

車両密度変化を考慮した車車間ルーティングプロトコルの検討

春名 恒臣[†] 重野 寛[‡]

慶應義塾大学大学院理工学研究科[†] 慶應義塾大学理工学部[‡]

車車間通信による車両アドホックネットワークでは制御パケットのオーバーヘッドが少なく、信頼性の高いネットワークが必要となる。しかし車両アドホックネットワークでは、道路信号などの外的要因により、車両走行状態が変化し頻繁に通信経路の更新が発生するため安定した経路構築が難しい。そこで本稿では車両密度に応じ動的に経路選択を行うルーティングプロトコルを検討する。本方式は、周辺車両を把握することにより周辺車両密度を計算し、周辺車両密度を基準として経路を切り替えることで実現する。シミュレーションによる評価から、提案方式では既存方式と同程度のオーバーヘッドで高いパケット到着率を実現できることが示された。

An investigation of Density-based Vehicle-to-Vehicle Routing Protocol

Tsuneomi HARUNA[†] Hiroshi SHIGENO[‡]

Graduate School of Science and Technology, Keio University[†]
Faculty of Science and Technology, Keio University[‡]

In order to construct a reliable inter-vehicle ad hoc network, it is necessary to minimize the amount of overhead in control packets. However, external factor such as road signal makes establishment of steady route difficult. It causes the vehicle stop-and-go, and update of the communication route occurs frequently. In this paper, we propose a routing protocol which dynamically selects route according to vehicle density based on Dynamic Source Routing (DSR). We apply this route selection by using vehicle density as threshold. We evaluate this proposal by the computer simulation and verified the effectiveness of the proposal method in accordance with the packet arrival rate.

1 はじめに

ユビキタス社会の到来によってモバイル通信技術の関心が高まり、ITS (Intelligent Transport Systems: 高度交通システム) への取り組みが盛んに行なわれ注目されている。

ITS では事故情報や渋滞情報を車車間通信によって伝達・配信することにより、詳細でリアルタイム性の高い情報を取得する方式の研究が盛んに行われている。そのためには衝突防止システムのような近接車両間の通信だけでなくマルチホップ環境のネットワークを道路上に構築することが必要である。そこで移動端末のみで自律的に構成されるアドホックネットワークの研究成果を車車間通信に適用することが盛んに検討されている。

従来検討されてきた車車間通信をアドホックネットワークに適用したプロトコルの中で、発進による加速や停止による減速による車両特有の運動を考慮したものは少ない。そのため、道路信号や道路形状などの外的要因による車両走行状態が変化し頻繁に通信経路の更新が発生してしまい、安定な経路が構築できない可能性がある。

そこで本稿では、車両密度に応じ動的に経路選択を行うルーティングプロトコルを検討する。既存のリアクティブルーティングプロトコルである DSR に周辺車両を把握することにより周辺車両密度を計算する機能と、周辺車両密度が一定値以下になったときに履歴経路に切り替える機能を追加することにより提案方式を実現する。またシミュレーションによ

り提案プロトコルの性能を評価し、経路を再構築する際に生じるパケットロスが低減できることを示す。

2 車両密度の変化を引き起こす外的要因

道路ではさまざまな外的要因により、車両が加速や減速を行わなければならない状況が発生する。以下に外的要因を列挙し、周辺車両の走行状況に与える影響を考察する。

● 道路信号

道路信号が青信号のときは車両の走行を妨げるものはないので、車両密度は概ね均一であり、図1のように定常走行している状態である。

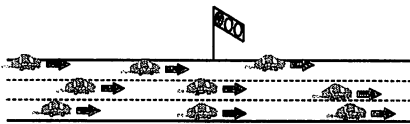


図1: 青信号走行中の車両密度変化

道路信号が青信号から赤信号になると、道路信号の手前にいる車両は道路信号から近い車両から順に減速し停止するが、道路信号よりも先を走行している車両はそのまま走行を続ける。このとき、赤信号である間は、図2のように道路信号の手前の車両密度が増加し続ける。

