

自律分散による高度道路交通システム (ITS) のための モバイルネットワーク・プラットフォームの開発と適用性評価

平 岩 賢 志^{†,††} 志 村 明 俊^{†††}
相 菌 岳 生^{†††} 岡 田 謙 一[†]

高度道路交通システム (ITS) サービスは道路交通情報提供をはじめとして各分野に展開されつつあり、そのための基盤としての路側ネットワークシステムの確立が求められている。これは路側に敷設される無線基地局を介して自動車に搭載される端末に対し情報配信を行うシステムである。1つの無線基地局の通信範囲が30m程度の狭域セルにより構成されるサービスエリアを高速に移動する自動車に対し高信頼かつ広帯域での情報配信を行うものである。課題として、狭域セルにより構成されるサービスゾーンを高速に移動する車載端末に対し情報配信をすることから、移動中の電波環境の変化に追従し狭域セルをまたいで連続的な通信を行うためのデータ伝送方式を確立する必要がある。さらに上記データ伝送方式は画像、映像などマルチメディア情報を伝送することから、十分なスループットを確保することが必要となる。筆者らはこれまでに路側ネットワークシステムに自律分散システムアーキテクチャを適用することを提案してきた。上記課題を解決するために自律分散制御でのメッセージ通信方式を基本とする狭域セルでの高速移動体管理方式を開発した。試作システムを開発し、実環境で路側ネットワークの基本要件である網内パケット転送能力、ハンドオーバー処理能力を評価した。この結果路側ネットワークでの要件を満足していることが検証でき、自律分散アーキテクチャの路側システムへの適用の見通しを得た。

Evaluation of Autonomous Decentralized System Based Mobile Communications Platform for ITS Services

MASASHI HIRAIWA,^{†,††} AKITOSHI SHIMURA,^{†††} TAKEIKI AIZONO^{†††}
and KEN-ICHI OKADA[†]

Intelligent transport systems (ITS) services, such as vehicle information and communication systems have already been implemented in practice and are now being applied commercially in a variety of fields. For communication control for the network platform, the system must establish a data transmission method for uninterrupted communication between microcells. This system must accommodate the changes in the radio environment when the vehicle is moving, because the system must deliver information to vehicle-mounted terminals that are moving swiftly in a service area consisting of microcells. To provide the platform for the ITS mobile network, this system is based on the Autonomous Decentralized System (ADS) architecture. To solve the communication issue, the authors developed a Microcell Mobility Management system by ADS architecture to enable uninterrupted communication across microcells. This method is designed to assure a data transmission time by reducing the connection control processing time using ADS message transfer mechanism. The authors developed a prototype system incorporating the above methods and made an evaluation. The results show that the fundamental requirements for the ITS mobile network using microcells such the packet transfer capability in the network were satisfied, providing the way to the application of the ADS architecture to it.

1. はじめに

高度道路交通システム (ITS) サービスは、道路と自動車の協調により道路交通情報提供、自動料金收受などのサービスが実用に供され、さらにこれらを応用したサービスが各分野に展開されつつある。一方近年のネットワークサービスのグローバル化によりインター

† 慶應義塾大学理工学研究所

Faculty of Science & Technology, Keio University

†† 株式会社日立製作所ネットワークソリューション事業部
Network Systems Solutions Division, Hitachi, Ltd.

††† 株式会社日立製作所システム開発研究所
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

ネットで提供されるサービスを自動車に乗っている人に提供することによる車内での利便性の向上が求められており、このためのモバイルネットワークプラットフォームとして路側ネットワークシステムの確立が必要となる。

路側ネットワークシステムは、路側に敷設される無線基地局を介して自動車に搭載される端末（以下車載端末という）に対し情報配信を行うシステムである。路側に敷設される無線基地局のネットワーク（以下路側ネットワークという）、バックボーンネットワークおよび情報配信を行うアプリケーションサーバ群より構成される。路側ネットワークでの通信方式として狭域無線通信方式（DSRC: Dedicated Short Range Communication⁵⁾）を使うことにより、通信ゾーンが30mの狭域セルにより構成されるサービスエリアを高速に移動する自動車に対し情報配信する。配信する情報は道路交通情報など走行支援のための情報に加え、インターネット上の映像、画像など多様化したマルチメディア情報が求められる。

路側ネットワークシステム実現のための課題として下記がある。システム的な課題として、全国一括でのシステム稼働は困難であり、初期段階でスポット的に導入される基地局設備を順次増設しながらサービスエリアを拡大していくために、段階的なシステム拡張の手段が求められる。また基地局が多数あるシステム構成であるために、運用時の障害対応など効率的なシステム保守の手段が求められる。通信方式上の課題として、狭域セルにより構成されるサービスゾーンを高速に移動する車載端末に対して情報配信をすることから、移動中の電波環境の変化に追従し狭域セルをまたいで連続的な通信を行うためのデータ伝送方式を確立する必要がある。さらに上記データ伝送方式は画像、映像情報を含むマルチメディア情報を伝送することから、十分なスループットを確保することが必要となる。

従来技術として、上述のシステム的な課題である段階的なシステム拡張や効率的なシステム保守の実現のために自律分散システムを適用することが考えられる。これまでにシステムの保全、改善、拡張を容易に行える方式として自律分散システムの研究成果の半導体生産システムなどへの適用例が報告されている^{1),2)}。通信方式上の課題として本システムでは30mの狭域セルを120km/hで高速移動をする車載端末に対して情報配信するために、セルをまたがり通信を継続していくことが必要であるが、1つのセル内での通信時間は約900msecと非常に短くかつセルのまたがりにもなう通信コネクションの切替え（以降ハンドオーバーと

いう）が頻繁に起こる。したがって、セルのまたがりにもなうハンドオーバー制御処理時間を短縮し、セル内での通信時間を確保することによりエンドエンドのスループットの向上を図ることが不可欠の課題である。さらに本システムで扱う走行支援のような高レスポンス性を要求されるアプリケーションに対し、通信手段を提供することが求められる。従来の携帯ネットワークではハンドオーバー時間がかかることが、問題点としてあげられる。またハンドオーバー時間を改善するものとしてマイクロモビリティ方式（セルラIP、階層型モバイルIPなど）が研究されているが、セルをまたがる間でのパケットの損失にもなうスループットの低下が課題となる。

上記のシステム上の課題を解決するために、筆者らはこれまでに路側ネットワークシステムに自律分散システムアーキテクチャを適用することを提案してきた。本アーキテクチャを適用し連続稼働を不可欠とするシステムを構築するうえで重要なオンライン拡張性、オンライン保守性、フォールトトレランス性の確保を可能とするようにした。通信方式上の課題を解決するために自律分散制御でのメッセージ通信方式（ADSメッセージ通信）により狭域セルでの高速移動体管理方式を開発した。本方式は、ネットワークと車載端末間の通信コネクション情報を路側ネットワーク内で効率的に引き継ぐことによりハンドオーバー処理時間を短縮し、狭域セル内でのデータ伝送時間の確保を狙うものである。

路側ネットワークへの自律分散システムアーキテクチャの適用性を評価するために試作システムを開発し実証実験により検証を行った。実証実験では、路側ネットワーク内通信性能評価として、ADSメッセージ通信でのパケット転送能力、網内をハンドオーバーするトラヒックに対するハンドオーバー処理時間を評価した。また、広域ネットワーク上のアプリケーションサーバの利用を可能とする広域網へのインタワーク機能の性能評価を行った。性能評価の結果として、上記課題での要件を満足していることを検証でき、自律分散アーキテクチャの路側システムへの適用の見通しを得た。本稿は、以下、2章で路側ネットワークでの要件と課題の整理、3章で路側ネットワークシステム提案方式、4章で適用性評価につき報告する。

2. 路側ネットワークでの要件と課題の整理

路側ネットワークを利用したITS情報提供サービスでは下記要件がある。

(1) 図1に狭域セルを利用した情報配信システム

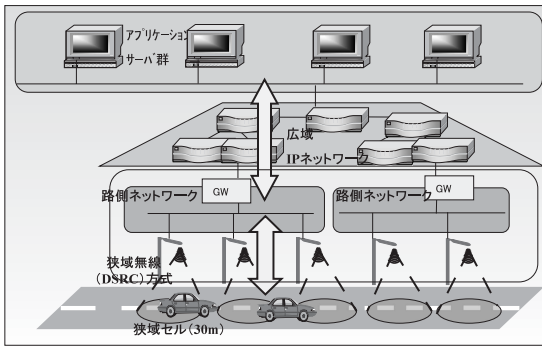


図 1 狭域セルを利用した ITS 情報提供サービス

Fig. 1 ITS information delivery system using microcells.

