

峠道環境VANETにおけるRSUを利用した  
情報伝達方式

茲出 拓夢

立命館大学

情報理工学部

学生番号：2600150192-4

指導教員：野口 拓, Gallegos Ramonet Alberto

平成31年1月28日

## 内容梗概

本論文は、筆者が立命館大学情報理工学部において行なった「峠道環境 VANET における RSU を利用した情報伝達方式」の成果をまとめたものである。

近年、モバイルアドホックネットワークを利用した VANET による安全運転の支援が検討されている。交通安全と交通効率を向上させる高度交通システム（ITS：Intelligent Transportation Systems）の分野においても、車両同士が通信を行う車々間通信や車両と道路上に設置されているインフラ設備の間で通信を行う路車間通信の研究が行われている。ITS の代表例として道路と車が連携し、センサや路車間通信などを駆使して交通事故や渋滞の削減を目指す走行支援道路システム（AHS：Advanced Cruise-Assist Highway Systems）の「前方障害物衝突防止支援サービス」や、「カーブ進入危険防止支援サービス」がある。特に最近では比較的交通量の多い高速道路や都市部などをシナリオとした VANET の研究が盛んに行われている。しかし、現在の研究では交通量の少ない峠道、山道などでの研究はあまり行われていない。峠道や山道などの環境で VANET を構築することで、運転者が前後の車両を感知し、追突防止や正面衝突を予防するサービスなど、将来的なサービス（アプリケーション）の実現を促進させることが期待される。VANET では路側機（RSU）が通信に参加する路車間通信を利用し、車々間通信だけでは弱い接続性を改善することが期待されている。

本研究では峠道環境での路側機を利用した新たな情報伝達システム（Winding1 フラッディング及び Winding2 フラッディング）を提案する。峠道特有の環境である、斜度や道路形状の特徴を考慮したフラッディング制御方法であり、既存のフラッディング手法と通信性能をシミュレーションにより比較した。その結果既存方式に比べ Winding1 フラッディングでは対向車両への遅延時間を短くすることができ、95 %以上の到達率を保てた。しかし、後方車両への遅延時間と到達率では既存方式の方が優れていた。総パケット数においては既存方式より大幅に削減することができた。さらに Winding2 フラッディングでは、総パケット数及び対向車への遅延時間と到達率は Winding1 フラッディングと同等の結果が得られ、後方車両への遅延時間は既存方式と同等で、到達率では既存方式より少し劣るものの一定の到達率

を保つことができた。

# 目 次

内容梗概	i
目次	ii
<b>第 1 章 緒論</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景 . . . . .	1
1.2 研究の目的 . . . . .	2
<b>第 2 章 駐車場システム</b>	<b>3</b>
2.1 現在駐車場に導入されているシステム . . . . .	3
2.2 ITS(Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) . . . . .	5
2.3 既存の駐車場システム研究 . . . . .	6
<b>第 3 章 運転手の趣向を考慮した無線駐車場システム</b>	<b>8</b>
3.1 提案システム概要 . . . . .	8
3.2 自動車誘導アルゴリズム . . . . .	9
3.2.1 NPS 重視方式 . . . . .	9
3.2.2 駐車完了時間重視方式 . . . . .	10
3.2.3 ハイブリッド方式 . . . . .	11
<b>第 4 章 性能評価・考察</b>	<b>12</b>
4.1 マルチエージェントシミュレータ artisoc4.2 . . . . .	12
4.1.1 駐車場・自動車の設定 . . . . .	13
4.2 評価方法 . . . . .	15
4.2.1 評価項目 . . . . .	15
4.2.2 満足度の計算 . . . . .	15

4.3 シミュレーション結果 . . . . .	18
4.3.1 平均探索時間 . . . . .	18
4.3.2 平均総合ポイント (NPS 重視) . . . . .	19
4.3.3 平均総合ポイント (駐車完了時間重視) . . . . .	20
4.3.4 平均総合ポイント (どちらも重視) . . . . .	20
4.4 考察 . . . . .	21
<b>第 5 章 結論</b>	<b>22</b>
<b>謝辞</b>	<b>23</b>
<b>参考文献</b>	<b>24</b>

# 第1章

## 緒論

### 1.1 研究背景

近年，交通安全と交通効率を向上させることを目的とした高度道路交通システム（ITS：Intelligent Transportation Systems）の分野において，車両同士が基地局を介さず直接通信を行う車々間通信や，道路上に設置されている通信設備（路側機）と車両の通信を行う路車間通信の研究が行われている．これら車車・路車・路々間通信で構築されたネットワークをVANETという．VANET<sup>[?]</sup>のアプリケーションでは主に運転支援サービス，道路交通情報サービス，ユーザ通信・情報サービスの三つに分類される．運転支援サービスの目的は交通事故を減らし運転の安全性と効率を増加させることである．例として急ブレーキ情報を即座に後方車両に伝達し追突事故を防止することが挙げられる．道路交通情報サービスの目的は運転者に周辺の道路の交通情報を知らせることである．ユーザ通信・情報サービスの目的は他の車との間で駐車場やガソリンスタンドなどの情報を交換したり，道路沿いのゲートウェイを利用してインターネット接続を提供することである．現在このようなアプリケーションはVANETでは交通量が多い都市部での環境で研究が盛んに行われており，緊急車両の走行支援や情報散布に影響を与える複数の道路要素を考慮したRSUの配置手法<sup>[?]</sup>，高速道路上環境でのプロトコル<sup>[?]</sup>，道路景観を考慮した経路案内<sup>[?]</sup>などの研究が行われている．

しかし，比較的交通量の少ない峠道，林道などではVANETを利用した研究はあまり促進されていない．特に路車間通信に利用するRSUは，街中などで交通量が多い場面での効果的なRSU配置方法が検討されているが，交通量の少ない峠道環境で利用することで弱点となる接続性を補うことが期待できる．

## 1.2 研究目的

本研究は、峠道や林道などで VANET を構築することで、運転者が前後の車両を感知し、追突防止や正面衝突の予防サービスなど、将来的なアプリケーションの実現を目的とし、峠道環境ならではの特徴を考慮した Winding1 フラッディング方式及び Winding2 フラッディング方式を提案する。峠道環境の道路は斜度があるため高地から低地へ通信を行う場合と低地から高地へ通信を行った場合で通信距離に差が生じる。事前に実際の峠道で計測したデータを元に高低差を考慮した通信距離の制御を用いて提案方式と既存のフラッディング方式の通信性能をシミュレーションにより比較した。

第2章では、基本的なフラッディングの概要と動作を説明し、いくつかの既存方式を述べる。第3章では、想定シナリオに対応したフラッディング方式を述べる。第4章では、評価方法について述べ、本研究の評価方法を元に検証した結果をまとめる。第5章は結論であり、本研究の主な結果をまとめる。

## 第2章

# VANETにおけるフラッディング方式

### 2.1 概要

モバイルアドホックネットワーク (MANET) は移動通信の基地局や無線 LAN のアクセスポイントなどを必要とせず、ノード (端末) のみで構築されるネットワークである。なかでも車々間通信に使用される MANET は VANET (Vehicular Ad hoc NETwork) と呼ばれる。図 ?? は、VANET を表す。