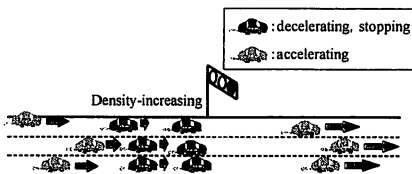


図2: 赤信号停止時の車両密度変化

道路信号が赤信号から青信号になると、道路信号に近い車両から順に加速し、図3のように車両密度は減少する。

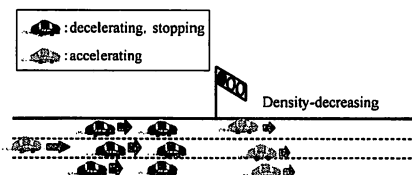


図3: 青信号発進時の車両密度変化

すべての車両が加速し、走行状態に戻ると、車両密度は概ね均一に戻る。

● 合流、分岐

合流とは、高速道路のインターチェンジやジャンクションにおいて、数本の道路が1本になる道路形状を指す。このとき、複数の道路から車両が流入するため、車両密度は増加する。分岐とは、1本の道路が数本になる道路形状を指す。このとき、合流とは逆のことが起きるので、車両密度は減少する。

● 交差点

交差点は、合流と分岐が組み合わさったモデルであると考えられる。そのため、車両密度の増減は合流する車両が多いか分岐する車両が多いかで変化する。

● 渋滞

渋滞は、道路信号が赤信号になっている状態とほぼ同じであると考えられる。渋滞に入ったときに減速し、渋滞の中でゆっくり走行しているときは車両密度が増加し続ける。渋滞を抜けると赤信号から青信号に変わった状態と同じく、車両密度は減少する。

このような外的要因の中で、本研究では、道路信号について取り上げる。また、本稿では、道路信号の影響を受ける前の走行状態の車両の配置が、道路信号の影響を受け停止した後、再び走行状態に戻ったときの車両の配置に類似すると予想できることに着目する。図4に道路信号の影響を受ける前後の車両配置が類似している具体例を示す。道路信号で停止する前の車両A,B,Cの走行配置が、道路信号で停止し発進した後の車両A,B,Cの走行配置と類似していることがわかる。

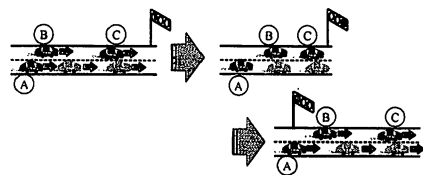


図4: 道路信号影響前後での車両配置の類似

3 車車間通信へのアドホックルーティングプロトコルの適用

3.1 関連研究

車車間通信でのプロトコルについて様々な研究が行われており、アドホックネットワークのルーティング方式を適用が検討されている。ルーティング方

式にはリアクティブ型、プロアクティブ型、さらに位置情報を利用した位置ベース型 [1] がある。ノードの移動性の高い ITS ではリアクティブ型や位置ベース型が適している [2]。

[3] では建物など障害物のある交差点において効率的にルーティングを行うために、交差点上にいることを周辺車両の情報から検知し、中継ノードとして優先的に利用することが提案されている。[4] では車車間ネットワークにおける安定性の高い経路構築方式を行うために、アドホックネットワークのリアクティブな経路構築方式の AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector routing) の経路検索処理に車両の相対速度情報を付加した方式が提案されている。[5] では離れた領域へのデータ散布の方式として、データのルーティング先に適したノードがいる場合に転送する Opportunistic Forwarding [6] を適用し、転送ノードを複数にすることが提案されている。[7] では各車両が取得する道路情報を一定周期でブロードキャストし順次伝搬させることで、行き先道路の情報を取得するための散布プロトコルが提案されている。

これらの研究のコンセプトとしては車車間通信による情報散布と車車間ネットワークにおける通信経路構築という 2 つに大きく分類することが出来る。[5][7] は前者の例であり、[3][4] は後者の例である。

