

## iDANS : スマートフォンを用いた 車両間アドホックネットワークにおける 位置情報に即した情報流布基盤

澤田 暖<sup>†1</sup> 佐藤 雅 明<sup>†2</sup>  
植原 啓 介<sup>†1</sup> 村井 純<sup>†1</sup>

本稿では、車載が容易なスマートフォンを用いて構築された、車両間アドホックネットワークにおいて、位置情報に即した情報の流布を行うプラットフォームである「iDANS」を構築した。iDANS は特定エリア内の車両同士で、迅速かつ多くの情報を共有することを目的としている。目的を達成するために、iDANS は走行中の場所に応じて、最も流布すべき情報を優先的に流布する機構を備えている。また、位置情報を正確に取得出来ない端末を中継ノードとして有効利用することも可能としている。iPhone を用いた iDANS の実機動作検証とシミュレーションによる効果測定の結果、iDANS は特定エリア内の車両間で多くの情報を迅速に流布する上で有効であることを確認できた。

### iDANS: A Location Based Information Dissemination Platform for In-vehicle Smartphones in VANETs

DAN SAWADA,<sup>†1</sup> MASAOKI SATO,<sup>†2</sup> KEISUKE UEHARA<sup>†1</sup>  
and JUN MURAI<sup>†1</sup>

In this paper, iDANS, which is a location based information dissemination platform for smartphones in vehicular ad-hoc networks (VANETs), is proposed and evaluated. The primary objective of iDANS is to disseminate and share information swiftly between vehicles within a designated area. In order to meet the demands, iDANS disseminates the information most relevant to the current location on a priority basis. It also makes use of devices which can't acquire the current location accurately as relay nodes. As a result of operation tests and simulations, iDANS was verified that it is effective in disseminating information swiftly among vehicles within a designated area.

### 1. 背景と目的

近年、モバイル通信技術の発展と共に自動車の情報化が様々な面で急速に進んでおり、G-BOOK<sup>1)</sup> に代表されるような、渋滞情報など「空間上の場所」に関する様々な情報を生成し、共有するサービスが実用化され、広まりつつある。一方で、そのようなサービスの利用はインフラ（通信網、サービス提供者）に完全に依存しているという側面もある。

そんな中、既存インフラに依存すること無く、車両間の直接通信（車車間通信）によって、自律分散的に情報を生成し、共有する基盤に関する研究開発が世界各地で進められている。

一方で近年、スマートフォンが急速に発展しており、世界的に注目され、普及が進んでいる。スマートフォンは複数のセンサや通信機構を備えており、また、マルチメディアコンテンツを扱いやすいユーザインターフェースを持っている。車両間で情報共有を行う上での車載通信端末として容易に活用可能である。さらに、スマートフォンは携帯電話の一種であるため、自動車以外の移動体（歩行者や自転車）等への応用も可能である。

そこで本稿では、スマートフォンを用いて構築された車両間アドホックネットワーク上で、情報を流布するためのプラットフォーム、「iDANS」の設計と構築を行うことを目的とする。

### 2. 既存の車両間情報流布手法

車両間アドホックネットワークでは、ネットワークを構成するノード（車両）は常に移動する状態にあるため、リンク状態やトポロジが常に変化し得る。よって、ノード間の通信可能時間や帯域などのネットワーク条件は非常に限られていると言える。その限られたネットワーク環境下で、効率良く情報を流布するためには、目的に応じて送出する情報を選別する必要がある。本節では、既存研究における情報流布の手法を考察する。

表 1 に既存研究における情報流布の仕組みの中で、流布する情報を選別するに当たってのキーとなる要素の一覧を示す。

SOTIS<sup>2)</sup> は、道路セグメント長と車速から流布する情報を選別するものである。シミュレーションによって、高速道路を走行する車両間で効率的に交通情報を共有できることが確

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学環境情報学部

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

Graduate School of Media and Governance, Keio University

表 1 情報の選別におけるキー要素

流布手法	キー情報
SOTIS	道路セグメント長・車速
RMDP	受信情報・車速
センタレスプローブ情報システム	流布中心点(緯度・経度)
PeerTIS	道路セグメント

かめられているが、一方で、取り扱うことのできる情報は「道路」に紐付けられているものに限られてしまう。

RMDP<sup>3)</sup>は受信情報と車速に基づき、渋滞時でも効率良く後続車に交通情報情報を流布することを可能としている。ブロードキャスト時にパケットの衝突を防ぐ効果を発揮することが認められている一方で、流布を行う際に「場所」は一切考慮されていない。

