

2021 年度

修 士 論 文

VANETにおける車両位置とリンク状態を考  
慮した地理的opportunistic routing

指導教員: 野口 拓

立命館大学大学院 情報理工学研究科

博士課程前期課程 情報理工学専攻

計算機科学コース

学生証番号: 6611200033-0

氏名: 高橋 柊人

# 内容梗概

本論文は, 筆者が立命館大学情報理工学研究科において行った「VANET における車両位置とリンク状態を考慮した地理的 opportunistic routing」の成果をまとめたものである.

test

# 目次

内容梗概	i
目次	ii
第 1 章 緒論	1
第 2 章 VANET	2
2.1 概要 . . . . .	2
2.2 車車間通信 . . . . .	2
2.3 路車間通信 . . . . .	2
2.4 ルーティングプロトコル . . . . .	3
2.4.1 Topology-based routing . . . . .	3
2.4.2 Geographic routing . . . . .	4
2.4.3 Opportunistic routing . . . . .	4
2.4.4 Geocast routing . . . . .	7
2.5 Local optimum problem . . . . .	7
2.6 Recovery strategy . . . . .	8
謝辞	8
参考文献	10

# 第1章

## 緒論

高速道路や一般道での無謀な運転や不注意運転によるほかのドライバへの危険が問題となっている。もし、これらの危険行為を行う車両の接近を遭遇する以前に知ることができれば、多くの事故を減らすことができる可能性がある。交通死亡事故の原因の中では、規制速度を超過した場合の割合が 31.6 % <sup>[1]</sup> と、速度違反が死亡事故につながる事がわかる。また、交通事故死亡者数と取り締まり件数に注目すると、取り締まりが増加すると死者数が減少するデータもある。これらのことから、交通事故の死亡者数を減らすためには、より多くの速度超過の監視が求められる。

そこで本論文では、VANET を用いたブロードキャスト数を最小限に抑えた VANET を用いた速度超過車両検出手法を提案する。速度超過車両の検出確率や、ブロードキャスト数を調査し、有効性を示す。

第 2 章では、VANET の概要を説明し、既存方式について述べる。第 3 章では、VANET を用いた速度推定法、ネットワークトラフィック量の削減を目的としたブロードキャスト制御アルゴリズムについて述べる。第 4 章では、評価方法について述べ、本研究の評価方法を基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

### 2.1 概要

近年, 情報通信技術の発達により, 無線通信を用いて車両間または, 路車間で情報をやり取りすることによって交通事故や渋滞などの道路交通問題の解決を目指す高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport System) が注目を浴びている<sup>[?]</sup> . ITS の代表的なサービスとして, 渋滞情報と連動した高度なナビゲーションシステム (VICS:: Vehicle Information and Communication System)<sup>[?]</sup>  や, 自動料金収受システム (ETC: Electronic Toll Collection)<sup>[?]</sup>  などがあげられる. これらのサービスを支える技術として, 路車間通信と車両アドホックネットワーク (VANET) がある. 路車間通信は車両が路側機のインフラ設備との無線通信により情報のやりとりを行う. しかし, 路車間通信はインフラ設備の設置にかかる費用と, 設置場所が限定される可能性があるという問題が存在する. 一方, VANET は車両同士で通信を行うためインフラ設備の整備されていない不特定の場所でも通信を行うことが可能になる. VANET のアプリケーションとして, 渋滞回避情報の伝搬, 緊急車両情報の警告など, 安全運転支援に期待されている.

### 2.2 車車間通信

車車間通信は車両と車両との間で無線通信を行い, 情報のやり取りを行うものである. 車車間通信を図 2.1 に示す. 車車間通信では, 端末同士 (車両同士) で自律的にネットワークを構築し, 宛先に直接通信できない場合には間の車両が中継車両となり, マルチホップ通信を行う. 車車間通信のメリットは固定のインフラを必要とせず車両間のみで通信が可能になり, インフラが存在しない地点で通信が可能になることである.