とその中における路側システムの位置付けを示す．これまでに筆者らが分析してきた ITS 情報提供サービスでのネットワークへの要求条件として下記がある^{4),14)}．ITS 情報提供サービスは，安全性の向上を目的とする走行支援サービス，利便性の向上を目的とする種々マルチアプリケーションなどサービス特性の異なる多様化したサービスの提供が求められる^{3),4)}．走行支援サービスとは，安全運転を目的として路側のインフラ設備が収集した道路状況に基づき危険な状況を車載端末に通知するものである．道路状況は道路構造など静的な情報から障害物情報など動的なものがある．こうしたアプリケーションでは転送データ量はそれほど大きくなく数百バイトのトランザクション型のデータ転送中心であるが，通信品質として安全運転のための走行支援といったサービスの特性からデータ損失に対する要求が厳しい．一方マルチアプリケーションの典型例としては走行中の移動ユーザに音楽，映像などのマルチメディア情報の配信を行うサービスで，End-End でのスループットの向上が求められる．通信方式観点からは，これらのサービスは同報型，トランザクション型，ストリーミング型の通信方式が求められる．

(2) 狭域セルに DSRC を適用した場合には，セル長が 30 m であるため，移動体速度最大 120 km/h までに対応するためには，狭域セル内通信時間は最大でも 900 msec となる．一方上記に示すような道路交通情報，走行支援情報などの情報提供サービスでは，セル内の車両に同報配信する必要があり，DSRC の普及インフラ (ASK) を利用した場合実効伝送速度は最大でも 420 kbit/s なので，セル内での通信を完了するためには，通信コネクション設定などの制御処理 (ハンド

オーバー処理) を 100 msec 以内に完了することが求められる．

狭域セルを利用した高速移動体通信であるがゆえの通信方式課題として下記を解決することが必要となる．

狭域セルを高速に移動する端末に対し情報配信するシステムでは，従来技術において下記の点が課題である．すなわち携帯電話ネットワークのようなワイアレスシステムにおいては，基地局と移動端末間の通信コネクションが集中的に管理されている^{10),11)}．移動端末が別の基地局の通信エリアに移動すると通信コネクションの切替えが行われ新たな基地局に通信コネクションが引き継がれる．このアーキテクチャにおいては通信コネクションの切替えに数秒かかることもあり，900 msec で狭域セルを高速に移動するシステムの場合には，通信コネクションの切替えを行っている間にセルを通過してしまうこともありうるため，適用することはできない．またこれを改善したシステムとしてはマイクロモビリティ方式 (セルラ IP，階層型モバイル IP など) の研究が進められている^{12),13)}．マイクロモビリティ方式ではレイヤ 3 (IP ルーティング) またはレイヤ 3.5 (IP トンネリング) 方式が適用されている．マイクロモビリティ機能を実装したレイヤ 3 スイッチ/ルータにより構成される．移動体からの位置登録要求により動的に変化するルーティングテーブルを検索しながらネットワーク内をルーティングするアーキテクチャとなっている．

上述のマイクロモビリティ方式は，路側ネットワークでの要求条件を考えると；

- セル内での通信時間が 900 msec，通信コネクションの設定 (ハンドオーバー処理) 時間 100 msec という路側ネットワークでの要求条件に対し十分な性能が得られない．
- 走行支援情報のような局所的かつ高レスポンスを要求される非 IP アプリケーションに対して路側ネットワークに閉じた高レスポンス通信を提供することが必要となる．

以上より，本システムでは路側ネットワーク内での通信方式として，レイヤ 3 ルーティングによるコネクション設定ではなく，レイヤ 2 における高速コネクション設定方式を検討した．

3. 路側ネットワークシステム提案方式

3.1 システムアーキテクチャ

これまでに筆者らは ITS の路側ネットワークのシステムアーキテクチャに自律分散制御を適用することを提案してきた．自律分散システムはシステムを構成

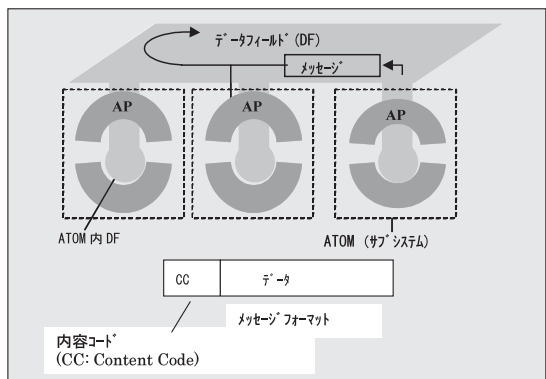


図 2 自律分散システムアーキテクチャ

Fig. 2 Autonomous Decentralized System architecture.

する各サブシステムが他のサブシステムの影響を受けずに自身を自律的に制御でき（自律可制御性）、システムを構成する特定のサブシステムが機能しなくても残りのサブシステムが協調して稼働を継続できる（自律可協調性）という特性で定義される²⁾。これらの特性は、ネットワークシステム特に ITS 通信サービスのような連続稼働を不可欠とするシステムを構築するために適しているといえるからである。システム稼働状態での設備拡張機能（オンライン拡張性）、運用時における障害部位を切り離しての稼働継続（フォールトトレランス性）、システム稼働状態での保守作業（オンライン保守性）を確保することが重要である。従来実現されている自律分散システムによれば、たとえば生産システムへの適用によりオンライン拡張機能、オンライン保守機能の有効性が報告されている^{7),8)}。また高信頼データベースを構築するためのフォールトトレランスファイルシステムへの適用により有効性が報告されている⁹⁾。ITS 通信サービスのような連続稼働を不可欠とするシステムを構築するうえで重要な要素となるオンライン拡張性、フォールトトレランス性、オンライン保守性の実現を見すえたシステムとするために、路側ネットワークシステムを自律分散システムアーキテクチャにより設計することを検討してきた。

自律分散システムの設計においては、図 2 に示すアーキテクチャをとる。図 2 において ATOM は自律分散システムを構成するサブシステムを表す。データフィールド (DF) は ATOM (サブシステム) 間でメッセージを交換するための情報を共有する空間を表す。メッセージ中の内容コード (CC) はメッセージデータの内容に対応したコードを表す。各 ATOM はアプリケーション (AP) を持っている。メッセージを発生したい ATOM はそのメッセージデータに対応した内容コードを付与しデータフィールド内にブロードキャ

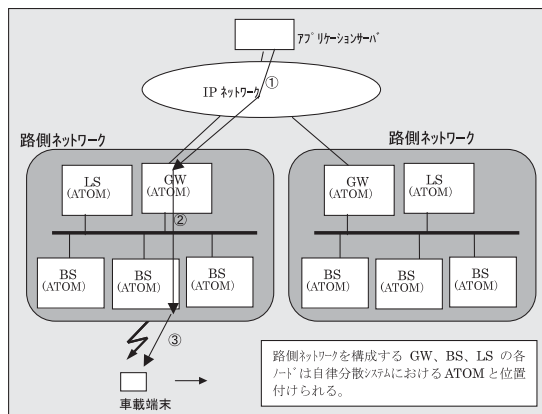


図 3 路側ネットワークへの自律分散アーキテクチャの適用

Fig. 3 Application of the Autonomous Decentralized System architecture to roadside network system.