センタレスプローブ情報システム<sup>4)5)</sup>では、各々の情報に流布中心点(緯度・経度)を設定し、その地点を中心とする円形エリア内で優先的に情報の流布を行うよう設計されている。この優先順位付けを行うことで、円形エリア内で迅速に情報を流布することを可能としている。

PeerTIS<sup>6)</sup>は、近年急速に発展している3G携帯電話網上にCAN<sup>7)</sup>をベースとしたP2Pオーバーレイネットワークを構築し、その上で効率的に車両間で交通情報の共有が行えるよう、道路セグメント情報などを加味した独自のP2Pアーキテクチャを提案している。P2Pオーバーレイによって車車間通信を行うアプローチは斬新だが、利用がインフラの有無に依存している。

### 3. iDANS の設計に向けて

自動車を運転するときに役立つ渋滞情報や危険地点情報などは、発生から即時に多くの車両に流布させることが望ましい。そこで、iDANSはそのような情報の流布を想定し、情報が有用となるエリア内で、可能な限り多くの車両に対して、迅速に流布することを目標とする。

この要件を達成するために、iDANSでは、流布中心点(緯度・経度)と流布半径で示された円形エリア内で情報の流布を行う、センタレスプローブ情報システムの情報流布手法<sup>4)</sup>をベースに設計する。図1にそのイメージを示す。このような、位置情報をキーとした情報流布では、エリア毎に関係のある情報を優先的に送出するため、ランダムな流布手法などと比較し、より迅速な情報流布をもたらすことが可能である。また、位置を表現するにあたって緯度と経度を利用することで、道路上の混雑情報などに留まらない、より幅広い種類の情報

を互いに生成し、共有することが可能である。



図 1 円形エリア内での情報流布

iDANSの詳細な設計を行う前に、流布中心点と流布半径に円形エリア内での流布を行うにあたって不可欠な、車載スマートフォンのアドホック通信性能や位置情報測位性能を把握する必要がある。そこで、これらを測定するための事前検証実験を行った。

#### 3.1 事前検証実験

事前検証実験では、スマートフォンを車載した2台の車両を用いて、Wi-Fiを用いたアドホック通信時のパケットロス率とスループットを測定した。また、GPSの電波状況が良い場所と悪い場所において、車載スマートフォンの位置情報センサの精度を測定した。

##### 3.1.1 パケットロス率

最初に、2台のノード間の距離が常に移り変わる中でのアドホック通信における、パケットロス率を測定した。その際、車内における端末の置き場所がパケットロス率に及ぼす影響も併せて測定した。なお、2台の車載デバイスにはiPhone 3GS<sup>8)</sup>とiPhone 4<sup>9)</sup>をそれぞれ用いた。

実験の結果、安定した通信(パケットロス率10%未満)が得られるのは、2台のノードが

共に車両のダッシュボード上に固定され、互いに 100m 圏内にある場合のみであることがわかった。また、2 台の間の距離が 100m を超えたり、デバイスが助手席の上に置かれた場合などは、パケットロス率が急激に高くなってしまいうこともわかった。

### 3.1.2 スループット

スループットの測定は、2 台のノード間の距離を固定した上で、WiFi Bench<sup>10)</sup> という iOS アプリを用いて行った。WiFi Bench は、スループット測定するためのオープンソースアプリケーションである iperf3 を iOS に移植したものである。なお、iperf におけるクライアントノードには iPhone 4<sup>9)</sup> を、サーバノードには iPad<sup>11)</sup> を用いて、クライアントからサーバに向けた通信のスループットを測定した。

2 台間の距離を 50m から 250m まで 50m 毎に変化させて測定した結果、50m では 6.44Mbps であり、安定通信が望める最大距離である 100m では 5.24Mbps であった。

### 3.1.3 位置情報測位精度

位置情報センサを内蔵するスマートフォンの多くは、GPS の電波の他、携帯電話基地局の情報や Wi-Fi の基地局の情報を基に位置情報の測位を行っている。この実験では車載スマートフォンを用いて、GPS の電波が良好な場所とそうでない場所においてそれぞれ位置を測位し、測位結果と実際の位置の誤差を計測した。なお、車載デバイスとしては iPhone 4<sup>9)</sup> を使用し、車両のダッシュボード上に固定した上で計測を行った。

