

ITS ネットワーク狭域待時系マルチキャストのための Advanced Join 方式とその評価

撫 中 達 司[†] 山 本 達 史^{††} 井 上 淳^{†††}
黒 田 正 博^{†††} 水 野 忠 則^{††} 渡 辺 尚^{††}

ITS においては、事故、あるいは何らかのイベントなどの要因により、ある地域に移動端末が集中して存在するため、これら情報の提供を共通リンクを用いて同時に複数移動端末に対してデータ配信を行うマルチキャスト配信が有効な手段となると一般的に考えられている。これらユーザが位置する地域に依存した情報は、その情報の有効期限、あるいは移動端末がその地域にとどまる期間などの制約により、数分程度でのデータ受信完了が求められるという特性（狭域待時系と呼ぶ）を持ち、データ受信を行う移動端末の基地局間移動にともなうデータロスや、経路情報更新によるデータ遅延などの課題がある。本論文では、これら課題に対して、マルチキャストグループへの参加、あるいは配信要求を移動端末の代理ノードで構成される仮想的なグループ（基地局マルチキャストグループと呼ぶ）単位で、事前に、かつ代理処理する方式（Advanced Join 方式）を提案し、この方式の有効性について、格子状道路モデルによるシミュレーション評価を行い、受信端末における平均データ受信率、データ受信完了端末台数が向上することを確認したので、その評価結果についても報告する。

Advanced Join Mechanism for Multicast Group Management in ITS Networks and Its Evaluation

TATSUJI MUNAKA,[†] TATSUSHI YAMAMOTO,^{††} JUN INOUE,^{†††}
MASAHIRO KURODA,^{†††} TADANORI MIZUNO^{††}
and TAKASHI WATANABE^{††}

In ITS networks, a number of mobile hosts are densely distributed in an area caused by traffic accidents or opening of amusement events. It is expected that the greater part of the mobile hosts will require commonly useful information, such as traffic information, parking information and other driving related information. It will be very effective to provide such information by using common communication channel. In this paper, we newly introduce a BS (Base Station) multicast group for management of mobile hosts belonging to a multicast group. By controlling the members of the group according to the movement of the mobile hosts, it is expected to reduce message traffic for the multicast group management, and to eliminate packet loss during mobile hosts' movement between base stations. We show the effectiveness of the proposal by the result of a network simulator.

1. はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems) におけるサービスとして、DSRC (Dedicated Short Range Communication)¹⁾を使用した自動料金収受システム (ETC)、ビーコンを利用した VICS (道路交通情報通

信システム)、カーナビなど、車載端末を使用した情報通信アクセスが急速に発展しつつあり、また、DSRC を使用した新たな情報通信システム²⁾についての検討も進められている。ITS においては『移動端末が走行中の位置、地域に依存した情報を、ある期間内に、その特定地域内の複数ユーザが同時に必要とする』というデータアクセス特性を持つ。たとえば、事故、あるいは何らかのイベントなどの要因により、ある地域に移動端末が集中して存在し、ある区間を比較的低速で移動を行うような場合である。このような状況においては、事故情報、渋滞情報などを、ある特定地域に存在する複数端末に対して共通リンクを用いて、同時に

[†] 通信・放送機構横須賀 ITS リサーチセンター
Yokosuka ITS Research Center, Telecommunications
Advancement Organization of Japan

^{††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

^{†††} 三菱電機株式会社情報技術総合研究所
Information R & D Center, Mitsubishi Electric Corp.

データ転送を行うマルチキャスト通信が有効な手段となると考えられる。

マルチキャストは、基本的にはコネクションレスの一方通信であり、それぞれの情報に対して固有のアドレスを割り当て、このアドレスに対応して、情報を受信する端末の集合をマルチキャストグループとして管理する。送信元サーバはそのマルチキャストグループに属する受信者を認識せず、そのアドレスに対してデータ送信を行う。固定ネットワークにおけるマルチキャスト技術としては、IP マルチキャストが知られており、受信ホスト-マルチキャストルータ（以後、MR）間のマルチキャストグループ管理を行うプロトコルと、MR 間における経路設定プロトコルにつき、多くの研究が行われている³⁾。しかし、IP マルチキャストは、固定ネットワークであるインターネットなどを通信インフラとしているため、情報を受信する端末が“位置固定”であることを前提としており、マルチキャストグループ管理に、端末の移動を扱う概念はない。移動透過性を提供するプロトコルである Mobile IP を利用したマルチキャストにおいては、移動先フォリンエージェント（FA）を固定ネットワークにおけるマルチキャストデータ受信の終端として定義し、端末の移動に対応したマルチキャスト⁴⁾が提案されているが、サブネット間の頻繁な移動が発生した場合には、FA の再配置の間のパケットロスが発生するなど効率的ではない。また、頻繁な移動を避けるために、FA を広範囲なサブネットに対応して割り当てた場合には、端末の移動に応じた FA から固定ネットワークの終端までの経路制御が必要となる。Arup ら⁵⁾は、マルチキャストセッション途中でマルチキャストグループメンバーの変更が起きないことを前提としたうえで、移動する個々の端末への信頼性あるデータ転送のためのプロトコルを提案しているが、マルチキャストグループへの効率的なデータ配信のための経路制御については言及していない。

我々は、IP マルチキャストにおけるマルチキャストグループ管理を基本とし、ある特定地域内の同一マルチキャストグループに属する移動端末がアクセスする基地局により構成される仮想的なグループ（基地局マルチキャストグループと呼ぶ）の概念を提案している^{6),7)}。本論文では、ユーザが位置する地域に依存した情報で、かつ、その情報の有効期限、あるいは移動端末がその地域にとどまる期間などの制約により、数分程度でのデータ受信完了が求められるという特性を持つ狭域待時系データの配信において、データ受信を行う移動端末の基地局間移動ともなうデータロスや、

経路情報更新によるデータ遅延などの課題に対し、マルチキャストグループへの参加、あるいは配信要求を、移動端末の代理ノードである基地局によって構成される基地局マルチキャストグループ単位で、事前に、かつ代理処理する方式（Advanced Join 方式）を提案し、格子状道路モデルでシミュレーションを行った結果とその評価を報告する。

