

## 車車間ルーティングに対する信号を考慮した モビリティモデルの影響の検討

原田 亮<sup>†1</sup> 黒木 智也<sup>†1</sup>  
内川 亜美<sup>†1</sup> 重野 寛<sup>†2</sup>

ITS では、VANET で用いることを目的としたルーティングプロトコルが研究されている。ルーティングプロトコルの性能評価はシミュレーションで行うことが多く、その際にはモビリティモデルが大きな影響を及ぼすと考えられている。しかし、実環境に存在する信号を考慮することが性能評価にどの程度影響を与えるかは明らかにされていない。そこで本稿では、信号を考慮したモビリティモデルを提案し、シミュレーションにより性能評価への影響を検証する。

### The Study of Influence about Mobility Model with Signalized Junction by Using V2V Routing

RYO HARADA,<sup>†1</sup> TOMOYA KUROKI,<sup>†1</sup> AMI UCHIKAWA<sup>†1</sup>  
and HIROSHI SHIGENO<sup>†2</sup>

In ITS, there are a lot of routing protocol to use vehicular ad-hoc networks(VANETs). When evaluating routing protocol performance in simulation, a realistic mobility model for VANETs is critical for accurate results. The influence about simulation results is not clearly, however, in case of using mobility model with signalized junction. In this paper we propose mobility model with signalized junction, MMSJ, and analyze routing protocol performance in simulation.

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

#### 1. はじめに

現在、VANET で用いることを目的としたルーティングプロトコルの研究が盛んに行われている。ルーティングプロトコルの性能評価は、コスト等の面からシミュレーションによって行われることが多い。シミュレーションにおいて最も重要な要素の1つに、モビリティモデルがある。これは車両がシミュレーション上で擬似的に走行するモデルのことである。

VANET は MANET と異なり、車両が道路上を走行するという制約が存在する。また、車両は速度が非常に速く、頻繁に速度が変化する特徴があるため、頻繁にネットワークが切断される。そのため、モビリティモデルを正確に再現することがルーティングプロトコルの性能評価において非常に重要となる。

既存研究では、信号を考慮するなど実環境に近いモビリティモデルが提案されており、さらに MANET でしばしば使われるモビリティモデルを用いた際の性能評価と比較することで、実環境を再現したモビリティモデルが重要であると示している。しかし、これらの研究では実環境のモビリティモデルを再現することに焦点を当てており、信号の影響を明らかにすることを目的としていない。

本稿では、信号を考慮したモビリティモデル MMSJ を提案し、信号を考慮しないモビリティモデルと比較することで、信号の影響を検証する。MMSJ では、車両は目的地を設定せず、交差点ごとに進行方向を決定し走行する。また、基本速度制御、走行モード別制御、信号制御の3つの制御を加えることで、道路を走行する車両を再現する。基本速度制御とは、停止状態から加速する際にどのような加速度で走行するか、また走行状態から停止する際にどのような減速度で走行するかを制御する。走行モード別制御とは、車両位置により定められたゾーンごとにモードを設定し、モードに応じてモビリティを制御する。信号制御とは、各信号の信号周期と青信号比率を設定し、信号の状態を制御することで、各車両が各交差点において停止する必要があるかを判断可能にする。

シミュレーションでは、信号の影響を明らかにするため、MMSJ と MMSJ の信号制御を取り除いたモビリティモデル MMSJ-Simple を用いてプロトコルの性能評価を行う。その結果、MMSJ を用いた場合パケット到着率が最大 15 %低下し、平均遅延時間が平均 30 %低下する事を示す。また、信号の長さを決定する信号周期を変化させた際の結果についても考察し、さらに計算時間についても比較する。

## 2. 関連研究

### 2.1 代表的なモビリティモデル

モビリティモデルは MANET を対象とした研究が多くされている．文献<sup>1)</sup> や文献<sup>2)</sup> はモビリティモデルに着目したサーベイ論文であり，文献<sup>3)</sup> はルーティング性能を評価している．また，MANET の代表的なモビリティモデルであるランダムウェイポイントを用いた際のルーティングプロトコルの性能評価の研究も複数存在する<sup>4)5)</sup>．さらにランダムウェイポイントを改良したモビリティモデルも存在する<sup>6)</sup>．ランダムウェイポイント以外にも，グループモビリティ<sup>7)</sup> や障害物を考慮したモビリティモデル<sup>8)</sup> がある．

