

公衆ローカルネットワーク接続を考慮した モバイルルータ拡張方式の実装と評価

田坂和之^{†1} 今井尚樹^{†1} 磯村 学^{†1}
井戸上 彰^{†1} 堀内浩規^{†1}

ITS (Intelligent Transport Systems) では、モバイルルータを適用することで、ロードサイド事業者が、車内ネットワークに接続する端末へインターネット上のコンテンツを、車の移動にかかわらず継続的に提供可能となった。さらに、公衆無線 LAN スポットを利用して、地域に特化したローカルコンテンツを配信するサービスの提供への期待が高まりつつある。しかしながらモバイルルータは、インターネット上のホームページへの接続を前提としており、車内ネットワーク内の端末に対して、インターネットと接続していないローカルネットワーク上のコンテンツサーバへの接続性やインターネット上のコンテンツサーバとの同時接続性の提供が困難である。また、公衆無線 LAN スポットでの WEB 認証時において、モバイルルータの通信手順と WEB 認証の手順が非同期であるため、接続時間が增大するという問題がある。そこで本論文では、モバイルルータを通じて車内ネットワーク内の端末がインターネット上ならびにローカルネットワーク上のコンテンツサーバに接続可能とするとともに、認証方式に応じてコントロールパケットの送信タイミングを自動的に変更し、接続時間を低減させるモバイルルータ拡張方式を提案する。また、提案方式に基づいたシステムを実装し、ローカルネットワークへの接続所要時間やデータ到達率などの観点から性能を評価することで、本方式の有効性を示す。

Implementation and Evaluation of Mobile Router Extension Method for Local Network Access

KAZUYUKI TASAKA,^{†1} NAOKI IMAI,^{†1}
MANABU ISOMURA,^{†1} AKIRA IDOUE^{†1}
and HIROKI HORIUCHI^{†1}

In ITS (Intelligent Transport Systems), by applying mobile router system, roadside service providers can seamlessly provide contents from the Internet to mobile network nodes that reside in a vehicular network. Moreover, service

providers eager to provide locally available contents to passengers under public wireless LAN spots. However, the existing mobile router cannot provide connectivity for the vehicular network to a local network that does not connect to the Internet, because the mobile router premises on a connection to a home agent on the Internet. Moreover, in the public wireless LAN spots with WEB authentication, the mobile router starts handover processes after getting an IP address. However, during of the WEB authentication, the handover processes is failed and connection time to a local network increases. In this paper, we therefore propose an extension for the mobile router to access both the Internet and the local network simultaneously and to alleviate the time for the handover to the network with the WEB authentication. We also implemented a system based on proposal and evaluated the performance to show the effectiveness from the viewpoint of the time to connect the local network and the handover time.

1. ま え が き

公衆無線 LAN 接続サービスへの契約数は、2004 年 12 月時点で約 10 万¹⁾であったが、2007 年 12 月には 670 万を超え²⁾、3 年間で約 67 倍の増加となった。

契約数の増加とともに、公衆無線 LAN スポット数も増加しており、ITS (Intelligent Transport Systems) では、ロードサイド事業者が、携帯電話網だけでなく、公衆無線 LAN スポットをアクセスネットワークとして利用したサービスの実現を目指している³⁾。具体的には、車内ネットワーク (MNW: Mobile Network) に接続されるカーナビやセンサなどの端末 (MNN: Mobile Network Node) に対して、携帯電話網や公衆無線 LAN スポットなどのアクセスネットワークを用いたインターネットへの接続性を提供し、コンテンツ配信やセンシング情報の収集を行う³⁾。このようなサービスを実現するためには、MNN がネットワークの移動を意識することなく、継続的に通信可能であることが望ましい。そこで、通信キャリア、ロードサイド事業者、コンテンツプロバイダなどにより、NEMO (Network Mobility)⁴⁾ を備えたモバイルルータ (MRnemo)⁵⁾⁻⁷⁾ システムが検討されてきた⁸⁾。

特に、ロードサイド事業者は、MRnemo を利用し、公衆無線 LAN スポットにおいて、店舗の広告配信などの地域に特化したローカルコンテンツを MNN へ配信するサービスの実現を検討している³⁾。その際、様々な場所においてサービスを低コストで即座に提供可能とするため、公衆無線 LAN スポットにおいてインターネットへの接続を提供しない場合であっ

^{†1} 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

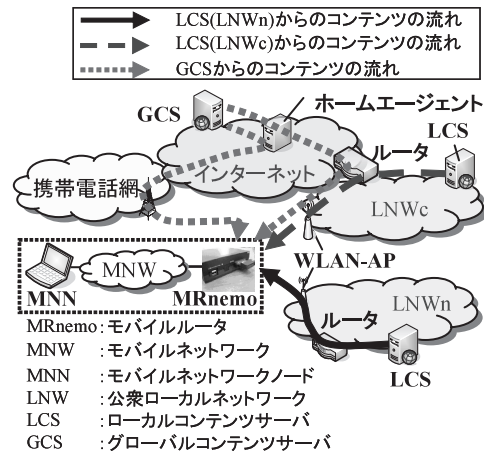


図1 想定するネットワーク環境
Fig. 1 Network environment.

てもサービスを提供できることが、ロードサイド事業者から望まれている。

上記サービスを提供する際のネットワーク構成とコンテンツの流れを図1に示す。ローカルに設置されたローカルコンテンツサーバ(LCS)から、無線LANアクセスポイント(WLAN-AP)を介して情報が配信されるネットワークを公衆ローカルネットワーク(LNW)と定義する。LNWは、インターネットへの接続性を持つLNWcと、接続性を持たないLNWnの2種類に分類される。ユーザは、MNNを使用してLCSやインターネット上のグローバルコンテンツサーバ(GCS)にアクセスする。GCSからのコンテンツは、携帯電話網やLNWcを経由してMRnemoに配信される。なお、図1に示すLCSならびにGCSは、WEBサーバを想定している。

図1の環境に対して現行のMRnemoを適用すると、以下に示す問題が発生する。

初めに、接続性の低下に関する問題を示す。MRnemoはインターネットに設置されるホームエージェント機能(HA)を必要とするため、LNWnに接続できず、LCSへの接続性をMNNに提供できない。また、MNNによるLCSへの接続方法も問題となる。さらに、MRnemoは複数のネットワークへの同時通信をサポートしていないため、LNWcを含むインターネットへの接続性を提供するアクセスネットワークの1つに接続している間は、他のアクセスネットワークに接続できない。つまり、MRnemoは、GCSならびにLCSへの

