

# DSRC ネットワークを利用する ITS アプリケーションのためのミドルウェアの設計と実装

服 部 元<sup>†</sup> 小 野 智 弘<sup>†</sup> 西 山 智<sup>††</sup>  
堀 内 浩 規<sup>†</sup> 小 花 貞 夫<sup>†††</sup>

高度道路交通システム (ITS) において、固定網上のセンタと走行する車両との情報交換 (以下、路車間通信と呼ぶ) を利用したアプリケーションが想定されている。路車間通信のための通信メディアとして狭域通信 (DSRC) や携帯電話等が複数利用可能であり、それぞれ通信可能な地理的範囲や通信速度、通信コスト等の性質が異なる。DSRC は高速な通信速度かつ低通信コストが期待されるが 1 つの基地局あたりの通信可能エリアが数十 m と小さいことから、すべての道路に隙間なく設置することは困難である。そのため通信の断続が不定期に起こるネットワーク環境 (以下、DSRC ネットワークと呼ぶ) となり、DSRC を利用するすべてのアプリケーションは通信可能時のみメッセージを送信する等の機能を持つ必要がある。本稿では DSRC ネットワークを利用するアプリケーションの開発効率を向上させるため、DSRC ネットワークの断続情報に基づく高信頼なメッセージ送信を可能とするミドルウェアを提案した。また、提案手法に基づくミドルウェアの設計と実装、ならびにシミュレーション環境および実環境における性能評価を行い、ミドルウェアの有用性を示した。

## Design and Implementation of Middleware for ITS Application on DSRC Network

GEN HATTORI,<sup>†</sup> CHIHIRO ONO,<sup>†</sup> SATOSHI NISHIYAMA,<sup>††</sup>  
HIROKI HORIUCHI<sup>†</sup> and SADA OOBANA<sup>†††</sup>

There are many applications which use communication between vehicles and systems on the fixed network, in intelligent transportation systems (ITS). For communication between vehicles and systems, many types of communication media such as Dedicated Short Range Communications (DSRC) and cellular phones, which have different characteristics such as the range of communicative area, the bandwidth and the cost for communication, can be used. For DSRC, it is difficult to cover all roads without a crevice, since the communicative area per base station is as small as dozens of meters, although high-speed transmission speed and low communication cost of DSRC network are attractive. In this paper, for improving development efficiency of applications in DSRC network, we propose a middleware which realizes reliable message delivery based on the information of network status. We also show effectiveness of the middleware through implementation and evaluation.

### 1. はじめに

近年、交通事故の防止や物流の効率化、さらには自動運転や高齢化社会への対応等、道路交通システムの高度化を目指す高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) が注目されている。ITS

で提供されるアプリケーションには、固定網上に設置されたサーバ (以下、センタと呼ぶ) と移動する車両との情報交換 (以下、路車間通信と呼ぶ) を利用するものがある。実用化されているアプリケーションとして、走行中の車両がノンストップで支払い処理を行う自動料金支払いシステム (Electronic Toll Collection: ETC) や、走行中の車両へ交通情報を提供する道路交通情報通信システム (Vehicle Information and Communication Systems: VICS) 等があげられる。これらのほかに運転補助サービスや施設の予約サービス等、路車間通信を利用するアプリケーションが想定されている。

<sup>†</sup> 株式会社 KDDI 研究所

KDDI R&D Laboratories Inc.

<sup>††</sup> YRP ユビキタスネットワークング研究所

YRP Ubiquitous Networking Laboratory

<sup>†††</sup> KDDI 株式会社

KDDI Corporation

路車間通信に利用可能な無線の通信メディアは、DSRC( Dedicated Short Range Communications ), 携帯電話, PHS( Personal Handy-phone System ) 等, 複数存在する。携帯電話や PHS は基地局 1 つあたりの通信可能エリアが数十 m から数 km 程度ある。またトンネルや地下, 山道等を除く広い通信可能エリアを持つが, 通信速度がたかだか 400 kbps 程度と低いことや通信コストが高い問題がある。一方, DSRC は電波産業会( ARIB )が規定する STD-T55<sup>1)</sup>や STD-T75<sup>2)</sup>に準拠する, 基地局 1 つあたりの通信可能エリアが数十 m 程度の狭域通信システムである。DSRC の通信速度は 1~4 Mbps 程度と高く, その公共性から通信コストは安いと考えられている。また, DSRC の場合は, 1 つの基地局あたりの通信可能エリアが数十 m と小さいことからすべての道路に隙間なく設置することは困難であり, 通信の断続が不定期に起こる離散的なネットワーク環境( 以降, DSRC ネットワークと呼ぶ )となることがスマートゲートウェイプロジェクト等<sup>3)~5)</sup>により想定されている。アプリケーションはこれらの通信メディアから, 何らかの基準により路車間通信に利用する通信メディアを選択する必要があるが, DSRC ネットワークを選択するアプリケーションには, 通信可能時のみメッセージを送信する等の機能が必要である。

そこで本稿では, DSRC ネットワーク上で路車間通信を行うアプリケーションの開発効率を向上させるため, DSRC ネットワークの断続情報に基づき高信頼なメッセージ送信を可能とするミドルウェアを提案する。また, 提案手法に基づくミドルウェアの設計と実装, ならびにシミュレーション環境および実環境における性能評価を行い, ミドルウェアの有用性を示す。

以降, 2 章では DSRC ネットワークの概要とミドルウェアの機能要件について述べる。3 章では既存のミドルウェアを DSRC ネットワークに適用した場合の問題点を述べる。4 章ではミドルウェアの設計指針について述べる。5 章では設計指針に基づくミドルウェアの詳細設計について述べる。6 章ではミドルウェアの性能評価について述べる。最後に 7 章でまとめを述べる。