### 2.3 路車間通信

路車間通信は, 道路に設置された路側機 (RSU: Road Side Unit) と車両で無線通信を行い 様々な情報の交換を行うものである. 路車間通信を図 2.1 に示す. 路車間通信の代表的なサービスとして VICS (Vehicle Information

and Communication System) や ETC(Electronic Toll Collection) がある。VICS は、各道路に設置されたビーコンから道路交通情報を発信し、車載のカーナビや高速道路の電子掲示板に高速道路の渋滞の情報、区間を通過するための所要時間、駐車場情報などを表示する「ナビゲーションシステム高度化」を目指したサービスである。ETC は高速道路の入り口に設置されている通信機と車載の通信機で無線通信を行い、料金所に止まることなく、自動でスムーズに料金の支払いができるシステムである。料金所での一時停止が渋滞の原因の一つであったが、ETC の導入で渋滞を解消することができた。

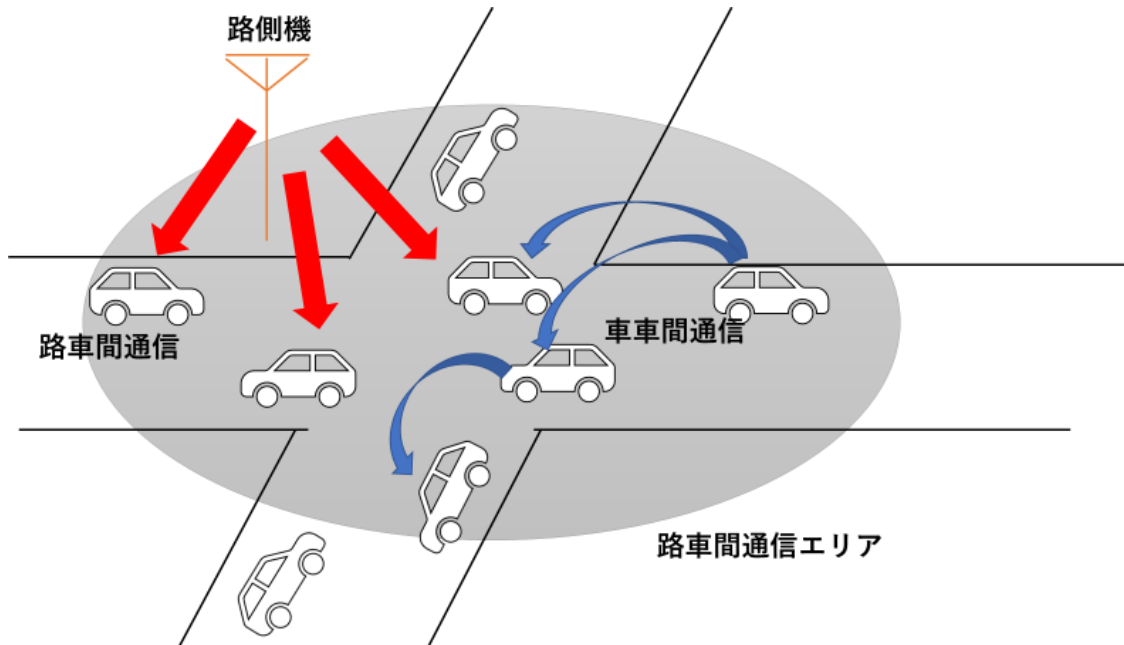


図 2.1: 車車間通信と路車間通信

## 2.4 ルーティングプロトコル

VANET を都市環境で展開する場合、高速な移動性、不均一な車両密度、樹木や建物による電波の遮断など様々な要件を考慮する必要がある。この様々な要件に対応するため、多種多様なルーティングプロトコルが提案されている[2]。次節以降でそれぞれのルーティングプロトコルの特徴について述べる。

### 2.4.1 Topology-based routing

Topology-base routing<sup>[3, 4, 5]</sup> は、ネットワークに存在するリンクに関する情報を使用して、パケット転送を行う方式である。Topology-based routing は Proactive 型と Reactive 型に分類できる。前者は、ノード間で周期的な制

御パケットの交換を行うことにより、各ノードがすべての宛先ノードへの経路情報を常時保持する方式である。後者は、最初は経路情報は保持しておらず、通信要求が生じてから、制御パケットを交換し経路情報を作成する方式である。前者と比較して後者は、制御パケットのオーバーヘッドを抑えられるというメリットがある。しかし、これらの Topology-based routing は、ノードが頻繁に移動する VANET においては、経路情報を定期的に変更する必要がある。したがって、制御パケットのオーバーヘッドが増加するため VANET には適していない。

