

IP モビリティと QoS を考慮したマルチホーム移動端末の インタフェース選択手法の提案と実装

大石恭弘^{†1} 佐原壮海^{†2} 横山彰之^{†1} 前田香織^{†1}

従来、移動透過通信機能をもつ端末の通信（IP モビリティ通信）では、IP モビリティ通信の品質として通信途絶のないハンドオーバーの実現に焦点をあてるケースが多かったが、本稿ではそれに加え、IP モビリティ通信の QoS を向上するために考慮すべき指標は何かを検討する。また、これらの指標を用いて、移動端末のハンドオーバー時のインタフェース選択や、端末が複数インタフェースをもつ場合はホストマルチホームをする際のインタフェース選択の手法の提案について述べる。提案手法では複数の指標から目標に最適な選択をする意思決定法 AHP (Analytic hierarchy process) を用い、インタフェース切り換えが頻発しない状態遷移を導入している。この手法をライブラリ化して実装することで、種々のインタフェース選択に使えるようにした。

Network Interface Selection in Multihomed Mobile Nodes Supporting IP mobility and QoS

YASUHIRO OHISHI^{†1} TAKEMI SAHARA^{†2}
AKIYUKI YOKOYAMA^{†1} KAORI MAEDA^{†1}

Researches on IP mobility communications mainly have been focused on seamless handover with no communication interruption. In this paper, we discuss what factors should be considered to improve QoS of IP mobility communications. Also, we propose an network interface selection method using these factors to select network interfaces in handover and multihoming of a mobile node with multiple interfaces. Our proposed method uses an AHP (Analytic hierarchy process) to select network interface candidates as a decision making method considering multiple factors and a user policy. Our proposal also introduces a communication quality state for final decision of interface change without frequent handover. This network interface selection is implemented as a C library to be able to use in other network interface selection applications.

1. はじめに

最近の移動端末は Wi-Fi, WiMAX, 3G など異なる種類の無線ネットワークを使うよう、複数インタフェースをもつものが一般化してきている。今のところ、これらのインタフェースは無線ネットワークのカバーエリアや通信の用途によって使い分けるケースが多い。しかし、既に異種ネットワークを同時に使うコグニティブ無線ルータも提案され[1]、端末でも WiMAX や LTE, Wi-Fi, 3G の複数の通信を同時に利用するリンクアグリゲーションが実現されるようになってきた[2][3]。こうした異種無線リンクの有効活用は物理層や MAC 層以下の無線技術を用いた電波資源を有効活用する場合のみならず、より上位層の技術を導入してより効率化を図ろうとしている。

移動端末が複数の無線リンクを切り替えたり、同時に使ったりして通信すると、通信相手（アプリケーション）から見ると、移動端末のアドレスが状況に応じて変わるが、アドレスが変化しても通信を継続できるための移動透過通信（以降、IP モビリティ通信）技術は Mobile IPv6[4]や MAT[5]など研究が進んできた。IP モビリティ通信をマルチホーム拡張するアプローチもある[6][7]。これらの研究の多

くは移動しながらの通信の品質が安定し、より高速通信できることが目的である。そこで、本研究では、ユーザのポリシーを考慮するなど IP モビリティ通信の QoS を向上することを目的とする。本稿では、QoS 向上のために必要な指標としてどのようなものがあるかを検討し、それらを総合的に判断して動的に移動端末のインタフェース選択をする手法を提案する。このようなインタフェース選択手法の提案としては、[8]などの提案があるが、ここで提案する選択手法は移動端末のハンドオーバー時のインタフェース選択、移動端末がマルチホームをする場合のインタフェース選択などに共通して使えるものであり、その他のアプリケーションにも応用可能である。

以下では 2.で IP モビリティの通信品質の指標やその評価方法について述べる。3.では提案するインタフェース選択手法について述べ、4.ではその選択手法を具体的にマルチホーム端末に適用するシステムとそのプロトタイプシステムの実装について述べる。5.でまとめと今後の課題について述べる。

2. IP モビリティにおける通信品質

2.1 複数の通信品質判断指標とユーザのポリシー

IP モビリティでは、異なるプロバイダ間のシームレスなネットワークの移動である異種メディア間ハンドオーバー（以降、垂直ハンドオーバー）が求められる。

^{†1} 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University
^{†2} 広島市立大学情報科学部
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University

