

アドホックネットワーク上でのインセンティブを用いた車車間通信

吉田大成[†] 若山公威[†] 岩田 彰[†]

アドホックネットワークの利用分野として ITS(Intelligent Transport Systems) における車車間通信が注目されている。しかし、隣接している車のサービス提供者が異なる場合、車車間通信が必ず行われる保証がない。これを、ノード間協調問題という。そこで、本研究ではアドホックネットワークへのインセンティブ機能導入により、各ノードが協調する動機付けを行うことでノード間協調問題を解決する方式を提案する。さらに、本方式を適用した車車間通信についてシミュレーションを行い実用性について考察する。

Inter-Vehicle Communication using incentive on ad hoc network

TAISEI YOSHIDA[†], KIMITAKE WAKAYAMA[†] and AKIRA IWATA[†]

Inter-Vehicle Communication in ITS(Intelligent Transport Systems) is considered as an application field of ad hoc network. However, when the service provider of the neighbor car is different, there is no guarantee that communication among the car cars is carried out. This is called a cooperation problem among the nodes. In our research we propose the introduction of an incentive system to ensure the nodes to cooperate. Simulations of Inter-Vehicle Communication using the proposed system have been done to show the practicability of the proposed system.

1. はじめに

現在、社会においては場所に制約されることなく、端末同士が自律的に連携し動作することができる柔軟性があるネットワークが求められている。これを実現するのが、アドホックネットワークである。アドホックネットワークは、自立的に多数の無線端末(以下、ノードと呼ぶ)が相互接続したネットワークであり、インフラを持たない場所においてもネットワークを構築することが可能である。送信元ノードと宛先ノードが隣接していない場合でも、経路上の転送ノードがパケットリレー式にデータをマルチホップすることにより通信を確立できる。数年前までは、アドホックネットワークの利用環境として軍事や災害などといった、我々の生活とかけ離れたものが考えられていた。しかし近年になり、より現実的な応用例として ITS(Intelligent Transport Systems) における車車間通信や、メッシュネットワーク、センサネットワークなどにおける利用が注目され研究されている。

アドホックネットワークでは、全てのノードが協力

して互いにサービスを提供するという前提条件で研究が行われている。しかし、実際に利用する際には考慮すべき点がいくつかあげられる。各ノードはネットワークに対して要求が無いときも、他ノードのためにバッテリーの消費やコンピュータリソースの提供などを負担する必要がある。利用例の一つである車車間通信においては、サービスの提供者が各ノードごとに異なる場合、隣接しているノード間で必ず通信を行える保証がない。たとえ通信ができた場合でも、他のサービス提供者の情報を他のノードへ確実に届ける必要性がない。これらは、各ノードのネットワークにおける協同意思の振る舞いに大きく影響する。よって前記前提条件の通り、全てのノードが協力的であるとは限らないと言える。これをノード間協調問題と呼ぶ。ノード間協調問題が発生すると、論文 1) に示された通りネットワークのスループットは劇的に低下するため解決策が望まれる。

そこで、本研究ではアドホックネットワークへのインセンティブ機能導入により、各ノードが協調する動機付けを行うことでノード間協調問題を解決する方式を提案する。さらに、本方式を適用した車車間通信についてシミュレーションを行い実用性について考察する。

[†] 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

2. 関連研究

アドホックネットワークにおけるノード間協調問題の解決策としてインセンティブ機能を導入している研究を示す。

Levente らの方式¹⁾では、アドホックネットワークにて仮想通貨を用いる方式が提案されている。各ノードは、データの送信を行うには仮想通貨を必要とする。また、転送を行ったノードに対してはその対価として仮想通貨を与える。これによりアドホックネットワークへインセンティブ機能を導入している。仮想通貨は各ノードが装備する耐タンパーモジュール TRM(Tamper Resistant Module) に全幅の信頼を置き管理している。しかし、運用には非常に高機能な TRM の製作が必要であり、かつ全てのノードが TRM を実装するしなければならない。また、結託した複数ノード間でデータを巡回させることにより仮想通貨の盗難が可能であり、不正ノードの追跡が不可能なことが課題と言える。