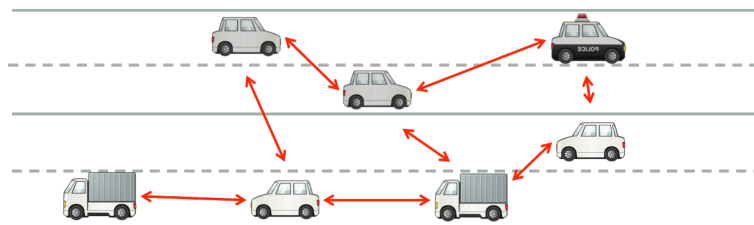


図 2.1: VANET

二つのノードが通信範囲内に存在すれば直接通信し、通信範囲外であれば他のノードと複数リンクを経由して通信を行う。しかしパケットを中継するノードが移動すると通信経路が変わってしまう。そこで MANET 及び VANET では通信時にフラッディングという技術を用いられる。フラッディングは主に宛先ノードを探すために利用され、送信したいパケットをブロードキャストで通信範囲内に存在する複数のノードへ送信し、パケットを受信したノードは再びブロードキャストを繰り返すことでネットワーク内の不特定ノードへ同一情報の配信を行う。一般的に各ノードは一度も受け取ったことのないパケットを受信すると必ず一度だけブロードキャストし、二回以上受信した同一パケットはブロードキャストを行わない。

フラッディングの問題点としては、ネットワーク内のノード数及びリンク数が増加するとトラフィック量が増大し、ネットワーク内の負荷が大きくなる。さらに輻輳が生じる可能性も



増加し、通信の信頼性と効率を低下させてしまう。アドホックネットワークの様々なプロトコルでは、フラッディングを利用して経路情報のやりとりを行うため、フラッディングの信頼性と効率の向上が必要不可欠である。フラッディング<sup>[7]</sup>の種類としては主に単純なフラッディング (pure flooding) や確率ベースの方式、距離ベースの方式、近隣情報を利用した方式の4つに分類できる。

#### (1) 単純なフラッディング

単純なフラッディングは各ノードがパケットを受信した場合、そのパケットを一度も受信していなければブロードキャストを行い、それ以外は破棄する。この動作を全てノードが行う。

#### (2) 確率ベースの方式

確率ベースの方式は各ノードがパケットを受信した場合、ある基準にしたがって決定する閾値を確率の値に使用し、その確率にしたがってブロードキャストを繰り返す。

#### (3) 距離ベースの方式

距離ベースの方式は位置情報を利用する方式であり、各ノードがパケットを受信した場合、主に送信したノードから近いノードは転送を行わず、遠いノードのみが転送するという動作を行う。

#### (4) 近隣情報を利用した方式

近隣情報を利用した方式は各ノードがパケットを受信した場合、隣接ノードから定期的に受信している Hello メッセージの隣接ノード情報を元にしてブロードキャストを行うか判断する。

## 2.2 受信電力に基づいた確率フラッディング方式

受信電力に基づいた確率フラッディング方式として SFPC(Static Forwarding Probability Control)<sup>[7]</sup>がある。SFPC は各ノードが始点あるいは中継ノードからの経路要求パケット (Route Request : RREQ) 受信時に測定した受信電力に基づき RREQ の転送確率を決定する。受信電力値が大きい場合は始点ノードあるいは中継ノードとの距離が相対的に近いことを表し、このようなリンクを基準に経路を構築することはホップ数の増加につながり、フラッディングの冗長性も高いので無駄なパケットを増やし、処理負荷の増加が考えられる。逆に受信電力値が小さい場合は始点あるいは中継ノードとの距離が遠いことを表し、このような

リンクを基準に経路を構築することはノードの移動に伴いすぐにリンク切断される可能性が高い。

このような理由から受信電力値が大きいノードと小さいノードから受信した場合は、RREQ 転送確率を下げるにより冗長なパケットを削減しつつ、安定した経路を構築することが可能だと考えられる。よって各ノードは RREQ 受信時に転送確率関数 (Forwarding Probability Function : FPF) を用いて受信電力値から転送確率を決定し、その確率によって RREQ の転送を行う。

## 2.3 Greedy Forwarding

位置情報は経路制御において有効であり、隣接ノードの位置情報は非常に重要な役割を果たす。宛先ノードまでの経路を発見せずに順次パケット転送を行う方式の代表的な例として Greedy Forwarding<sup>[7]</sup>を紹介する。Greedy Forwarding は距離ベースのフラッディング方式であり、転送時のパケットに宛先の位置情報を含めて、宛先までの中継ノードの選択に自ノードより宛先ノードに近く、かつ宛先ノードに最も近いノードを選択する。

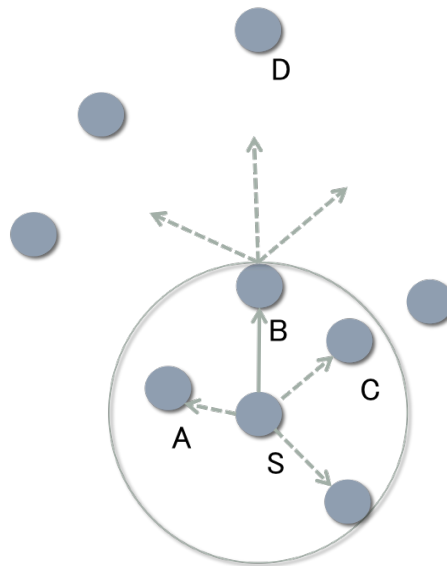


図 2.2: Greedy Forwarding の空白問題

しかし、図??のように自ノードよりも宛先に近いノードが存在しない状況が発生する可能性がある。はノード S がノード D を宛先とするノードを送信すると、宛先ノード D に最も近いノード B を選択する。しかし、ノード B は自ノードより宛先ノード D に近い隣接ノード

が存在しない場合パケットを宛先ノード D まで中継ノードを選択することができず、パケットロスが発生してしまう。このような状況を解決するために Righth-Hand Rule という法則を利用した GPSR 方式<sup>[7]</sup>が提案されている。

## 第3章

# 峠道環境におけるRSUを利用した情報伝達方式

### 3.1 概要

2017年度のトンネル，橋を除く単路（カーブ・屈折）での事故統計<sup>[?]</sup>によると，車両相互事故ではすれ違い時，追突事故，正面衝突が全体の3分の2程の割合を占めており，これらの事故防止に貢献できると高い評価が得られることがわかる．図??はその事故統計である．

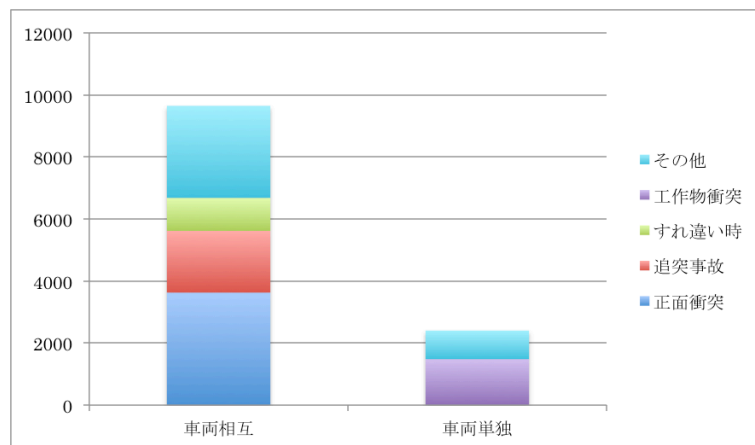


図 3.1: 単路（カーブ・屈折）での事故統計 H29

事故を防ぐため峠道のカーブ区間でパケットを受信した車両が必要な情報は，カーブ進入前と進入後でカーブ内またはカーブ出口付近に車両が存在するかどうか，カーブ内に車両が存在する場合はその車両の進行方向，位置，速度が必要となる(表??)．従って，送信パケットにおける受信車両の必要情報のための追加項目を表??に示す．

これらのことを踏まえて峠道特有の距離が短いカーブや斜度を考慮したフラッディング方

表 3.1: 受信車両の必要情報

受信車両位置	必要情報
カーブ進入前	カーブ内またはカーブ出口付近に車両が存在するかどうか. カーブ内に車両が存在する場合はその車両の進行方向, 位置, 速度.
カーブ進入後	カーブ進入前と同じ

表 3.2: パケットフォーマット

追加項目	内容
Originator Location	送信車両の位置情報
Originator Speed	送信車両の速度
Originator Direction	送信車両の進行方向

式として Winding1 フラッディング及び Winding2 フラッディングを提案する. 峠道では交通量が少ないことが予想されるため, カーブ区間内の VANET ネットワーク構築のために路側機 (RSU : Road side Unit) をカーブ区間に一定間隔に配置する. 路側機の配置間隔の最大は, 隣接する路側機との通信可能範囲までとする.

