

Virtual Nodeにおける 情報消失防止のための情報維持手法

長尾 勇佑^{1,a)} 宮崎 稔也^{1,b)} 重野 寛^{1,c)}

概要: 近年, VANET における情報処理基盤として ICN を適用する研究が盛んに行われている. 関連研究に, 論理的なノードとしての属性を持つ VN(Virtual Node) を用いて, 特定地点での情報収集・提供を実現する手法がある. これは特定地点における車両が「常」に存在することが前提であり, 車両の存在が確認できなくなった時点で情報は消滅する. そこで本稿では, 車両の存在に関わらない特定地点における VN を用いた情報維持手法を提案する. 提案手法をシミュレーションを用いて評価し, 特定の条件下における情報の消滅を防止し, 収集した情報の維持を VN 存在範囲内で継続できることを確認した.

1. はじめに

現在, 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) の技術や, IP アドレスの代わりにコンテンツ名を使用して通信を行う, 新たなネットワークアーキテクチャである情報指向ネットワーク (Information Centric Networking : ICN) の技術が存在する. この二つの親和性に着目し, VANET における情報処理基盤として ICN を適用させる技術の研究が行われている. 本稿ではこの技術を, 情報指向型自動車アドホックネットワーク (Information Centric Vehicular Ad-hoc NETWORKS : IC-VANET) と呼ぶ. IC-VANET では, 各車両は車両間による要求・応答型通信によって情報を取得することが可能である.

しかし, VANET に ICN を適用するにあたり, VANET の特徴である車両の移動によるトポロジの動的変化が課題として生じる. そこで, この課題に対して, 複数の車両と情報をやり取りすることで特定地点に維持される論理的なノード (Virtual Node : VN)[1][2] の提案がされている. VN によって, VANET に ICN を取り入れる際の課題であった車両のモビリティによる通信の困難が改善された. ここで VN はある地理的な範囲を定め, VN が存在できる範囲 (以後, VN 存在範囲) に存在し続ける必要があり, 存在しなくなった時点で VN の消滅とともに情報は破棄され

る.

そこで本稿では, 車両の存在に関わらない特定地点における VN を用いた情報維持手法を提案する. 本提案では, VN が消滅する際, 情報を破棄することなく維持し続け, この車両が新たに VN 存在範囲に VN が発生した際, 情報を VN に転送することで情報の維持を可能にする.

本稿の構成は以下のとおりである. 2 章で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, 関連研究について述べる.

2.1 仮想ノード

Nomadic Agent (NA) [3] とは, アドホックネットワークを使用した, 特定地点の情報をその地点に残し続けることが可能な Mobile Agent の一種である. NA は発生時に, 発生位置を基準として情報提供範囲の設定を行う. この範囲内にとどまり続けるために, 周辺に存在する端末の位置情報を取得して, 端末間を自立的に移動する. これによって常に特定の場所に情報を維持することが可能となる. NA は端末同士で構成されるアドホックネットワーク上を移動し, その情報を管理する. そのため情報を感知するための固定サーバを必要としない. 特定地点の情報を NA がその場所で管理するため, 多くの端末が情報を要求したい特定地点に, その地点で収集したリアルタイムな情報を存在させることが可能である. NA は, アドホックネットワークを構築できなくなった時に, 特定地点に存在できなくなる.

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

a) nagao@mos.ics.keio.ac.jp

b) miyazaki@mos.ics.keio.ac.jp

c) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

これは特定の場所を通る端末が少ないことを表している。そのためその地点に関する情報を提供する必要はないということになる。

2.2 VN(Virtual Node)

VNとは、仮想ノード(Nomadic Agent:NA)を拡張した技術である。これは、車両間におけるアドホックネットワークを使用して特定地点において情報を維持することが可能である。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重要ポイントである交差点に維持するものとする。

