

## 自律分散制御路側ネットワークシステムにおける 通信ゾーンの動的制御方式

成田 干城<sup>†</sup> 朝倉 啓充<sup>††</sup> 平岩 賢志<sup>†††</sup> 屋代 智之<sup>††††</sup> 重野 寛<sup>†</sup>

岡田 謙一<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 慶應義塾大学

<sup>††</sup> NTT コミュニケーションズ株式会社

<sup>†††</sup> 日立製作所 ネットワークソリューション事業部

<sup>††††</sup> 千葉工業大学

E-mail: <sup>†</sup>{narita,shigeno,okada}@mos.ics.keio.ac.jp, <sup>††</sup>hiromitsu.asakura@ntt.com,

<sup>††††</sup>m-hiraiwa@itg.hitachi.co.jp, <sup>††††</sup>yashiro@net.it-chiba.ac.jp

**あらまし** 高度道路交通システムの路側ネットワークはアクセスインフラに狭域セルを利用している。狭域セルをまたがりハンドオフを行うことにより通信を維持するが、ハンドオフ時のリンク再設定手順及び接続情報の引継ぎが End-End での通信効率の低下を引き起こしている。この問題に対し、路側ネットワーク内の基地局が通信ゾーン内での車輛数など刻々と変化するトラフィックに適応し通信帯域を動的に割り当てる通信ゾーン制御方式が提案されている。筆者らはこれまでに自律分散による路側ネットワーク通信基盤を開発してきた。本稿ではこの通信基盤上のアプリケーションとして上記通信ゾーン動的制御の実装方式を検討する。

**キーワード** 路側ネットワーク, 自律分散制御, 狭域無線通信, ハンドオフ

## Dynamic Communication Zone Control Method on Autonomous Decentralized based Roadside Network Infrastructure

Tateki NARITA<sup>†</sup>, Hiromitsu ASAKURA<sup>††</sup>, Masashi HIRAIWA<sup>†††</sup>, Tomoyuki YASHIRO<sup>††††</sup>,

Hiroshi SHIGENO<sup>†</sup>, and Ken-ichi OKADA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Keio University

<sup>††</sup> NTT Communications Corporation

<sup>†††</sup> Network Systems & Platform Solutions Division, Hitachi Ltd.

<sup>††††</sup> Chiba Institute of Technology

E-mail: <sup>†</sup>{narita,shigeno,okada}@mos.ics.keio.ac.jp, <sup>††</sup>hiromitsu.asakura@ntt.com,

<sup>††††</sup>m-hiraiwa@itg.hitachi.co.jp, <sup>††††</sup>yashiro@net.it-chiba.ac.jp

**Abstract** The Roadside network for Intelligent Transport Systems applies dedicated "short-range cells" for its access infrastructure. The roadside network has the handoff mechanism to provide continuous communication environment using dedicated short-range cells. However this causes the deficiency of the end-end throughput. This paper proposes the Dynamic Communication Zone Control scheme, which dynamically provides the mechanism to applications on vehicles the network resource according to the traffic. This scheme is based on Autonomous Decentralized System, which is suitable for flexible control for dynamically changing environments.

**Key words** Roadside network, Autonomous Decentralized System, DSRC, handoff

## 1. はじめに

高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems) サービスは道路交通情報提供, 自動料金収受等のサービスが実用に供されさらにこれらを応用し地域情報など各種情報提供サービス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。こうした動きの中で車社会の進展のあり方の1つとしてグローバル化されたネットワーク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いる。これを実現するために自動車を移動端末とする路側ネットワークシステムの確立が求められている。

路側ネットワークシステムは, 道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及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)[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。

路側ネットワークシステム通信制御上の課題として, 狭域セルにより構成される通信ゾーンを高速に移動する車載端末に対し情報配信を行う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がり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。しかしながら移動端末に連続通信を提供するために狭域セルをまたがるハンドオフを行うことにより通信を維持するが, ハンドオフ時の接続情報の引継ぎが End-End での通信効率の低下を引き起こしている。