## 2.4.2 Geographic routing

Geographic routing<sup>[6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]</sup> は、隣接ノードの位置情報と宛先ノードの位置に基づいてパケット転送を行う方式である。このタイプのルーティングプロトコルは、Topology-based routing のように確立されたルートを維持する必要がある。したがって Geographic routing は制御パケットを使用する必要がないため、少ないパケット数でトポロジーの変化に対応することができる。Greedy forwarding は Geographic routing において有名な方式の一つである。Greedy forwarding は隣接ノードの中で最も宛先ノードに近いノードを中継ノードとして選択することで、ホップ数やオーバーヘッドの削減を示している。しかし、実際の都市環境では、建物によるシャドウイングや距離による電波強度の低下によりパケットのドロップ率が高くなる可能性がある。

## 2.4.3 Opportunistic routing

上記のルーティングの問題点を解決できる可能性がある、Opportunistic routing<sup>[16]</sup> が近年注目を集めている。Opportunistic routing と前述したルーティングプロトコルとの主な違いは固定経路を使用せず、送信ノードが次の中継ノードを1つに決定しないことである (図 2.2)。Opportunistic routing ではブロードキャストの性質を利用し、受信したノード同士が協調しパケットを再ブロードキャストするか否かを決定することでパケット到達率の向上とオーバーヘッドの削減を果たしている。

Opportunistic routing は主に次の4ステップで構成されている。

- 中継候補ノードセット (RCS) の選択
- RCS の優先順位を決定
- RCS へのブロードキャスト
- 優先順位に応じた再ブロードキャストをするか否かの決定 (RCS 同士の協調)

図 2.3, 2.4 に Opportunistic routing の基本モデルを示す。  $N_s$  が送信ノード、  $N_d$  が宛先ノードである。送信ノード  $N_s$  は RCS として  $N_1 \sim N_n$  を選択する。次に送信ノードは選択した RCS それぞれに優先順位を指定してパ

ケットをブロードキャストする。受信した  $N_1 \sim N_n$  のノードはそれぞれ自身の優先順位を確認し、中継タイマー(待ち時間)を設定する。中継タイマーは優先順位が高いノードほど早くタイムアウトするように設定し、タイマーが切れたノードから再ブロードキャストを行う。自身の中継タイマーが切れる前に自身より優先順位が高いノードの再ブロードキャストを受信した場合、自身の再ブロードキャストをキャンセルし、冗長なパケットの増加を防ぐ。