安齋らの方式²⁾は、ノード間協調問題の解決策としてセルラネットワークにおいて、Levente らの方式¹⁾と同様に仮想通貨を導入することによりインセンティブ機能をもたせ、さらに、仲介ノードと呼ぶ特権ノードがインセンティブ機能と PKI(Public Key Infrastructure) 補助機能を同時提供する方式を提案した。セルラネットワークとは無線 LAN スポットサービスや基地局を介してバックボーンインフラに接続する携帯電話等のネットワークと、アドホックネットワークを結合したネットワークのことである。Levente らの方式¹⁾と比較し、仮想通貨の管理と PKI の運用が明確に示されている。しかし、全てのノードが TRM を実装する必要があること、ノードが移動する場合には別の仲介ノードに登録しなおす必要があること、高いリソースが求められる仲介ノードの登録がなければシステムの運用ができないこと、ノードは常に仲介ノードと隣接する必要があり運用エリアが限定されることが課題と言える。

3. 研究目的

従来方式では、ノード間協調問題の解決策としてアドホックネットワークに仮想通貨を用いインセンティブ機能を導入している。しかし、仮想通貨の管理に必要である高性能な TRM を全てのノードが実装することはシステムを運用する際に現実的とは言えない。また、システム(または、仮想通貨)の提供者が異なるノード間では依然としてノード間協調問題は未解決の

ままである。

システムを容易に導入するためにはノードに負担をかけないことが大切である。よって、本研究では仮想通貨を用いることなくインセンティブ機能を導入することにより、TRM を必要としないシステムを構築することを目的とする。さらに、不正の検出と不正ノードの追跡を可能とすることでセキュアなシステムを構築することを本研究の目的とする。

4. 提案方式

提案方式では評価式により送信データの評価値を決定し、評価値に基づいて隣接しているノード間でデータの交換を行うことにより、従来方式で用いた仮想通貨を廃止する。全てのノードでデータの交換を繰り返すことにより送信データは宛先ノードまで送信される。自らがデータを送信するには、他ノードの転送を手伝う必要が発生するため、これによりノード間協調問題を解決できる。また、仮想通貨を管理するための耐タンパーモジュールは必要とせず、さらに特別なモジュールや新たなシステムの構成も必要としない。運用には、データの価値を一意に決め P2P を行えるアプリケーションの導入だけでよい。

データの価値を決める評価式は、データの送信時間、送信場所、送信データ容量、その他送信内容によりリアルタイム性の高いものや、提供するサービス、ネットワークに対して貢献度が高いものほどポイントを高くし、それぞれの項目に対し重みづけを行ったものを足しあわせることにより評価値として導き出す。評価式により一意に導きだされれる評価値に基準を設けることで、使用するアプリケーションやサービスの提供者が異なるノード間においても、評価値に基づいたデータの交換を行うことが可能である。

また、提案方式ではデータ送信・転送時に公開鍵暗号方式によるデジタル署名をデータに対して行う。転送ごとにデジタル署名の連鎖を行い、データに転送経路の記録を残すことで不正行為をおこなったノードの追跡を可能とする。これは、転送経路中での不正行為の抑止にもつながると考えられる。

4.1 前提条件

本方式における前提条件を以下のように定める。

- データの宛先はアドホックネットワーク上でサービスを提供するサーバもしくは、AP や基地局を経由するインターネット上のサーバを想定する。
- 送信元ノードと宛先ノードは互いのデジタル証明書を予め保有している。
- 宛先であるサーバはすべてのノードのデジタル証

明書について検証を行うことが可能である。

- 他ノードのデジタル証明書の失効状態確認については、アドホックネットワーク上で取得可能な情報のみを用いて行う。

4.2 用語説明

本方式の説明に以下の記号を用いる。

- N_α : ノード α を示す。
- $Data_\alpha$: 送信元ノード α から送信されたデータ。
- $Cert_\alpha$: ノード α のデジタル証明書。
- $SK_{\alpha\beta}$: ノード $\alpha\beta$ 間で使用するセッション鍵。
- $FR_{\alpha\beta}$: 転送経路ログ。ノード α からノード β に転送されたことを示す。
- V_α : ノード α により宣言された Data の価値。
- $Sign_\alpha(x, y, z)$: デジタル署名。データ x, y, z に対して署名を行ったことを示す。

