

複合無線環境下においてネットワーク制御による 無線システム選択方法の提案

水木 篤志 川上 博 滝田 亘

(株)NTT ドコモ ネットワーク研究所

〒239-8536 横須賀市光の丘 3-5 DoCoMo R&D センタ

E-mail: {mizuki, kawakami, wataru}@netlab.nttdocomo.co.jp

あらまし セルラ、無線 LAN、無線 MAN などの複数の無線システムが、ひとつのオペレータによって同一平面上に重ねあわされて提供される複合無線環境下においては、上記複数の無線システムに対応したインタフェースを有する移動端末が、時と場合に応じて適切な無線システムを利用して通信することが要求される。各移動端末が適切な無線システムを選択するために、ユーザは選択判断基準に基づいて各々のユーザが独立して無線システムを選択すると、ある特定の無線システムだけが輻輳したり、移動に伴う異種無線間ハンドオーバーが頻繁に発生したり、通話切断が発生したりし、結果的に快適な通信を阻害してしまうという問題があった。そこで本研究では、各移動端末の選択判断基準に基づいて選択するだけでなく、ネットワークが周囲の状況を考慮して、各移動端末が利用する無線システムの選択をアシストすることにより、上記問題点を改善する方式の検討を行っている。本稿では本研究の適応領域を見出すための一検討として、各移動端末の選択条件ごとに利用する無線システムを選択した場合に生じる呼損量および異種無線システム間ハンドオーバー回数を理論解析により求めた。

キーワード 複合無線通信、異種無線システム間ハンドオーバー、選択判断基準、呼損

A Proposal of Network-Controlled Wireless System Management Scheme in Multi Wireless System

Atsushi MIZUKI Hiroshi Kawakami and Wataru Takita

Network Laboratories, NTT DoCoMo, Inc.,

3-5 Hikarino-oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: {mizuki, kawakami, wataru}@netlab.nttdocomo.co.jp

Abstract Multi wireless system environment, in which several wireless systems such as cellular, wireless LAN, and wireless MAN are overlapped and served by one network operator, will be coming. In the environment, each mobile terminal will want to use the optimal wireless system to communicate with taking time and circumstances into consideration. If each mobile terminal selects independently the wireless system by his/her own selection metrics to use the optimal one, the allocation bias of wireless systems will be occurred. And the allocation bias causes the network congestion of specific wireless system with the result that other mobile terminals are disadvantaged. In our research, we investigate the efficient wireless selection scheme to resolve the allocation bias by taking not only the selection metric of each mobile terminal but also surroundings circumstances obtained by the network operator into consideration. In this paper, we analyze the lost-call rate and frequency of vertical handover of network-controlled wireless system management scheme.

Keywords multi wireless system, vertical handover, selection metrics, and lost-call

1. はじめに

これまで独立に開発され、発展してきた家庭・公衆・企業等の通信網の効率化を目的として、固定移動網の融合 (FMC: Fixed Mobile Convergence) が始まりつつある [1]. FMC では、移動通信網へ通信していた移動端末を、特定のエリア (例えば家庭内など) では固

定通信網へ繋ぎかえることにより、ユーザにとって通信料の削減や安定した通信ができ、ネットワークオペレータにとって効率的な通信帯域の配置やワンビリングによるコスト削減という相乗効果をもたらしている [2][3]. 一方で、こうした通信の融合の動きは、移動体通信においても活発に行われてきている。その一例として近年、無線システムとして古くから発展し、至る

所でサービス展開されているセルラ通信システムとともに、新たな無線システムとして無線 LAN や無線 MAN などが普及し始めてきた。また別の一例として、無線 LAN や無線 MAN の無線チップの小型化・省電力化に伴い、これらの複数の無線システムに対応する通信インタフェースを搭載した移動端末が登場しはじめてきた[4]。このような進展から、近い将来、単一ネットワークオペレータが、これら複数の無線システムを同一平面上にオーバーラップして展開し、上記移動端末に対してサービス展開することにより、今までよりもユーザにとって快適な通信環境を提供することができる。例えば、大都市圏の主要駅周辺などの高密度地域においては、現在のセルラでは通信帯域に限界があったため、恒常的に高い頻度で呼損や通信品質の劣化が発生しているが、このような地域において上記新たな無線システムを適切に配備することによって、これらの通話呼を救済したり、通信品質の劣化を抑えたりできるようになる。