同時接続性をMNNに提供できない。次に、通信効率の低下に関する問題を示す。LNWcに設置されたLCSにMNNがアクセスする場合、MRnemoを用いた通信ではすべてのパケットがHAを経由するために冗長な通信経路となる。また、公衆無線LANスポット進入時のWEB認証による接続認証処理において、MRnemoの通信手順とWEB認証の手順が非同期であるため、GCSのコンテンツ取得開始までに多大な時間が必要となる。

そこで本論文では、上記の問題を解決することで、LCSとGCSに対する同時アクセスをMNNへ提供可能とするとともに、コンテンツ取得時間を短縮可能とする、モバイルルータ拡張方式(MRext)を提案する。まず、MRextは、LCSと気付けアドレス(CoA: Care-of Address)で通信し、MNNに対して、LCSのプロキシとして動作する。次に、MRextは、パケットを送受信する通信メディアの自動選択機能の一部を利用し、MNNとGCSの通信に影響を与えることなく、LCSのコンテンツをMNNへ提供する。さらに、MRextは、認証方式に応じてハンドオーバーのためのコントロールパケットの送信タイミングを自動で変更する。

また、MRextのプロトタイプシステムを実装し、LNWへの接続所要時間やデータ到達率などの観点から性能を評価することで、本方式の有効性を示す。

以下2章では、MRnemoの概要と問題点について述べる。3章では、既存問題を解決するMRnemoの拡張方式について述べる。4章では実装概要について述べ、5章では提案方式を性能評価するとともに6章で関連研究を述べる。最後に7章で本論文をまとめる。

2. モバイルルータの概要とその問題点

2.1 モバイルルータの概要

MRnemoは、アクセスネットワークに移動すると、ルータ要請(Router Solicitation)メッセージなどを用いてCoAを取得する。その後、MRnemoは、位置登録要求メッセージ(BU)をHA宛に送信することで、ホームアドレス(HoA)とCoAをHAに登録し、HA間でIPトンネルを確立する⁹⁾。なお、HoAは、MRnemoに割り当てられた、HAと同じネットワーク上の一意なアドレスである。

HAは、近隣探索プロキシ機能⁹⁾によりHoA宛のパケットを収集し、上記のトンネルを用いて収集したパケットをMRnemoに転送する。結果、MRnemoは、ネットワークを移動した場合においても、インターネット上の端末と継続的な通信が可能となる。さらに、HAは、MNWのネットワークプレフィックスを含むアドレス宛のパケットもトンネルを用いてMRnemoに転送する。MRnemoは、そのパケットをMNNへ中継することでMNNに

機能要件 1 :

2.2.1 項に記載した問題 1-1 ~ 1-3 を解決するため, MRext は, アクセスネットワークの種類を判定する必要がある. MRext がアクセスネットワークを LNW_n と判定した場合, 問題 1-1 を解決するため, CoA を使用して LNW_n 上の LCS への接続性を MNN へ提供する必要がある. アクセスネットワークを LNW_c と判定した場合, 問題 1-2 で述べた LNW_c 上の LCS との冗長な通信経路を削減するため, LNW_n 上の LCS の場合と同様に, CoA のみを用いた接続性を MNN へ提供する必要がある. ただし, LNW_c 上の LCS への IP モビリティを MNN へ提供困難となるが, LCS は LNW へ直接接続してきた端末へローカルコンテンツを配信するため, MRext は CoA を使用する. また, 問題 1-3 の解決手段として, MRext は LNW に接続したと判定した場合, LCS の存在を MNN に通知する必要がある.

機能要件 2 :

2.2.2 項に記載した問題 2 を解決するため, MRext は, GCS への接続性を MNN へ提供しつつ, LCS への接続性も同時に提供する必要がある. 具体的には, MRext が複数の異種アクセスネットワークへ接続した場合, どのようなパケットをどのアクセスネットワークから送信するかを決定する必要がある.

機能要件 3 :

2.2.3 項に記載した問題 3 を解決するため, MRext が公衆 WLAN-AP の接続認証方式を認識し, WEB 認証方式の場合には, BU などのコントロールパケットの送信タイミングを WEB 認証の完了後となるように自動で調整する必要がある.

3.2 異種アクセスネットワーク接続機能

異種アクセスネットワーク接続機能は, 機能要件 1 を満たすための機能集合であり, アクセスネットワークの判定, CoA を用いた LCS の発見, および LCS への接続性を MNN に提供する機能を含む.

(1) アクセスネットワークの種類判定

MRext のアクセスネットワークの種類判定手順を図 3 に示す.

まず, アクセスネットワークが LNW かどうかを判定する手順を以下に示す (図 3(a)). MRext がアクセスネットワークでの認証後 (図 3(i)), CoA を取得した通信メディアの種類によってアクセスネットワークの種類を判定する (図 3(ii)). 具体的には, 携帯電話のようにつねにインターネットへ接続し, LNW への接続に使用しない通信メディアで CoA を取得した場合, LCS が存在せず, インターネットへの接続性を提供する可能性のあるアクセスネットワークであると判定する (図 3(iii)). 一方, 無線 LAN のように, LNW へ接続

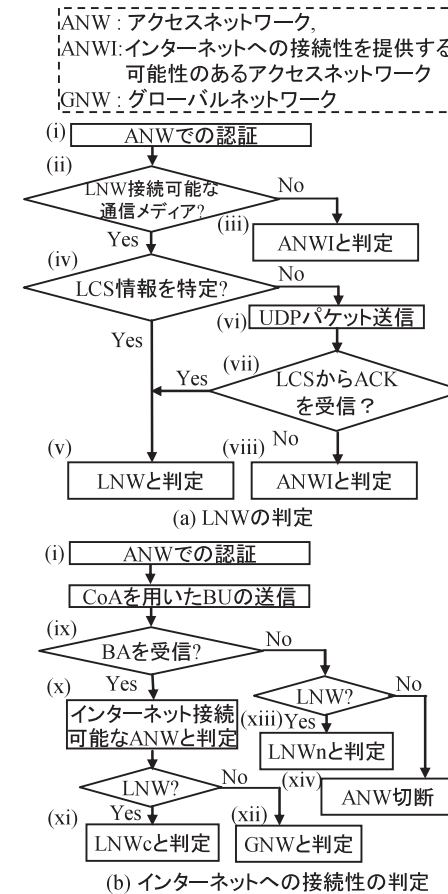


図 3 アクセスネットワークの種類判定
Fig. 3 Flow chart of network type recognition.