VANET を対象としたモビリティモデルとしては，道路走行プランを考えた研究がされている．文献<sup>9)</sup> は実際に存在する道路において交通状態を監視し，車両の流れを正確に再現するために CORSIM を使用している．文献<sup>10)</sup> は NS-2 ネットワークシミュレータで使用可能なトラフィックシミュレータである PARAMICS を使用している．また，文献<sup>11)</sup> は NS-2 シミュレータに現実のマップデータを組み込み使用している．

### 2.2 信号を考慮したモビリティモデル

文献<sup>12)</sup> は信号を考慮したモビリティモデル STRAW を提案し，シカゴとボストンの道路マップを使用してシミュレーションを行っている．なお，シミュレータは SWANS を用いている．シカゴの道路は図 1 のように網目状に交差しており，全ての道路が直線で結ばれている．ボストンの道路は図 2 のようにシカゴより複雑になっており，道路が様々な角度をなし交差している．このように道路形状が全く異なる 2 つの道路モデルを用いている．

STRAW のモビリティモデルは基本的に 2 つの要素から構成される．1 つ目はセグメント内のモビリティ，2 つ目はセグメント間のモビリティである．セグメント内のモビリティでは，以下の要素を考慮し走行する．

- $2.75\text{m}/\text{sec}^2$  で加速する．ただし各道路の最高速度を超えないように制御する
- 交差点内や次セグメントが詰まっている場合交差点手前で停止する
- 前方一定距離内に車両がいる場合，文献<sup>13)</sup> に従い減速する
- 信号が赤の場合  $2.75\text{m}/\text{sec}^2$  で減速し停止する．青に変わったら再び  $2.75\text{m}/\text{sec}^2$  で加速する
- 交差点で右左折する場合  $2.75\text{m}/\text{sec}$  まで減速し進行する．右左折し終わったら再び  $2.75\text{m}/\text{sec}^2$  ずつ加速する．

セグメント間のモビリティは，2 つの流入制御を行っている．1 つ目は共通の信号制御メ



図 1 STRAW のシカゴモデル

図 2 STRAW のボストンモデル

カニズムである．2 つ目は交差点を横切る前に次に進む道路の車両分のスペースを確保することである．このように，セグメント内とセグメント間のモビリティを考慮することで，実環境に近いモデルを再現する．

しかし，信号の影響を検証することを目的とした際には，文献<sup>12)</sup> では幾つかの問題点がある．VANET を用いたアプリケーションでは，最短 100msec 周期でパケットが到着する事を条件としているが<sup>14)</sup>，文献<sup>12)</sup> は 1 秒に 1 回の周期で車両位置を更新している．そのため，10 回中 9 回は通信する際の車両位置に誤差が生じており，性能評価に影響を及ぼす可能性がある．また，右折する際に対向車両の存在を考慮しておらず，衝突が起こらずに車両同士がすり抜けるという現象が発生する．そのため，実環境のモビリティと大きく異なる．さらに，比較対象のモビリティモデルが Random Waypoint なことも問題である．Random Waypoint はノードが目的地と速度をランダムに決定し，目的地に到着すると任意の時間停止する．これを繰り返すことでノードが移動する．この Random Waypoint にはノードが道路を走行するという概念は存在しないため，STRAW とは全く異なるモビリティモデルである．よって，Random Waypoint を比較対象としても信号を考慮したモビリティモデルが及ぼす影響に関しては全く分からない．

以上の事より，STRAW では達成されていない以下の事柄を考慮したモビリティモデルが必要になる．

- 十分に短い周期で車両の位置を更新する
- 右折する際に対向車両がいる場合交差点内で停止するモビリティを加える
- 信号を考慮したモビリティモデルと考慮しないモビリティモデルを用いて比較する

### 3. 提 案

本稿では、交差点内での右折や車両位置の更新周期を考慮し、加減速や信号制御の要素を加えたモビリティモデル MMSJ を提案する。

本稿で用いたシミュレータは Qualnet<sup>15)</sup> である。まず、初期設定として 0sec での位置を与える。次に、1 サイクル時間と移動する位置を与える。これを繰り返すことで、シミュレーション時間内で移動する。本稿では、1 サイクル時間を 100msec とする。これは、ITS の無線通信規格として考えられている RC005<sup>14)</sup> のデータパケット送信周期が 100msec と想定されているため、通信への影響を考慮する際には 100msec に 1 回送れば問題ないと考えたからである。

