

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

平 岩 賢 志[†] 志 村 明 俊^{††} 相 園 岳 生^{††}

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 ITS モバイルネットワーク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。通信方式として狭域無線通信方式 DSRC を使った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。システムの課題として、システム拡張の手段が求められること、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効率的なデータ伝送方式を確立する必要がある。上記システム課題を解決するために本システムでは自律分散システムアーキテクチャを適用した。通信方式の課題を解決するために狭域セルをまたいで連続通信を行うことを可能とする狭域セルでの高速移動体管理方式を開発し、ハンドオーバの性能改善策を検討した。実環境でのハンドオーバ評価検証により要求条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。

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

MASASHI HIRAIWA,[†] AKITOSHI SHIMURA^{††} and TAKEIKI AIZONO^{††}

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. Amid these trends, the future progress of our vehicular society depends on further enhancing the ease-of-use of motor vehicles by providing Internet services to the people in the cars. The key to realizing these ends is the establishment of an ITS mobile network capable of handling motor vehicles as mobile terminals. To provide the platform for the ITS mobile network, this system is based on the *autonomous decentralized system architecture*. To solve the communication issue, the authors developed a *microcell mobility management* to enable uninterrupted communication across microcells. This method is designed to assure a data transmission time by reducing the connection control processing time through *Broadcast-based efficient data transmission method* and *fast address assignment* in the network. To obtain a higher throughput than a conventional mobile network, this system uses the DSRC method. To maximize the communication efficiency of DSRC, the authors developed a method to improve the transmission efficiency by *data caching* and *handover method* by avoiding packet losses due to disconnection of radio links to improve the end-to-end throughput. The authors developed a prototype incorporating the above methods and made an evaluation. The throughput was improved in the UDP or TCP file transfer that is used in a typical application. The evaluation proved that the throughput requirements for the ITS mobile network were satisfied, providing the way to the application of the autonomous decentralized architecture to it.

1. はじめに

高度道路交通システム (ITS) サービスは道路交通

情報提供、自動料金収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。一方近年のインターネットの急速な普及によりネットワークサービスはさらにグローバル化しつつあるが、こうした動きの中で車社会の進展のあり方の1つとしてインターネットにより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

[†] 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 System 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.

る車内での利便性の向上が求められている。これを実現するために自動車を移動端末とする ITS モバイルネットワークの確立が求められており、国家プロジェクト（スマートゲートウェイ）として開発が進められている。

スマートゲートウェイは、路側に敷設される無線基地局を介し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 Communication^{5),14)}を使うことにより、通信ゾーンが 30 m 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、画像を含むリッチコンテンツなど多様化したマルチメディア情報が求められる。

スマートゲートウェイシステム実現のための課題として下記がある。システムの課題として、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リッチコンテンツでの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、上述のシステムの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 30 m の狭域セルを 120 km/h で高速移動をする車載端末に対し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 900 m 秒と非常に短く、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バイル方式（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ともなうスループットの低下が課題となる。

上記システム課題を解決するために本システムでは自律分散システム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。また通信上の課題を解決するために狭域セルをまたいで連続通信を行うことを可能とする狭域セルでの高速移動体管理方式を開発した。本方式は路側ネットワーク内でのブロードキャストによる効率的なデータ伝送方式および高速アドレス解決による接続制御処理時間の短縮化によりデータ伝送時間の確保を狙うものである。また本システムでは DSRC を利用しているがその通信効率を最大限に生かすための End-End スループット改善方法としてデータキャッシュによる伝送効率向上および無線リンク断にともなうパケット損失回避による伝送効率の向上の方式を開発した。

上記方式を実装した試作システムを開発し評価した。典型的なアプリケーションである UDP および TCP によるファイル転送アプリケーションを使いハンドオーバーの時間測定を行った。性能改善結果によれば路側システムでのスループット要求条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。

本稿は、以下 2 章で ITS 情報提供サービスでのネットワーク要求条件、3 章で ITS モバイルネットワーク実装上の課題、4 章で実装方式の検討、5 章で適用と評価につき報告する。

