

VANETによるモバイルデータ3Dオフローディングの提案

西岡 哲朗^{1,a)} 木谷 友哉² 太田 剛² 峰野 博史²

概要: スマートフォンの普及によって増え続けるモバイルデータ通信量を削減するため、携帯電話キャリアは店舗などでユーザに公共の WiFi 回線を提供することによって固定回線網に接続し、携帯回線網の負荷を減らす、モバイルデータオフローディングを行っている。しかしながらオフローディング可能となる範囲は極めて限定的である。一方で、モバイルデータ通信を用いた高度交通システムの普及が進みつつあり、通信量は更に増えつづけると考えられる。本稿では DTN による VANET を用いて、モバイルデータトラフィックを時間的、空間的、通信路的という3つの方向性(3D)でオフローディングを行う通信手法を提案する。時間的、空間的オフローディングではデータの遅延耐性や自動車の移動性を活かして時間的、空間的にモバイルデータ通信のピークシフトを行う。通信路的オフローディングでは移動予定経路情報を用いた VANET に WiFi アクセスポイントとユーザの仲介役を果たさせ、モバイルデータ通信量を削減する。本稿では、数理モデルと計算機シミュレーションを用いて、提案手法の上界性能と現実的な環境上での性能を評価する方法、および、同手法の有効性を証明するための方策を示す。

1. はじめに

スマートフォンが普及する近年では1年間にモバイルデータ通信量が70%増加したと報告されており[1]、増大するモバイルデータ通信量を限られた通信インフラ設備の中でどのように負荷分散させるかが課題となっている。携帯電話キャリアはモバイルデータ通信量を削減するため、WiFi アクセスポイント(以下、WiFi-AP)を店舗などに設置して、携帯回線の負荷を減らすモバイルデータオフローディングを進めているが、オフローディングが可能となるのはWiFi-APの狭い接続範囲内に限られる。また、通勤やイベントへの参加などによってユーザが空間的あるいは時間的に集中する状況に対応しきれないと言えない。

一方で、現在販売されている自動車の多くはカーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)を搭載している。カーナビの性能や機能性は急速に進化し、最近ではモバイルデータ通信によるネットワークサービスを提供するものも出回っている。例えば一部メーカーのカーナビ[2]はモバイルデータ通信によってネットワークサービスを使用し、同メーカーのカーナビ同士で道路画像共有サービスを展開している。以上の例からも、ネットワークを活用した高度交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)の普及

が急速に進んでいることが分かる。

ITSに関する研究として、車々間アドホック通信(VANET: Vehicular Adhoc Network)に関する研究が活発に行われている。自動車は移動速度が高速であるため、近隣ノードとの接続を安定して保つことが極めて困難である。従ってVANETのような劣悪な通信環境に対応するため、自動車の高い移動性を活用した遅延耐性通信(DTN: Delay Tolerant Network)を使用する通信手法が提案されている。DTNを用いた手法では隔離されたネットワーク同士を自動車メッセージフェリーとなって結ぶ事が可能になる。

モバイルデータ通信量の急増とITSの普及を踏まえ、本研究ではDTNを用いたVANETによって時間的、空間的、そして通信路的なモバイルデータオフローディングを行う通信手法を提案する。時間的、空間的なモバイルデータオフローディングはDTNの遅延耐性を活かし、データを送信する時刻や使用する携帯基地局を分散する手法である。通信路的なモバイルデータオフローディングでは、各ノードの移動予定経路情報を元に、携帯回線からDTNを用いたVANETへトラフィックを迂回させてデータオフローディングを行う手法である。いずれのオフローディングに関しても、送信するデータの特性によって適切な通信路を選択する。

以下、本稿の構成を示す。第2章では本研究の重要な要素であるVANETに関する関連研究を紹介する。第3章では、本研究が目標とするアプリケーションモデルの提案、また提案したモデルを実現するための課題の定義を行う。

¹ 静岡大学 情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University
² 静岡大学 大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University
^{a)} nishioka@minelab.jp

表 1 関連研究の特徴

プロトコル	DTN	移動予測源	携帯回線併用	データ特性に応じた通信路選択
Epidemic Routing	○	予測無し	×	×
GeOpps	○	移動予定経路	×	×
GPSR	×	予測無し	×	×
GeoDTN+Nav	△	予測無し	×	×
提案手法	○	移動予定経路	○	○