測定の結果、良好な GPS の電波が得られる場所<sup>\*1</sup>では最大誤差が 10.9m であったが、良好な GPS の電波が得られない場所<sup>\*2</sup>では、最大誤差が 953m であった。

### 3.1.4 事前検証実験の考察

車載した iPhone を用いて、アドホック通信性能と位置情報測位性能を測定した結果から、車載 iPhone に関して以下の 3 点が言える。

- 車載 iPhone は設置場所によってアドホック通信性能に大きな違いがある
- 車載 iPhone は GPS の信号が弱いと誤った位置情報を出力してしまう
- 取得した位置情報が不正確でも、通信は可能である

## 3.2 設計アプローチ

事前検証実験より、車載スマートフォンは場合によって位置情報を正確に取得できないこ

\*1 障害物のない、見通しのよい道路上

\*2 トンネル内部

とわかった。不正確な位置情報の測位を行うノードの存在は、情報を生成し、特定の円形エリア内での情報の流布を行う上で望ましいとは言えない。一方で、それらノードは位置情報を正確に取得出来なくとも、情報の送受信を行うことは可能である。そこで iDANS では、位置情報を正確に取得できないノードを有効活用するために、位置情報を正確に取得できないノードを情報の中継役に専念させることとする。

具体的には、デバイスが位置情報を正確に測位出来る時には、現在地の位置情報に基づいて、流布中心点が最寄りの情報を優先的に流布する。一方で、デバイスが位置情報を正確に取得できない時には、最新受信情報がその場所で流布すべき情報であるとの前提の下、位置情報を考慮せずに、受け取った情報を再度送出することで、ノードからノードへ情報の中継を行う。

## 4. 設 計

本節では、iDANS の詳細な設計について述べる。

### 4.1 情報流布ストラテジ

前節で述べた通り、iDANS は位置情報の取得精度に応じて異なるストラテジに基づいて情報の流布を行う。位置情報が正確に取得できる時には「位置情報に基づく流布」を行う。一方で、位置情報が正確に取得できない場合には、現在地と流布中心点の距離に誤差が生じてしまうため、エリア内での迅速な流布の効率を低下させてしまうことも考えられる。だが、それらノードによる情報の送受信は可能であるため、その特性を利用し、位置情報を正確に取得できないノードは「受信時刻に基づく流布」を行い、データの中継を行う。それぞれの流布ストラテジの詳細を表 2 に示す。

表 2 iDANS における流布ストラテジ

	位置情報に基づく流布	受信時刻に基づく流布
作動条件	位置情報が正確な時 (誤差 11m 未満)	位置取得が不正確な時 (誤差 11m 以上)
流布データの選択手法	現在地と流布中心点の距離が流布半径より短く、有効期限内の情報	受信履歴があり、有効期限内の情報
流布の優先順位付け	距離の短い順に $n$ 個 <sup>*1</sup> のみ流布	受信履歴の新しい順に $n$ 個 <sup>*1</sup> のみ流布

位置情報に基づく流布では、データベースに含まれる有効期限内の情報がすべて参照され、

\*1 1 回の送出シーケンスで流布する情報の数 (アプリによって指定)

各々の流布中心点と現在地の距離が短い順に並び替えられる。一方で、受信時刻に基づく流布では、受信記録を持ち、且つ、有効期限内の情報全てがデータベースから参照され、受信時刻の最新順に並び替えられる。その後、並び替えの上位から指定された個数だけ抜き取られ、流布される。なお、この場合の個数とは、一度の送出シーケンスで流布される情報の個数を示し、各アプリによって指定される。

#### 4.2 データ送信の手法

情報を他車両に情報を伝達する手法として、iDANS では、Wi-Fi によって構築されたアドホックネットワーク上での IP ブロードキャストを利用する。ここで、スマートフォンを用いて情報を流布することを考えた場合、3G 回線や Bluetooth の利用も可能である。しかし、既存インフラに依存すること無く、無作為のノードと効率的に通信することを考えたとき、インフラや帯域、通信プロトコルに制限のある 3G 回線や Bluetooth は不適であるため、iDANS では、Wi-Fi によるアドホック通信を利用する。

#### 4.3 iDANS の構成

iDANS は、Behavior Switcher, Data Selector, Data Sender, Data Receiver, そして Database (DB) の 5 つのモジュールから構成されている。図 2 にその構成を示す。