2. 高度道路交通システム（ITS）情報提供サービスでのネットワークへの要求条件

路側ネットワークは初期段階では公共インフラとして ETC、走行支援など公共サービスとして立ち上がりはじめている。一方では、道路交通情報提供サービスの規制緩和などの動きに端を発した民間での情報提

表 1 ITS 情報提供サービスでのネットワークへの通信要求条件 (旧郵政省電技審, ITS 情報通信システム推進会議検討結果をベースに通信形式について考察)

Table 1 Communication requirements for ITS information services (based on the study results of the ITS Info-communications Forum of the former Ministry of Posts and Telecommunications).

ITS 情報提供サービス		データ容量(Byte)		通信形式	転送プロトコル
		上り	下り		
走行支援	一般情報	500	40,000	同報配信型 トランザクション型 データ転送	非 IP 通信
	危険警告	-	1,000	同報配信型 トランザクション型 データ転送	
マルチアプリケーション	インターネット接続	5,000	100,000	トランザクション型 ストリーミング型	IP 通信
	オンデマンド	500	5,000,000	トランザクション型 ストリーミング型	
	映像配信	500	10,000,000	ストリーミング型	

供のインフラとして普及していくと考えられる。さらにネットワークサービスの観点からは、グローバル化シームレス化の潮流は車載端末を携帯端末に次ぐモバイル端末に性格を変えていく。こうした潮流をふまえ、ITS 情報提供サービスを実現するための通信仕様からみた ITS モバイルネットワークが具備すべき要求条件を表 1 に示す。表 1 に示すように ITS 情報提供サービスは、安全性の向上 (交通事故の低減) 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)}。また表 1 に示すように各サービスは同報型, トランザクション型, ストリーミング型の通信方式の提供が求められる。

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小さくなく数十 k 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。

狭域セルに DSRC を適用した場合では、セル長 30 m であるため、移動体速度最大 120 km/h までの対応するためには、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、セル内の車輻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を 100 msec 以内に完了することが求められる。

3. ITS 路側ネットワークシステム実装上の課題

(1) システム課題

路側ネットワークシステムは、初期の段階では高速道路や見通しの悪い交差点などに離散的に導入され、次第に基地局の配備率を高めていくなど段階的に導入が予想される。路側ネットワークシステムの稼働は停めることはできないので基地局の増設はシステム稼働状態で行われなければならない。またシステム運用時には、ネットワークの障害発生時に回復不能なサブシステムを切り離して稼働を継続させることが求められる。さらには障害部位を交換する保守作業も稼働状態で行われることが必要となる。

(2) 通信方式の課題

図 1 に狭域セルを利用した情報配信システムとその中における路側システムの位置付けを示す。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。

- ハンドオーバー制御処理時間の短縮によるデータ伝送時間の確保

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 m

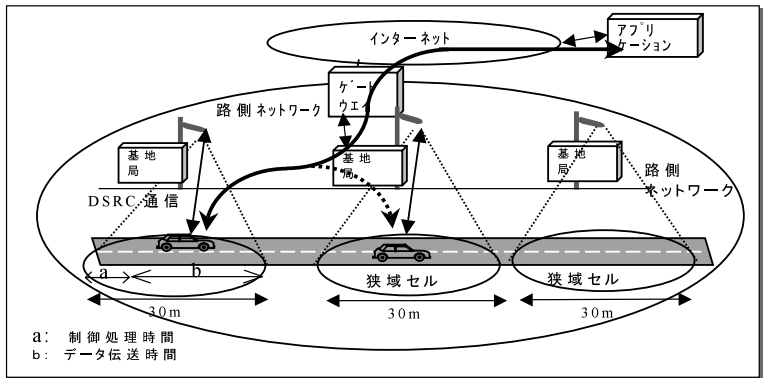


図1 狭域セルを利用した情報配信システム

Fig.1 ITS information system using dedicated short range communications.

