

# VANETにおけるアクセス性を考慮した 特定地点での交通情報収集・提供手法の検討

宮崎 稔也<sup>1,a)</sup> 峪口 雄太<sup>1,b)</sup> 重野 寛<sup>1,c)</sup> 屋代 智之<sup>2,d)</sup>

**概要:** 近年、自動走行システム等に向けてリアルタイム性の高い交通情報の収集が重要視されてきている。このような情報処理の中でも周辺の交通情報を低遅延で取得することができるVANETの技術に着目する。本稿では、近傍の車両が協調し道路上の特定地点に維持されるVN(Virtual Node)を用いた交通情報の収集・提供手法を提案する。VNでは、周辺車両から道路の走行に要する時間であるトリップタイムを収集し、平均トリップタイムの生成・提供を行う。また、シミュレーションを用いて特定地点に交通情報を収集・生成し、どれほどの時間生成した交通情報を提供可能であるか評価を行った。

## 1. はじめに

現在、高度交通システム(Intelligent Transport Systems, ITS)の研究が行われている。ITSは、車両とインフラとの間や車両間において通信を行うことにより、交通事故や渋滞といった道路交通問題の解決や安全かつ便利な自動車社会をつくり上げるための技術である。中でも交通情報の収集は、ナビゲーションや、都市計画および交通量に応じた課金制度の検討のもととなる技術である。車両環境における代表的な情報は、交通規制情報や路面情報といった更新間隔の大きいものと、周辺車両や事故情報といった更新間隔の小さいものの2種類がある。近年では、自動走行システム等の開発に向けて後者のようなリアルタイム性を求められる交通情報の収集が特に重要となってきた。

リアルタイム性の高い交通情報の収集技術の中でもインフラを介さない車両間のみにおいて通信を行う、自動車アドホックネットワーク(Vehicular Ad-hoc NETWORKS, VANET)の技術では、周辺の情報を低遅延で取得することができる。そのため、周辺の車両間で周辺の情報を交換する際に有効である。

また、VANETの技術を用いて情報を提供するにはアクセス性を考慮する必要がある。そこで、本稿では近傍の

車両が協調し道路上の特定地点に維持される論理的なノード(Virtual Node, VN)を生成し、VNを用いた特定地点での交通情報収集・提供手法を提案する。

本稿の構成は以下のとおりである。2章で交通情報の収集・提供に関する技術、および関連研究について述べる。3章では本稿の提案手法を、4章ではシミュレーションとその評価を説明する。そして、5章で結論を述べる。

## 2. 関連研究

本章では、交通情報の収集・提供に関する技術、および関連研究について述べる。

### 2.1 交通情報の収集・提供

交通情報の収集は、ナビゲーションや、都市計画および交通量に応じた課金制度の検討のもととなる技術である。クラウド上のデータ管理機構であるLDM(Local Dynamic Map) [1]を用いて車両環境における代表的な情報を説明する。LDMは、自動走行システムに向けた多次元情報を持つデジタルマップとして検討されており、更新間隔の度合いによってデータを4層に分けて管理する。更新間隔の大きい情報は静的・准静的情報と呼ばれ、路面情報や道路工事情報等がある。一方、更新間隔の小さい情報は動的・准動的情報と呼ばれ、渋滞情報や周辺車両情報等がある。

交通情報の収集技術として、VICS [2]等の車両とインフラの間において通信を行う技術では、広範囲の情報を収集することができ、更新間隔の大きな静的・准静的情報の一部の配信が実現できている。そして、次世代移動通信5Gによりクラウドとの通信遅延の低減が検討されている[3]。しかし、車両環境における5Gの適応は研究段階であ

<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> 千葉工業大学情報科学部  
Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology  
a) miyazaki@mos.ics.keio.ac.jp  
b) sakoguchi@mos.ics.keio.ac.jp  
c) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp  
d) yashiro@net.it-chiba.ac.jp