する可能性がある通信メディアで CoA を取得した場合, MRext は, 自端末内にあらかじめ登録されている LNW 情報 (認証情報, LNW のネットワークアドレス, ネットワークプレフィックス (NPF), LCS のアドレス情報) と, アクセスネットワーク接続時に使用した認証情報と取得した CoA ならびに NPF を比較し, 該当する LCS のアドレス情報を特定する (図 3(iv)). MRext が, LCS のアドレス情報を特定できた場合, そのアクセスネット

ワークを LNW と判定する (図 3(v)). なお, LNW 情報は, MRext の管理者によるサービスの契約時に, ロードサイド事業者が提供する. MRext の管理者は, 取得した LNW 情報を MRext にあらかじめ登録しておく.

一方, 図 3(iv) において, LCS を特定できなかった場合, MRext は, LCS の検索メッセージとして SSDP (Simple Service Discovery Protocol)¹³⁾ メッセージの UDP パケットをアクセスネットワークへマルチキャストする (図 3(vi)). MRext は, LCS からの ACK として HTTP ステータスコード (200) を含む応答メッセージの受信を待つ (図 3(vii)). MRext は, 応答メッセージを受信した場合, そのアクセスネットワークの種類を LNW と判定する (図 3(v)). 一方, 受信できなかった場合は LCS が存在せず, インターネットへの接続性を提供する可能性のあるアクセスネットワークであると判定する (図 3(viii)).

(2) インターネットへの接続性の判定

(1) と並行して, MRext は, アクセスネットワークにおけるインターネットへの接続性を判定する (図 3(b)). MRext は, 送信した BU に対する BA の受信の有無を確認する (図 3(ix)). MRext は, BA を受信した場合, インターネットへの接続性を提供するアクセスネットワークと判定し (図 3(x)), 特に (1) のアクセスネットワークの種類判定結果が LNW の場合, LNWc と判定し (図 3(xi)), LNW でない場合には携帯電話網のようなインターネット接続のみのアクセスネットワーク (グローバルネットワーク) と判定する (図 3(xii)). 一方, BA を受信できなかった場合, インターネットへの接続性を提供しないアクセスネットワークと判定し, 特にアクセスネットワークの種類が LNW の場合, LNWn と判定する (図 3(xiii)). アクセスネットワークが LNW でなく, かつインターネットへの接続性も提供しない場合, 接続不要なアクセスネットワークとして接続を切断する (図 3(xiv)).

(3) MNN による LCS との接続

MRext は, アクセスネットワークを LNW と判定する (図 3(v)) と, その接続性を MNN へ提供するため, LCS に対する HTTP プロキシとして動作するとともに, LNW から取得した LCS に接続可能な URL をリンクとして持つ WEB ページを動的に生成する.

次に, MRext は, LNW へ接続したことをユーザに通知する. 具体的には, MRext は, ディスプレイや LED などの表示デバイスや, MNW へ UDP でのマルチキャストを使用して LNW へ接続したことを通知する.

ユーザは, MRext から LNW 接続の通知ならびに URL を受信すると, MNN から上記の WEB ページに記述された LCS へのリンクにアクセスする. これによりコンテンツ取得要求メッセージ (HTTP GET) が, MNN からプロキシとして動作している MRext に送信され

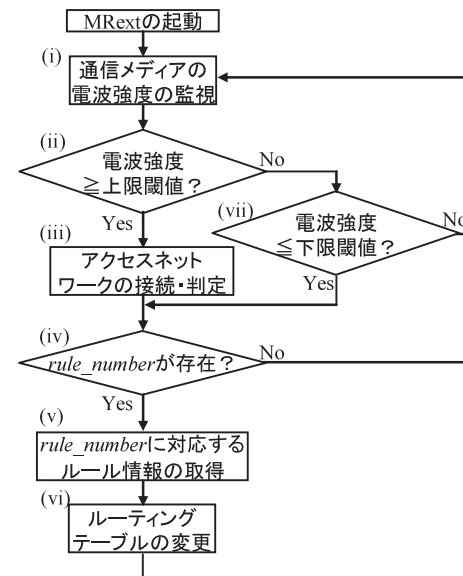


図 4 異種ネットワーク同時接続のフローチャート

Fig. 4 Flow chart of different network type recognition.

る. MRext は, MNN から受信したコンテンツ取得要求メッセージを MRext 自身のものとして, つまり送信元アドレスに CoA を用いて, LCS へ転送する. LCS は要求されたコンテンツデータを MRext に送信し, MRext は LCS からのコンテンツデータを MNN へ転送する.

(4) MNN による GCS との接続

GCS との通信は MRnemo と同様に HA を使用する. MNN を利用するユーザは, GCS のアドレス情報を検索可能とし, その方法については本論文では扱わない.

3.3 異種アクセスネットワーク同時接続機能

異種アクセスネットワーク同時接続機能は, 機能要件 2 を満たすため, パケットの送受信先を自動的に選択可能な通信メディアの自動選択機能^{14),15)} を含む.

(1) 複数のアクセスネットワーク同時接続

本機能では, 複数のアクセスネットワークへ同時に接続し, アクセスネットワークの種類に応じてパケットの送受信先を自動的に選択可能な通信メディアの自動選択機能^{14),15)} を利用する. 本機能の詳細を以下に述べるとともに, フローチャートを図 4 に示す. MRext は,

```

//mid_number1とmid_number2が有効になった場合のRULE NUMBER設定
RULE_MAP_START                               SrcAddr  : 送信元IPアドレス
      RULE_NUMBER rule_number                 DstAddr  : 送信先IPアドレス
      MID mid_number1 in                     SrcPort  : 送信元ポート番号
      MID mid_number2 lo                     DstPort  : 送信先ポート番号
RULE_MAP_END                               ProtoType: プロトコルタイプ
                                             MID      : 通信メディアの識別子

RULE_rule_number_START // rule_numberのポリシー設定開始
SrcAddr DstAddr1 SrcPort/ProtoType DstPort1/ProtoType mid_number1  ... (i)
SrcAddr DstAddr2 SrcPort/ProtoType DstPort2/ProtoType mid_number2  ... (ii)
RULE_END // rule_numberのポリシー設定終了

```

図 5 パケット配信ポリシーの設定例
Fig. 5 An example of packet distribution policy.