3.2 既存方式の問題点

道路信号や道路形状などの外的要因を受けやすい一般道路において、車両アドホックネットワークを構築する上での既存方式の問題点について述べる。

リアクティブ型の代表的なプロトコルである DSR (Dynamic Source Routing) [8] では、ノードの状態を考慮せずに最短となる経路を構築することが目標となっている。しかし、車両アドホックネットワークでは、車両が加速し通信中の車両ノード同士が離れていく場合などでは、最短経路を構築してもすぐにリンク切断が生じてしまい、制御パケットの増大してしまうため、必ずしも最短経路が安定で効率的ではない。

既存の車車間アドホックネットワークプロトコルは、個々の車両の位置や相対速度を考慮し、それぞれの状態に適応した経路構築方式が多くあった。しかし、これらの方式では、一般道路に適用する上で以下のような問題がある。

道路信号や道路形状などの外的要因による、車両特有の運動である加速や減速、つまり加速度が考慮

されていない。一般道路では車両が加速や減速を行うことにより、車群の形状が伸び縮みする。ここで、車群とは、周辺を走行中の車両全体を指す。この車群の伸縮を、車両密度で表すことができる。つまり、車群が伸びるときは車両密度は減少し、車群が縮むときは車両密度が増加することができる。一般道路では道路信号や道路形状などが数多く存在するため、車両密度の変化が激しいと考えられる。

車両密度の変化が激しい一般道路では、既存の車車間アドホックネットワークプロトコルでは頻繁な経路変更により、安定な経路が構築できない可能性がある。そこで、道路信号や道路形状などの外的要因により必然的に発生する車群運動を考慮した車車間アドホックネットワークプロトコルが必要である。

4 車両密度変化を考慮した車車間ルーティングプロトコルの提案

既存のリアクティブルーティングプロトコルである DSR の始点経路制御方式を用い、車両密度に応じ動的に経路選択を行う車車間ルーティングプロトコルを提案する。

4.1 想定環境と前提条件

本稿で想定する道路環境は、道路信号のある一般道路を車両が走行し、一定周期で道路信号が切り替わる状況である。本方式を用いる前提を以下に挙げる。

各車両には車両走行情報を定期的に測定し更新することが可能なビーコンが搭載され、これにより周辺の車両走行情報を知ることができるものとする。また、各車両は GPS 受信機などの車両の位置を測定する手段を持つことを前提としないものとする。

4.2 車両密度変化に対応した経路選択

DSR をベースにし、以下の 2 つの提案機能を追加することで、周辺車両を把握することにより周辺車両密度を計算し、その周辺車両密度が一定値以下になったときに履歴経路に切り替える方法を提案する。

1. 周辺車両密度の把握

各車両は自車の通信範囲内の周辺車両密度と周辺車両加速度をビーコンにより定期的に測定し更新しているとする。ここで、各車両のそれぞれの通信範囲内にいる車両台数を各車両における周辺車両密度、それぞれの通信範囲内にいる周辺車両の加速度の平均を各車両における周辺車両加速度と定義する。そして、更新する直前

の周辺車両密度を記憶しており、これを前周辺車両密度と呼ぶ。これにより、車群の伸び縮みを知ることが可能になる。

2. 履歴経路の利用

車群が縮むときに経路自動短縮を行う前の経路を履歴経路として記憶し、車群が伸びるときにその履歴経路に戻すことにより、図4の車両位置の類似に適應することが可能になる。

また、以下では、本方式の具体的な経路構築、経路切り替えの方法を示す。

4.2.1 経路構築

データ送信車両からデータ宛先車両への通信要求が発生すると、DSRと同様な方法により経路発見・経路構築を行う(具体的には本稿では省略)。ここで、DSRと異なる点は、構築した経路は通信中の車両の周辺車両加速度が負にならない限り、経路自動短縮を禁止する。これにより、周辺車両密度があまり変化しないカーブなどの緩やかな加減速で生じる頻繁な経路変更を防止する。