ストする。各 ATOM はデータフィールドに自分の必要とする内容コードを持つデータが流れていればそれを取り込むというアーキテクチャである。上述の CC は具体的には AP に対応づけられている。各 ATOM 内の AP は CC テーブルに登録された CC とデータに付与された CC を比較して受信の判断をする。このシステムではデータの宛先を指定せずに各 ATOM の自律的な判断に基づいてデータを選択受信するため、新しい ATOM を容易に拡張することができる³⁾。

通信方式としての特長にさらに言及すると、従来の方式では送信側が受信側サブシステムのアドレスをする「選択送信」であるのに対し、本方式では受信アドレスではなくデータの内容に対応した内容コード (CC) を用い、受信側が自らの判断でデータを選択して受信する「選択受信」である。この方式では送信側サブシステムが受信側サブシステムの状況を意識せずに発信できるという意味でサブシステムの自律性を確保するのに適した通信方式といえる。

図 3 に狭域セルによる情報配信システムにおける路側ネットワークの構成を示す。路側ネットワークはゲートウェイ (GW)、基地局 (BS)、およびローカルサーバ (LS) の各ノードから構成される。これらのノードは自律分散システムにおける ATOM として定義される。路側ネットワーク内でこれらのノードが共有する情報が DF として定義される。また DF 内で交換されるメッセージがノード間でやりとりされる情報と位置づけられる。各ノードにはアプリケーション (AP) が搭載される。各ノードの AP 間でのメッセージ通信において前述の内容コード (CC) による通信方式を適用した。

図 3 においてアプリケーションサーバから車載端末

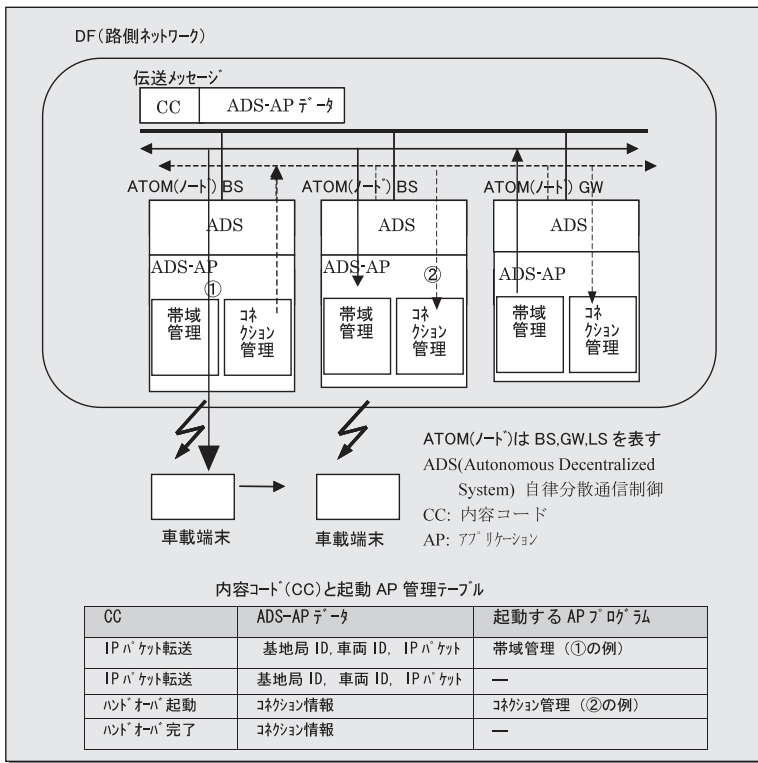


図 4 自律分散ネットワーク構成でのデータ伝送方式 (ADS メッセージ通信方式)
 Fig. 4 Data transmission scheme for Autonomous Decentralized Network (ADS messaging scheme).

へのパケットの転送を考える．車載端末の位置は IP ネットワーク内でその位置が管理されている．アプリケーションサーバからの IP パケットは IP ネットワーク内でルーティングされ路側ネットワークに到達する．(①) IP パケットは GW により終端される．路側ネットワーク内では前述の自律分散アーキテクチャによるメッセージ通信が実行され IP パケットは透過的に転送される (②) 路側網内を透過的に転送された IP パケットは狭域無線プロトコルによりやはり透過的に転送され、車載端末に到達する (③) 次項では路側ネットワーク内の自律分散アーキテクチャによるメッセージ通信 (ADS メッセージ通信) の実装方式について記す．

3.2 路側ネットワークにおけるデータ伝送方式 (ADS メッセージ通信)

狭域セルにより構成されるサービスゾーン内での高速移動体へのデータ伝送では、2 章で言及したように切替え制御のオーバーヘッドが問題となる．これを解決するために路側ネットワーク内でブロードキャストすることによるデータ伝送方式を検討した．自律分散システムアーキテクチャを採用した路側ネットワークの構成および路側ネットワーク内でのデータ伝送方式

(ADS メッセージ通信方式) を図 4 に示す．

図 4 においてデータフィールド (DF) は路側ネットワークに相当する．路側ネットワークは複数基地局またはアプリケーションを提供するノードから構成される．各ノードは、ネットワークを介して他のノードとメッセージの送受信を行うための自律分散通信制御機能 (ADS) を持つ．ADS において前述の内容コード (CC) による通信制御を行う．CC による通信では CC に対応して動作すべき AP (ここでは BS, LS, GW 上のアプリケーション) が対応づけられており、伝送メッセージ内の CC に付与されている AP データをパラメータとして AP が動作する．この意味で本通信方式はデータ駆動型のアーキテクチャである．図 4 において ATOM は BS, LS, GW を表してあり、物理的には Ether バスに接続されている．Ether バス上を伝送メッセージがブロードキャストされ、各 ATOM は伝送メッセージの内容コードを読み取り AP を動作させる．

ここで AP とは、BS, GW におけるネットワーク制御のための機能で、図 4 の ADS-AP に示すように、パケット転送の際の QoS 制御のための帯域管理の機能や基地局間でハンドオーバー制御のためのコネクシ

ン管理の機能などである。

以下、本通信方式の動作につき言及する。図4において、各ATOM(ノード)には内容コード(CC)と対応するAPプログラムの管理テーブルを保持している。これによりメッセージに付与されたCCに基づいて自らの判断で処理を実行できる。たとえば図4で、①シーケンス例では、GWからのIPパケットの転送でこれを受信した基地局ではCCおよびADS-APデータより帯域管理機能を起動し車載端末へパケットを転送する。②のシーケンス例では、ハンドオーバー起動要求のパケットであるが、CCおよびADS-APデータよりコネクション管理機能を起動し、基地局間でのハンドオーバー処理を実行する。

本通信方式では、送信元が、路側網に接続されている全ノードに対してパケットを送信し、ブロードキャストされたパケットに対して、受信側で必要なパケットのみ取り込み、処理を実行する。路側ネットワークでは、データの内容を識別するCCによって、各ノードがデータを受信するか否かを判断する。路側ネットワークに接続される各ノードは、CCとAP(アプリケーション)の対応テーブルを管理しており、自らが格納するAPの必要とするCCを持つデータを受信するとそれを取り込む。同様に、APの処理が終了し新たなデータが生成されると、データにCCを付与して路側網にデータを送信する。送信ノード側において、APより送信要求されたデータサイズが、伝送フレームの最大長を超える場合、分割し、フラグメンテーションを行う。

