

動的環境に対するモバイルサービスの 自己組織ネットワークモデルの研究

M2006MM030 武市 寛司

指導教員 青山 幹雄

1. はじめに

自動車の安全性や快適性の向上のため、車車間通信の利用が提案されている。しかし、従来の研究は自動車の移動に伴うネットワーク環境の変化を十分に考慮していない。本稿ではネットワークに変化を及ぼす自動車の走行に着目し、車車間の局所な観点からネットワークをモデル化する。さらに、自己組織化の概念を用いてネットワークの変化に対応することで、柔軟で一定の品質を保証するネットワークアーキテクチャを提案する。

2. 車車間通信の問題点

自動車ネットワークは集団走行する自動車群のネットワークであり、車車間の局所的なネットワークの繋がりから構成されるネットワークである。さらに自動車の走行に伴い自動車ネットワークは時々刻々と変化する。動的に変化する自動車ネットワークのモデルが明確でない。

3. 関連研究

文献[1]では、LPG (Local Peer Group)を形成して、伝播させるメッセージの方向や範囲を管理することでメッセージの伝播が効率的なアドホックなアーキテクチャを提案している。自動車の移動に伴い変化する要素を考慮していない。

文献[2]では、高速道路上で、車車間通信を用いた安全性向上アプリケーションを通知メッセージの配布の観点からシミュレーションを行ない有効性を示している。移動速度によるネットワークの変化は考慮しているが、移動に伴う自動車の環境の変化は考慮していない。

いずれの研究も変化に柔軟なネットワークアーキテクチャではない。

4. アプローチ

4.1. 前提条件

自動車は、無線通信装置を搭載し、メッセージを送受信することで走行しながら局所的に P2P (Peer-to-Peer) ネットワークの構築が可能であるとする。また、位置情報を用いるためにナビゲーションシステムを搭載する。W-CDMA などの中・広域の通信が可能な無線通信方式を用いることで、高速で移動している自動車間に対し、一定範囲で P2P ネットワークが構築することができる。

4.2. アプローチ

自動車の走行に着目し、走行による自動車ネットワークの変化をモデル化する。しかし、自動車の走行は車線により走行の自由度の制約がある。そこで走行を車線間と車線内の2つに分類し、局所的なネットワークの変化を分類する。動的に変化するグラフを用いて、自動車ネットワークを局所的なネットワークの観点からモデル化する。さらにグラフを用いて変化を予測し、変化に応じた自己組織化を行なうことで、変化に対応できる自動車ネットワークが構築できる。

5. 自動車ネットワークのモデル化

自動車の走行モデルは上記で述べたように 2 つに分類できる。2つのモデルの相互関係と 2 つのモデルがネットワークにどのような影響を与えるかを分析し、分析に基づき自動車ネットワークを動的な変化を表現できるモデルとして提案する。

5.1. グラフモデル

自動車ネットワークを式[1]のグラフで表現する。自動車をノードとし、ノード間のエッジは通信の容易さを表す。自動車ネットワークは P2P ネットワークであり、通信方向は限定されないため、無向グラフで表現する。

$$\text{自動車ネットワーク } G = \{V(x), E(y)\} \quad [1]$$

V を自動車とし、 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ で V の属性を表す。 E を通信の容易さとし、 $y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$ で E の重みを表す。

5.2. 自動車の走行モデル

自動車の走行モデルを「移動モデル」と「車線モデル」に分類する。本稿の走行モデルは 図1 で示す複数車線のモデルで考える。

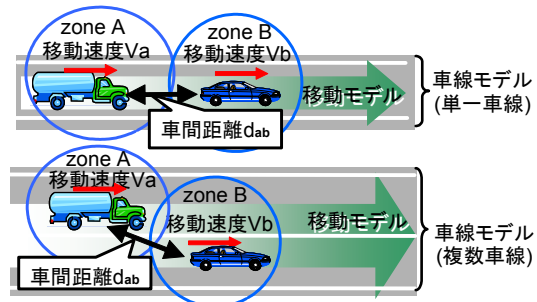


図 1 自動車の走行モデル

5.3. 車線モデル

車線モデルは単一車線と複数車線に分類できる。単一車線と複数車線では、自動車の移動の自由度が異なり、ネットワークの変化の自由度にも影響する。

(1) 単一車線モデル

同一方向に走行する車線が 1 つのみである。前後の自動車との車間距離が狭くなるなどの変化はあるが、追い越しなどによる位置の入れ替えはなく、ネットワークのトポロジーの変化がないと仮定する。

(2) 複数車線モデル

同一方向に走行する車線が複数ある。車線ごとに速度が異なり、自動車の追い越しが可能である。追い越しをするとネットワークの切り替えが起こり、ネットワークのトポロジーの変化が起こる。