秒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(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900m秒, 通信コネクションの設定時間100m秒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。

4. 路側ネットワークシステム実装方式の検討

4.1 システムアーキテクチャ

3章で言及したシステム課題を解決するために、自律分散システムアーキテクチャを検討した。自律分散システムはシステムを構成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⁾。これらは3章のシステム課題で言及したように、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は、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据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た。

自律分散システムの設計においては図2, 図3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 に対応付けられている。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その内容で選

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付けられる。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) 4.2 節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の実装方式について記す。

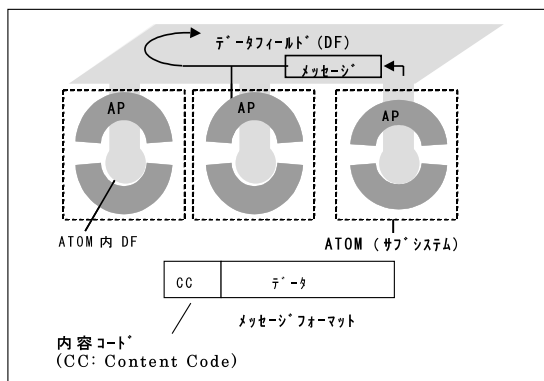


図 2 自律分散システムアーキテクチャ

Fig. 2 Autonomous Decentralized System architecture.

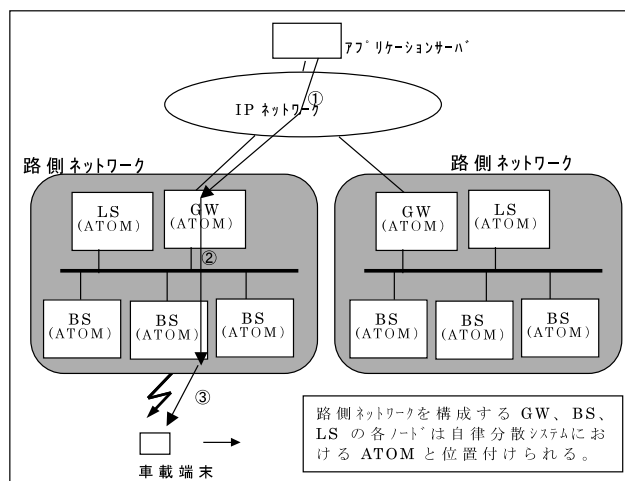


図 3 路側ネットワークへの自律分散アーキテクチャの適用

Fig. 3 Applicability of Autonomous Decentralized System to ITS roadside networks.

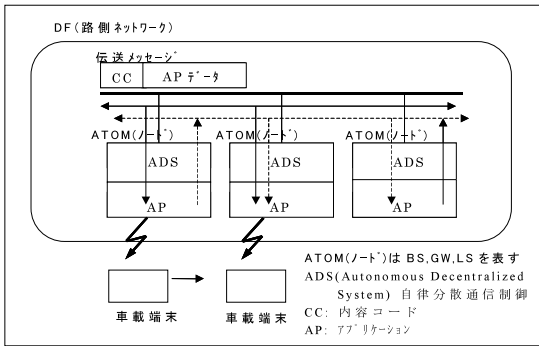


図4 自律分散ネットワーク構成でのデータ伝送方式

Fig. 4 Data transmission scheme in an Autonomous Decentralized Network.

4.2 路側ネットワークにおける狭域セルによる高速移動体管理方式

(1) ブロードキャストによる効率的なデータ伝送方式の検討

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、3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)が対応付けられており、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を表しており、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アプリケーションを動作させる。以下本通信方式の動作につき言及する。ADSでメッセージに付与されたCCを処理し、必要に応じて上位レイヤにメッセージを通知する。各ノードはあらかじめCCと、それに対応するアプリケーションプログラムを保持している。これにより、