上述のように路側ネットワーク内でパケットをブロードキャストする通信方式においては、ネットワークが過負荷となりやすいことが問題となる。これは本システムのような多様なアプリケーションを扱う場合、特に走行支援情報の転送などレスポンス性を求められるアプリケーションにおいて問題となる。本システムのように多様化したサービス条件に対応するためにアプリケーションごとにパケットの転送に関しQoS制御を行うことの有効性が検証されている³⁾。

4. 適用性評価

4.1 従来方式との比較検討

従来技術として、IETF Mobile IP WGで検討されているIPベースでの移動体通信方式がある^{12),13)}。ここで議論されている移動体通信方式は通常のモバイルIPでの移動端末とホスト間のシグナリングオーバーヘッド、たとえば移動端末とHA(Home Agent)間での位置登録のためのシグナリングを少なくすること

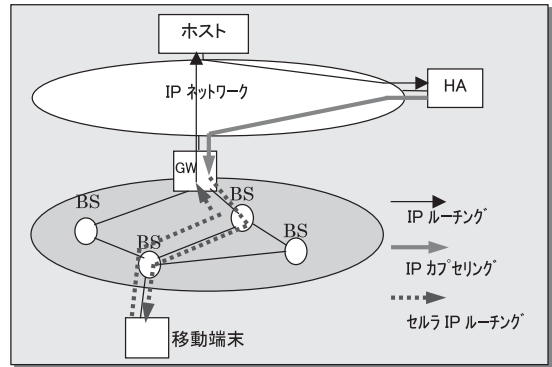


図5 従来技術でのネットワークモデル
Fig. 5 Conventional network model.

によりネットワークの負荷を低減させることを狙いとするものである。

ここで議論されている移動体通信方式として典型的なセルラIP、階層型モバイルIPでのネットワークモデルを図5に示す。セルラIPではIPベースの移動体通信方式を実現しており、モバイルIPネットワークをバックボーンとしそのアクセスネットワークの位置づけである。基本構成はワイアレスアクセスポイントとしての機能およびIPパケットルーチングを行う基地局(BS)により構成される。セルラIPのアクセスネットワークはレイヤ3スイッチにより構成されるLANにセルラIPルーチングプロトコルを実装することにより動作可能としている点に注目すべきである。セルラIPでのパケットの転送メカニズムは図5において、①パケットをHAにルーチング(通常のIPルーチング)、②HAからGWにルーチング(IPトンネリング)、③GWから移動端末にルーチング(セルラIPルーチング)により行われる。階層型モバイルIPにおいてもエンドポイントでIPトンネリング処理を行っていることを除けば基本的なネットワークモデルは同じである。

ここでパケットの転送方式に注目してみると、セルラIP、階層型モバイルIPともにレイヤ3でのルーチングを行っており、アクセスネットワーク内のすべてのノード(BS)はレイヤ3スイッチ(ルータ)で構成され、レイヤ3スイッチ(ルータ)はこのルーチング処理を実装している必要がある。移動体からの位置登録更新要求により動的に変化するルーチングテーブルを検索しながらアクセスネットワーク内を順次ルーチングすることが基本的なアーキテクチャである。

ここで路側ネットワークへの適用を考えると、(i) 狭域セルにより構成されるサービスゾーンを高速に通過する移動体へのパケット転送では、セルの

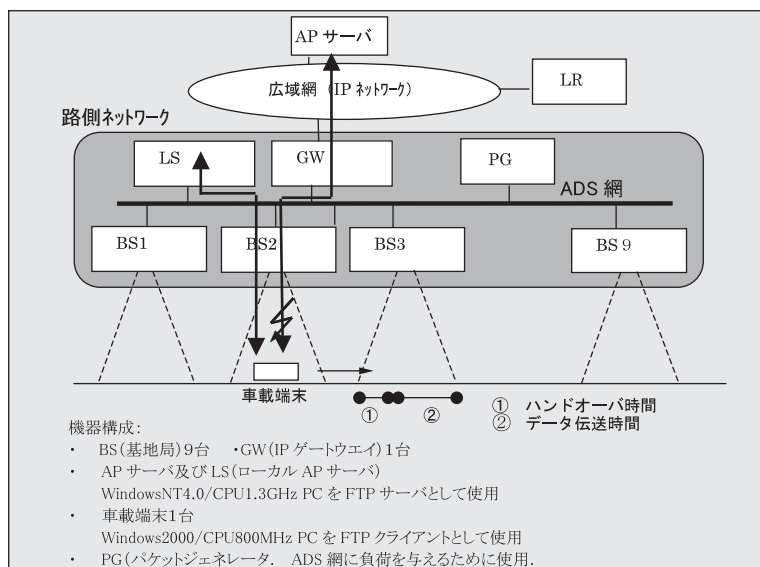


図 6 路側ネットワーク評価システム構成概要

Fig. 6 Roadside network evaluation system structure.

接続状態，車輛の移動を特定しにくいネットワークポロジでありパケットの転送先を高速かつ効率良く特定する方式が必要となる．

- (ii) 動的に変化するルーティングテーブルによりアクセスネットワークを順次ルーティングする方式では 30 m の狭域セルを高速に移動する車輛に対しパケットデータの伝送時間を十分に確保できない．
- (iii) 走行支援情報のような局所的かつ高レスポンスを要求されるサービスに対し，路側ネットワークに閉じた高レスポンス通信を提供する手段が必要となる．

路側ネットワークで上記の課題を解決するために，2 章で言及した ADS メッセージ通信方式により路側網内での高速コネクション設定方式を開発した．次節でその適用性につき評価する．

4.2 2 評価システム構成と評価概要

自律分散アーキテクチャを適用した路側ネットワークシステムの評価を下記により行った．路側ネットワークにおけるパケット転送方式およびハンドオーバー方式の性能評価を行うことが目的である．評価尺度として重要なのは，エンドエンドスループット性能とハンドオーバー時間を決める ADS 網通信性能である．本節では，本評価システムの構成と評価概要を示す．

図 6 に評価システムの構成概要を，また図 7 に評価システムの構成要素をプロトコルスタックとして示す．

図 6 において評価システムは，路側ネットワークと IP ゲートウェイ (GW) 経由広域網 (IP ネットワー

ク) を介して接続される AP サーバ，ロケーションレジスタ (LR) および車載端末より構成される．路側ネットワークは IP ゲートウェイ (GW)，基地局 (BS)，ローカルサーバ (LS) により構成される．下記にこれらの機能概要について説明する．また，これらの構成要素について図 7 プロトコルスタックを用いて説明する．

① IP ゲートウェイ (GW)

AP サーバから GW に到達した IP パケットは GW で終端され，路側ネットワーク内では ADS メッセージ通信機能によりカプセル化され透過的に転送される．

- ADS メッセージ通信機能 (図 7 で GW 内 ADS) IP ゲートウェイ (GW) は，IP ネットワーク，路側ネットワークと接続している．ADS メッセージ通信 (ADS) は，このうち路側ネットワークと ADS メッセージにより通信を行う．IP パケットを ADS フレームにカプセル化する機能を実装した．
- ADS AP 機能 (図 7 で GW 内 ADS-AP) 路側ネットワークを制御するための帯域制御機能，コネクション管理機能 (ハンドオーバー制御機能) を実装した．
- AP 機能 (図 7 で GW 内 AP) TCP/IP アプリケーションとして下記を実装した．車両に IP アドレスを付与し，また，路側ネットワーク内を車両が移動しても付与した IP アドレスを継続して利用可能とする IP アドレス継承