携帯電話などの同一プロバイダ間の同種メディア間ハンドオーバー(以降, 水平ハンドオーバー)は電波強度などのリンク層情報に基づくものが主流であった。垂直ハンドオーバーでもリンク層情報を用いるために各メディア依存の情報を抽象化して扱う IEEE802.21 が提案されており, これを用いた垂直ハンドオーバーに関する研究がある[9]。IP モビリティ通信は複数のメディアを使用することからメディア非依存な通信の指標を考慮することは必要である。

また, リンク層情報などの移動端末からアクセスポイント(以降, AP)までの同一リンク内の情報のみならず, IP モビリティ通信の QoS を向上させるには移動端末とその通信相手との経路上(以降, end-to-end)で動的に変化する通信性能も指標として検討すべきである。例えば, end-to-end のパケットロスや, ジッタなどがメディア非依存な情報として使用できる。

さらに, 垂直ハンドオーバーでは複数のメディアから通信に利用するメディアを選択するため, その選択にユーザの意向(以降, ユーザポリシ)も考慮すべきである。

本稿ではインタフェース選択は一つのインタフェースを通信に選択することだけを意味するのではなく, 移動端末が複数インタフェースを使用できる場合はアプリケーションごとにインタフェースを割り当てることも意味する。

2.2 通信品質判断指標の取得方法

2.1 で述べた end-to-end の指標を用いて垂直ハンドオーバーについて著者らは[10]のような先行研究を行ってきた。このときは end-to-end の指標を得るために, 測定用のパケットを移動端末の全インタフェースから送出し, その結果から通信性能を得ていた。

しかし, end-to-end の指標を収集するためには移動端末自身が通信相手との間で測定をしなければならない。このときアクティブ計測では測定用のトラフィックが本来の通信を圧迫し, 本来の通信の性能が低下してしまう。その結果, 本来通信を行っていないインタフェースの通信性能の方が高くなってしまい, ハンドオーバーが頻発するといった事態が発生する。また, 全インタフェースの測定は端末の電池消費の問題も生じる。したがって, 移動端末自身が通信品質指標を測定するのは問題を抱えている。

ネットワークの品質情報収集の試みの一つとしてスマートフォン の位置情報を用いて無線ネットワーク全体の状態を把握しようという試みがある[11]。今後は, 無線通信のカバーエリアとともに, このような通信性能マップも提供されることを想定し, 通信性能の取得は外部システムを使用することを考えている。

3. インタフェース選択

本章では, 2. で述べたように IP モビリティの QoS を向上するために, 移動端末の複数のインタフェースからその時の要求にあったインタフェースを一つ以上選択する手法の

提案について述べる。提案手法は, 2つのステップがある。第1ステップはインタフェースの候補を決定する。第2ステップは候補の中からインタフェースの切り替えが頻発しないように, 最終的に現行のインタフェースを候補に切り替えるかどうかを判断する。

3.1 AHP 法によるインタフェース候補の決定

本研究で提案するインタフェース選択には 2.1 で述べたような RTT, ジッタやロス率など多様な基準を持った指標を利用する。そこで, 取得した指標のコストをインタフェースごとに一つの値にまとめるため, 複数の指標からゴールを決定する意思決定手法の一つである AHP(Analytic hierarchy process)法[12]を採用した。AHP 法は通信経路選択やインタフェース選択にもよく使われている[13][14]。AHP 法では, 以下の5つの手順で評価を行う。

(1) 代替案を設定

どのメディアを使うかを表す代替案の設定では現在利用できるインタフェースの候補をあげる。移動端末では 3G, Wi-Fi, WiMAX などがあげられる。

(2) 要因を抽出, 階層構造を設定

階層構造の設定では代替案の選択に考慮される要因を抽出し, 階層構造を作成する。要因には RTT, ジッタ, ロス率などがあげられ, 図 1 のような階層構造の構成になる。

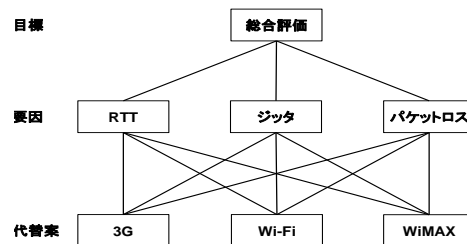


図 1 階層構造例

Figure 1 Hierarchy of criteria

(3) 要因の重要度の計算

各要因の重要度の計算は対比較法を用いて行う。まず, 各要因の重み $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ をユーザポリシや使用するアプリケーションに応じて設定する。対比較では, $a_{ij} = w_i/w_j$ ($1 \leq i, j \leq n$)と表現する。例えば一方方向のビデオ配信を優先する場合を例にとると, ジッタが小さいことを最も優先するために, 各指標を互いに比較して, 1~9段階で重み付けした対比較表を表 1 のように求める。この対比較は対比較行列 A のように表現できる。