## 2. DSRC ネットワークとミドルウェアの機能要件

2.1 節では DSRC ネットワークの特徴を述べる。2.2 節では DSRC ネットワークを利用するアプリケーションのためのミドルウェアの機能要件を述べる。

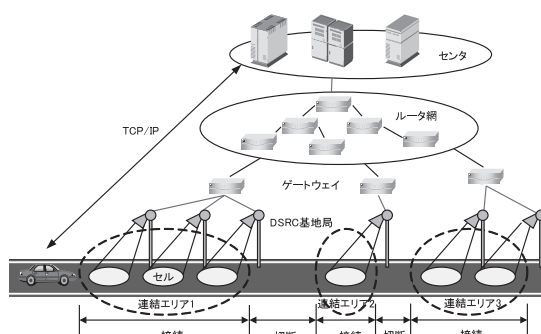


図1 スマートゲートウェイが想定するネットワーク構成  
Fig.1 Network architecture of Smart Gateway project.

### 2.1 DSRC ネットワーク

本稿で対象とするスマートゲートウェイプロジェクト<sup>3)</sup>が想定する DSRC ネットワークを図 1 に示す。この DSRC ネットワークは交通情報や観光情報等の ITS 関連サービスを提供するセンタ, 階層的なルーティングを行うルータ網, 路車間通信のための DSRC 基地局, ルータ網と DSRC 基地局を接続するゲートウェイ, および DSRC 受信機と車載端末を持つ車両により構成される。また STD-T75 に準拠する DSRC の基地局を応用し, 複数の基地局を連結した広い通信可能エリア( 以下, 連結エリアと呼ぶ )を形成する拡張機能を実装し, 車両が走行しながらストリーミング映像を受信する等のまとまったデータのやりとりを可能としている<sup>3), 5)</sup>。しかしながら道路沿いに設置される基地局の間隔や連結エリアの間隔に応じて, 通信路の切断時間が長い場合や連続して通信可能な時間が短い場合等, 通信の断続が不定期に起こってしまう。ここでアプリケーションは, 車両とセンタ間の通信プロトコルとして主に TCP/IP の利用が想定されるが, 通信可能な時間が TCP の再送間隔よりも短い場合は再送機能が有効に作用しない<sup>8)</sup>ため, TCP の上位層により送信を制御する仕組みが必要である。

### 2.2 ITS におけるアプリケーションとミドルウェアの機能要件

ITS 関連省庁が策定した「高度道路交通システム( ITS )に係るシステムアーキテクチャ<sup>9)</sup>」において規定されているアプリケーションのうち路車間通信を利用するものとして, 運転支援や緊急通知, 運行管理等のリアルタイム性を要求するものと, 目的地の情報提供や施設の予約等のリアルタイム性を要求しないものがある。DSRC ネットワークは 2.1 節に述べた特徴から常時通信可能とは限らないため, 本稿では後者のアプリケーションを対象とする。また交通関連情報や目的地情報の提供等の 1 往復の要求・応答で完了する情

表 1 既存ミドルウェアの適用と問題点

Table 1 Issues on applying generic middleware to DSRC network.

|                                | ミドルウェア                                                             | 機能要件(1)                                          | 機能要件(2)                     | 機能要件(3)                  |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| (ア)通信路情報を提供し、送信側に送信するかを判断させる方式 | Monads <sup>10)</sup>                                              | ×送信制御はアプリケーションが行う                                | ○                           | ×送信制御はアプリケーションが行う        |
|                                | SOMA <sup>11)</sup>                                                | ○                                                | ○                           | ×切断中はアプリケーションが停止する       |
|                                | FIPA 準拠ミドルウェア <sup>12)</sup>                                       | 複数の通信路のQoSをモニタする機能と現在使用可能な最適な通信路の選択結果を提供する機能を持つ。 | △送信制御をするが消失や不達を防止する機能の実装はない | △機能の提案はしているが詳細な検討は行っていない |
| (イ)センタへ車両のプログラムが移動する方式         | Trading Stock with Mobile Agents <sup>13)</sup>                    | ○                                                | ×アプリケーションの利用者の意思で振る舞いを決定する  | ○                        |
| (ウ)車両へセンタプログラムが移動する方式          | Pulsar <sup>4)</sup> , ALICE <sup>15)</sup> , DIANA <sup>16)</sup> | ○                                                | ×アプリケーションの利用者の意思で振る舞いを決定する  | ○                        |

報提供型だけでなく、交通機関予約や宿泊予約等のセンタと車両間で複数回通信を行うインタラクティブ型のアプリケーションの構築を支援するミドルウェアの実現を目的とする。DSRC ネットワークを利用した高信頼な路車間通信を実現するためのミドルウェアの機能要件として、以下の 3 つがあげられる。

#### 機能要件 (1) メッセージ送信制御機能

メッセージの消失や不達を防止するための、アプリケーションのメッセージ送信を制御する高信頼な送信制御機能が必要である。

#### 機能要件 (2) 通信状態の検知機能

通信状態の変化に応じてミドルウェアが振舞いを変えるための、通信状態をリアルタイムに検知する機能が必要である。

#### 機能要件 (3) 非同期型の通信機能

通信が切断している時間が長い場合にアプリケーションが応答待ちで停止することなく別の処理を続行可能とするための、非同期型の通信機能が必要である。

### 3. 既存のミドルウェアの DSRC ネットワークへの適用と課題

3.1 節では既存のミドルウェアを紹介し、これらが 2.2 節で記述した 3 つの機能要件を満足していないことを指摘する。3.2 節では既存のミドルウェアの 1 つである FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) 準拠ミドルウェアについて述べる。