また、このような複合無線環境では、従来では各移動端末が各々の選択判断基準に基づいて、利用する無線システムを選択していた。適切な無線システムを選択するための制御方法として例えば、各移動端末の契約情報や、各移動端末が取得する電波強度などの情報を選択判断基準として、当該移動端末にとって常に最適な無線システムを選択する方式などがある[5][6]。

しかし、音声通話のように、ある移動端末が在圏している複数の無線システムが、全て上記選択判断基準を満たす場合も存在すると考えられる。例えば、音声通話を行うにあたっては、どちらの無線システムを選んでも同一の通話料金であったり、通話品質を満たす受信レベルや通信帯域を満たしていたりすれば、ユーザにとって満足できる通話を提供することができる。この環境に置かれた移動端末は、これら複数の無線システムのうち、どの無線システムを選択・利用するのかは、特に拘り無く任意の無線システムを選択することが考えられる。

こういった移動端末が任意の無線システムを選択すると、単位エリア内の各無線システムに係るトラフィック量に偏りが生じることが懸念される。このトラフィック量の偏りが原因で、単位エリア内の呼損や通話切断が増加したり、トラフィック処理量が低下したりという問題を発生してしまう。また、上記移動端末が移動することによって、移動に伴う異種無線間ハンドオーバーが頻繁に発生したり、このハンドオーバーが原因で通話切断が発生したりするという問題も発生してしまう。結果的に、移動端末に対して快適な通信を提供するための弊害となってしまう。したがって、各移動端末の選択判断基準を複数の無線システムが満たし

た場合でも、周囲の移動端末や無線システムの状況を鑑みて適切に選択することが求められるが、各移動端末が取得できる情報には限界がある。

そこで本研究では、各移動端末が利用する無線システムを適切に選択するために、各移動端末が各々独立して選択するのではなく、ネットワークが単位エリア内の状況を勘案して無線システムの選択をアシストする方式を検討している。これにより、周囲の移動端末の状況に応じた適切な無線システムを選択できるため、呼損率の低減・トラフィック処理量の向上という効果が期待できる。

本稿では本研究の適応領域を見出すための一検討として、各移動端末の選択条件ごとに利用する無線システムを選択した場合に生じる呼損量および異種無線システム間ハンドオーバー回数を理論解析により求め、呼損量を増加させることなく異種無線システム間ハンドオーバー回数を低減できる方法を提案し、本研究の適応領域が存在することを明らかにしている。

2. 無線システム選択方式

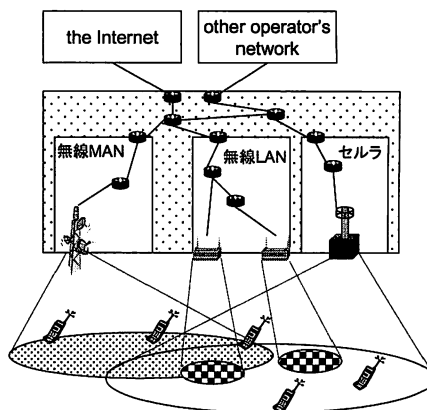


図 1：ネットワーク構成図

図 1 に、本稿で想定する通信オペレータのネットワーク構成例を示す。図 1 に示すように、通信オペレータは、複数の無線システムを管理しており、各移動端末は、在圏エリアや、搭載している無線インタフェースに応じて、通信に利用する無線システムを選択している。この時各移動端末は、無線システムからの電波強度など、各移動端末が取得できる動的な情報や、各無線システムの通信料などの静的な情報を利用して適切な無線システムを選択することができる。しかし、各移動端末が各々独立して利用する無線システムを選択すると、単位エリア内の各無線システムに係るトラフィック量に偏りが生じることが懸念される。このトラフィック量の偏りが原因で、単位エリア内の通信帯域容量（またはチャンネル容量）を増大したにもかかわらず

らず、当該ネットワーク資源を十分に活用できずに呼損や通話切断が増加したり、トラフィック処理量が低下したりという問題が発生してしまう。本研究では、ネットワークにかかるトラフィック量の偏りを解消するために、各移動端末が利用する無線システムを選択する際に、各移動端末の選択判断基準だけでなく、移動端末が取得できない情報（例えば、各無線システムの利用チャンネル数、周囲の移動端末が利用している無線システムなど）をネットワーク側が取得し、無線システムの選択判断基準として利用する方式の検討を行っている。この方式の実現により、ユーザにとって呼損率を低減するという効果が得られ、また、ネットワークオペレータにとって単位エリアあたりのトラフィック処理量の向上といった効果を得ることが期待できる。