以降、2章では、対象とする ITS ネットワークアーキテクチャを示す。3章で ITS におけるデータ特性を整理し、適用対象データ特性を明確化したうえで、解決すべき課題と、課題解決に対する提案につき述べる。その後、4章で、提案する基地局マルチキャストグループと、その管理メッセージを定義したうえで、5章で、本方式のシミュレーションによる評価を述べ、最後に6章でまとめる。

2. ITS ネットワークアーキテクチャ

2.1 ネットワークモデル

本論文にて対象とする ITS ネットワークは、固定ネットワークと無線ネットワークから構成される。固定ネットワークの終端に位置する基地局は、セルと呼ばれる通信領域を管理する。個々の基地局の通信領域は比較的狭く、特定地点での通信を目的とする“スポット型”と、連続的な通信を提供するために複数のセルを連続的に並べた“区間連続型”⁸⁾からなるネットワーク構成とする。区間連続を構成する基地局からなるネットワークをサブネットと呼び、MR によって管理される単位とする。また、サブネット中に1つの代表基地局を想定し、他サブネットとの情報交換などを行う。区間連続の領域は、離散的に配置されており、結果として移動端末はその移動とともに、あるサブネットから別のサブネットへと移動を行いながら、固定ネット

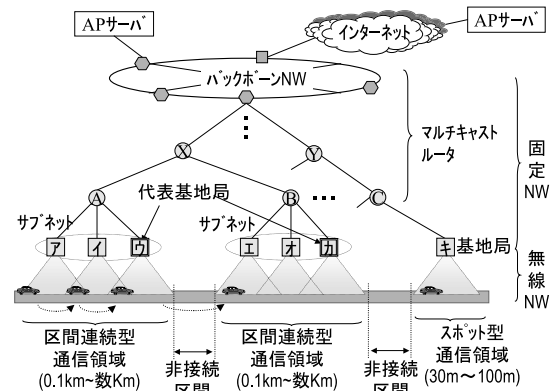


図1 ITS ネットワークモデル
Fig. 1 ITS network model.

ワーク上のサーバに断続的にアクセスを行う(図1)。

2.2 ネットワーク構成

固定ネットワークと無線ネットワークからなる異種ネットワークにおいては、それぞれのネットワーク特性の違い(信頼性、転送性能など)により、固定サーバから移動端末までを単一の通信でコミュニケーションを行うことが難しい。このため、無線ネットワークと、固定ネットワーク上での転送データ長の差を、固定ネットワークの終端である基地局でデータキャッシュすることにより吸収することで、送信側から受信側へのデータ転送処理の効率化を図り、無線ネットワークのバケットロスなどによるシステム全体としてのトラフィックの増加を抑える。本アーキテクチャを、インダイレクト・マルチキャストアーキテクチャと呼び、以下の2つのネットワークインフラストラクチャを仮定する。

- (1) 固定ネットワークにおいては、IP マルチキャストインフラストラクチャを仮定し、RMTP⁹⁾などのリアルタイムマルチキャスト通信が可能であること。
- (2) 無線ネットワークにおいては、ネットワークレイヤ以上のプロトコルを特定せず、各無線通信メディアに応じたリンクレベルでのマルチキャスト通信が可能であること。たとえば、DSRC の場合には、ARIB STD-T55¹⁾において、リンクレイヤでのグループ同報通信が定義されている。

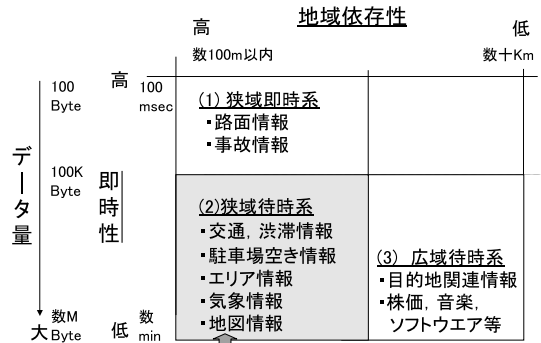
3. ITS におけるマルチキャスト

3.1 データ特性

ITS におけるデータ特性について、ユーザが必要とするデータの空間的、時間的な有効範囲を示す『データの地域依存性』と、データ受信に要求される『即時性』をパラメータとして整理したものを図2に示す。

(1) 狭域即時系：事故発生などの緊急性の高い情報であり、ある特定地域に存在する移動端末に対して、100 msec 程度という非常に高い即時性が求められるという特性を持つ。走行支援システム(AHS-i)で検討されている安全運転支援のための情報提供サービスに該当するものであり、即時的、かつ高信頼なデータ転送が求められる。

(2) 狭域待時系：交通渋滞情報、エリア情報(レストラン情報、ショッピング情報)、地域地図情報など、ユーザの位置、地域に依存し、データの有効期限などの時間的制約を持つ情報であり、狭域即時系に要求されるほどの高い即時性は要求されないものの、移動端末がその地域を通過する間の数分程度でのデータ受信完了が求められる情報である。



提案するマルチキャストグループ管理方式のターゲット

図2 データの地域特性と即時性の関係

Fig. 2 Data locality and required latency.

(3) 広域待時系：情報自体に地域依存性を持たず、情報を受信するユーザの位置と直接的な関係はないため、ユーザは位置によらず任意の場所から情報に対してアクセスを行う。このような特性を持つ情報としては、目的地観光情報や、音楽、ソフトウェアプログラムなどが考えられる。

3.2 適用対象データ特性と、解決すべき課題

狭域待時系に分類される情報は、ユーザの位置に応じた分かりやすいデータ形式での提供が要求され、このためイメージデータ主体の情報となり、比較的データ量が多くなることが予想され、結果として、移動端末は複数の基地局にまたがってデータ受信を行うことになる。これら複数の基地局間を移動した継続的なデータ受信を実現するためのマルチキャスト通信においては、以下に述べる課題解決が必要となる。

