

# 時・空間依存オブジェクト同期とアプリケーション Time/Location Dependent Object Synchronization and Applications

齋藤 正史  
Masashi Saito

## 1. はじめに

インターネットアクセスの多様化・高速化に伴い、携帯電話やカーナビゲーションシステムからのモバイルアクセスが一般化してきている<sup>1),14)</sup>。インターネットで頻繁に利用されているサービスとしては、個人間でのメッセージ交換である電子メールならびに他者の準備した情報をアクセスする WWW(World-Wide Web)、特定の個人との電子データ交換(P2P)がポピュラーとなっている<sup>15)</sup>。

これらのサービスはそれぞれに特徴をもっており、データの永続性、アクセスのローカル性、などいくつかの尺度で異なるコミュニケーションをサポートしている。WWWによるサービスは、一般には永続的な情報を広範な人に対してサービスするものであり、電子メールによるサービスは限定した相手に対して永続的ないしは一時的な情報を交換するものである。電子メールについては、携帯電話で利用される場合には、複数のショートメッセージの列による個人間でのチャットのような使い方も一般化している。

このように利用者の情報アクセス・交換の多様化はいくつかの尺度で非常に限定したコミュニケーションを生んでいる。情報は生産され、消費され結果として消滅<sup>\*</sup>していく。これらの情報すべてが、すべての人からいつでも・どこからでもアクセス可能とする必要は必ずしもない。たとえば、交通情報や天気予報などでは自分のいる近傍の情報へのアクセスは遠方の一般的な情報に較べてアクセス頻度が高くなる。予報情報の場合には未来の自分の近傍についての情報を参照することとなり同様の事柄が当てはまる。実際に、現状のサービスであるテレビ放送による天気予報や FM 波による VICS 情報などは、各放送メディアのサービスエリアに合致させた情報の配布を行っている。

また、無線通信技術を用い一時的なネットワークを構成するアドホックネットワークについても研究開発が進み<sup>13)</sup>、そのアプリケーションの模索が始まっている<sup>2),3),9)</sup>。アドホックネットワークは、モバイルサービスにおいて近傍位置に集まった人ないしは物との間でデータ交換やメッセージ交換、情報アクセスを行う環境を提供する。ネットワーク自身がグローバルネットワークであるインターネットとの常時接続を前提としない環境でのアプリケーションは名刺やスケジュールの交換という利用者の保持する情報の交換に始まり、位置や空間の情報そのものの交換へと広がる可能性をもっている。

本稿では人や物が移動することを前提としたモバイルサービスにおいて、時間と空間(位置)に依存したデータを利用したアプリケーションについて考察し、それらのアプリケーションを実現するためのシステムモデルならびに必要となる技術要件について説明する。

## 2. モバイルサービスとアプリケーション

### 2.1. WWW モデルによるサービス

WWW サービスは、基本的には「サーバ上の永続的な情報をアクセス」しているものであり、セントラルサーバによる情報収集・公開を行うことにより、いつでも・どこからでもネットワーク経由でアクセス可能としているものである。永続的な情報の更新期間については、短いものでは数秒程度のものもあり、リアルタイムな情報として扱える状況となっている。株価の情報や為替の情報を随時更新するサービスは、リアルタイム情報サービスの良い例となっている。これらの情報は、特定・不特定多数を対象にサービスを実施しており、インターネットの特質も合わせて地理的には世界中からのアクセスが可能となっている<sup>16)</sup>。

また、インターネット上に存在するホームページ情報については、万人に向けたものから特定のグループに向けたものまで千差万別である。たとえば、日本語で記述された情報は、基本的には日本向け、日本語を理解する人向けのデータであるのとらえることもできる。また、特定の趣味のグループ内での情報交換のためだけに作成されたページも多い。これらの情報はインターネットプロバイダやサービスプロバイダが提供するインターネットからアクセス可能なサーバに保持されているために、結果として万人からアクセスすることが可能となっているが、情報自身は非常にローカル性が高い。もちろん、グローバルアクセスが可能であるからこそ、そのページの意図しない閲覧者とのコミュニケーションが始まるなどの利点はある。

一方、WWW サービスへのアクセスは、ネットワークプロバイダのネットワークアクセス機能に依存している。携帯電話や PHS 等の無線ネットワークではキャリアがインターネットとのゲートウェイサービスを実施する、もしくは無線通信路をこれまでの電話網と同一の利用方法で使用しインターネットとの接続を行っている。アドホックネットワークにおいては、ネットワークを構成した自律システムである端末間での情報交換は可能であるが、非常に限定した情報の交換に限定される。これは、WWW モデルはインターネット上の複数の情報が互いにリンクしているという利点に強く依存していることを示している。

### 2.2. 電子メールモデルによるサービス

電子メールによる情報交換については、特定の相手もしくはグループでの情報交換となっており、交換される

<sup>\*</sup>) 実際には消滅するわけではないが、利用者にとって実質的に消滅したように感じる

情報についても非常に特定のものであることが多い。電子メールは、紙による通信と電話での通信の中間のメディアとして発展してきた。個人間の非常に簡便な情報交換手段であり、少数での情報共有には最適な手法である。

モバイル環境において、一般的な情報ではなく特定の個人宛のメッセージについての参照が多いこともあり、携帯電話での利用は非常に増加している。また、携帯電話での電子メールではショートメッセージの連続による個人間でのチャットのような使い方も増えてきている。

P2P を用いた特定個人との電子データ交換については、コミュニケーションという観点から見ると基本的なアイデアは電子メールと同一であり、1対1のコミュニケーションとなっている。大きな相違は、匿名による交換を可能とするために、登録データの位置を保持するデータベースが存在していることが多い点である。このデータベースが実在する実装や仮想的なデータベースを利用しているものもある。