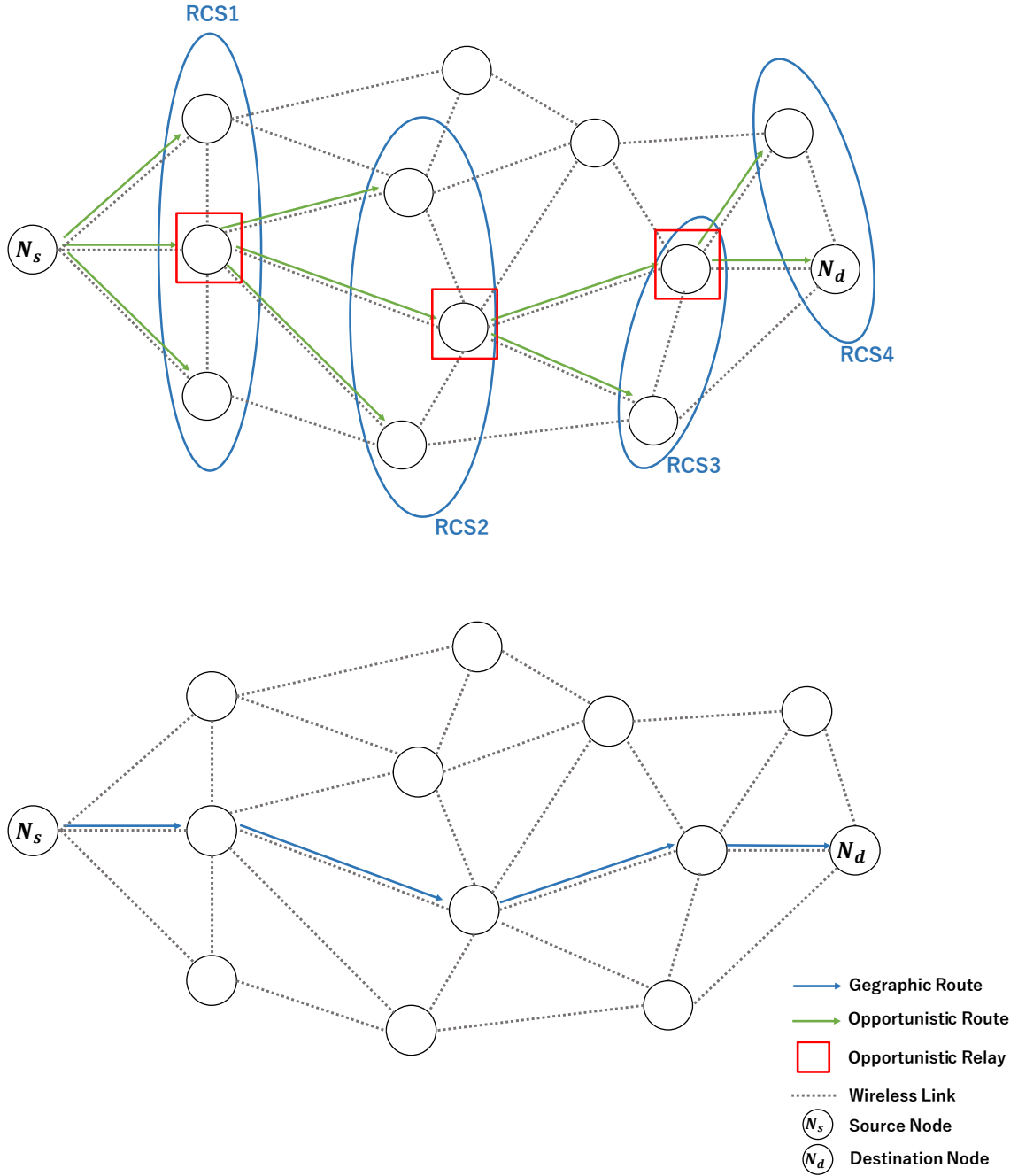


図 2.2: Geographic routing と Opportunistic routing



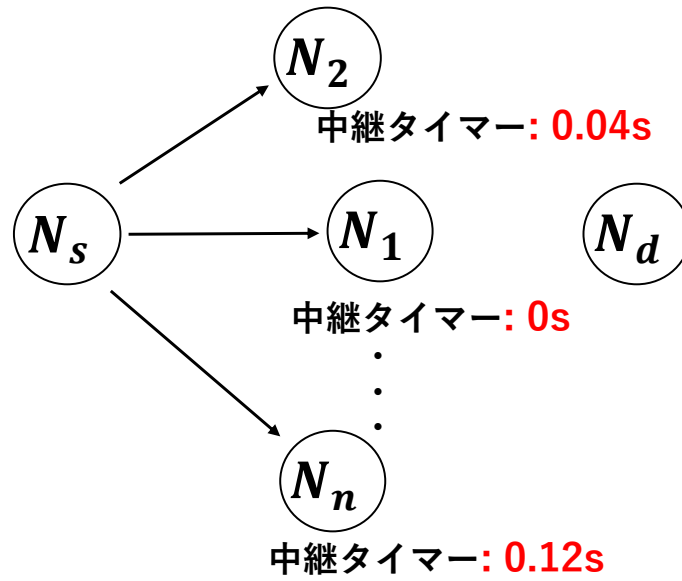


図 2.3: Opportunistic routing の基本モデル 1

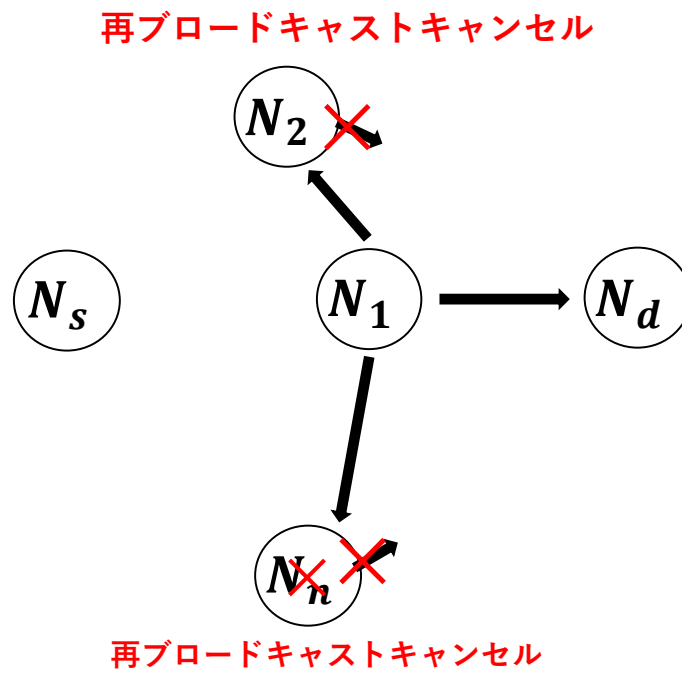


図 2.4: Opportunistic routing の基本モデル 2

これらのことから, Opportunistic routing において, 優先順位決定アルゴリズムが通信性能に直接影響を及ぼすことがわかる.