(1) 移動にともなう経路切替えによるデータ遅延 個々の端末からのマルチキャストグループへの要求を基地局で個別に処理した場合、基地局から MR への経路制御メッセージ(接ぎ木(graft)/刈込み(prune))が頻繁に発生し、マルチキャスト配信ツリーの更新オーバーヘッドを増加させるだけでなく、更新の間に配信されるデータを受信できず、再送により補完するなどの処理につながり、結果として受信データ転送の遅延を招く。

(2) 移動中のマルチキャストデータロス

移動端末を対象としたマルチキャストにおいては、マルチキャストグループの固定ネットワークにおける代理受信者となる基地局によって移動端末へのデータ転送が行われるが、移動期間中の非接続期間のマルチキャストセッションで処理されるデータはすべて喪失することになる。

これらの基地局へのデータ転送遅延、あるいは、移

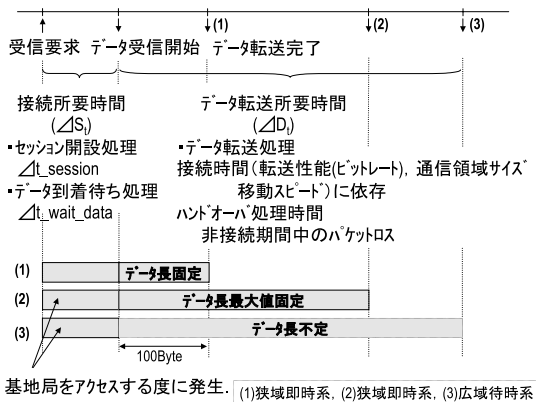


図 3 データ特性における受信性能要件
Fig. 3 Required latency depending on the data.

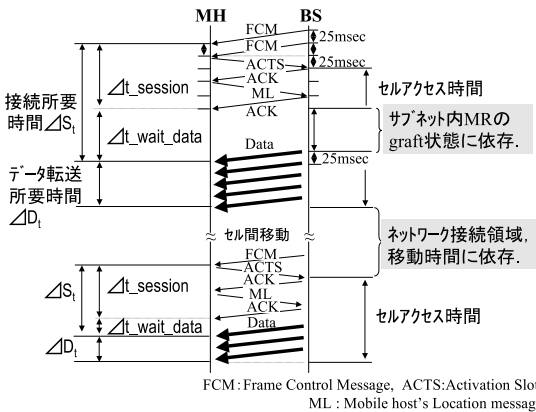


図 4 データ受信時間内訳
Fig. 4 Details of required latency.

動中のパケットロスの発生により、結果として、移動端末におけるデータ受信効率が低下する。

3.3 課題解決に対する提案

先に分類したデータの即時性、地域依存性について、データ転送時間を決定する要因につき整理したのが図 3 である。複数の基地局にアクセスしてデータ受信を行う移動端末におけるデータ受信効率の向上を図るには、要求後データが到着するまでの待ち時間 Δt_{wait_data} の短縮と、基地局間移動にともなうデータロスの削減が効果的であると考えられる。 Δt_{wait_data} 時間は、データ転送元から基地局までのマルチキャスト配信経路状態に大きく依存するため、移動先サブネット内で MR に対して事前に Join リクエストを行い、マルチキャスト配信経路を確立することにより、移動後に Join リクエストを発行することによるデータ転送遅延を削減することができる。また、これにより、基地局でデータのプリフェッチ、キャッシングを行うことで、基地局間の移動期間中のマルチ

キャストデータロスを防ぐことができる(図 4)。
本論文における提案は、ある特定地域内の同一マルチキャストグループに属する移動端末がアクセスする基地局を、固定ネットワークにおける IP マルチキャストの終端に位置する代理ノードと見なし、この代理ノードの集合を仮想的なグループとして扱う基地局マルチキャストグループとして定義することである。これにより、それぞれの移動端末からのマルチキャストグループへの参加、配信要求を、基地局マルチキャストグループ単位の要求とし、基地局で事前に代理処理すること(Advanced Join 方式)によって、メッセージトラフィックの削減を図り、効率的なグループ管理を行うことで、基地局におけるマルチキャストデータの効率的な受信を実現し、移動端末におけるデータ受信効率の向上を図る。

4. 移動を考慮したマルチキャストグループ管理 (Advanced Join 方式)

4.1 基地局マルチキャストグループ

基地局マルチキャストグループは、移動端末からのマルチキャストグループへの参加要求 (Join message) を、その端末に代わり MR に対して発行し、かつ、MR からマルチキャストデータを受信し、移動端末へのデータ転送を行う基地局の集合である。また、各サブネット内に存在する代表基地局が、サブネット間をまたがって構成される基地局マルチキャストグループの制御メッセージを管理することで、移動端末のサブネット間移動にともなう基地局マルチキャストグループのメンバ更新を行う。

Advanced Join 方式は、基地局マルチキャストグループの管理メッセージ方式であり、端末の移動に対して事前に、かつ代理にメッセージを処理する Advanced Proxy Join 方式と、メッセージの基地局マルチキャストグループ単位による統合管理方式である Advanced-Grouped Proxy Join 方式から構成される。

4.2 基地局マルチキャストグループ管理メッセージ

固定ネットワークにおけるマルチキャストグループ管理プロトコルである IGMP¹⁰⁾を基本として、端末の移動にともなうアクセス先基地局の変化に対応するためのマルチキャストグループ管理メッセージを定義する。

(1) 端末から基地局へのマルチキャストグループ参加、データ配信要求メッセージ

(a) Join message: 移動端末から基地局に対してリクエストされるマルチキャストグループ参加要求メッセージであり、アプリケーションからは、1 度だ

け明示的にグループ参加のリクエストが行われる。

(b) MH (Mobile Host) Location message (以後, ML): 移動端末から基地局に対して送付される位置通知メッセージ。各端末は、基地局が管理するセルに進入した際、要求するデータの packet 番号を本メッセージ内に指定して、マルチキャストデータの配信要求を行うことにより、マルチキャストグループへの継続参加の意思を示す。各セル内でのデータ転送の開始は、同一マルチキャストグループに属し、セルに最初に進入した端末から指定された packet 番号から開始され、すでにデータ転送が開始されている場合には、後からそのセルに移動してきた端末からの配信要求は無視される。