4.2.2 車両停止時の経路短縮

道路信号が赤信号に変わるなどの周辺車両全体が減速し停止する状況、つまり車群の形状が縮む状況になると、全体的に周辺車両密度が上昇する。各車両は、自身の周辺車両密度と前周辺車両密度を比較し、周辺車両密度が前周辺車両密度よりも大きくなり、かつ、通信中の車両の周辺車両加速度は負になったとき、周辺車両密度が負になった車両は経路自動短縮を許可するメッセージをデータ送信車両に送信する。以後、データパケット転送を傍受した場合、経路自動短縮を行う(図5)。このとき、データ送信車両は経路自動短縮を行う前の経路を履歴経路として記憶する。

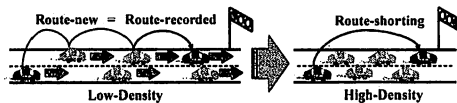


図5: 赤信号での車両停止時の経路短縮

4.2.3 車両発進時の履歴経路切り替え

道路信号が青信号に変わるなどにより、車両が加速し始めると徐々に車間距離が広がり、車群の形状が伸びる状況になり、全体的に周辺車両密度が低下する。各車両は、自身の周辺車両密度と前周辺車両密度を比較し、周辺車両密度が前周辺車両密度より

も小さくなり、かつ、自身の加速度が正になったとき、経路自動短縮を禁止させるメッセージをデータ送信車両に通知する。それと同時に、データ送信車両は現在使用している経路を、一番はじめに用いた経路である履歴経路に切り替える(図6)。

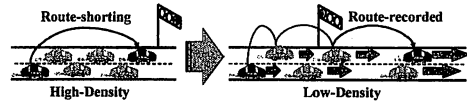


図6: 青信号での車両発進時の履歴経路切り替え

これにより、データ送信車両とデータ宛先車両の車間距離が広がり通信が途切れる前に、ホップ数は増えるが、あらかじめ中継車両ノードを増やすことで通信を維持することができると考えられる。よって、より経路変更が少なく安定した経路を構築することができると考えられる。

5 評価と考察

5.1 シミュレーションモデル概要

本方式の有効性を計算機シミュレーションにより評価を行った。シミュレーションモデルを図7に、シミュレーション条件を表1に示す。

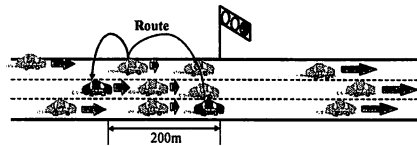


図7: シミュレーションモデル

表1: シミュレーション条件

道路	直線 1000[m], 片側 3 車線
道路信号切替間隔	青→赤: 50[sec] 赤→青: 30[sec]
平均車両初期速度	50[km/h]
ビーコン送信間隔	2.5[sec]
無線通信方式	IEEE802.11b
パケット発生周期	10[msec]
パケット発生数	1 セット: 6000[packet]

シミュレーションでは、一定周期で道路信号が切り替わる一般道路をモデルとした。道路信号が青信号から赤信号に変わったとき、道路信号付近の車両がデータ送信車両と設定し、道路信号から約 200m 後方付近の車両がデータ宛先車両と設定した。デー

タ送信車両からデータ宛先車両へ通信要求が発生し通信を開始する。その後、道路信号が赤信号から青信号に変わり、通信中の車両の速度が概ね初期速度に戻ったときに通信を終了するものとした。この通信の開始から終了までを1セットの通信とする。

パラメータの特徴を以下にまとめた。

- **道路**

道路信号の切り替え間隔は、青信号から赤信号までの間隔を 50sec、赤信号から青信号までの間隔を 30sec と設定した。

- **車両**

道路信号が赤信号になると、先頭車両から順に減速、停止し、道路信号が青信号になると、先頭車両から順に加速するように設定した。シミュレーションエリアへの車両の到着は、シミュレーションの変数となる車間距離で制御した。これにより、1車線 1km 内を走行中の車両台数はほぼ一定となり、この平均を平均車両台数と呼ぶ。