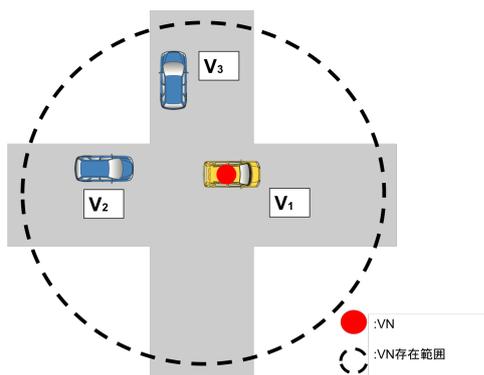


図1 交差点におけるVNの維持

VNを維持する交差点にはVNが存在できる範囲(以降VN存在範囲)があり、その中に存在する1つの交差点付近車両がVNとしての役割を果たす。図1は交差点付近に車両V1、車両V2、車両V3、の3つの交差点付近車両が存在し、車両V1がVNである状況を表している。車両V1はVN存在範囲を離脱する時にVN存在範囲に存在する他の交差点付近車両の中からVNを1台選定し、交差点においてVNを維持する。VNをVN存在範囲内に維持するためには、VN存在範囲を離脱するときに、他の交差点付近車両の中から次のVNを指定し、維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、VNをVN存在範囲に維持する。また、VN存在範囲における情報の維持としては、信号等のインフラを用いた手法も考えられている。しかし、インフラの設備や維持といったコストの面では現実的ではない。そのような面でもVNではアドホックネットワークのみを使用するため現実的な手法である。ここで用いられる情報は、大きく2種類に大別される[4]。

- 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

VN存在範囲におけるVNの維持においては、VN存在範囲に長時間維持することを目的とする。本稿では、交差点付近に存在する車両を交差点付近車両と呼ぶ。VNの変更は以下の動作により行う。

(1) 交差点付近車両からVNへの情報要求

VNが通信可能な範囲に進入を開始した交差点付近車両はパケットをブロードキャストし、VNのみがパケットの受信処理を行う。これはVNに交差点付近車両の存在を通知することを目的としている。

(2) 交差点付近車両からVNへの情報要求

VNは交差点に存在する間、他の交差点付近車両からのパケットを受信し続ける。そして交差点離脱後に初めて受信した車両の車両IDをパケットのペイロードに挿入してからブロードキャストする。交差点付近車両はパケットの受信処理を行い、自身の車両IDと比較する。同じであった場合、その車両がVNとなり、異なればパケットを破棄する処理を行う。

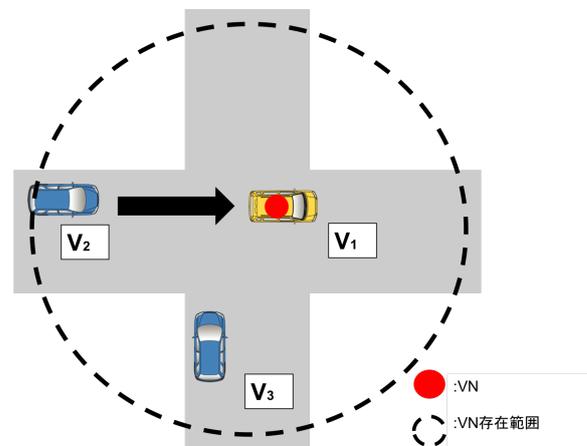


図2 VNへの存在通知

図2ではVNは車両V1であり、交差点付近に交差点付近車両V2、交差点付近車両V3が存在している。そして、交差点付近車両V2がVN存在範囲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。VNであるV1は交差点付近車両V2からのパケットを受信し、交差点付近車両V2の存在を確認する。このとき交差点付近車両V3も交差点付近車両V2からのパケットを受信することもある。しかし、交差点付近車両からのパケットであるため破棄するものとする。また、VNであるV1は、交差点付近車両V3の存在も同様にして確認済みであるものとする。

図3は図2から一定時間経過した図である。VNであるV1はVN存在範囲を離脱するとともに、次のVNを交差点付近車両V2と指定し、VNの変更要求を送信する。VNはパケットをブロードキャストするにあたり、パケットのペイロードに交差点付近車両V2の車両IDを挿入する。交差点付近車両V2、V3はVNであるV1からのパケットを受信し、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VNに選定した車両IDと交差点付近車両V2の車両IDが一致するため、交差点付近車両V2が次のVNとなる。このとき、交差点付近車両V3はパケットを受信した時、ペイロードに挿入された車両IDと