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

そして正規化された行列 A_{norm} は以下のように表現できる。

$$A_{norm} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (3)$$

各要因の重要度 p_i は以下の方程式で表すことができる。

$$p_i = \frac{\sum_{l=1}^n b_{il}}{n} \quad (4)$$

表1の値を用いて計算された各要因の重要度は表2のようになる。

表1 ビデオ配信優先の場合の重みを決定するための一対比較行列の例

Table 1 Pairwise comparison matrix relative for deciding priority of factors in the case of high priority of video transmission

	RTT	ジッタ	パケットロス
RTT	1	1/9	1/5
ジッタ	9	1	2
パケットロス	5	1/2	1

表2 ビデオ配信優先時における各要因の重要度

Table 2 Importance of each factor

RTT	ジッタ	パケットロス
0.07	0.62	0.32

(4) 相対評点の計算

相対評点は代替案がそれぞれの要因に対して、どれだけの評価を持つかを表す。例えば RTT の測定値が表3の場合、表4は RTT に対して3つの代替案の一対比較をした場合の、一対比較行列である。同様に残りの2つ要因に対しても代替案を比較し、一対比較行列を求める。相対評点の計算はこれら一対比較行列を用いて、式(2)~(4)の計算を行う。計算された値は、例えば3GのRTTの計算結果は $q_{rtt, 3G}$ と表す。

表3 RTTの測定値例

Table 3 Example of RTT measurement values

3G	Wi-Fi	WiMAX
200[ms]	50[ms]	120[ms]

表4 RTTの一対比較

Table 4 Paired comparison matrix deciding relative priority for RTT of alternatives

	3G	Wi-Fi	WiMAX
3G	1	1/4	3/5
Wi-Fi	4	1	12/5
WiMAX	5/3	5/12	1

(5) 総合得点の計算と候補選択

これまで計算した重要度、相対評点を用いて代替案ごとに総合得点を求める。例えば、3Gの場合は式(5)のようになる。

$$Cost_{3G} = p_{rtt} * q_{rtt \cdot 3G} + p_{jitter} * q_{jitter \cdot 3G} + p_{loss} * q_{loss \cdot 3G} \quad (5)$$

総合得点ごとにインタフェースの順位付けを行い、一番高得点のインタフェースが目標を満たす候補として選択される。

3.2 STATEの導入によるインタフェース切り替え判断

AHP法を用いて得られるインタフェースの候補を単純に選択していると、わずかな総合得点の違いによってハンドオーバーをし、ハンドオーバーが頻発する。この問題を解消するため、STATEを導入した。ここでは通信性能をある範囲ごとに大きく3つに分類し、性能の良い方から STATE1, STATE2, STATE3 とランク付けする。3段階のボーダーラインは利用する通信タイプ(ビデオ配信やVoIPなど)やユーザポリシーによって決まる。

このボーダーラインの設定方法は様々考えられるがプロトタイプシステムではITU-TがIP網の通信品質目標として掲げている Y.1541 を採用した。Y.1541には、Class0~5の品質目標があるがVoIPの通信品質目標のClass0とビデオ配信優先の品質目標のClass1をそれぞれ STATE1 と STATE2 のボーダーライン、STATE2 と STATE3 のボーダーラインとした。具体的な目標値は表5のようになる。この2つの目標値に対して、3.1の方式で総合得点を計算し、2つのボーダーラインとして設定される。

3.1で求められたインタフェースの候補の総合得点が3段階のどのSTATEかを調べ、現在使用しているインタフェースのSTATEと比較する。表6のインタフェース選択方針により、候補となるインタフェースに切り替えるかどうかを判断する。

表5 ITU-T 勧告 Y.1541 の目標値

Table 5 Goal of ITU-T Y.1541

	遅延	ジッタ	ロス率
Class 0	100[ms]	50[ms]	0.01[%]
Class 1	400[ms]	50[ms]	0.01[%]