また、インターネット ITS で提案されているプローブカーのように、車の情報をセンターに送付するものについても、電子メールモデルと似ている。基本的には、1対1のメッセージングであり、センターサーバによりデータの収集・加工がなされ、多くの場合には WWW サービスとして利用者に提供される。

### 2.3. 位置に依存したアプリケーション

現在でも WWW を利用した位置に依存したサービスが種々存在している。たとえば、携帯電話の位置情報を利用し、近隣の POI(Point of Interest)を表示するものやカーナビのネットワーク経由での経路探索、オンデマンド VICS、インターネット ITS による各種センサー情報などである。

GPS システムの小型化による PC カードや小型の装置での位置情報の取得が簡便になったこと、ならびにサーバ側での GPS データの計算による位置の割り出しなど位置情報、とりわけ緯度・経度情報については利用しやすい状況となっている。また、携帯電話においては使用している基地局の情報ならびに複数の基地局の電波強度を計算することにより誤差は大きいものの大まかな位置を得ることができる。また、カーナビでは地図を保持していることにより、緯度経度の情報を道路という論理的な位置に写像することを可能としている。これは位置の情報を空間の情報に写像していると考えられる。

カーナビの普及もあいまって、車というモバイル空間においては位置情報を利用したアプリケーションは増加していくと予想している。このアプリケーションには、大きく二つのアプリケーションに分類されると考えている。

- (1) 大域型アプリケーション：主要道路の混雑状況や事故情報、道路工事情報などの情報を事前登録ないしは専用センサーあるいはプローブカーの情報を収集し、WWW の情報として提供する。このようなアプリケーションでは、常時あるいは間欠的なインターネットへのアクセスを前提として構築されている(図1)。
- (2) 局所型アプリケーション：狭い空間領域において利用されるアプリケーションであり、他の空間におい

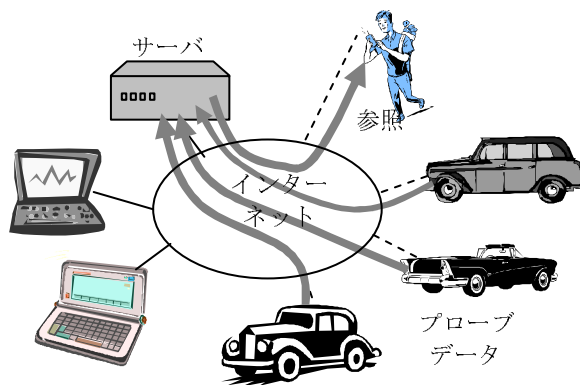


図1. 大域型アプリケーション

ては、著しく価値が少なくなるデータの交換がなされる。たとえば、交差する二つの路地において、ある車からの通行情報の発信により他方向から交差点に近づく車や人が事前にそれを認知するものである(図2)。また、生活道路における渋滞情報や、駐停車している車の存在通知なども考えられる。

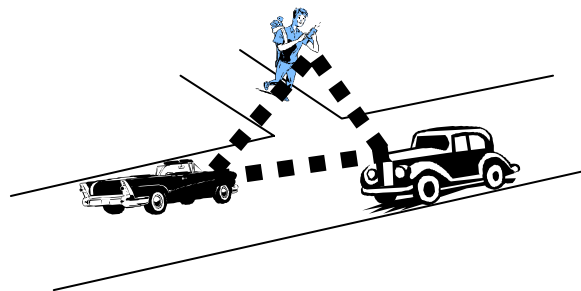


図2. 局所型アプリケーション

局所型アプリケーションは、モバイル端末同士の非常に短時間のアドホックネットワークの連鎖によるアプリケーションとしてとらえることができる。ここで交換されるデータは、車や人が自立的かつ物理的に移動することにより、結果的に一定の広い範囲にデータを伝播することが可能となる(図3)。

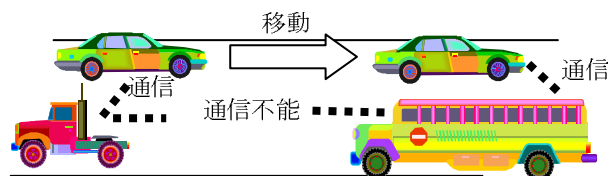


図3. 移動によるデータ伝播

### 2.4. 時間に依存したアプリケーション

時間とともに値が変化するもの、たとえば株価情報のようなものは、その値が時間に依存している。時間に依存した情報については、最新のデータや時系列としてのデータに価値があるとされる。株を実際に売買する場合には最新のデータに価値があり、過去のデータにはあまり価値はない。もちろん、売買を決意するためや将来を予測するために時系列データが有用ではある。

株価と同様のデータとして、渋滞情報や駐車場の待ち時間を提供するサービスがある。これらのサービスでは利用者は最新ないしは少し前の情報のみに興味があり、他の情報には興味はない。実際、街中に掲示してある駐車場の混雑表示データは、最新の状態のみを提示している。

このような時間に依存したアプリケーションはディペンダブルシステムと類似している。ディペンダブルシステムにおいては、データとその処理が制約された時間内に終了した場合に価値があり、そうでない場合の価値はない。データの価値の変化という観点での時間に依存したアプリケーションとディペンダブルシステムとの関係を図4に示す。

