

交差点における建物遮蔽とリンク状態を考慮した地理的 opportunistic routing

高橋 柊人[†] 吉田 政望[†] ガジェゴスラモネト アルベルト^{††} 野口 拓^{††}

[†] 立命館大学情報理工学研究科 〒522-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

^{††} 立命館大学情報理工学部 〒522-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail:

[†]is0361er@ed.ritsumei.ac.jp, [†]is0195hr@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}ramonet@fc.ritsumei.ac.jp, ^{††}noguchi@ed.ritsumei.ac.jp

あらまし 複雑な都市環境での車両アドホックネットワーク (VANETs) では、建物や樹木などの障害物が多数存在するため、シャドウイングやフェージングが起こり、電波伝搬の妨害が発生する。しかし、多くの既存 opportunistic routing の性能評価では、シミュレーションでシャドウイングの影響が考慮されておらず、通信性能が過大評価されている可能性がある。そこで、本研究では、シャドウイングが既存 ルーティングプロトコル に与える影響をネットワークシミュレータ NS-3 のシャドウイングモデルである Obstacle Model を用いて調査し、シャドウイングを考慮した新たな交差点ベースのルーティングプロトコル (SIGO) を提案する。SIGO は中継ノードの優先度を決定するため、中継ノードと宛先ノードまでの距離、中継ノードとの予想伝送確率に加えて、交差点ノードであるかどうかを考慮する。シミュレーションにより、パケット到達率の向上と、エンドツーエンド遅延の減少を確認し、SIGO の通信性能の有効性を示した。

キーワード VANET, opportunistic routing, シャドウイング

Building Shadowing on Intersection and Link State aware Geographic Opportunistic Routing for Urban VANETs

Shuto TAKAHASHI[†], Masami YOSHIDA[†], Alberto GALLEGOS RAMONET^{††}, and Taku

NOGUCHI^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

^{††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

E-mail:

[†]is0361er@ed.ritsumei.ac.jp, [†]is0195hr@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}ramonet@fc.ritsumei.ac.jp, ^{††}noguchi@ed.ritsumei.ac.jp

Abstract In VANETs (Vehicle Ad Hoc Networks), the presence of many obstacles such as buildings and trees (complex urban environments) can interfere with the propagation of radio waves caused by shadowing and fading. However, most of the existing opportunistic routing systems do not consider shadowing into account in their simulations, which may lead to an overestimation of VANETs performance. In this study, we investigate the impact of shadowing on existing routing protocols using an obstacle model that implements the shadowing effect in the NS-3 network simulator. We propose a new intersection-based routing protocol (SIGO) that takes shadowing into account. To determine the priority of a relay node, SIGO protocol considers the distance between the relay node and the destination node, the probability of transmission to the relay node, and whether it is a node or not. The simulation results show that the communication performance of our SIGO protocol is effective in improving the packet delivery rate and reducing the end-to-end delay.

Key words VANET, opportunistic routing, shadowing

1. ま え が き

自動車運転の安全性や利便性の向上、環境負担の低減を目的とし、高度交通システム (Intelligent Transportations System : ITS) [1] に関する取り組みが盛んにおこなわれている。車車間通信を利用して形成される車間アドホックネットワーク (Vehicle Ad Hoc Networks: VANETs) は、ITS における多様なアプリケーションの実現に必要不可欠である。VANETs では、無線通信機を搭載した車間でアドホック通信を行うことで、リアルタイム性と柔軟性を持つネットワーク構築が可能となる。しかし、ITS システムを安定してサポートするためには、通信オーバーヘッドの削減、高いパケット到達率、リアルタイム性を実現するルーティングプロトコルが必要となる。

都市環境での車両ネットワークでは、ノードのモビリティや建物の存在を考慮する必要があり、典型的な routing 手法 [2], [3] では、ノードの高速なモビリティへの対応が課題とされている [4]。これらの手法に対して、opportunistic routing が注目を集めている [4]。opportunistic routing と従来の routing の最大の違いは、固定ルートを使用せず、パケットを受信したノードが再転送するか否かを自己選択する点である。これにより、従来の routing 方式に比べて、opportunistic routing は中継パケットを受信する機会を増やし、結果として優れたパフォーマンスを実現できることを示している。