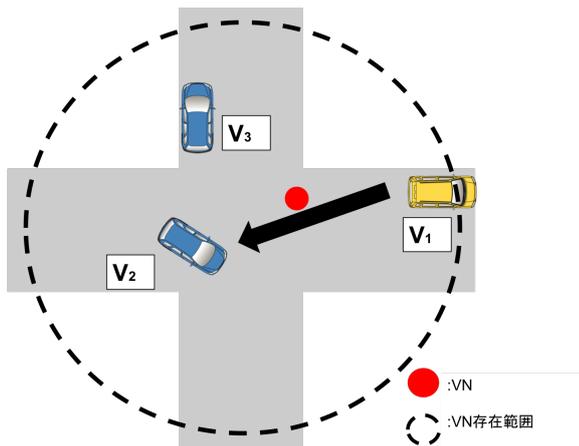


図3 VNの変更

自身の車両IDとは異なるため、パケットを破棄する。また、VNであるV₁はVNの変更要求を行った時に交差点付近車両となる。以上を繰り返すことでVN存在範囲に車両が存在する限りは交差点にVNを維持することが可能である。つまり、VNに情報を維持することが可能である。

3. 提案手法

本稿では、車両の存在に関わらない特定地点におけるVNを用いた情報維持手法を提案する。前提として、VNは本稿では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。

提案手法では、VN存在範囲を最後に離脱するVN車両をp-VN車両と呼び、このp-VN車両が情報を維持する範囲を示すp-VN存在範囲に存在するものとする。以下に、前提条件、提案手法の詳細について説明する。

3.1 提案手法の前提条件

提案手法の具体的な動作の説明をする前に、まず交差点付近車両、VN車両、p-VN車両についての前提条件を説明する。

- 各車両は自身の車両IDを持つ。
- 各車両は自身の車両ID、走行リンクID、位置情報がわかるものとする。
- 各車両は自身の位置情報を取得できるものとする。
すなわち自身がVN存在範囲内であるか、VN存在範囲に進入中であるか、VN存在範囲を離脱中であるか、p-VN存在範囲内であるか、p-VN存在範囲外であるか、全て判断できる。
- 各車両はパケットの送信者が交差点付近車両であるか、VNであるか、p-VNであるか、その役割を判断できる。
- 本提案手法で取り扱う情報は、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 [5].

3.2 提案手法の詳細

VN消滅における情報消失の防止は、p-VNの情報維持、p-VNによるVNへの情報返還の大きく2つの動作で行う。

3.2.1 p-VNの情報維持

VN車両はVN離脱の際、VNの変更が叶わなかった時、p-VNとして情報を維持したまま離脱する。VN存在範囲内にVNの役割を持つ車両(VN車両)と複数の交差点付近車両が存在しているとする。VN車両がVN存在範囲を離脱するとき次のVN車両を選定する。選定条件としては、VN存在範囲を離脱する直前にInterestパケットを受信した車両とする。そして、選定された車両をVN候補車両とすると、VN車両がDataパケットをブロードキャストし、VN候補車両へ変更要求を通知するとともに、その時点でVNが維持している情報を転送する。以下に、このパケットに含まれる情報を示す。

- 自身の車両ID
- 自身がVNであるという情報
- 次のVNとして選定された車両ID
- 維持しているトリップタイム情報

VN候補車両がDataパケットを受信したら、VNであった交差点付近車両へAckパケットをユニキャストすることでVNの変更が完了したことを通知し、VN候補車両は交差点付近車両かつ、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交差点付近車両もDataパケット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が異なることからパケットは破棄する。以上の各車両の動作により、VN存在範囲離脱時のVNの変更を行う。次に、VN存在範囲内にVN車両が存在し、VN存在範囲外に複数の交差点付近車両が存在しているとする。通常であれば、VNがVN存在範囲を離脱するとき次のVNを選定する。しかし、選定候補となるVN候補車両が存在しない時、VN車両はVNの変更をできない状態でVN存在範囲を離脱する。この時、VNであった交差点付近車両は情報を破棄せず維持したまま離脱する。この時、情報を維持したままVN存在範囲を離脱した車両はp-VNとして動作する。

3.2.2 p-VNによるVNへの情報返還

p-VNとなった車両はp-VN存在範囲内に存在する間、元のVN存在範囲に新たにVNを確認した時、情報返還を行う。p-VN存在範囲内にp-VNの役割を持つ車両(p-VN車両)が存在しているとし、VN存在範囲内にVN車両が存在するとする。ここで、p-VNの情報返還に用いられるパケットについて説明する。