具備する複数の通信メディアにおける電波強度を監視する(図 4(i)). MRext は、あらかじめユーザが設定した上限閾値以上の電波強度を検知する(図 4(ii))と、使用可能な通信メディアとして判定する。その後、アクセスネットワークから CoA を取得するとともに、3.2 節(1)の処理に従い、アクセスネットワークの種類を判定する(図 4(iii))。MRext は、判定結果に応じ、3.2 節(3)、(4)で述べた方法で、LCS ならびに GCS への接続性を MN へ提供する。このためには、パケットの送信先となるアクセスネットワークや通信メディアを決定するルーティングの設定が必要となる。たとえば、携帯電話網に接続可能な通信メディアがインターネットへ、公衆無線 LAN に接続可能な通信メディアが LNWN へ接続可能な場合、MRext は、GCS へのパケットを携帯電話網経由で送信し、LCS へのパケットを公衆無線 LAN 経由で送信する必要がある。

(2) パケット配信ポリシーによるルーティング設定

本機能では、MRext が接続した通信メディアの組合せやアクセスネットワークの種類に応じて各通信メディアで送信するパケットの種類を決定するためのパケット配信ポリシーを定義する。

パケット配信ポリシーの設定例を図 5 に示す。MRext は、アクセスネットワークの判定を終了すると、図 5 に示す RULE_MAP_START, RULE_MAP_END で囲まれた箇所からアクセスネットワークの接続状況に応じて割り当てられたパケット配信ポリシーのルール識別子(RULE_NUMBER rule_number)を検索する(図 4(iv))。図 5 では、mid_number1 ならびに mid_number2 の識別子を持つ通信メディアがアクセスネットワークへ同時に接続し、それぞれインターネット(in)と LNWN(lo)に接続した状況において、MRext はパケット

配信ポリシーの識別子(rule_number)を取得する。

次に、MRext は、配信ポリシーの中から、rule_number に対応するルール情報を取得し、ルーティングテーブルを変更する(図 4(v))。図 5 において、RULE_rule_number_START, RULE_END で囲まれた箇所が配信ポリシーのルール情報となる。MRext は、ルール情報に記述されたパケットの送信元 IP アドレス(SrcAddr)、宛先 IP アドレス(DstAddr)、送信元ポート番号(SrcPort)、宛先ポート番号(DstPort)、プロトコルタイプ(ProtoType)によってパケットを特定する。プロトコルタイプの設定により、サービスの種類に応じたきめ細かいポリシーの記述が可能となる。LCS と GCS との通信については、ProtoType として HTTP を使用する。

上記で特定したパケットを送信する通信メディアは、識別子(MID)で記述される。MRext は、CoA を取得した際、CoA と CoA を取得した通信メディアの MID を結び付けている。図 5 では、パケットの宛先 IP アドレスならびに宛先ポートに応じて、2 種類の通信メディア(mid_number1 ならびに media_number2)へパケットを振り分けている。具体的には、mid_number1(図 5(i))は、インターネット接続時に使用し、GCS アドレス宛のパケットを送信する。一方、mid_number2(図 5(ii))は、ローカルネットワーク接続時に使用し、LCS アドレス宛へのパケットを送信する。

パケット配信ポリシーに該当しないパケットは、デフォルトルートに従う。デフォルトルートは、ユーザによる手動設定ならびにアクセスネットワークからのルータ広告メッセージの受信により決定される。

(3) 通信メディアの状況変化によるルーティング設定

MRext が、あらかじめユーザが設定した下限閾値以下の電波強度を検知すると、その通信メディアを通信に使用不可として判定する(図 4(vii))。この変化により、MRext は、パケット配信ポリシーの識別子を検索・取得し(図 4(iv)-(v))、パケット配信ポリシーに応じてルーティングを再設定する(図 4(vi))。

3.4 パケット送信タイミング自動変更機能

パケット送信タイミング自動変更機能は、機能要件 3 を満たすため、公衆 WLAN-AP への接続機能と、コントロールパケットの送信タイミングを変更する機能を含む。

(1) 公衆 WLAN-AP への接続

ユーザは、公衆 WLAN-AP へ接続するための認証情報を MRext に登録する。具体的には、公衆 WLAN-AP の ESSID と、それに応じた認証情報として、ユーザ ID、パスワードや電子証明書などを MRext に登録する。MRext は、登録された認証情報に基づき、公衆

WLAN-AP と 802.1x 認証などのリンクレベルでの認証完了後、アクセスネットワークに接続するための IP アドレスを取得し、CoA とする。

(2) パケット送信タイミングの自動変更

MRext は、CoA 取得後、あらかじめ登録された認証情報から WEB 認証の有無を確認する。

MRext が、WEB 認証の不要な公衆 WLAN-AP に接続する場合、(1) の CoA を取得直後、MRnemo と同様に BU を HA へ送信し、3.2 ならびに 3.3 節で示した手順を実施する。

一方、MRext が、WEB 認証を要求する公衆 WLAN-AP に接続する場合、はじめに WEB 認証処理のみを開始し、認証サーバから認証完了のメッセージを受信後に、3.2 ならびに 3.3 節で示した手順を実施する。これにより、公衆無線 LAN スポットの在圏時間内に送受可能なデータ量が低下することを回避する。

4. モバイルルータ拡張方式の実装

提案方式を実証するプロトタイプシステムを実装した。MRext ならびに HA の実装を以下に示す。

4.1 実装環境

MRnemo を Fedora Core 4 (Linux kernel 2.6.8) 上に実装した。さらに、MRext を、MRnemo に対する機能追加により実現した。また、HA を Fedora Core 4 (Linux kernel 2.6.8) 上に実装し、MRext を収容するための拡張を行った。