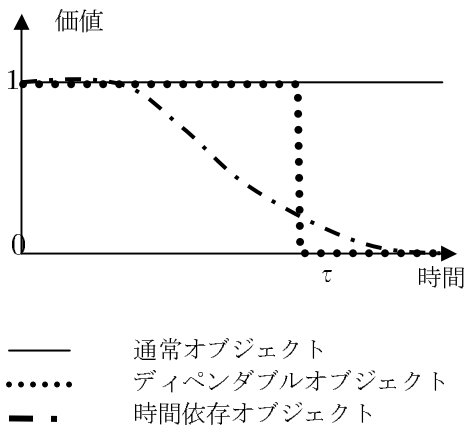


図4. 時間依存オブジェクト

上記の渋滞情報アプリケーションにおいて、大域型アプリケーションとしてシステム構築される場合にはデータの価値は時間にのみ依存する。しかし、非常に大量の局所性の高い情報を効率的に管理する必要があるだけでなく、常時・間欠でのインターネットアクセスが必要となりシステムコストと利用者コストの面で不利となる。

局所型アプリケーションを想定した場合には、車や人が物理的に移動し近傍に到着した場合に初めて該当データを得ることが可能となる。この性質で十分なアプリケーションにとっては、アドホックネットワークによるデータ交換として構築することが可能となる。

### 3. 時・空間依存オブジェクトとシステムモデル

#### 3.1. 車車間通信アプリケーション

2章で説明したように、モバイルサービス・アプリケーションには既存のサービスをモバイル環境から利用可能とするものと、時間的、空間的に局所化された情報の交換による新しいサービスとがある。ここでは、ITSのアプリケーションとして車車間通信を取り上げる<sup>1)</sup>。車には各種センサー情報の取得ならびにカーナビによる位置情報などすでに多数の情報が存在する。局所通信機能を具備した車載装置を用いてこれら車内の機器と接続し、その車の状態を相互に交換することにより安全な通行や渋滞の回避などを可能とすることを目指している。

車には多数のセンサーが装備されており、速度情報から局所的な渋滞情報の通知が可能となる。同一方向に進行している複数の車が非常に遅い速度で移動している場合には、渋滞をしていると考えることができる。この情報は交差点で渋滞している車の情報を反対車線の車により渋滞区間の先まで伝播することができ、ドライバーは他の経路を選択するなどの回避行動をとることが可能となる。

冬季におけるブラインドコーナーの凍結状態についても、タイヤのすべり具合から予測することができる。外気温とすべり具合情報、位置情報を伝播することにより他の車が事前に減速するなどの回避行動を可能とする。このような局所化された情報を、大域的なアプリケーションと補間するために用いることで運転の安全性を向上させる可能性がある。

#### 3.2. システムモデル

3.1節で説明したアプリケーションを実現するためのシステムモデルを図5に示す。各自律システムは時間的、空間的に局所化されたデータを時・空間依存オブジェクト(TLDO)とそれを保持するリポジトリを持つ。リポジトリはTLDOの保存領域であるだけでなく、TLDOの伝播順序を管理するためのQueueを持つ。TLDOはTLDO同期マネージャにより送受信され、他の自律システムに伝播されそれぞれの実際のアプリケーションで利用される。速度情報を元にしたアプリケーションとしては、局所渋滞情報通知や道路状態通知などがある。

#### 3.3. 時・空間依存オブジェクト

TLDOは複数の要素よりなり、位置情報として緯度・経度ならびに時間データを保持している。他の要素として、参照カウント、カーナビで計算された国道1号線などの道路情報とその進行方向や速度、タイヤのすべり具合などのセンサー情報がある。TLDOの情報としての価値は、位置ならびに時間により変化する(図6)。価値があるスレシールドよりも小さくなった場合には、そのオブジェ

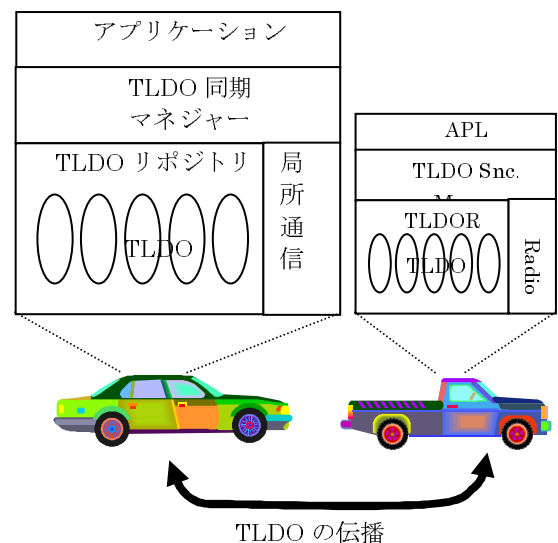


図5. システムモデル

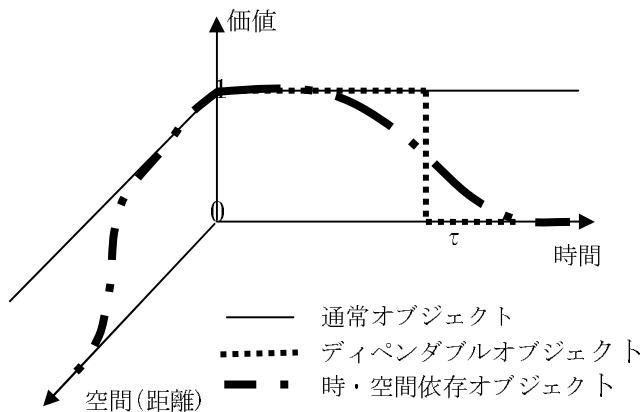


図 6. 時・空間依存オブジェクトの価値

クトは自律的に消滅する。これにより、伝播する価値の少ない情報を保持することによる保存領域を節約することができる。TLDO 消滅のスレシヨールドは、自律システムにおいて独自に決めることが可能である。歩行者の保持する機器では、非常に近隣の情報のみを保持することにより装置の小型化を可能とする。一定数の類似情報が収集された場合のみ伝播するという動作を実行しても良い。