Findパケット

p-VNがVNを発見するためのパケット

Ack パケット

Find パケットを受信した VN が p-VN に自身の存在を知らせるためのパケット

Transport パケット

p-VN が VN に維持した情報を返還するためのパケット

p-VN は p-VN 車両となった直後から VN 存在範囲の方向に向かって Find パケットを一定間隔でブロードキャストする。これは、VN 車両が受け取った時に限り受信するものとし、交差点付近車両が受け取った場合は破棄する。この Find パケットを受け取った VN 車両は、p-VN 車両へ Ack パケットをユニキャストする。これを受け取った p-VN 車両は、Transport パケットをブロードキャストし、VN 車両に維持していた情報を転送する。以下に、この Transport パケットに含まれる情報を示す。

- 自身の車両 ID
- 自身が p-VN であるという情報
- 維持しているトリップタイム情報

送信が完了した時点で、p-VN 車両は交差点付近車両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交差点付近車両も Transport パケットを受信することもある。しかし、自分が VN であるかは車両 ID により判断可能であり、車両 ID が異なることからパケットは破棄する。

以上の各車両の動作により、p-VN による VN への情報返還を行う。以下に図を用いて例を示す。

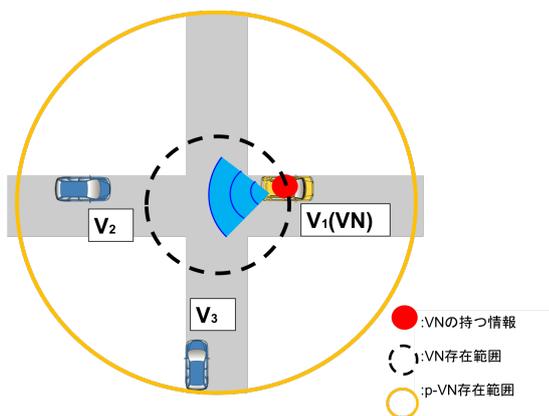


図 4 p-VN の発生

図 4 で VN は、車両 V_1 であり、現在 VN 存在範囲から車両 V_1 が離脱する直前であり、次の VN となる車両を選定中である。しかし、VN 存在範囲に車両 V_1 以外の車両が存在していない。つまり VN は存在不可能である。したがって、車両 V_1 は情報を維持したまま VN 存在範囲を離脱する。図 5 で VN が消滅する最後の VN であり、p-VN としての動作を開始する。p-VN である車両 V_1 は、VN 存在

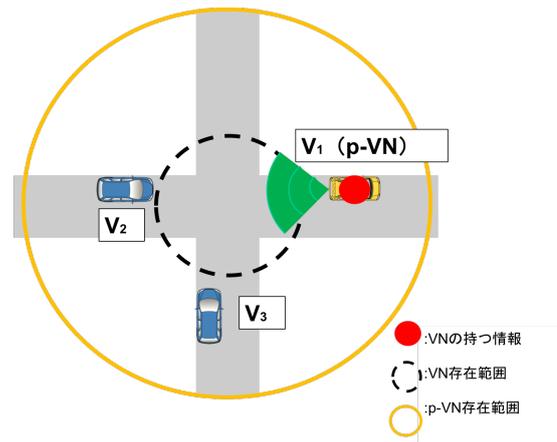


図 5 p-VN による VN の存在確認

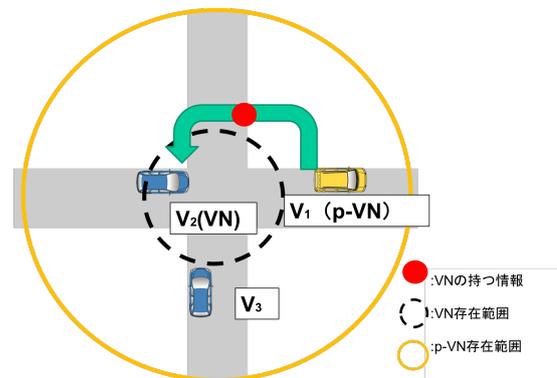


図 6 p-VN から VN への情報転送

範囲の方向に向かってブロードキャストを開始する。車両 V_2 、車両 V_3 は VN 存在範囲に存在しないため、このパケットを受信しても破棄する。次に、図 6 で車両 V_2 が VN 存在範囲内に進入してし VN となったため、p-VN である車両 V_1 からブロードキャストされたパケットを受信した際、確認したことを知らせる Ack パケットを転送する。これを p-VN である車両 V_1 が受け取った後、p-VN の存在範囲を離脱していなければ維持していた情報をペイロードに乗せて転送する。情報を転送した p-VN 車両は交差点付近車両としての動作する。