定義した課題を解決するための手法を第 4 章で示す。最後に提案手法を評価する指針を第 5 章に示す。

2. 関連研究

提案手法では VANET のルーティングが最も重要な要素となる。よって本章では関連研究のうち VANET のルーティング手法を紹介する。VANET のルーティングには DTN に属するものとそうでないものがあるため、DTN に属するか否かで分類すると共に、関連研究と提案手法の特徴を表 1 へまとめる。

2.1 DTN ルーティング

2.1.1 Epidemic Routing

Epidemic Routing[3] はノードの移動性を活用し、データ宛先への到達性能向上を目的とするルーティング手法である。データを持っているノード (N_s) が、他ノード (N_i) と遭遇したとき、 N_s が持つデータのうち N_i が持っていないデータを N_i に送信する。ノードの移動、遭遇、送信を繰り返すことで全てのノードにデータを流通させる。経路選択を行わず、遭遇したノードに必ずデータを渡すことから、データ到達率や遅延時間の性能は非常に優れているというメリットをもつ。一方で、不必要なデータ通信と全てのノードへデータ蓄積が行われるためノードの記憶領域やネットワークのリソースを大量消費してしまうというデメリットを持つ。

2.1.2 GeOpps

GeOpps[6] は Epidemic Routing で用いたノードの移動性に加え、ノードの位置情報や移動予定経路情報を用いたルーティング手法である。データ生成ノードは、近隣ノードが持つ移動予定経路情報から最短到達予定時刻 (METD : Minimum Estimated Time of Delivery) を計算し、最も目的地に近づきそうなノードへメッセージを送信する。例えばデータ生成ノードがデータを目的地に送信しようとするとき、近隣ノードに対して送信するデータの宛先情報を送る。データの宛先情報を送った後、近隣ノードはそれぞれの移動予定経路上で最も目的地に近い地点 (NP : Nearest Point) を計算し、データ生成ノードへ NP の情報を送信する。NP の情報によってデータ生成ノード

は各近隣ノードの目的地に対する到達可能性を測ることができる。ただし 2 ホップ先のノードの移動予定経路情報を考慮していないため、必ずしも最適な経路選択を行えるとは限らない。

2.2 非 DTN ルーティング

GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)[4] は自ノードと他ノードの位置情報を元に、データを自ノードに比べて目的地に近いノードに配布する手法である。GPSR ではデータを渡す次ホップノードが見つからない Local Maximum という状態に陥る場合がある。従って通常送信モードと Local Maximum 状態から脱出するモードをそれぞれ Greedy モード、Perimeter モードとして設定し、ネットワークポロジに応じたルーティングを行う。

Greedy モードでは、全近隣ノード中、データ送信ノードよりも目的ノードに近いノードを選んでデータをコピーする。Local Maximum となった場合、Greedy モードから Perimeter モードへと切り替わる。

Perimeter モードでは、Local Maximum 状態から脱するためのルーティングが行われる。Perimeter モードの場合、次ホップノードは、前回データを受け取ったノードの位置から自ノードへの直線を引き、自ノードを中心に直線を反時計回りに回転させ、初めて接触するノードを選ぶ。以上を示した Perimeter モードの次ホップノード選択手法によって、GPSR は位置情報を用いて Local Maximum 状態から抜け出すことができるルーティングを実現する。しかし VANET のようなトポロジが著しく変化する場合では、ネットワークが分断されてしまい、目的地に辿りつけないという問題がある。

2.3 ハイブリッド

GeoDTN+Nav[5] は、GPSR 手法に DTN を用いてネットワーク分断への耐性を持つ VANET を想定したルーティング手法である。GPSR と DTN を併用する、DTN と非 DTN のハイブリッド手法といえる。

GeoDTN+Nav では、各ノードの移動方向、位置情報、データのホップ数から、Greedy, Perimeter, DTN の 3 モードを適宜切り替えて効率的なデータ配送を可能にしている。Greedy モードから Perimeter モードへの遷移条件は GPSR と同様である。GeoDTN+Nav の Perimeter モードではネットワークが切断されていないかをパケットのホップ数と周辺ノードの位置情報から計算し、*switchscore* という指標を表す。*switchscore* の値が閾値を下回った場合、ネットワークから切り離されたと判断して Perimeter モードから DTN モードに遷移する。いずれのモードも、次ホップを発見した時点で Greedy モードに遷移する。