4.3 プロトコル

図 1 に示すアドホックネットワークが構築され、送信元ノード N_A が宛先ノード N_F に対して送信要求が発生したとする。

- 送信ノードの場合

Step1.a: 評価値の宣言 N_A は送信データ $Data_A$ の価値 V_A を評価式を用いて決定する。隣接している N_B, N_C に対し、 V_A と N_A のデジタル証明書 $Cert_A$ をブロードキャストする。

Step2.a: 転送ノードの決定 V_A を受信した N_B, N_C は、自らが所持している送信・転送予定のデータの評価値 V_B, V_C を求め、 V_A と比較する。評価値が等しいとき、転送ノードとなる権利が発生する。 $V_A = V_B$ であり N_B にデータ交換の意思があるとき、 N_B は $N_A N_B$ 間で使用するセッション鍵 SK_{AB} を作成し、 $Cert_B$ と V_B と共に N_A へ返信する。

Step3.a: データの交換 N_A は、 N_F の公開鍵で $Data_A$ 暗号化する。そして、 $Data_A, V_A$ 、転送経路ログ FR_{AB} に対してデジタル署名 $Sign_A(Data_A, V_A, FR_{AB})$ を行い、 SK_{AB} を用いて暗号化し N_B へ送信する。データを受信した N_B は、 $Sign_A(Data_A, V_A, FR_{AB})$

の検証を行う。さらに、 V_A と FR_{AB} の正当性を確認する。 V_a は $Data_a$ が暗号化されているため、評価式により再計算はできないが Step1 での宣言通りであるかを確認する。宣言通りで無ければその場でデータを破棄しデータの交換を終える。 N_B は正当性の確認を終えたら、 N_A に $Data_B, V_B, FR_{AB}, Sign_B(Data_B, V_B, FR_{AB})$ を送信する。 N_A は正当性の検証を終えたらデータ交換の終了を N_B へ通知し、データの交換を終了する。データの交換が終了した時点で、送信したデータは各ノードで消去する。

- 転送ノードの場合

Step1.b: 評価値の宣言 N_A から得た $Data_A$ を所持している N_B が新たにデータの交換を行う際、 $Data_A$ も一緒に転送する。 N_B は N_A が評価した値 V_A に N_B が新たに送信したい $Data_B$ の評価値 V_B を加えた等しい値 V_{A+B} で宣言をする。隣接している N_D, N_E に対し、 V_{A+B} と N_B のデジタル証明書 $Cert_B$ をブロードキャストする。

Step2.b: 転送ノードの決定 V_{A+B} を受信した N_D, N_E は、自らが所持している送信・転送予定のデータの評価値 V_D, V_E を求め、 V_{A+B} と比較する。評価値が等しいとき、転送ノードとなる権利が発生する。 $V_{A+B} = V_D$ であり N_D にデータ交換の意思があるとき、 N_D は $N_B N_D$ 間で使用するセッション鍵 SK_{BD} を作成し、 $Cert_D$ と V_D と共に N_B へ返信する。

Step3.b: データの交換 N_B は、 N_F の公開鍵で $Data_B$ 暗号化する。そして、 $Data_B, V_B, FR_{BD}, Sign_A(Data_B, V_B, FR_{BD}, Sign_A)$ を行い SK_{BD} を用いて暗号化し N_D へ送信する。 N_D は、 $Sign_B(Data_B, V_B, FR_{BD}, Sign_A)$ の検証を行う。さらに、 $V_{A+B} = V_B + V_A$ と FR_{BD} の正当性を確認する。宣言通りで無ければその場でデータを破棄しデータの交換を終える。 N_D は正当性の確認を終えたら、 N_B に $Data_D, V_D, FR_{BD}, Sign_D(Data_D, V_D, FR_{BD})$ を送信する。 N_B は正当性の検証を終えたらデータ交換の終了を N_D へ通知し、データの交換を終了する。データの交換が終了した時点で、転送したデータは各ノードで消去する。

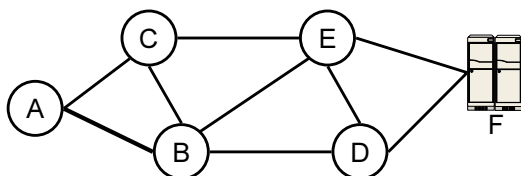


図 1 ネットワーク構成図
Fig. 1 Composition of the network

Step1 から Step3 の行程の繰り返すことで、データは N_A から N_F まで送信される。 N_B は N_A のデータも一緒に転送することにより、サーバである N_F からより多くのデータを取得することができるため、インセンティブが発生しノード間協調問題を解決できる。