## 3.2 峠道環境での事前通信評価

電波の到達距離は, 電波が伝わる時に生じる反射, 回折, 干渉という現象に影響を受ける. 電波は障害物がなければ直進するが, 送信ノードと受信ノードの間に障害物があれば, 電波の反射や透過, 障害物に回り込む回折が発生し電波の到達距離が減衰する. また類似波長の波が重なると, 強め合ったり, 打ち消し合ったりする干渉が発生し電波の到達距離が減衰する. このことから, 送信ノードの設置位置を十分に高くすると, 障害物が減り通信距離が長くなることが考えられる. 逆に送信ノードの設置位置が低い場合は障害物が増え通信距離が短くなる. 峠道では道路の斜度があるため, 送受信ノード間の高低差によって通信距離に影響を受けてしまう.

そこで兵庫県の六甲ドライブウェイにて坂道における通信範囲の調査を行なった. 送信側の親機と受信側の子機を用いて実験を行い, 子機の受信時の通信強度を 10m 毎に強度の計測にし, 計測に成功した 20 回の平均をまとめた. シナリオ及び結果は表??, 図??の通りで

ある。

表 3.3: シナリオ

場所	六甲ドライブウェイ
斜度	10 度強
車線	2 車線 (片側 1 車線)
道路形状	直線
試行回数	10m 毎に 20 回

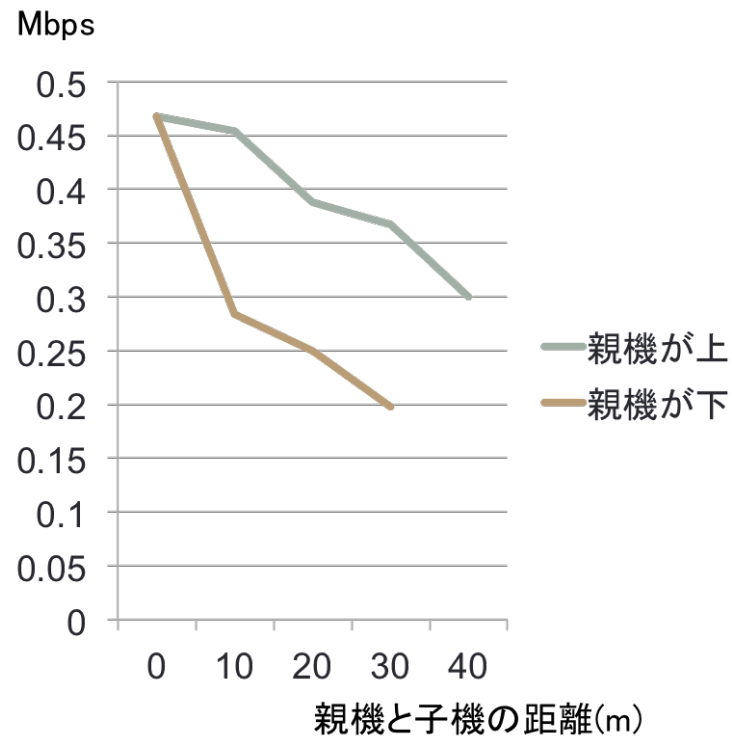


図 3.2: 通信強度と通信範囲の制限

親機が峠道の上の場合は 40m 地点で通信が切断される時があり、50m 地点では電波が届かなかった。親機が峠道の下の場合は 30m 地点で通信が途切れることがあり 40m 地点では電波が届かなかった。これらの結果から確実に通信できる距離を考慮すると斜度が 10 度の峠道だと親機が低地の場合、高地の場合と比べて 2/3 程度の通信範囲であることがわかった。

### 3.3 Winding アルゴリズム

#### 3.3.1 前提条件

峠道環境における路側機を利用した flooding の制御方法の動作として、Winding1 アルゴリズム及び Winding2 アルゴリズムを提案する。これら提案方式では前提条件として下記の内容を挙げる。

- ・RSU 同士は互いにそれぞれの位置，通信距離が既知である。
- ・車両は自身の速度，位置，方向，通信距離が既知である。
- ・車両は RSU の情報を知らない。

#### 3.3.2 Winding1 アルゴリズム

パケットを受信した路側機は送信元の位置と送信車両からみて進行方向先にある路側機との位置を比較し，送信元の通信範囲内に進行方向先の路側機が存在すれば，進行方向先の路側機が再ブロードキャストを行ったとみなし，何も処理を行わずに終了する。逆に送信元の通信範囲内に進行方向先の路側機が存在しなければ，進行方向先の路側機が再ブロードキャストできなかったとみなし，再ブロードキャストを行う。送信車両が高地から低地へ向かう時の動作例を図??，送信車両が低地から高地へ向かう時の動作例を図??に示す。