GeoDTN+Nav は Perimeter モードにおいてネットワークの分断を検知し DTN モードに切り替えることで、ネッ

トワークが分離された場合もデータ通信が可能になる。一方で、Greedy モードにおけるデータ送信ではノードの移動方向しか注目していないため、途中からノードが進路変更を行う可能性を考慮できない。

3. 想定する環境

3.1 アプリケーションモデル

本稿が提案する手法の目的は、時間、空間、通信路、という3次元でのモバイルデータオフローディングを行い、データの宛先到達期限であるライフタイム (t_{ll}) を保証しながらも携帯電話基地局が扱うデータ量の負荷を分散させることである。

3.1.1 時間的オフローディング

自ノードの移動性が少なく他ノードとの遭遇がない場合、携帯電話基地局の時刻別負荷情報から必要に応じて、許容する t_{ll} の範囲で送信時刻を DTN によって遅延させる。送信時刻を遅延させることで、携帯電話基地局のデータ通信量を時間的に分散させる。

3.1.2 空間的オフローディング

自ノードの移動性は十分あるが他ノードとの遭遇がない場合、時間的オフローディングと同様、必要に応じてデータ通信量が低い他の携帯電話基地局へ分散させる。図1に示す通り、任意の地点が必ずいずれかの携帯電話基地局エリアに属す場合を考える。送信するデータの t_{ll} 以前に、自ノードがデータ通信量の低い他の携帯電話基地局エリア内へ移動することが移動予定経路情報から分かる場合は、データ通信量の低い他の携帯電話基地局エリア内へ自ノードが移動してからデータを送信する。

3.1.3 通信路的オフローディング

自ノードの移動性、近隣ノードとの遭遇がある場合、携帯回線に加えて移動予定経路情報を活用した VANET を併用し、携帯回線から VANET へデータ通信量を分散する。例としてカーナビが、ある地点の道路画像をインターネット上のサーバから取得する場合を考える。

上の例を実現するにはデータ生成ノード (N_s) がインターネット上のサーバへリクエストデータ (D_{req}) を送信し、サーバは D_{req} に対応するリプライデータ (D_{reply}) を N_s へ送信する必要がある。送信前にデータが宛先に届くまでの遅延を許容できるかを t_{ll} から判断する。遅延を許容できない場合は携帯回線を用いるが、遅延を許容できる場合は携帯電話基地局の代わりに WiFi-AP を用いることでモバイルデータ通信量を削減する。WiFi-AP の通信範囲は非常に狭いため、VANET で N_s と間接的に通信する。

N_s の位置に対して最適な WiFi-AP を選択するため、各 WiFi-AP には図2に示すように対応するエリアが設定されていると仮定する。例えばサーバから WiFi-AP を経由して移動ノードへとデータが送信される場合、車が将来通過するエリアの WiFi-AP を経由する。