MMSJ は基本速度制御と走行モード別制御、信号制御の 3 つを柱としている。基本速度制御とは、停止状態から加速する際にどのような加速度で走行するか、また走行状態から停止する際にどのような減速度で走行するかを制御する。走行モード別制御とは、車両位置により定められたゾーンごとにモードを設定し、モードに応じてモビリティを制御する。信号制御とは、各信号の信号周期と青信号比率を設定し、信号の状態を制御することで、各車両が各交差点において停止する必要があるかを判断可能にする。以下で詳細を述べる。

#### 3.1 基本速度制御

基本速度制御とは、停止状態から加速する際にどのような加速度で走行するか、また走行状態から停止する際にどのような減速度で走行するかを制御する。MMSJ では、式 1 に示すように速度  $V$  と時間  $x$  の関係を定義する。式 1 における 2.5 は加速度であり、交通流シミュレータ VISSIM<sup>16)</sup> で用いられている値を用いた。

$$V = 2.5 \times x \quad (1)$$

式 1 より、0m/sec から最高速度に達するまでの時間が計算可能である。仮に最高速度を 11m/sec とすると、最高速度に達するまでの時間は 4.4sec となる。また、式 1 の両辺を  $x$  で積分することで進んだ距離  $D$  と時間  $x$  の関係が求められ、式 2 が導かれる。

$$D = 1.25 \times x^2 \quad (2)$$

式 2 より、0m/sec から最高速度に達するまでの距離が計算可能である。同様に最高速度を 11m/sec とすると、最高速度に達するまでの距離は 24.2m となる。また、式 1、式 2 よ

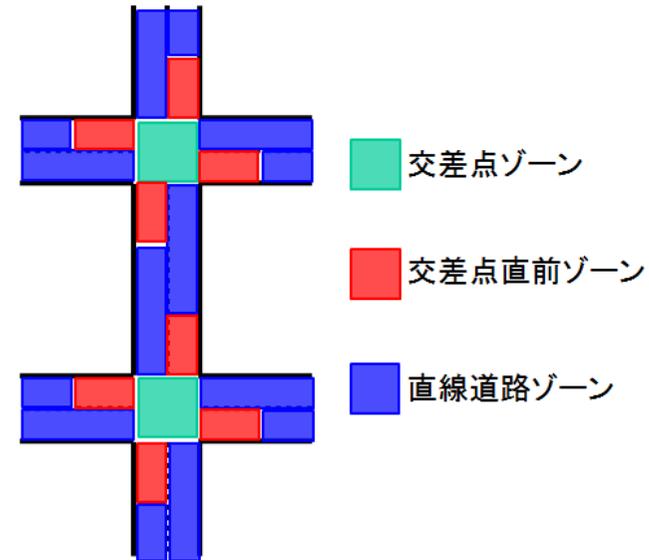


図 3 ゾーンの設定

り距離  $D$  と速度  $V$  の関係も計算可能であり、式 3 が導かれる。

$$D = 0.2 \times V^2 \quad (3)$$

式 3 より、0m/sec から任意の速度に達するまでの距離や、任意の速度から 0m/sec に達するまでの距離が求まる。そのため、前方車両との車間距離により速度を制御することが可能である。同様に最高速度を 11m/sec とすると、車間距離が 20m の場合は速度 10m/sec、40m の場合は速度 14m/sec のため 11m/sec で走行する。また、信号が赤の場合に停止するまでの距離と速度も式 3 より求まる。このように、車両の速度を制御する。

#### 3.2 走行モード別制御

走行モード別制御とは、車両位置により定められたゾーンごとにモードを設定し、モードに応じてモビリティを制御する。ゾーンとは、交差点ゾーン、交差点直前ゾーン、直線道路ゾーンの 3 種類がある (図 3)。MMSJ では所属するゾーンから 6 種類のモードを定義し、それぞれのモードに応じて以下のモビリティを行う。

- モード 1: 交差点ゾーンにいる場合
  - 右折の場合に右折可能かを確認
  - 直進または右左折の軌跡を描き走行

- モード 2: 交差点ゾーンから直線道路ゾーンへ遷移する場合
    - 次交差点においてどの方向に進行するかを決定
  - モード 3: 直線道路ゾーンにいる場合
    - 基本速度制御に従い加速し走行
  - 直線道路ゾーンから交差点直前ゾーンへ遷移する場合
    - 前方交差点の信号を確認
  - 交差点直前ゾーンにいる場合
    - 前方信号が赤信号により停止する場合または右左折する場合, 基本速度制御に従い減速する
  - 交差点直前ゾーンから交差点ゾーンへ遷移する場合
    - 決定された進行方向を確認
    - 赤信号で停止している場合は前方信号の信号を確認し, 進行可能か判断
- このように, 車両は位置に応じて適切なモビリティを行うよう制御する.