End-End での通信効率を改善するための従来技術として, 狭域セルをまたがるハンドオフの回数を低減させる方式が提案されている [15][16][17]。これらは1台の無線基地局が複数の路側無線機を制御することにより仮想的に大きな通信ゾーンを構成しハンドオフの回数の低減を図るものである。しかしながら無線基地局1台が提供する通信帯域は限られているので, 通信ゾーン内に車輦が多いときや特定の車輦が通信帯域を占有する場合には通信できない車輦がでてくる状況となり, 刻々と変化する車輦数, 車輦あたりの利用帯域などトラヒック状況に対応した通信制御が求められる。

本稿では上記課題を解決するために, 路側ネットワークでの通信ゾーンの動的制御方式を提案する。筆者らはこれまでに路側ネットワークの通信基盤として, 自律分散アーキテクチャの導入を検討してきた [3][4][5]。路側ネットワークシステムのような連続稼動を不可欠とするシステムにおいて, オンライン拡張, オンライン保守機能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の通信基盤への適用を検討してきた [5]。本稿では, 自律分散アーキテクチャにより実現した路側ネット

ワーク通信基盤の上にそのアプリケーションとして通信ゾーンの動的制御方式を検討した。路側ネットワーク内の基地局が車載端末からの要求により通信ゾーン内での車輦数などトラヒック状況から通信帯域を動的に割り当てるための通信ゾーン管理モデルを定義する。その上で連続通信でのハンドオフ回数の低減による通信効率の向上と通信帯域の有効利用による通信サービス向上を目的に, トラヒック適応型の柔軟な通信ゾーン制御を実現するための自律分散アルゴリズムの実装方式を示す。本提案の有効性をシミュレーションによって評価した。

本稿は以下 2. で路側ネットワークシステムでの通信制御の課題, 3. で自律分散アーキテクチャによる通信ゾーンの動的制御方式の提案, 4. で通信ゾーンの動的制御アルゴリズムの実装方式, 5. でシミュレーションによる評価について報告する。

## 2. 路側ネットワーク通信制御課題

路側ネットワークを使った情報配信システムでは, 走行支援での車輦への危険警告など同報配信あるいはトランザクション型のパケットデータ転送に加え, 交通情報さらにはインタネットを含む広域網から容量の大きなデータ転送が求められる。路側ネットワークではこれを可能とするために移動端末に対しセルをまたがりハンドオフをしながら連続通信の環境を提供することが必要となる。このような連続通信を提供する路側ネットワークシステムでは通信制御上下記の課題がある。

(1) 狭域セルの構成に DSRC を用いた場合にはセルの長さは 30 m 程度で, 車輦が高速に移動する場合はハンドオフが頻繁に起こる。その結果, ハンドオフのたびに必要となるリンク切断検出手順, リンク確立手順及び接続情報の引継ぎに伴うオーバーヘッドが End-End での通信効率の低下を引き起こしている。上述のハンドオフのオーバーヘッド時間は 100msec 程度であり, 移動体が高速 (120km/h) でセルを通過する時間 (約 1 秒) の 10% となり, この間の通信が途絶えることになる。

(2) 狭域セルの構成に DSRC を用いた場合には通信帯域は最大でも 4Mbps である。1 フレームのデータ転送用のスロット数は 4 スロットである [14]。このような比較的狭い通信帯域をトランザクション型のパケットデータ転送のアプリケーションやインタネットを介した容量の大きなデータ転送アプリケーションが利用する。このために 1 車輦が複数のスロットを確保して通信しようとして, あるセルでは利用できなかった別のセルでは利用できないといった状況が頻繁におき通信サービスの低下を引き起こしている。

従来技術では, 上記 (1) の課題を解決するためにハンドオフ回数を低減することによりスループットの改善を図る方式が提案されている [15][18]。基地局に路側無線機を 1 対 1 に対応させる構成 (連続セル型通信ゾーン構成) に対し, 1 台の基地局が複数の路側無線機を制御することにより大きな通信ゾーンを構成 (ROF 型通信ゾーン構成) しハンドオフの頻度を低減させることを狙いとするものである。ROF 型通信ゾーン構成では, 通信ゾーンに基地局を 1 個設置し通信ゾーン内のセルは全てその基地局が制御する。通信ゾーン内に車輦数が少ない時には通信ゾーンを大きくすることによりハンドオフの少ない環境