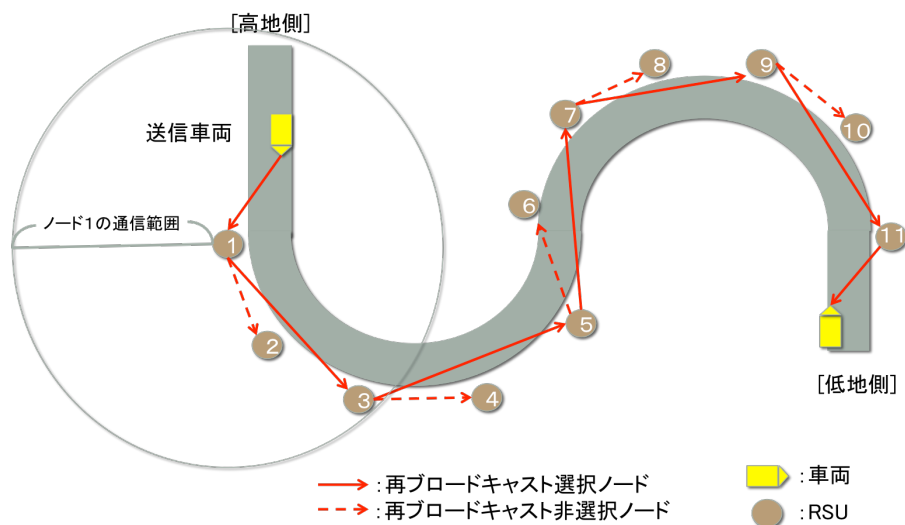


図 3.3: 送信車両が高地から低地へ向かう時の動作

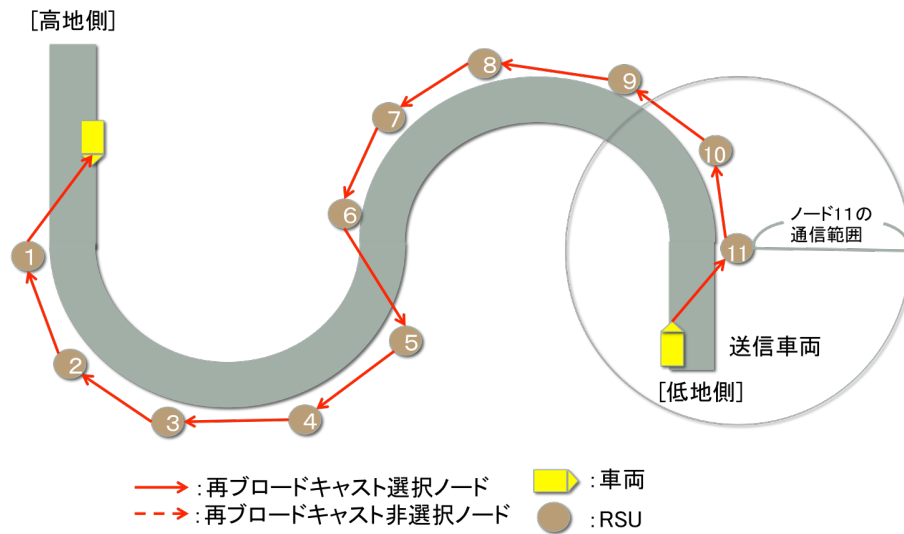


図 3.4: 送信車両が低地から高地へ向かう時の動作

車両速度 80km/h における空走距離と制動距離を含む停止距離の目安は 76m であるため、追突事故防止するためには、100m 程度離れている先行車両を感知すると十分可能である。また図??より車両相互事故では正面衝突の事故割合が一番高いことがわかる。よって Winding1 アルゴリズムでは停止距離と送信車両と対向車両が至近距離でパケットロスを想定した場合も考慮する。そのため後方へのパケット伝達方法は最初に進行方向先の路側機が受信したところから数えて 2hop までとし、至近距離の対向車両への再通知とトラヒック量の軽減を狙う。

Winding1 アルゴリズムにおける後方へのパケット伝達を含めた動作例としてを図??を示す。Winding1 アルゴリズム及び Winding2 アルゴリズムで利用する各種パラメータを表??, Winding1 アルゴリズム及び Winding1 アルゴリズムにおいてある車両が送信したパケットをカーブ区間内のノードに伝達完了するまでの動作フローを図??, 図??に示す。また車両はブロードキャストする際に、パケットに自身の進行方向の情報を載せる。車両の進行方向の識別は、各ノードが受信したパケットから方向情報を参照し、高地あるいは低地へ向かっているかの 2 パターンで判別を行う。パケットの進行方向は、パケット受信時に受信したパケットから位置情報を参照し送信ノードと受信ノードの位置を比較し、車両の進行方向と同様に 2 パターンで判別を行う。



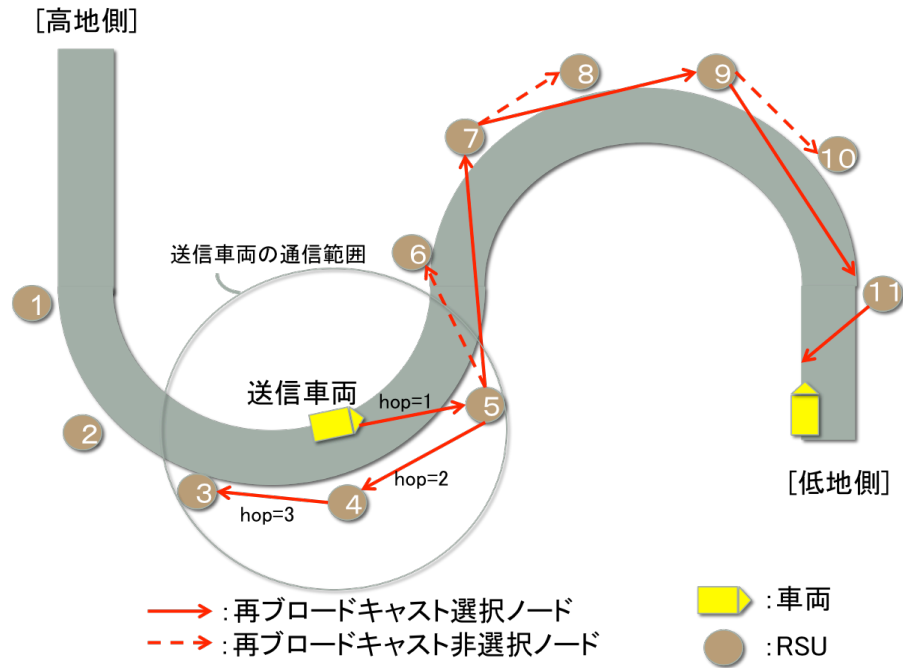


図 3.5: Windin1 アルゴリズムにおける後方へのパケット伝達を含めた動作例

表 3.4: 各種パラメータ

位置: $\omega S=(x,y,z)$	送信ノードの現在地
位置: $\omega D=(x,y,z)$	受信ノードの現在地
進行方向: dir	上り (dir=H), 下り (dir=L)
下り通信距離: dL	勾配を考慮した高地から低地への通信範囲
上り通信距離: dH	勾配を考慮した低地から高地への通信範囲

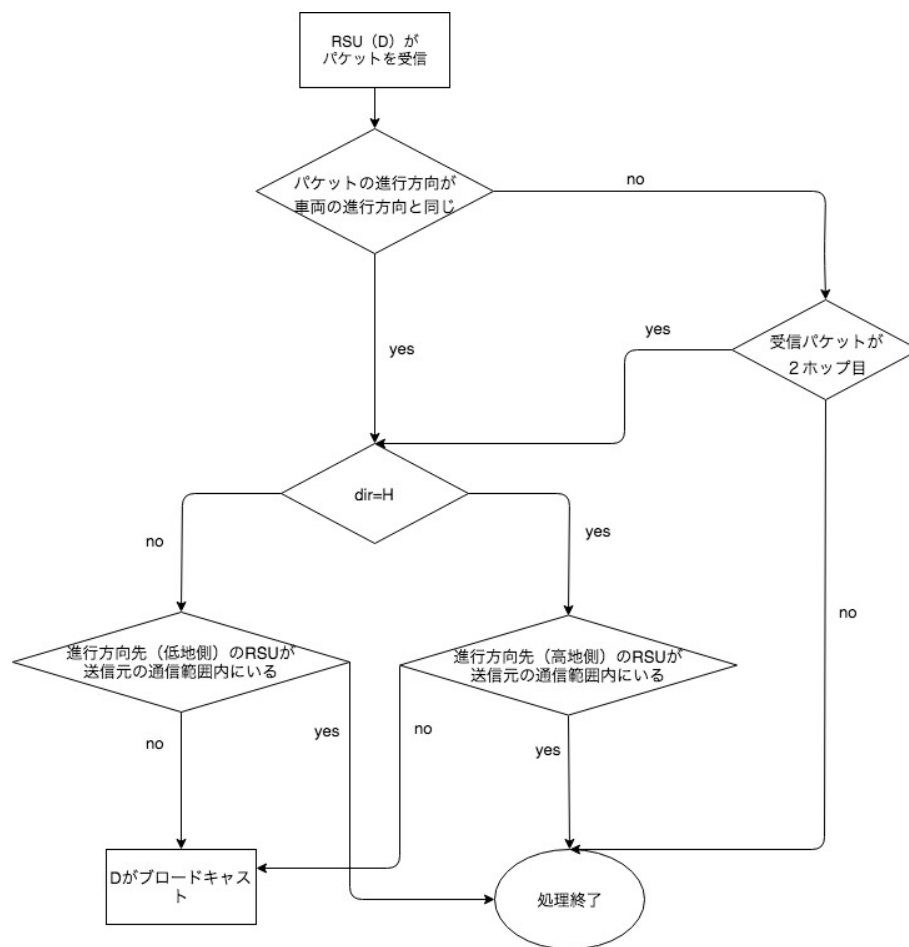


図 3.6: Windin1 アルゴリズム

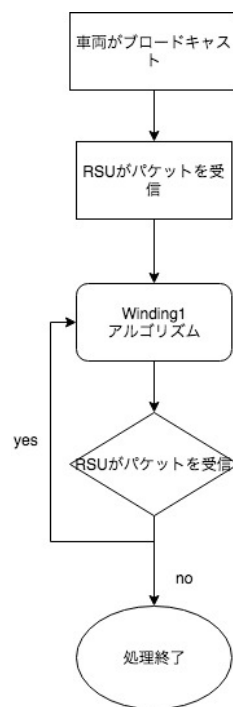


図 3.7: Winding1 動作フロー

### 3.3.3 Winding2 アルゴリズム

Winding1 アルゴリズムに比べ Winding2 アルゴリズムは，後方車両への動作のみが異なる．Winding2 アルゴリズムでは至近距離の対向車両の packet ロスの考慮を優先せず，後方車両への伝達距離を伸ばすことを優先する．そのため後方への packet 送信は前方への packet 送信と同様に行い，最初に送信した時から数えて 2hop までとする．Winding2 アルゴリズムにおける後方への packet 伝達を含めた動作例としてを図??を示す．Winding2 アルゴリズム及び Winding2 アルゴリズムにおける，ある車両が送信した packet をカーブ区間内のノードに伝達完了するまでの動作フローを図??，図??に示す．