4.2 実装内容

4.2.1 異種アクセスネットワーク接続機能の実装

MRnemo に異種アクセスネットワーク接続機能を実装した。一般的に、WLAN デバイスは、複数の WLAN-AP を検出可能であるが、実際にリンクレベルで接続可能な WLAN-AP は 1 つである。そこで、ユーザが WLAN-AP の ESSID に対して優先度をあらかじめ設定可能なように MRext 内へ設定ファイルを設けた。MRext は、設定された優先度に従い、WLAN-AP とリンクレベルでの接続を試みる。この接続の際に、MRext は、ESSID をキーとし、あらかじめ登録した認証情報から、認証方式と接続に必要な認証パラメータを取得する。さらに、公衆 WLAN-AP での自動認証のための WEB エージェントを実装した。WEB エージェントは、WEB 認証が必要な公衆 WLAN-AP において、認証サーバからユーザ ID とパスワードの送信を要求されると、ユーザの代理としてユーザ ID とパスワードを自動的に送信する。

また、メモリ上に LNW 情報を登録し、LNW 情報や CoA に基づいて LNW を判定する

機能、SSDP メッセージのマルチキャストにより LNW を判定する機能を実装した。

一般に、公衆無線 LAN スポットのほとんどは、IPv4 ネットワークで構成されている。一方で、MRnemo は IPv6 による通信しかサポートしない。そこで、IPv4 と IPv6 の両方の通信に対応可能な DSMIPv6¹⁶⁾ の機能を実装した。また、LNW の判定においては、アクセスネットワークで使用されるアドレス体系に応じて、IPv4 あるいは IPv6 の CoA ならびに SSDP メッセージを使用するように実装した。また、RFC 3963⁴⁾ に準拠した HA に対して、IPv4、IPv6 の両アドレスを処理可能な DSMIPv6¹⁶⁾ の機能を実装した。

さらに、MRext が LNW に接続すると、接続状況をユーザに通知するためのメッセージとして、「ローカルネットワーク接続」という文字を MRext の GUI 上に表示するように実装した。

4.2.2 異種アクセスネットワーク同時接続機能の実装

3.3 節で述べた異種アクセスネットワーク同時接続機能を実装するため、MRext 内にパケット配信ポリシーを設定ファイルとして登録するとともに、パケット配信ポリシーとアクセスネットワークの接続状況に応じてルーティングテーブルを変更するため iptables¹⁷⁾ を使用した。なお、MRext のパケット配信ポリシーは、MRext がアクセスネットワークへ送信するパケットのみを対象としている。つまり、MRext が受信するパケットの経路を変更したい場合、HA に対してもパケット配信ポリシーを設定する必要がある。

そこで MRext は、自端末用と HA 用のパケット配信ポリシーを保持し、HA 用のパケット配信ポリシーに関しては MRext の起動時に HA へ自動で送信する実装を追加した。

また、HA に対しては、1 つの HoA に対し、複数の CoA を同時に登録し、複数のトンネルを同時に確立可能な機能¹⁴⁾ を実装した。さらに、MRext からパケット配信ポリシーを受信した HA が、MRext のインターネットへの接続状況に基づいたルーティングテーブルの変更を行うため、iptables¹⁷⁾ を使用した。

4.2.3 パケット送信タイミング自動変更機能の実装

3.4 節で述べたパケット送信タイミング自動変更機能を実装するため、認証方式に応じて BU や HTTP パケットの送信タイミングを変更する機能を実装した。具体的には、WEB エージェントが、WEB 認証の必要なアクセスネットワークと判定した場合、BU を送信する MIP 機能に対して BU を送信する命令を出さず、WEB 認証完了後に、BU を送信する命令を出す。一方、MAC 認証など WEB 認証の不要なアクセスネットワークと判定した場合、MIP 機能に対して、BU を送信する命令を出す。その命令を受けた MIP 機能は、該当する HA 宛に BU を送信する。

5. モバイルルータ拡張方式の性能評価

5.1 実験環境と評価項目

5.1.1 実験環境

実装した MRext のプロトタイプシステムの性能を評価するため、図 6 に示すネットワークを構成した。

MNW に接続する MNN は、MRext が接続する携帯電話網の基地局 (AP1) を介して、インターネット上に設置した HA を経由し、グローバルコンテンツサーバ (GCS1) と通信する。また、MRext が WLAN-AP2 のスポットに移動し、認証サーバでの WEB 認証を完了すると、MNN は WLAN-AP2 経由で LNW_n 上のローカルコンテンツサーバ (LCS1) と通信する。MRext が WLAN-AP2 のスポットから離れると、LCS1 との通信を切断する。

MRext が WLAN-AP3 のスポットに移動し、認証サーバでの WEB 認証を完了すると、MNN は WLAN-AP3 経由で、インターネット上の GCS1 ならびに LNW_c 上のローカルコンテンツサーバ (LCS2) と通信する。このとき、MRext は、GCS1 との通信を AP1 経由から WLAN-AP3 経由に切り替える。なお、MRext は、AP1 では IPCP、WLAN-AP2 ならびに WLAN-AP3 では、DHCPv4 を用いて CoA を取得する。

ネットワーク構成上における各機器の仕様 (CPU とメモリ) を表 1 に示す。

5.1.2 異種アクセスネットワーク接続機能の評価項目

異種アクセスネットワーク接続機能に関する評価項目を以下に示す。

性能評価項目 1: アクセスネットワーク種類判定時間

MRext が、WLAN-AP2 ならびに WLAN-AP3 に接続した場合、3.2 節 (1) に記載したアクセスネットワークの種類判定の実行に要した時間 (アクセスネットワーク種類判定時間) を測定した。

なお、アクセスネットワークの判定について、本実験では、MRext への LNW 情報の登録時と未登録時のそれぞれについて測定した。

性能評価項目 2: ローカルコンテンツ取得開始可能時間

MRext が WLAN-AP2, WLAN-AP3 にリンクレベルで接続後、CoA の取得要求を送信してから、MNN が各 LNW 上の LCS1, LCS2 からそれぞれローカルコンテンツの受信を開始可能となるまでの時間 (ローカルコンテンツ取得開始可能時間) を測定した。

5.1.3 異種アクセスネットワーク同時接続機能の評価項目

異種ネットワーク同時接続機能に関する評価項目を以下に示す。

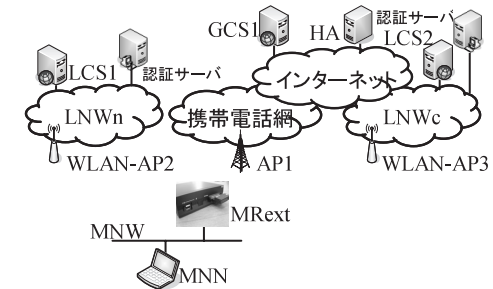


図 6 ネットワーク構成図

Fig. 6 Network architecture.