(c) Advanced Join message (以後, AJ): 区間連続型セル配置構成における移動先基地局への事前 Join 要求メッセージ。端末は、隣接するセルが重なる通信区間において、次に移動するセルを管理する基地局に対して、移動前に直接 Join message を発行する。
 (2) 基地局から MR へのマルチキャストグループ参加要求メッセージ

(a) Proxy Join message (以後, PJ): ML を受信した基地局が、移動端末の代理としてマルチキャストグループに参加し、MR に対してデータ送信を要求するためのメッセージ。

(b) Advanced Proxy Join message (以後, APJ): 移動端末の移動先基地局が、事前に、かつ、代理にマルチキャストグループに参加し、MR に対してデータ配信を要求するためのメッセージ。本メッセージは、端末からの AJ、後述する本研究の代表基地局からの APsJ、サブネット内代表基地局からの PsJ を受信した際に、各基地局が MR に対して発行するメッセージであり、これによりマルチキャストデータの受信を開始する。

(3) 基地局間のマルチキャストグループ管理メッセージ

(a) Advanced Pseudo Join message (以後, APsJ): 代表基地局が移動端末からの ML を受信し、サブネット間の移動を検知した際に、移動予測先サブネット内の代表基地局 に対して発行するマルチキャストグループ事前参加要求メッセージ。

(b) Pseudo Join message (以後, PsJ): APsJ を受け取った代表基地局が、サブネット内基地局に対して APJ の発行要求を行うためのメッセージ。

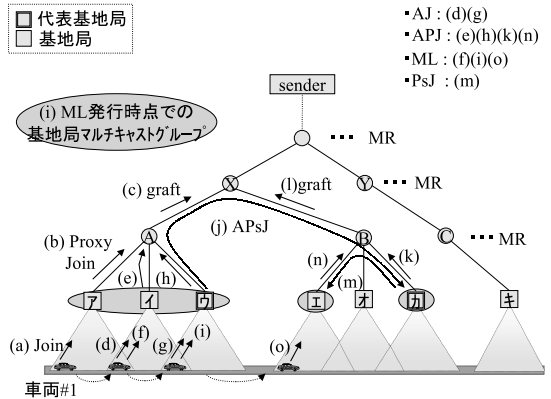


図5 Advanced Proxy Join 処理フロー
 Fig. 5 Process of Advanced Proxy Join message.

4.3 Advanced Proxy Join 方式処理フロー

前節で定義した各メッセージにつき、移動端末の移動に応じた処理の流れを示す。

図5において、車両#1は最初に1度だけ Join message (a) を通知し、以後、基地局を移動する際には AJ (d)(g) と ML (f)(i)(o) を通知している。各基地局が発行する APJ は、セルの構成に依存して以下の2種類のタイミングが存在する。

(1) サブネット内の連続したセル間移動の際の端末からの AJ 受信時

区間連続型サブネット内セル間の移動を行う際、端末は次に通信する基地局に対して、移動前に直接 AJ (d)(g) を発行することができる。このメッセージを受信した基地局は、まず、対応するマルチキャストグループへの Join 状況を確認し、Join していない場合には、MR に対して APJ (e)(h) を発行する。すでにマルチキャストグループへ Join している場合には、一定時間内 (インターバルタイム値 Δt_{msg_int}) に移動端末からの AJ、あるいは、ML を受けている限り、APJ を継続して発行する。基地局は ML を受け取ると、セルの中に移動端末が進入してきたことを認識し、無線ネットワーク上マルチキャストデータ送信を始める。

(2) サブネット間移動時における代表基地局からの APsJ, PsJ 受信時

図5において、代表基地局 (ウ)(カ) はサブネット内の進行方向の最後に配置されており、代表基地局 (ウ) が移動端末から ML を受け取った場合には、その端末は別のサブネットへ移動すると認識され、移動先を予測してその移動先のサブネット内の代表基地局 (カ) へ仮 (pseudo) の Join message である APsJ (j) を発行する。APsJ を受けた代表基地局は、AJ 受

本論文においては、移動端末の移動先予測については検討対象外とし、GPSを備えたカーナビゲーションなどにより、移動先基地局を事前に知ることが可能であると仮定する。

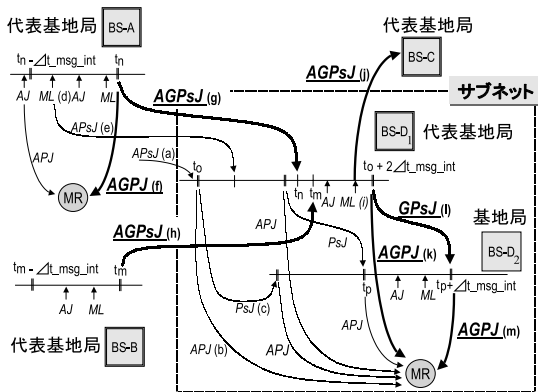


図 6 Advanced-Grouped Proxy Join 処理フロー
Fig. 6 Process of Advanced-Grouped Proxy Join message.

信時と同様の処理を行い、同時にサブネット内の移動予測先に該当する基地局 (エ) へ PsJ (m) を発行する。PsJ を受信した基地局は、AJ 受信時と同様の処理を行う。

4.4 複数端末の移動を考慮した Advanced-Grouped Proxy Join 方式

MR におけるマルチキャスト経路制御は、自らが管理するサブネット上ノード (基地局, 移動端末) に対してマルチキャストデータを転送するかどうか、すなわち、上位 MR に対する graft/prune 発行の必要性の有無を、一定時間内のサブネット内のいずれかのノード (基地局, 移動端末) からの Join message の有無により判断しており、そのリクエストを発行した個々の移動端末を識別して管理しているわけではない。このため、各 MR に対する APJ, あるいは基地局間での APsJ は、一定期間内 (インターバルタイム値: Δt_{msg_int}) に発行されるメッセージを統合して処理することが可能である。

Advanced Proxy Join 方式における管理メッセージの基地局, 代表基地局による統合方式を, Advanced-Grouped Proxy Join 方式と呼び, 以下の 3 種類のメッセージにより処理する (図 6)。