を提供できる。しかし車輻数が多くなると多くの通信帯域が必要となるので通信できない車輻がでてきて通信サービスの低下を起す。このように ROF 型通信ゾーン構成方式では車輻数の変化によりゾーンの大きさも変化させることによる動的に通信ゾーンを制御する必要がある。

通信ゾーンを動的に制御する方法として文献 [15][19][20] が提案されている。文献 [19] では IP ネットワークの環境でドメインを車輻密度に応じて変化させる方法であり狭域セルを前提にしたものではない。本提案では狭域セルを用いて連続通信環境を提供することが目的である。文献 [20] は狭域セルを用いる方式である。文献 [20] はセンサーで車群の速度を予測しゾーンの追従を行っている。この方式では車輻を車群として扱っているために個々の車輻に対する通信ゾーン制御ができない。本稿では個々の車輻の通信を制御することが目的である。文献 [15] は狭域セルを前提とした通信ゾーンの制御を行っている。個々の車輻の位置を正確に把握することにより、通信ゾーン内の車輻密度の変動に応じて通信ゾーンの拡大、縮小を行うものである。また文献 [18] は、文献 [15] での車輻密度に応じた通信ゾーンの拡大、縮小を局所的に最適化することによってよりきめの細かい通信ゾーン制御を狙うものである。狭域セルを利用した路側ネットワークの通信ゾーン制御の実装方式に言及した実現方法の検討が必要となる。

筆者らはこれまでに路側ネットワークシステムの通信基盤に自律分散アーキテクチャの適用を検討し評価してきた。路側ネットワークのような段階的導入を前提としかつ連続稼働を不可欠とするシステムにおいて拡張性、保守性の向上を見据えたシステムとするためである。以下に、これまでに開発した自律分散による路側ネットワーク通信基盤上のアプリケーションとして上述の通信制御上の課題を解決するための通信ゾーン制御の実装方式を提案する。

なお、本稿では、無線機単独で構成される通信エリアを狭域セル、複数の狭域セルを連結した通信エリアを通信ゾーンと呼ぶことにする。

### 3. 自律分散アーキテクチャによる通信ゾーンの動的制御方式の提案

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と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]。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り、これらを実現するために上述の自律制御性、自律可協調性といった特性は適しているといえる。従来実現されている自律分散システムによれば、例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上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、これまでに筆者らは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 [5]。文献 [5] によれば、上述のようなシステム構築の柔軟性及び ITS 通信サービスに不可欠な高い応答性の実現につきその有効性が検証されている。

自律分散システムの設計においては図 1 に示すアーキテクチャを採る。図 1 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も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]。

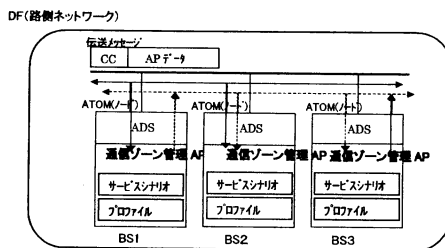


図 1 自律分散アーキテクチャ

### 4. 自律分散アーキテクチャによる通信ゾーンの動的制御アルゴリズムの実装方式

自律分散アーキテクチャによる路側ネットワークのシステムモデルを図 2 に示す。道路上には DSRC による無線機 (RD) が連続的に配置され、ROF によって各基地局 (BS) は複数の無線機を制御し通信ゾーンを構成する。自律分散アーキテクチャの DF として BS 群からなる路側ネットワークを構成し、各 BS は自身の制御する RD とその RD を使用する車輻のプロファイルを管理する。