り現状では実現されていない。一方、インフラを介さない車両間のみにおいて通信を行う VANET の技術では、周辺の情報を低遅延で取得することができる [4]。そのため、周辺の車両間で周辺の情報を交換する際に VANET の技術は有効である。以下に、VANET の技術を用いた交通情報の収集・提供に関する技術を述べる。

VANET の技術を用いた情報収集手法としては、どの車両が情報を収集するかが重要である。Geocache [5] は、目的地までの走行経路上の車両から情報要求車両自身が情報を収集する。TOID [6] は、道路上の端にいる車両が進行方向の車両から情報を収集する。COL [7] は、走行予測に基づいて情報を収集する車両を選定する。仮想ノード [8] は、交差点付近の車両が協調し情報を収集する。これらの各手法において収集する情報は 2 種類に大別される [9]。

- 各車両の瞬時的な走行情報
- 各車両の走行履歴に基づく統計的な情報

前者の情報は、ある地点における車両の瞬時的な速度や位置情報等である。このような情報は小さな遅延で収集することができる。一方、後者の情報は、ある区間において算出された各車両の平均速度などである。収集した情報から道路等における交通情報を生成する際には後者の情報が代表値としてふさわしいと考えられる。

VANET の技術を用いた情報提供手法としては、車両の移動性を考慮する必要がある。そのため、情報を収集した車両へのアクセス性の観点から、ある特定地点に情報を維持する仮想ノードの手法が有効であると考えられる。以下に、仮想ノードの詳細を述べる。

## 2.2 仮想ノード

仮想ノードとは、特定の場所の情報を決められた範囲内に残し続けることができる Mobile Agent(Nomadic Agent, NA) [10], [11] を車両環境に適応した手法であり、近傍の車両が協調し道路上の特定地点に維持される論理的なノードである。仮想ノードを交差点に維持するために、交差点を離脱する際、他の車両の中から次の仮想ノードを指定し、所持していた情報を転送する。この動作を繰り返すことにより、仮想ノードを交差点に維持する。交差点付近に存在する車両を通常車両と呼び、仮想ノードの変更は、仮想ノードから通常車両への仮想ノード変更要求により行われる。図 1, 図 2 に仮想ノード変更の流れを示す。

図 1 で、仮想ノードは車両  $V_1$  であり、通常車両  $V_2$  が交差点に進入するとともに自身の存在を通知している状況である。このようにして仮想ノードは交差点周辺の車両の存在を確認する。

図 2 は、図 1 から一定時間経過した図である。仮想ノード  $V_1$  は交差点を離脱するとともに、次の仮想ノードを通常車両  $V_2$  と指定し、仮想ノードの変更要求を送信する。こ

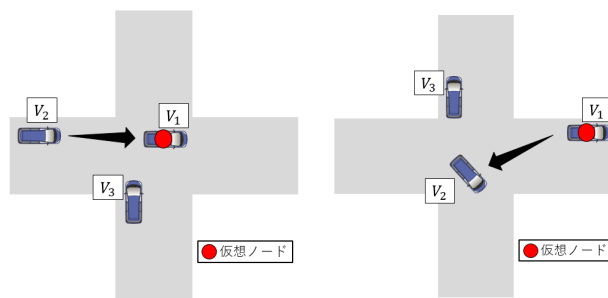


図 1 仮想ノード変更の流れ 1 図 2 仮想ノード変更の流れ 2

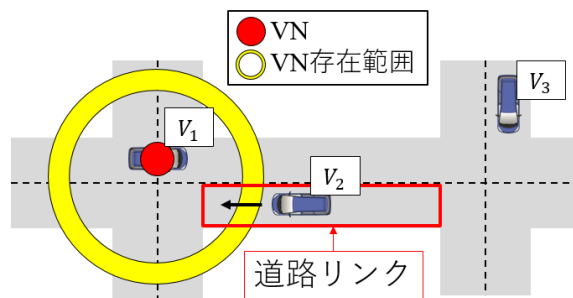


図 3 トリップタイムを計測する道路範囲

の際、ペイロードに通常車両  $V_2$  の車両 ID を挿入する。通常車両  $V_2$  と通常車両  $V_3$  は仮想ノード  $V_1$  からの変更要求を受信し、ペイロードに挿入された車両 ID と自身の車両 ID を比較する。いま、次の仮想ノードに選定された車両 ID と通常車両  $V_2$  の車両 ID が一致するため、通常車両  $V_2$  が次の仮想ノードとなる。以上の動作を繰り返すことにより、交差点に仮想ノードを維持することができる。