4.4 不正防止メカニズム

提案方式に対して考えられる不正と、その防止方法について述べる。データの価値を決定しその価値を元にインセンティブ機能を導入している。よって、考えられる不正は以下の3点である。

- 送信元ノードによる評価値の虚偽
- 転送ノードによる評価値の改竄
- データのコピーによる不正データの作成

これら不正に対して、提案方式では不正の検証が可能であることを示す。

送信元ノードによる評価値の虚偽 Step1 にて評価式によりデータの評価値が決定される。ここで宣言された評価値と、実際のデータの価値とが等しくない、つまり送信元ノードによる評価値の虚偽が考えられる。この不正に対しては、宛先ノードへデータが到着した時点で暗号化された送信データを復号し、評価式によりデータを価値を再評価することにより、送信元ノードが宣言した評価値と比較することが可能である。

転送ノードによる評価値の改竄 転送ノードにより送信元ノードもしくは、自らより前の転送ノードが宣言した評価値の改竄を行うことが考えられる。この不正に対しては、提案プロトコル中に送信ノードと全転送ノードが宣言した評価値がデータの中に含まれている。これにより、データを受信したノードは宣言された全ての評価値を比較することにより、途中で評価値の改竄が行われていないかを確認できる。また、すべての評価値が改竄されていた場合でも、宛先ノードがデータを受信した時点でデータを再評価することにより検証可能である。

データのコピーによる不正データの作成 提案方式ではデータ自体に価値があるため、データをコピーすることも禁止している (Step3 にてデータ交換後消去している)。よって、データをコピーし不正データを作成することも不正となる。この不正に対しては、オリジナルデータと不正データは宛先が同一であるため、宛先ノードへ同一データが複数届くことになる。よって、同一データが複数届いた場合、データの送信ノードもしくは転送ノードの中に不正コピーをしたノードが存在する

ことが判明する。その際、転送経路ログ FR の比較をすることで、不正コピーを行ったノードの追跡が可能となる。

4.5 考察

提案した方式では、従来方式で必要とされた TRM を使うことなくインセンティブ機能をアドホックネットワークへ導入した。これにより、実環境下において利用する場合、従来方式と比較しより現実的に導入できる。また、セキュリティについては、送信先ノードと宛先ノード間では、共通鍵暗号方式によりデータを暗号化することにより、改竄や盗聴からデータを守ることが可能である。さらに、データの交換に伴う隣接ノード間での通信ではセッション鍵を用いることで暗号化通信を行うことが可能である。不正行為に対しては、不正の検証が可能であり、さらに不正行為を行ったノードを追跡可能であるため不正行為の抑止にもつながると考えられる。

アドホックネットワークでは、送信したデータが転送ノードにより破棄されるなど、通信の信頼性が乏しい。このため、同一のデータを複数送信を行うことがあるため、ネットワークトラフィックの増大も問題となっている。提案方式では、データ自体に価値があるため転送ノードが途中でパケットの破棄をすることは考えにくい。そのため通信の信頼性の向上につながる。さらに、データのコピーは認められていないので、不必要なデータの送信が減るためネットワークトラフィック増加の抑止にも効果があると考えられる。

5. 車車間通信への適用

現在 ITS では DSRC(Dedicated Short Range Communication) 対応による新サービスの展開が考えられている³⁾。DSRC により運行管理システムや料金決済システムなどがすでに実用化されているが、道路の情報ネットワーク基盤の高度化が進むことにより、ドライバーにとって有益な情報(以下、サービス情報と呼ぶ)を収集し豊富にタイムリーに提供することが可能となる。しかし、DSRC は路車間通信であるため、DSRC からサービス情報を得るには DSRC の付近を車が走行しなければならない。このため、全ての車がサービス情報をリアルタイムに受信することは不可能である。また、DSRC の設置には非常にコストがかかることため、多くの場所へ設置することは難しいと考えられる。