#### 4.1 通信ゾーンの動的制御アルゴリズムの概要

DSRC を用いた連続型路車間通信を行なう場合にハンドオフによる通信効率の低下が問題となる。この問題を解決する

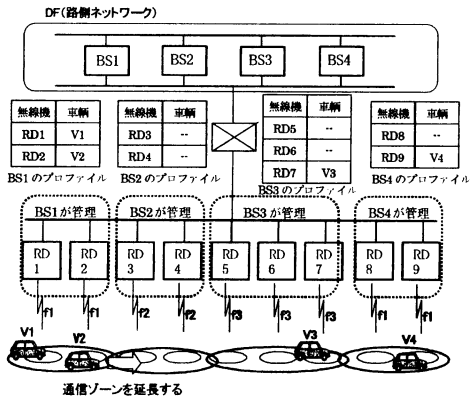


図2 システムモデル

手法の1つとして、通信ゾーンを動的に制御する方法が文献[15]で考えられている。これは通信維持できる最低限のハンドオフ回数で車両が走行できるように、車群の状況に応じて動的にゾーン構成を変化させる方法である。DSRCの規格はARIB STD-T75 [14]を用いるため、1台の基地局は同時に4台の車両と全二重通信が行なえる。この特性を活かして、ゾーンの制御方法は以下に示す3つのパターンに分類される。

—延長—

走行中の車両の進行方向前方に周波数の異なる通信ゾーンが構成されており、なおかつそのゾーン内に通信中の車両が存在しない場合にゾーンの延長は行なわれる。基地局は前方のゾーン内に車両がないことを確認するとそのゾーンを構成する無線機を自身の制御下に置く。これによりハンドオフをせずに大きな通信維持距離を得ることが可能となる。またここで延長通信スロット数というパラメタを設定する。これはゾーン延長を行う際、延長後のゾーン内の使用スロット数を決定するもので2,3,4の値が設定される。

—分割—

あるゾーン内で空きスロットがない状態のときに、新しく車両がゾーン内に進入してきた場合にゾーンの分割は行なわれる。基地局はまだゾーンの制御を行っていない基地局を探し出し、現在ゾーンを構成している無線機の管理を委譲する。これによって空きスロットを作ることが出来、新しく進入してきた車両に対してスロットを割り当てることが可能となる。

—障害回復—

基地局の故障により通信ゾーンの構成に障害が発生した場合に、障害のあるゾーンを構成する無線機の管理を正常な基地局に移行しゾーンの再構成を行う。これにより正常な基地局で可能な限りシステムの稼働を維持し、オンライン保守性に優れた運用が可能となる。

以上のようなゾーン制御を行うことによって、車両密度が低い場合はゾーンを大きくし、車両密度が高い場合はゾーンを小さくすることが可能となる。これによって必要最低限のハンドオフ回数で車両は通信を維持することが可能となる。また基地

局での障害発生に対応しフォールトトレランス性が得られる。

4.2 通信ゾーンの動的制御アルゴリズムの実装方式

自律分散アーキテクチャに通信ゾーンの動的制御アルゴリズムを実装するために、以下の方針に従った。

- 通信ゾーン動的制御の3つの処理である、延長、分割、障害回復処理が自律分散制御路側ネットワークで動作すること
- 自律分散制御の特徴である自律可制御性、自律可協調性を維持するために、基地局が他の基地局の状況を意識することなく動作すること

以上の方針を実現するために、延長：Extension、分割：Division、障害回復：Restrtaion, Completion という4つのCCを作成した。基地局は要求する操作のCCをメッセージに載せ、そのメッセージをブロードキャストするだけで、他の基地局の状況を意識することなくゾーンを再構成することができる。基地局が希望する操作のCCを選択してメッセージに載せる。ブロードキャストされたメッセージを受信した基地局はCCを参照して、自身に関係あるメッセージだけを受信する。

また基地局がメッセージをブロードキャストしてゾーンを再構成する間に、他の基地局がメッセージをブロードキャストするとゾーンの再構成の処理が重なってしまう。これを回避するために、ある基地局がメッセージをブロードキャストしてからCC:Completionをブロードキャストするまでの間は、他の基地局はメッセージをブロードキャスト出来ないこととする。このゾーン再構築の期間をクリティカルエリアと呼ぶことにする。

これらのCCを用いて次のようなアルゴリズムで延長、分割、障害回復処理を行う。

1：処理要求の発動

各BSは自身のプロフィールを参照し4.1で述べたような場合、メッセージのCCにExtensionやDivisionまたはRestrtaionを、APデータに自身が制御するRDを書き込みDFにブロードキャストする。これによりクリティカルエリアが開始される。