## 3. 提案手法

本稿では、特定地点に維持される仮想ノードを用いた交通情報の収集・提供手法を提案する。提案手法で用いる仮想ノードを VN と呼び、交差点付近に存在する通常車両の中から選定された 1 台が VN としての役割を担うものとする。そして、VN は電波伝搬の観点や交差点での停止車両が多いことから、交差点に維持されるものとし、交差点の中心から一定の範囲を示す VN 存在範囲に存在するものとする。以下に、対象とする情報、各車両の動作を説明する。

### 3.1 対象とする情報

提案手法において VN が収集する情報は、Geocache を参考にしたトリップタイムとする。トリップタイムとは、進行方向ごとに交差点間で分けた道路区間の走行に要する経過時間のことである。図 3 にトリップタイムを計測する道路範囲を示す。車両  $V_2$  は走行道路リンクを走行後、トリップタイムを算出・保持する。なお、トリップタイムは道路上の平均車両速度や混雑度といった情報に変換可能である。

ここで、各車両ごとに算出されたトリップタイムから各

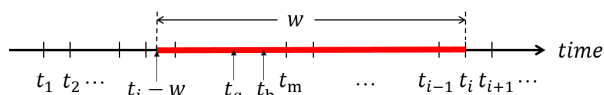


図 4  $I_{t_i}$  と  $V_{t_i}$  が異なる場合

道路ごとの交通情報を生成するために、トリップタイム  $T_i$  を、 $i$  番目に収集したトリップタイムとし、その  $T_i$  を収集した時刻を  $t_i$  とする。そして、 $w$  を時間幅として、 $Ave_{(t_i, w)}$  を時刻  $t_i$  から過去一定時間  $w$  以内の平均トリップタイムとする。交差点において車両が存在しない場合、VN の生成・消滅や、通信エラーでパケットを受け取れない場合があり、交差点において全車両情報から算出される  $Ave_{(t_i, w)}$  と VN において収集した情報から算出される  $Ave_{(t_i, w)}$  は異なる場合がある。そこで、 $Ave_{(t_i, w)}$  の真値である前者を  $I_{t_i}$  と表し、 $Ave_{(t_i, w)}$  の計測値である後者を  $V_{t_i}$  と表す。図 4 に、 $I_{t_i}$  と  $V_{t_i}$  が異なる場合を示す。

図 4 において、各トリップタイムにはそれぞれ番号がついており、1 から順に 1 つずつその番号は増加し、一定間隔で車両が交差点を通過した状況を示している。そして、時刻  $t_a$  に VN の消滅、時刻  $t_b$  に VN が生成したとし、VN 生成後はじめてトリップタイムを収集した時刻を  $t_m$  とする。 $I_{t_i}$  を算出する際のもとなるトリップタイムは、時刻  $t_i - w$  から時刻  $t_i$  以内に収集したすべてのトリップタイムである。一方、VN 消滅時その交差点におけるトリップタイム情報も消滅しているため、 $V_{t_i}$  を算出する際のもとなるトリップタイムは、時刻  $t_b$  から時刻  $t_i$  以内に収集したすべてのトリップタイムである。