### 3.3 信号制御

信号制御とは, 各信号の信号周期と青信号比率を設定し, 信号の状態を制御することで, 各車両が各交差点において停止する必要があるかを判断可能にする. 本稿では黄信号は簡略化のため青信号に含める. 信号周期とは青信号と赤信号の時間の和であり, 垂直・水平どちらの方向に対しても同一時間となる. 青信号比率とは, 片方向の信号の赤信号と青信号の比である. 本稿では横方向の青信号が 2 に対し赤信号が 1 の場合を青信号比率 2 と定義する. この 2 つの情報を用いてある時間での信号が赤信号か青信号かを決定する. 各信号はシミュレーションの開始時刻と現在の時刻を与えられるため, シミュレーションが開始してからの経過時間を算出できる. 経過時間と信号周期, 青信号比率から割り出された赤信号と青信号の時間を用いることで, 現在の信号が赤信号か青信号かを判断できる. 例えば, 信号周期が 120 秒, 青信号比率が 2, 経過時間が 500 秒だとすると, 4 周期目の赤信号と特定できる.

このように決定された信号を各信号が保持することで, 各車両は次に到着する交差点の信号のみの信号を参照すれば停止すべきか判断できるため, 計算時間を抑えることができる.

## 4. 評価

本稿の目的は, ルーティングプロトコルを性能評価する際に, 信号を考慮したモビリティモデルと考慮しないモビリティモデルを用いた場合の差を比較・検討することである. 本稿では提案モビリティモデルである MMSJ と, 信号を考慮しないモビリティモデルである

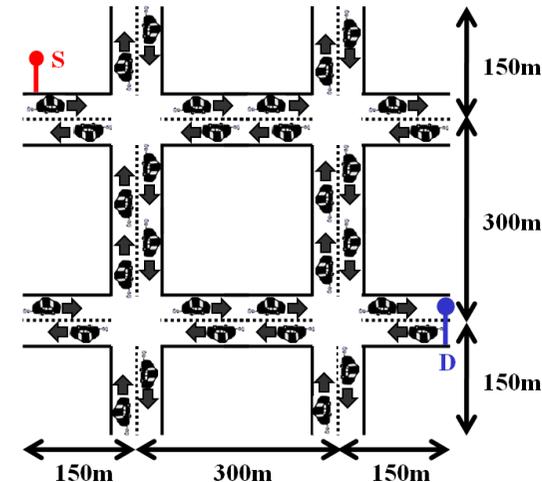


図 4 シミュレーションモデル

MMSJ-Simple を用いてシミュレーションを行う.

### 4.1 シミュレーション環境

図 4 にシミュレーションモデルを示す. シミュレーションは長さ 600m の道路 4 本を縦横方向に 2 本ずつ設置し, それぞれを直角に交差させる. 道路長を 600m に設定したのは, 現在無線通信規格として考えられている RC005<sup>14)</sup> が最大 200m であり, また実環境で使用する際には 3 ホップが限界であると考えられているからである. 道路は片側 1 車線左側通行で, 交差点直前の右折専用車線は存在しない. また, 道路が交差する 4 箇所を交差点とし, 全交差点に信号が設置する. 車両は各道路をモビリティモデルに従い走行する. Qualnet<sup>15)</sup> は車両の追加・削除が出来ない仕様になっているため, 道路の端に到着した車両は反対車線へと移り, 再び走行するように設定する. また, 交差点での直進か右左折かの確率は直進が 50%, 右左折がそれぞれ 25% とする. パケットは送信元 S で生成され, 宛先 D まで送信される. パケットは S から D まで 1 ホップでは届かないため, 必ず車両を介して中継される.