- **ビーコン通信**

電波ビーコンと同じ準マイクロ波である 2.5GHz 帯を用い、通信距離は 70m であるとする。これにより、自車の周辺 1 ホップの周辺車両の走行情報を知ることが可能となる。

- **無線通信**

安定した通信を実現するために、受信電力の低いパケットは MAC 層で意図的に破棄する環境を想定し、無線通信距離を 70m と設定した。また、1セットの通信で発生するデータパケットを 6000 パケットとし、1回のシミュレーションでは 10 セット行った。

5.2 比較対象および評価項目

5.2.1 比較対象

以下の 3 つの経路構築方式を比較対象とした。

- **proposal**

本研究の提案方式である。

- **DSR(org)**

提案方式のベースとなっている DSR を評価に用いる。経路自動短縮を行わない DSR(modified) と区別するために、DSR(org) と呼ぶ。

- **DSR(modified)**

DSR の拡張機能の一つである経路自動短縮を行わず、その他の機能は DSR と同じ方式を DSR(modified) と呼ぶ。経路自動短縮が車両密度変化の激しい環境では安定な経路構築の妨げとなっていると考えられるため評価に用いる。

5.2.2 評価項目

以下の 3 つの項目について評価した。それぞれの横軸は、平均車両台数とする。

- **パケット到着率**

発生したデータパケットの総量に対するデータ宛先車両が受信したデータパケットの割合を示す。また、データパケット送信時にデータ宛先車両への経路情報を保持していない、もしくは、リンク切断により通信経路が確立されていない場合は、パケットロスとカウントし再送処理は行わない。

- **平均経路変更回数**

1セットの通信を行ったときのリンク切断による RERR の発生数を計測し、データ送信車両からデータ宛先車両への経路の再構築が行われた回数の平均を示す。

- **オーバーヘッドと通信量の内訳**

オーバーヘッドは、データパケットを 10000 パケット送信したときの経路構築や経路管理を行うための制御パケットと、データパケットを中継車両がデータ宛先車両へ転送するときに発生するデータ転送パケットの合計パケット数を示す。また、10000 パケットのデータパケットとそのとき発生したオーバーヘッドを合わせた通信量のパケット数の内訳を示す。

5.3 シミュレーション結果と考察

以下にシミュレーション結果を示し、それぞれについて考察を行う。

5.3.1 パケット到着率

図 8 はデータパケットのパケット到着率と平均車両台数を示したものである。

全体的な傾向として、どの方式も平均車両台数が増えるにしたがって、パケット到着率が低下している。平均車両台数が増えると、コネクション車両であるデータ送信車両とデータ宛先車両の間にある車両台数が増え、道路信号からの発進時にデータ送信車両の発進が遅れ、コネクション車両間の距離が広がる。これにより、使用する経路上でリンク切断が起こりやすくなったためである。

proposal と DSR(modified) に比べ、DSR(org) は値が 3~7% 下回っている。この理由は道路信号が青信号になったときの発進時にある。車両は発進時に加速するため、後続車両との車両間の距離が広がり続ける。このとき、DSR(org) では、経路自動短縮に

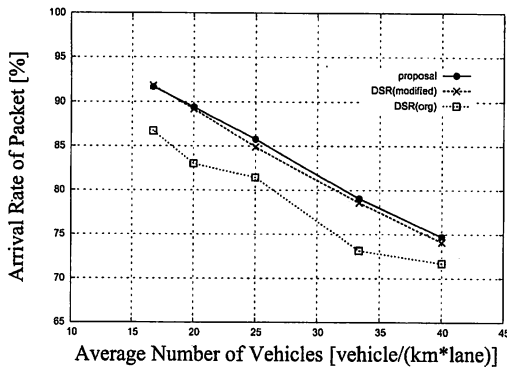


図 8: パケット到着率

より常にホップ数が少ない最短経路を構築するので、リンク切断が発生すると最短経路を構築するが、車両間の距離が広がりすぐにその経路もリンク切断を起こしてしまう。このように頻繁にリンク切断を起こしてしまい、パケット到着率が低下している。それに対し、proposal では道路信号からの発進時に履歴経路に戻ることを予想することで、リンクの切断を低減している。

proposal と DSR(modified) を比較すると、わずかなではあるが全体的に proposal の値が上回っている。proposal では、停止するまでの間、経路自動短縮を行っているので、適切にコネクッション車両間の車両を中継車両として用いることができる。それに対し、DSR(modified) では何も制御を行っていないので、道路信号よりも先の車両を中継車両に選び、リンク切断が発生する可能性があるからである。