表 1 実験機器の CPU とメモリ

Table 1 CPU and memory of equipments.

	CPU	メモリ
MRext	266MHz (GeodeTM)	312MB
HA	1.8GHz (Pentium 4)	512MB
GCS1, LCS2, LCS3	2.0GHz (Pentium 4)	256MB
認証サーバ	2.0GHz (Pentium 4)	256MB
MNN	1.4GHz (Pentium R)	1.5GB

性能評価項目 3: データ到達率

MRext による LNW_n への接続が、MNN の GCS1 からのコンテンツ受信に与える影響を確認した。具体的には、MNN が GCS1 からのコンテンツの受信開始から 1 分経過後、MRext が LNW_n へ接続し、LCS1 からローカルコンテンツの受信を開始して 1 分経過するまでの間、MNN で GCS1 から受信するコンテンツデータをキャプチャし、LNW_n への接続前後のコンテンツのデータ到達率を比較した。

5.1.4 パケット送信タイミング自動変更機能の評価項目

パケット送信タイミング自動変更機能に関する評価項目を以下に示す。

性能評価項目 4: ハンドオーバー所要時間

MRext が AP1 から WLAN-AP3 へ接続先を切り替える場合において、パケット送信タイミング自動変更機能がハンドオーバー所要時間 (MRext が CoA の取得要求を送信してか

表 2 異種アクセスネットワーク接続時の実験結果
Table 2 Results of Different Network Connection.

	LNW	
	情報登録時	情報未登録時
項目 1	≈ 1 ms	0.2s
項目 2	2.2s	2.5s

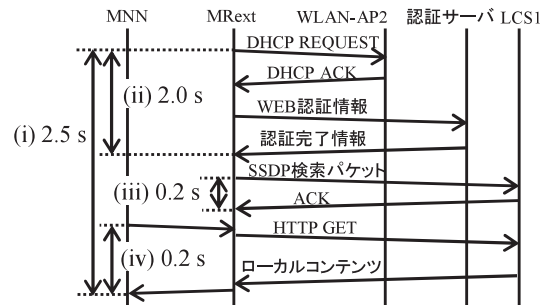


図 7 LCS1 への接続シーケンス
Fig. 7 The Connection Sequence to the LCS1.

ら BA を受信するまでの時間) に与える影響を測定した。

性能評価項目 5: 取得可能なデータ量の差

パケット送信タイミング自動変更機能の有効時と無効時において、取得可能なコンテンツのデータ量を測定し、その差を比較した。具体的には、64 kbps ~ 1,344 kbps までのビットレートのコンテンツを GCS1 から MNN に配信し、MNN が取得したデータ量を測定した。

5.2 測定結果と評価

5.2.1 異種アクセスネットワーク接続の測定結果と評価

性能評価項目 1, 2 における測定の結果を表 2 に示すとともに、詳細を以下に示す。まず、MRext が LNWN に接続し、MNN が LCS1 へ接続した際の測定結果を以下に示すとともに、接続シーケンスを図 7 に示す。なお、図 7 では、LNWN 情報が MRext に登録されていない場合のシーケンスを示している。

LNW 情報が未登録である場合、MRext による CoA の取得要求 (DHCP REQUEST) を送信してから、MNN による LCS1 からのローカルコンテンツの受信開始までの時間 (ロー

カルコンテンツ取得開始可能時間) は、約 2.5 s (図 7(i)) であった。ただし、MRext がユーザに LNWN への接続完了を通知してから、MNN が LCS1 へコンテンツ取得要求を行うまではユーザの手动操作が介在するため、図 7(i) ではそれを除いた値としている。一方、LNW 情報の登録時におけるローカルコンテンツ取得開始可能時間は、約 2.2 s であった。LNW 情報登録時と未登録時におけるローカルコンテンツ取得開始可能時間の差 (0.3 s) は、ネットワーク種類判定時間の差 (0.2 s) と内部処理時間 (0.1 s) の合計時間であった。

ローカルコンテンツ取得開始可能時間 (図 7(i)) の内訳を以下に示す。MRext が、WLAN-AP2 を発見し、DHCP による IPv4 アドレスの要求を開始してから、認証サーバによる認証完了までの時間は約 2.0 s (図 7(ii)) であった。次に、MRext は、約 0.2 s でアクセスネットワークを LNW と判断した (図 7(iii))。この時間が、アクセスネットワーク種類判定時間となる。なお、MRext に LNW 情報を登録している場合、MRext 内部における登録情報の比較のみでアクセスネットワーク種類を判定できるため、アクセスネットワーク種類判定時間は約 1 ms となり、他の処理時間に対してほぼ無視できる結果となった。その後、MNN がローカルコンテンツの配信要求メッセージ (HTTP GET) を LCS1 へ送信し、データの受信を開始するまでの時間は約 0.2 s であった (図 7(iv))。

次に、MRext が WLAN-AP3 に接続した場合におけるアクセスネットワーク種類判定時間ならびにコンテンツ取得可能開始時間は、WLAN-AP2 へ接続した場合の結果とほとんど変化しなかった。理由は、アクセスネットワークの判定フローチャート (図 3) で記載したとおり、LCS が存在する LNW であることを判定する処理が同じためである。

以上の結果から、ロードサイド事業者が、公衆無線 LAN スポットにおいて、ローカルコンテンツを走行車両に提供する場合、ローカルコンテンツの内容として、店舗の広告配信などの数秒以内で配信できる地域情報が適していることが分かる。たとえば、ロードサイド事業者が、100 m の接続範囲となる公衆無線 LAN スポットを時速 30 km で通過する車両へローカルコンテンツを提供する場合、車両は公衆無線 LAN スポットへ約 12 秒接続することになる。したがって、MRext が MNN へローカルコンテンツを提供可能な時間は、評価項目 2 の結果 (ローカルコンテンツ取得開始可能時間: 約 2.2s) から、約 9.8 s であることが分かる。結果、ロードサイド事業者は、対象となる車両の走行速度や公衆無線 LAN スポットの接続可能範囲によって、ローカルコンテンツの内容を決定することができる。

5.2.2 異種アクセスネットワーク同時接続の測定結果と評価

性能評価項目 3 における測定の結果を以下に示す。

MRext が LNWN とインターネットへの同時接続後、MNN が GCS1 から受信したロー

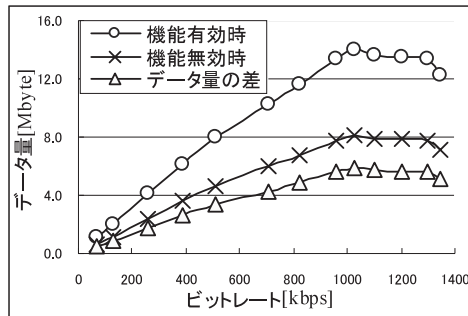


図 8 パケット送信タイミング自動変更機能有効時/無効時の MRext における取得可能なデータ量の差

Fig. 8 The difference of data amount between MRext with/without packet sending time changing function.