代表的な Opportunistic routing として Opportunistic multi-hop routing for wireless networks (EXOR) <sup>[16]</sup> が提

案されている。これは、RCSの優先順位を決定するメトリックとして、Expected transmission cost(ETX)<sup>[17]</sup>を用いている。しかし、ETX値はVANETの性質であるノードのランダムで高速なモビリティを考慮していないという問題がある。

そこで、新たにVANETに適したETX値を考案したLink state aware geographic opportunistic routing protocol(LSGO)<sup>[18]</sup>が提案された。LSGOでは、VANET用に最適化されたETX値をRCSの優先順位を決定するメトリックとして使用し、パケット到達率の向上、エンドツーエンド遅延の減少を実現している。また、Collision-aware opportunistic routing protocol (SCAOR)<sup>[19]</sup>では、パケットの衝突でネットワークパフォーマンスを低下させる問題を防ぐために、ノード密度パラメータをRCSの優先順位を決定するメトリックとして追加した。その結果、高速道路においてEXORやLSGOに比べ通信性能が向上することを示している。Hybrid opportunistic and position-based routing protocol (OPBR)<sup>[20]</sup>では、パケットがRCSに到達しない場合、遅延が増加するという問題を解決するために、隣接ノードの位置情報からリンクの切断を推測した。この結果パケット到達率の向上、エンドツーエンド遅延の減少を示している。

しかし、既存のopportunistic routingの多くは、都市環境を想定して考案されているが、性能評価で建物によるシャドウイングの影響が考慮されておらず、通信性能を過大評価している可能性がある。また、これによりシャドウイングの影響を考慮したルーティングプロトコルが設計されていない可能性がある。

そこで、本研究では、既存opportunistic routingであるLSGOをネットワークシミュレータNS-3<sup>[21]</sup>のシャドウイングモデルであるObstacle Shadowing Model<sup>[22]</sup>を用いて評価し、建物によるシャドウイングが起こる場合と起こらない場合の通信性能を検証し、問題点を明らかにする。

#### 2.4.4 Geocast routing

Topology-base routing<sup>[3, 4, 5]</sup>は、

## 2.5 Local optimum problem

2.4.2節で紹介したGeographic routingの既存研究では、各送信ノードは自分より宛先ノードに近い隣接ノードの中から中継ノードとして最適なノードを1つ選択する。同様に2.4.3節で紹介した多くのVANET用に設計されたOpportunistic routingにおいても、各送信ノードは自分より宛先ノードに近い隣接ノードの中からCRSを選択する。しかし、時には自分より宛先ノードに近い隣接ノードが存在しない場合が発生する。この問題をLocal optimum problem<sup>[6]</sup>と呼ぶ。Local optimum problemは、図2.5のように建物による電波の遮断が起きやすい都市環境では発生確率が上昇する。したがって、特にVANETにおいて自分より宛先ノードに近い隣接ノードから

中継ノードを選択するタイプのルーティングでは, この問題を防ぐアプローチと発生した場合の対処法 (recovery strategy) の考案が必用である.