2：各基地局からの状態通知

ブロードキャストされた要求について各BSはメッセージのAPデータを参照する。そしてゾーン再構成の対象となるBS(延長の場合は一定範囲の前方のゾーンを制御するBS、分割や障害回復の場合は空いているBS)は自身のプロフィールを参照し処理が可能かどうかを返信する。このとき延長要求に対する返信がない対象BSについて、障害発生と検知することが出来る。

3：ゾーンの再構成

状態通知を受信したBSはBSとRDをつなぐスイッチに通知し、RDの制御の移行を実行しプロフィールの更新も行う。

4：クリティカルエリアの解放

ゾーン再構成を完了したBSはCCをCompletionとしたメッセージをブロードキャストし、クリティカルエリアの終了を他のBSに通知する。

5. 評価

5.1 シミュレーション条件

本提案を図2のような路側ネットワークのシステムモデルに

適用し、計算機シミュレーションによって評価を行った。ここでのシミュレーション条件を表1に示す。BSのI/O遅延時間とメッセージ処理時間については、実機での評価[5]を参考に値を設定した。

道路長, 車線数	直線 600(m), 3 車線
アンテナ間隔	30(m)
BS 数	アンテナと同数
BS の I/O 遅延時間	0.0007(sec)
BS のメッセージ処理時間	0.001(sec)
車両の発生	ポアソン分布
車両速度	通常車線: 80(km/h) 中央車線: 100(km/h) 追越車線: 120(km/h)
無線通信規格	ARIB STD-T75
通信速度	全 2 重 4(Mbps)
通信スロット数	4 スロット

### 5.2 評価項目

文献[5]で自律分散制御側ネットワークの規模は基地局20台程度が限界であることが示されている。そこで通信ゾーンの動的制御方式の性能について、この規模の自律分散制御側ネットワークにおいて有効であるかを評価する。またフォールトトレランス性について、基地局を故障させていった場合の通信効率を評価する。

そこで以下のような項目について評価を行った。

- ・通信維持距離
- ・ハンドオフなしで通信を維持し走行できる距離
- ・ハンドオフ成功確率
- ・ハンドオフ時に次の基地局の通信スロットを獲得できる割合
- ・障害時スロット獲得率

10sec 毎に基地局を1台ずつ故障させていったときの、車両が通信スロットを獲得している割合

### 5.3 評価結果

図3では通信維持距離を延長スロット数のタイプについて比較した。どのタイプも車両密度が増大すると値が低下するのは、ゾーン構成が連続セル型に近づくからである。それ以前の車両密度が低い場合は延長通信スロット数が大きいほど大きなゾーンを構成できるので、通信維持距離を上昇させられることが示された。

図4ではハンドオフ成功確率を延長通信スロット数のタイプについて比較した。どのタイプも車両密度が100(vehicle/km)以下の場合には値はほぼ1を示している。それ以上の車両密度では値が低下するのは、ゾーン構成が連続セル型になり利用可能な通信スロット数に限りがあるからである。また車両密度が50(vehicle/km)付近で値が一時的に低下するのは、ゾーンを構成するBS数の増加に伴い円滑にクリティカルエリアを獲得できないためである。延長通信スロット数が小さいほど通信スロット数に空きを持ったゾーン構成であり、この値の低下は小さくなりハンドオフ成功確率を上昇させられることが示された。

図5ではゾーン制御中のBSを10sec 毎に1台ずつ故障させていき、各車両の平均通信スロット獲得率を障害回復処理を行う restoration と行わない no restoration とを比較した。これにより障害発生時のフォールトトレランス性を評価する。no restoration が最初から徐々に獲得率が低下するのに対し、restoration は150sec を過ぎてからである。これにより障害のBSから空いているBSへの制御委譲処理が円滑に行われフォールトトレランス性が確保されていることが示された。