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。

そこで本研究では、既存 opportunistic routing である LSGO [5] をネットワークシミュレータ NS-3 のシャドウイングモデルである Obstacle Model [6] 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する。また、シャドウイングが起こる環境での通信性能の向上を目的とした新たなルーティングプロトコル (SIGO) を提案する。SIGO は中継ノード選択する際に、宛先ノードまでの距離、伝送確率に加えて、交差点のノードであるかどうかを考慮する。提案手法の有効性をシャドウイングが考慮されたシミュレーション環境で評価する。

2 章では既存 opportunistic routing を紹介し課題点を述べ、3 章では提案手法について紹介し、4 章ではシミュレーションで LSGO protocol のシャドウイングが起こる場合の通信性能への影響の評価と、提案手法の有効性について示す。最後に 5 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 関 連 研 究

近年、opportunistic routing が注目を集めている。これは従来の geographic routing [7] [8] などに比べ、中継ノードがパケット受信する機会を増やすことで通信性能の向上を果たしている。opportunistic routing の基本モデルを図 1 に示す。ノード 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 は中継候補ノードとして、 $N_1 \sim N_n$ を選択し、選択したノードそれぞれ

に優先順位を指定してパケットを送信する。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、優先順位の高いノードから再転送を行う。また、各中継ノードは自身より優先度の高いノードの再転送を受信すると自身の再転送をキャンセルし、冗長なパケットの増加を防いでいる。これらのことから、opportunistic routing において、優先度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 EXOR [4] が提案されている。これは、中継ノードの優先度を、ETX [9] と類似した独自の予想伝送コストを用いて決定している。しかし、この新たに考案された 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 LSGO [5] が提案された。LSGO では、予想伝送コストと呼ばれる VANET 用に最適化された ETX 値を、優先度を決定する指標として使用し、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、SCAOR [10] では、パケットの衝突でネットワークの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、優先度決定における指標として追加し、LSGO や EXOR に比べ通信性能が向上することを示している。

しかし、これらの protocol に共通する課題として、シミュレーションの性能評価として、建物によるシャドウイングが考慮されていないことが挙げられる。この問題によりこれらの protocol は通信性能を過大評価している可能性がある。本研究では、LSGO について、シミュレーションを用いて、シャドウイングを考慮した場合の通信性能への影響を検証する。

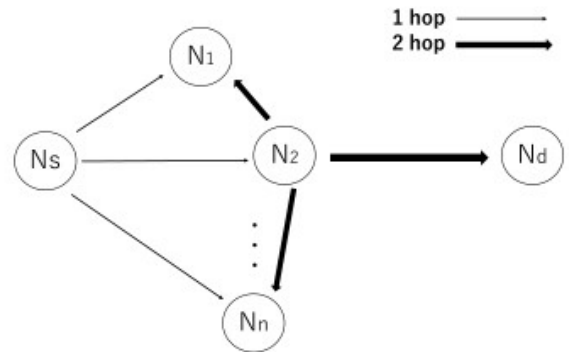


図 1 opportunistic routing の基本モデル

3. 提 案 手 法

本研究では、中継ノードを選択し、優先度を決定するための指標として、宛先ノードまでの進捗 (送信ノードに比べてどれだけ宛先ノードに近い)、リンク状態、交差点度数の 3 つの指標を用いた SIGO を提案する。

3.1 概 要

SIGO では、各ノードは定期的に自ノードの ID、X 座標、Y 座標で構成された Hello パケットをブロードキャストする。送信ノードは宛先ノードにパケットを届けるために、Hello パケットの情報をもとに、近隣ノードの中から中継候補ノードを複数選

択し、それらに優先度をつけて以下の中継パケットをブロードキャストする。中継パケットのフォーマットを図2に示す。



図2 中継パケットのフォーマット

DesID は宛先ノードの ID, *Xpos*, *Ypos* は宛先ノードの位置情報, *DATA* は中継パケットのペイロード部を表している。宛先ノードの位置情報の取得方法は、何らかの位置情報サービスを利用するものとし本研究では検討対象外とする。*ID₁ ~ ID_N* は中継候補ノードの ID を表している。候補ノードの個数や優先順位は、後述するアルゴリズムに従い送信ノードが決定する。中継パケットを受信した各ノードは、自ノードの ID が含まれているかを確認し、含まれない場合はパケットを破棄する。含まれている場合は、自ノードの優先順位を確認し、3.4 節で述べるアルゴリズムに従い、再転送を行うか否かを決定する。