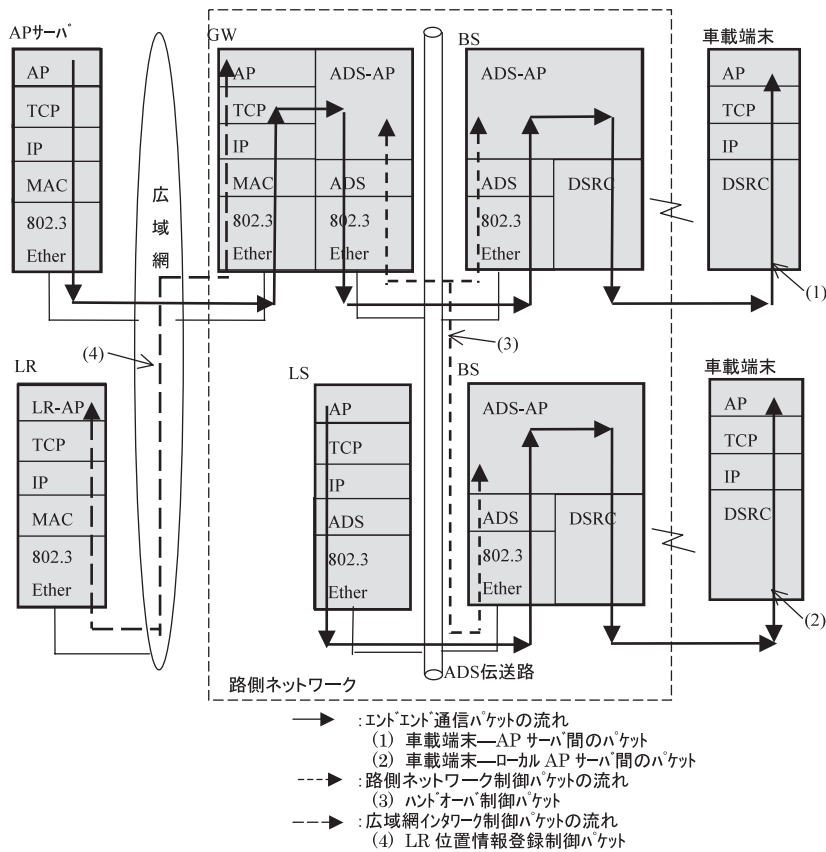


図 7 評価システム プロトコルスタック
 Fig. 7 Evaluation system protocol stack.

機能など、車両に付与する IP アドレス管理機能を実装した。また、LR (ロケーションレジスタ) との連携機能として、車両の位置を管理する LR に車両の IP アドレスを登録する機能を実装した。車両進入時に、位置情報を LR への通知し、LR からの問合せ時に位置情報を応答する。通知プロトコルは HTTP/TCP/IP により実装した。

- 路側ネットワーク側、広域ネットワーク側ともに物理インタフェースには 802.3 Ether を用いた。
- ② 基地局機能 (BS)
 - 路車間通信機能 (図 7 で BS 内 DSRC)

車載端末との無線通信機能として ARIB STD-T75 DSRC プロトコル制御機能を実装した。また、車載端末との間で IP パケットを透過的に転送するための IP カプセル化機能を DSRC のサブレイヤとして実装し IPoverDSRC 方式を提供することとした。
 - ADS メッセージ通信機能 (図 7 で BS 内 ADS)

路側ネットワークと ADS フレームにより通信を行う機能で GW に実装した機能と同じ。

- ADS-AP 機能 (図 7 で BS 内 ADS-AP)

路側ネットワークを制御するための帯域制御機能、コネクション管理機能 (ハンドオーバー制御機能) で GW に実装した機能と同じ。
- 路側ネットワークとの接続物理インタフェースは 802.3 Ether を用いた。
- ③ ローカル AP サーバ機能 (LS)
 - アプリケーション (AP) として FTP ファイル転送機能を搭載した。
 - ADS メッセージ通信機能 (ADS) については上記 GW, LS に搭載したのと同じ機能である。
 - 路側ネットワークとの接続物理インタフェースについては 802.3 Ether を用いた。
- ④ AP サーバ機能
 - アプリケーション (AP) として FTP ファイル転送機能を搭載した。
- ⑤ ロケーションレジスタ機能 (LR)
 - アプリケーション (図 7 で LR-AP) として路側ネットワークに進入した車両の位置情報を管理する機能を搭載した。GW との間でのインター

表 1 路側ネットワークシステム評価概要
Table 1 Evaluation items for the roadside network system.

評価項目	評価概要
1 システム性能	<ul style="list-style-type: none"> 無線アクセスインフラとして DSRC を介して路側ネットワークを利用するユーザが使用できるエンドエンドのスループットを測定． 路側ネットワークは、無線アクセスインフラ DSRC を介しアクセスされる．ユーザに対し、無線アクセスインフラの伝送速度を確保することが求められる．アプリケーションサーバの設置場所により下記形態につき評価する． <ul style="list-style-type: none"> 広域網 (IP ネットワーク) を経由して AP サーバからユーザにサービスを提供する形態 (図 7 で矢印 (1) のケース) 路側システム内にローカル AP サーバを設置し、そこからサービスを提供する形態 (図 7 で矢印 (2) のケース)
2 路側ネットワーク通信性能	<ul style="list-style-type: none"> 路側ネットワークに負荷をかけることにより <ul style="list-style-type: none"> 路側網の ADS メッセージ通信でのパケットの転送能力 網内をハンドオーバーしていくトラヒックに対しハンドオーバー時間を測定した． 路側ネットワークのパケット通信属性として、エンドエンド通信パケット (図 7 矢印 (1)(2)) とハンドオーバー処理などネットワーク制御のための制御パケット (図 7 矢印 (3)) がある．路側ネットワーク内のトラヒックが増加すると路側ネットワークの処理負荷が増大する．そこでパケット量を変化させ処理性能を評価する．
3 広域通信網インタワーク処理性能	<ul style="list-style-type: none"> 本路側システムは、前述のとおり 500 m 程度サービス提供エリアを想定している．広域網ルータや、車両の位置管理を行うロケーションレジスタに車両の位置情報を提供することにより広域網のルーティングが可能となり、AP サーバが車両の位置を意識したサービスを提供可能となる．このことから路側システムには、車両の移動検知後、速やかに上位網へ移動の通知を送る性能が求められ LR への位置情報の通知時間を測定した (図 7 で矢印 (4) でのパケットの流れ)． 上位レイヤで使用する LR への位置情報登録時間の測定により、上位アプリケーションよりの利用、適用性を評価する．
4 路車間通信性能	<ul style="list-style-type: none"> 路車間通信の開発では無線通信機能として QPSK 変調方式を導入し、またプロトコル処理機能として ARIB STD-75 に準拠した通信フレーム処理を実装し、通信制御機能としてマルチアプリケーション対応、ハンドオーバー、サーバ/クライアント型通信、同報通信、バルク転送の各機能の開発と実装を行い、室内通信実験でこれらの機能の動作を確認した．実環境における路車間通信の転送速度を測定した． 路車間通信の総合的な評価のために、また運用時の通信条件選定の指針とするために、変調方式や通信フレームの違いによる転送速度への影響を評価する．

スプロトコルにより、位置情報を GW から定期的に通知される．

⑥ 車載端末

- 路車間通信機能 (図 7 で車載端末内 DSRC) 基地局との無線通信機能として ARIB STD-T75 DSRC プロトコル制御機能を実装した．また、基地局との間で IP パケットを透過的に転送するための IP カプセル化機能を DSRC のサブレイヤとして実装し IPowerDSRC 方式を提供するようにした．
- アプリケーションとして FTP ファイル転送機能を搭載した．