### 4.2 シミュレーション条件

表 1 にシミュレーション条件を示す. シミュレータは Qualnet4.5<sup>15)</sup> を用いた. Qualnet は処理速度やスケラビリティに特徴があり, 大きなモビリティを伴うネットワークに対しても十分に短い時間でシミュレーションを完遂することができる. また, Qualnet は文献<sup>17)</sup>

において検討された結果、ITS に用いる通信シミュレータとして利用可能ということが確認されている。無線通信帯域は、ITS 用の帯域として想定している 5.8GHz 帯を用いた<sup>14)</sup>。通信範囲は見通し内通信可能な距離 200m を用いた<sup>14)</sup>。ルーティングプロトコルにはアドホックネットワークにおいて代表的な AODV<sup>18)</sup> を用いた。データパケットサイズは ASV で想定される最大パケットサイズである 100bytes を用いた<sup>14)</sup>。データパケット送信周期も同様に ASV で想定される最も短い送信周期である 100msec を用いた<sup>14)</sup>。

表 1 シミュレーション条件

シミュレータ	Qualnet4.5
無線通信帯域	5.8GHz
通信範囲	200m
MAC プロトコル	802.11
ルーティングプロトコル	AODV
データパケットサイズ	100bytes
データパケット送信周期	100msec
車両数	48 – 240 台
車両速度	0 – 11m/sec
信号周期	30 – 270sec
青信号比率	1, 2, 5
シミュレーション時間	1000sec
シミュレーション回数	20times

### 4.3 評価項目

本稿では、以下の 4 項目に関して評価する。

- パケット到着率
  - 送信元が送信したパケット数に対する宛先が受信に成功したパケット数の割合
- トラフィック量
  - シミュレーションエリア内で発生した全データパケットの総量
- 平均遅延時間
  - 宛先が受信に成功したデータパケットの平均到達時間
- 計算時間
  - モビリティモデルの実行に要した時間

### 4.4 結果

以下にそれぞれの結果を示し、考察を行う。

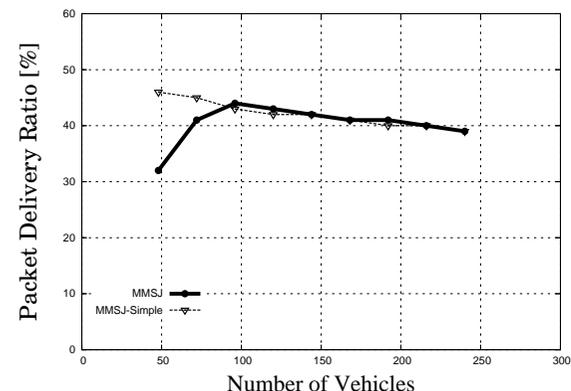


図 5 車両数とパケット到着率の関係

#### 4.4.1 パケット到着率

図 5 に車両数とパケット到着率の関係を示す。MMSJ は信号周期を 120 秒、青信号比率を 1 とした。全体的な傾向として、車両数が 96 台より多い場合はパケット到着率が緩やかに減少しているが、ほぼ一定で保たれている。車両数が多くなると緩やかに減少するのは、AODV の特徴である経路探索やデータパケット送信の回数が増え、パケット衝突が発生するためである。MMSJ と MMSJ-Simple の大きな相違点は、車両数が 72 台より少ない場合のパケット到着率である。MMSJ は、車両数が 72 台の場合はパケット到着率が低下している。さらに、車両数が 48 台の場合はパケット到着率が著しく低下している。信号を考慮したモビリティ MMSJ を用いると、信号周辺で停止する車両が増え直線道路を走行する車両が減るため、結果的に車両の粗密の差が大きくなり、中継可能な周辺車両が見つからない可能性が高まる。すると、パケットヘッダで設定する TTL を超えることで、パケットが自動的に破棄されてしまうため、パケット到着率が下がる。一方 MMSJ-Simple は、車両数が 72 台や 48 台の場合でも車両数が多い場合と傾向は変わらない。これは、信号を考慮しないモビリティモデルを用いた場合、パケットの粗密の差がほとんど発生しないことを示している。

以上の考察より、MMSJ を用いた場合のパケット到着率は車両数が少ないと低下し、MMSJ-Simple を用いた場合のパケット到着率は車両数に依存しない。

次に図 6 と図 7 に信号周期とパケット到着率の関係を示す。図 7 は車両数を 192 台、図 7 は車両数を 192 台に設定した。2 つの図で用いる MMSJ-1, MMSJ-2, MMSJ-5 は、提案