Behavior Switcher は、車載コンテキストや位置情報などアプリ全体に通知するとともに、Data Selector に取るべき流布形態<sup>\*1</sup>を通知する。なお、ここで述べている車載コンテキストとは、デバイスが車載されているか否かを示すものである。スマートフォンは本来、携帯電話として持ち歩かれるデバイスであるため、必ずしも車載されているとは限らない。iDANS では、車載されていないノードの活用も考慮し、アプリが車載コンテキストに応じて挙動を変更できるよう、設計されている。

Data Selector は、流布形態に基づきブロードキャストすべき情報を DB から選出される。最初に、表 2 で示されている条件に従って DB から合致する情報が検索され、並び替えられる。その上で、一度に送出シーケンスで送出する情報の個数分のみが選出され、Data Sender に渡される。なお、送出する情報の個数はアプリによって指定される。

Data Sender はアプリによって定められた一定の送信間隔毎に Data Selector から受け取った情報を 1 つずつブロードキャストする。Data Selector から受け取った情報をすべて流布し終え場合、Data Selector に送出すべき新たな情報を渡すよう、要求をかける。

\*1 位置情報に基づく流布、または受信時刻に基づく流布

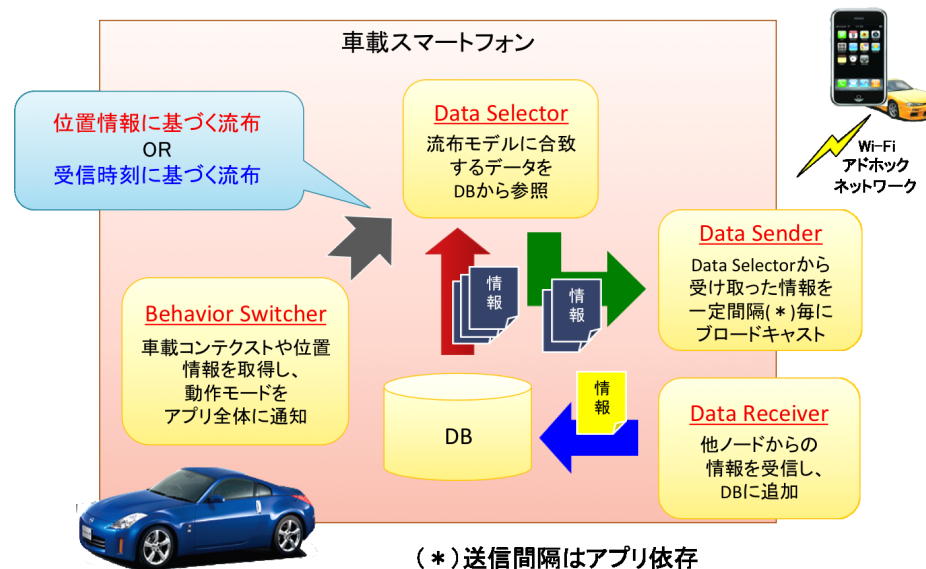


図 2 iDANS の構成

Data Receiver では他のノードからの情報を受信し、DB に登録する。その際、未知の情報を受信した場合、DB には新たなレコードが作成される。一方で、既に登録済みの情報を受信した場合、当該レコードの受信時刻のみが更新される。

## 5. 評価

本稿では、以下の 3 つの評価軸に基づいて、iDANS の評価を行った。

- 位置情報に基づく流布の正常動作
  - 受信時刻に基づく流布の正常動作
  - 特定エリア内で多くの情報を迅速に流布する上での、提案手法の有効性
- 正常動作の検証は実機を用いて行い、提案手法の有効性はシミュレーションによって検証した。

### 5.1 動作検証

本節では、実機を用いて行われた iDANS の動作検証の詳細を述べる。



### 5.1.1 動作検証用アプリ

動作検証を行うために、iDANS の基盤を用いて駐車場の空き情報を車両間で共有するための検証用アプリを iPhone 4<sup>9)</sup> 上の実装した。このアプリでは、ボタンが押されるとその位置に空き駐車スペースがあるものとして DB 登録され、iDANS によって周辺車両にその情報が流布される。また、他ノードから情報を受け取り次第、地図上にマッピングされる。アプリの動作中の画面を図 3 に示す。