図 7 において、矢印 (1) は車載端末-AP サーバ間のエンドエンド通信パケットの流れを示している．矢印 (2) は車載端末-ローカル AP サーバ間のエンドエンド通信パケットの流れを示している．また、ハンドオーバーなど路側ネットワーク内での制御パケットの流れを矢印 (3) で示す．さらに、車輛位置情報を LR に通知するための広域網インタワーク制御パケットの流れを矢印 (4) で示す．

次に、上記評価システムを用いた路側ネットワークの評価概要を表 1 に示す．

4.3 評価と考察

(1) システム性能

<性能要件>

- 路側ネットワークは、無線アクセスインフラ DSRC を介してアクセスされる．ユーザに対し、無線アクセスインフラである DSRC の伝送速度を確保することが求められる．

<測定条件>

- アプリケーションサーバの設置場所により下記形態につき評価する．
 - 広域網 (IP ネットワーク) を経由して AP サーバからユーザにサービスを提供する形態 (図 7 で矢印 (1) のケース)
 - 路側システム内にローカル AP サーバを設置し、そこからサービスを提供する形態 (図 7 で矢印 (2) のケース)

2 評価環境

図 6 の評価システムにおいて、車載端末 1 台が

表 2 エンドエンド実効速度測定結果
Table 2 End-to-end throughput.

	測定条件			実効伝送速度 (kByte/sec)	
	暗号化		速度	移動局端末か らの Get	移動局端末か らの Put
	路側	無線		実効速度	実効速度
路側網内 LS からのサービス提供	なし	あり	停止	138	22
			30 km/h	95	17
	あり	あり	停止	118	20
広域ネットワーク AP からのサービス提供	なし	あり	停止	105	22
			30 km/h	88	18
	あり	あり	停止	90	22

AP サーバ、ローカル AP サーバ (LS) と通信。車載端末のクライアント PC において FTP の PUT/GET を実行し実効伝送速度を測定。セキュリティポリシーを考慮し、路側ネットワーク内 (図 7 で ADS と ADS の間) および DSRC 無線通信区間 (図 7 で基地局の DSRC と車載端末の DSRC の間) の暗号化/非暗号化それぞれについて測定。さらに、走行環境での使用を考慮し、車両が停止している状態と走行している状態をそれぞれ測定。車両が走行しているケースでは、基地局間をハンドオーバーしながら通信する。

< 測定結果 >

測定結果を表 2 に示す。

< 考察 >

LS からのサービス提供においては、停止状態で 138 kByte/sec (1,104 kbit/sec) のスループットが測定された。文献 15) では、実験室で DSRC の伝送能力を測定している。実験室環境では、基地局と車載端末を有線で直結し測定 (暗号化せずに測定) しており、その環境で 1.2 Mbit/s の測定結果を得ている。今回の環境では無線区間を暗号化した通信であり、暗号化により約 10% のスループット低下があることを考慮すると、路側ネットワークを介した通信でも劣化のないスループットが得られることが検証できた。これはストリーミングサービスなどの大容量データサービスを提供するうえで十分な性能を達成していると考えられる。

本稿においては、サービス提供者のセキュリティポリシーを考慮し、路側ネットワーク内および無線区間での暗号化処理を行った。無線区間での暗号化については従来より評価されているが、本稿では路側ネットワーク内での暗号化についても評価した。文献 17) では自律分散による路側ネットワークでの不正アクセス、データの盗聴、改竄を防止し通信の安全性を確保するためのセキュリティ方式についてその適用性が検証されている。本稿での評価において表 2 に示すように路

側ネットワーク内でのデータの暗号化により 15% 程度の性能の低下が見られる。実際の利用状況を考えると、暗号化対象のデータの絞り込みなどを配慮することにより性能の向上を図る必要があると考えられる。

走行環境 (30 km/h) では、停止している環境と比較すると 25~30% のスループットの低下が見られる。文献 16) の ARIB 規格によれば、DSRC 無線通信の伝送能力は走行環境 (~120 km/h) でも影響はない。ここでのスループットの低下は、評価システムにおいて、基地局の立地条件上連続した無線セルを構成できず無線リンクが切断されエンドエンド通信が途絶えた時間があつたことが主要因と考えられる。

LS からのサービス提供形態よりも AP アプリケーションサーバからのサービス提供形態での測定結果の方が停止状態で 24% 程度の性能低下が見られる。これはゲートウェイを通過する際に付与された遅延時間により、TCP/IP のフロー制御が働いたと考えられる。

(2) 路側ネットワーク通信性能

(i) ADS メッセージ通信でのパケット転送能力

< 性能要件 >

1 想定する路側ネットワークの規模

典型的な路側ネットワークの利用形態は、高速道路などでの走行レーン内での情報提供エリアあるいは走行レーン以外のサービスエリア、インタチェンジや合流個所において情報提供を行うことである。このような利用形態では、路側に沿って 500 m 程度のエリアをカバーすることが求められる。そのエリアに通信セル 30 m の基地局を設置し連続的な情報提供の環境を与えることが求められる。

2 想定する路側ネットワークのトラヒック条件

文献 16) の DSRC 通信規格によれば、基地局の提供する無線アクセスインタフェースのチャンネル数は 8 チャンネル/基地局である。したがって、セル内に最大 8 台までの車両を考える。また、基地局の提供する無線区間の伝送能力の理論値は 1.8 Mbps である。一方、

前項 (1) システム性能で路側ネットワークに負荷をかけずに行ったエンドエンドでの伝送能力は約 1.1 Mbps であった．セル内の車輛はこの帯域をシェアして利用する．したがって，路側ネットワーク内は接続される基地局の台数を N 台とすると最大 $(1.1 \times N)$ Mbps のトラフィックを処理しなければならない．一方サービス要件からは，文献 4) によれば，走行支援サービスなどリアルタイム性の厳しいアプリケーションではレスポンス時間（エンドエンドでのパケット転送時間）は 100 msec 以内であることが求められる．以上のことから 100 msec 以内のパケット転送時間で最大 $(1.1 \times N)$ Mbps のトラフィックを処理することが求められる．

3 ネットワーク制御パケットに対する性能要件

路側網通信で扱うネットワーク制御パケット処理のうち，最も厳しい性能が要求される状況は，隣接した基地局間で，ハンドオーバーを引き継ぐ際の制御パケットの転送である．路車間通信による基地局と車載端末間の無線リンクが確立されるまでにハンドオーバー情報は引き継がれていなければならない．したがって，ネットワーク制御パケットに対する性能要件として，基地局間のハンドオーバーの引継ぎ処理時間（車載端末から切断通知を受信してから，隣接基地局が路側網から受信したハンドオーバー情報に基づいてハンドオーバーの引継ぎ処理を終了させるまでの時間）が 10 msec 以内であることを性能要件とした．

<測定条件>

1 図 6 の評価システム構成において，1 台の車載端末に対し AP サーバから FTP 転送を行う．ADS 網に対しパケットジェネレータにより負荷をかけパケットの転送遅延時間を測定し，どの程度のトラフィックに耐えられるかを評価する．パケット転送遅延時間とは，ノード（GW，BS，LS）間でパケットを転送するための時間で，図 7 において GW，GS，LS に実装された ADS に組み込まれた性能測定ツールにより ADS と ADS の間でのパケット転送時間を測定する．

2 パケットのトラフィック特性をアプリケーションでの利用形態の観点から下記のように変化させて測定した：

- ① 短パケット（64 バイトパケット）の連続送信
- ② 長パケット（1,500 バイトパケット）の連続送信
- ③ 短パケット（64 バイトパケット）の周期（100 msec）送信
- ④ 長パケット（1,500 バイトパケット）の周期（100 msec）送信

<測定結果>

図 8 に，ADS 網内での IP パケットの転送遅延時

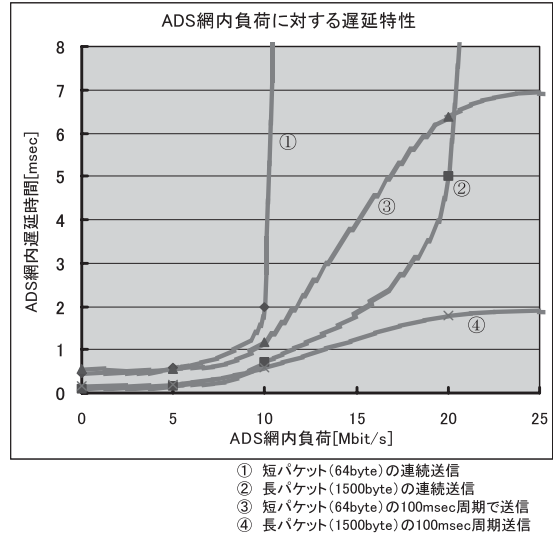


図 8 ADS 網内での IP パケットの転送遅延時間

Fig. 8 IP packet processing delay in the ADS network.