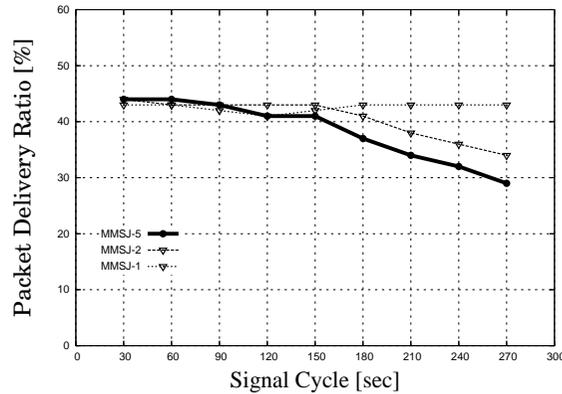


図 6 信号周期とパケット到着率の関係 (車両数 192 台)

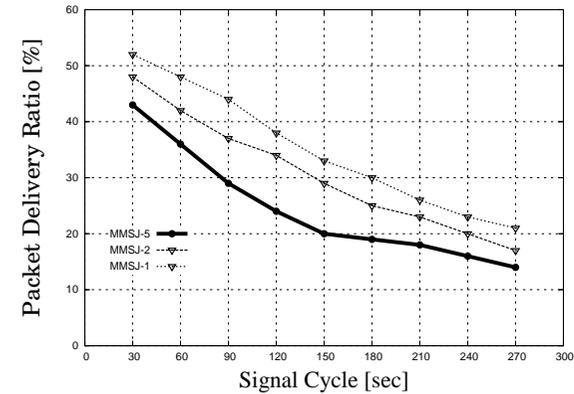


図 7 信号周期とパケット到着率の関係 (車両数 48 台)

モビリティモデルである MMSJ の青信号比率をそれぞれ 1, 2, 5 に設定し使用したものである。

まず図 6 に関して考察する。全体的な傾向として、信号周期が短い場合にはほとんど一定のパケット到着率となっている。これは、信号周期が短いと信号に停止する時間も短くなり、どの青信号比率でも車両の粗密の差があまり発生しないからである。一方、信号周期が大きくなるにつれ、3つのグラフに差が出ている。3つのグラフを個々に考察する。まず MMSJ-5 は、信号周期が 150 秒のあたりから徐々にパケット到着率が低下する。これは、信号周期が長くなるにつれ信号に停止する車両の数が増え、相対的に直線道路を走行する車両の数が減り、車両の粗密の差が大きくなるからである。次に MMSJ-2 は、信号周期が 180 秒になったあたりから徐々にパケット到着率が落ちていく。これも MMSJ-5 の原因と同じである。MMSJ-5 よりパケット到着率が低下し始める信号周期が長いのは、MMSJ-5 の方が信号において、より停止する時間が長くなるからである。最後に MMSJ-1 は、信号周期が大きくなってパケット到着率は一定のままである。これは、青信号比率が 1 のため、信号周期が長くなって信号に停止する時間はあまり長くないからである。

以上の考察より、車両数を 192 台と設定した際のパケット到着率は、青信号比率が 2 または 5 の場合は信号周期が長くなるにつれて低下し、青信号比率が 1 の場合は信号周期の変化に依存せず一定である。

次に図 7 に関して考察する。全体的な傾向としては、パケット到着率は信号周期が長くなるにつれて単調減少している。この結果は図 6 の車両数が 192 台の場合と比べ、信号周期

が低い場合のパケット到着率が異なっている。これは、車両数が少ないと直線道路を走行する車両が相対的に減っているからである。また信号周期が長くなるとパケット到着率が低下するのは、信号で停止する車両数が増えているからである。次に青信号比率別に比較すると、図 6 と似た傾向が見える。つまり、青信号比率が 1, 2, 5 の順にパケット到着率が低下する。

以上の考察より、車両数が 48 台と設定した際のパケット到着率は、青信号比率が 1, 2, 5 の順に高く、また青信号比率によらず信号周期が長くなるにつれて低下する。

#### 4.4.2 トラフィック量

次に図 8 に車両数とトラフィック量の関係を示す。まず全体的な傾向としては、図 5 で示したパケット到着率のグラフとほぼ同一なグラフとなっている。これは、宛先が受信に成功したデータパケットに応じて、転送したデータパケット数も変化するからである。ただし、経路途中でロスしたデータパケットのホップ数によりデータパケットの総量は変化するため、多少差が生じる。

以上の考察より、データパケットのトラフィック量は、パケット到着率と似た性質を持ち、車両数が少ない場合に低下し、車両数が増えたとほぼ一定となる。

#### 4.4.3 平均遅延時間

次に図 9 に車両数と平均遅延時間の関係を示す。全体的な傾向として、車両数が多くなるにつれて単調減少しており、また平均遅延時間の減少量も小さくなる。これは、AODV の特徴に関係がある。AODV はリアクティブ型のルーティングプロトコルで、データパケッ