4. シミュレーション評価

本稿では、車両の存在にかかわらず、交差点に維持された VN に情報を維持することを目標とし、様々な条件のもと、どれほどの情報維持が可能であるかの評価を行った。

4.1 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。シミュレーションエリアは $800\text{m} \times 800\text{m}$ とし、車両数は 25, 50, 75 台の 3 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 [6] を再現した LuST モデルを参考に設定した。ルクセンブルクの

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
シミュレーションエリア	800m × 800m
車線数	片側 1 車線
制限速度	40km/h
車両台数	25, 50, 75 台
モビリティモデル	Kraußモデル

混雑時間帯における、1km × 1km 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、車両数を交通量が少ない条件に定めた。なお、シミュレーション時間は 1000 秒であり、最初の 100 秒間を車両の配置と自由走行とし、その後 900 秒間において評価を行った。図 7 に使用したシミュレーションマップを示す。VN, p-VN はそれぞれ VN 存在範囲内、p-VN 存在範囲内に維持され、中心の交差点から四方の道路を中心向きに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。

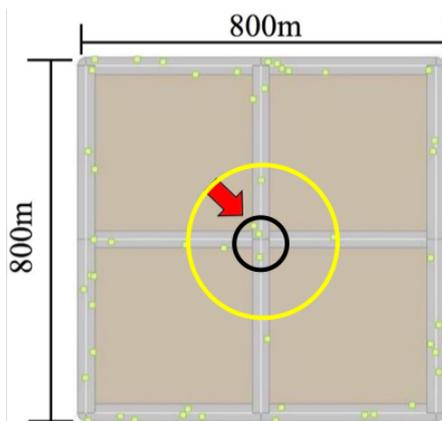


図 7 シミュレーションマップ

なお、評価には交通シミュレータとして SUMO 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 を用い、

表 2 通信パラメータ

パラメータ	値
通信シミュレータ	Scenargie 2.2
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
自由走行	100 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 50m
p-VN 存在範囲	VN 存在範囲から 100, 150, 250m
情報有効数	2 個

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 評価

本節では、車両台数に基づく情報維持数と p-VN 存在範囲に基づく情報維持数に関する評価を説明する。

4.2.1 情報維持数と車両数

図 8 は p-VN 存在範囲を 150m とした時の車両数に基づく、VN での情報維持数について示した図である。VN 存在範囲は交差点の中心からの距離で設定しており、この VN 存在範囲からの距離を p-VN 存在範囲としている。図 8 において、横軸はシミュレーション時間を示す。また、縦軸は、交差点の VN 存在範囲に維持された VN における情報維持数である。図では、VN が常に存在すると仮定した場合の情報維持数を最大値として黒の実線で示しており、提案手法における VN での情報維持数は色付きの実線で示している。既存手法、つまり一度 VN が消滅すると情報が消滅する場合における VN での情報維持数は色付きの点線で示す。VN において情報を収集すると VN での情報維持数は増加する。ここで、VN での情報維持数が 0 となる点がいくつか存在している。これは VN が消滅して維持していた情報が消失することを示している。既存手法では、この際再び情報維持数 0 から始まるのに対し、提案手法では、情報の変換が達成されることで、VN の消滅前の情報維持数から始めることが確認できる。これを元に、図 8 より、p-VN 存在範囲が 150m の時は、車両数 25 台では、全 8 回の VN の消滅が確認でき、その内 3 回情報の返還が確認できた。車両数 50 台では、全 2 回の VN の消滅が確認でき、その内 1 回情報の返還が確認できた。車両数 75 台では、全 2 回の VN の消滅が確認でき、その内 2 回情報の返還が確認できた。また、既存手法と比較して、25, 50, 75 台どの台数であっても提案手法の方が、ある時間における情報維持数が多い割合が高いことが確認できる。