表6 インタフェース切替規則

Table 6 Interface decision rule

candidate current	STATE1	STATE2	STATE3
STATE1	-	-	-
STATE2	handover	-	-
STATE3	handover	handover	-

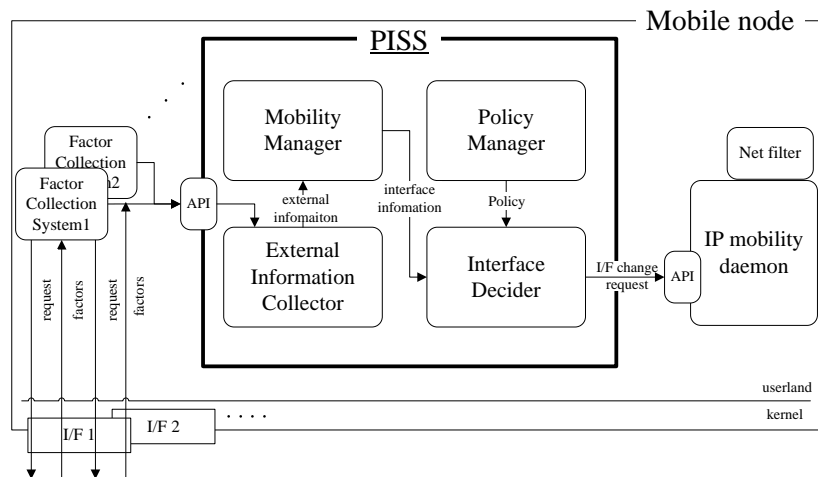


図 2 PISS のシステム構成
 Figure 2 System configuration of PISS

4. 提案するインタフェース選択システム

本章では、3.で述べたインタフェース選択手法を用いて IP モビリティに対してハンドオーバーとマルチホームのインタフェース選択するシステムを開発について述べる。本システムを Policy-based network Interface Selection System using dynamic factors(PISS)と呼ぶ。

PISS はユーザポリシーや外部や内部のアプリケーションからインタフェース選択の判断に必要な指標を受け取り、適切なインタフェースの選択し、必要であれば IP モビリティに対して指示を送るシステムである。PISS 自身はインタフェースを選択するシステムなので IP モビリティのインタフェース選択に限らず、インタフェース選択を必要とするシステムに対して幅広く利用できるように設計している。PISS は[15]で提案したマルチホームのインタフェース選択システムを拡張したものとなっている。

PISS のシステム構成は図 2 のようになり、PISS の入出力に関連する外部システムも描いている。Factor Collection System は外部から指標を収集するシステムである。この外部システムから例えば、ping による通信相手との RTT の測定値や[11]のようなマップから得られるネットワークの状態をインタフェース選択の要因として取得する。IP mobility daemon は移動端末の IP モビリティ機能を持つシステムで、MIP6 や MAT を想定している。Net filter は同端末の経路選択機能を提供するものを表す。PISS は 4 つの機能を持ち、それぞれの機能を以下の(1)~(4)で述べる。

(1) Interface Decider

Interface Decider は PISS で管理する情報全てを統合的に利用してインタフェース選択を行う。そして、選択したインタフェースを IP mobility daemon に通知する。移動端末のハンドオーバーやマルチホームの場合のインタフェース選択

システムである PISS はアプリケーションごとに通信インタフェースを選択することを想定しているため、PISS からの要求を受ける IP モビリティアーキテクチャはマルチホーム機能をサポートしている必要がある。

(2) Policy Manager

Policy Manager はユーザポリシーをユーザから受け付けその管理を行う。また、システムで定義されている固有のポリシーなども扱う。Policy Manager は Interface Decider からの要求に応じてユーザポリシーを通知する。ユーザポリシーとしてアプリケーションごとの通信品質ポリシー(RTT, ジッタ, ロス率などの優先度)やアプリケーション自身の優先度などを想定している。

(3) Mobility Manager

Mobility Manager はインタフェース選択に必要な情報の管理を行う。管理情報としては、例えば移動端末自身や通信相手の IP アドレスやインタフェース選択指標である。Mobility Manager は Interface Decider からの要求に応じて管理するインタフェース選択指標を通知する。

(4) External Information Collector

External Information Collector は Factor Collection System から API を通じてインタフェース選択に必要な情報を収集する。例えば、指定したネットワークの品質情報や IP モビリティから提供されるモバイルアドレスの情報などがある。Policy Manager より通知されたユーザポリシーを反映し、情報を収集するシステムを選択する。

5. プロトタイプシステムの実装

現在プロトタイプシステムを実装中で、実装の終わった以下の 2 つに部分について述べる。

5.1 MAT のマルチホーム対応

図 2 の IP mobility daemon に相当するマルチホーム機能

を持つ IP モビリティアーキテクチャとして、著者らが提案している MAT[5][10]にマルチホーム対応の拡張を施した [15]. 実装した環境は Linux, 言語は C 言語で, マルチホームの経路選択には iptables を用いた.