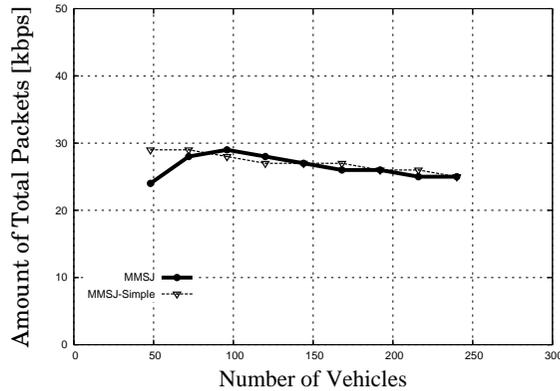


図 8 車両数とトラフィック量の関係

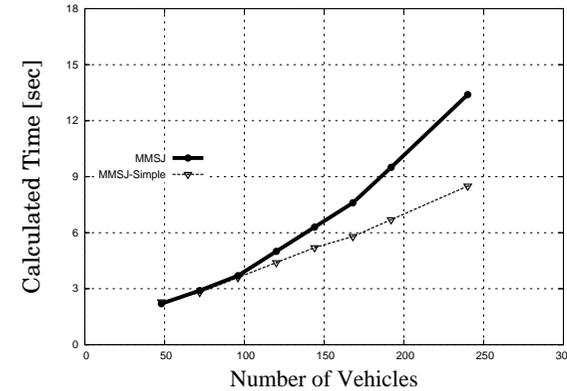


図 10 車両数と計算時間の関係

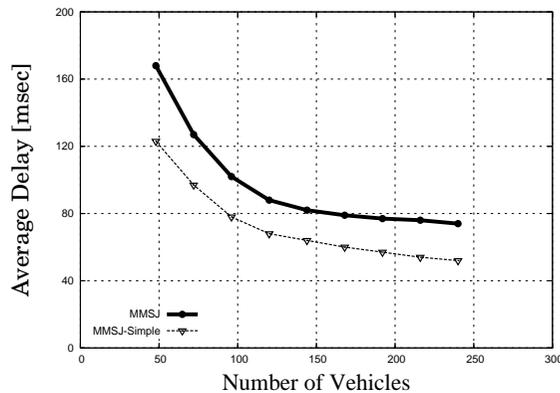


図 9 車両数と平均遅延時間の関係

トが発生してからルートを検索し、宛先までの経路を見つける。そして、経路が発見されるまではバッファにデータパケットを溜めておき、ルートが見つかったら溜まっていたデータパケットを送信する。ただし、ルートが一定時間見つからないと、バッファに溜められていたデータパケットは破棄される。このように、AODV は経路を発見できるまでデータパケットを送信できないので、中継可能な車両が存在しないとデータパケットを送信できない。そのため、車両数が少ない場合は経路が発見できるまで時間がかかり、平均遅延時間が長くなる。そして、車両数が増えるにつれて経路が発見できるまでの時間が短縮され、また車

両数が一定の高さになると、車両を発見できるまでの時間に差が少なくなり、平均遅延時間の減少量が小さくなる。また、MMSJ は MMSJ-Simple より平均遅延時間が長い。これは、MMSJ では信号を考慮したモビリティを加えたため、車両が信号に集中し車両の粗密の差が大きくなり、宛先までの経路を見つけるまでの時間が長くなるからである。

以上の考察より、平均遅延時間は AODV の特徴により、車両数が増えるにつれて単調減少し、平均遅延時間の減少量も小さくなる。また、信号を考慮することにより、平均遅延時間が長くなる。

#### 4.4.4 計算時間

図 10 に車両数と計算時間の関係を示す。全体的な傾向として、車両数が増加すると計算時間が増加する。これは、車両数が増えると計算に必要なモビリティが増えるからである。また、MMSJ は MMSJ-Simple より傾きが大きい。この差分は、信号を考慮しているかにより生じる。しかし、車両数が 240 台の際の MMSJ の計算時間は 13 秒であり、本稿で用いたシミュレーション環境では車両数に関わらず有効である。