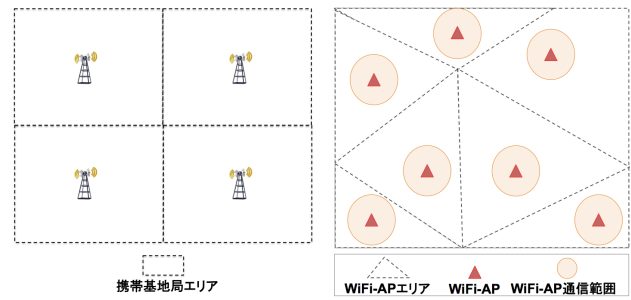


図1 携帯電話基地局エリア構造 図2 WiFi-AP エリア構造

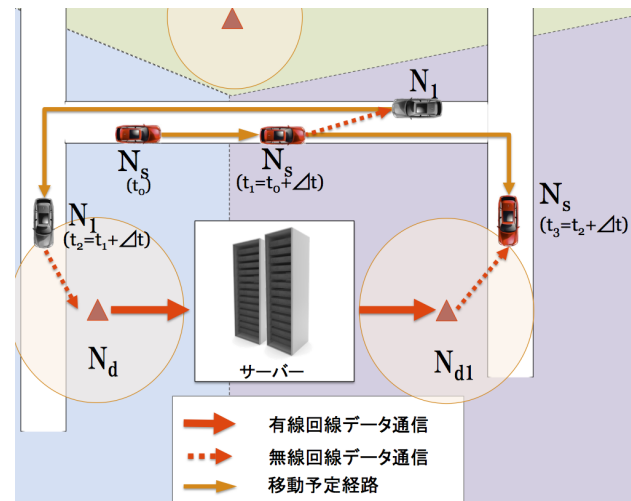


図3 アプリケーション動作例

以上に示した仮定から、特に VANET で送信する場合の具体的なシナリオを図3に示す。図3に示す例の場合、時刻 t_0 でデータ生成ノード C_{src} はサーバへ D_{req} を送信しようとする。 D_{req} には VANET で通信できるほど長い t_{ll} が設定されているとする。 D_{req} を送信しようとする時点で C_{src} は既に移動予定経路情報から、時刻 t_1 において中継ノード C_i と C_{src} が通信可能になること、更に時刻 t_2 で C_i が WiFi-AP (N_d) の通信範囲内に達することが分かっているとす。従って、時刻 t_1 において C_{src} は C_i に D_{req} を渡し、時刻 t_2 において C_i は N_d へと D_{req} を渡す。 N_d によって受け取られた D_{req} は有線回線を用いてサーバへ送信され、サーバは受け取った D_{req} に対応するデータ D_{reply} を C_{src} へと送信する。 D_{reply} は、 D_{req} と同様に VANET のみで送信を行っても時間切れにならないような t_{ll} が設定されているとする。 C_{src} から受け取った D_{req} に記述されている C_{src} の移動予定経路情報を元に、 C_{src} が通過するエリアに対応した WiFi-AP (N_{d1}) にむけて宛先が設定される。従って D_{reply} が時刻 t_3 に N_{d1} 経由で C_{src} へ到達する。

3.2 課題の定義

3.1節で示したアプリケーションモデルを実現するための課題を示す。課題の目的はデータの t_{ll} 内到達率を 100%に

表 2 提案手法への入力

入力要素	定義	説明
C	移動ノードの集合	道路と交差点上を走行するノードの集合
R	各ノードの移動予定経路情報	ノード識別子, 座標, 座標の予想通過時刻を列挙する.
D	データの集合	WiFi-AP や移動ノードでやり取りされるデータの集合である. データ内に含まれる情報は 4.4 節にて後述する.
O	WiFi-AP の集合	各携帯電話キャリアなどが設置している WiFi-AP の集合.
G	道路地図情報	交差点を点 $i(i \in I)$, 道路を辺 $r(r \in R)$ とするグラフ $G = (I, R)$ で道路網を表す.

維持できる通信を提供しながらも, DTN を用いた VANET によってモバイルデータ通信量を最小限とすることである. 従って目標を達成するために決められた制約条件の元, 与えられた入力に対して求められた出力を得るという課題を示し, 提案手法によって課題を解決する.

3.1 節で示したモデルの上界性能を示すため, 最も理想的な制約条件を以下のように設定する.

- 各ノードは道路上しか移動しない.
- 各ノードは移動予定経路情報通りに移動する.
- 通信帯域を無限大とする.
- VANET 時の通信範囲は IEEE802.11p の使用を想定し, 300m とする.
- 携帯電話基地局のエリアは, 一辺を 3km とする.
- 各ノードは全車の移動予定経路情報を正確に把握しているものとする.
- 各ノードは携帯基地局の時刻別負荷情報を統計情報として保持しているとする.

入力として 3.1 節で示した通信が可能となるような環境を構築する要素が必要となる. 従って, ノード, 移動予定経路情報, WiFi-AP, 道路, 生成するデータの 5 つを入力とする. なお 3.1.3 項におけるサーバはリクエストデータをリプライデータに変換する役割を持つものであり, 通信そのものに関わる要素ではないことから本手法では考慮しない. 表 2 に入力する要素をまとめる. 出力には本手法の目的が達成できているかを図るため, モバイルデータオフローディング率を求めるための結果値, データ到着率, 遅延時間を設定する. 表 3 に, 出力される要素をまとめる.

