

高密度交通流での安定したVANETクラスタリング方式の提案

M2016SC007 伊藤 寛晃

指導教員：河野 浩之

1 はじめに

近年, Vehicle Ad Hoc Network(VANET)では車両を一定の条件を考慮してクラスタリングを行う, VANET clusteringの手法が多く開発されている [1]. 車車間通信ではノードが移動するという特性によりネットワーク構造に変化が起こるため, 通信が断絶しやすいという問題点に注目する. 本研究では通信性向上のために, 同一の移動特性を持つクラスタの安定化を目的とする. VANET Clusteringにおいて, クラスタ内通信と, クラスタ外通信があるが, 本研究ではクラスタ内通信に着目する. クラスタ外通信については, VMaSC-LTE[2]のようにLTE等他の通信手段を想定する. これにより, クラスタ内通信とクラスタ外通信との競合を抑えると共に, 蛇行構造が起こってしまった場合も回避策として経路選択ができると考えられる. また, ノードが移動することで最適なクラスタではなくなった場合のための再クラスタリングを提案する.

第2章では, 先行研究について説明する. 第3章では, 提案手法であるVANET for Stable Clustering in Urban areas (VSCU)について解説する. 第4章では, 実験環境や各種パラメータを述べ, 提案アルゴリズムと先行研究を用いて比較し, 評価する. 第5章で結びとする.

2 VANETに関する先行研究

本章では, 先行研究について解説する. 2.1節では, 先行研究であるLoらによる接続先選択メトリクスについて説明する. 2.2節では, 先行研究であるVMaSCの概略と他ノードとの接続アルゴリズムについて述べ, 2.3節では, 先行研究であるVMaSCの課題点について説明する.

2.1 CH選出メトリクス

Loらがマルチヘッドクラスタリングアルゴリズムの論文の中で使用しているCH選出メトリクスに, Relative Position and Mobility(RPM)がある [3]. 相対位置と相対速度を加味するため, より適切なCHを選出することが出来ると考えられる.

2.2 VMaSCの概略

VMaSCはS. Ucarらによって作成された隣接車両に対する平均相対速度を用いて算出した相対移動度(RelSpeed)を用いてCHを決定する優先順位ベースのVANETアルゴリズムである [2]. これにより安定したクラスタを形成することができる. 定期的にHelloパケットを送ることで情報の配布を行い, クラスタの維持を行うリアクティブクラスタリングを行う. 定期的に情報を更新することで, 安定したクラスタの維持に繋がる. 周りにCHがない場合にCHになるのではなく, 既にあるCHまたはクラスタメンバ(CM)である隣接ノードに直接接続する. これ

によりCHの乱立を避けることができる. VMaSCでは, 以下の5つの車両状態がある.

- INITIAL(IN):初期状態
- STATE ELECTION(SE):状態遷移前の待機状態
- CLUSTER HEAD(CH):クラスタヘッドの状態
- ISOLATED CLUSTER HEAD(ISO-CH):既存クラスタに接続できずに隣接車両がない状態
- CLUSTER MEMBER(CM):クラスタに属している状態

INで定められた秒数待機する. その後SE状態になり, クラスタ接続アプローチを実行する. クラスタ接続は, CHの数を少なくするために, 既存のクラスタに接続を試みる. 順番として, CH, CM, SEの順番で接続を試みる. 周囲にノードがない場合は, ISO-CHとなりクラスタを作成する. このようにクラスタに参加もしくはクラスタを作成する.

2.3 VMaSCの課題点

元々利己的に決められたCHに接続していく形となるため, 移動によるクラスタの変遷という問題解消が残されている. CHやCMが変更される条件が接続が無くなってから一定時間経過という条件であるため, 最適では無くなってそのままのクラスタとなってしまうと考えられる. 最適で無くなった場合の解決策として, 一定の条件下で再度クラスタリングをすることが挙げられる.