そこで考えられているのが、DSRC による路車間通信と車車間通信との連携である。路車間通信により配信されたサービス情報を車車間通信によりマルチホッ

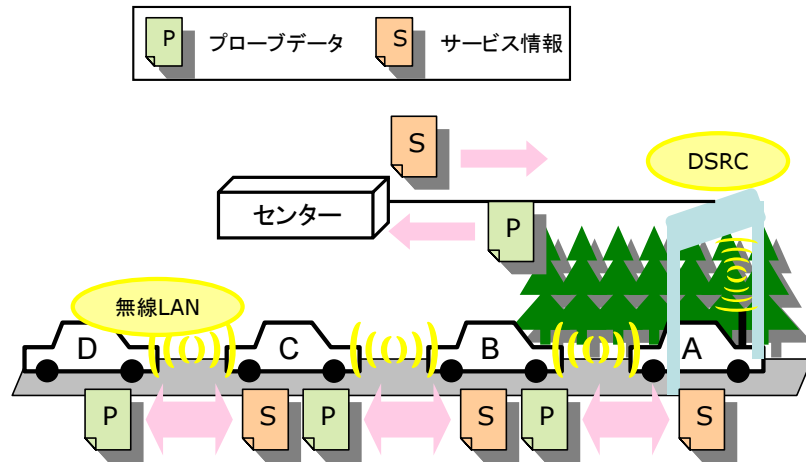


図 2 提案方式の車車間通信への適用モデル

Fig. 2 Model of the proposed method applied in Inter-Vehicle Communication

ブに通信することで、より多くの車へ情報を配信することが可能となる。しかし、車車間通信は通信仕様の規格化、無線回線の信頼度確保、装置のコストなど多くの技術的課題が残されているのが現状である。車々間通信システム専門委員会では車車間通信は通信仕様の規格化については、マイクロ波、ミリ波を使用した通信仕様の妥当性の検証が行われている⁴⁾。装置のコストや通信仕様の規格化までの労力、ユーザの利便性や汎用性を考慮し一般に普及している IEEE802.11 規格群による無線 LAN を用いたアドホックネットワークによる車車間通信の研究も多く行われている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。仮に各メーカーごとに仕様が異なる場合、車車間通信を成立させるのは不可能である。また、他の提供者が配信しているサービス情報の利用はできないと思われる。この場合、通信規格が決定したとしても、アドホックネットワークにおけるノード間協調問題と同等の問題が起きることが予想される。

さらに、ドライバーにとってもっとも有益な情報として考えられる、リアルタイムでの交通情報等を提供するにはプローブカーシステムの実現が必要となる。プローブカーシステムとは、個々の車両等の移動体を動くセンサーのプローブ（探針）と見なしてその情報を活用する技術のことをいう。しかし、過去の実証実験においては運輸車両（バス、タクシーなど）や業務車両からプローブデータの収集を行っているが、すべての地域の状況を把握するにはデータ量が少なすぎるためリアルタイムでの交通情報等を提供するには非常に困難であるといえる。よって、一般車両からのプローブデータの収集が不可欠であるが、現在用いている携帯電話や専用無線などによるプローブデータの収集は

コストがかかるため、普及させるのは難しいといえる。

ITS の路車間通信と車車間通信との連携による新サービスの展開における改善点を以下にまとめる。

- 車車間通信におけるノード間協調問題の解消。
- DSRC 設置のコスト削減。
- プローブデータの低コストで効率的な収集。

これらの解決策として、車車間通信へ提案方式を適用する。適用モデルを図 2 に示す。適用モデルでは、全車がプローブカーであるとする。各車から発生するプローブデータや DSRC から配信されるサービス情報を、評価式により評価値を決定する。そして、車車間・路車間で等価値のプローブデータとサービス情報を交換する。異なるサービス提供者の情報でも一時的所持し、次回他車のプローブデータと交換することで、自らが必要とするサービス情報をより多く取得できる。また、プローブデータとサービス情報は時間やデータの発生場所により価値を決めやすく、一意の評価式を比較的容易に作成できると考えられる。

6. シミュレーション

車車間通信への提案方式適用の評価として、ネットワークシミュレータ GloMoSim⁸⁾ を用いてシミュレーションを行った。シミュレーション環境を表 1 に示す。シミュレーションエリアの中心に DSRC を設置し、サービス情報を随時配信した。シミュレーション開始時からデータの交換が行えるよう、すべての車はあらかじめサービス情報を所持している。各車は予め RANDOM に配置し RANDOM-WAYPOINT により移動させた。ルーティングプロトコルは AODV を用い、データの交換を行う際には、DSRC への経路