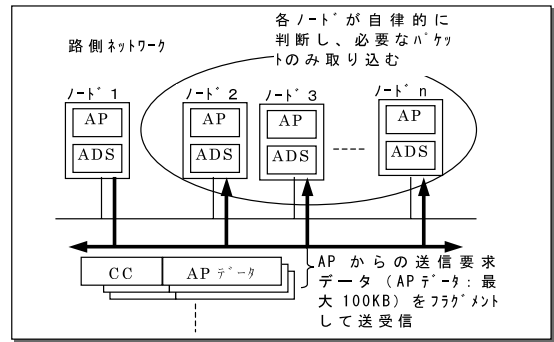


図5 ブロードキャストデータ伝送方式

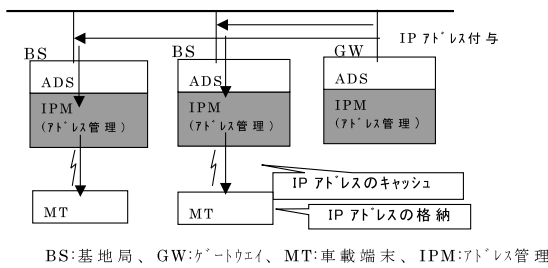
Fig. 5 Broadcast data transmission.

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することができる。各ノードは車載端末から要求情報を受け取ると、要求メッセージにCCを付与してネットワークに送信する。メッセージを受信したノードはメッセージに付与されたCCに対して処理を実行できるか否かを判断し、処理を実行できる場合にはCCをメッセージに付与してネットワークに送信する。

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、処理を実行する方式である。図5にブロードキャスト通信方式を示す。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⁾。

(2) 高速アドレス解決による制御処理時間の短縮の検討



BS:基地局、GW:ゲートウェイ、MT:車載端末、IPM:アドレス管理
 図 6 車輦に付与する IP アドレス管理プロトコル
 Fig.6 Protocol to handle IP addresses assigned to vehicles.

(i) IP アドレス管理の考え方

車載端末に IP サービスを提供するための考慮点として；

- 車載端末に IP アドレスを持たせることにより拡張性の高いサービスを実現する，
- 車載端末の IP アドレスは，通常クライアント端末がそうであるようにネットワーク接続時に通信に必要な情報を入力することにより柔軟性を確保すること，およびプライバシー保護の観点からも，車載端末ごとにあらかじめ固定的に付与するのではなく，ネットワークアクセス時に IP アドレスを動的付与する，

こととした．これにより，IP アドレスから直接車輦を特定することができなくなるため，付与したグローバル IP アドレスを用いて，直接車輦情報を取得することを抑止することができる．

狭域セルを高速に移動する端末を管理することが必要となる本システムでは，IP アドレスを動的に割り付けるための制御処理時間を短縮するために，下記を考慮し検討した．

- サービスエリアに進入時に IP アドレスを付与する．
- 付与した IP アドレスを路側ネットワーク内で継承できるようにした．

以下に本システムでの IP アドレス付与方式，IP アドレス継承方式につき言及する．

(ii) 動的 IP アドレス付与

IP アドレスの動的付与は下記の問題を引き起こす．すなわち，DSRC のような狭域セルによる無線通信方式では，既存モバイルサービスと比較して非常に狭い通信ゾーン内で IP アドレスの付与が完了しなければならない．このため下記に示す高速な動的 IP アドレス付与方式を検討した．

図 6 にアドレスの付与方式を示す．IP アドレスの管理は GW が行う．毎回車輦進入時に車載端末に対し IP アドレスを付与するが，GW が IP アドレスを

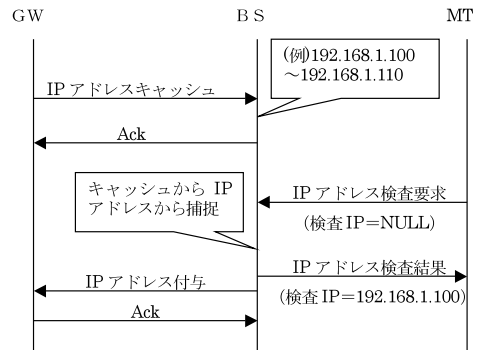


図 7 IP アドレス付与シーケンス

Fig.7 The sequence to assign an IP address to a vehicle.