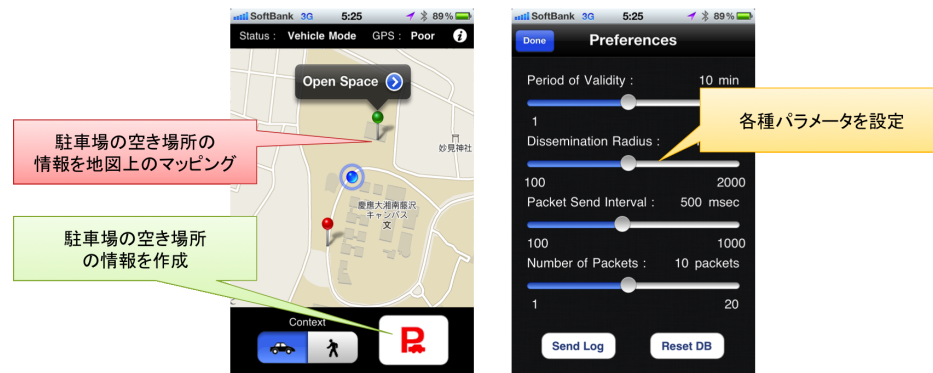


図 3 検証用アプリの動作中の画面

### 5.1.2 動作検証シナリオ

動作の検証は、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) の構内、及びその周辺を走行する車両を用いて行った。検証シナリオの流れを図 4 に示す。最初に、SFC 構内の駐車場から出る青い車両が、検証用アプリを用いて自身の駐車場所を記録する。そして、構内から出る際に、意図的に位置情報の取得を無効にした中継ノードにその情報を渡した後、SFC から走り去るものとする。その後、中継ノードが青い車両の生成した情報を、SFC に向かう赤い車両に渡すことができれば、動作検証は成功となる。

なお、テストで生成される情報の流布半径は 1000m、有効期限は 10 分とし、ブロードキャストの送信間隔は 500ms とした。実際のテスト時には、予め全てのノードの DB に 8 個のダミーデータ<sup>\*1</sup>を登録し、車両ノードが正常に位置に基づく流布を行えるか、また、中継ノード

\*1 流布範囲外の情報を 4 個、有効期限切れの情報を 4 個



図 4 動作検証シナリオ

ドが受信時刻に基づく流布を行えるかを確認した。

### 5.1.3 動作検証の結果

本検証では、全ノードの動作ログの解析することで、iDANS における流布ストラテジの正常な動作の確認を行った。動作ログにはノード毎に、情報の生成 (CREATE)、情報のブロードキャスト (SEND)、情報の受信 (RECEIVE) の 3 種類のイベントに関する履歴が、発生時のタイムスタンプや発生場所などと共に出力される。その出力例を図 5 に記す。

```
// 日時, 現在地の緯度, 同 経度, イベント内容,
// 流布中心点の緯度, 同 経度, 情報生成元ノード ID, 情報生成日時, 有効期限, 流布半径,
// (以下 SEND イベントの場合のみ)
// 流布手法, 流布中心点との距離 or 受信時刻, 流布の優先順位

1292741998,35.389846,139.431530,SEND,
35.389524,139.426760,d626193917a6399c,1292741904,1292742504,1000,
LOCATION,433.9,0
```

図 5 動作ログの出力例

ログを解析した結果、SFC 構内を出る車両から、中継ノードを介して、SFC へ向かう車両に駐車場の空き情報を渡すことに成功したことが確認できた。また、車両ノードでは、データベース内の各情報の流布中心と現在地の距離が精査され、流布範囲内の有効な情報のみがブロードキャストされたことを確認できた。さらに、中継ノードでは受信記録のある、有効な情報のみがブロードキャストされたことを確認できた。

## 5.2 流布ストラテジの有効性の検証

iDANS の提案流布ストラテジが、特定エリア内で多くの情報を迅速に流布する上で、どの程度の効果あるのかをシミュレーションを用いて測定した。

### 5.2.1 シミュレーション概要

シミュレーションは、ヘルシンキの中心部を走行するモバイルノードによる通信を再現できるネットワークシミュレータである、The ONE<sup>12)</sup> を用いて行った。