なお、 $V_{t_i}$  を算出する際、 $w$  中に取得できたトリップタイムが少ない場合は平均値として適切ではない。そこで、 $V_{t_i}$  を算出する際、一定数の情報有効数（以降  $k$ ）以上のトリップタイムが必要であるという条件を追加する。つまり、図 4 において  $k \leq (i - m) + 1$  を満たす必要がある。以上の条件のもと、 $I_{t_i}$  の算出方法を式 1 に、 $V_{t_i}$  の算出方法を式 2 に示す。

$$I_{t_i} = \frac{\sum_{\{j | t_i - w \leq t_j \leq t_i\}} T_j}{\text{num of } j} \quad (1)$$

$$V_{t_i} = \frac{\sum_{\{j | t_i - w \leq t_j \leq t_i, k \leq (i - m) + 1\}} T_j}{\text{num of } j} \quad (2)$$

### 3.2 各車両の動作

各車両は自身の車両 ID、走行道路リンク ID、位置情報がわかるものとし、パケットの送信者が通常車両であるか VN 車両であるか判断できるものとする。この前提条件のもと、VN における交通情報の収集・提供は、トリップタイム情報の収集、VN の変更、VN 消滅時の VN 新規生成の大きく 3 つの動作で行う。以下、図 5、図 6、図 7 を用いて各動作を説明する。

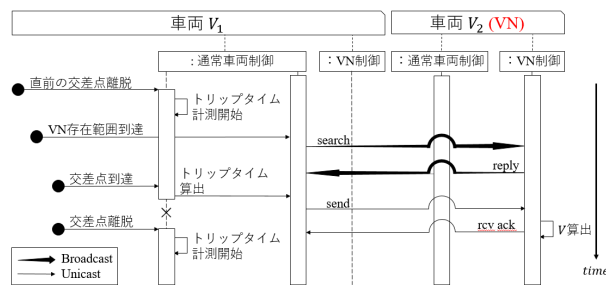


図 5 通常車両における、VN へのトリップタイム情報送信の流れ

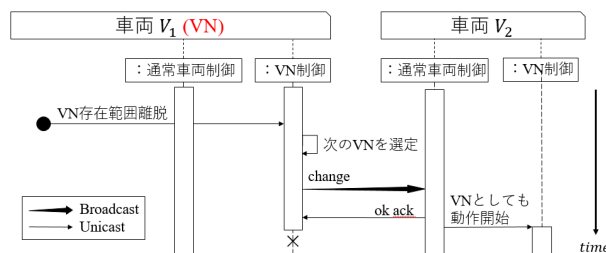


図 6 VN における、VN 存在範囲離脱時の VN の変更の流れ

#### 3.2.1 トリップタイム情報の収集

図 5 では、車両  $V_2$  が VN である。交差点に進入してきた車両  $V_1$  は直前の交差点を離脱すると走行道路リンクのトリップタイムの計測を開始する。そして VN 存在範囲に到達すると search を送信し、VN に自身の存在を通知する。search を受信した VN は reply を返信し、交差点における VN の存在を通知し、通常車両からトリップタイムの要求を行う。

reply を受信した車両  $V_1$  は、交差点における VN の存在を確認できた状態となる。そして、交差点に到達するとトリップタイムを算出し、走行し終えた道路リンク ID とトリップタイム情報を send として VN へ送信する。send を受信した VN は rcv ack を返信し、車両  $V_1$  のトリップタイム情報が VN まで届いたことを通知する。

#### 3.2.2 VN の変更

図 6 では、車両  $V_1$  が VN であり、VN 存在範囲内に車両  $V_2$  が存在している。

VN が VN 存在範囲を離脱する際、次の VN を選定する。本稿での選定条件としては、VN 存在範囲を離脱する直前に search を送信した車両とする。そしていま、選定された車両を車両  $V_2$  とすると change を送信して車両  $V_2$  へ変更要求を通知し、その時点で VN が保持している各車両のトリップタイム情報を転送する。