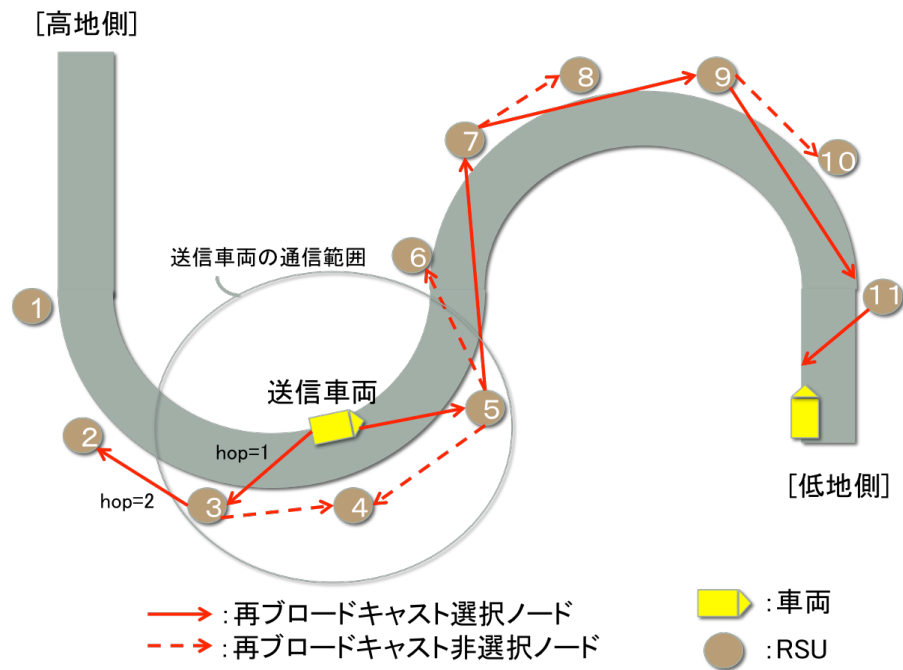


図 3.8: Winding2 アルゴリズムにおける後方への packet 伝達を含めた動作例

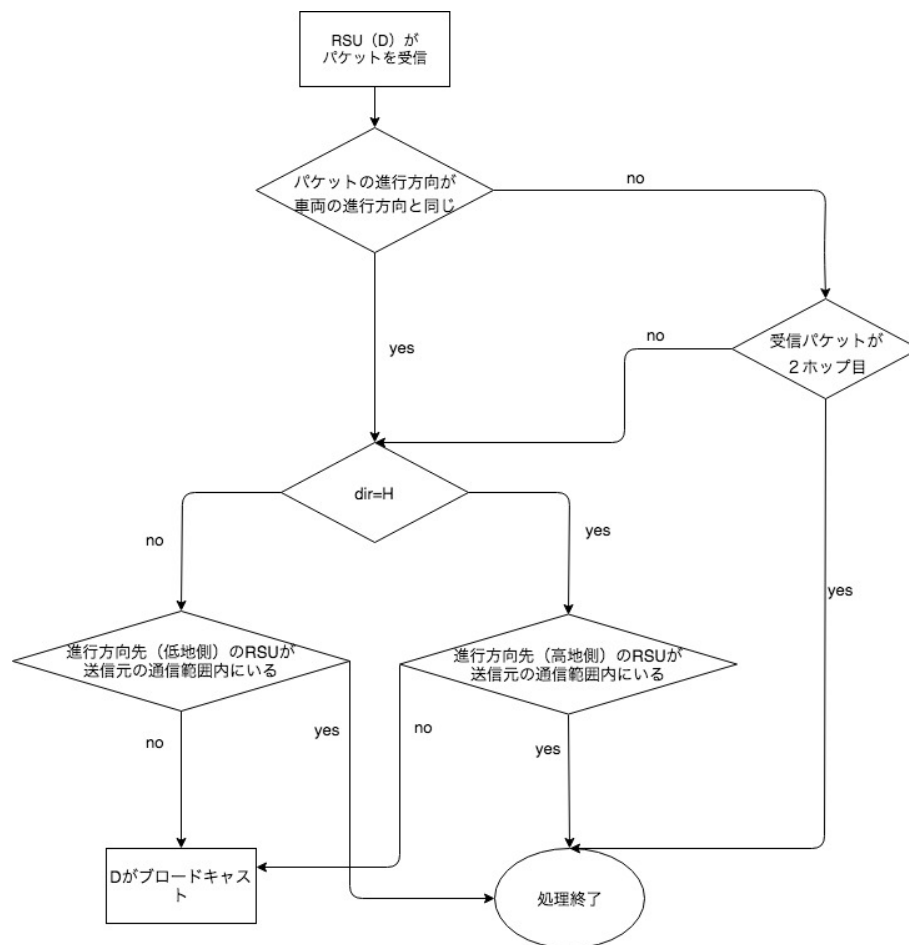


図 3.9: Winding2 アルゴリズム



図 3.10: Winding2 動作フロー

## 第4章

# 性能評価

### 4.1 シミュレーション環境

ネットワークに関する様々な問題や現象を調査するにはスマートフォンなどの通信端末を用い、実験を行うことが望ましい。しかし、通信端末を用いて実験を行うことは莫大な時間とコストを費やしてしまう。そこで本性能評価には、ネットワークシミュレータである NS3<sup>[7]</sup>(Network Simulator 3)を使用した。NS3はNS2<sup>[7]</sup>(Network Simulator 2)と同じ離散イベント駆動型ネットワークシミュレータとして、2006年からNS2の開発に携わっている主要メンバーによりオープンソースベースで開発されている。またNS2の問題点を解消し、新しいプロトコルの実装及び、大規模シミュレーション評価をより簡単にするために開発言語とシナリオ言語をC++に統一している。

#### 4.1.1 シミュレーションシナリオ

図??は本論文におけるシナリオの想定図である。峠道では連続したカーブの道路形状が多く、交通量が少ない場合が多い。従ってシミュレーションシナリオでは半径50m( $r=50$ )の半円のカーブが4つ連続していることとする。半円に進入した場所をカーブ区間の出入り口とし、RSUはカーブ区間の入り口から出口までの道路上に均等に配置する。また、車両はカーブ区間出入り口から110m地点に30m間隔で5台設置し、シミュレーションスタートとする。またカーブ区間両端に位置する路側機は、斜度による通信制限により車両からパケットを受信できる距離が異なる。よってデータの取得は、シミュレーションを開始してから各先頭車両( $n=1,6$ )がカーブ区間両端に到達した時点で行うこととする。なおパケット送信車両は各先頭車両( $n=1,6$ )とし対向車の評価対象は対向先頭車両とする。対向車情報は対向車とすれ