出力される値から, 時間的, 空間的モバイルデータオフローディング率 ($ro_{station}$), 通信路的モバイルデータオフローディング率 (ro_{link}) をそれぞれ式 (1),(2) に定義する.

$$ro_{station} = \frac{tr_{gen} - tr_{bs}}{tr_{gen}} \quad (1)$$

$$ro_{link} = \frac{tr_v}{tr_a} \quad (2)$$

目的を以下のように定義する.

表 3 提案手法から得る出力

出力要素	定義
tr_a	全ノードの積算トラフィック量
tr_c	全ノードのモバイルデータ積算トラフィック量
tr_{bs}	全携帯電話基地局における一定時間内の最大処理トラフィック量
tr_{gen}	一定時間内でのトラフィック発生量
r_{arrive}	各ノードが生成したデータの宛先への到達率
d_{ave}	各ノードが生成したデータが宛先に到着するまでの平均遅延時間.

表 4 アクセスポイント C が持つ情報

名称	定義	説明
(p_x, p_y)	設置位置	本 WiFi-AP が設置されている絶対座標を示す
p_{area}	担当エリア	本 WiFi-AP が担当するエリアの範囲を示す

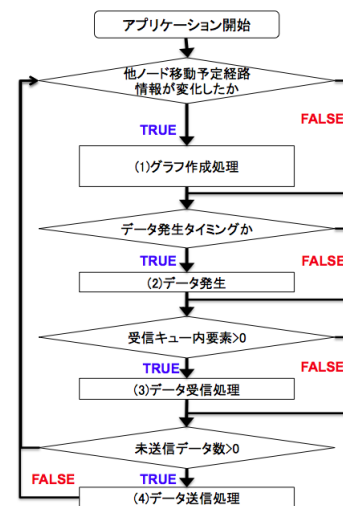


図 4 基本的なアルゴリズムフローチャート

$$\text{Maximize} : ro_{station}, ro_{link} \quad (r_{arrive} = 100(\%), d_{max} < ttl)$$

4. モバイルデータ 3D オフローディング手法

4.1 アルゴリズムの概要

本節では 3 章で示した課題を具体的に解決するための手法を提案する. アルゴリズムの概要を示す. 提案手法ではデータの ttl 内での宛先到着を保証するモバイルデータオフローディングのアルゴリズムを提案する. アルゴリズムのフローチャートを図 4 に示す. またフローチャートにおける各処理の概要を以下に示す.

- (1) **時系列遭遇グラフ作成** : 取得した移動予定経路情報から, VANET を用いてデータ送信ができるかを判断するためにデータの宛先に対する到達可能性を導出する. 従って各時刻における各ノードとの接続状態を移動予定経路情報を用いてグラフ化し, Dijkstra 法による各ノードへの到達可能性を導出可能にする.
- (2) **データの発生** : 決められたデータの発生タイミング

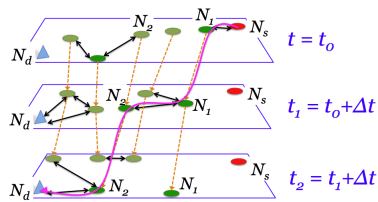


図5 時系列遭遇グラフ使用例

になると、データを作成し送信キューに入れる

- (3) **データの受信** : データの受信キューにデータが入っていた場合、各データのヘッダに基づいた動作を行う。
- (4) **データの送信** : 送信キューに入っているデータ内から送信が必要なものを取り出し、使用する通信手段として携帯回線あるいは VANET を選択する。

上に示した各機能の詳細を次節以降に示し、加えて Dijkstra 法によるデータの経路選択アルゴリズムの詳細を示す。

4.2 時系列遭遇グラフ作成

各ノードへの最短経路探索を Dijkstra 法を用いて行うため、時系列遭遇グラフを作成する。時系列遭遇グラフとは将来のノード同士の遭遇を各時刻毎にグラフで表したものであり、点をノード、点同士を結ぶ辺の重みをノード同士の遭遇状況とする。3.1 節で示した例のように、 N_s から N_d へのデータ送信を行う場合の時系列遭遇グラフを用いた例を図5に示す。図5において同時刻のグラフ上でノード同士を繋ぐ双方向辺はノード同士の接続状況、異なる時刻のグラフ上で有向辺によって繋がれているノード同士は異なる時刻上の同一ノードを示し、異なる時刻上の N_s から N_d までを一本で繋ぐ線はデータの伝搬を表している。図5の例では各中継ノード候補から時刻 t , t_1 において、それぞれ N_1 , N_2 を適切な次ホップノードとして選択し、最終的に N_d にデータを送信する場合を示している。

