata N. Padmanabhan and Lakshminarayanan Subramanian. An investigation of geographic mapping techniques for internet hosts. In *SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, Vol. 31, pp. 173–185, New York, NY, USA, October 2001. ACM Press.
- [10] undns. <http://www.scriptroute.org/source/>.
- [11] Merit IRR Services. <http://www.irr.net/>.
- [12] MaxMind GeoIP. <http://www.maxmind.com/>.
- [13] hostip.info. <http://www.hostip.info/>.
- [14] WIDE Project. <http://www.wide.ad.jp/>.
- [15] PlanetLab. <http://www.planet-lab.org/>.