違うまでの情報のみが必要となるので，対向車との評価は対向車同士がすれ違う時点までとする．評価項目としては到達率，遅延時間，総パケット数とする．

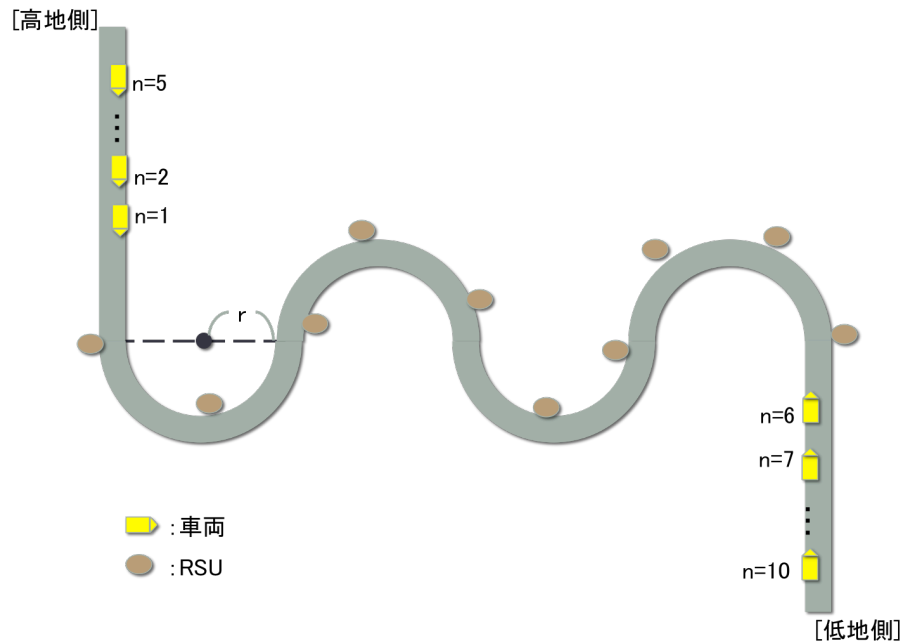


図 4.1: 想定シナリオ

#### 4.1.2 パラメータ

シミュレーションパラメータを表??に示す．車両速度による評価項目の変化量を調べるため，各車両の車両速度は同一で 20,40,60,80km/h のそれぞれで実験を行う．後方車両との評価の時は距離別で評価を行うため一般的な峠道での速度を考慮し車両速度 40km/h で実験を行う．また路側機の数も同様に 15,25,35 台のそれぞれの数で実験を行う．車両速度 80km/h の場合，0.2 秒で約 4.5m 進むので，情報のリアルタイム性を考慮してパケット送信間隔は 0.2 秒とする．



表 4.1: シミュレーションパラメータ

パラメータ項目	内容
フィールドサイズ	500 × 500[m <sup>2</sup> ]
路側機の数	15,25,35
車両の数	10
車両速度 (一定)	20,40,60,80[km/h]
送信車両数	2
パケットサイズ	20[packets]
パケット送信間隔	0.2[s]
通信距離 (高地から低地)	100[m]
通信距離 (低地から高地)	66.67[m]
カーブ数	4
カーブの半径	50[m]

## 4.2 シミュレーション結果

### 4.2.1 到達率

到達率はパケットを受信した車両における同一パケットを含まないパケット受信数をパケット送信車両のパケット送信数で割ったものをパケット到達率とする．Winding1, Winding2, Pure の対向車両の実験結果を図??, 車両速度が 40km/h の時の後方車両の実験結果を図??, 図??に示す．

図??より対向車両では, Winding1 と Winding2 が Pure に比べて到達率が少し下がってしまっているが, 95 %以上の到達率を保てることがわかる．これは, Winding1 と Winding2 が Pure に比べて, パケット送信回数が少なくパケットロス時の再通知ができないことが原因と考えられる．また全ての方式において RSU の数の変化と車両速度による到達率の変化が現れると想定していたが変化がほとんどみられず安定した到達率を保てていることがわかる．これは, RSU の数が最も少ない実験シナリオにおいても, すべての車両速度に対して, RSU の通信範囲内に対向車両を含んだノードが存在し, 再ブロードキャストが正しく行われていることが原因と考えられる．図??, 図??, 図??より後方車両において Winding1 では, Pure に比べて大きく到達率が下がっていることがわかる．特に峠道において送信車両が下りの場合は上りの場合に比べても送信車両と受信車両の距離が 90m 以上離れるとほとんどパケットを受信できないことがわかる．これは道路の斜度による通信範囲の制限の差が現れ, パケット到達範囲に影響がでたことと, 後方へのホップ数を制限したためと考えられる．一方 Winding2 では 90m 地点までほとんど Pure 同等の到達率を保っており 120m 地点付近で到達率が下り始めたが, Winding1 より大幅に到達率を保てることがわかった．