(1) MR への APJ を, 基地局, 代表基地局がそれぞれ統合して処理する Advanced-Grouped Proxy Join message (以後, AGPJ)。

AGPJ は, 代表基地局においては, AJ, ML と後述する AGPsJ の統合メッセージ (f) (k) であり, 基地局においては AJ, ML と後述する GPsJ の統合メッセージ (m) であり, とともに APJ 発行後にセットされるタイムインターバルごとに発行される。

(2) サブネット間移動の際の代表基地局への APsJ を, 代表基地局が統合して処理する Advanced-

Grouped Pseudo Join message (以後, AGPsJ)。

AGPsJ は, 代表基地局における APsJ の統合メッセージであり, 次の 2 つのタイミングで処理される。

- 複数 ML を統合する場合 (g) (h) には, タイマインターバルごとに発行される。
- 複数 AGPsJ と ML を統合する場合 (j) には, 同一マルチキャストグループに属する端末から ML を受信した時点で発行される。

(3) 代表基地局から基地局への PsJ を, 代表基地局が統合して処理する Grouped Pseudo Join message (以後, GPsJ)。

GPsJ は, 代表基地局における複数 PsJ の統合メッセージ (l) であり, タイマインターバルごとに発行される。

4.5 Advanced-Grouped Proxy Join 方式処理フロー

(1) 代表基地局での APsJ 受信処理

代表基地局 (BS-D₁) は, 他の代表基地局から APsJ (a) を受信した際, まず, 自サブネットを管理する MR に自らが Join しているかどうかを確認し, Join していない場合には, APJ (b) を発行し, タイマをセットする (t_o)。次に, APsJ (a) にて指定された端末の移動予測先基地局 (BS-D₂) に, APJ の発行要求である PsJ (c) を発行する。

(2) 移動先基地局への APsJ 送信処理

代表基地局 (BS-A) は, 移動端末から ML (d) を受信した際, その端末が別のサブネットへ移動するものと判断し, その時点で移動端末の移動先基地局 (BS-D₂) を予測し, この移動予測先基地局を含むサブネット内の代表基地局 (BS-D₁) へのタイムインターバル内の APsJ 発行履歴を確認し, 発行していない場合には, ただちに APsJ (e) を発行する。

すでに発行している場合には, 次のタイムインターバルが満了した時点 (t_n) で, それまでに移動端末から受信した AJ, ML を統合して, 自サブネットを管理する MR に対して AGPJ (f) を発行するとともに, 移動先代表基地局に対し AGPsJ (g) (代表基地局 BS-B の場合 (h)) を発行し, インターバルタイム値を用いてタイマを再セットする。なお, 2 回のタイムインターバル以内に, 端末からメッセージを受信しなかった場合には, Join 発行履歴, APsJ 発行履歴はクリアされる。

(3) 移動先代表基地局での AGPsJ の受信処理

Join 状態の代表基地局 (APJ (b) 発行後の BS-D₁) が, 他の代表基地局から AGPsJ (g) (h) を受信した場合 (t_n, t_m), これらメッセージの処理は保留され,

以下の2つのタイミングで統合処理される。

- 代表基地局が、移動端末からのML(i)を受信した時点で、次の移動先代表基地局(BS-C)に対して、AGPsJを発行(j)する。
- タイムインターバルが満了した時点($t_0 + 2\Delta t_{msg_int}$)で、(g)(h)に対応するPsJを統合したGPsJ(1)が基地局(BS- D_2)に対して発行される。また、タイムインターバル内に受信したAGPsJ, AJ, MLがAGPJ(k)として統合処理される(BS- D_2 では(m))。

5. シミュレーションによる評価

提案方式の有効性を評価するために、移動端末の移動を格子状道路モデルにおいてシミュレーションを行い、移動端末における以下の項目につき、メッセージ発行のインターバルタイム値： Δt_{msg_int} (秒)、移動端末の発生間隔： $1/\lambda$ (秒)、マルチキャストデータサイズ： $M_DataSize$ (MB)、ノード処理時間： $Node_ProcessingTime$ (msec)をパラメータとして、提案するAdvanced Join方式とSimple Join方式(ML messageを受信した際に、基地局がMRに対してProxy Joinを発行する方式)の比較を行った。

- 端末データ受信率 = 受信データパケット数/全データパケット数
- 端末データ受信経過時間 = 最初のデータパケットを受け取ってから、最後のデータパケットを受け取るまでに経過した時間

5.1 シミュレーションモデル

移動端末は、以下の条件のもとで格子状道路を移動しながらマルチキャストデータを受信する(図7)。

- 道路モデルは、 10×10 の格子状モデルとし、片道1車線の2車線道路とする。
- 各格子(交差点)を中心として、150mの通信セルを3つ連続して配置する。これにより、基本単位となる通信領域は、50mの通信オーバーラップ領域を持つ350mの連続通信領域となる。
- 4区画内に配置された基地局によりサブネットが構成され、1つのMRに接続される。これにより、 10×10 の格子状道路を管理するために、最下位の基地局から最上位のMRまでに4つのMRが存在する5階層ネットワークを構成する。
- 移動端末は、格子状道路の4つの頂点を出発点として、任意に選択された1区画を通過し、出発点と対角線上に位置する頂点へ移動する。
- 移動端末は、発生率 λ のポアソン分布に従い4つの頂点でランダムに発生するものとする。

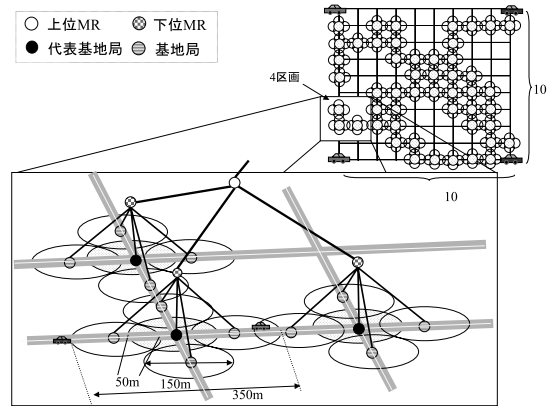


図7 格子状道路シミュレーションモデル
Fig. 7 Simulation model for road traffic.