図 6 にヘルシンキ中心部を模した、シミュレータ内のマップを示す。最初に、マップを 500m 四方のセルに分割し、全 63 セルそれぞれに、その周辺で流布されるべき情報を 25 個ずつ準備した。次に、2005 年末のヘルシンキ市内における全登録自動車<sup>13)</sup> である 204589 台のうち、1%がスマートフォンを車載し、iDANS に基づくアプリを起動しているものと仮定し、マップの面積<sup>\*1</sup>を考慮した上で 168 台の車両ノードをマップ上に配置した。そして、これら 168 台に 1575 個<sup>\*2</sup>全ての情報を予め持たせ、市内の任意の 2 点間をランダムに走行しながら、500ms 毎に iDANS の流布ストラテジに従って情報を流布するよう設定した。

その中に何も情報を持たない評価車両 1 台を走らせ、特定のセルに入ってから出るまでに、当該セルに属する全 25 個の情報のうち、どの程度受信できるかによって、iDANS の効果を測定した。この時、総車両台数を据え置いたまま、位置情報が正確に測定できないノード(中継ノード)の混入率を 0%<sup>\*3</sup>、20%<sup>\*4</sup>、40%<sup>\*5</sup>と変化させ、それぞれの条件において 100 回試行し、セルを通過するまでの受信率の平均値と、単位経過時間あたりの受信率を計測した。なお、参考値として、全ての車両がランダムに情報を流布する環境を準備し、同様に 100 回試行した。

\*1 東西 4.5km × 南北 3.4km = 15.3km<sup>2</sup>

\*2 各セル 25 個の情報 × 全 63 セル

\*3 中継ノード (0/168) 台

\*4 中継ノード (34/168) 台

\*5 中継ノード (68/168) 台

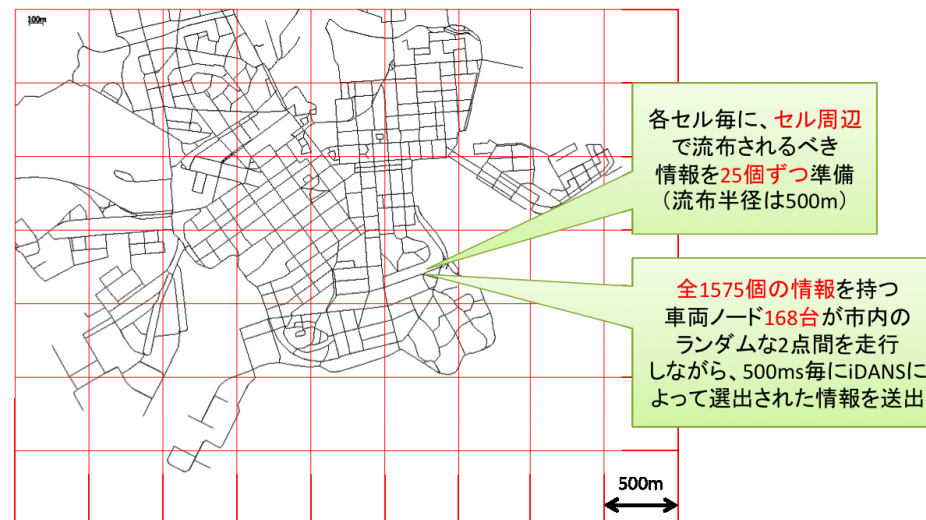


図 6 シミュレータにおけるヘルシンキの市街地マップ

### 5.2.2 セルを通過するまでの平均受信率

図 7 に評価ノードがセルに入ってからセルを出るまでに、25 個の情報のうち、受信できた情報の平均受信率を示す。iDANS による流布の場合、単一のセルに入ってから出るまでに平均して 40%程度の情報の受信することに成功したが、ランダムな流布では 11%の受信に留まった。また、中継ノードが混入しても、情報の受信率にはあまり影響を及ぼさないことも確認できた。

### 5.3 単位経過時間あたりの平均受信率

図 8 に単位時間あたりの平均受信率を示す。iDANS による流布では、各セルでの滞在時間が長くなれば長くなるほど、多くの情報が受信できたが、ランダムな流布では終始 11%前後を推移し、その差は最大で約 5.5 倍であった。さらに、全車両の 40%が中継ノードとなっても、平均受信率の下落は最大も 7%程度であった。