3.2 リンクの品質の推定

SIGO では、各ノードが Hello パケットを定期的にブロードキャストし、それを用いてリンク状態 ETX を推定する。Hello パケットは、自ノードの ID, X 座標, Y 座標で構成されている。ETX を算出するために、各ノードは近隣ノードから最初に Hello パケットを受信した時間 t_0 を記録する。そして、現在時刻を t 、ウィンドウサイズを $w(\text{second})$ 、Hello パケットの送信間隔を τ とすると、予想伝送確率 $r(t)$ はウィンドウサイズ w で場合分けされ、式 (1) で算出される。

$$r(t) = \begin{cases} \text{count}(t, t_0), & 0 < t - t_0 < 1, \\ \frac{\text{count}(t, t_0)}{(t - t_0) / \tau}, & 1 \leq t - t_0 \leq w \\ \frac{\text{count}(t - w, t)}{w / \tau}, & t - t_0 \geq w \end{cases} \quad (1)$$

ウィンドウサイズ w は、 $r(t)$ を算出する際に、現在時刻 t より以前に取得した Hello パケットの有効期間である。例えば、現在時刻 $t=10(\text{s})$ 、ウィンドウサイズ $w=5(\text{s})$ とすると、時刻 $5(\text{s})$ より古い Hello パケットの情報は $r(t)$ を算出する際には用いない。 $(t, t_0) / \tau$ は、ウィンドウサイズの間に受信されるべき Hello パケット数であり、 $\text{count}(t, t_0)$ は $t \sim t_0$ の期間中に実際に受信された Hello パケットの数である。

各近隣ノードとのリンクの非対称性は考慮せず、一方方向の予想伝送確率 $r(t)$ のみを使用して ETX を計算する。一方方向伝送確率が $r(t)$ であると仮定すると、リンク ETX は式 (2) で算出される。

$$ETX = \frac{1}{r(t)^2} \quad (2)$$

3.3 交差点度数

SIGO では、建物によるシャドウイングの影響を最小限にするため、交差点ノードが優先的に中継ノードとして選択される指標を追加する。交差点度数は以下の式 (3) で算出される。

$$\text{交差点度数} = \alpha \theta \quad (3)$$

θ は送信ノードと宛先ノードを結ぶ直線と、送信ノードと交差点ノードを結ぶ直線のなす角である (図3)。 θ が大きくなるほど、交差点度数は大きくなり、次節で述べる優先度決定アルゴリズムにより交差点ノードが優先される可能性が増加する。 α は、交差点度数の重み付けであり、この値が増加するほど交差点度数が増加し、交差点ノードが優先される確率が増加する。

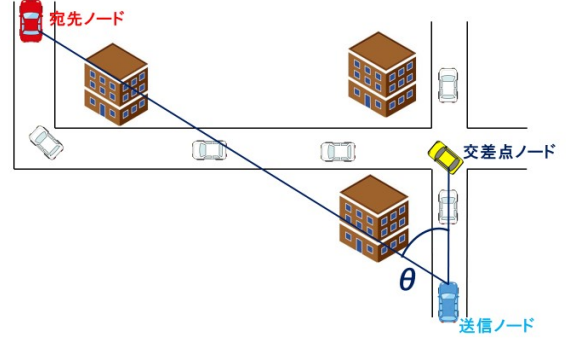


図3 交差点度数

3.4 優先度スケジューリングアルゴリズム

SIGO では、タイマーベースの優先度スケジューリングアルゴリズムを使用する。このアルゴリズムでは、最も優先度が高いノードが最初にパケットを送信する。ほかの候補ノードは、優先順位の高いノードからのパケットを受信すると、自身のパケットを破棄する。タイマーが期限切れになり、自身より優先度の高いノードからのパケットを受信していない場合、送信を開始する。SIGO は以下の式 (4)(5) によって、ノード i の優先度が算出される。

$$\frac{D_{sd} - D_{id}}{ETX_i^2} \times \alpha \theta, D_{id} < D_{sd} \quad (4)$$

$$\frac{D_{sd} - D_{id}}{ETX_i^2}, D_{id} < D_{sd} \quad (5)$$

D_{sd} は送信ノードから宛先ノードまでの距離、 D_{id} は候補ノード i から宛先ノードまでの距離である。 $D_{id} < D_{sd}$ の条件を満たさない場合は、優先度の計算を行わずに中継候補ノードから除外する。式 (4) はノード i が交差点ノードの場合、式 (5) は交差点ノード以外に位置する場合に適用される。式 (4) または (5) で算出された値が大きいほどノード i の優先順位が高くなる。