表 1 GloMoSim 設定パラメータ
Table 1 Setting parameters on GloMoSim

SIMULATION-TIME	60min
TERRAIN-DIMENSION	(1000m,1000m)
NODE-PLACEMENT	RANDOM
MOBILITY	RANDOM-WAYPOINT
MOBILITY-WP-PAUSE	30S
MOBILITY-WP-MIN-SPEED	0(meter/sec)
MOBILITY-WP-MAX-SPEED	20(meter/sec)
RADIO-FREQUENCY	2.4GHz
RADIO-BANDWIDTH	2Mbps
MAC-PROTOCOL	IEEE 802.11
ROUTING-PROTOCOL	AODV

情報を持っている車を優先させた。各車は一定間隔でプローブデータ(データ量 2KB)が発生し、プローブデータ発生時に通信要求が起こるようにした。プローブデータ 1 個とサービス情報 1 個を交換できるとする。測定を表 2 に示す条件で行った。

6.1 プローブデータ収集率

表 2 に示すそれぞれの条件において、各車から発生した全プローブデータのうち、DSRC において収集したプローブデータの割合(以下、プローブデータ収集率と呼ぶ)を図 3 に示す。

プローブデータ収集率は、Sim 1. と Sim 3.(または、Sim 2. と Sim 4.) がほぼ等しいことから、エリア内に存在するノード数による影響は小さいといえる。シミュレーション開始から 10 分間はどの条件もほぼ変

表 2 測定条件
Table 2 Measurement conditions

Sim No.	プローブカー台数	プローブ発生間隔 [sec]
Sim 1.	100	180
Sim 2.	100	300
Sim 3.	200	180
Sim 4.	200	300

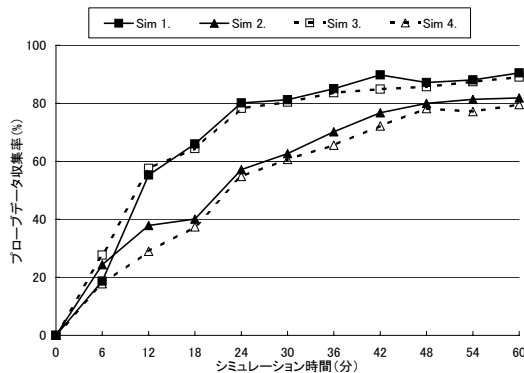


図 3 プローブデータ収集率
Fig. 3 Probe data collection rate

わらないと言えるが、通信間隔の影響は 10 分から 40 分までの間で大きく表れており、通信間隔が短いほど効率よくプローブデータを収集できていると言える。45 分以降はプローブデータ収集率が 80%程度で横ばいになっているが、これはプローブデータ収集率計測時の直前に発生されたプローブデータの収集が行えていないためである。これらのプローブデータも発生からある程度の時間が経過すれば収集することが可能であると考えられる。

6.2 平均サービス情報所持数

表 2 に示すそれぞれの条件において、各車が所持するサービス情報の平均(以下、平均サービス情報所持数と呼ぶ)を図 4 に示す。

平均サービス情報所持数は、Sim 1. と Sim 3.(または、Sim 2. と Sim 4.) がほぼ等しいことから、エリア内に存在するノード数による影響は小さいといえる。しかし、通信間隔の影響は大きく、Sim 1. から Sim 2.(または Sim 3. から Sim 4.) では間隔が 180 秒から 300 秒へ約 2 倍になると、約 60 個から約 30 個へと 0.5 倍となることがわかる。これにより、提案方式が通信要求の発生頻度に大きく影響することがわかる。

6.3 サービス情報拡散状況

測定条件 Sim 3. においてシミュレーション開始から DSRC により新たに配信されたサービスの各ノード所持数を示す。シミュレーション開始から 5 分経過時のサービス情報所持数を図 5 に、シミュレーション開始から 25 分経過時のサービス情報所持数を図 6 に、シミュレーション開始から 45 分経過時のサービス情報所持数を図 7 に、シミュレーション開始から 60 分経過時のサービス情報所持数を図 8 に示す。