時系列遭遇グラフを作成する際には、各他ノードと遭遇する時刻を予測する必要がある。遭遇時刻の予測は各ノードの移動予定経路情報から求め、遭遇するノード、遭遇開始時刻、遭遇終了時刻を記入して遭遇時刻予測表が作成される。例えばノード N_1 がノード N_2 に時刻 1~5, N_3 に時刻 2~4, N_4 に時刻 6~7 の間、遭遇すると予測した場合の遭遇時刻予測表を表5に示す。

各時刻の時系列遭遇グラフは遭遇時刻予測を元にノードとの接続状態を完全グラフの辺重みとして表したものであり、辺重みは以下のように定義される。

- 重み 1** 同じ時刻でのノード同士の接続を表す
- 重み 0** 異なる時刻での同一ノード同士を結ぶ
- 重み ∞** 同じ時刻でのノード同士の非接続を表す

実際に重み付けされた時系列遭遇グラフの例を図6に示す。作成された時系列遭遇グラフは、後にデータを送信キューへ入れる際に最短経路探索を行うために用いられる。

表5 N_1 の遭遇時刻予測表

N_2	N_3	N_4	遭遇するノード
1	2	6	遭遇開始時刻
5	4	7	遭遇終了時刻

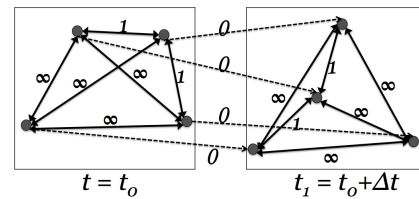


図6 時系列遭遇グラフ重み

4.3 データの受信

データの受信では、ノード内にある受信データキュー内のデータ数が0より多いときに新規受信データありと判断し受信処理が実行される。受信したデータの宛先が自ノードならデータの統計情報をとり削除する。宛先が自ノードでなければ VANET の中継ノードとして役割を果たすため、受信したデータを次ホップへ送信する処理が行われる。

受信したデータを次ホップへ送信するための処理は2つに分けられる。1つはデータ送信方法を決定する処理、もう1つはデータを送信キューに追加し受信キューから削除する処理である。データ送信方法を決定する処理では、Dijkstra 法による経路選択から次ホップノードや送信時刻が決定された後、データは送信データキューに入る。

4.4 データの発生

データの発生は、宛先ノードや送信元ノードなどの情報を送信するヘッダーに書きこむ処理に当たる。データを含む情報を以下に示す。

- size* : データサイズ
- tll* : ライフタイム
- id_sender* : 送信ノード識別子
- id_dest* : 宛先ノード識別子

またデータへの書き込みが終わると節で示した方法と同じくデータの *tll* と時系列遭遇グラフを用いて Dijkstra 法によって通信路、次ホップノード識別子、送信時刻が決定され、送信データキューに入る。

4.5 データの送信

データの送信では、送信データキュー内にあるデータのうち未送信データに設定された送信予定時刻を迎えたデータを送信する。送信する際、「データの発生」処理で各データに指定した通信路を用いて送信される。ただし VANET で指定された送信時刻においてデータを送信しようとしたときに次ホップとして指定されているノードと通信できなかった場合、4.4 節に記した方法と同様に Dijkstra 法により新たな最短経路検索及びデータ送信に用いる通信路選択を再度行う。送信完了したデータは相手ノードの受信

キューに移動される。

4.6 Dijkstra 法による経路選択

データ送信方法を決定するために時系列遭遇グラフから Dijkstra 法によって最短経路を導出する。グラフ上でノード同士が接続されていないことを示す辺重みは ∞ としているため、最短経路上の重みが ∞ となる場合、VANET における宛先へのデータ到達は不可能と判断し、モバイルデータ通信を行う。重みが規定値未満であれば計算した最短経路に従い、指定時刻に次ホップへとデータを送信するよう指定する。なお移動ノードから WiFi-AP にむけてデータが送信される場合、送信する移動ノードが通過する予定の WiFi-AP エリアのうち重みが最小でデータの *t_{tl}* 内に遭遇可能な WiFi-AP を宛先とする。