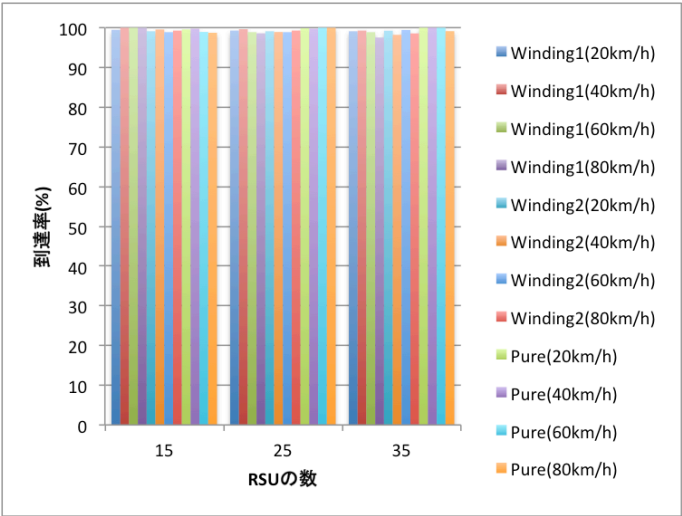


図 4.2: 対向車両の到達率

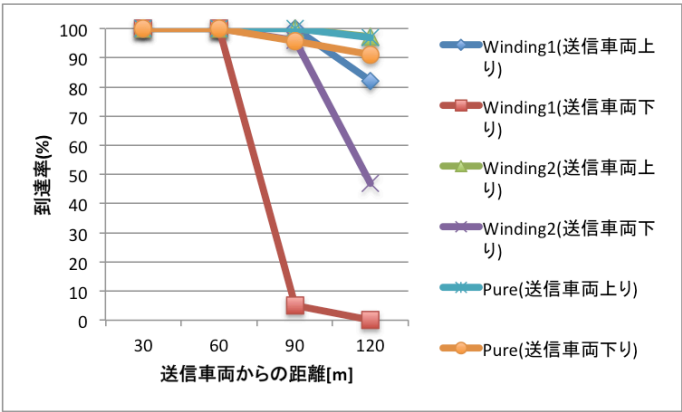


図 4.3: RSU が 15 個の時の後方車両の到達率

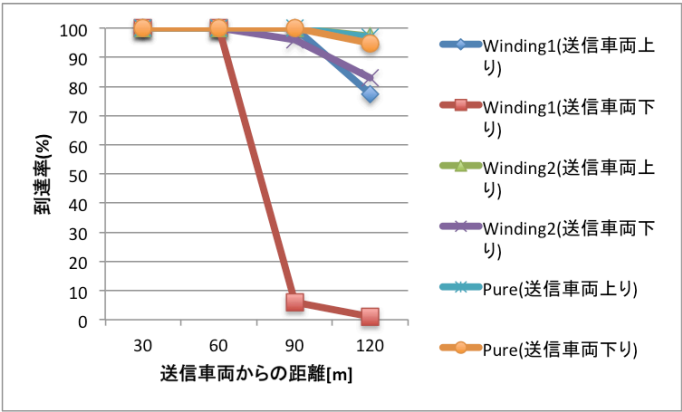


図 4.4: RSU が 25 個の時の後方車両の到達率

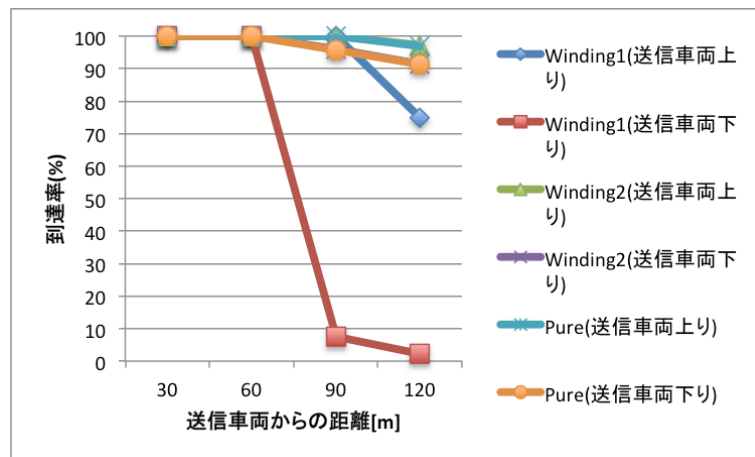


図 4.5: RSU が 35 個の時の後方車両の到達率

### 4.2.2 遅延時間

遅延時間は車両がパケットを送信した時刻から、受信車両が初めて該当パケットを受信した時刻を引いた時間を遅延時間として評価を行う。Winding1, Winding2, Pure の対向車両の実験結果を図??, 車両速度が 40km/h の時の後方車両の実験結果を図??, 図??, 図??に示す。

図??より対向車両では、Pure に比べて Winding1 と Winding2 は遅延時間が短いことがわかる。これは送信パケットが Winding1 及び Winding2 アルゴリズムにより、送信ノードの通信範囲内で送信ノードから最も遠いノードを再ブロードキャストするノードとして選択するので、最短ルートで受信車両まで到達できるからである。また RSU の数が増加すると Winding1 と Winding2 では遅延時間が同じか短くなることがわかり、Pure では遅延時間が長くなることがわかる。Pure では無差別にブロードキャストを行うことと、Winding1 と Winding2 では路側機が増えることによって送信者の通信範囲内にいる路側機が増え、路側機が少ない時より遠くの路側機がブロードキャストを行っているからだと考えられる。また、Winding1 と Winding2 の対向車への遅延時間はほとんど差がなかった。これはパケットが対向車へ到達するまでアルゴリズムが同じためであると考えられる。図??, 図??, 図??より後方車両では 30m 地点と 60m 時点では遅延時間がほぼ同じであることがわかる。これは送信車両からパケットを直接受信しているからだと考えられる。90m 地点と 120m 地点では Winding1 に比べて Pure の方が遅延時間が短いことがわかる。これは Winding1 では一旦前方に向かったパケットから後方へパケットが伝わるので余分に時間がかかってしまったためだと考えられる。一方 Winding2 では Pure とほとんど同じの遅延時間となった。これは Winding2 では送信車両の通信範囲内にいる最も後方にいる路側機がブロードキャストを行うノードとして選択されることが原因と考えられる。