#### 3.1 既存のミドルウェアの比較

これまでに、常時接続でないネットワーク上のアプ

リケーションの構築を支援するミドルウェアがいくつか検討されている<sup>10)~16)</sup>。しかしながら、表 1 に示すように 3 つの機能要件をすべて満たすミドルウェアはない。Monads<sup>10)</sup>は、ネットワークの通信可否の情報をアプリケーションに提供するミドルウェアであり、SOMA<sup>11)</sup>は通信不能場合にアプリケーションを一時停止させる仕組みを提供するミドルウェアであるが、いずれも同期通信のみを前提としているため、機能要件 (3) の非同期通信機能を満たすことは困難である。FIPA 準拠のミドルウェア<sup>12)</sup>は、アプリケーション (= エージェント) 間の非同期通信手段を提供するミドルウェアであるが、機能要件 (1) および機能要件 (2) を満たすための機能が検討されているものの、具体的な機能設計や実装の例はない (イ)<sup>13)</sup>と (ウ)<sup>14)~16)</sup>のミドルウェアは、センタ側のアプリケーションの必要な機能をあらかじめダウンロードする、あるいは車両側のアプリケーションの必要な機能をあらかじめアップロードする仕組みを提供するミドルウェアであるが、ネットワークの断続情報が予測できない場合は対応できないため、機能要件 (2) を満たすことは困難である。以上より、すべての機能要件を満たすミドルウェアを実現するためには、FIPA 準拠ミドルウェアに対して機能要件 (1), (2) を満たすための機能追加を行う方法が適当であると考えられる。

#### 3.2 FIPA 準拠ミドルウェア

FIPA の準拠ミドルウェアは、図 2 に示すようにエージェントの登録・検索・通信機能等の基本機能をコンポーネント化して提供し、複数のエージェントから利用可能としている。また、エージェント間の通信言語

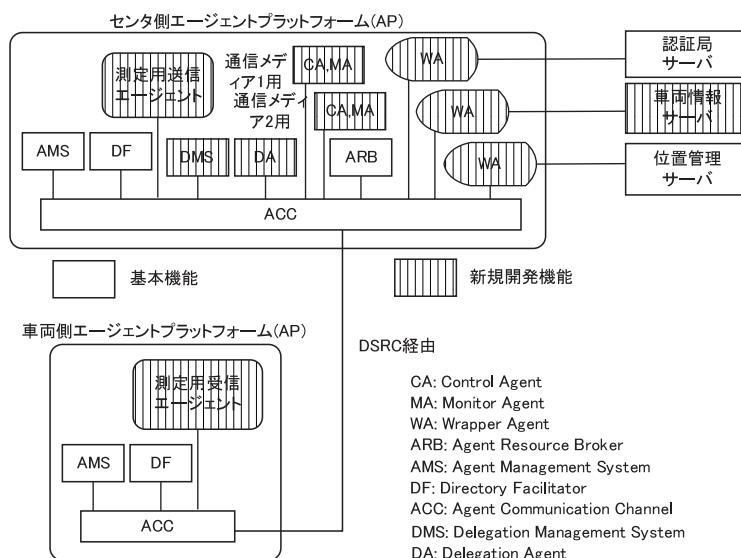


図2 FIPAのアーキテクチャと新規機能配置

Fig. 2 Architecture of FIPA standard and deployment of proposed components.

として記述能力の高いACL (Agent Communication Language) を利用し、マルチベンダ環境においても相互にメッセージの内容を理解することを可能としている。各機能の概要を以下に述べる。

- ① AMS (Agent Management System)<sup>17)</sup>: エージェントの登録・削除・検索等の機能 (ホワイトページサービス) を提供する。
- ② DF (Directory Facilitator)<sup>17)</sup>: エージェントが提供するサービスの登録・削除・検索等の機能 (イエローページサービス) を提供する。
- ③ ACC (Agent Communication Channel)<sup>18)</sup>: 同一ミドルウェア上あるいは異なるミドルウェア上のエージェント間でやりとりされるメッセージを転送して宛先に届けるルータ機能を提供する。

また FIPA では、拡張機能として以下の 3 つの機能が検討されている。ただしこれらは詳細な仕様は定められておらず現時点での実装例はない。

- ④ CA/MA (Control Agent, Monitoring Agent)<sup>19)</sup>: 複数の通信メディアが利用可能な場合に通信メディアごとに存在し、通信路の通信状態の取得および制御を行う機能を提供する。
- ⑤ WA (Wrapper Agent)<sup>20)</sup>: エージェントが ACL 以外の言語を利用するアプリケーションと通信するための接続機能と言語変換機能を提供する。
- ⑥ ARB (Agent Resource Broker)<sup>20)</sup>: 外部プログラムを登録・検索する機能を持ち、外部プログラムにアクセスするための情報をエージェン

トに提供する。

#### 4. DSRC ネットワーク用アプリケーションのためのミドルウェアの設計指針

3.1 節で述べたように、FIPA 準拠のミドルウェアは機能要件 (3) を満たすものの、機能要件 (1), (2) を満たさない。そこで FIPA 準拠ミドルウェアに対して機能要件 (1), (2) を満たすため 2 つの機能を以下の方針に従って新規に追加する。

第 1 に、機能要件 (1) に対しては、専用のエージェントがアプリケーションのメッセージ送信を代行するメッセージ委譲機能を実現する。具体的には、アプリケーションからのメッセージの代理送信要求を受け付ける機能や、車両の位置情報から有効な通信メディアを選択する機能、車両の通信状態に応じてメッセージを送信するまたは送信を待機する機能を提供することとする。さらに、メッセージ委譲機能のセキュリティ面での信頼性を確保するため、認証局が発行する証明書を取得する機能を提供することとする。

第 2 に、機能要件 (2) に対しては、FIPA の CA および MA の枠組みで DSRC ネットワークの断続情報を高速に取得する通信メディア管理機能を実現する。具体的には、通信路を確立・切断する機能やメッセージ委譲機能が選択した通信メディアに対して車両の通信状態を取得する機能を提供することとする。ここで車両が高速道路を時速 100 km で走行していると仮定すると 30 m の 1 つのセルを約 1 秒で通過することから、ミドルウェアに要求する有用性の指標としての数