拡張を施した MAT を用いてマルチホームの映像伝送実験を行い, 想定するインタフェースの切り替えが可能かの動作確認と切り替えに要す時間を調べた. 実験の構成は図 3 のように移動端末(MN)と 2 台通信相手(CN1, CN2), モバイルアドレスとホームアドレスのアドレス管理サーバである IMS(Information Mapping Server)からなる. 通信は 1Mbps の映像を CN1 と CN2 から MN にそれぞれ TCP で送信した. 実験ではインタフェースの切り替えを判断してから実際に切り替わるまでの処理時間を 10 回測定した.

切り替える場合として, (1)NW1 のみで受信している状態から CN2 との通信のみを NW2 に切り替えるシングルからマルチへ切り換える場合と, (2)CN1 と CN2 でそれぞれ NW1 と NW2 を使って通信している状態から両方 NW1 で通信を行うようにマルチからシングル切り替える場合の 2 通りについて行った. 実験の結果, (1)のシングルからマルチ場合に平均 36ms, (2)のマルチからシングルの場合に平均 73ms であった. これにより, 通信の途絶なく, また指定した通りにインタフェースが切り替わることを確認できた.

5.2 インタフェース候補決定アルゴリズムのライブラリ

Interface Decider は PISS の根幹となるが, まずインタフェース選択に使う 3.1 の手順をライブラリ化した. 開発環境は Linux, 言語は C 言語で開発を行った. このライブラリは他のシステムでも利用できるように実装をした. 実装したインタフェース候補決定のライブラリは各要因の重みと代替案の測定値を基本的な引数として, 各代替案の総合得点を返すものである. 3 つの階層に相当するデータ構造は図 4 のようになる.

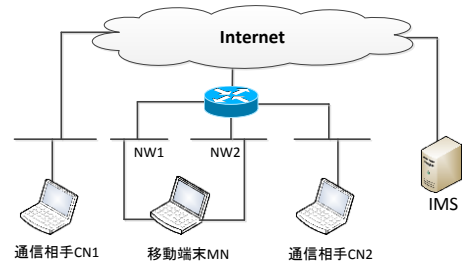


図 3 MAT-マルチホーム実験構成

Figure 3 Experimental environment of multihoming with MAT

要因の重要度の計算や代替案の相対評点の計算にはすべての要因と代替案を計算する計算式をデフォルトとして用意し, 別の計算式が必要な場合はライブラリを利用するユーザに用意してもらう方式をとった.

5.3 システム全体の实装

4.で述べた PISS の 4 つの構成部分のうち(2)と(3)は[10]で実装したものをを用いる. (1)と(4)は実装が必要である. (1)はマルチホームに対応するため複数のユーザポリシーに対して, それぞれに 3.の手順を行うように実装する. (4)は Factor Collection System を PISS 側で制御し, 取得する指標を選べるように実装を行う予定である.

6. まとめ

本稿では, 複数インタフェースを持った移動端末に対する通信の QoS を考慮するインタフェース選択手法の提案を行い, その根幹となる AHP 法のライブラリの実装を行った. また, マルチホームをサポートするために IP モビリティアーキテクチャの MAT を拡張し, 通信中でも複数のインタフェースを切り替えられることを確認した.