カルコンテンツのデータ到達率は、MRext の LNWN 接続前後ともに、ほぼ 100%であった。

以上の測定から、MRext による LNWN への接続が、MNN の GCS1 からのコンテンツ受信に影響を与えないことを確認した。

5.2.3 パケット送信タイミング自動変更の測定結果と評価

性能評価項目 4, 5 における測定の結果を以下に示す。

パケット送信タイミング自動変更機能を有効にした場合のハンドオーバー所要時間は、約 2.0s であった。一方、自動変更機能を無効にした場合、約 9.2s であった。

結果、パケット送信タイミングの自動変更機能を有効にした場合と無効にした場合のハンドオーバー時間の差は約 7.2s であった。これは、MRext が WEB 認証を完了した後、BU の送信を待機している時間の差である。

パケット送信タイミング自動変更機能を有効にした場合、図 8 に示すとおりパケット送信タイミング自動変更機能無効時と比較して約 0.4 Mbyte (64 kbps のコンテンツ取得時)~約 5.9 Mbyte (1,024 kbps のコンテンツ取得時) 分多くのコンテンツを取得できた。なお、MNN が 1,024 kbps 以上のコンテンツを取得しようとした場合、無線 LAN スポットでのパケット損失率が増加したため、5.9 M 以上のデータ量の差は発生しなかった。

以上の測定結果から、パケット送信タイミング自動変更機能により、MRext はハンドオーバー所要時間を短縮し、その分多くのデータを GCS から MNN へ提供可能であり、機能要件 3 を満たしていることがいえる。

6. 関連研究

これまでに、ローカルコンテンツを提供する GCS を設置し、車の位置情報に応じたローカルコンテンツの提供システムが検討・実現されてきており¹⁸⁾、ユーザは様々な場所からローカルコンテンツを取得可能となってきた。さらに、提案方式では、LNW 上のローカルコンテンツも MNN へ提供可能とする。

また、冗長な通信経路を削減するため、移動端末が CoA を用いて GCS とコンテンツを直接送受信する方法が検討されてきた。たとえば、IETF で標準化された Mobile IPv6⁹⁾ では、すべてのデータが HA を経由してしまうという三角経路問題を解決するための経路最適化が規定されている。経路最適化では、GCS が BU の送信要求を HA 経由で移動端末へ送信し、移動端末から BU を受信した後、BU に含まれる HoA ならびに CoA を用いてコンテンツを移動端末へ直接配信する。また、文献 19)–21) では、HA の代わりにアクセスネットワーク上のルータが移動端末の位置を管理することで、移動端末は HA を経由することなく GCS から直接コンテンツを取得することが可能である。しかしながら、LNWN 上の LCS やルータは、HA とコントロールパケットを送受信できない。

一方で、提案したモバイルルータの拡張方式 (MRext) では、アクセスネットワークから取得した CoA を使用して LCS を発見ならびに直接コンテンツを取得するとともに、HTTP プロキシとして動作することで、MNN へローカルコンテンツを提供することが可能である。したがって、ロードサイド事業者は、インターネットからのコンテンツ配信サービスに加え、LNW からのローカルコンテンツを同時に、かつ高速にユーザへ提供することが可能である。ただし、LCS への接続に対して、IP モビリティを提供できなくなるが、LNW に接続してきた端末へのみローカルコンテンツとして提供するため、サービス上の問題はない。

また、アクセスネットワークの種類判定に関して、IEEE802 委員会で検討されているハンドオーバーに関する規格 802.21 で定義されている MIIS (Media Independent Information Service) を使用する方法²²⁾ が考えられる。具体的には、MIIS の情報要素 (Information Elements) の 1 つとして LNW 情報をインターネット上の情報サーバへ登録し、携帯電話網経由で自動的に取得する。ただし、サーバの設置・管理コストの増加が課題となる。

一方、MRext では、BA の送受信の有無ならびに LNW の判定で LNW の種類を検知することで、アクセスネットワークの種類判定に関するインフラ設備のコストの課題は発生しない。

7. む す び

本論文では、ロードサイド事業者がインターネット上のコンテンツに加えて、公衆ローカルネットワーク(LNW)における地域情報などのローカルコンテンツを配信可能とするため、モバイルルータの拡張方式(MRext)を提案した。MRextは、アクセスネットワークがLNWかどうかを判定し、判定結果に応じて通信方式を切り替え、接続認証方式に応じてハンドオーバのタイミングを切り替える。さらに、提案方式に基づいて実装したプロトタイプシステムを使用して、性能を評価した。その結果、モバイルルータ拡張方式MRextは、MNNに対して、インターネット上のコンテンツサーバからのコンテンツを提供すると同時に、LNW上のコンテンツサーバからローカルコンテンツを提供可能であることを示した。また、MRextがアクセスネットワークに接続してから、MRext配下の移動ネットワークに接続する端末がLNW上のコンテンツサーバからのローカルコンテンツの受信開始までのコンテンツ取得所用時間は、約2.2sであり、WEB認証が必要なWLANスポットに対しては、コントロールパケットの送信タイミングを自動的に変更することで、変更しない場合と比較して最大約5.9Mbyte多くのデータ量となるコンテンツを取得可能であることを示した。