3.5 中継候補ノード選択アルゴリズム

SIGO は、信頼性を確保しながら、送信回数を減らすために中継候補ノード数を最適化する必要がある。式 (4)(5) を用いて各隣接ノードの優先順位を $p = 1, 2, \dots, N$ (1 が最も優先順位が高い) とすると、 N は次の条件を満たす必要があり、候補ノードは $1 \sim N$ に制限される。

$$1 - \prod_{p=1}^N (1 - r_p(t)) \geq R \quad (6)$$

式 (6) における $r_p(t)$ ($1 \leq p \leq N$) は、送信ノードが保持する隣接ノード (優先順位 p) に対する予想伝送確率である。式 (6) の左辺は送信ノードからのパケットを候補ノード $1 \sim N$ のいずれかのノードが受信すると予想される確率であり、右辺 R はその確率の閾値である。 R が大きいほど、中継候補ノード数が増加し、小さくなるほど、候補ノード数が減少する。車両密度が小さい場合や送信ノードと各隣接ノード間の予想伝送確率が低い場合、式 (6) を満たすことができない場合がある。その場合、 $Did < D_{sd}$ の条件を満たすすべての隣接ノードが候補ノードとして選択される。また、送信ノードと各隣接ノードとの予想伝送確率が高い場合、候補ノード数 N は小さくなるため、信頼性を確保しながら、最低限の候補ノード数を選択することができる。

4. 性能評価

性能評価では、ネットワークシミュレータ NS-3[12] と交通流シミュレータ SUMO[13] を用いて評価を行う。また、シャドウイングの影響をシミュレーションで考慮させるため、電波減衰モデルとして Obstacle shadowing model [7] を用いた。4.2 節でシャドウイングによる電波減衰の有無による通信性能の違いを評価し、4.3 節で SIGO の性能評価を行う。

4.1 シミュレーション設定

シミュレーションパラメータを表 1、シミュレーションシナリオを図 4、図 5 に示す。シミュレーション開始時に、ランダムな送信ノードと宛先ノードがそれぞれ 20 台ずつ割り当てられ、通信を開始する。

表 1 シミュレーションパラメータ

Simulation area	2100m × 2100m
Mobility model	Random mobility
Transmission range	250m
Number of vehicles	300 ~ 1000
Weight value (α)	0.07



図 4 建物が多いシミュレーションシナリオ

4.2 LSGO におけるシャドウイングの影響

シミュレーションで建物のシャドウイングによる電波の減衰が起こる場合の LSGO の通信性能に与える影響を、パケット到達率、エンドツーエンド遅延、オーバーヘッドの 3 つの評価項目で評価した。図 6 はネットワークシミュレータでシャドウイン

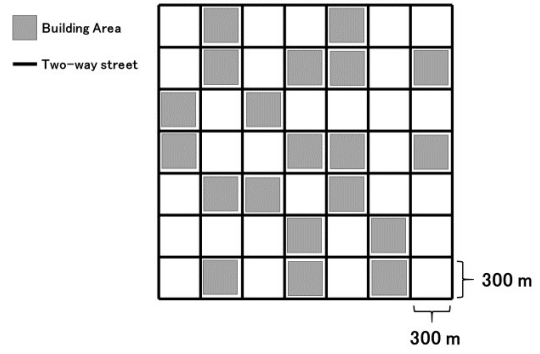


図 5 建物が少ないシミュレーションシナリオ

グの影響を考慮した場合としない場合とでの、パケット到達率を示している。パケット到達率は、送信ノードが送信した合計パケット数に対する、宛先ノードが受信したパケット数の合計の比率である。図 6 では、シミュレーションでシャドウイングを考慮した場合、全てのノード数においてパケット到達率が減少している。これは、シャドウイングによる電波減衰が原因だと推測される。