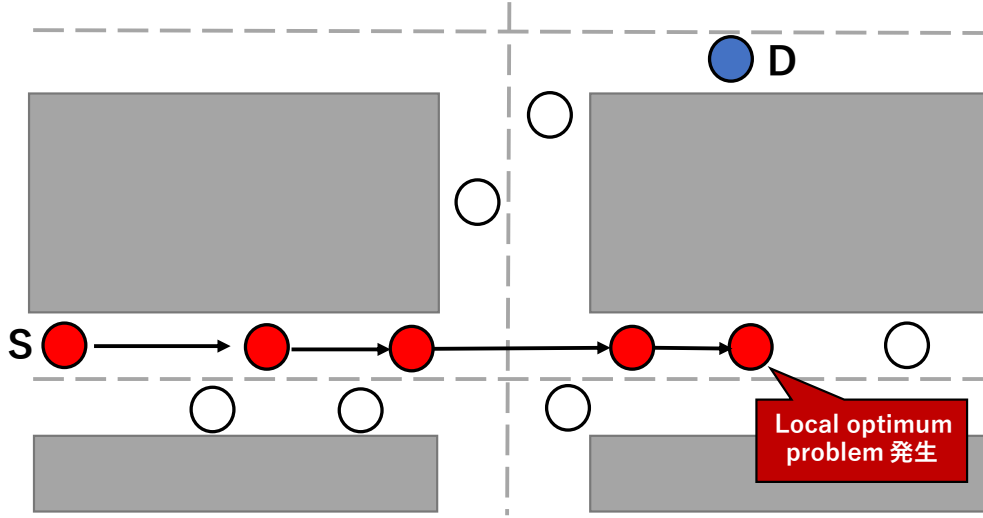


図 2.5: Local optimum problem

## 2.6 Recovery strategy

前節で説明した Local optimum problem がルーティング中に発生した場合, これに対処する中継戦略が必要となる. これを Recovery strategy<sup>[23]</sup> と呼ぶ. recovery strategy の基本モデルを図 2.6 に示す.  $N_1$  で Local optimum problem が発生する. 次に  $N_1$  は, 自身の位置情報をパケットに加え recovery strategy を開始する. recovery strategy は, Local optimum problem が発生したノード ( $N_1$ ) の位置より宛先に近いノードにパケットが到達するまで繰り返される.  $N_2$  までパケットが到達した場合  $N_2$  は  $N_1$  よりも宛先に近いので, 元の中継を開始する.

代表的な recovery strategy として Greedy perimeter stateless routing (GPSR)<sup>[6]</sup> の *perimeter forwarding* と呼ばれる recovery strategy が提案されている.

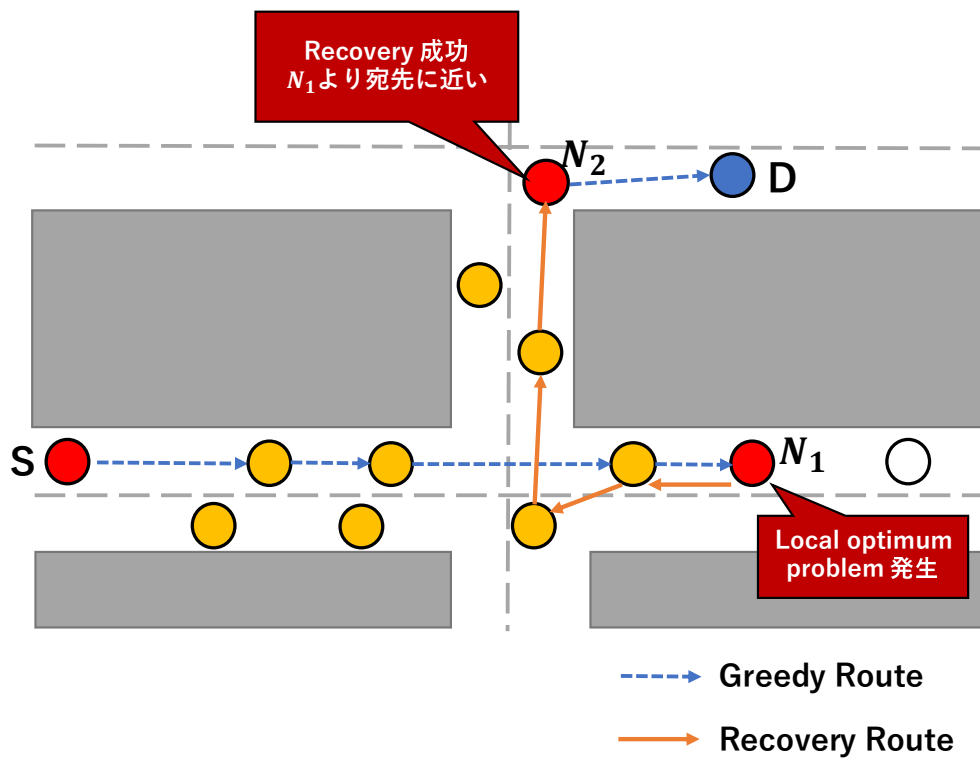


図 2.6: Recovery strategy

# 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「VANET を用いた速度超過車両検出のためのブロードキャスト制御法」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 拓教授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 Alberto Gallegos Ramonet 特任助教、前田 忠彦教授、山本 寛准教授、西村 俊和准教授、瀧本 栄二助教を始め、各教員の方々に衷心より御礼申し上げます。