### 3.4. TLDO 同期マネジャ

いくつかの TLDO は他の自律システムと同期マネジャにより同期される。TLDO 同期マネジャの役割は、TLDOR に存在するすべての TLDO を同期することではない。TLDOR 内の一部を自律システムのポリシーに基づいて伝播することにより、結果としていくつかの TLDO が他の自律システムに伝播されればよい。これは、TLDO の性質上、時間が経過あるいは距離が遠いデータについては必要ではないことによる。また、多数の自律システムが存在し、多くが類似した情報を伝播すると仮定した場合には、そのうちの少数のみを保持すれば十分である。

TLDO 同期マネジャはそのほとんどの期間、他の自律システムからの情報を聴取している。受信した TLDO が TLDOR 内にすでに存在する場合には TLDO を破棄する。同一ではなく類似した TLDO が存在する場合にはその参照カウントを増加する。これにより、同一の TLDO が多数回伝播されることを抑制することができる。

TLDO の送信は間欠的に実施される。TLDO の受信からランダム時間待ち、その間に受信データない場合には TLDO を送信する。この単純な方式では、結果として送信できない可能性がありライブネスは満足しない。しかしながら、すべての自律システムが送信する必然性はない。送信が実施できないということは、他の自律システムが近隣で送信していることを示し、伝播する必要のある TLDO は伝播されていると考えることができる。

## 4. 車車間通信によるケーススタディ

### 4.1. ケーススタディ概要

TLDO の伝播が実際にどのように行われるかを調査し、時・空間依存オブジェクトの価値がどのように変化して

いくのか、また、実際に必要となるデータが局所通信のみで実現可能であるかをシミュレーションにより評価した。このケーススタディでは、車車間で無線 LAN<sup>13)</sup>を想定したモバイルアドホック通信機能を用いて道路情報を散布・伝播させていくための独自プロトコルを用いている。使用プロトコルは、各車両が自身の走行情報と受信した他車両の走行情報を一定の周期で散布し、そのデータを前後や対向車線を走る他の車両が取得して順次伝播させていくという方針に基づいている。各車両が一定個数の車両情報を蓄積し、それらをお互いが交換・中継しあうことで、各車両は数キロ先までの複数経路の道路情報を取得できる。この先行する道路情報の取得が TLDO の価値であるとしている。さらに、車車間通信による情報交換は、渋滞の発生や信号待ち、走行する車両台数の変動、走行速度の変化などの要因があり、これらの状況を考慮して適切な車車間通信のためのプロトコルを導出することも目的のひとつとしている。

### 4.2. アドホック通信プロトコル

車車間でアドホックな通信を行う方法として、IEEE 802.11<sup>13)</sup>の IBSS(Independent Basic Service Set)による通信がある。IEEE802.11 の IBSS 通信では通信範囲内の 2 ノード間でのアドホックな通信をサポートすると共に CSMA/CA による衝突回避アルゴリズムが実装され、ブロードキャストサービスがサポートされている。ここでは、IEEE802.11 の IBSS 通信において以下のような仮定を行う。

まず、通信範囲を 100m とし、100m 圏内の車両同士の通信が可能であると仮定する。ただし、通信距離が長くなるにつれて、データ転送の成功確率が図 7 のように線形に減少するものとする。これは 2 ノード間の距離が大きくなると、受信電波が弱くなり、受信データのエラー確率が大きくなるためである。図 7 のグラフから、例えば 30m, 50m, 70m 離れた車両同士の受信確率はそれぞれ約 0.69, 0.49, 0.29 であるとしている。

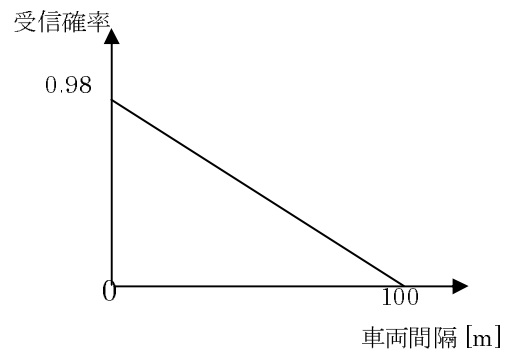


図 7. データ受信成功確率

100m 圏内の車両同士の通信が可能であるとした場合、時速 60km(16.7m/sec)ですれ違う車両同士では、約 6 秒間しか通信を行うことができない。一方、両方の車線に 10m 間隔で車両が渋滞して止まっている場合、渋滞の中央の車両は前後 100m 両車線分で 40 台以上の車両から道路情報を同時に受け取る可能性がある。ここで、IEEE802.11 の実質通信帯域幅を 100KBytes/sec とし、車車間で交換するデータの量を最大で 10KBytes と仮定する。また、1 秒間を 10 個のスロットに分割し、各データが 1 つのスロ

ットを占有するものと仮定する。このため、2つの車両からのデータが同一スロットで発信された場合、それらの車両から半径 100m の円に重なる領域内にある車両は、それらのデータが衝突して共に正しく受信できなかったものとみなす。

この仮定は非常に悲観的なものである。しかし、評価の単純化のならば非常に多数の車両間での通信が実際に行われた際にも、全体として動作することを目標とし、悲観的な立場で抽象化を行っている。

### 4.3. 走行情報散布プロトコル

シミュレーションでは走行情報散布プロトコルとして、走行速度依存ランダム送受信プロトコルを用いることとし、本プロトコルを SDRP(Speed Dependent Random Protocol)と呼ぶ。SDRP では、走行する車両の速度  $v$  に応じたデータの散布間隔の上限値  $\max(v)$  と下限値  $\min(v)$  をあらかじめ定め、 $\max(v)$  と  $\min(v)$  の範囲内のランダムな時間間隔でデータの散布を行う。