車両  $V_2$  が change を受信したら、以前の VN、つまり車両  $V_1$  へ ok ack を返信して VN の変更が完了したことを通知し、車両  $V_2$  は通常車両かつ、VN としての動作を開始する。このとき、VN 存在範囲内にいる他の通常車両も change を受信することもある。しかし、次の VN として選定された車両 ID と自身の車両 ID を比較し、車両 ID が異なることから変更要求は破棄する。

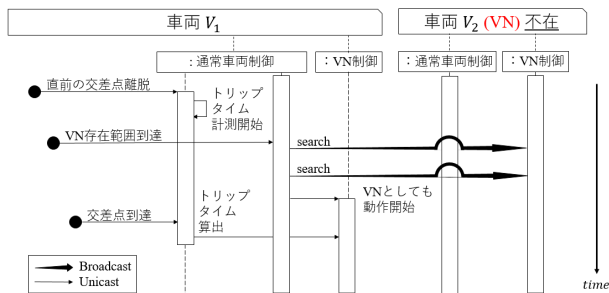


図 7 通常車両における, VN 消滅時の VN の新規生成の流れ

### 3.2.3 VN 消滅時の VN の新規生成

交差点に進入してきた車両  $V_1$  はまず直前の交差点を離脱すると走行道路リンクのトリップタイムの計測を開始する。そして VN 存在範囲に到達すると search を送信する。図 7 において, VN は存在しないため, 車両  $V_1$  は reply を受信することができない。そこで, 車両  $V_1$  は search を再送する。しかし, この reply も受信することができないため, 交差点に VN が存在しないと判断し, 通常車両  $V_1$  がその交差点における VN としての動作を開始する。なお, VN の消滅とともにその交差点におけるトリップタイム情報も消滅しているため, 車両  $V_1$  自身のトリップタイムをもとに情報収集を開始する。

## 4. シミュレーション評価

本稿では, 交差点に維持された VN に交通情報を収集・提供することを目標とし, 様々な条件のもと, どれほどの精度で, 情報提供が可能であるかの評価を行った。以下, シミュレーション環境・条件を説明し, 評価を述べる。

### 4.1 シミュレーション環境

評価には, 交通シミュレータとして SUMO [12] を用いた。SUMO は道路の設備や車両のモビリティ, 交通流をより細かい部分まで再現することができるという特徴を持ち, 車両の走行履歴 (以降トレースデータ) の作成が可能である。そして通信シミュレータとして Scenargie [13] を用い, SUMO で作成したトレースデータと Scenargie を連携することで評価を行った。

### 4.2 シミュレーション条件

表 1 に交通パラメータを, 表 2 に通信パラメータを, 表 3 に VN に関するパラメータを, それぞれ示す。

表 1 において, 車両数は 25,50,75,100,125 台の 5 つの条件で変化させた。この車両数は, ルクセンブルクの 24 時間の現実的なトラフィックデータを再現した LuST モデル [15] を参考に設定した。ルクセンブルクの混雑時間帯における,  $1\text{km} \times 1\text{km}$  内の車両数が 100 - 200 台であり, 本稿に用いたシミュレーションマップの大きさや総道路長を考慮し, 車両数を定めた。なお, シミュレーション時間は

表 1 交通パラメータ

パラメータ	値
交通シミュレータ	SUMO 0.31.0
シミュレーション環境	800m × 800m
車線数	片側 1 車線
車両流入間隔	1 台/秒
制限速度	40km/h
車両台数	25 - 125 台
モビリティモデル	Kraußモデル [14]

表 2 通信パラメータ

パラメータ	値
通信シミュレータ	Scenargie 2.1
通信規格	IEEE 802.11p
チャンネル周波数	5.9GHz
通信帯域幅	10MHz
電波伝搬モデル	ITU-R_P.1411
送信電力	10dBm
シミュレーション時間	1000 秒
評価時間	900 秒
パケットサイズ	256Byte