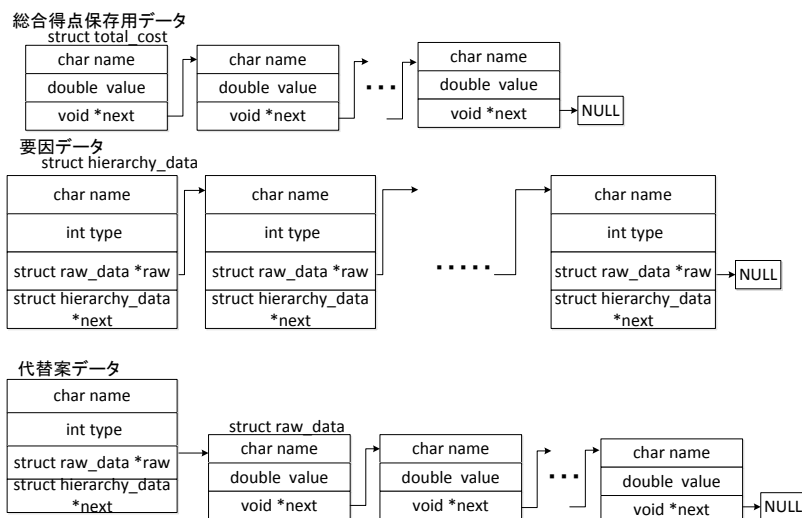


図 4 インタフェース選択ライブラリのデータ構造

Figure 4 Data structure of a interface selection library

今後の予定として、今回提案したインタフェース選択手法の実装と IP モビリティ通信の QoS 向上に対して有効性を示すための評価を行う。

謝辞 本研究に関して議論し、ご助言を頂きました MAT プロジェクトの関係各位に感謝致します。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費助成金基盤 (B) 24300027 の支援を受けて実施しています。

参考文献

- 1) 石津健太郎, 村上誉, 宮本剛, フィリニスタニスラブ他: ヘテロジニアス型コグニティブ無線を実現するリンクアグリゲーションが可能なコグニティブルータ, 信学技報, RCS2009-319, pp.167-174, Mar. 2010.
- 2) リングアグリゲーション無線技術, Time & Space, 2012 年 8/9 月号, pp.16-17, 2012.
http://www.kddi.com/corporate/time_and_space/2012_8-9/pdf/2012_8-9_16.pdf. Aug. 2012.
- 3) 山口明, 藤本貢, 今垣雄一: コグニティブ協調方式検討のためのヘテロジニアス無線テストベッドの研究開発, 信学技報 SR-36, pp.113-118, Jul. 2010.
- 4) D.Jonson, C.Perkins and J.Arkko: Mobility Support in IPv6, RFC3755, IETF, Jun. 2004.
- 5) 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋: アドレス変換方式による移動透過インターネットアーキテクチャ, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3889-3897, Dec. 2002.
- 6) 史 虹波, 濱上 知樹, : SCTP 及び MIPv6 を用いたマルチホームの分散経路制御, 電気学会論文誌 C, Vol. 131, No. 4, pp.818-825, Apr. 2011.
- 7) P.Nikander, T. Henderso, C. Vogt and J. Arkko: End-Host Mobility and Multihoming with the Host Identity Protocol, IETF RFC5206, Apr. 2008.
- 8) Jukka Ylitalo, Tony Jokikyyny, Tero Kauppinen, et.al: Dynamic Network Interface Selection in Multihomed Mobile Hosts, IEEE Proc. of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences 2003, 2003.
- 9) 三屋光史朗, 北地三浩, 長澤知津子, 守田空悟, 横田知好他: IEEE802.21 を用いたスムーズな異種メディア間ハンドオーバーシステムの実現, 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.1, pp. 335-349, Jan. 2008.
- 10) Takuya Hourai, Kaori Maeda, Yasuhiro Ohishi, Hayato Morihoro, Tomoyuki Harase: Vertical Handover Control Considering End-to-End Communication Quality in IP Mobility, Proc. of 2012 IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet, pp.332-337, Jul. 2012.
- 11) 北口善明, 永見健一, 菊池豊: スマートフォンの位置情報を用いたインターネット接続状態の把握, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-IOT-16, No.48, Mar.2012.
- 12) T. L. Saaty: How to make a decision:The Analytic Hierarchy Process, European Journal of Operational Research, Vol48, pp.9-26 1990.
- 13) Noriaki Kamiyama, Daisuke Satoh: Network Topology Design using Analytic Hierarchy Process, Proc. of IEEE ICC '08, pp.2048-2054, May. 2008.
- 14) Sourav Dhar, Amitava Ray, Rabindranath Bear: Design and Simulation of Vertical Handover Algorithm for Vehicular Communication, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.2, No.2, pp.5509-5525, 2010.
- 15) 大石恭弘, 蓬葉拓弥, 前田香織: IP モビリティ機能をもつ移動端末のホストマルチホームの提案と実装, 信学技法, IA2011-90, pp.107-112, Mar. 2012.