表1 評価条件

Table 1 Evaluation parameters.

parameter	設定値
有線区間のデータ転送遅延時間	25 msec
無線区間のデータ転送遅延時間	25 msec
有線区間のデータパケットサイズ	1500 byte
無線区間のデータパケットサイズ	300 byte
制御メッセージサイズ	100 byte
同時マルチキャストセッション数	1
通信領域カバー率	50%(ランダムに選択)

- 移動速度は、出発点から目的地までの区間上で一定(36 km/h)とする。
- 基地局からのデータ転送は、移動端末からの要求により開始され、基地局内を車両が通過した後、一定時間後($\Delta t_{mh_confirm}=5$ 秒)に停止する。
- すべての車両は、発生後出発点に進入するまでにJoin messageを発行済みであると仮定する。
- データ有効期間を5分とし、その間、送信元にて繰返しマルチキャスト配信を行う。また、本評価では、移動端末からの再送要求処理は行わない。

5.2 測定パラメータ(表1)

- (1) インターバルタイム値(Δt_{msg_int}):

15秒, 25秒, 35秒, 50秒, 70秒

時速36 km/hで1つのセル150mを走行するとの仮定により、セル通過時間である15秒を最小値とし、セルの重複領域(50m)の通過時間5秒を最小増加単位とする。

- (2) 移動端末の発生間隔($1/\lambda$):

5秒, 8秒, 11秒, 14秒, 17秒, 20秒

主要道路への進入時の平均待ち時間5秒¹¹⁾を最小値とし、信号が青に変化した後の平均発進遅れ3秒¹²⁾を基本増加単位とする。

- (3) マルチキャストデータサイズ($M_DataSize$):

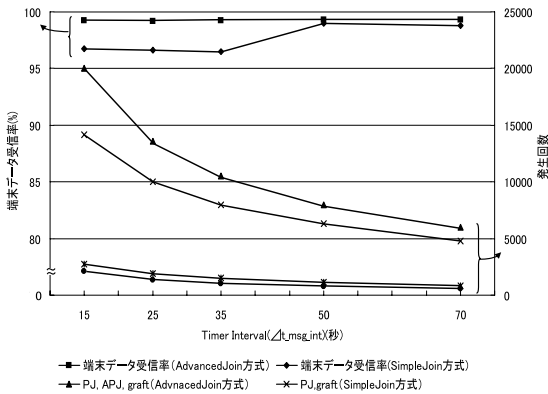


図8 制御メッセージ数比較と、移動端末データ受信効率の関係
Fig. 8 The number of control messages and data receiving ratio.

0.5 MB, 1.0 MB, 1.5 MB, 2.0 MB, 2.5 MB, 3 MB

狭域待時系情報は、数 MB のデータを持つと仮定しており、本評価においては、3 MB を最大値とする。

(4) ノード処理時間 (Node_ProcessingTime):

0 msec, 5 msec, 15 msec, 25 msec

本評価におけるノード処理時間は、制御メッセージ処理と、データ転送処理によるものであり、それぞれインターバルタイマ値と転送データサイズに依存するが、これらの設定値から実際の処理時間を直接求めることはできない。このため、インターバルタイマ値 15 秒、移動端末の発生間隔 (1/λ) 5 秒、データ転送サイズ 1.5 MB の場合において、5 msec から 10 msec 単位で処理時間を増加させることで、ノード処理時間の及ぼす影響を評価する。

5.3 シミュレーション結果についての考察

(1) Δt_msg_int をパラメータとした端末データ受信率、制御メッセージ発行数の比較 (図 8)

【条件】 1/λ=5 秒, M_DataSize=1.5 MB, Node_ProcessingTime=0 msec

Advanced Join 方式では、基地局マルチキャストグループに属する端末の移動に応じて経路制御メッセージを発行することで基地局のデータ受信を制御するため、Δt_msg_int 値に依存せずほぼ一定した端末データ受信率 (約 99%) を得ている。一方、Simple Join 方式の場合には、端末の移動後に基地局が経路制御メッセージ (PJ) を発行するため、Δt_msg_int 値を長くすることにより、基地局におけるデータ受信時間が長くなるため、端末データ受信率が上昇している。次に、制御メッセージ数の変化に着目すると、基地局-MR 間の制御メッセージ数、基地局間メッセージ (APsJ,

表 2 データトラフィック、メッセージトラフィック比較
Table 2 Total data traffic.

Δt_msg_int (秒)	15	25	35	50	70
データトラフィック比	1	1.09	1.14	1.17	1.19
メッセージトラフィック比	1	0.68	0.53	0.40	0.30
全データトラフィック比	1600	1703	1763	1795	1815

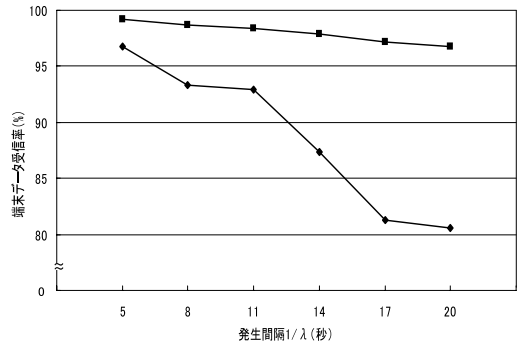


図9 移動端末の発生間隔 (1/λ) (秒) ごとの端末データ受信率
Fig. 9 Data receiving ratio (1/λ).