表 3 VN に関するパラメータ

パラメータ	値
VN 存在範囲	交差点の中心から 60m
ウィンドウタイム $w$	60 秒
情報有効数 $k$	1 - 4 個
試行回数	10 回

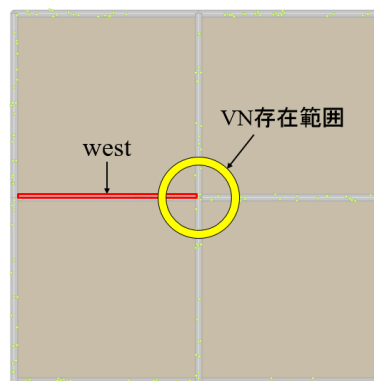


図 8 シミュレーションマップ

1000 秒であり, 最初の 100 秒間を自由走行とし, その後 900 秒間において評価を行った。

図 8 に使用したシミュレーションマップを示す。VN は VN 存在範囲内に維持され, 四角い枠で囲った west を走行する車両からトリップタイムを収集する。また道路以外の部分には建物が建っており, 使用する電波は建物による遮蔽の影響を受けるものとする。

なお, 式 2 において,  $k$  を用いた。  $k$  の値を 1 つの定数に定めるための指標としては,  $V$  と  $I$  における平均二乗誤差平方根 (以降平均誤差) を用いた。



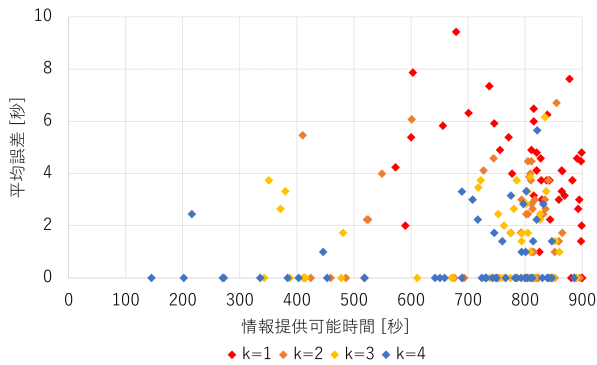


図 9  $k$  の値に基づく、情報提供可能時間と平均誤差の関係

表 4 各  $k$  の値における、 $k$  選定範囲に属する割合

$k$ の値 (個)	$k$ 選定範囲に属する割合 (%)
1	16
2	26
3	20
4	18

### 4.3 評価

本節では、平均誤差に関する評価と情報提供可能時間に関する評価を説明する。なお、情報提供可能時間とは、VN において  $k$  個以上のトリップタイムを収集している時間のことを表す。

#### 4.3.1 情報提供可能時間と平均誤差の関係

図 9 に、 $k$  の値に基づく、情報提供可能時間と平均誤差の関係を示す。シミュレーションでは、5つの各車両数において 10 回の試行を行った。そのため、1つの  $k$  に対応するプロットは 50 個ずつとなる。

図より、情報提供可能時間と平均誤差の関係はトレードオフの関係であり、情報提供可能時間延長に伴い、平均誤差も大きくなることわかる。つまり、情報提供可能時間が長いということは、少ないトリップタイム情報しか所持していない場合でも平均トリップタイムの算出を行っており、真値との平均誤差が大きくなる。

交通情報の収集・提供においては、情報提供可能時間が長く、平均誤差が短いほど効率的である。本稿では、情報提供可能時間が 800 - 900 秒、平均誤差が 0 - 2 秒の範囲（以降  $k$  選定範囲）に属するプロット数が多い  $k$  の値ほど、交通情報の収集・提供において有効であるとした。表 4 に、各  $k$  の値における、 $k$  選定範囲に属する割合を示す。表 4 より、 $k$  の値が 2 のとき  $k$  選定範囲に属する割合が 1 番大きいことから、以降  $k = 2$  として評価を行う。

#### 4.3.2 車両数に基づく、平均トリップタイム

図 10 に、車両数に基づく、平均トリップタイムを示す。各試行においてこのグラフは変化するため、1つの試行における結果を例として示す。図 10 において、黒の途切れていない実線が  $I$ 、つまり平均トリップタイムの真値を表す。そして色付きの太線が  $V$ 、つまり計測値を表す。