5.4. 移動モデル

移動モデルは1つの自動車に着目し、車車間通信による局所的なネットワークを表す。移動モデルに影響を及ぼす要因は「移動速度」、「車間距離」、「電波状況」である。ネットワークをモデル化するにはトポロジー、データ遅延、接続性の3つの要素が必要である。以下に、移動モデルとネットワークの対応関係を示す。

(1) 移動速度

自動車の移動速度は個々の自動車で異なることが多い。

自動車の移動速度はネットワークを構成するノードの属性となる。移動速度はネットワークを変化させる。つまり、移動速度が他の自動車の移動速度と異なることでネットワークの接続性が変化し、ネットワークのトポロジーが変化する。

(2) 車間距離

車間距離は自動車の安全走行のためには非常に重要である。また、速度や混雑によって車間距離が変化する。

車間距離はネットワークの遅延を表す。車間距離が変化すると、ネットワークを構成する自動車間の距離が変化する。そのため、データが到達する時間が変わるため、ネットワークを構築する端末間のデータの遅延に影響する。

(3) 電波状況

無線通信範囲は無線通信装置で決まる。しかし、通信範囲内でも電波状況は、渋滞などの道路状況により異なる。

電波状況は、ネットワークの接続性を表す。無線通信を用いてアドホックに P2P ネットワークを構築する場合、ネットワークの接続性は電波状況によって変化する。

5.5. 自動車ネットワークのモデル

車線モデルと移動モデルを考慮した自動車ネットワークモデルである。式[1]に対し車線モデルと移動モデルを適用した式[2]のグラフを用いて以下のように表現する。

$$\text{自動車ネットワーク } G = \{V_{ij}, E_{jA|B}(d_{jA|B}, W_{jA|B}) \mid jA, jB \in \} \quad [2]$$

ノード V_{ij} の i は車線, j は移動速度を表現する。エッジ $E_{jA|B}(d_{jA|B}, W_{jA|B})$ は jA と jB 間の車間距離 d と電波の状況 W を

エッジの重みとして表現し、ネットワークのフローを表す。図 2 中の $E_{jA|B}$ は $E_{jA|B}(d_{jA|B}, W_{jA|B})$ を表す。車線は複数車線であるため最も早い速度で走行する車線を 1 とし、他の車線を順に 2, 3 と車線番号を振り複数車線を表現する。単一車線は、全て1とすることで複数車線と同じモデル上で表現可能である。

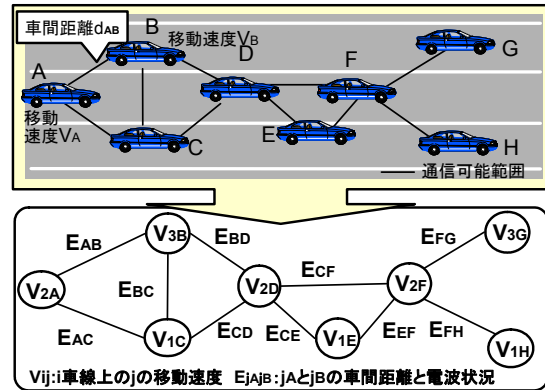


図 2 自動車ネットワークモデル

6. 自己組織化モデル

自己組織化の設計プロセスとして以下の順で行う。

- (1) 自己組織化の定義を行う。
- (2) 自己組織化の方法を決定する。
- (3) 自己組織化を行なうために自動車ネットワークの変化を分析する。
- (4) ネットワークの変化予測と切替えのタイミングを示す。
- (5) 分類に基づき自己組織化の具体的な方法を示す。

6.1. 自己組織化の定義

本稿における自己組織化の定義は、外部や内部に集中管理を行うエンティティがなく、局所的振舞いから要求される大域的な振舞いを実現することである[5]。

6.2. 自己組織化モデル

本稿では P2P アーキテクチャに基づくネットワークのモデル化を行なった。モデルは端末間の関係から構築される自己組織化の概念と同一で、自己組織化モデルに適切である。

6.3. 自己組織化方法

本稿の自動車のネットワークの動的な変化への適応方法は、仮想的なネットワークを構築である。今後、自動車の移動に伴いネットワークの構成要素となり得る自動車を事前に保持する。

6.4. 自動車の移動に伴う変化の分析

車車間の変化は図3に示すような変化がある。それに基づき自動車の前後関係から自動車ネットワークの接続性の変化のパターンを導いた(表1)。ネットワークの接続性の変化のパターンは、局所的なネットワークをネットワークの3つ