## 5.4 考 察

iPhone を用いた動作検証によって、iDANS における位置情報に基づく流布と、受信時刻に基づく流布が共に実機上で正常に動作することを確認できた。

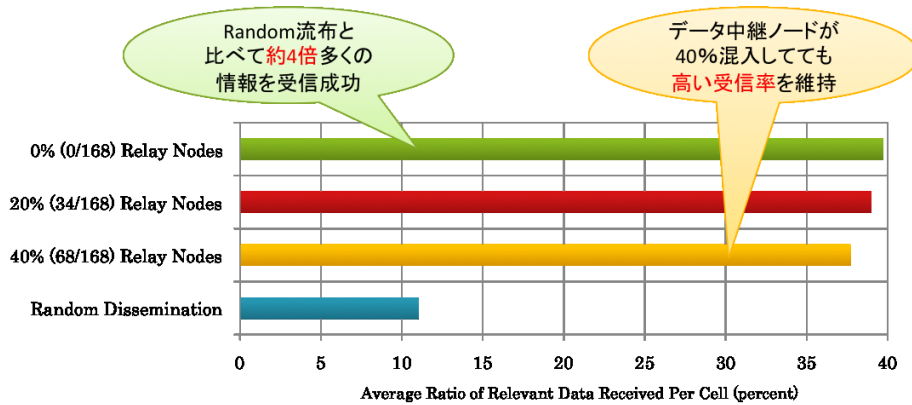


図7 セルに入ってから、出るまでの平均受信率

シミュレーションによる効果測定の結果から、iDANSにおける位置情報に基づく流布はランダムな流布と比較して、一つのセルを通過するまでに、当該セルに属する情報を約4倍多く受け取ることができた。さらに、位置情報に基づく流布を行った場合、一つのセルにおける単位経過時間が長くなればなるほど、より多くの情報を受け取れることが確認できた。しかし、ランダムな流布を行った場合は、単位経過時間の長さに関係なく、情報の受信率はほぼ横ばいであった。以上のことから、iDANS位置情報に基づく流布は特定エリア内において、より多くの情報を、迅速に流布することが可能と言える。

また、同じくシミュレーションの結果から、最大40%のノード\*3が中継ノードとなり、受信時刻に基づく流布を行ったと仮定しても、全てのノードが位置情報に基づく流布を行った場合と比較して、セル通過までの平均受信率や経過時間あたり受信率の伸びには大きな下落が見られなかった。よって、受信時刻に基づく流布による情報の中継は、特定エリア内での迅速な情報流布を補助する上で効果を発揮すると言える。

## 6. 結論

本稿では、スマートフォンを用いた車両間アドホックネットワークにおいて、特定エリア内で多くの情報を迅速に流布すること目的とした情報流布基盤である、iDANSの設計と構築を行った。その中で、位置情報に基づく流布の他に、位置情報を正確に取得できないノードを有効活用すべく、受信時刻に基づく流布を提案し、実装した。また、iPhoneを用いた動