以上より、本提案の周辺車両密度に応じ動的に経路選択を行うことで、既存の DSR(org) よりも高いパケット到着率を実現できることが確認できた。したがって、提案方式の有効性を示すことができた。

5.3.2 平均経路変更回数

図 9 は 1 セットの通信を行ったときの平均経路変更回数と平均車両台数を示したものである。

全体的な傾向として、どの方式も平均車両台数が増えるにしたがって、経路変更回数が上昇している。経路の変更は、リンク切断の検知によって RERR が発生し、経路の再構築が起こることによって起こるので、パケット到着率で説明した理由と同じく、平均車両台数が増えると、使用する経路上でリンク切断が起こりやすくなるためである。

proposal と DSR(modified) に比べ、DSR(org) は経路変更回数が多くなっている。この理由も道路信

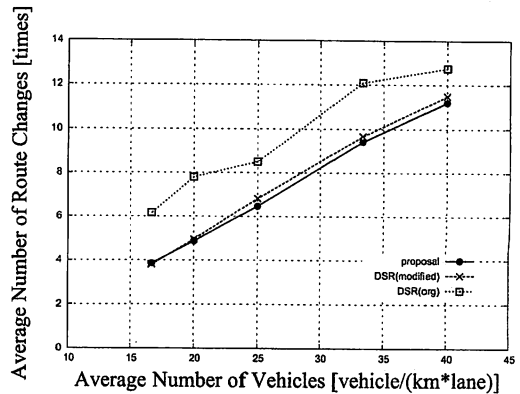


図 9: 平均経路変更回数

号が青信号になったときの発進時に、DSR(org) では頻繁にリンク切断を起こしてしまうためである。それに対し、proposal では道路信号からの発進時に履歴経路に戻ることを予想することで、経路変更回数を最大 60% に削減し、リンクの切断を低減している。

以上より、周辺車両密度に応じ動的に経路選択を行うことで、経路の再構築が抑制されていることが確認できた。これにより、安定した経路の構築ができたことを示すことができた。

5.3.3 オーバーヘッド

図 10 はデータパケットを 10000 パケット送信したときのオーバーヘッドと平均車両台数を示したものである。

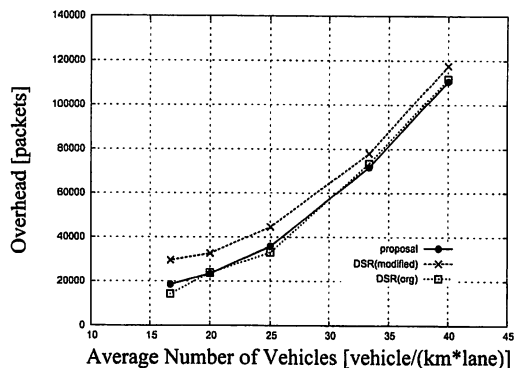


図 10: オーバーヘッド

全体的な傾向としては、どの方式も平均車両台数が増えるにしたがって、オーバーヘッドは増加している。オーバーヘッドは、制御パケットである REEQ, RREP, RERR とデータ転送パケットであるが、経路検索のためにフラッシングが行われる RREQ が最も影響していると考えられる。平均車両台数が増

えることでRREQによる経路検索を行う車両台数が増え、パケット数が増加していると考えられる。また同様に、proposalでは平均車両台数が増えることで1ホップ内にある周辺車両が増加し、ビーコンによる車両情報取得のためのビーコンパケットが増加していると考えられる。