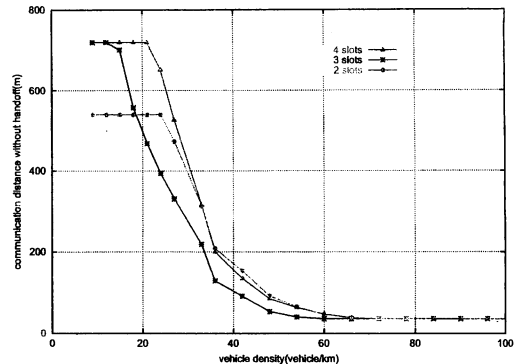


図3 通信維持距離-延長通信スロット数比較

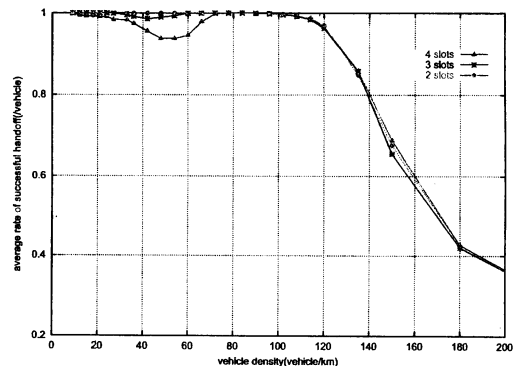


図4 ハンドオフ成功率-延長通信スロット数比較

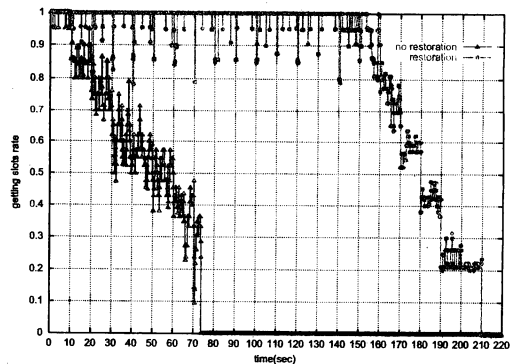


図5 障害発生時の通信スロット獲得率

以上のように通信維持距離やハンドオフ成功確率について、自律分散制御路側ネットワークの最大規模においての提案の有効性ととも、延長通信スロット数がトレードオフの影響を与えることが示された。また障害発生時にも障害回復処理によって通信効率を保てることを示した。

## 6. おわりに

高度道路交通システムのための路側ネットワークシステムは、アクセスインフラに狭域セルを利用している。移動端末に連続通信の環境を提供するために狭域セルをまたがりハンドオフを行うことにより通信を維持するが、ハンドオフ時の接続情報の引継ぎが End-End での通信効率の低下を引き起こしている。本稿では、End-End 通信効率を向上させるために、路側ネットワーク内の基地局が通信ゾーン内での車輛数、車輛あたりの利用帯域などの刻々と変化するトラフィック状況から通信帯域を動的に割り当てる通信ゾーン制御方式を提案した。具体的には路側ネットワークのアクセスインフラとして DSRC を想定し、路側ネットワーク内の通信ゾーン内での通信帯域の利用率が低い状況では通信ゾーンを拡大しハンドオフを極力回避するようにし、反対に通信帯域の利用率が高い状況では通信ゾーンを縮小し集中する帯域利用要求に応じる。このような変化するトラフィック状況に対応する柔軟な通信ゾーン制御の実現を目的に、自律分散システムアーキテクチャによる管理モデルを定義した。

本提案により、通信ゾーンの動的制御方式によって車両密度に応じた適切な通信ゾーンサイズに制御することで、車両が通信スロットを維持できる範囲でハンドオフ回数を削減することが出来ることを示した。また延長通信スロット数というパラメータを設定したことにより、路車間通信のサービス内容によって要求される通信性能に対応できることを示した。さらに自律分散制御路側ネットワークの特性を活かして、障害への耐久性が高いことも示した。以上により、通信ゾーンの動的制御方式の有効性を示すと共に、その実現性についても示すことが出来た。

## 文 献

- [1] T. Aizono, "Enhancing Intelligent Devices towards Developing Highly-Performance and Flexible Production Systems", IEICE transactions on Information and Systems, vol.1.E84-D, No.10, October 2001
- [2] T. Aizono, K. Kawano, H. Wataya, and K. Mori, "Autonomous Decentralized Software Structure for Integration of Information and Control Systems," Proc. of IEEE Computer Software and Application Conference (COMPSAC '97), pp.324-331, August 1997.
- [3] Akitoshi Shimura, "A Highly-Reliable Quality of Service (QoS) Control Method Based on an Autonomous Decentralized System Concept for Smart Gateways", 8th ITS World Congress, Sydney, October 2001
- [4] Masashi Hiraiwa, "A Proposal of Mobile Network Platform for Smart Gateways", 8th ITS World Congress, Sydney, October 2001
- [5] 平岩賢志, 志村明俊, 相蘭岳生: 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 Vol44-No12, (2003).
- [6] 平岩賢志, 坂本敏幸, 藤井尚吉, 森光正, 野明俊道, 志村明俊, 西澤隆彦: 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).