3. 研究課題

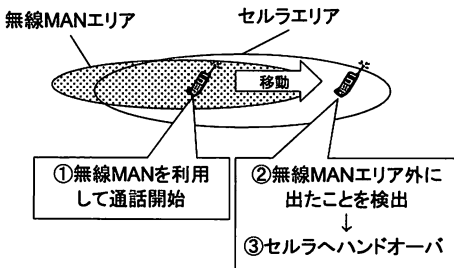


図 2：異種無線システム間ハンドオーバー発生例

前章で述べたように、音声呼の制御として、ネットワークが取得できる情報も利用して呼制御をすることで、呼損を低減するという効果は得られるが、ユーザの通信品質向上の観点から、呼損以外の指標も改善することが求められる。

その指標の一例として、異種無線システム間ハンドオーバーの頻度が挙げられる。図 2 に、異種無線システム間ハンドオーバー（以下、単にハンドオーバーと呼ぶ）の発生例を示す。図 2 に示すように、通話などのアプリケーション開始時に無線 MAN を選択し、利用し始めた後、移動に伴い当該無線 MAN のエリア外に出た場合、別の無線システム（図 2 ではセルラ）へハンドオーバーする必要がある。通話などの即時性通信の場合、このハンドオーバーの制御に伴う遅延により、継続中のアプリケーションに瞬断が発生する。現在ハンドオーバーの遅延時間を短縮するための研究が行われている [6][7]。しかし同一無線システム内のハンドオーバーと同等ないしはユーザが瞬断に気づかない程度の遅延時間を達成するには多くの課題が残されている。

以上から、ユーザに快適な通信を提供する無線システム選択方式を実現するためには、呼損量を低減する

だけでなく、ハンドオーバーの頻度も低減することが必要であると言える。

そこで本稿では、移動端末の呼損およびハンドオーバー頻度を低減した無線システム選択方式の一検討として、音声通信を行う移動端末の無線システム選択モデルにおいて、発呼量に対する呼損量およびハンドオーバー頻度を理論解析により求める。

4. ネットワーク制御モデルと評価

4.1. ネットワーク制御モデル

表 1：評価モデルのパラメータ

発呼数(times)	N
平均保留時間(sec.)	h
測定時間(sec.)	T
呼量(erl.)	$k (=N \cdot h/T)$
エリア跨り率	p
無線システム A 対 B 面積比	$l:n (0 \leq n \leq l)$
無線システム A チャンネル数	C_A
無線システム B チャンネル数	C_B

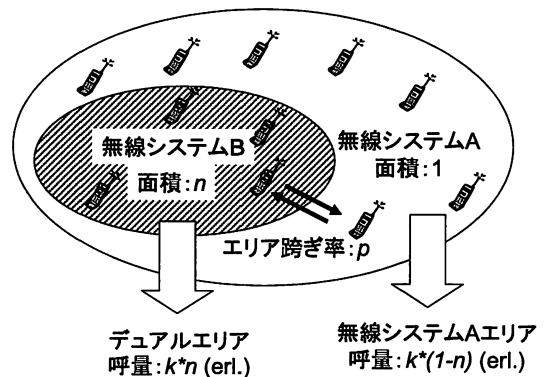


図 3：エリア展開図

表 1 に本稿での評価において用いるパラメータの一覧を示す。また図 3 に、本稿の理論解析における各無線システムのエリア展開図を示す。図 3 のように、本稿の評価シナリオでは、無線システム B は無線システム A の部分集合としている。つまり、無線システム B の在圏エリアは全てデュアルエリアとし、無線システム B の在圏でない無線システム A のエリアを無線システム A エリアとしている。また、各移動端末の発呼タイミングは一樣であり、保留時間は全ての発呼において $h(\text{sec.})$ とする。したがって呼量は任意の時間において $k(\text{erl.})$ となる。さらに、通話中移動端末の位置は均等に分散していると仮定している。すなわち、無線システム A エリアでの発呼量とデュアルエリアでの発呼量は、各々 $k \cdot (l-n)$ 、 $k \cdot n$ となる。また、上記無線システム A エリアの外への移動端末の流出および外からの流入は無いものとする。各無線システムのチャンネル数