DSRC から配信された新たなサービス情報は、5 分経過時では図 5 より大半の車は取得できておらず、直接 DSRC と通信を行った車のみが所持していること

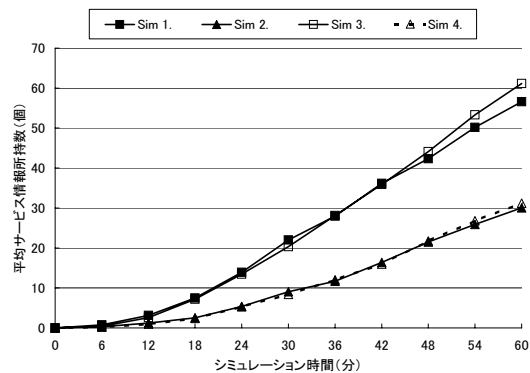


図 4 平均サービス情報所持数
Fig. 4 Average collection of service information

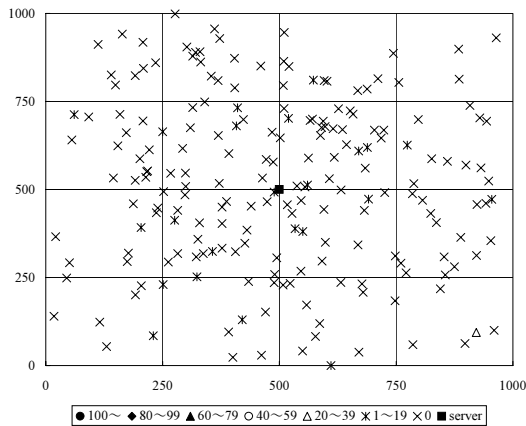


図 5 Sim 3. 5 分経過時のサービス情報所持数

Fig. 5 Sim 3. Number of service information collected in 5 minutes

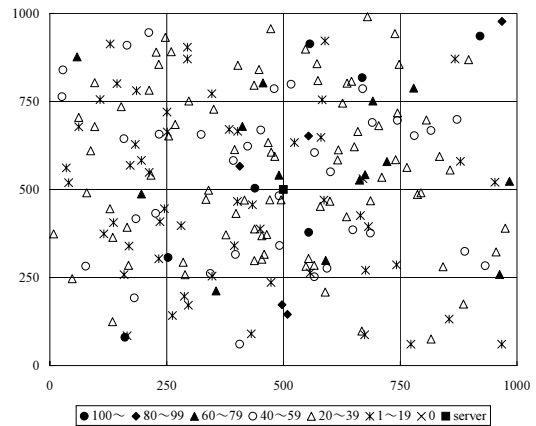


図 7 Sim 3. 45 分経過時のサービス情報所持数

Fig. 7 Sim 3. Number of service information collected when in minutes

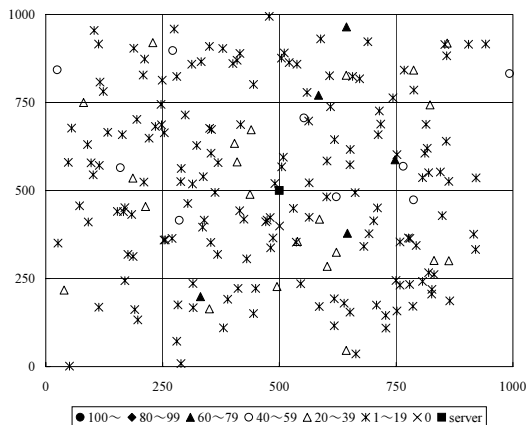


図 6 Sim 3. 25 分経過時のサービス情報所持数

Fig. 6 Sim 3. Number of service information collected in 25 minutes

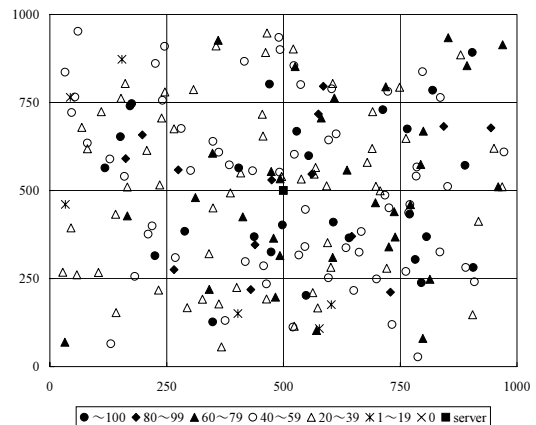


図 8 Sim 3. 60 分経過時のサービス情報所持数

Fig. 8 Sim 3. Number of service information collected in 60 minutes

がわかる。しかし 25 分経過時では図 6 より、すべての車がサービス情報を所持しており、さらにサービス情報所持数が 40 個以上の車がエリア内に散らばり始めている。そして 45 分経過時では図 7 より、より多くのサービス情報が広範囲に配布され始めており、サービス情報所持数が 60 個以上の車がエリア内に散らばり始めている。60 分経過時では図 8 より、約半数の車が 60 個以上のサービス情報を所持し、さらに広範囲に広がっている。これにより、車車間通信に提案手法を適用してもサービス情報の拡散に制限がかかることなく通信が行えているといえる。

7. 考 察

シミュレーションの結果より、車車間通信へ提案方式を適用することでノード間協調問題を解決できるといえる。さらに、図 3 や図 4 より車車間通信と路車間

通信の連携により DSRC の設置数を減らすことによりコスト削減が望める。そして、一般に普及している IEEE802.11 規格群による無線 LAN を用いた車車間通信によりプローブデータを低コストで効率的な収集ができたといえる。

また、渋滞情報などのサービス情報をリアルタイムに提供するためには、プローブデータの収集時間と各車へのサービス情報の配信時間を短くする必要がある。そのためには、通信要求の発生間隔を短くすることで、より多くのデータ交換を行う機会を発生させる必要がある。しかし、通信要求の発生間隔を短くしすぎるとネットワークトラフィックの増加によりスループットが低下する恐れがある。よって、通信要求の発生間隔の調整により、効率よくプローブデータの収集やサービス情報の配信を行うことが課題である。