- [7] K. Kim, K. Mori, and H. Nakanishi, "Realization of Autonomous Decentralized Computing with the RTO. Object Structuring Scheme and the HU-DF Inter-Process-Group Communication Scheme," Proc. of IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS'95), pp. 305-312, April 1995.
- [8] S.S. Yau and G.H. Oh, "An Object-Oriented Approach to Software Development for Autonomous Decentralized Systems," Proc. of IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS'93), pp. 37-43, March 1993.
- [9] M. Orimo, S. Hirasawa, H. Fujise, M. Takeuchi, and K. Mori, "Autonomous Decentralized File System and Its Application," Proc. of IEEE 3rd Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS), pp.262-pp.268, April 1992.
- [10] Nishith D. Tripathi, Nortel Jeffery H. Reed and Hugh F. VanLandingham, "Handoff In Cellular Systems", IEEE Personal Communications, pp.26-37, Dec1998
- [11] S.Park, S.Lee, Y.J.Song, D.H.Cho, and Y.B.Dhong, "Performance Improve -ment of Forward Handover Based on Path Rerouting and Extension in Wireless ATM", IEICE TRANS.COMMUN., Vol.E82-B, No.9, pp.1485-1495, Sep.1999
- [12] A.T.Campbell, Gomez J., Kim, S., Turanyi, Z., Wan, C-Y. and A. Valko, "Comparison of IP Micro-Mobility Protocols", IEEE Wireless Communications Magazine, Vol.9, No.1, Feb2002
- [13] A.T.Campbell, Gomez, J., Kim, S., Turanyi, Z., Wan, C-Y. and A. Valko "Design, Implementation and Evaluation of Cellular IP" IEEE Personal Communications, Special Issue on IP-based Mobile Telecommunications Networks, June/July 2000
- [14] ARIB, "ARIB STD-T75: Dedicated Short Range Communication (DSRC) for Transport Information and Control Systems (TICS) ARIB standards", ARIB, 2001
- [15] 福井良太郎, 中村めぐみ, 柿田法之, 屋代智之, 重野寛, 岡田謙一, 松下温: DSRC を用いた連続型路車間通信における可変無線ゾーンの構成と動的スロット多重, 情報処理学会論文誌 Vol.J44, No.12, pp.3050-3059, 2003 年 12 月.
- [16] 福井良太郎, 柿田法之, 屋代智之, 重野寛, 松下温: 道路照明を用いた連続無線ゾーン構成法による路車間通信システムの実用性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.J43, No.12(2002)
- [17] 中村めぐみ, 柿田法之, 福井良太郎, 屋代智之, 重野寛, 岡田謙一, 松下温: DSRC を用いた連続型路車間通信におけるシステム構成の検討, 情報処理学会大 11 回高度交通システム研究会 (2002-ITS-11), Vol.2002, No.115(2202)
- [18] 朝倉啓充, 福井良太郎, 中村めぐみ, 屋代智之, 重野寛, 岡田謙一, "動的ゾーン制御を用いた連続型路車間通信システム", 情報処理学会第 25 回モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, 2003-MBL-25, pp.77-84, 2003 年 7 月.
- [19] 西野健一, 長谷川孝明: 道路プラットフォーム"ドット ITS"における IP 接続に関する一検討. 2003 年電子情報通信学会技術研究報告, ITS2002-180(2003)
- [20] Akira Yamaguchi, Yoshio Takeuchi, Masayuki Yasunaga: Dynamic Radio Zone Communication System for ITS, ITS00133, 8th World Congress on Intelligent Transport Systems, Oct.2001