付与するのではなく，あらかじめ BS に付与可能な IP アドレスをプールする方式とした (IP アドレスキャッシュ)．これにより IP アドレスの付与時間を短縮できる．GW は BS 起動時，路側ネットワーク内通信により BS に IP アドレスをキャッシュする．BS は車両進入時，新規車両と判断したらキャッシュしている IP アドレスを捕捉し車両に付与する．このとき，BS は GW へ付与したことを通知し，GW の IP アドレス管理データを更新する．

図 7 にアドレス付与のシーケンスを示す．IP アドレス付与に必要な情報量・シーケンス数を最小限に抑えたプロトコルとした．上記目的のために，情報量・シーケンス数を最小限に抑え，DSRC の利用可能な APDU のサイズ (56 oct) 以下とし，それぞれ 1 シーケンスでやりとりすることにより IP アドレス付与のシーケンスを最小限に抑えた．IP アドレスの管理はネットワーク内で一元管理する必要があり，本システムの場合ではゲートウェイノード (GW) で一元管理を行うが，毎回車両進入時に GW が車両に IP アドレスを付与するのではなく，あらかじめ基地局ノードに付与可能な IP アドレスをキャッシュすることにより，基地局ノードは車両進入時，新規車両に対してキャッシュしている IP アドレスを捕捉し車両に付与する方式により IP アドレス付与の高速化を図った．

(iii) IP アドレス継承機能

高速に移動する車両に対し継続的にサービスを提供するために，付与した IP アドレスはサービス提供している間は継続的に使用できるようにした．これによりアドレス解決のための制御処理時間短縮を図ることができる．サービスによっては，たとえば Web アクセスなどトランザクション型のサービスではアクセス時にアドレス解決すればよいサービスもあるが，本システムではサービスエリア進入時にアドレスを割り当

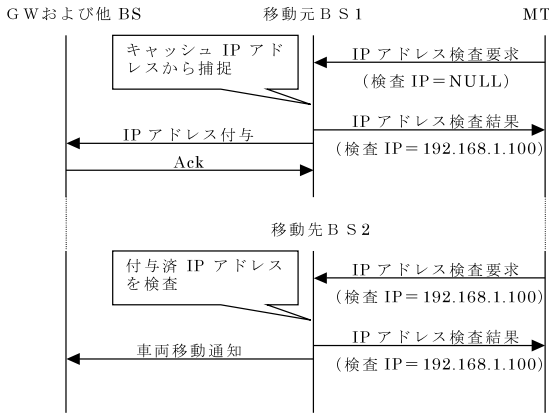


図 8 GW 内 BS 間 IP アドレス継承シーケンス

Fig. 8 The sequence to take over IP addresses in between BS's in a roadside network.

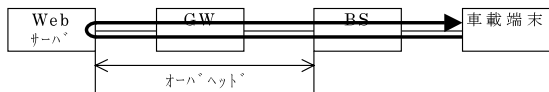


図 9 BS-Web サーバ間問合せによるオーバーヘッド

Fig. 9 Overhead of inquiry by the base station to Web server.

て、サービスエリア内での継続利用によりアドレス解決のためのネットワークの負荷低減と制御処理時間の短縮を図った。

図 8 に IP アドレス継承のシーケンスを示す。IP アドレス付与で車両に IP アドレスを付与したとき、BS は GW へ付与を通知する。この付与通知を他 BS も受信するようにしており、GW 内（サブネットワーク）に存在する車両の IP アドレスを各 BS は格納する。これにより車両移動先 BS は、車両が検査要求してきた IP アドレスを GW に問い合わせることなく、検査結果を車両に回答することが可能となる。

4.3 End-End スループットの改善

(1) データキャッシュによる伝送効率の向上の検討

狭域セルを利用して高速移動車内からインターネット上の Web サーバにアクセスする場合、以下の点で End-End のスループットは低下する。

(i) メッセージ通信に TCP を利用する場合

End-End 間でメッセージの送達確認を行うため、BS 間から Web サーバに問合せをすることによるオーバーヘッドがある。その結果、路車間のスループットは低下する（図 9）。