間の測定結果を示す．

<考察>

図 8 の測定結果によれば，短パケットと長パケットを比較すると，同じ負荷でも短パケットでは単位時間あたりのパケット転送処理回数が増えるので，処理時間が増加する．また，連続送信と周期送信を比較すると連続送信では負荷が上がると ADS 網内の遅延特性は急激に劣化する一方で，周期送信ではある一定の遅延時間で抑えられる結果を得た．

2 章のサービス要件によれば，リアルタイムアプリケーションである走行支援サービスなどではトランザクション型のパケットサービス中心で数 100 バイトの周期的なパケット転送が主体である．その意味で上記 ③ が現実的な利用形態での評価となる．また，非リアルタイムアプリケーションでは，TCP/IP アプリケーションが中心で最も網に負荷のかかる条件としては 1,500 バイトの連続送信の場合でその意味で上記 ② が現実的な利用形態での評価となる．

図 8 の測定結果によれば，現実的な利用形態である上記 ② においては，ADS 網内の負荷が 20 Mbps 程度から処理時間の遅延が顕著に見られる．20 Mbps の負荷は，性能要件と照らし合わせてみると， $N = 18$ すなわち基地局台数を 18 基接続した路側ネットワーク（距離に換算すると約 540 m）に無線基地局の最大の伝送能力のトラフィックをかけた場合に相当する．この状況では，網内でのパケットの転送遅延は 5 msec（② のケース）から 6.5 msec（③ のケース）であり，リアルタイム性の強い走行支援サービスでは End-End

のレスポンス時間は 100 msec 以内であることが求められるが、無線区間での遅延時間が 5 msec であることを含めても十分適用可能な遅延時間といえる。

以上より、性能要件での最も厳しい状況すなわち無線基地局の伝送能力を最大に利用（約 1.1 Mbps の帯域を基地局配下にいる最大 8 台の車両がシェアして利用）する状況では、約 540 m（基地局台数 18 基）の規模までは利用可能な見通しを得た。これは、高速道路で 540 m の渋滞の中で車両がいっせいに道路交通情報などのアプリケーションサーバに接続する状況に相当する。

また、ハンドオーバー情報の引継ぎに用いられるネットワーク制御パケットも ADS 網内において上記評価の他のパケットと同様に網内の帯域を利用して伝送されることになるが、上述の評価で 5 ~ 6.5 msec 程度の遅延時間であれば、ハンドオーバー制御での性能要件を満たしており、この観点からも適用の見通しを得ることができた。

(ii) ハンドオーバー処理性能

< 性能条件 >

1 2 章のサービス要件より、狭域セル内での通信時間を十分に確保するために、基地局間でハンドオーバー時の制御処理時間を 100 msec 以内とすることが求められる。

< 測定条件 >

1 路側網内の狭域セルをまたがり連続通信する際のハンドオーバー処理時間を測定した。

図 9 に路側網内での通信シーケンスを示す。図 9 において、① 初期接続の時間（車両がサービスゾーン内に進入し無線リンク確立手順を開始してから TCP/IP 通信が可能になり IP パケットを受信するまでの時間）、② ハンドオーバー時間（新たなセルに入り無線リンク確立手順を開始してから前の基地局から引き継いだコネクション情報を設定し TCP/IP 通信が可能となり IP パケットを受信するまでの時間）を測定した。

2 測定手順

- 車両 30 km/h で走行させ BS1 無線セル内に進入。移動端末のクライアント PC で、無線リンク確立開始ポイントと IP データ受信ポイントにタイムスタンプを置き時間を測定（図 9 の ① の時間）。
- 以降 BS2 ~ BS9 を走行して上記と同様の手順により時間を測定（図 9 の ② の時間）。

< 測定結果 >

表 3 にハンドオーバー時間の測定結果（上記手順を 3 回繰り返し測定した結果の平均値）を示す。

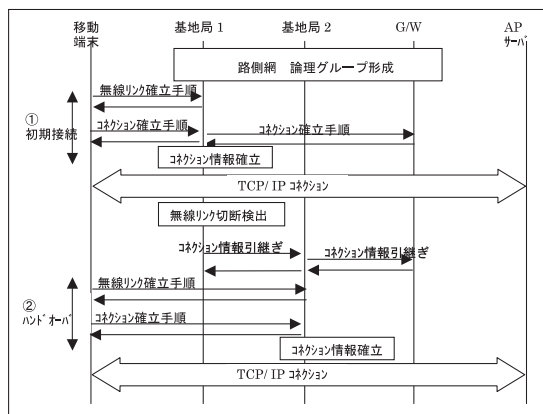


図 9 路側網内通信シーケンス

Fig. 9 Communication sequences in the roadside network.

表 3 ハンドオーバー時間測定結果

Table 3 Handover processing time.

① 初期接続時間	120 msec
② 網内ハンドオーバー時間	39 msec

< 考察 >

測定結果によれば、目標としているハンドオーバー処理時間（100 msec 以内）を満足することが検証できた。図 9 の路側網内通信シーケンスにおける、① 初期接続、② 路側網内ハンドオーバー各処理において、無線リンク確立時間が 5 msec 程度¹⁵⁾であることを考えると、コネクション情報の確立にほとんどの時間を使っており、初期接続時に確立したコネクション情報を路側ネットワーク内であらかじめ形成された論理グループ内の各基地局ノードに引き継ぐことによりハンドオーバー処理時間の短縮の効果が顕著に現れていることが検証できた。

(3) 広域通信網インタワーク性能

< 性能要件 >

1 路側網をまたがり車両に連続通信を可能とするために、路側網内でのコネクション情報の引継ぎを路側網間でも可能とすることが求められる（図 10 通信シーケンス参照）。

狭域セルを高速に移動する車両に追従してその位置情報を LR に通知する必要があるために狭域セルに進入後通知するまでの目標を 100 msec 以内とした。

2 広域網上にある ITS アプリケーションサーバが利用する基本情報として車両の位置情報がある。車両の位置情報を広域網上にあるロケーションレジスタ（LR）に通知すること（図 10 参照）。

< 測定条件 >

図 10 において、車両の位置情報、コネクション情

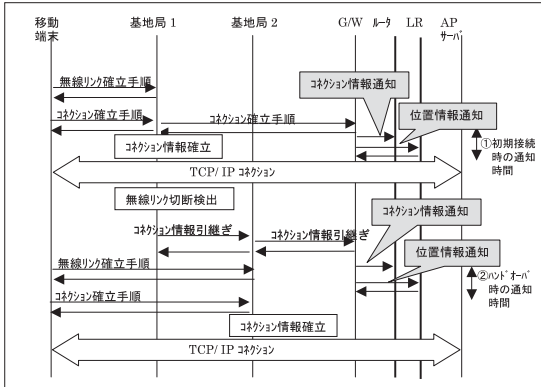


図 10 広域通信網インタワークシーケンス

Fig. 10 Interworking sequences to widearea network.