各車両が高速に走行している場合には対向の車両同士のデータ交換の成功確率が小さくなるため、道路情報の取得確率を高めるためには、走行情報の送信間隔を短くする必要がある。一方、多数の車両が渋滞している場合に各車両が走行情報を頻繁に散布すると、それらの走行情報同士の衝突が起り、周辺の車両がこれらの情報を正しく受信できなくなってしまうため、送信間隔を長くする必要がある。例えば、速度  $v$  が 30km/h 以上の場合には 3 秒に一度送信し、30km/h 未満の場合には 1 秒に一度散布すると決めればよい。

### 4.4. モバイルアドホックネットワークシミュレータの構成と機能

モバイルアドホックネットワークでの車車間通信により、どの程度の道路情報の交換がリアルタイムで実現可能であるかを評価するためのシミュレータを開発した。シミュレータは現実的な交通流をシミュレートする交通流シミュレータの各車に対して、車車間通信装置を装備している車両間での道路情報の伝播の状況や各車両が受信した情報の内容を保持し、道路情報の伝播状況から、データの転送確率や 1~5km 先の道路情報取得に要する時間などの統計情報を収集・表示することが可能なシミュレータである。ネットワークシミュレータの動作を以下に示す。

- (1) ネットワーク環境、伝播アルゴリズムの設定
- (2) 車車間通信装置装備率から、装備車両を決定
- (3) 交通流シミュレータの動作時間内の 1 秒毎に以下の操作を実行
  - (a) 伝播アルゴリズムからデータ散布車両を決定
  - (b) 各車車間通信装置装備車両に対して：
    - (i) 自車両の無線 LAN 到達距離範囲内にあるデータ散布車両集合を検索
    - (ii) 受信確率に基づいて、データ散布車両からのデータ受信成功/失敗を決定
    - (iii) データ受信成功の場合は受信データを次回の送信のために保持
- (4) 以下の項目に対し、データ伝播状況の評価
  - (a) データ転送成功率

- (b) 車車間通信での衝突率
  - (c) 車両を目的地までの距離に従って 1km ごとに分類し、分類別目的地情報取得車両割合の時間的変化
- なお、一般には受信した道路情報に基づき各車両がルートの変更を行う可能性もあるが、本評価ではルートの変更は考慮していない。

### 4.5. シミュレーション環境

以下の入力パラメータ値に対して、シミュレータを用いて、車車間通信を用いた走行情報の伝播についての評価を行った。評価環境を以下に示す。

- 道路環境：20Km x 20Km, 信号数 198 個
- シミュレーション時間：60 分
- 車両の位置情報：1 秒ごと
- 車両環境：8,570 台(60 分間での総台数)
- 装備率：30%, 60%, 90%
- ネットワーク環境：無線 LAN 到達距離 100m,
- 通信帯域幅 100KBytes/sec
- 伝播アルゴリズム：走行速度依存ランダム送受信プロトコル(SDRP)。30Km/h を境に高と低速時の 2 種類の散布間隔を指定
- 受信確率：距離依存で受信確率が変動(図 7)

IEEE802.11 MAC 層のシミュレーションの方式とし、以下のような簡易方式を使用している。

- (1) 100KBytes/sec の通信帯域幅に対して、10KBytes のデータを散布するため、1 秒を 10 個のスロットに分割
- (2) 各車両の散布間隔に応じて、散布するスロットを、乱数を用いて独立に選定
- (3) 100m の半径の中に、散布を実施しようとする車両を検索し、その車両が同一スロットでの散布を実行する場合は、両方の車両の散布を衝突したとみなす

無線 LAN におけるいわゆる隠れホスト問題と呼ばれる複数のアドホックネットワークによる衝突の影響や道路上の物体・周辺建物の影響については、受信確率の近似の範囲内であるとしている。

### 4.6. シミュレーション結果

#### 4.6.1. 総散布データ量

SDRP プロトコルにおける散布間隔を変化させ、各装備率における散布が成功したデータ総量を測定した。SDRP プロトコルは、速度  $v$  での散布間隔を  $[\min(v), \max(v)]$  と定義しており、以下では  $\min(v) = \max(v)/2$ 、すなわち  $[\max(v)/2, \max(v)]$  とし、速度  $v$  での散布間隔  $[\max(v)/2, \max(x)]$  を  $\max(v)$  と省略して表記する。図 8 は速度により散布間隔を変化させない場合の結果である。SDRP での散布間隔を  $\langle A(30\text{Km/h 未満の時}), B(30\text{Km/h 以上の時}) \rangle$  とした場合に、 $\langle A, B \rangle$  の値を  $\langle 1, 1 \rangle$  から  $\langle 16, 16 \rangle$  に変化させて測定した。

図 9 は 30Km/h 以上の場合の散布間隔を 1 秒に固定し、30Km/h 以下の場合の散布間隔を可変とした時の結果である。総データ散布量は、装備率が 90% の際には 30Km/h 以下を 4 秒間隔としたときがピークとなる。同様に、装備率が 60% の際は 30Km/h 以下を 2 秒間隔としたときがピークとなる。この時の総データ散布量は 46GByte, 26GByte となっている。

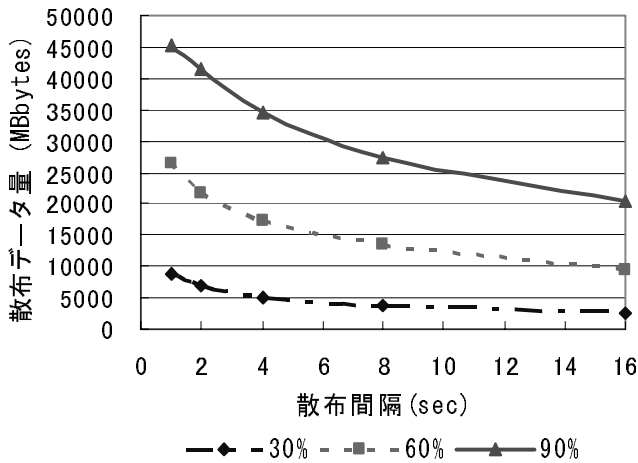


図 8. 散布間隔と総散布データ(A=B=1~16)