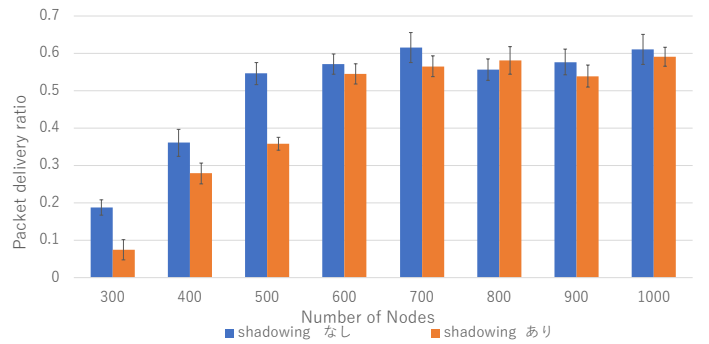


図 6 パケット到達率 シャドウイングの有無

図 7 はネットワークシミュレータでシャドウイングの影響を考慮する場合としない場合とでのエンドツーエンド遅延 (秒) を示している。エンドツーエンドの遅延は送信ノードがパケットを送信してから宛先ノードが正常に受信するまでにかかる平均時間として定義する。図 7 では、シミュレーションでシャドウイングを考慮した場合、全てのノード数においてエンドツーエンド遅延が増加している。これはシャドウイングによる電波減衰が起こり、建物を通過するパケットが届きにくくなることで、送信ノードと宛先ノードを直線的に結ぶような経路が形成することが難しくなったことが原因だと考えられる。

図 8 はネットワークシミュレータでシャドウイングの影響を考慮した場合としない場合とでの、オーバーヘッドを示している。オーバーヘッドはネットワーク全体における各ノードが送信したパケット数の合計を各ノードが正常に受信したパケット数の合計で割ったものである。図 8 では、シミュレーションでシャドウイングを考慮した場合、すべてのノード数においてオーバーヘッドが増加している。これは、opportunistic routing での送信ノードから指定された候補ノード同士が自分より優先度の高いノードからのパケットを建物による電波減衰によって、受け

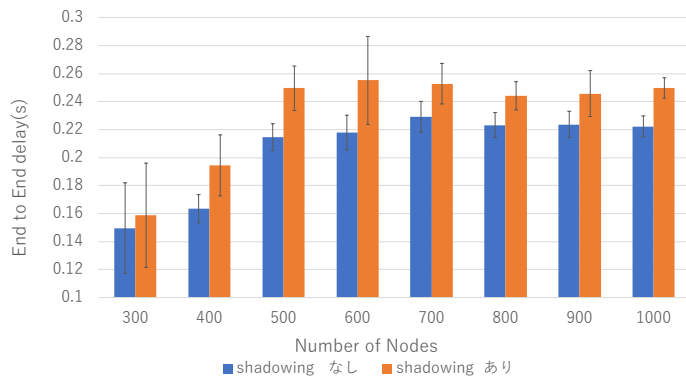


図7 エンドツーエンド遅延 シャドウイングの有無

取れない確率が増加し、再転送がキャンセルされていないことが原因だと推測される。

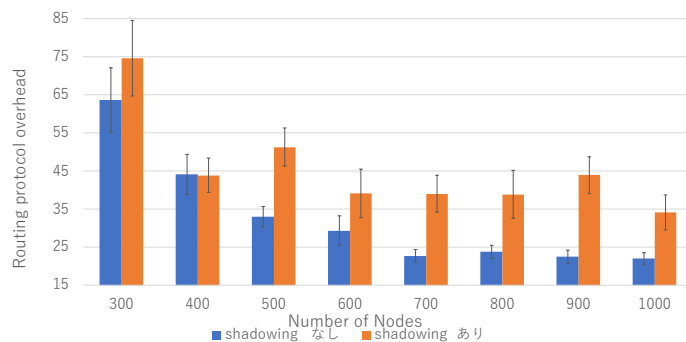


図8 オーバーヘッド シャドウイングの有無

4.3 SIGO の評価

提案手法の有用性を評価するために、4.2 章と同様にパケット到達率、エンドツーエンド遅延、オーバーヘッドの3つの評価項目で LSGO protocol との比較を行った。さらに、図4、図5のシミュレーションシナリオで評価し、建物の多さによる評価を行った。

図9は建物が多い場合と、建物が少ない場合での SIGO と LSGO のパケット到達率を示している。図9では、建物が多いシナリオでは、SIGO は LSGO に比べてパケット到達率の向上していることがわかる。これは SIGO では、交差点ノードの優先度が高くなる可能性が高まり、よりシャドウイングの影響を受けにくいルートが形成することができているからだと推測される。一方、建物が少ないシナリオでは SIGO は LSGO に比べてパケット到達率の安定した向上は得られなかった。これは、シャドウイングの影響が少ないシナリオでは、交差点ノードを優先させる利点が少なかったことが原因として推測される。