3 VSCUアルゴリズムの提案

本章では, 本研究で提案する優先順位ベースのプロトコルであるVehicle ad hoc network Stable Clustering in Urban areas (VSCU)について説明する.

3.1節では, 優先順位ベースについて述べ, 3.2節では, VSCUの概要を説明する. 3.3節では, VSCUのクラスタ形成について述べ, 3.4節では, VSCUのクラスタマネジメント戦略について述べる.

3.1 優先順位ベース

VSCUは探索するノードが利己的にCHを選択する優先順位ベースのアルゴリズムである. 優先順位ベースでは, クラスタに属していないノードが自分に合ったCHを適合度により評価することで, CHを選択する.

この方式による利点は, ノード1つ1つの接続性が高いため, クラスタの安定性が高いことと, 階層構造を形成しやすいことである. 優先順位ベースはCH探索ノード側が利己的に他のノードと接続していくため, 問題点が3つある. 3つの問題点を以下に示す.

1. VANET Clusteringに共通する特有のノードの移動により, 接続時では最適であったクラスタが最適とは程遠いものになってしまう点.

2. 利己的にノードを探索するため、CH の乱立が起こる可能性。
3. 自分に都合の良いノードに繋がって行くためにできる蛇行構造によりホップ数が増え、クラスタの安定性が落ちたり、切断が増加する。

3.2 VSCU の概要

VSCU では、高速道路を想定した VMaSC とは違い、一般道路を想定した高密度交通流下での使用を想定している。一般道路では、信号があるため、クラスタが分離する可能性が高い。そのため、分離しづらいように相対位置を考慮した接続先選択メトリクスを用いることが重要である。

クラスタヘッドの選出として、優先順位ベースを採用する。優先順位ベースのため、クラスタの乱立を避けるために VMaSC と同様既存クラスタとの接続を優先的に試みる。CH 選出メトリクスには、CH_MTR を利用する。蛇行構造の回避策としてはホップ数に制限 (3 以下) をかける。さらに、一定条件下で再クラスタリングを行う。また、クラスタ結合の際、隣接ノード数の重みを上げて、クラスタヘッドを再選出することで蛇行構造の解消を行う。

先程上げた 3 つの問題点に関して、対処法を示す。1 つ目のノード移動によって最適クラスタではなくなる問題に対しては、相対速度だけではなく相対位置も加味する。2 つ目の CH の乱立に関しては、VMaSC と同じく既存クラスタに優先的に接続するため、乱立は起きにくい。3 つ目の蛇行構造に関しては、ホップ数に制限をかけることで安定性が落ちるような長い距離の蛇行構造は起こりにくくなる。

VSCU は車両を以下の 4 つの状態に分類する。

- UNDEFINED (UN): 定義前状態
- CLUSTER HEAD (CH): クラスタヘッド
- CLUSTER MEMBER (CM): クラスタメンバ
- ISOLATED CLUSTER HEAD (ISO-CH): 孤立状態

これら車両状態の遷移図を図 1 に示す。

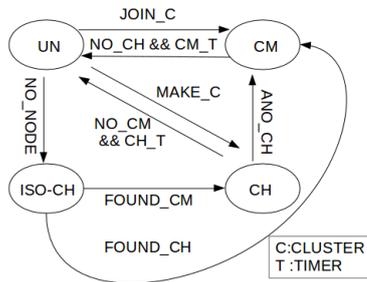


図 1 VSCU 状態遷移図

以下に各車両状態からの遷移条件を示す。

CH は CM_MEMBER が 0 の状態 (NO_CM) で、一定時間 (CH.T) 経過した場合であり、クラスタは解散されたとみなして CH から UN へと戻る。さらに、隣接ノードに CH が一定時間 (ANO_CH) ある時に自分より相手の方が CH に適している場合に自分は CM へと遷移する。

CM は CH との接続がない状態 (NO_CH) で、一定時間 (CH.T) 経過した場合であり、CH との接続が切れたとみなして CH から UN へと戻る。