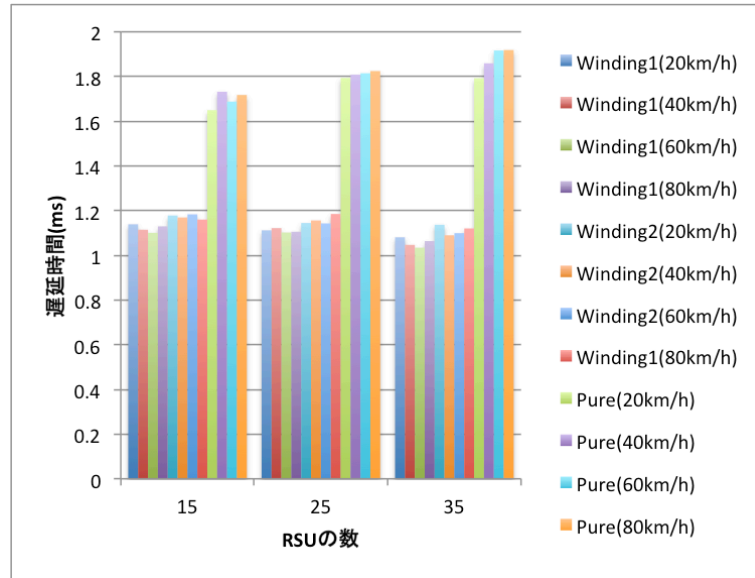


図 4.6: 対向車両の遅延時間

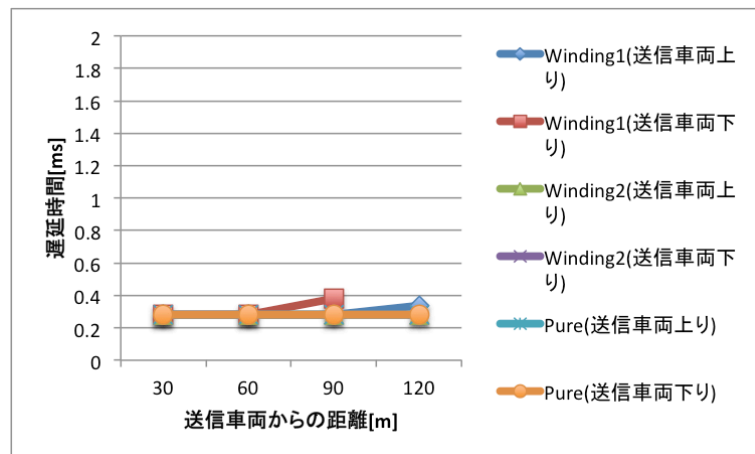


図 4.7: RSU が 15 個の時の後方車両の遅延時間

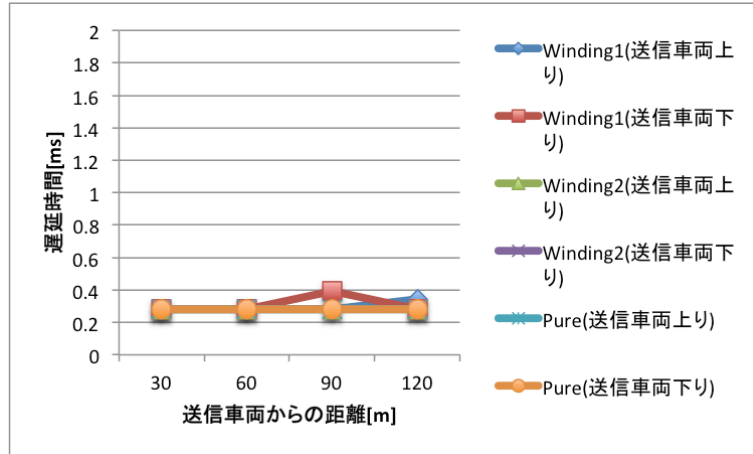


図 4.8: RSU が 25 個の時の後方車両の遅延時間

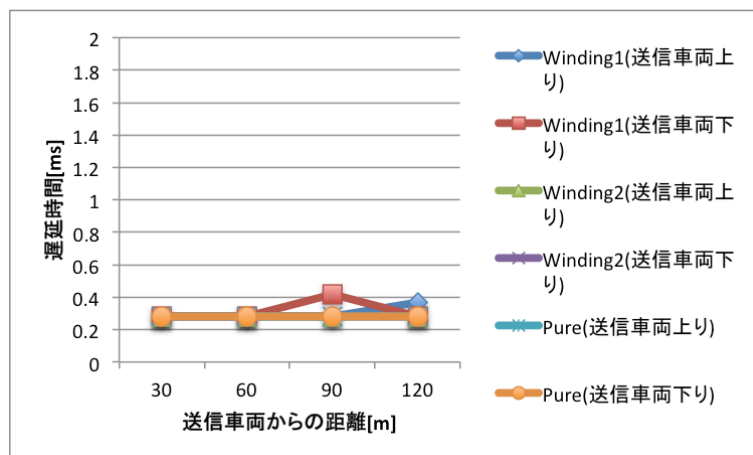


図 4.9: RSU が 35 個の時の後方車両の遅延時間

### 4.2.3 総パケット数（負荷）

総パケット数は各ノードが受信したパケット数の合計を総パケット数として評価を行う。Winding1, Winding2, Pure の実験結果を図??に示す。

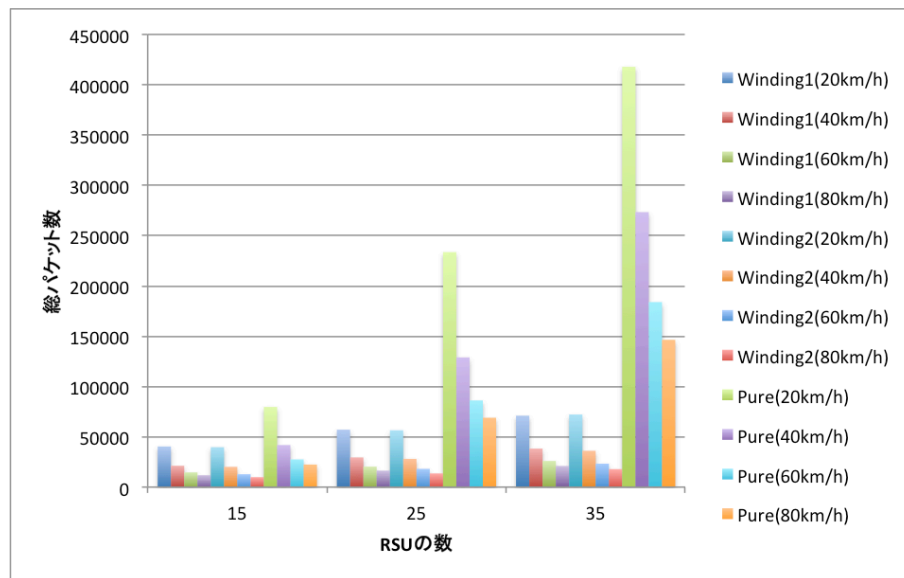


図 4.10: 総パケット数

実験の結果の図??より，Winding1 と Winding2 は実験シナリオの全てにおいて Pure より大幅に総パケット数を削減できたことがわかる．理由としては，全てのノードがブロードキャストする Pure に比べて Winding1 と Winding2 では，Winding1 アルゴリズム及び Winding2 アルゴリズムに基づきブロードキャストを行うノードを制御しているからだと考えられる．また，RSU の数が増加するほどより総パケット数を削減できることがわかる．Winding1 と Winding2 ではノード数が増加しても，あるノードの通信範囲内の 1 または 2 ノードのみがブロードキャストを行うためだと考えられる．



## 第5章

### 結論

本論文では交通量が少なく、カーブが連続した峠道を想定し、道路の斜度を考慮した上で将来的な交通安全と交通効率の向上を目指すことを目的とした、Winding1 フラッディング方式及び Winding2 フラッディング方式を提案した。評価項目において既存方式と比較し Winding1 フラッディング方式では対向車両に対して遅延時間を短くすることができ、到達率は少し劣るものの 95 % 以上の到達率を保つことができた。後方車両に対しての遅延時間は既存方式より長くなってしまい、到達率ではホップ数を制限したことと斜度による通信距離の制限により送信車両との距離が 90m 地点を越えると大幅に低下してしまった。Winding2 フラッディング方式では対向車両に対する遅延時間、到達率は Winding1 フラッディング方式と同等の結果が得られた。後方車両に対し遅延時間は既存方式と同程度であり、到達率では 90m 地点まで既存方式と同程度の結果が得られ、Winding1 フラッディングより優れていることが明らかとなった。また Winding1 フラッディング方式と Winding2 フラッディング方式は共に総パケット数において既存方式に比べ、送信ノード数が少ない Winding1 アルゴリズム、Winding2 アルゴリズムにより大幅に削減できた。

第1章では研究の背景・目的を述べ、第2章では VANET におけるフラッディングといくつかの既存のフラッディング方式を述べた。第3章では峠道環境 VANET における RSU を利用した Winding フラッディング方式について述べ、第4章では提案方式と既存方式をシミュレーションにより評価項目に基づいて行った実験結果を比較してその考察を述べた。今後の展望としては、本研究のシナリオでは峠道に存在する木々などの障害物を設置していない。そのことを踏まえた想定シナリオでも評価を行う必要があると考えられる。その上で提案方式の更なる改善が求められる。

## 謝辞

本論文では筆者が立命館大学情報理工学部情報コミュニケーション学科において行なった「峠道環境 VANET における RSU を利用した情報伝達方式」の成果をまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり，全過程を通じて懇切丁寧なる御指導，御鞭撻を賜わった，立命館大学情報理工学部野口 拓准教授，Gallegos Ramonet Alberto 特任助教に深甚なる感謝の意を表す。

立命館大学情報理工学部において，御指導，御教授を賜わった立命館大学情報理工学部教授，山本 寛准教授を始め，各教員の方々に衷心より御礼申し上げる。

ネットワークシステム研究室の諸兄には，日頃より多くの御助言，御協力戴き，種々の面でお世話になった。ここに深謝申し上げる。

ここに記して，以上の方々に深甚なる感謝の意を捧げる。

## 参考文献

- [1] 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, Vol.J89-B, No.6, pp.824-835, 2006.
- [2] 五味和良, 岡部友介, 重野寛, ”情報散布に影響を与える複数の道路要素を考慮したRSU配置手法,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.52, No.2, pp.519-257, 2018.
- [3] Taku Noguchi, Kanta Hayashi, ”Enhancement of AODV Routing Protocol by using Large Vehicles in VANETs on Highway,” 2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks, pp.91-96, 2017.
- [4] 玉井森彦, 前中省吾, 安本憲一, 佐藤啓太, 永田大地, 森下慈也, 福倉寿信, ”桜センサ：車載スマートフォンによる画像処理に基づいた桜景観の良い道路区間の抽出,” 研究報告コンニユーマ・デバイス&システム (CDS), Vol.2014-CDS-11, No.15, pp.1-8, 2014.
- [5] 姜巍, 川瀬悠, 若山公威, 岩田影, 白石善明, ”車車間通信におけるコリジョン数を削減するフラッディング方式の提案と評価,” 情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), Vol.2008, No.25(2008-ITS-032), pp.51-57, 2008.
- [6] 周防高志, 山本尚生, ”MANETにおける経路安定化と冗長パケット削減のための適応的フラッディング制御方式,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-B, No.12, pp.1330-1336, 2007.
- [7] 山本潮, 小野里好邦, ”宛先ノードへの到達可能性を考慮した Greedy Forwarding,” 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.2, pp.621-629, 2013.
- [8] Karp Brad, Kung Hsiang-Tsung, ”GPSR:Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks,” 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.243-254, 2012

- [9] 警察庁, ”平成 29 中の交通事故の発生状況,”  
<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/H29zennjiko.pdf>, 参 照  
Jan.11.2019.
- [10] 錢飛, ”NS3 によるネットワークシミュレーション,” 森川出版株式会社, 2014.
- [11] The Network Simulator - ns-2, <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 参照 Jan.15.2019.