謝辞 日頃ご指導いただく(株)KDDI研究所秋葉所長、鈴木執行委員に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 総務省：ブロードバンドサービス等契約数の推移(平成16年12月末現在)。
http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/050415_1.html
- 2) 総務省：ブロードバンドサービス等契約数の推移(平成19年12月末現在)。
http://www.soumu.go.jp/s-news/2008/pdf/080318_4_1.pdf
- 3) インターネットITS協議会：ロードサイドサービスSIG要件抽出。
http://www.internetits.org/sharesys/member/sharefiles/all/contents/1oshirase/050909/03_rs-sig.pdf
- 4) Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A. and Thubert, P.: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC 3963 (2005).
- 5) Ernst, T., Uehara, K. and Mitsuya, K.: Network Mobility from the InternetCAR, *Proc. 17th Advanced Information Networking and Applications (AINA2003)*, pp.19-25 (2003).
- 6) Isomura, M., Imai, N., Yoshihara, K., Horiuchi, H. and Eguchi, E.: Inverse Multiplexing of Heterogeneous Communication Media for Mobile Router, *Proc. 11th World Congress on ITS (ITSWC2004)*, pp.3401-3408 (2004).
- 7) Lan, K., Perera, E., Petander, H., Dwertmann, C. and Libman, L.: MOBNET: The Design and Implementation of a network Mobility Testbed for NEMO Protocol, *Proc. 16th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN 2005)* (2005).
- 8) インターネットITS協議会：インターネットプラットフォーム仕様第2版(2006).
- 9) Johnson, D., Perkins, C. and Arkko, J.: Mobility Support in IPv6, RFC 3775 (2004).
- 10) Livedoor Wireless：公衆無線LANサービス。
<http://wireless.livedoor.com/macauth/>
- 11) NTT DoCoMo：ドコモ公衆無線LANサービス。
<http://www.nttdocomo.co.jp/service/data/mzone/>
- 12) ソフトバンクテレコム：BBモバイルポイント。
<http://www.softbanktelecom.co.jp/consumer/wlan/>
- 13) Goland, Y., Cai, T., Leach, P., Gu, Y. and Albright, S.: Simple Service Discovery Protocol/1.0 operating without an Arbiter, draft-cai-ssdp-v1-03 (1999).
- 14) Wakikawa, R., Ernst, T., Nagami, K. and Devarapalli, V.: Multiple Care-of Addresses Registration, draft-ietf-monam-i6-multiplecoa-05 (2008).
- 15) Larsson, C., Eriksson, M., Mitsuya, K., Tasaka, K. and Kuntz, R.: Flow Distribution Rule Language for Multi-Access Nodes, draft-larsson-mext-flow-distribution-rules-01 (2008).
- 16) Soliman, H., Tsirtsis, G., Deverapalli, V., Kempf, J., Levkowitz, H., Thubert, P. and Ryuji, W.: Mobile IPv6 support for dual stack hosts and routers (DSMIPv6), draft-ietf-mip-6-nemo-v4traversal-01 (2006).
- 17) Osker, A.: Iptables Tutorial (2006).
<http://iptables-tutorial.fro-zentux.net/iptables-tutorial.html>
- 18) Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: The Internet Car network architecture: Connect vehicles to the Internet using Ipv6, *Intelligent Transport System Telecommunications (ITST2005)*, pp.187-190 (2005).
- 19) Badami, D., Thanthry, N., Bhagavathula, R. and Pendse, R.: Port Address Translation Based Route Optimization for Mobile IP, *Proc. IEEE 60th Vehicular Technology Conference 2004 (VTC2004-Fall)*, pp.26-29 (2005).
- 20) Leung, K., Devarapalli, V., Chowdhury, K. and Patil, P.: Proxy Mobile IPv6, draft-ietf-netlmm-proxymip6-18 (2008).
- 21) Jeong, S. and Shin, M.: Route Optimization Scheme for Proxy Mobile IPv6, *Proc. 10th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2008)*, pp.1097-1100 (2008).
- 22) IEEE: Media Independent Handover Services, P802-21/D01.00 (2006).

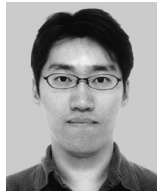
(平成 20 年 7 月 7 日受付)

(平成 21 年 1 月 7 日採録)



田坂 和之 (正会員)

株式会社 KDDI 研究所。平成 16 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報システム学専攻修士課程修了。同年 KDDI (株) 入社。現在、KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループ所属。モバイルネットワーク、ホームネットワーク、ITS (高度道路交通システム) 等の研究開発に従事。本会平成 18 年度全国大会奨励賞, DICO2007 優秀論文賞を各受賞。電子情報通信学会会員。



今井 尚樹 (正会員)

株式会社 KDDI 研究所。平成 10 年東京大学工学部電気工学科卒業。平成 12 年同大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻修士課程修了。平成 15 年同博士課程修了。同年 KDDI (株) 入社。現在、KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループ所属。工学博士。モビリティサポート、ホームネットワーク、NGN (次世代ネットワーク)、ITS (高度道路交通システム) 等の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。



磯村 学

株式会社 KDDI 研究所。平成 7 年名古屋工業大学電気情報工学科卒業。平成 9 年同大学大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。同年日本高速通信 (株) (現 KDDI (株)) 入社。現在 (株) KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループ所属。ネットワーク管理、ネットワークプロトコル、モバイルネットワーク、ITS (高度道路交通システム) 等の研究開発に従事。電子情報通信学会平成 14 年度学術奨励賞を受賞。電子情報通信学会、ACM 各会員。



井戸上 彰 (正会員)

株式会社 KDDI 研究所。昭和 59 年神戸大学工学部電子工学科卒業。昭和 61 年同大学大学院修士課程修了。同年国際電信電話 (株) (現 KDDI (株)) 入社。ネットワークアーキテクチャ/プロトコル、プロトコル実装・試験、モバイルネットワーク、ユビキタスネットワーク等の研究開発に従事。平成 19 年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士後期課程修了。現在 (株) KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループ・グループリーダー。平成 5 年情報処理学会大会奨励賞, 平成 10 年情報処理学会大会優秀賞受賞。博士 (工学)。電子情報通信学会会員。



堀内 浩規 (正会員)

株式会社 KDDI 研究所。昭和 58 年名古屋大学工学部電気工学科卒業。昭和 60 年同大学大学院情報工学専攻修士課程修了。同年国際電信電話 (株) (現 KDDI (株)) 入社。現在、KDDI 研究所執行役員。工学博士。ネットワークアーキテクチャ、ネットワーク管理、ホームネットワーク、ITS (高度道路交通システム) 等の研究開発に従事。本会平成 20 年度理事、ITS 研究会主査。本会平成 8 年度ならびに平成 12 年度全国大会優秀賞を各受賞。電子情報通信学会、IEEE 各会員。