を超える呼が発生した場合、当該無線システムは輻輳状態となり、超えた分の呼は通話できなくなる（呼損する）。

表 2 に、本理論解析において用いた無線システム選択モデルの概要を示す。無線システム選択モデルは表 2 に示した 2 モデル（A 優先モデル、B 優先モデル）を用いる。各モデルの詳細については、次小節以降において説明する。

表 2：A 優先、B 優先の各エリアにおける振る舞い

	無線システム A エリア	デュアルエリア エリア
A 優先モデル	無線システム A	無線システム A
B 優先モデル	無線システム A	無線システム B

4.2. A 優先モデル

4.2.1. 概要

A 優先モデルでは、各移動端末は任意のエリアにおいて無線システム A を利用する。なお、無線システム A が輻輳した場合、デュアルエリアに在圏する移動端末が発呼する時に無線システム B を利用する。

4.2.2. 呼損・通話切断発生要因

呼損および通話切断の発生要因は下記の通りである。

- A) 無線システム A、B 共に輻輳していない場合、呼損は発生しない
- B) 無線システム A が輻輳し、無線システム B が輻輳していない場合
 - ✓ 無線システム A エリアに在圏している端末のうち、容量あふれになった端末は呼損する。
 - ✓ 無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合、通話切断が発生する。
- C) 無線システム A、B 共に輻輳した場合
 - ✓ 全エリアにおいて容量あふれになった端末は呼損する。
 - ✓ 無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合、通話切断が発生する。

以上から、A 優先モデルの呼損 P_{LC_A} は、表 1 に定めた

パラメータを用いることで、下記のように表現できる。

$$P_{LC_A} = \begin{cases} 0 & \dots & k < C_A \\ (k - C_A) \cdot (1 - n) + (k - C_A) \cdot n \cdot p \cdot \dots \cdot C_A < k < C_A + C_B / n & (1) \\ k - (C_A + C_B) + C_B \cdot p & \dots & otherwise \end{cases}$$

4.2.3. ハンドオーバー発生要因

ハンドオーバー発生要因は下記の通りである。

- A) 無線システム A、B 共に輻輳していない場合、ハンドオーバーは発生しない
- B) 無線システム A が輻輳し、無線システム B が輻輳していない場合、無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合にハンドオーバーが発生する。
- C) 無線システム A、B 共に輻輳した場合、無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合にハンドオーバーが発生する。

以上から、A 優先モデルのハンドオーバー P_{HO_A} は、表

1 に定めたパラメータを用いることで、下記の数式として表現できる。

$$P_{HO_A} = \begin{cases} 0 & \dots & k < C_A \\ (k - C_A) \cdot n \cdot p & \dots \cdot C_A < k < C_A + C_B / n & (2) \\ C_B \cdot p & \dots & otherwise \end{cases}$$

4.3. B 優先モデル

4.3.1. 概要

B 優先モデルでは、無線システム A エリアに在圏する移動端末は無線システム A を利用する一方で、デュアルエリアに在圏する移動端末は無線システム B を利用する。なお、無線システム B が輻輳した場合、デュアルエリアに在圏する移動端末が発呼する時に無線システム A を利用する。

4.3.2. 呼損・通話切断発生要因

呼損および通話切断の発生要因は下記の通りである。

- A) 無線システム A、B 共に輻輳していない場合、呼損は発生しない。
- B) 無線システム A が輻輳し、無線システム B が輻輳していない場合
 - ✓ 無線システム A エリアに在圏している端末のうち、容量あふれになった端末は呼損する。
 - ✓ 無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合、通話切断が発生する。
- C) 無線システム A が輻輳しておらず、無線システム B が輻輳している場合、デュアルエリアにおいて無線システム B からあふれた移動端末は、全て無線システム A を利用するため、呼損は発生しない。
- D) 無線システム A、B 共に輻輳した場合
 - ✓ 全エリアにおいて容量あふれになった端末は呼損する
 - ✓ 無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合、

通話切断が発生する

以上から、B 優先モデルの呼損 P_{LC_B} は、表 1 に定め

たパラメータを用いることで、下記の数式として表現できる。

$$P_{LC_B} = \begin{cases} 0 & \cdots & k < C_A \\ k \cdot (1-n) - C_A + k \cdot n \cdot p & \cdots & \frac{C_A}{1-n} < k < \frac{C_B}{n} \\ 0 & \cdots & C_B/n < k < C_A + C_B \\ k - (C_A + C_B) + C_B \cdot p & \cdots & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