図10は建物が多い場合と、建物が少ない場合での SIGO と LSGO エンドツーエンド遅延を示している。建物が多い場合は、SIGO は LSGO に比べてエンドツーエンドの遅延が減少していることがわかる。これは、交差点ノードの優先度が高くなる可能性が高まり、よりシャドウイングの影響を受けにくく、候補ノードへパケットが正常に伝搬される可能性が高まることで、優先度が高く、待ち時間が短いノードがパケットを中継している確率が高いことが原因だと推測される。一方、シャドウイングの影

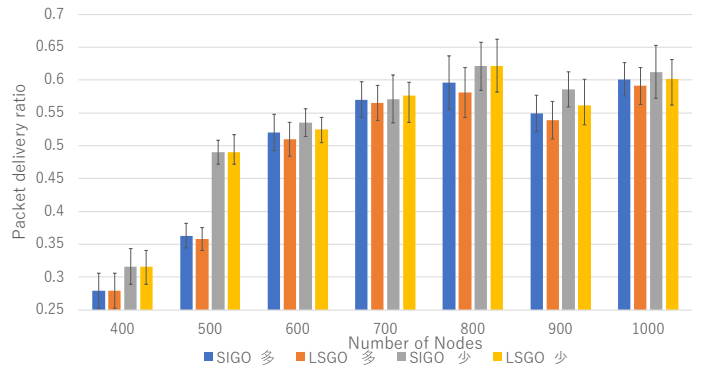


図9 パケット到達率 LSGO vs SIGO

響が少ないシナリオでは、LSGO に比べて遅延が増加していることがわかる。これは交差点ノードがシャドウイングの影響が少ないにもかかわらず優先され、ホップ数が増加していることが原因として推測される。

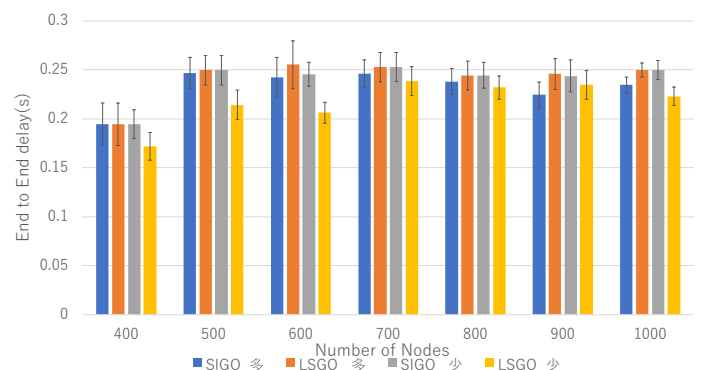


図10 エンドツーエンド遅延 LSGO vs SIGO

図11は建物が多い場合と、建物が少ない場合での SIGO と LSGO のオーバーヘッドを示している。SIGO は LSGO に比べて建物が多いときと少ないとき、どちらの場合もオーバーヘッドが増加してしまっていることがわかる。これは LSGO に比べて SIGO では交差点ノードが優先される確率が高く、比較的道に沿ってパケットが中継されるため、ホップ数が増加したと推測される。また、宛先ノードの方向に建物が存在し、交差点ノードがパケットを中継した場合、交差点を形成する2つの異なる道路に存在するノードが候補ノードとして選択される。この状況では、優先順位の低い候補ノードが優先順位の高い候補ノードからのパケットをシャドウイングの影響で受け取れない可能性が増加し、再転送がキャンセルされずに冗長なパケット転送が増加してしまう。図12に例を示す。交差点ノードが中継したパケットはノード1-4が受信し、候補ノードの優先順位はノード1から順に設定される。本来はノード1のみが中継を行うことが理想であるが、ノード1がパケットを送信しても、ノード3、4はシャドウイングの影響で受信することができず、再転送を行ってしまう。