値目標を「1秒以内に DSRC ネットワークの断続の検知とメッセージの送信が完了する」とする。なお、車両がセンタへメッセージを送信する場合には、車載端末が DSRC 受信機の断続信号を取り込むことによりリンク断続情報を高速に取得できることから問題とならないため、本稿ではセンタが車両にメッセージを送信する場合のみを検討の対象とする。

## 5. 詳細設計

4章の設計指針に基づきミドルウェアの詳細設計を行う。図2に各コンポーネントを配置した FIPA 準拠ミドルウェアを示し、以下に各コンポーネントの詳細について述べる。

### 5.1 メッセージ委譲機能

機能要件 (1) に対応するメッセージ委譲機能のコンポーネントとして、メッセージ委譲管理システム (Delegation Management System: DMS), メッセージ委譲エージェント (Delegation Agent: DA), 外部の認証局サーバ<sup>(21)</sup>専用 WA を以下のように設計する。

#### ① メッセージ委譲管理システム (DMS)

センタ上のアプリケーションからのメッセージ送信依頼を受け付け、DA に送信代行を指示する機能を提供する。具体的には、メッセージ送信依頼を受け付けた際にそのメッセージ専用の DA を新たに生成し、メッセージ本文、送信元、宛先情報を DA に渡す機能を提供することとする。また、DA の生成、削除、生存確認を行うライフサイクルの管理機能、さらに障害時のメッセージの消失を防止するために、メッセージを二次記憶装置に永続化する機能も提供することとする。

#### ② メッセージ委譲エージェント (DA)

DMS の指示に基づき 1 つのメッセージ送信を代行する機能を提供し、かつ複数が同時に活動可能とする。具体的には位置管理サーバから宛先車両の現在位置を取得する機能、および宛先車両の現在位置から利用可能な通信メディアを選択する機能を提供する。アプリケーションが路車間通信を利用する場合、どの通信メディアを利用するかをポリシーに従い DA が選択する。ここでは通信コストの安い DSRC ネットワークを優先的に選択し、携帯電話を DSRC ネットワークを利用できない場合の予備とするポリシーとし、宛先車両の位置が DSRC 基地局の設置された道路であれば DSRC を選択し、それ以外は携帯電話を選択することとする。また、通信メディア管理機能と連携して宛先車両の通信状態を通信可能となるまで繰り返し取得し、通信可能時にメッセージを

車両に送信する機能を提供する。また、なりすましやメッセージの改ざんを防止するため、認証局サーバから証明書を取得し、かつメッセージに電子署名を添付する機能を提供する。さらにメッセージを預かったことを DA が否認できないように、メッセージ本文に DA の電子署名および証明書を添付したデータを受領書として、センタ上のアプリケーションに送付する機能を提供する。

#### ③ 認証局サーバ専用 WA

X.509<sup>(22)</sup> 準拠の証明書を発行する認証局サーバから DA が証明書を取得するための、認証局が提供する X.509 プロトコルと ACL との相互変換を行う WA 機能を提供する。

### 5.2 通信メディア管理機能

機能要件 (2) に対応する通信メディア管理機能のコンポーネントとして、CA ならびに MA、車両情報サーバとその専用 WA、および位置管理サーバ<sup>(24)</sup>専用 WA を以下のように設計する。

#### ① CA, MA

MA を通信メディアごとに準備し、車両情報サーバおよび位置管理サーバと各専用 WA を介して連携することにより、目的の車両の通信状態を取得しその結果を CA に通知する機能を提供することとする。また、MA は DA に対して通信メディアの種類に依存しない共通のインタフェースを提供することとする。CA は MA からの通知を基に、DA が指定した通信路の確立・開放処理を行う。

#### ② 車両情報サーバと専用 WA

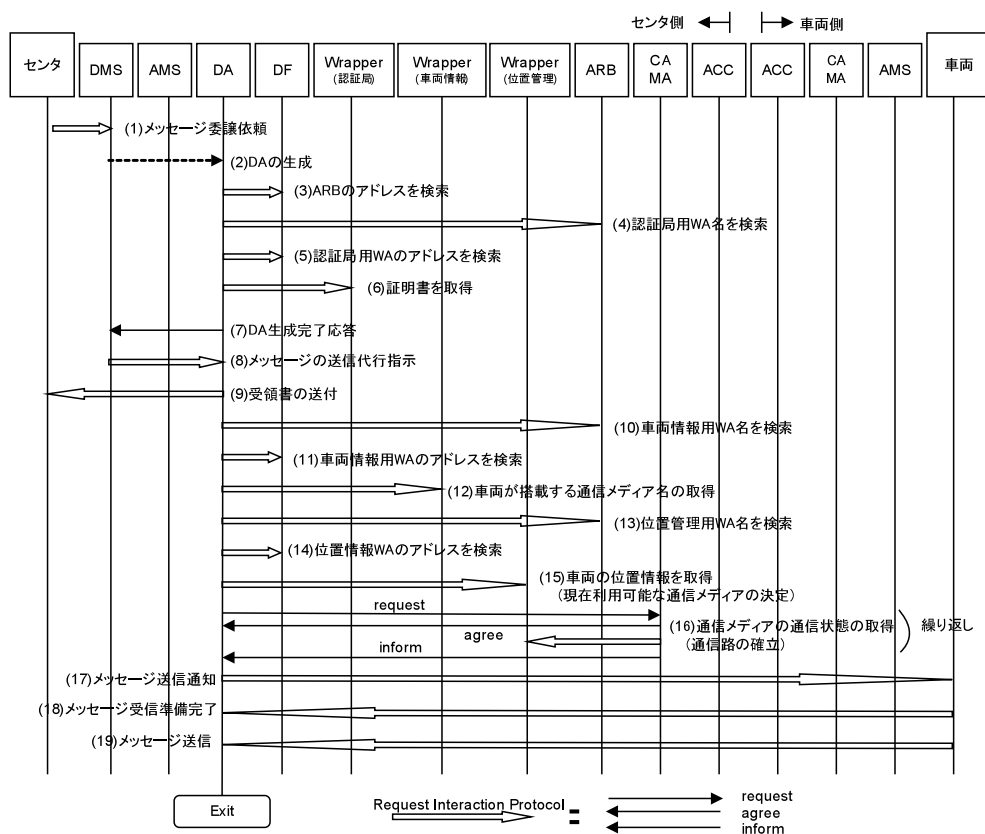
車両情報サーバは、車両に関するホワイトページサービスを提供するサーバである。車両固有の静的な情報 (ID, 公開鍵, 車両の持つ通信メディアの種類やアカウント, アドレス等) を管理し, LDAP (Lightweight Directory Access Protocol)<sup>(23)</sup> インタフェースを持つ。専用 WA は MA が車両情報サーバから車両固有の静的な情報を取得するための, LDAP と ACL との相互変換を行う機能を提供する。