DSR(modified)がproposalやDSR(org)に比べ、オーバーヘッドが多いことがわかる。これは、DSR(modified)では経路自動短縮を行っていないので、平均ホップ数が増え、データパケットを中継車両がデータ宛先車両へ転送するときに発生するデータ転送パケットが増加したためである。

図11は、図10における平均車両台数が20[vehicle(km*lane)]のときの、10000パケットのデータパケットにオーバーヘッドを合わせた通信量の内訳を示したものである。

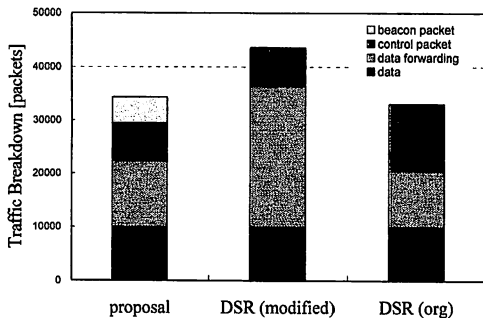


図 11: 通信量の内訳

図10においてproposalとDSR(org)を比べると、オーバーヘッドはややDSR(org)の方が少ないが、ほぼ同程度であることがわかる。ここで、図11より、DSR(org)の制御パケットがproposalのビーコンパケットと制御パケットの合計よりやや多いことがわかる。DSR(org)の制御パケットの増大は、頻繁な経路変更によるRREQの増加によるものである。また、proposalの方が平均ホップ数が多いので、データ転送パケットの量はDSR(org)に比べ多い。よって、proposalとDSR(org)のオーバーヘッドはほぼ同程度であるが、制御パケットは低減していることを確認できた。

以上より、提案方式の適用のために用いたビーコンによるオーバーヘッドはDSR(org)の制御パケットよりも少ないことを確認できた。全体的なオーバーヘッドを低減することはあまりできなかったが、既存方式であるDSR(org)と同程度のオーバーヘッドで高いパケット到着率を実現でき、提案方式の有効

性を示すことができた。

6 おわりに

本稿では、既存のアドホックネットワークプロトコルをベースに、周辺車両を把握することにより周辺車両密度を計算し、周辺車両密度を基準として経路を動的に切り替える方法を検討した。

既存のアドホック経路構築方式を比較した結果、平均車両台数が20[vehicle(km*lane)]のとき、本方式では既存方式と同程度のオーバーヘッドで、経路変更回数を60%に削減することにより、パケット到着率が3~7%改善できることが示された。以上より、本提案の周辺車両密度に応じ動的に経路選択を行うことで、経路変更回数の少ない安定した経路を構築でき、提案方式の有効性を確認することができた。

参考文献

- [1] M.Mauve J.Widmer H.Hartenstein. A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks. In *IEEE Network Magazine*, pp. 30–39, December 2001.
- [2] H. Hartenstein M. Kasemann D. Vollmer H. Fuessler M. Mauve. A comparison of routing strategies for vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of MOBICOM 2002, Student Poster*, 2002.
- [3] H.Fubler C.Lochert M.Mauve. Geographic routing in city scenarios. In *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.9, Issue1*, pp. 69–72, January 2005.
- [4] 吉田成志, 新井国充, 浅見重幸, 三木哲也. 車両アドホックネットワーク向けルーティング方式の提案. *電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-B, No.8*, pp. 1434–1443, August 2005.
- [5] R.Guensler M.Hunter H.Wu R.Fujimoto. MDDV: A mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks. In *ACM Proceedings of the first ACM workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 47–56, October 2004.
- [6] D.Vlah Z.Chen H.Kung. Ad hoc relay wireless networks over moving vehicles on highways. In *ACM Proceedings of the 2nd ACM International Symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pp. 247–250, October 2001.
- [7] 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き先経路の道路情報取得プロトコルの開発. *情報処理学会研究報告, 2004-ITS-16*, pp. 49–56, 2004.
- [8] The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR). <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>, July 2004.