5. ま と め

本研究では、既存 opportunistic routing がシミュレーションでシャドウイングに対する影響を評価できていない問題、またそ

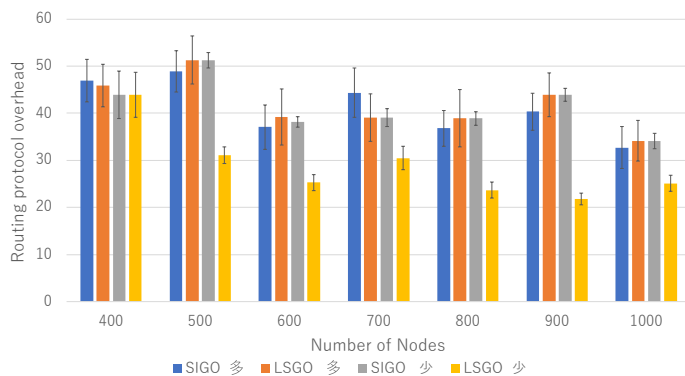


図 11 オーバーヘッド LSGO vs SIGO

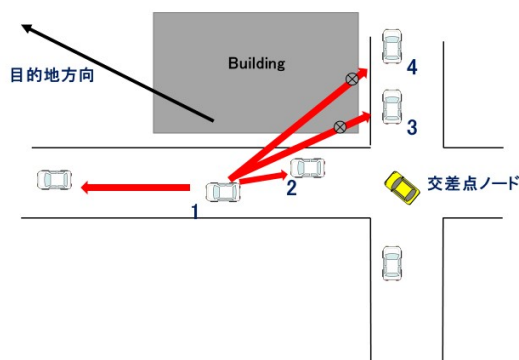


図 12 オーバーヘッド増加原因の例

れによってルーチングプロトコルを設計するにあたってシャドウイングの影響を考慮できていないという問題に着目し、シミュレーションでシャドウイングを考慮した評価を行った。既存ルーチングプロトコルはシミュレーションでシャドウイングに対する影響を評価した場合、通信性能が低下することを示した。また、シャドウイングの影響を受けにくいルート形成する SIGO を提案し、パケット到達率の向上、エンドツーエンド遅延の減少を確認し、有効性を示した。しかし、建物が少なくシャドウイングが起りにくいシナリオでは既存ルーチングプロトコルと比較して、エンドツーエンド遅延、オーバーヘッドが増加する可能性が高いという傾向がみられた。今後は、ノードの優先度を求めるだけでなく道路の優先度を決定することで冗長なパケットを防ぐことや、Hello パケットの情報を利用し、シャドウイングの影響の大きさを推測し、交差点度数の重みづけ α を定数ではなく、道路状況によって適応的に設定するなどの対策が必要だと考える。

文 献

- [1] 国土交通省道路局:ITS スポット (オンライン), 入手先 <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spotdsrc/index.html>
- [2] Lochert, C., Mauve, M., Fussler, H. and Hartenstein, H. "Geographic Routing in City Scenarios", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.9, No.1, pp.69-72, 2005.
- [3] H. Tong, "Nonlinear Time Series" A Dynamical System Approach", J. B. Elsner, ed., Oxford University Press, Oxford, 1990.
- [4] S Biswas, R Morris, "ExOR: opportunistic multi-hop routing for wireless networks", in Proceedings of the 2005 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, Philadelphia, pp. 133-144, August 2005.
- [5] Uelian Cai, Ying He, Chunchun Zhao, Lina Zhu, and Changle Li,

"Lsgo: Link state aware geographic opportunistic routing protocol for vanets", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Vol. 2014, No. 1, p. 96, June 2014.

- [6] S. E. Carpenter and M. L. Sichitiu, "An obstacle model implementation for evaluating radio shadowing with ns-3," in Proc. WNS, pp.17-24, May 2015.
- [7] B Karp, HT Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks", in Proceedings of Mobile Computing and Networking, Boston, pp. 243-254, August 2000
- [8] C Lochert, M Mauve, H Füssler, H Hartenstein, "Geographic routing in city scenarios", in Proceedings of the SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 9(1), pp. 69-72, 2005.
- [9] DSJ De Couto, D Aguayo, J Bicket, R Morris, "A high throughput path metric for multi-hop wireless routing", in Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom' 03), San Diego, pp. 134-146, September 2003.
- [10] Sadatpour, V, Zargari, F Ghanbari, M, "A Collision Aware Opportunistic Routing Protocol for VANETs in Highways", Wireless Personal Communications 109, 175-188, springer 2019.
- [11] Network Simulator ns3, <https://www.nsnam.org>
- [12] Simulation of Urban Mobility, <https://sumo.dlr.de/docs/index.html>