#### ③ 位置管理サーバ専用 WA

LDAP インタフェースを持つ外部の位置管理サーバから DA が車両の位置情報を取得するための, LDAP と ACL の相互変換機能を提供する。

### 5.3 メッセージフロー

センタ上のアプリケーションが DMS にメッセージ送信を依頼してからメッセージ委譲処理が完了するまでの各フローを図3に示す。太い矢印は FIPA の代表的なエージェント間の会話手順である Request



Interaction Protocol を表しており, request, agree, inform の 3 つのメッセージからなる. フローの概要を以下に述べる.

- センタ上のアプリケーションが DMS に車両へのメッセージの送信を依頼する (図 3 (1) に対応).
- DMS が DA を生成する (図 3 (2) に対応).
- DA は初期化処理を行い, 完了後に認証局サーバ用 WA に対して証明書を要求し取得する (図 3 (3) ~ (7) に対応).
- DA は DMS からメッセージを受け取り, 証明書と署名を添付した受領書をセンタ上のアプリケーションに送付する (図 3 (8) ~ (9) に対応).
- DA は車両情報サーバ用 WA と連携して通信メディア名を取得する (図 3 (10) ~ (12) に対応).
- DA は位置管理サーバ用 WA と連携して宛先車両の位置を取得し, その情報を基に通信メディアを選択する (図 3 (13) ~ (15) に対応).
- DA は CA, MA, 位置管理サーバと連携して車両の通信可否状態を取得する処理を繰り返し行う. 通信可能になると CA が通信路を確立する (図

3 (16) に対応).

- DA はメッセージを車両へ送信し, 車両から受領書を受け取り, メッセージ委譲処理を完了する (図 3 (17) ~ (19) に対応).

## 6. 評価

提案したミドルウェアの有効性を確認するため, FIPA 標準に準拠した FIPA-OS<sup>12)</sup> ミドルウェア上に提案した機能を実装し, メッセージ処理の性能評価を行った. 6.1 節ではシミュレーション環境で行った評価結果を述べる. 6.2 節では実環境で行った評価結果を述べる. なお, 文中の (a) ~ (h) は表 2 および 5.3 節の (a) ~ (h) に対応する.

### 6.1 シミュレーション環境での評価

#### 6.1.1 評価環境

機能配置を図 2 に示し, シミュレーション環境を以下に示す.

- センタ用 PC : PentiumIII, 750 MHz ( Windows NT 4.0 )
- 車両用 PC : PentiumIII, 300 MHz ( Windows

表 2 処理時間とメッセージ数測定結果

Table 2 Results of process times and number of messages.

| 分類                     | 項目                     | (A)測定値 |        | (B)改良後の推定値 |        |
|------------------------|------------------------|--------|--------|------------|--------|
|                        |                        | 処理時間   | メッセージ数 | 処理時間       | メッセージ数 |
| (1)メッセージの委譲に要する処理      | (a)DMS への送信依頼          | 0.48   | 3      | 0.48       | 3      |
|                        | (b)DA 生成               | 5.89   | NA     | 0          | NA     |
|                        | (c)DA 初期化              | 3.16   | 19     | 0          | 0      |
|                        | (d)DA が受領通知返送          | 0.58   | 6      | 0.58       | 6      |
|                        | 合計                     | 10.11  | 28     | 1.06       | 9      |
| (2)委譲されたメッセージの送付に要する処理 | (e)受信側通信メディア情報取得       | 1.58   | 9      | 1.58       | 9      |
|                        | (f)受信側の位置取得            | 2.19   | 9      | 0          | 0      |
|                        | (g)通信メディアの状態取得(1 回当たり) | 3.84   | 21     | 0.53       | 2      |
|                        | (h)測定用受信エージェントへの送付     | 0.94   | 8      | 0.24       | 2      |
|                        | 合計                     | 8.55   | 47     | 2.35       | 13     |