表 4 位置情報通知時間測定結果

Table 4 Vehicle position notification time.

① 初期接続時通知時間	27 msec
② 路側網内ハンドオーバー時通知時間	28 msec

報の通知タイミングは、① 初期接続時、② 路側網内で基地局間でハンドオーバー時の 2 ケースあり、各々につき測定。車載端末のクライアント PC で位置情報通知ポイントと通信確認受信ポイントにタイムスタンプをおき時間を測定した (図 10 の ①, ②)。

< 測定結果 >

表 4 に LR への位置情報通知時間測定結果 (上記手順を 3 回繰り返し測定した結果の平均値) を示す。

< 考察 >

いずれのケースにおいても通知時間目標を満足しており、高速に移動する車両位置情報の通知により位置情報をベースとする ITS アプリケーションへの適用性の見通しを得た。

(4) 路車間通信インタフェース

DSRC を物理インタフェースとする路車間通信機能については、別報¹⁵⁾において評価した。走行支援などリアルタイムアプリケーションへの適用および車載端末からのインターネットアプリケーションを利用するための機能要件、性能要件を満たしていることが検証されている。

5. おわりに

本稿では、筆者らが提案している ITS モバイルネットワークプラットフォームを実現するために自律分散システムによる DSRC など狭域セルでの高速移動体への情報提供方式を報告した。交通情報サービス、車載機からのインターネット利用を目標としてモバイル

ネットワークプラットフォームを試作開発し評価した。本評価では、DSRC を物理インタフェースとするモバイルネットワークプラットフォームは、走行支援および車載端末からインターネットアプリケーションを利用するための基本的な機能要件、性能要件を満たし適用可能な見通しを得た。

車載端末への情報配信サービスはインフラの整備状況、提供アプリケーションともに現在発展段階にある。アプリケーションサービスは利用者にどのような付加価値を提供できるか、実現コストを含めたビジネスモデルの策定が重要である。またインフラ整備の観点からは、携帯電話網の整備が進められるなか、本システムの特長である局所性、あるいは高速性を生かし相互補完的に発展していくものと考えられる。

今後さらに実用化に向けた評価を行うと同時にプロトコル実装に関し標準化への提案も行っていく考えである。

参 考 文 献

- 1) Aizono, T.: Enhancing Intelligent Devices towards Developing Highly-Performance and Flexible Production Systems, *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol.1.E84-D, No.10 (2001).
- 2) Aizono, T., Kawano, K., Wataya, H. and Mori, K.: Autonomous Decentralized Software Structure for Integration of Information and Control Systems, *Proc. IEEE Computer Software and Application Conference (COMPSAC '97)*, pp.324-331 (Aug. 1997).
- 3) Shimura, A.: A Highly-Reliable Quality of Service (QoS) Control Method Based on an Autonomous Decentralized System Concept for Smart Gateways, *8th ITS World Congress*, Sydney (Oct. 2001).
- 4) Hiraiwa, M.: A Proposal of Mobile Network Platform for Smart Gateways, *8th ITS World Congress*, Sydney (Oct. 2001).
- 5) 平岩ほか: DSRC (ARIB STD-T75 準拠) システムの実装及び評価, 情報処理学会研究報告, 2002-ITS-10-9 (2002/9).
- 6) 平岩ほか: スマートゲートウェイにおける高信頼通信を実現するための ITS モバイルネットワーク・プラットフォームの実装及び評価, ITS シンポジウム 2002 (2002).
- 7) Kim, K., Mori, K. and Nakanishi, H.: Realization of Autonomous Decentralized Computing with the RTO. Object Structuring Scheme and the HU-DF Inter-Process-Group Communication Scheme, *Proc. IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS'95)*, pp.305-312 (April 1995).

- 8) Yau, S.S. and Oh, G.H.: An Object-Oriented Approach to Software Development for Autonomous Decentralized Systems, *Proc. IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS'93)*, pp.37-43 (March 1993).
- 9) Orimo, M., Hirasawa, S., Fujise, H., Takeuchi, M. and Mori, K.: Autonomous Decentralized File System and Its Application, *Proc. IEEE 3rd Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS)*, pp.262-268 (April 1992).
- 10) Tripathi, N.D., Reed, N.J.H. and VanLandingham, H.F.: Handoff In Cellular Systems, *IEEE Personal Communications*, pp.26-37 (Dec. 1998).
- 11) Park, S., Lee, S., Song, Y.J., Cho, D.H. and Dhong, Y.B.: Performance Improvement of Forward Handover Based on Path Rerouting and Extension in Wireless ATM, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E82-B, No.9, pp.1485-1495 (1999).
- 12) Campbell, A.T., Kim, G.J., Turanyi, S., Wan, C-Y.Z. and Valko, A.: Comparison of IP Micro-Mobility Protocols, *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.9, No.1 (2002).
- 13) Campbell, A.T., Kim, G.J., Turanyi, S., Wan, C-Y.Z. and Valko, A.: Design, Implementation and Evaluation of Cellular IP, *IEEE Personal Communications, Special Issue on IP-based Mobile Telecommunications Networks* (June/July 2000).
- 14) 平岩ほか：自律分散による高度道路交通システム (ITS) のためのモバイルネットワークプラットフォームの実装と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.12 (2003).
- 15) 平岩ほか：DSRC (ARIB T-75 準拠) システムの実装と評価, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J86-A, No.12 (2003).
- 16) ARIB: ARIB STD-T75: Dedicated Short Range Communication (DSRC) for Transport Information and Control Systems (TICS) ARIB standards, ARIB (2001).
- 17) 福澤ほか：自律分散制御路側網システムのセキュリティ機能の開発, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.12 (2003).
- 18) Hiraiwa, M.: Implementation and Evaluation of Autonomous Decentralized System based Mobile Communications Platform for ITS services, *Proc. ISADS2003 (International Symposium on Autonomous Decentralized System)* (2003.)

(平成 16 年 3 月 31 日受付)

(平成 16 年 10 月 4 日採録)



平岩 賢志 (正会員)

1981年東京大学理学部情報科学科卒業。同年(株)日立製作所入社。交換システム開発, ITS 関連システムをはじめネットワークソリューション開発に従事。また現在, 慶應義塾大学理工学研究科後期博士課程に在学, 高速移動体のネットワークアーキテクチャの研究に従事している。IEEE 会員。



志村 明俊 (正会員)

2000年早稲田大学理工学研究科修了。同年(株)日立製作所システム開発研究所入所。テレマティクスシステムをはじめとするモバイルシステムの開発に従事。計測自動制御学会, IEEE 各会員。



相薗 岳生 (正会員)

1992年大阪大学基礎工学研究科修了。同年(株)日立製作所システム開発研究所入所。2001年工学博士。テレマティクスシステムをはじめとするモバイルシステムの開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授。工学博士。専門は, CSCW, グループウェア, ヒューマン・コンピュータ・インタラクション。『ヒューマンコンピュータインタラクション』(オーム社), 『コラボレーションとコミュニケーション』(共立出版)をはじめ著書多数。情報処理学会誌編集主査, 論文誌編集主査, GW 研究会主査等を歴任。現在, 情報処理学会 GN 研究会運営委員, BCC 研究グループ幹事, 日本 VR 学会 CS 研究会副委員長。情報処理学会論文賞 (1996, 2001), 情報処理学会 40 周年記念論文賞, 日本 VR 学会サイバースペース研究賞, IEEE SAINT'04 最優秀論文賞を受賞。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。