8. ま と め

本研究では、ノード間協調問題の解決策として隣接ノード間において評価値に基づいたデータ交換によりインセンティブ機能を導入する方式を提案した。提案方式では公開鍵暗号方式を用いることにより、セキュリティの確保を行うと共に、想定される不正行為を行ったノードの追跡も可能であることを示した。これにより、車車間通信へ提案方式を適用することで車車間通信で発生するノード間協調問題を解決できるといえる。ネットワークシミュレータにより検証を行った結果、提案方式を適用した車車間通信と路車間通信の連携により 30 分で約半分のプローブデータを収集できることを示した。また、DSRC から配信されるサービス情報については、DSRC から直接配信されなくても車車間通信との連携により、エリア内へ十分に拡散させることが可能であることを示した。これらの検証結果より提案方式は十分に実用可能であり、DSRC 設置のコスト削減と低コストで効率的なプローブデータ収集が望めると言える。

今後の課題として、プローブデータの収集効率やサービス情報の配信効率の向上が必要である。また、今回はネットワークシミュレータにより測定を行ったが、より精密な検証結果を得るためには交通流シミュレータも加えた測定を行うことが望まれる。

参 考 文 献

- 1) Levente Buttyan, Jean-Pierre Hubaux: *Nuglets: a Virtual Currency to Stimulate Cooperation in Self-Organized Mobile Ad Hoc Networks*, Technical Report DSC/2001/001 (2001).
- 2) 安齋潤, 松本勉: マルチホップセルラネットワークにおけるインセンティブ機能およびPKI補助機能の統合, 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 12, pp. 2589-2599 (2004).
- 3) 財団法人 道路新産業開発機構
<http://www.hido.or.jp/index.html>
- 4) ITS 情報通信システム推進会議
<http://www.itsforum.gr.jp/index.html>
- 5) 齋藤正史, 船井麻祐子, 梅津高朗, 東野輝夫: アドホック通信に基づく行先経路の道路情報取得プロトコル開発, 研究報告 高度交通システム, No.016 - 008.
- 6) 田森正紘, 石原進, 水野忠則: アドホックネットワークにおける端末の位置を考慮した複製配布方式の評価研究報告 高度交通システム, No.018 - 019.
- 7) Hiroaki Morino, Tadao Saito, Mitsuo No-

hara: *AN EFFICIENT PROACTIVE ROUTING METHOD FOR MOBILE AD HOC NETWORKS USING REER-TO-PEER AND CELLULAR COMMUNICAION SYSTEM*, PWC 2002: 29 - 36.

- 8) GloMoSim
<http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gloMosim/>