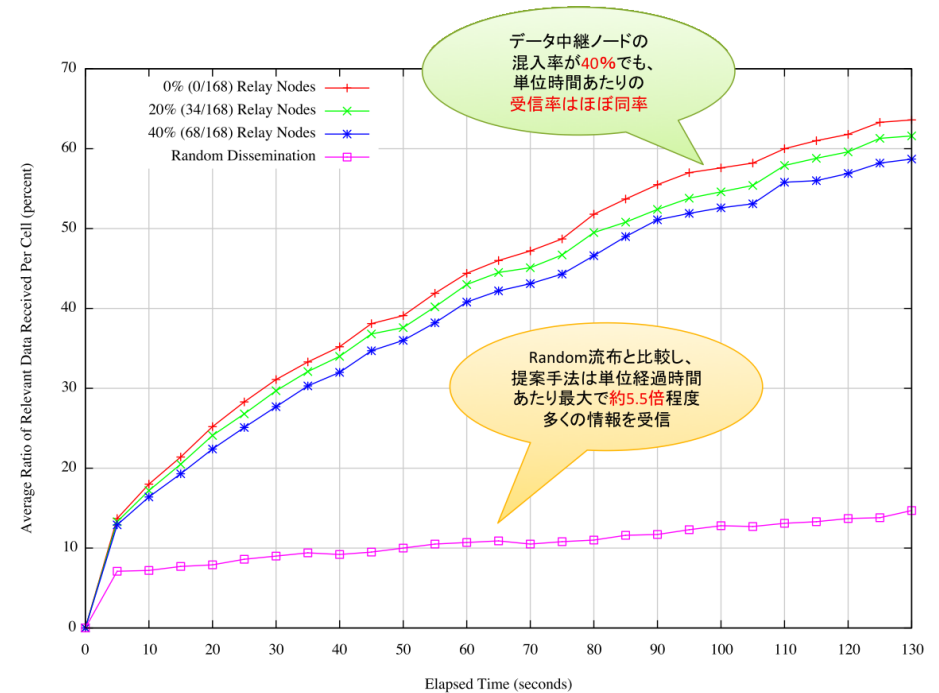


図8 単位経過時間あたりの平均受信率

作検証とシミュレーションによる効果測定の結果、特定エリア内で迅速な流布を行う面において、iDANSが有効であることを示した。

## 7. 今後の課題

最初に、パケットの衝突を防止する観点から、動的に送信間隔を調整する機能の実装が課題として挙げられる。現状の設計は、アプリによって指定された時間間隔毎にブロードキャストを行う仕様となっているが、固定間隔のままでは、通信エリア内のノード数が増加した際にパケット衝突の確率が高くなることが予想される。そこで、帯域の混雑度に応じてブロードキャストの間隔を動的に調整するの実装が必要である。

次に、実機を用いた大規模な実験の実施が挙げられる。本稿で実施した動作検証は3台の

iPhone のみで実施したが、より現実に即した大規模な実証実験を行い、現実世界での iDANS による情報流布の有効性を検証していきたい。

謝辞 最初に、研究を進めるに当たって指導して頂いた、慶應義塾大学環境情報学部教授、村井純博士、同学部准教授、植原啓介准博士、及び同大学大学院政策・メディア研究科特別研究講師、佐藤雅明博士に感謝したい。また、実験やシミュレーションを行うにあたって協力して頂いた、同大学村井研究室の学生である波多野敏明氏、村上滋希氏、及び倉田彩子氏を中心とする諸先輩方、後輩諸君に謝意を示したい。

### 参 考 文 献

- 1) TOYOTA Media Service Corporation. G-BOOK. <http://g-book.com/pc/default.asp>.
- 2) Lars Wischhof, André Ebner, and Hermann Rohling. Information dissemination in self-organizing intervehicle networks. In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, volume6, pages 90–101. IEEE Intelligent Transportation Systems Society, March 2005.
- 3) Jun Tsukamoto, Masashi Saito, Takaaki Umedu, and Teruo Higashino. Inter-vehicle ad-hoc protocol rmdp for acquiring preceding traffic information and its performance (its). *Transactions of Information Processing Society of Japan*, 47(4):1248–1257, April 2006.
- 4) Takaaki Ishida, Masaaki Sato, Masayoshi Imaike, Ryota Horiguchi, Koji Wada, Keisuke Uehara, and Jun Murai. Development and evaluation of data transmission algorithms for decentralized vehicle probe systems. In *KEIO SFC JOURNAL*, volume7, pages 38–55, 2007.
- 5) Masaaki Sato, Takaaki Ishida, Ryota Horiguchi, Katsumasa Shimizu, Hitoshi Haruta, Koji Wada, Keisuke Uehara, and Jun Murai. Evaluation of road traffic information generation algorithm for decentralized probe vehicle system. In *Transactions of Information Processing Society of Japan*, 2008.
- 6) Jędrzej Rybicki, Björn Scheuermann, Markus Koegel, and Martin Mauve. Peer-TIS: a peer-to-peer traffic information system. In *VANET '09: Proceedings of the sixth ACM international workshop on VehiculAr InterNETworking*, pages 23–32, 2009.
- 7) Sylvia Ratnasamy, Paul Francis, Mark Handley, Richard Karp, and Scott Shenker. A scalable content-addressable network. In *Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, SIGCOMM '01, pages 161–172, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- 8) Apple Inc. iPhone 3GS. <http://www.apple.com/jp/iphone/iphone-3gs/>.
- 9) Apple Inc. iPhone 4. <http://www.apple.com/jp/iphone/>.
- 10) Jason R. McNeil. WiFi Bench. <http://jasonrm.net/code/WiFiBench/>, 2010.
- 11) Apple Inc. iPad. <http://www.apple.com/jp/ipad/>.
- 12) Ari Keränen, Jörg Ott, and Teemu Kärkkäinen. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *SIMUTools '09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*, New York, NY, USA, 2009. ICST.
- 13) City of Helsinki. Facts about helsinki, 2006.