ISO-CH は適する CH が見つかった場合 (FOUND_CH) は CM に、加わる CM が見つかった場合 (FOUND_CM) は CH になる。

UN の遷移については次節のクラスタ形成で詳しく解説する。

3.3 クラスタ形成

UN は一定時間 (UN_TIMER) 待機後、HELLO パケットを送信する。この HELLO パケットは周りのノードへブロードキャストすることで、接続先選択メトリクスを計算し、自分にとっての最適 CH を探索する。接続先選択メトリクスについては、式 (1) を用いる。

$$CH_MTR = \text{相対距離} * \alpha + \text{相対速度} * (1 - \alpha) \quad (1)$$

Algorithm 1 Cluster algorithm (UN)

```

1: for all CH ∈ VIB do
2:   if TRY_CONNECTCH == false then
3:     if MEMBER_CH < MAX_CM then
4:       Send JOIN_C;
5:       if JOIN_RESP received then
6:         VSTATE = CM;
7:         EXIT;
8:       else
9:         TRY_CONNECTCH = true;
10:      end if
11:    end if
12:  end if
13: end for
14: for all CM ∈ VIB do
15:   if HOPCM < MAX_HOP then
16:     Send JOIN_C;
17:     if JOIN_RESP received then
18:       VSTATE = CM;
19:       EXIT;
20:     else
21:       TRY_CONNECTCM = true;
22:     end if
23:   end if
24: end for
25: if NOT UN ∈ VIB then
26:   VSTATE = ISO - CH;
27:   EXIT;
28: else if CH_MTR = minUN ∈ VIB(CH_MTR)
   then
29:   VSTATE = CH;
30:   Broadcast CREATE_C;
31:   EXIT;
32: end if

```

パラメータを表 3.3 に示し、クラスタ形成アルゴリズム

の一部を Algorithm 1 に示す。

表 1 Algorithm パラメータ

パラメータ	説明
VIB	車両情報
TRY_CONNECT	接続試行
MEMBER_CH	CH のメンバ数
JOIN_C	クラスタ参加要求
JOIN_RESP	JOIN_C の応答
V_STATE	車両状態
HOP_CM	CH までのホップ数
MAX_HOP	最大ホップ数
CREATE_C	クラスタ作成

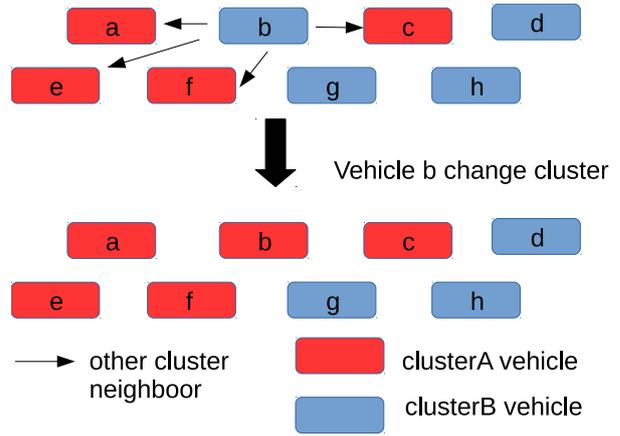


図 2 ノードの変動によるクラスタの混在検出

(1~13 行目) 既存クラスタと接続するために、車両状態が CH のノードが複数いる場合は CH_MTR を用いて接続先を決定する。(14~24 行目) CH の接続可能なノードがなかった場合、CM のノードのうち一定 hop 数未満のノードに接続して CM となる。

(25~27 行目) 接続可能なノードが近くになかった場合、UN は ISO-CH となる。(28~32 行目) UN が隣接ノードにあった場合、その中で一番 CH_MTR の少ないものが CH となり、ブロードキャストにより CH になったことを周りに知らせる。以上のアルゴリズムにより、クラスタを形成する。