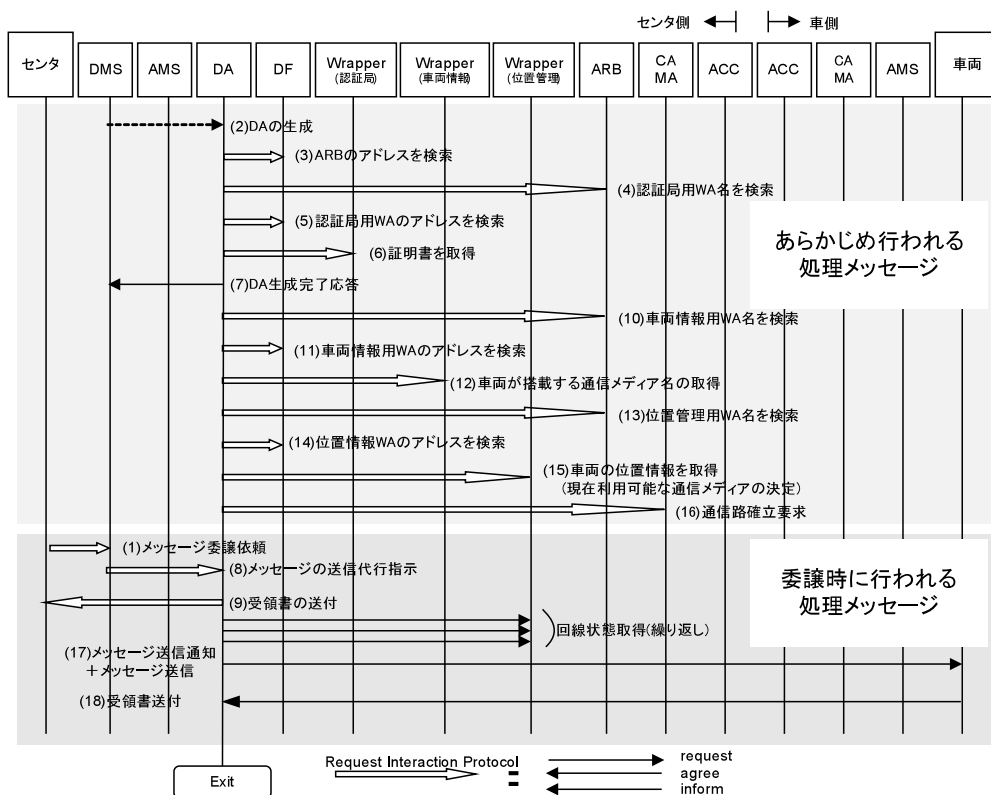


図 4 メッセージフロー (B)

Fig. 4 Message Flow (B).

NT 4.0)

- センタ用 PC と車両用 PC を 100 Mbps の Ethernet で接続した。
- センタ用 PC には基本機能に加え、DMS、DA、CA、MA、および認証局サーバ、位置管理サーバ、車両情報サーバとそれぞれの WA、測定用送信エージェントを配置し、車両用 PC には測定用受信エージェントを配置した。
- アプリケーションがミドルウェアにメッセージ送信を依頼してから、宛先にメッセージが届くまで

- のミドルウェアが行う処理を、(1) メッセージの委譲に要する処理と、(2) 委譲されたメッセージの送付に要する処理に分け、各処理ステップごとに処理時間ならびに必要なメッセージ数を計測した。
- 測定用送信エージェントが送信するメッセージは内容を含まない ACL のヘッダのみとした (約 400 byte)。
  - 予備実験として位置管理サーバが DSRC 基地局に対して車両位置要求メッセージを送信してからその応答を受信するまでに要する時間を測定した

結果、約 30 ミリ秒であった。

- それぞれ 5 回ずつ試行し、それぞれの平均値を算出した。

### 6.1.2 結 果

メッセージ送信処理のうち、メッセージの委譲に要する処理部分の測定結果を表 2 (A) 上段 (1) に示し、委譲されたメッセージの送付に要する処理部分の測定結果を表 2 (A) 下段 (2) に示す。また、考察に基づく改良の結果の推定値を表 2 (B) に示し、改良後のシーケンスを図 4 に示す。以下にそれぞれの結果について述べる。

#### (1) メッセージの委譲に要する処理

測定用送信エージェントが DMS にメッセージの委譲を依頼してから、DA から受領書を受け取るまでの所要時間は合計で 10.11 秒であった。このうち DA の生成 (b) と初期化 (c) が合計 9.05 秒と大部分を占め、残りの 1.06 秒が DMS への送信依頼 (a) と DA の受領通知返送 (d) であった。ここで (b), (c) については、メッセージ送信の依頼を受け付けた時点でオンデマンドで実行せずに、あらかじめ必要と思われる数だけ DA を生成・初期化をしておくことで処理時間の短縮が可能である。なお、DA で実施する認証および署名についてはそれぞれ (c) と (d) で実施するが、メッセージの内容に依存するのは署名のみであるため (c) をあらかじめ実施することは問題とならない。これらの改良により、表 2 (B) 上段に示すようにメッセージ委譲の依頼時には (a) と (d) の処理時間のみの 1.06 秒に短縮可能と考えられる。ただし、あらかじめ DA を生成する手法はオンデマンドで生成する場合と比較して多くのリソースが必要となるため、時間帯や曜日等に応じた DA の同時利用数の変化を予測し、生成する DA 数を増減させる等の工夫が必要となる。

#### (2) 委譲されたメッセージの送付に要する処理

DA が委譲されたメッセージを測定用受信エージェントに送信完了するまでの所要時間は合計で 8.55 秒となり、このうち目標値の 1 秒の対象となる処理は (f), (g), (h) であり合計 6.97 秒かかる結果となった。しかしながらこれらの処理は、車両が利用する通信メディアを DSRC ネットワークに限定することにより短縮可能である。具体的には、(f) については通信メディアが DSRC 固定で選択不要となり、処理時間は 0 となる。(g) については DA が MA を介さずに直接 DSRC 用の位置管理サーバにポーリングする方式とする。これにより処理時間はポーリング間隔 (0.5 秒) と予備実験の結果 (30 ミリ秒)



図 5 実験風景

Fig. 5 Environments for experiment.