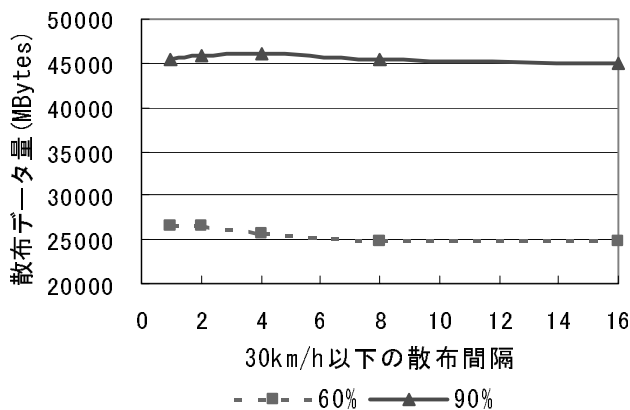


図 9. 散布間隔と総散布データ量(A=1~16, B=1)

ここで、同時に計測した衝突率は一般の無線 LAN の使用環境に比較して、非常に大きな値となっている。これは、先に説明した簡易的な MAC のシミュレーション方法が主原因である。今回のシミュレーションでは、10Kbytes のデータをパケットと同様に扱い、かつ IEEE802.11 の衝突回避アルゴリズムをシミュレートしていない。散布データの 1Kbytes 程度のパケットへの分割、ならびに衝突回避アルゴリズムのシミュレータへの実装により、シミュレーション上でも衝突率は減少する。しかしながら、利用する車両数が非常に膨大となった場合、また、無線での到達距離の増加などが起こる場合においても利用可能な伝播アルゴリズムとするために、最悪のケースとして簡易な MAC シミュレーションを利用している。

#### 4.6.2. 先行走行情報取得時間

SDRP による先行する道路の走行情報獲得に関して、以下の二点について測定を行った。

- (1) 1-5km 先の走行情報を取得した車両割合の時間的変化
- (2) 3km 先の走行情報受信に関して：
  - (a) 3km 先の道路を実際に走行した車両から直接データを受信した車両割合の時間的変化
  - (b) 複数の車両によりデータ伝播が繰り返され、実際に 3km 先の道路付近を走行していない車両からの間接的なデータ受信も含めた、3km 先の走行情報取得車両割合の時間的変化

シミュレーションでは、先行走行情報として、ある車両の目的地周辺の道路情報でありかつ進行方向が一定角度内である情報として近似している。本測定においては、目的地周辺のデータとして半径 500m 範囲内の情報であり、進行方向の 120 度以内のデータとしている。走行情報取得車両の時間的変化を測定するに当たり、受信バッファがオーバーフローした場合に破棄するデータの選択方式と散布する自車両の走行情報内容を変更させ、できるだけ短い時間で先行走行情報を取得できる車車間通信を選定する。測定した環境を表 1 に示す。

表 1. 破棄データの選択方式と散布自車走行情報

| 方式 | データ破棄方式                                   | 散布自車走行情報        |
|----|---|-----------------|
| 1  | 目的地方向に中心角 120 度外データを破棄し、依然不足した場合にはランダムで破棄 | 直近の 1 秒間の走行情報   |
| 2  | ランダムに破棄                                   | 直近の 1 秒間の走行情報   |
| 3  | ランダムに破棄                                   | 直近の 4 秒間の走行情報   |
| 4  | ランダムに破棄                                   | 直近の 40 秒間の走行情報  |
| 5  | ランダムに破棄                                   | 直近の 140 秒間の走行情報 |
| 6  | 時間的に古いデータを破棄                              | 直近の 4 秒間の走行情報   |

表 1 の 6 種の方法の中では、方式 5 が最も早い時間に先行走行情報を取得することができる。図 10 に、方式 5 により先行走行情報を取得した車両割合を示す。60% 程度の車両は 1km 先、2km 先の走行情報を 8 秒以内に取得でき、50% 程度の車両は 3km 先の走行情報を 30 秒以内に取得することができる。

これらのシミュレーション結果は、1 時間に 80 台以上の車両が自車両の目的地付近の道路を通過し、かつ走行中に少なくとも 5 台/min 以上の対向車線の車両とデータ交換可能な車両で測定したデータである。また、本データは SDRP のデータ散布間隔を  $\langle A, B \rangle = \langle 4, 1 \rangle$ 、車車間通信装置装備率を 90% と設定してシミュレーションを実行した結果である。都市においては、この仮定は十分なものであると考えている。

図 11 に方式 5 により 3km 先のデータを獲得する際に、

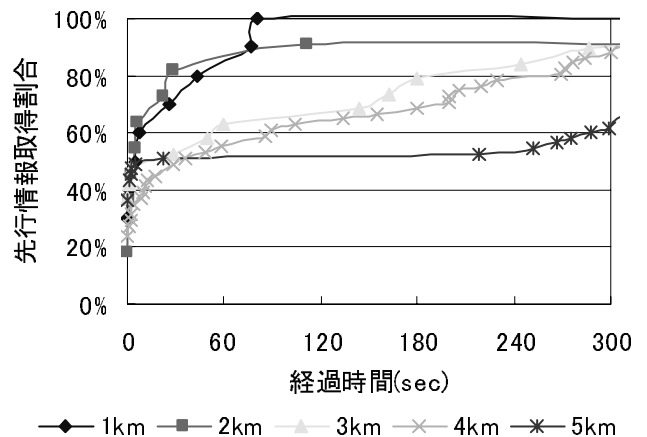


図 10. 先行走行情報取得割合

複数の車両により間接的なデータ伝播が実施された場合と、ある車両から直接（2 ホップ）伝播された場合での先走り情報の獲得率を示す。SDRP プロトコルを用いると、間接的な伝播は直接での伝播よりも約3分早くデータを取得できる。この時間は渋滞していなければ1~2km進むのに十分な時間であり、間接的な伝播を用いることで目的地に到着する前に1~2km先の情報を前もって認識できる。この結果は、走行車両が前もって先行道路状況や駐車場の空き情報を取得できることを示している。この結果についても、安全で効率のよい運転をするために、SDRPによるデータ散布・伝播が有効であることを示している。