3.4 クラスタのマネジメント

自分のクラスタヘッドの車両 ID(CH_ID) を用いてクラスタ同士の重なりを検出する。図 2 は、ClusterA と ClusterB のノードが混在している例である。隣接ノードリスト内に自分が持つ CH_ID 以外の同名 CH_ID ノードが一定以上あるかどうかで判断する。図 2 で、左上の b ノードは、矢印で示される a,c,e,f ノードと隣接している。この時一定数以上自分属するノード (g,d,h ノード) より多い場合、他のクラスタと混在していることが分かる。一定時間以上この状態が続いた場合、このノードは別クラスタの方が適性が高い可能性があるため、再クラスタリングを行う。

さらに、このようなノードが一定時間以内に一定数以上存在する場合、クラスタ同士が重なっている可能性が高い。この場合は、クラスタの結合及び再構成を試みる。

4 安定性評価

本章では、OSM によって抽出した道路データと、SUMO, ns-3 を用いて安定性に関する検証を行う。4.1 節では、実験環境や各種パラメータ、実験方法について述べる。4.2 節では、メトリクスごとの安定性評価を述べる。

4.1 実験環境

道路データは、OSM からエクスポートしたファイルで SUMO 向けにカスタマイズすることができる。なお、ns-3 では SUMO 出力ファイル形式 (tcl 形式) のままでは用い

ることができないため、Ns2MobilityHelper を用いた。実験環境構築の流れを図 3 に示す。図内の四角枠内は ns-3, SUMO それぞれに用意されている道路データ利用のためのプログラムである。

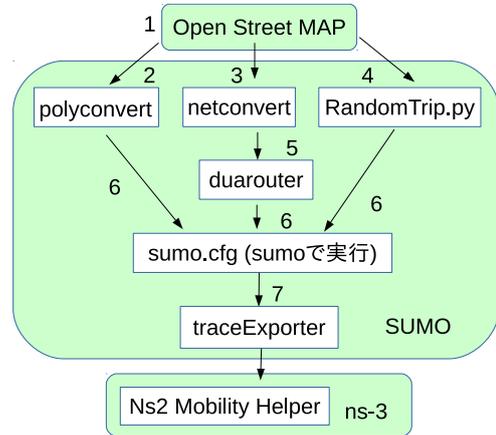


図 3 osm 形式を ns3 形式へ変換

形式変換の流れを以下に示す。

1. OSM から用いる地図のデータを osm 形式で保存する。
2. osm データを polyconvert を用いて建物データを投影する。
3. osm データを netconvert を用いて道路網を得る。
4. 道路網から、RandomTrip.py を用いて車両の出発位置と目的位置をランダムに設定する。
5. 車両の出発地点から目的地までの経路を作成する。
6. これらのファイルを読み込み、計測時間や車両情報を書き加えた設定ファイルを作成し、SUMO で実行する。
7. traceExporter を用いて tcl 形式でモビリティモデルを生成する。

tcl 形式では ns-3 では扱えないため、プログラム内で Ns2MobilityHelper を用いることで利用するこの結果と建物データを ns-3 に用いて先行研究及び提案アルゴリズ

ムの実験を行う。
実験環境を表2に示す。

表2 実験環境

交通流シミュレータ	sumo-0.30.0
ネットワークシミュレータ	ns-3.26
チャンネルモデル	obstacle-shadowing
通信規格	ARIB STD T-109[4]
周波数帯	755.5-764.5MHz
通信距離	200m
シミュレーション時間	60s
車両速度	8.5-16.5m/s

本実験では、チャンネルモデルに obstacle-based shadowing を用いる。これは ns-3 に実装されている建物などの障害物を考慮したチャンネルモデルである。ただし、建物反射や見通し外通信は考慮されていない。SUMO では一定時間ごとに車両を生成する仕様となっている。本実験では、車両は2秒毎に追加される。また小規模な実験であるため、本実験では再クラスタリングを用いていない。