PsJ) 数は、Δt_msg_int 値が長くなるに従い減少していることが確認できる。このため、Δt_msg_int 値が長いほどメッセージトラフィックが減り、効率的であるといえるが、逆に、無駄にデータ転送を行うため、転送データトラフィックは増加する。ここで、データトラフィックとは、データパケット数とデータパケットサイズの積を意味する。

表 2 は、送信者から MR を経由して BS までに転送されたデータパケット数、制御メッセージ数について、Δt_msg_int 値 15 秒を係数 1 とした場合の比較値を示したものである。また、データパケットサイズ 1500 byte、制御メッセージサイズ 100 byte をこれら比率にて集計したものが、全データトラフィックとして表現されている。結果として、Δt_msg_int 値が 15 秒の場合が最も全データトラフィックが少なく、端末データ受信率に対する最も効率的なインターバルタイマ値であるといえる。なお、移動端末はセルに進入する際、制御メッセージ (AJ あるいは、ML) により移動を通知し、セルを通過する期間のデータ配信の継続を基地局に要求する。このため、移動端末へデータ転送を行う基地局へのマルチキャスト経路の更新は、移動端末のセル通過時間を最小単位として行えば十分であり、逆に、セル通過時間より短いインターバルを設定することで必要以上にメッセージ統合処理が行われ、各ノードの処理オーバーヘッドを増大させる結果となる。これらのことから、本評価においては、時速 36 km/h での 1 セル (150 m) 通過時間 15 秒をイン

表3 端末データ受信率と有効期間内データ受信完了端末数
Table 3 MH data receiving data ratio ($M_DataSize$).

$M_DataSize$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Advanced Join 方式						
データ受信率%	100	100	99.2	97.1	93.0	89.0
受信完了端末数	594	521	267	64	8	1
全通過台数比%	99	87	45	11	1	0.2
Simple Join 方式						
データ受信率%	100	99.6	96.7	91.5	82.4	78.3
受信完了端末数	589	359	71	6	0	0
全通過台数比%	98	60	12	1	0	0
両方式差分						
データ受信率差%	0	0.4	2.5	5.6	10.6	10.7
受信完了端末数差	5	162	196	58	8	1
全通過台数比差%	1	17	33	10	1	0.2

表4 ノード処理時間 (msec) に応じた端末データ受信率の変化
Table 4 MH data receiving ratio (node processing time).

ノード処理時間	0	5	15	25
データ受信率 (%)	99.2	98.5	95.9	90.5

データ受信率, データ受信経過時間の比較 (表3, 図10)
【条件】 $\Delta t_msg_int=15$ 秒, $1/\lambda=5$ 秒,

$$Node_ProcessingTime=0 \text{ msec}$$

データサイズの変化に対する移動端末データ受信率の差は, 1.5 MB で 2.5%, 3 MB の場合に最大 10.7% である. また, 全通過車両台数 (600 台) に対する有効期間内でのデータ受信完了端末数比では, 1.5 MB の場合に最大 33% の差が確認できる (表3). この結果をもとに, 1.5 MB のデータ受信完了移動端末の受信経過時間分布を調べた結果, Advanced Join 方式の場合には約 48% (データ受信完了端末台数 555 台のうち 267 台) が 5 分以内にデータ受信を完了しているの比べ, Simple Join 方式の場合には約 18% (400 台のうち 71 台) しか受信が完了していない (図10). Advanced Join 方式では, 移動端末が実際に基地局にアクセスする前に, 移動先基地局が代理にマルチキャストデータの配信要求 (APJ) を行うことによって効率的なデータ受信が行われるため, データキャッシュ効率 (キャッシュデータサイズ/全データサイズ) は, Simple Join 方式の 58.3% に比べて 94.8% と非常に高い. このため, 各基地局は, 移動端末が要求したパケットを自基地局内で配信できる確率が高くなり, 結果として, 移動端末にとっては, データ受信完了までの経過時間が短縮されることになる.

(4) $Node_ProcessingTime$ をパラメータとした端末データ受信率の変化 (表4)

【条件】 $\Delta t_msg_int=15$ 秒, $1/\lambda=5$ 秒,
 $M_DataSize=1.5$ MB

以上の評価は, ノード処理時間を 0 msec として行ったが, ここでは, ノード処理時間を変化させた場合の評価結果を示す. 本提案では, 移動端末から基地局, 基地局から MR という 2 つのセッション処理によってマルチキャスト配信を管理しているが, ノードの処理時間が増加することにより, 基地局がマルチキャストデータを要求後データが到着するまでの時間が増大し, ある期間内にキャッシュできるデータ量が減少すると考えられる. また, 本提案方式により, あらかじめ基地局がデータをキャッシュしている状態においても, 移動端末からの配信要求の基地局上処理により, その間も移動する端末のセル内での通信時間が減少し, 受信データ量が減ることで, 端末のデータ受信率低下

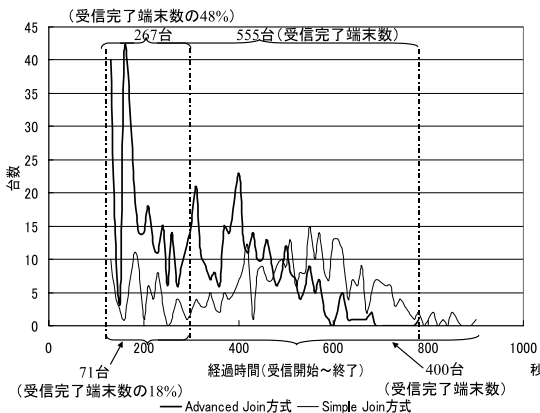


図10 移動端末のデータ受信完了までの経過時間分布
Fig. 10 Elapsed time for data receiving (1.5 MB data).

ターバルタイム値の最小値と考え, 以後の評価・考察は, Δt_msg_int 値を 15 秒として行う.

(2) 移動端末の発生間隔 ($1/\lambda$) (秒) をパラメータとした端末データ受信率の変化 (図9)

【条件】 $\Delta t_msg_int=15$ 秒, $M_DataSize=1.5$ MB,
 $Node_ProcessingTime=0$ msec

移動端末の発生間隔 ($1/\lambda$) が 5 秒の場合の両方式の差は, 0.3% ~ 2.8% となっているが (図8), 発生間隔を長くすることにより, 道路モデル上に存在する移動端末の密集度が下がり, 他の移動端末があらかじめ配信要求を行っているという状態が発生しにくくなる. このため, Simple Join 方式での端末データ受信率の減少が顕著に表れているが, Advanced Join 方式では移動予測先で事前に APJ, AGPJ を発行してマルチキャスト配信ツリーを構築し, データのプリフェッチ, キャッシュを行うことにより, 他の移動端末の存在に依存せず安定したデータ受信率が確保されており, 提案方式の有効性を確認することができる.