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ます。

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] L. Figueiredo, I. Jesus, J. Machado, J. Ferreira, and J. Martins de Carvalho, “Towards the development of intelligent transportation systems,” *ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No.01TH8585)*, pp. 1206–1211, 2001.
- [2] A. D. Devangavi and R. Gupta, “Routing protocols in vanet — a survey,” pp. 163–167, 2017.
- [3] C. Perkins and E. Royer, “Ad-hoc on-demand distance vector routing,” *Proceedings WMCSA '99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 90–100, 1999.
- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, J. Broch *et al.*, “Dsr: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks,” *Ad hoc networking*, vol. 5, no. 1, pp. 139–172, 2001.
- [5] T. Clausen, P. Jacquet, C. Adjih, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, and L. Viennot, “Optimized link state routing protocol (olsr),” 2003.
- [6] B. Karp and H.-T. Kung, “Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks,” *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 243–254, 2000.
- [7] C. Lochert, M. Mauve, H. Füßler, and H. Hartenstein, “Geographic routing in city scenarios,” *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review*, vol. 9, no. 1, pp. 69–72, 2005.
- [8] K. C. Lee, J. Härri, U. Lee, and M. Gerla, “Enhanced perimeter routing for geographic forwarding protocols in urban vehicular scenarios,” *2007 IEEE Globecom Workshops*, pp. 1–10, 2007.
- [9] V. Naumov and T. R. Gross, “Connectivity-aware routing (car) in vehicular ad-hoc networks,” pp. 1919–1927, 2007.
- [10] S. Schnauffer and W. Effelsberg, “Position-based unicast routing for city scenarios,” *2008 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 1–8, 2008.
- [11] M. Jerbi, S.-M. Senouci, T. Rasheed, and Y. Ghamri-Doudane, “Towards efficient geographic routing in urban vehicular networks,” *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 58, no. 9, pp. 5048–5059, 2009.

- [12] K. Shafiee and V. C. Leung, "Connectivity-aware minimum-delay geographic routing with vehicle tracking in vanets," *Ad Hoc Networks*, vol. 9, no. 2, pp. 131–141, 2011.
- [13] S.-H. Cha, K.-W. Lee, and H.-S. Cho, "Grid-based predictive geographical routing for inter-vehicle communication in urban areas," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 8, no. 3, p. 819497, 2012.
- [14] T.-Y. Wu, Y.-B. Wang, and W.-T. Lee, "Mixing greedy and predictive approaches to improve geographic routing for vanet," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 12, no. 4, pp. 397–378, 2012.
- [15] Y. Xu, L. Wang, and Y. Yang, "Dynamic vehicle routing using an improved variable neighborhood search algorithm," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2013, 2013.
- [16] S. Biswas and R. Morris, "Exor: Opportunistic multi-hop routing for wireless networks," *Proceedings of the 2005 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 133–144, 2005.
- [17] D. S. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris, "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing," *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 134–146, 2003.
- [18] X. Cai, Y. He, C. Zhao, L. Zhu, and C. Li, "Lsgo: link state aware geographic opportunistic routing protocol for vanets," *EURASIP Journal on wireless communications and networking*, vol. 2014, no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [19] V. Sadatpour, F. Zargari, and M. Ghanbari, "A collision aware opportunistic routing protocol for vanets in highways," *Wireless Personal Communications*, vol. 109, no. 1, pp. 175–188, 2019.
- [20] A. Ghaffari, "Hybrid opportunistic and position-based routing protocol in vehicular ad hoc networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, no. 4, pp. 1593–1603, 2020.
- [21] G. Carneiro, "Ns-3: Network simulator 3," *UTM Lab Meeting April*, vol. 20, pp. 4–5, 2010, <https://www.nsnam.org>.
- [22] S. E. Carpenter and M. L. Sichitiu, "An obstacle model implementation for evaluating radio shadowing with ns-3," *Proceedings of the 2015 Workshop on Ns-3*, pp. 17–24, 2015.

- [23] S. Boussoufa-Lahlah, F. Semchedine, and L. Bouallouche-Medjkoune, “Geographic routing protocols for vehicular ad hoc networks (vanets): A survey,” *Vehicular Communications*, vol. 11, pp. 20–31, 2018.