4.3.3. ハンドオーバー発生要因

ハンドオーバー発生要因は下記の通りである。

- A) 無線システム A, B 共に輻射していない場合
 - ✓ 無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合、ハンドオーバーが発生する。
 - ✓ 無線システム A を利用している移動端末がデュアルエリアに移動した場合、ハンドオーバーが発生する。
- B) 無線システム A が輻射し、無線システム B が輻射していない場合
 - ✓ 無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した場合、ハンドオーバーが発生する。
 - ✓ 無線システム A を利用している移動端末がデュアルエリアに移動した場合、ハンドオーバーが発生する。
- C) 無線システム A が輻射しておらず、無線システム B が輻射している場合、無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した時にハンドオーバーが発生する。
- D) 無線システム A, B 共に輻射した場合、無線システム B を利用している移動端末が無線システム A エリアに移動した時にハンドオーバーが発生する。

以上から、B 優先のハンドオーバー P_{HO_B} は、表 1 に定め

たパラメータを用いることで、下記の数式として表現できる。

$$P_{HO_B} = \begin{cases} k \cdot n \cdot p + k \cdot (1-n) \cdot p & \cdots & k < C_A + C_B/n \\ C_B \cdot p & \cdots & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

4.4. 評価結果

表 3：評価モデルのパラメータ

エリア跨り率 (p)	0, 0.1, 0.3
無線システム A 対 B 面積比	2:1 ($n=0.5$)
無線システム A チャネル数 (C_A)	20
無線システム B チャネル数 (C_B)	10

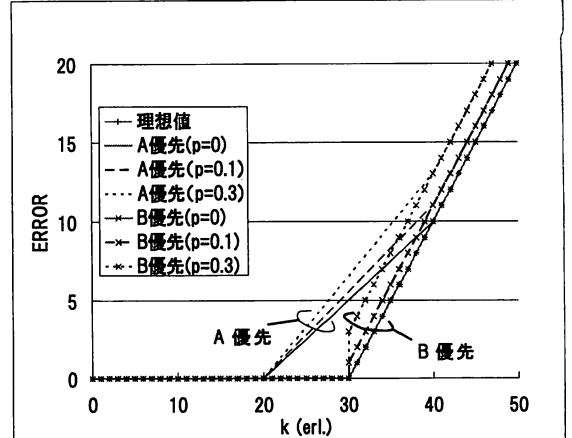


図 4：呼量に対する呼損・通話切断量

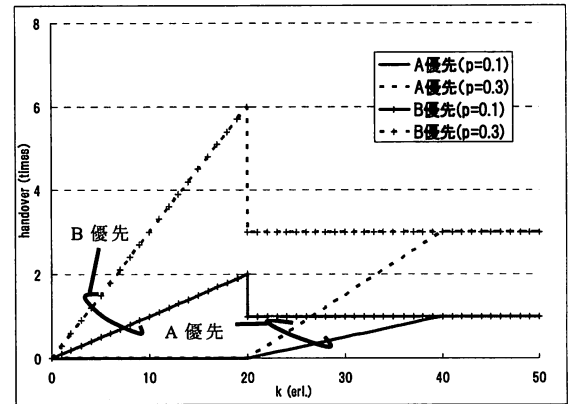


図 5：呼量に対する垂直ハンドオーバー回数

次に、上記理論解析によって導出された式(1)~(4)に数値を代入し、比較検討を行った。表 3 に、本評価において代入したパラメータ値を示す。

図 4 に、呼量に対する呼損・通話切断量を示す。図 4 に示すように、任意の呼量に対して、B 優先は A 優先と比較して呼損・通話切断量の観点から優れた特性を示していることがわかる。

また、図 5 に、呼量に対するハンドオーバー回数を示す。なお、無線システム A エリアとデュアルエリアを跨ぐ移動端末が存在しない場合（すなわち $p=0$ の場合）では、ハンドオーバーは発生しない。図 5 に示すように、任意の呼量に対して、A 優先は B 優先と比較してハンドオーバーの観点から優れた特性を示していることがわかる。