を加え、ポーリング 1 回あたり 0.53 秒と概算できる。(h) については送信通知メッセージ (図 4 (17)) にメッセージ本文を埋め込み、車両からの受領書をその応答で返す方式とすることにより、図 3 の (18), (19) のメッセージを省略してメッセージ数を 1/4 の 2 個に削減する。これにより (h) の処理時間も 1/4 とし、0.24 秒と概算できる。以上により、(f), (g), (h) の処理時間の合計が 0.77 秒となり、数値目標を満たすと考えられる。

### 6.2 実環境での評価

本節では、提案手法の実環境での有効性の評価について述べる。6.2.1 項では評価環境について述べ、6.2.2 項では実環境で (h) の処理時間を測定した結果について述べる。6.2.3 項では旅行予約サービスをミドルウェア上に実装して動作させ、ミドルウェアが必要な機能を満たしていることを確認する。

#### 6.2.1 評価環境

以下に実環境のパラメータを示す。また、実験風景を図 5 に示す。

- センタ用 PC : PentiumIV , 2.4 GHz ( Windows 2000 )
- 車両用 PC : PentiumIII , 1.3 GHz ( Windows 2000 )
- ネットワーク構成は図 1 とした。1 つのセルの長さは 30 m 程度、基地局の設置間隔は 50 m とした。
- 実験環境上の制約のため、車両の速度は時速 30 km

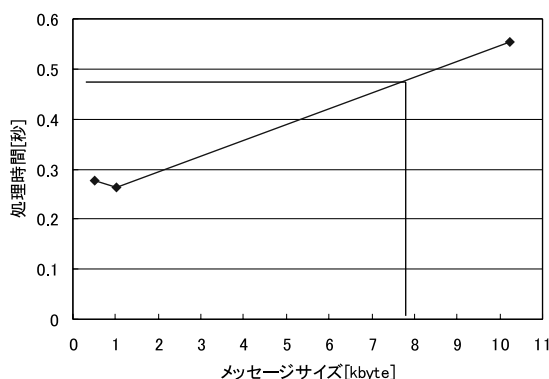


図6 測定用受信エージェントへのメッセージ送付における処理時間測定結果

Fig. 6 Results of process time for sending message to receiver.

程度とした。

- 送信されるメッセージの大きさの範囲は、約 400 byte の ACL ヘッダを含めて、Yes/No (約 400 byte) から、サービスの過程や結果の表示用データ (10 kbyte 程度) とした。
- 2 回の試行の平均値を算出した。

#### 6.2.2 結果と考察

測定結果を図 6 に示す。400 byte のメッセージの送信に約 0.25 秒を要しており、シミュレーション結果である表 2 (h) の 0.24 秒と比較してほぼ同等となった。また 400 byte 以上ではメッセージサイズの増加にほぼ比例して処理時間が増加した。ここで、実環境において数値目標の 1 秒以内に送信可能なメッセージ量を推定する。まず、数値目標の 1 秒から表 2 (g) の処理時間である 0.53 秒を引くと、残りが 0.47 秒となる。この時間を表 2 (h) の処理にすべて割り当てるとすると 0.47 秒となり、図 6 のグラフから送信可能なメッセージの大きさは約 7.5 kbyte であることが分かる。ここでさらに多くのデータを送信するための方法として、表 2 (g) の処理時間を短縮する、つまり位置情報取得のポーリング間隔を短縮することがあげられる。ただし、ポーリング間隔を短縮すると位置管理サーバやセンタの負荷、さらにネットワークの負荷が増加するため、これらの制限に従う必要がある。

#### 6.2.3 機能面での評価

図 1 の環境で実装した旅行予約サービスの動作は以下ようになる。まず連結エリア 1 で車両のユーザが入力した旅行条件をセンタに送信して旅行プランを要求する。次に連結エリア 2 でセンタがメッセージ委譲機能を利用して走行する車両に旅行プラン案を送信する。最後に連結エリア 3 で車両のユーザが旅行プラン

の確認メッセージをセンタに送信して完了とする。

車両は道路の制限速度の制約により時速 30 km 程度で走行したため、車両が連結エリア 2 内を通過する時間が約 3.6 秒となった。数値目標の 1 秒と比較して十分に長い時間ではあったが、道路沿いに設置した連結エリア 2 の DSRC 基地局を介して、車両が道路を走行しながら DA からの約 400 byte のメッセージを受信することができた。以上によりミドルウェアがこのアプリケーションに対して必要な機能を満たしていることを確認できた。

## 7. おわりに

DSRC ネットワークを利用するアプリケーションの開発効率を向上させるため、DSRC ネットワークの断続情報に基づく高信頼なメッセージ送信を可能にするミドルウェアを提案した。具体的には、ミドルウェアに対する 3 つの機能要件を明らかにし、これらの機能要件を満たすメッセージ委譲機能ならびに通信メディア管理機能の提案および詳細検討を行い、既存のエージェントプラットフォームである FIPA-OS 上に拡張機能として実装した。またシミュレーション環境および実環境において提案したミドルウェアの処理性能の評価を行い、処理時間の短縮方法について考察した。さらに、実験用の DSRC システム上にミドルウェアおよび応用を実装し、ミドルウェアが実用上必要な機能を満たしていることを確認し、ミドルウェアの有用性を示した。

謝辞 本研究は通信・放送機構 (Telecommunications Advancement Organization of Japan: TAO) による路車間通信システムのためのスマートゲートウェイ技術の研究開発の一環として行われている。最後に日頃ご指導いただく KDDI 研究所浅見代表取締役所長、松島代表取締役副所長、および水池取締役役に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 電波産業振興会：有料道路自動料金収受システム標準規格, ARIB STD-T55 (1999).
- 2) 電波産業振興会：狭域通信 (DSRC) システム標準規格, ARIB STD-T75 (2001).
- 3) 通信・放送機構, <http://www.shiba.tao.go.jp/prs12171.htm#L1>
- 4) 佐藤健哉, 最所圭三, 福田 晃: 移動経路情報を利用した路車間通信方式のシミュレーションによる評価, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10 (2001).
- 5) 山本達史, 撫中達司, 渡辺 尚: ITS ネットワー