4.2 実験結果

実験では開始20秒間はまだ車両生成数が少ないため、実験では20秒以降を用いた比較対象として、先行研究である相対速度を用いたものと、提案する CH.MTR を用いたものを比較している。実験では以下の4つを行った。

- 4秒毎の接続間相対距離
- 接続切断率(全接続中の切断回数)
- 通信未到達率(1秒ごとにCHが送る通信をCMがどのくらい受信できないか)
- 全体を通しての接続間相対距離

図4は、時間毎の接続間相対距離平均である。提案した方式の方が相対距離平均が短くなっている。これにより、速度だけではなく車両間も近くなっているため、接続が切断されにくくなっている。

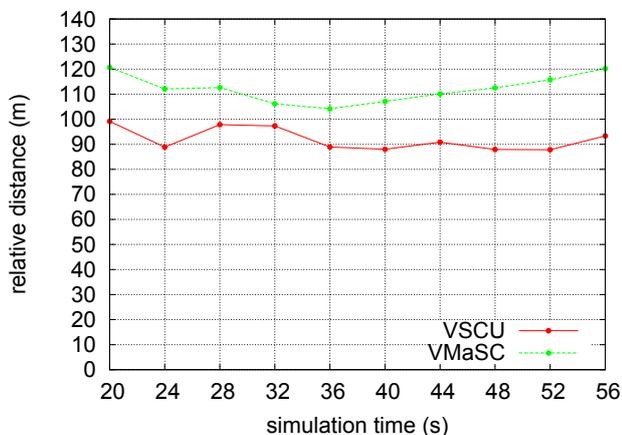


図4 相対距離の比較

表4.2に、比較する2方式の切断数、通信未到達数、全体の相対距離平均を示す。

表3 切断率、未到達率、全体相対距離平均

	切断率	未到達率	相対距離平均
VMaSC	1.09%	1.91%	112.122m
VSCU	0.57%	1.71%	91.269m

表4.2より、相対距離が縮まったことで切断率が下がり、それに伴い通信未到達率が下がったことが分かる。高速道路のような直線道路でない場合、相対速度だけではなく相対位置を使うことの有効性が示せた。

5 むすび

VMaSCでは高速道路を対象に最適化されているため、信号などがある市街地で高密度な車両構成の際に適した方式であるVSCUを提案した。

相対速度のみの場合はノード間が離散している状態のクラスタが形成される可能性がある。しかし、相対位置も加味した場合は相対速度のみの場合と比較してクラスターノードがCHの付近に集中する。位置が考慮されることにより、赤信号による通信の分断が起きにくいため、切断率が下がったと考えられる。高密度な交通流では渋滞などでノードが密集しているためにクラスター同士が混在する可能性がある。この時、3章4章で提案した再クラスタリング手法により再度クラスタリングを行うことでクラスター同士の混在が解消され、最適なCHが選択される。

結果として、相対平均距離が20.853m縮まり、その結果切断率が0.52%、通信未到達率が0.20%減少した。

参考文献

- [1] Cooper, C., Franklin, D., Ros, M., Safaei, F., and Abolhasan, M., "Clustering in VANETs under realistic channel conditions," University of Wollongong (2015), <http://ro.uow.edu.au/theses/4574> (accessed 2017/7/17)
- [2] Ucar, S., Ergen, S., and Ozkasap, O., "Multi-hop cluster based IEEE 802.11p and LTE hybrid architecture for VANET safety message dissemination," Vehicular Technology, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.65 No.4, pp.2621-2636 (2016).
- [3] Lo, S., Lin, Y. and Gao, J., "A Multi-Head Clustering Algorithm in Vehicular Ad Hoc Networks," International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol.5, No.2, pp.242-247 (2013).
- [4] Association of Radio Industries and Businesses, "700MHz band intelligent transport systems", ARIB standard ARIB STD-T109, Ver1.2(2013), <https://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/5-STD-T109v1.2-E1.pdf> (accessed 2018/7/3)