4.2.2 情報維持数と p-VN 存在範囲

図 9 は車両台数を 25 台とした時の p-VN 存在範囲に基づく、VN での情報維持数を示す。図において、横軸はシミュレーション時間を示す。また、縦軸は、交差点の VN 存在範囲に維持された VN における情報維持数である。この図において、VN が常に存在すると仮定した場合の情報維持数を最大値として黒の実線で示しており、提案手法における VN での情報維持数は色付きの点線で示す。図から p-VN 存在範囲が大きくなるにつれ、情報の返還可能な回

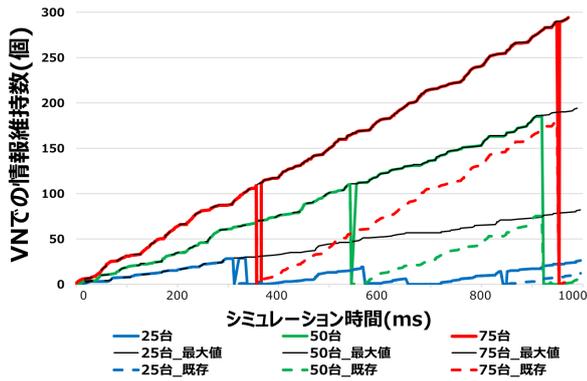


図 8 p-VN 存在範囲 150m での車両数に基づく、情報維持数

数も増え、このシミュレーションでは、p-VN 存在範囲が 100m の時、情報維持数は既存手法と同等であるが、250m まで広げた場合、大きく情報維持数が向上することが確認できる。

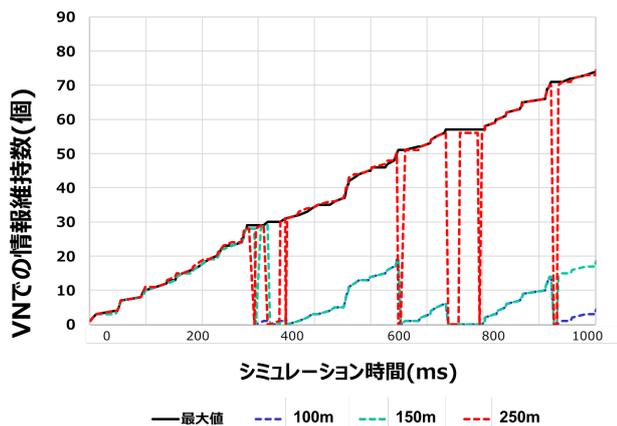


図 9 車両数 25 台での p-VN 存在範囲に基づく、維持数

5. おわりに

本稿では、VANET の技術を用いた特定地点における情報の維持に関する関連研究の問題点に着目し、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 において、情報を維持し続け新たに発生した VN に情報を転送する p-VN を設けることで VN における情報消失の防止を図った。本提案で取り扱う情報は、道路の走行に要する時間であるトリップタイムとし、VN 消滅における情報消失の防止は、VN 車両の VN 存在範囲離脱時の情報の維持、p-VN 車両の新規 VN への情報の返還によって行う。

そして、シミュレーションを用いて交差点で収集される情報維持数と提案手法によって収集される情報維持数を車両数や p-VN 存在範囲を変化させて評価を行った。その結果、シミュレーションでは、車両数が少ない場合、既存手

法との差分は小さく、多い場合、情報の変換が達成されることにより VN での情報維持数が向上するという結果が得られ、車両数が少ない場合であっても、p-VN 存在範囲を大きくした場合、情報の変換が達成されることにより VN での情報維持数が向上するという結果が得られた。

参考文献

- [1] 宮崎稔也, 峪口雄太, 重野寛, 屋代智之: 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, 73 回高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS) 研究会, pp.1-6 (2018)
- [2] 峪口雄太, 佐藤和也, 宮崎稔也, 重野寛, 屋代智之: 情報指向型自動車アドホックネットワークにおける仮想ノードを用いたルーティングプロトコル, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.2, pp.449-458 (2019).
- [3] 鈴木勲久郎, 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).
- [4] 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*, Vol.17, No.4, pp.1085-1095 (2016).
- [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] 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).