- クにおけるマルチキャスト通信のための再送処理機能について, DICO2001 シンポジウム, pp. 693-698 (2001).
- 6) Yonezawa, K., Fukuhara, T., Ishikawa, H., Sugiyama, K. and Shinonaga, H.: An Experimental Evaluation of Handover Activating Methods for Roadside-Vehicle Communications System, *The 3rd International Workshop on ITS Telecommunications*, pp.203-208 (2002).
  - 7) 鄒 曉霞, 狩野秀一, 須堯一志, 水越康博: DSRC 網における IP ハンドオーバーのソフトウェアシミュレーション, 情報処理学会 MBL 研究会 (2001).
  - 8) Hattori, G., Ono, C., Nishiyama, S. and Horiuchi, H.: Proposal on Improvement of TCP Throughput for Vehicle-Road Communication via DSRC, *ITS Telecommunications (ITST2002)*, pp.251-256 (2002).
  - 9) ITS 関連省庁: 高度道路交通システム (ITS) に係るシステムアーキテクチャ (1999).
  - 10) Campadello, S., Helin, H., Koskimies, O., Misikangas, P., Makela, M. and Raatikainen, K.: Using Mobile and Intelligent Agents to Support Nomadic Users, *6th International Conference on Intelligence in Networks (ICIN2000)*, pp.17-20 (2000).
  - 11) Bellavista, P., Corradi, A. and Stefanelli, C.: Mobile Agent Middleware for Mobile Computing, *IEEE Computer Society*, Vol.34, No.3, pp.73-81 (2001).
  - 12) <http://fipa-os.sourceforge.net/>
  - 13) [http://www.cs.wustl.edu/cs/cs/archive/CS333\\_SP99/mcstock.html](http://www.cs.wustl.edu/cs/cs/archive/CS333_SP99/mcstock.html)
  - 14) <http://www.cs.cornell.edu/barr/repository/pulsar/proposal.html>
  - 15) Haahr, M., Cunningham, R. and Cahill, V.: Towards a Generic Architecture for Mobile Object-Oriented Applications, *Workshop on Service Portability* (2000).
  - 16) Ahamad, T., Clary, M., Densmore, O., Gadol, S., Keller, A.M. and Pang, R.: The diana approach to mobile computing, Technical Report, Stanford University, Sun Microsystems (1993).
  - 17) FIPA Agent Management Specification (2001).
  - 18) FIPA Agent Message Transport Service Specification (2001).
  - 19) FIPA Nomadic Application Support Specification (2001).
  - 20) FIPA Agent Software Integration Specification (2001).
  - 21) Microsoft: Windows NT Option Pack. <http://www.microsoft.com/ntserver/nts/downloads>
  - 22) CCITT: *Data Communication Network Directory*, pp.48-81 (1988).
  - 23) Netscape LDAP. <http://enterprise.netscape.com/docs/directory/index.html>
  - 24) Sugiyama, K., Warabino, T. and Shinonaga, H.: Network-based Vehicle Location Management for DSRC Network, *ITS Telecommunications* (2002).

(平成 15 年 4 月 10 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



服部 元 (正会員)

昭和 48 年生・平成 8 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業・平成 10 年神戸大学大学院自然科学研究科電気電子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(株) KDDI 研究所テキスト情報処理グループ研究員・この間、ネットワーク管理, ITS, ソフトウェアエージェントの研究に従事・電子情報通信学会会員・



小野 智弘 (正会員)

昭和 43 年生・平成 3 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業・平成 5 年慶應義塾大学大学院理工学研究科計算機科学専攻修士課程修了・同年国際電信電話(株)現 KDDI(株))

入社・平成 11 年~12 年スタンフォード大学電気工学科客員研究員・現在(株) KDDI 研究所テキスト情報処理グループ研究主査・この間、通信用データベース, ネットワーク管理, ソフトウェアエージェントの研究に従事・平成 8 年情報処理学会学術奨励賞受賞・電子情報通信学会会員・



西山 智(正会員)

昭和36年生。昭和59年東京大学工学部電気工学科卒業。同年国際電信電話(株)(現KDDI(株))入社。平成3年米国テキサス大学オースティン校計算機科学科修士課程修了。現

在(株)横須賀テレコムリサーチパークユビキタスネットワークング研究所基盤プロトコル研究室長。文部省メディア教育開発センター客員助教授。この間、データベース、ネットワーク管理、ITS、ソフトウェアエージェント、ユビキタス通信システムの研究に従事。平成5年度電子情報通信学会学術奨励賞、本学会第63回大会優秀賞受賞。電子情報通信学会会員。



小花 貞夫(正会員)

昭和28年生。昭和51年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和53年慶應義塾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。平成13年までKDDI

研究所にて、パケット交換方式、ネットワークアーキテクチャ、OSIプロトコル実装、データベース、ビデオテクス、分散処理、ネットワーク管理、ITSの研究・開発に従事。現在、KDDI(株)技術開発本部ITS開発部部長。工学博士。平成13年度文部科学大臣賞(研究功績賞)受賞、本会理事(平成11年~12年度)、本会フェロー、電子情報通信学会会員。



堀内 浩規(正会員)

昭和35年生。昭和58年名古屋大学工学部電気工学科卒業。昭和60年名古屋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(株)

KDDI研究所ユビキタスネットワークグループリーダー。工学博士。この間、ネットワークアーキテクチャ、通信プロトコルの形式記述、ネットワーク管理、分散処理、ITS(高度道路交通システム)の研究開発に従事。電子情報通信学会平成4年度学術奨励賞、情報処理学会平成8年度ならびに平成12年度全国大会優秀賞を各受賞。電子情報通信学会会員。

---