(ii) メッセージ通信に UDP を利用する場合

End-End 間で送達確認が行われなため、Web サーバから一方的にメッセージが送信される。本システムでは、基地局は離散的に設置されることから、路車間

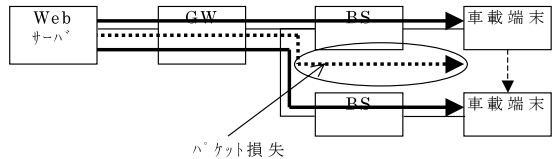


図 10 路車間非接続区間におけるパケット損失

Fig. 10 Packet loss when the vehicle is not connected to the network.

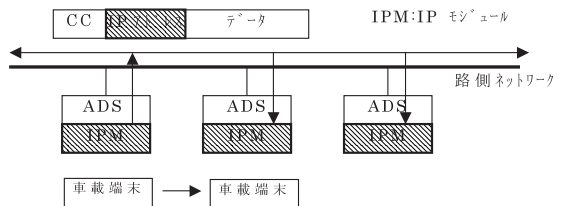


図 11 IP データキャッシュを搭載した ITS モバイルネットワークアーキテクチャ

Fig. 11 ITS Mobile Network Architecture with IP data caches.

の非接続区間では大量のパケット損失をとめない、その結果路車間のスループットは低下する（図 10）。

本システムでは路側ネットワーク上で、IP データを事前にキャッシュしておくことで、上記 2 点の問題を解決することを検討した。図 11 に、システムアーキテクチャを示す。IP データのキャッシュは、図 11 で IPM (IP モジュール) 上に実装され、各基地局の ADS で、受信メッセージに付与された CC に基づいて End-End 間の IP 通信に必要なメッセージを受け取り、IPM に処理を委ねる。Address は車両の宛先アドレスで、ここでは IP アドレスに相当する。図 12 に IP データキャッシュのアーキテクチャを示す。

各基地局は、移動車両から IP データ要求を受け取ると、IPM に移動車両の宛先 IP アドレスと車載端末 ID の対応付けをアドレス管理テーブルを用いて行い、各アドレスごとにキャッシュ領域を確保する。また、IP アドレスと車載端末 ID との対応関係は、路側ネットワークを介して他基地局にも伝達される。

各基地局は、路側ネットワークからメッセージを受け取ると、メッセージ内に付与された宛先アドレスを確認し、自局が保持するアドレス管理テーブル内に同一のアドレスがある場合、あらかじめ確保したキャッシュ領域に IP データをパケット単位で蓄積し、そうでなければ破棄する。また、メッセージ受信時、該当する車両と無線リンク確立中であれば、蓄積しているデータをパケット単位で車両に送信し、送信した旨をアドレスと CC を付与して他基地局に伝達する (IP データの引継ぎ)。

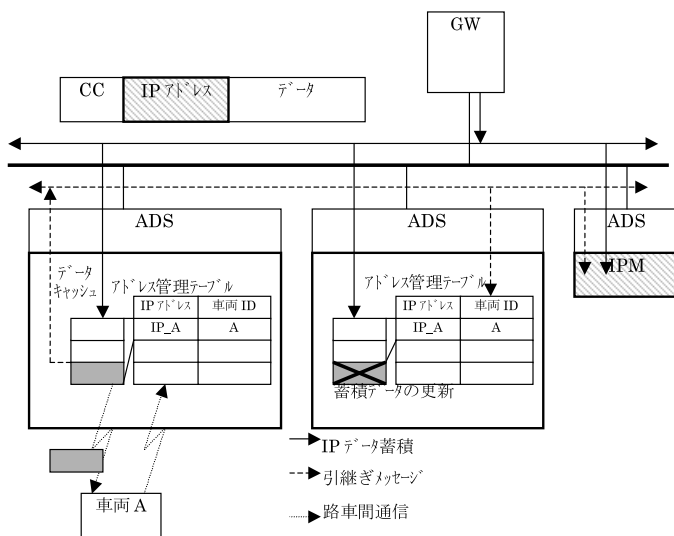


図 12 IP データキャッシュアーキテクチャ
Fig. 12 IP Data Cache scheme.