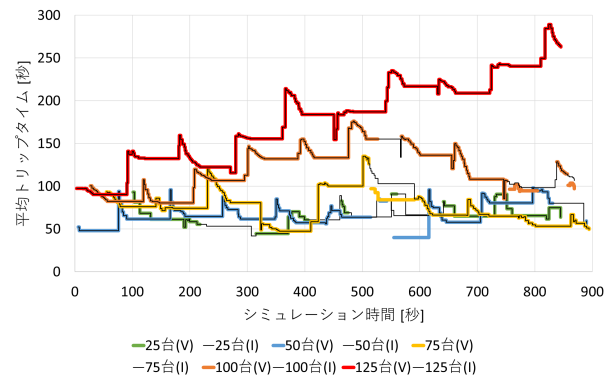


図 10 車両数に基づく、平均トリップタイム

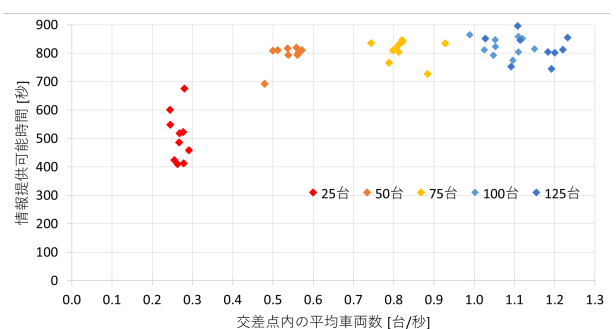


図 11 車両数に基づく、交差点内の平均車両数と情報提供可能時間の関係

車両数 25, 50, 75 台では混雑度が低く、車両の混雑は見られない。一方、車両数 125 台ではトリップタイムが右肩あがり増加していくことから混雑度が高いことが確認できる。つまり、シミュレーションでは道路状況が空いている状態と混雑している状態の両方においての評価が行えていると言える。

次に、 $V$  において途切れている時間帯においては、VN の消滅・生成が行われ、そのあとに  $k$  個のトリップタイムを収集したことを表す。この時間帯で VN は情報提供を行うことができず、情報提供可能時間の短縮に関係する。また、 $V$  と  $I$  における誤差は、VN が生成した直後の時間帯において一番大きい。この誤差が平均誤差を大きくする要因となる。

#### 4.3.3 交差点内の平均車両数と情報提供可能時間の関係

図 11 に、車両数に基づく、交差点内の平均車両数と情報提供可能時間の関係を示す。ここで、交差点内の平均車両数とは、交差点の中心から 10m の範囲を交差点内とし、1 秒間にその範囲内に車両が平均何台いるかを示す。

図 11 において、車両数 25 台の条件では、使用したマップにおいて west を通過した車両数が少ないことから交差点内の平均車両数が低い。そのために、情報収集自体を行うことが困難であるため情報提供可能時間も悪くなっている。また、車両数が増加するにつれ交差点内の平均車両数は増加していき、それに伴い情報提供可能時間も大きく

表 5 車両数に基づく、各パラメータ範囲

車両数 (台)	交差点内の 平均車両数 (台)	情報提供可能 時間割合 (%)	平均誤差 (秒)
25	0.24 - 0.29	45.6 - 75.1	0 - 6.1
50	0.48 - 0.57	77.0 - 91.1	0 - 4.5
75	0.74 - 0.93	80.8 - 94.0	0 - 4.1
100	1.0 - 1.2	86.1 - 96.1	0 - 2.5
125	1.0 - 1.2	82.8 - 99.6	0 - 6.7

なっている。

表 5 に、各車両数における交差点内の平均車両数、情報提供可能時間割合、平均誤差、の範囲を示す。情報提供可能時間割合は、900 秒の評価時間に対する情報提供が可能時間割合である。表 5 において、車両数が増加するにつれて交差点内の平均車両数と情報提供可能時間割合の最大値は増加していく。しかし、平均誤差に相関はみられない。これは平均誤差の値が車両のモビリティにより変動するためである。