5. 評価

5.1 評価方法

今後は提案手法に対して、上界性能を求める評価と、現実環境下での性能を求めるための評価を行う予定である。上界性能を求める評価（以下、上界評価）においては、本手法にとって最も理想的な制約条件下で数学的に性能を見積もる。現実環境下の性能を求める評価（以下、現実性評価）では、移動予定経路情報などの制約を現実的な値へ変化させることによる本手法の性能変化をシミュレーションで評価する。上界評価、現実性評価のいずれも可変となる制約を定め、制約の変動に対する評価項目値の変化を測る。

5.2 評価項目

提案手法の目的はモバイルデータ通信量の最小化である。従ってオフローディング率を主な評価値として評価する。時間的、空間的オフローディング率として $r_{o_{station}}$ 、通信路的オフローディング率として $r_{o_{link}}$ を測る。

また通信路的オフローディングでは VANET の性能が重要となる。VANET の性能が低いと、携帯回線の使用回数が増え $r_{offload}$ が低下すると考えられる。よって本手法で提案した VANET 単体の評価も行う。VANET でデータ送信にかかる時間が短く、データ到達率が高いほど、多くのデータを VANET で送信可能となり $r_{offload}$ の向上に繋がると考えられる。よって VANET 単体で評価する値はデータ到達遅延時間、データ到着率とする。他手法と比べた相対的な評価を得るため、移動性を考慮したルーティング手法のうち最も基本的な手法と考えられる EpidemicRouting と、移動予定経路情報を用いる点で本手法と類似した GeOpps を本手法と比較する。EpidemicRouting と GeOpps も共にデータ到達遅延時間、データ到着率を評価項目としている。

5.3 制約項目

上界評価では 3.2 章で示した制約を用い、道路トポロジ

は格子状とするなど単純な制約条件にする。また可変な制約として *t_{tl}* を変動させ、評価項目値の変化を評価する。

現実性評価では上界評価での制約のうち通信帯域と道路トポロジを現実的な値に変更する。3次元のいずれのオフローディングにも関わる可変な制約条件として上界評価にデータサイズ、車速、移動予定経路精度の3項目を加える。更に通信路的オフローディングでは、WiFi-AP の数によっても携帯回線を使用する回数が増えると考えられる。よって WiFi-AP の密度も評価項目に加える。

データサイズ データサイズと $r_{offload}$ の関係から、オフローディング可能最大データサイズを求める。

車速 通信帯域の制限により、車両が高速の場合には対向車同士の通信時間が短く通信が失敗すると考えられる。よって性能への影響について評価する。

移動予定経路の精度 自動車が移動予定経路を逸れる場合を想定し、逸れた場合の性能への影響を評価する。

WiFi-AP の密度 コンビニに設置される場合など、地域によって WiFi-AP の密度に差が生じる。よって WiFi-AP の密度に対する、性能への影響を評価する。

6. まとめ

本稿では、移動予定経路情報をルーティングに活用した VANET を携帯回線と併用することで、携帯回線の負荷を減らす通信手法を提案した。各ノードが移動予定経路情報をカーナビに設定した状況下において動作することから、予め設定された移動予定経路情報に従って動く自律運転などを備えたノードの場合はより提案手法が有効であると考えられる。今後は 5 章に示した評価方針を元に、実際にシミュレーションを用いて提案手法の上界性能と現実的な環境に基づいた性能の評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Cisco Systems, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015," (2011).
- [2] Carrozzzeria : Carrozzzeria AVIC-VH0009HUD (入手先 (http://pioneer.jp/carrozzzeria/cybernavi/avic-vh0009hud_avic-zh0009hud/index.html))(オンライン) (2013.08.30).
- [3] Vahdat, A. et al., "Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks," Technical Report CS-200006, Duke University (2000).
- [4] B. Karp et al., "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," In Mobile Computing and Networking, pages 243-254, (2000).
- [5] P.-C. Cheng., et al., "GeoDTN+Nav: A Hybrid Geographic and DTN Routing with Navigation Assistance in Urban Vehicular Networks," Mobile Networks and Applications, Vol.15(1). pp.61-82, (2010).
- [6] I, Leontiadis et al. "Geographic: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks," World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pp. 1-6 (2007).