各基地局は、引継ぎメッセージを受け取ると、メッセージ内に付与された宛先アドレスが自局で管理するアドレスと同一であれば、送信済みパケットを破棄し、蓄積しているデータを更新する。

各基地局は、蓄積している IP データをすべてはきだすまで、上記処理を実行する。これにより、車両と接続した基地局は、無線リンクが確立している間、蓄積していた IP データをただちに送信することができるため、(i) で言及した課題である「TCP を使用する場合は BS から Web サーバに問合せをすることによるオーバーヘッド」を解決できると同時に、無線リンクがない区間に Web サーバより送信されたデータは、基地局内でキャッシュされているため、(ii) で言及した課題である「UDP を使用した場合の無線リンクの非接続区間でのパケット損失」も解決できる。

(2) 無線リンク断にともなうパケットの損失回避による伝送効率向上の検討

路側ネットワークでは、移動体端末とネットワークとの無線リンクの接続、切断が頻繁に起こるために送信処理過程のパケットが正常に送達されない確率が一般の移動体ネットワークの場合と比較して高くなる。このためアプリケーションを含む上位レイヤで再送が多発することになり、結果として End-End でのスループットの低下を招くことになる。これを解決するために、ネットワーク内基地局で未送信として残ったパケットをネットワーク内の各基地局に引き継ぐ方式を検討した。これにより再送制御にともなう End-End スループットの低下を抑えた。

図 13 に引継ぎ方式を示す。移動局の切断通知時、

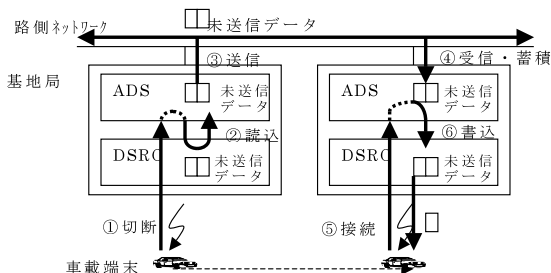


図 13 無線リンク断にともなう送信未完パケットの引継ぎ方式
Fig. 13 Packet handover scheme while radio links are disconnected.

DSRC 上の未送信データを読み取り、路側ネットワークを介して各基地局へ転送し、移動局接続時、未送信データを DSRC へ通知して移動局へのデータの継続送信を行う。

5. 適用と評価

本システムにおいて最も基本的な性能課題である通信コネクションの切替え（ハンドオーバ）処理時間について評価した。図 14 に評価システム構成を示す。GW, BS で構成される路側ネットワークを介しアプリケーションサーバから車載端末に FTP によりパケットを転送し検証した（評価環境および試験手順については図 14 を参照）。ハンドオーバ時間（図 14 で①の部分）は新たなセルに入り無線リンクを確立、前の BS から引き継いだコネクション情報を設定するまでの時間として定義される。車載端末上でハンドオーバ時間の測定を前項で検討の性能改善機能を実装して行った。

ハンドオーバ時間短縮に前項性能改善策がどのくら

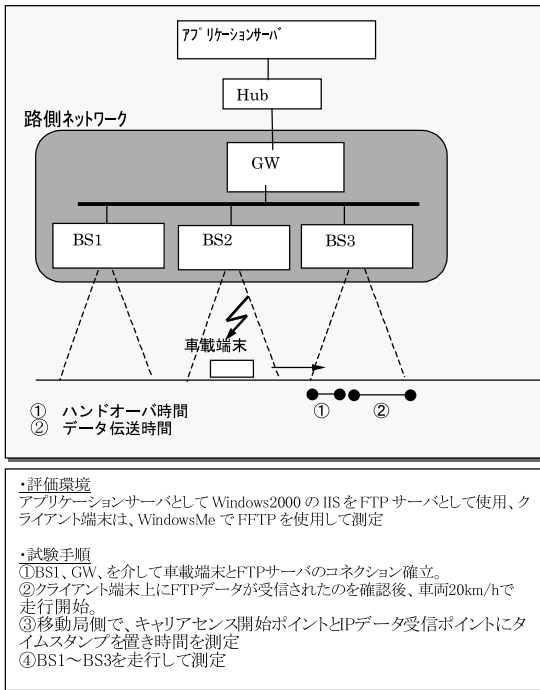


図 14 評価システム構成

Fig. 14 Evaluation system for handover control.