(3) $M_DataSize$ をパラメータとした端末デー

につながる。これらを解決するために、データ転送遅延を考慮した基地局マルチキャストグループにおけるデータキャッシュ管理、基地局-移動端末間の再送処理などが今後の検討課題となる。

6. おわりに

本論文では、ある限られた地域内で、かつ、制限された時間内でのマルチキャストデータ受信において、移動端末の移動に応じた基地局マルチキャストグループの制御を行う Advanced Join 方式を提案し、この方式によって基地局におけるマルチキャストデータのプリフェッチ、キャッシュによるデータ受信の効率化により、移動端末におけるデータ受信効率の向上が図れることをシミュレーション結果により確認した。今後は、データトラフィックの削減、あるいは、データ受信率の向上、データ受信経過時間の短縮などを目的として、基地局マルチキャストグループの特性を活かしたデータキャッシュ管理、再送制御アルゴリズムなどの検討を行い、移動端末の密集度に対する評価（移動速度、発生率など）により、ITS ネットワークモデルにおけるマルチキャストの有効性を示す具体的な条件の明確化を図っていく予定である。

謝辞 シミュレータの検討に際し、多くの助言をいただいた静岡大学情報学部奥田隆弘君に感謝いたします。また、研究を進めるにあたり、日頃ご指導いただく通信・放送機構横須賀 ITS リサーチセンター高橋局長、久保田グループリーダーに感謝いたします。

参考文献

- 1) 電波産業会 (ARIB): 有料道路自動料金収受システム ARIB STD-T55 1.1 版 (1998).
- 2) ITS 情報通信システム推進会議:
<http://www.itsforum.gr.jp/> (2000).
- 3) Bob, Q., Stardust, F. and Kevin, A.: IP Multicast Applications: Challenges and Solutions, <draft-ietf-mboned-mcast-apps-01.txt> (1999).
- 4) George, X. and George, C.P.: IP Multicast for Mobile Hosts, *IEEE Communications Magazine*, Vol.35, pp.48-54 (1997).
- 5) Arup, A. and Badrinath, B.R.: A Framework for delivering multicast messages in networks with mobile hosts, *ACM/Baltzer Journal of Mobile Networks and Applications*, 1 (II), pp.199-219 (1996).
- 6) 撫中達司, 井上 淳, 黒田正博, 水野忠則, 渡辺 尚: Advanced Join によるマルチキャストグループ管理方式の提案, 情報処理学会研究報告 2000-ITS-2, pp.49-54 (2000).
- 7) Tatsushi, Y., Tatsuji, M., Jun, I., Masahiro,

K., Tadanori, M. and Takashi, W.: Advanced Group Join mechanism for multicast group management in DSRC-based ITS networks, *MoMuC 2000*, pp.3B-2-1-3B-2-6 (2000).

- 8) 原田博司, 前野隆宏, 長尾康之, 久津木研二, 青木 豊, 清水宗之, 渡辺彰彦, 大村純夫, 松生雅信, 小椋正紀, 松尾 望, 館田良文, 加藤博光, 徳田清仁, 藤瀬雅行: ミリ波帯無線信号を用いた ROF 路車間通信システムにおけるシステム構成方法に関する一検討, 信学技報, ITS2000-10 (2000).
- 9) John, C.L. and Sanjoy, P.: RMTP: A Reliable Multicast Transport Protocol, *IEEE INFOCOM '96*, pp.1414-1424 (1996).
- 10) Steve, D.: Host Extensions for IP Multicasting, RFC1112 (1989).
- 11) 交通工学研究会: 交通工学ハンドブック, 技報堂出版 (1998).
- 12) 高木 相, 藤木澄良, 谷田正成, 鈴木伸夫: 道路交通のダイナミクス (III) - 交差点で生じる車列形成のダイナミクス, 情報処理学会研究報告 2000-ITS-2, pp.31-36 (2000).

(平成 12 年 11 月 28 日受付)

(平成 13 年 5 月 10 日採録)



撫中 達司 (正会員)

1986 年東京電機大学大学院理工学研究科数理学科修士課程修了。同年三菱電機 (株) 入社。以来、OS/ネットワークの開発に従事。1999 年より、通信・放送機構横須賀 ITS リサーチセンターに出向中。ITS ネットワーク、モバイルコンピューティングに関する研究に従事。IEEE 会員。



山本 達史 (学生会員)

2000 年静岡大学情報学部情報科学科卒業。現在、同大学大学院情報学研究科情報学専攻在学中。ITS, モバイルコンピューティングに興味を持つ。



井上 淳 (正会員)

1991 年青山学院大学理工学部機械工学科卒業。同年三菱電機 (株) 入社。現在、同社においてモバイルコンピューティングの研究開発に従事。



黒田 正博(正会員)

1980年東京工業大学大学院総合理工学研究科システム科学科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。以来、OS/ネットワーク開発に従事。1989年カリフォルニア大学サンタバーバラ校大学院計算機科学科修了。2000年静岡大学大学院博士課程後期修了。工学博士。現在、同社において次世代の通信ネットワーク・モバイルコンピューティングの研究開発に従事。IEEE会員。



水野 忠則(正会員)

1968年名古屋工業大学経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。1993年静岡大学工学部情報知識工学科教授。現在、情報学部情報科学科教授。工学博士。情報ネットワーク、プロトコル工学、モバイルコンピューティングに関する研究に従事。著者としては「プロトコル言語」(カットシステム)、「コンピュータネットワーク概論」(ピアソン・エデュケーション)等がある。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。当会フェロー。



渡辺 尚(正会員)

1982年大阪大学工学部通信科卒業。1984年同大学大学院博士前期課程修了。1987年同博士後期課程修了。同年徳島大学工学部情報工学科助手。1990年静岡大学工学部情報知識工学科助教授。現在、同大学情報学部情報科学科教授。1994年文部省在外研究員(カリフォルニア大学アーバイン校)。工学博士。計算機ネットワーク、分散システム、マルチエージェントシステムに関する研究等に従事。1997年情報処理学会モバイルコンピューティング研究会幹事。訳書「計算機設計技法」等。IEEE会員。