5. 考察

前章の理論解析により、A 優先モデルと B 優先モデルでは、呼損およびハンドオーバー頻度の観点から各々一長一短があることがわかる。本章では、A 優先モデ

ルとB優先モデルをどの呼量の時に切り替えると最適な無線システム選択ができるのかを考察する。

一般的に、ハンドオーバーによる瞬断よりも、呼損や通話切断による通話機会損失の方が通信品質の観点から改善すべきであることは明らかである。したがって、表3の数値において呼量 k が20以上の場合、すなわち呼量が無線システムAのチャンネル数より多い場合は、異種無線システム間ハンドオーバー頻度の多少を問わず、B優先モデルを採用すべきである。一方で、呼量 k が20未満の場合、両モデルともに呼損は発生しないが、B優先モデルでは異種無線システム間ハンドオーバーが発生する。したがって、この場合はA優先モデルが好適であると考えられる。しかし仮に呼量が時間変動する場合、呼量 k が20に近い値の時に全呼がA優先で通話している場合、多数の新たな発呼があれば、無線システムAエリアにて新たに発呼した移動端末が呼損してしまう。

呼損をなるべく発生させないようにするためには、呼発生確率が時間変動する場合においても無線システムの容量が最大の場合までゼロであること、すなわち

$$P_{LC} = 0 \quad \dots k \leq C_A + C_B \quad (5)$$

が成り立つことが絶対条件である。

(5)式が成り立ち、その内で最もハンドオーバー頻度が少なくなるのは、無線システムAエリアとデュアルエリアの面積比と、空き容量比率が一致した場合に切り替えることである。この場合の呼量を k' とすると

$$n : 1 - n = C_B : C_A - k'$$

$$\Rightarrow k' = C_A + C_B - C_B / n \quad (6)$$

となる。したがって最適な無線システム選択方法は、呼量 $k < k'$ の時は新たな呼に対してA優先モデルを適用し、 $k > k'$ の時は新たな呼に対してB優先モデルを適用することであることがわかる。

しかし、本理論解析結果を実環境に反映させる場合、例えば発呼発生タイミングが一様分布でなくバースト的に発生したり、エリア跨り割合がデュアルエリアからの入出端末数が異なったりと、前提条件と大きくことなるため、さらなる考察が必要である。

また今回の理論解析とは別の動作として、呼損に対する最適化のために、エリア輻輳時に通信中の移動端末がエリアを跨らない場合でもハンドオーバーを行うことで、他移動端末の呼を救済することができ、呼損や通話切断を抑えることができるため通話品質が改善できる。この場合におけるハンドオーバー頻度を最小にするための最適な無線システム割り当て法を考える必要があるが、これは今後の課題とする。

6. おわりに

本稿では本研究の適応領域を見出すための一検討として、各移動端末の選択条件ごとに利用する無線システムを選択した場合に生じる呼損量および異種無線システム間ハンドオーバー頻度を理論解析により求めた。その結果、各無線システムに係る呼量に応じて、新たに発呼する移動端末が利用すべき無線システムが異なることから、その状況をネットワーク側でパラメータを取得して各移動端末が利用する無線システムを適応的に選択することにより、呼損や通話切断を最低限に抑えながらも、ハンドオーバーによる通話品質劣化を抑えられることを明らかにした。

今後は、本理論解析モデルを実環境に近い状況での評価を行うために、シミュレーション評価を行う。また、提案方式であるネットワーク側で適切な無線システムを選択する方式の具体的な手順について検討し、定量的な評価を行う。

文 献

- [1] 阪田 ワイヤレス・ユビキタス”秀和システム 2004
- [2] BT “BT Fusion”, <http://www.btfusionorder.bt.com> (available)
- [3] Korea Telecom “OnePhone”, http://www.kt.co.kr/kthome/eng/u_kt/u_home/du.jsp (available)
- [4] H. Harada, Y. Kamio, and M. Fujise, “Multimode Software Radio System by Parameter Controlled and Telecommunication Component Block Embedded Digital Signal Processing Hardware,” IEICE Trans. Commun., vol.E83-B, no.6, pp.1217-1228, June 2000.
- [5] 松尾他, “無線通信装置及び無線制御方法,” 特許公報 2005-26878.
- [6] S. McCann, W. Groting, A. Pandolfi, and E. Hepworth, “Next generation multimode terminals,” 5th IEE International Conference, pp.143-147, 2004.
- [7] H. Choi, and D. Cho, “a new vertical handover concept for next-generation heterogeneous networks”, VTC 2005-spring, vol.4, pp.2225-2229, May 2005.
- [8] A. Salkintzis, G. Dimitriadis, D. Skyrianoglou, N. Passas, and N. Pavlidou, “Seamless continuity of real-time video across UMTS and WLAN networks:challenges and performance evaluation,” IEEE Wireless Commun., vol.12, Issue 3, pp.8-18, June 2005