以上より、提案手法では、 $k = 2$ 、単位時間あたりの交差点内の平均車両数 0.5 台以上において、シミュレーション時間の 80.8% 以上で平均誤差 6.7 秒以内の情報を提供可能であるという結果を得られた。

## 5. おわりに

本稿では、VANET の技術を用いた更新間隔の小さい交通情報の収集・提供に着目し、検討を行った。提案手法では、近傍の車両が協調し道路上の特定地点に維持される VN を用いることでアクセス性の向上を図った。対象とする情報は道路の走行に要する時間であるトリップタイムとし、VN における交通情報の収集・提供は、トリップタイムの収集、VN の変更、VN 消滅時の VN 新規生成の大きく 3 つの動作で行う。

そして、シミュレーションを用いて交差点で算出される平均トリップタイムの真値と VN で算出される平均トリップタイムの計測値との間に生じる平均誤差、および情報提供可能時間に関して評価を行った。道路状況が空いている状態と混雑している状態の両方においてシミュレーションを行い、情報有効数  $k = 2$ 、単位時間あたりの交差点内の平均車両数 0.5 台以上において、シミュレーション時間の 80.8% 以上で平均誤差 6.7 秒以内の情報を提供可能であるという結果を得られた。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 16H02811 の助成を受けたものです。

## 参考文献

[1] ETSI: Intelligent transport system (ITS); Vehicular communications; Basic set of applications; Local dynamic map (LDM), EN 302 895 (2014).  
[2] VICS, <http://www.vics.or.jp/> (2018).  
[3] ETSI: Mobile Edge Computing - A key technology to-

wards 5G, ETSI white paper No.11 (2015).  
[4] 間瀬憲一: 車々間通信とアドホックネットワーク, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.89, No.6, pp.824-835 (2006).  
[5] A.Lakas and M.Shaqfa: Geocache: Sharing and Exchanging Road Traffic Information Using Peer-to-Peer Vehicular Communication, *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pp.1-7 (2011).  
[6] S.K.Dhurandher and M.S.Obaidat and A.Jaiswal and A.Tiwari and A.Tyagi: Traffic Optimization through Information Dissemination, *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp.1928-1932 (2012).  
[7] Y.Dieudonne and B.Ducourthial and S.M.Senouci: COL: a Data Collection Protocol for VANET, *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.711-716 (2012).  
[8] 峪口雄太, 佐藤和也, 重野寛: 情報指向型車車間ネットワークに向けた特定地点における情報維持手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO-2017) シンポジウム, pp.564-569 (2017).  
[9] Q.Zhang and H.Zheng and J.Lan and J.An and H.Peng: An Autonomous Information Collection and Dissemination Model for Large-Scale Urban Road Networks, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp.1085-1095 (2016).  
[10] 屋代智之, Thomas F.LaPorta: インフラに依存しない位置情報サービス提供システム, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2952-2962 (2005).  
[11] 鈴木勘久郎, 屋代智之: 道路環境の変化における Carry and forward を用いた Navi システムの性能評価, 情報処理学会第 48 回高度交通システム研究会 (2012-ITS-48) Vol.2012-ITS-48, No.4, pp.1-7 (2012).  
[12] L.Christian and M.Martin and F.Holger and H.Hannes: Geographic Routing in City Scenarios, *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.9, No.1, pp.69-72 (2005).  
[13] 大和田泰伯, 前野誉, 金田茂, 久永良介, 高井峰生: Scenargie を用いた ITS シミュレーション, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, No.14, pp.233-234 (2008).  
[14] S.Krauß: Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics (1998).  
[15] L.Codeca and R.Frank and T.Engel: Luxembourg SUMO Traffic (LuST) Scenario: 24 Hours of Mobility for Vehicular Networking Research, *2015 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pp.1-8 (2015).