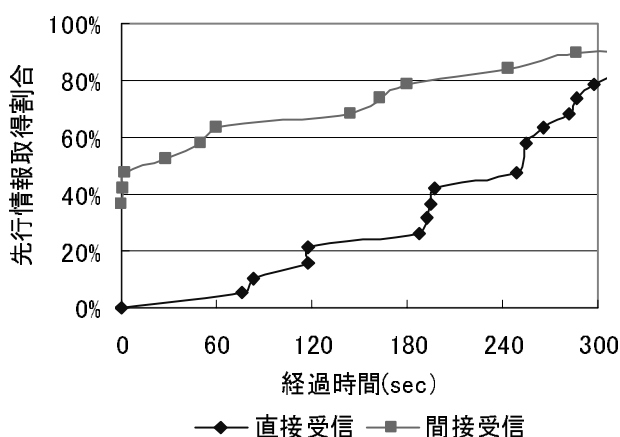


図 11. 直接/間接取得割合

## 5. ケーススタディ考察

### 5.1. 散布データ量

本シミュレーションでは、現実的なネットワーク環境を考慮するため、複数の車両の距離に基づいて衝突が起こる可能性を判定し、その結果によりシミュレーションを行っている。一般に高速に車両が走行している場合には、頻繁にデータを散布することにより、情報を高い確率で伝播させていくことができる。しかし、渋滞した場所では、ほぼ同一のデータが多くの車両から散布されるために、データ散布の間隔を広げても十分である。さらに、渋滞時の頻繁なデータ散布は無線通信の衝突をひき起こしてしまう。衝突率はデータの散布間隔が短くなると増加するが、ある程度の衝突率までは衝突が増加しても車車間で交換されるデータ量は増加していく。一方、あまりに多くの衝突が発生すると、車車間で交換されるデータ量は減少する。このため、適切な衝突率を見つける必要がある。実際、衝突率が61.2%となった場合でも7700台の車両で40分間に車車間で合計45GBytesのデータが交換される。この実験では、1台の車両の平均走行時間が15.6分であることから、1台の車両で378KBytes/minのデータ交換を行っていることになる。1台1回分の車両データを100Byteとしていることから、4000個/min程度のデータを取得することが可能であり、数Km程度の局所的な交通情報を得るためには十分なデータ量であるといえる。

また、4.6.1節でも説明した通り、シミュレーションは非常に悲観的な仮定のもとで実施している。実際には、無線LANのMAC層の衝突回避アルゴリズムにより、よ

り多くのデータが散布可能であると考えている。衝突率の増加は、低速走行車両のデータ散布間隔に依存する。シミュレーション結果から、データ散布間隔をどのようにすれば効率の良い車車間通信が行えるかを導出できる。

### 5.2. 有効データ受信

受信バッファがオーバーフローした場合の破棄データの選択方式と散布する自車両の走行情報内容を変更したシミュレーションも実施している。シミュレーション結果によると、表1の方式1ならびに方式6についてデータ交換の繰返しによる間接受信の効果があり得られていない。これは、自車両にとって必要な情報を優先的に残すことで、他車両にとって価値のある情報を破棄しており、車車間通信全体として効率の良い結果とはならなかったと考えている。また、方式6の結果が示したのは、古すぎる情報の破棄は必要ではあるが、必ずしも新しい情報のみの交換が車車間通信の効果を発揮しないことである。

さらに、データ破棄方式を最も単純なランダム方式とし、散布する自車両走行情報を増加させることにより、情報取得に要する時間が短くなっている。データ破棄の方式に工夫をこらすよりも、散布する自車両の走行情報を増加させたほうが、他車両が短時間に先走り情報を取得するためには有効であるという結果となっている。

シミュレーション結果では、車両が移動すればするほど有効な情報を獲得していることを示している。シミュレーション環境全体での平均時速が41.5Km/hであるため、90秒で約1km走行しており、その際90%以上の車両がさらに1km先の走行情報を取得している。3km, 4km, 5km先の情報を取得するには、1km, 2kmに比べるとやや時間を要するけれども、走行位置からさらに1km, 2km先の走行情報は90%以上の車両で取得できている。5km先の走行情報の取得が、当初5分で60%までしかできていないが、これは、各車両が保持するデータ量を100Kbytesに制限していることが原因であると考えている。

### 5.3. 時・空間依存オブジェクトの価値

5.1節の結果は、非常にシンプルな結論を導き出している。局所通信のみを使用した通信においても、利用者が十分に多ければ実用になることである。しかしながら、少数の利用者しかいない場合には、かならずしもアドホックネットワークのみでの通信ができるとは限らず、なんらかの助けが必要となることを示している。

4章のケーススタディにおいては、信号や交差点などに受信したデータを保持・再散布するための情報リピータのようなものを設置することにより解決することができる。インターネットへの接続ではなく、情報リピータを用いるのは、必要である場所に単体で設置することにより、その周辺で効果を発揮することができることによる。この考え方は、一般のモバイルアドホックネットワークにおいても適用可能であり、効果のある手法であろう。