## 5. おわりに

本稿では、通信の性能評価を行う際に信号がどの程度影響するかを検証するため、信号を考慮したモビリティモデル MMSJ を提案した。MMSJ は 3 つの制御から成り立っており、1 つ目は基本速度制御、2 つ目は走行モード別制御、3 つ目は信号制御であった。基本速度制御は通常走行する際にどのように加減速するかを求め、さらに停止距離や停止に必要な

時間などを求めた。走行モード別制御は位置により分けられた交差点モード、直線道路モード、交差点直前モードの3つに対し、それぞれの必要な要素を考慮した。信号制御は各信号が信号周期、青信号比率を保持することで青信号と赤信号の時間を決定した。

シミュレーションにより MMSJ と信号制御を考慮しない MMSJ-Simple を用いて、ルーティングプロトコルの性能評価を行った。その結果、MMSJ がパケット到着率が最大 15% 低下し、平均遅延時間が平均 30% 増加した。また、信号周期によりパケット到着率が最大 30% 変化し、青信号比率により最大 10% 変化した。さらに、計算時間についても測定し、本稿で想定したシミュレーション環境においては有効であることを示した。

このことから、VANET においてルーティングプロトコルの性能を評価する場合、信号を考慮したモビリティモデルを用いる必要があると言える。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金 (C) 課題番号 21500079(2010 年) の支援により行われました。

## 参 考 文 献

- 1) Camp, T., Boleng, J., and Davies, V. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications* 2, 5 (2002), 483-502.
- 2) Zheng, Q., Hong, X., and Ray, S. Recent advances in mobility modeling for mobile ad hoc network research. In *ACM-SE 42: Proceedings of the 42nd annual Southeast regional conference* (New York, NY, USA, 2004), ACM Press, pp. 70-75.
- 3) F. Bai, N. Sadagopan, A. H. Important: A framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocols for adhoc networks. In *Proc. of IEEE INFOCOM* (2003).
- 4) Christian Bettstetter, H. H., and Perez-Costa, X. Stochastic properties of the random waypoint mobility model: Epoch length, direction distribution, and cell change rate. In *Proceedings of the Fifth ACM International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems* (2002), ACM Press.
- 5) Resta, G., and Santi, P. An analysis of the node spatial distribution of the random waypoint mobility model for ad hoc networks. In *POMC '02: Proceedings of the second ACM international workshop on Principles of mobile computing* (New York, NY, USA, 2002), ACM Press, pp. 44-50.
- 6) Bettstetter, C. Smooth is better than sharp: A random mobility model for simulation of wireless networks. In *Proceedings of the Fourth ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems* (2001), ACM Press.
- 7) Hong, X., Gerla, M., Pei, G., and Chiang, C.-C. A group mobility model for ad hoc wireless networks. In *MSWiM '99: Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems* (New York, NY, USA, 1999), ACM Press, pp. 53-60.
- 8) Jardosh, A., Belding-Royer, E. M., Almeroth, K. C., and Suri, S. Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks. In *Proc. of ACM/IEEE MobiCom* (New York, NY, USA, 2003), ACM Press.
- 9) Wu, H., Fujimoto, R., Guensler, R., and Hunter, M. Mddv: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks. In *Proc. of ACM VANET* (2004).
- 10) Xu, H., and Barth, M. A transmission-interval and power-level modulation methodology for optimizing inter-vehicle communications. In *VANET '04: Proceedings of the first ACM workshop on Vehicular ad hoc networks* (New York, NY, USA, 2004), ACM Press, pp. 97-98.
- 11) Saha, A. K., and Johnson, D. B. Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks. In *Proc. of ACM VANET* (2004).
- 12) David R. Choffnes, Fabí an E. Bustamante, An Integrated Mobility and Traffic Model for Vehicular Wireless Networks. *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 69-78.
- 13) Rothery, R. W. Car following models. In *Trac Flow Theory* (1992), Transportation Research Board, Special Report 165.
- 14) ITS 情報通信システム推進会議, 5.8GHz を用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン. 2007.
- 15) "構造計画研究所 | ネットワーク/電波伝搬ソリューション", <http://www4.kke.co.jp/network/index.html>.
- 16) "交通シミュレーションソフト VISSIM", <http://www.ptv-vision.jp/vissim.html>.
- 17) 吉岡 顕, 小佐井 潤, 本多 輝彦, ITS 通信アプリケーション評価用統合シミュレータの開発. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2007) シンポジウム, pp. 1762-1766.
- 18) Perkins, C. Ad hoc on demand distance vector (aodv) routing, 1997.