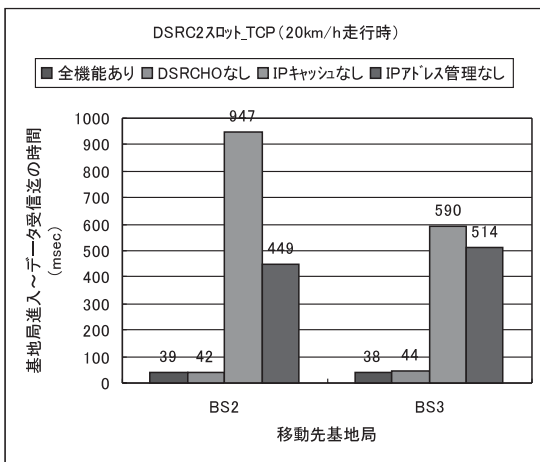


図 15 ハンドオーバー時間測定結果

Fig. 15 Results of handover duration time.

い寄与しているかを評価するために下記の4ケースで測定した。測定結果を図15に示す。

- (ケース1): データキャッシュ, 高速アドレス解決, パケット損失回避機能有り
- (ケース2): パケット損失回避機能なし
- (ケース3): データキャッシュ機能なし
- (ケース4): 高速アドレス解決機能なし

性能改善機能をすべて実装した場合には平均して

39 msec でハンドオーバーが完了していることが分かる。図15の測定結果によれば、データキャッシュ機能および高速アドレス解決機能がハンドオーバー時間の短縮に大きく寄与していることが分かる。

IPデータのキャッシュにより、GW配下の全BSに車載端末に送信すべきIPパケットが接続情報とともにキャッシングされているので、キャッシングしない場合と比較すると車載端末の認証時間、アプリケーションサーバへの問合せ時間を短縮することができることによる効果である。

高速アドレス解決機能により、IPアドレスをBSにキャッシュしておくのでGWへの問合せを省略できる分、ハンドオーバー時間を短縮することによる効果である。

パケット損失の回避機能により、上位レイヤ(TCP)での再送制御によるオーバーヘッドでアプリケーションからみたスループット低下を防止することによる効果である。

上記により、性能改善機能を搭載することにより、目標とした100 msec以内でのハンドオーバー時間を達成できることを検証できた。

本評価では実機を使ってハンドオーバー時間を測定した。路側ネットワークシステムは順次基地局が配備されていく大規模なシステムであり、スケーラビリティの評価をする必要があり、今後の課題である。

6. 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。筆者らは、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。

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。

謝辞 なお、本研究は、通信・放送機構の委託研究「走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発(H12~H14年度)」により実施した。

参 考 文 献

- 1) Aizono, T.: Enhancing Intelligent Devices towards Developing Highly-Performance and Flexible Production Systems, *IEICE Trans. Inf. Syst.*, Vol.1E84-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) 平岩賢志ほか: 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).
- 6) 平岩賢志ほか: 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 (Apr. 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 (Mar. 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 (Apr. 1992).
- 10) Tripathi, N.D., Reed, N.J.H. and Hugh VanLandingham, 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, Z.S., Wan, C-Y. 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, Z.S., Wan, C-Y. 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) ARIB: STD-T75. Dedicated short Range Communication (DSRC) for Transport Information and Control (TICS) standards, ARIB (2001).

(平成 15 年 3 月 31 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



平岩 賢志

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. IEEE 会員.



志村 明俊

2000 年早稲田大学大学院理工学研究科修了, 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.



相園 岳生

1992 年大阪大学大学院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.