しかしながら、5.2節の結果は非常に皮肉なものとなっている。限定された局所通信のみの環境においては、自分にとって価値の高いデータのみを保持して通信を行ったとしても結果としては有効なデータを保持することはできない。インターネットのような巨大な情報ベースを

前提とした場合には、情報をアクセスしないしは受信する側は自分の必要な情報のみを保持していれば十分であるが、局所的な通信のみが実施される環境においては、他者のためのデータを保持し、適切に配布することなくしてシステムとしては成り立たない。

図6に示したオブジェクトの価値の変化は、自分にとっての判断基準としては正しいと考えているが、図5で示した保存する TLDO については、他者のためのデータを異なる評価基準を用いて保持する必要があることを示している。今回のシミュレーションでは、各リポジトリが保存できるデータ量は送信データ量と同一としているが、他者のためのデータを保持し、それらのデータを散布することにより、システム全体としてよりサービス性が向上する。これは、一般のモバイルアドホックネットワークについても同様であり、他者の助けがなければネットワーク自体を構成することは非常に難しい。

このように他者のためのデータの準備ならびに他者のためにデータ通信回線の一部を供与するというモデルはインターネットのモデルそのものである。もちろん、集中サーバや特定のインターネットプロバイダを経由したサービスも可能であるが、多くの場合有料サービスであり、一定額以下まで価格が下落しないと利用者は増加しない。しかし、利用者同士の相互扶助を行うことが可能となれば、利用者は局所情報サービスをモバイルアドホックネットワークのみにて享受することが可能となる。

## 6. おわりに

インターネットでポピュラーとなっているサービスの性質として、情報の永続性の観点ならびに位置依存性について考察した。さらに、モバイル環境において位置と時間に依存するサービスがアドホックネットワークの新しい応用に結びつくことを説明した。

位置と時間に依存する情報を交換し同期することにより局所性の高い情報を用いたアプリケーションを構築することができる。そのための基本的なシステムモデルならびに構成要素である時空間オブジェクトについて説明し、車間通信による情報交換をシミュレータにより評価した。多数の利用者が存在する場合にはモバイルアドホックネットワークのみで情報が迅速に伝播することは示せたが、小数であるばあいには固定局の助けが必要となる。また、オブジェクト価値の観点からは、自分にとっての重要性と他者にとっての重要性は異なり、システムとして有効に動作させるためには相互扶助がひとつであることがわかった。

今後の課題としては、提案プロトコルの効率化、ならびにオブジェクト管理方式の効率化などについて検討していく予定である。

### 【参考文献】

- 1) H. Hartenstein, B. Bochow, A. Ebner, M. Lott, M. Radimirsch and D. Vollmer : "Position-Aware Ad-hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle Communications: the Fleetnet Project", Proc. of 2001 ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc), pp.259-262, 2001.
- 2) W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan : "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", Proc. of 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom99), pp.174 - 185, 1999.
- 3) W. Kellerer, C. Bettstetter, C. Schwingschlogl, P. Sties, K-E Steinberg and H-J Vogel : "(Auto) Mobile Communication in a Heterogeneous and Converged World", IEEE Personal Communications, Vol. 8, No. 6, pp.41-47, 2001.
- 4) A. Khelil, C. Becker, J. Tian, K. Rothermel : "An epidemic model for information diffusion in MANETs", Proc. of 5th ACM Int. Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM'02), pp.54-60, 2002.
- 5) R. Miller, Q. Huang : "An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System", Proc. of IEEE Vehicle Technology Conference(VTC), pp.414-418, 2002.
- 6) T. Nadeem, S. Dashtinezhad, C. Liao, and L. Iftode : "Traffic View: A Scalable Traffic Monitoring System", Proc. of 2004 IEEE Int. Conf. on Mobile Data Management (MDM2004), pp.13-26, 2004.
- 7) S.Y. Ni, Y.C. Tseng, Y.S. Chen, and J.P. Sheu : "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad-hoc Network", Proc. of 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom99), pp.151-162, 1999.
- 8) M. Papadopouli, and H. Schulzrinne : "Effects of power conservation, wireless coverage and cooperation on data dissemination among mobile devices", Proc. of 2nd ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc2001), pp.117-127, 2001.
- 9) C. Schwingschlogl and T. Kosch : "Geocast Enhancements of AODV for Vehicular Networks", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.6, No.3, pp.96-97, 2002.
- 10) A. S. Tanenbaum : "Computer Networks Forth Edition", Pearson Education Inc., 2003.
- 11) E. Teramoto, M. Baba, H. Mori, H. Kitaoka, I.Tanahashi, Y. Nishimura, et. al. : "Prediction of Traffic Conditions for the Nagano Olympic Winter Games Using Traffic Simulator : NETSTREAM", Proc. of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Vol.4, pp.1801-1806, 1998.
- 12) B. Xu, A. Ouksel and O. Wolfson : "Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks", Proc. of 2004 IEEE Int. Conf. on Mobile Data Management (MDM2004), pp.4-12, 2004.
- 13) IEEE802.11 Standard : "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", ISO/IEC 8802-11:1999, 1999.
- 14) Stuart J. Barnes and Sid L. Huff : "Rising sun: iMode and the wireless Internet", Communications of the ACM, Vol. 46, No 11, pp.78-84, 2003.
- 15) H. Balakrishnan, M.F. Kaashoek, D. Karger, R. Morris, I. Stoica : "Technical and social components of peer-to-peer Computing", Communications of the ACM, Vol. 46, No. 2, pp.43-48, 2003.
- 16) Tim Berners-Lee: "World-wide Computer", Communications of the ACM, Vol.40, No. 2, pp.57-58, 1997,.