の要素から分類したパターンである。

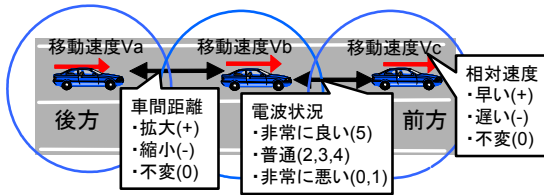


図 3 変化のパラメータ

表 1 前方と後方に対する変化のパターン

相対速度 前方・後方	前後の車間距離		電波状況		接続性		
	前方	後方	前方	後方	前方	後方	
速い(+)	縮小(-)	拡大(+)	5		1.1	4.1	
			2,3,4	(1)	1.2	(4)	4.2
			1,0		1.3		4.3
遅い(-)	拡大(+)	縮小(-)	5		2.1	5.1	
			2,3,4	(2)	2.2	(5)	5.2
			1,0		2.3		5.3
不変(0)	不変(0)	不変(0)	5		3.1	6.1	
			2,3,4	(3)	3.2	(6)	6.2
			1,0		3.3		6.3

電波状況 非常によい:5, 普通:2, 3, 4, 非常に悪い:1,0

6.5. ネットワークの変化予測と切替えのタイミング

移動速度の観点から、前方の移動速度が変わる3種類と後方の移動速度が変わる3種類がある。合計6種類の変化に対し、それぞれに対応する自己組織化の方法を提案する。さらに、車線モデルによってネットワークの変化が異なるため車線モデルごとに自己組織化方法を提案する。

ネットワークを保持するには接続性が最も重要であるため、ネットワークの切替えのタイミングは、ネットワークの接続性が不安定になった状態時に行なう。例えば、表1で示している接続性が1.1から1.2や1.1から1.3に変化した場合である。

6.6. パターン毎の自己組織化方法

(1) 単一車線に関する自己組織化方法

単一車線はネットワークのトポロジーの変化がない。そこでネットワークの接続性に重点を置き、電波状態と自動車の前後関係から自己組織化を行なう。前方と後方の2種類に対する自己組織化の方法が必要となる(図4)。

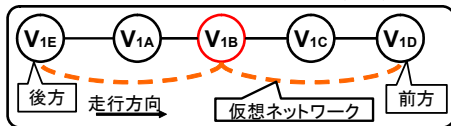


図 4 自己組織化例(単一車線)

(2) 複数車線に関する自己組織化方法

表1中の(1)から(6)の6種類の自己組織化の方法が必要となる。

以下に、表1の(1)について図5を用いて自動車Bの観点から説明する。

- 1) 自動車Bは自動車Cの移動速度を比較 ($V_B < V_C$)
- 2) 自動車Bは自動車Cからネットワークの情報を取得

- 3) 自動車Dの移動速度 V_D と自動車Bの移動速度 V_B の比較 ($V_B > V_D$)
- 4) 自動車Dを仮想ネットワークの構成要素として保持

自動車Dは移動速度が自動車Cより遅いため、ネットワークとして繋がる可能性がある。さらに、同一車線であるため、移動速度の差が比較的小さい可能性があり、安定したネットワークとなり得る。ただし、同一車線上に仮想ネットワークの要素となり得る自動車が存在しなかった場合、車線番号の小さい自動車で3)からの分析を再び行なう。

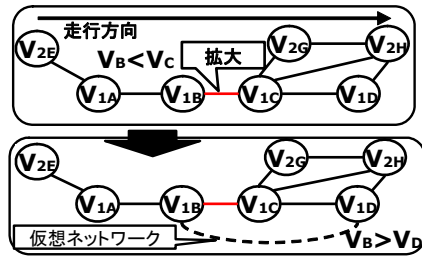


図 5 自己組織化例(前方が相対的に速い場合)

7. 自己組織ネットワークアーキテクチャ

自己組織化を用いて局所的なネットワークを構築し、ネットワークの変化の予測とネットワークの変化に対応させるためのアルゴリズムとデータ構造が必要である。これらを各自動車が搭載し、車間で通信を行なうことで自己組織ネットワークの構築を行なう。

7.1. 自己組織ネットワーク構築アルゴリズム

各自動車が自己組織ネットワーク構築のために行なうアルゴリズムを図6に示す。

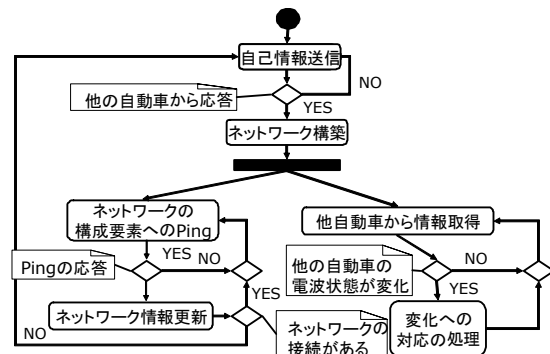


図 6 自己組織ネットワーク構築アルゴリズム

7.2. 自己組織ネットワークのデータ表現言語 (V2VCL)

自己組織ネットワークの表現する V2VCL (Vehicle to Vehicle Connection Language)を提案する(図7)。V2VCLはXMLを基礎とし、自動車と自動車の接続に関する情報をFOAF (Friend Of A Friend)[3]を拡張した方法で表現する。自動車の位置に関する情報はKML (Keyhole Markup Language)[4]で表現する。FOAFはネットワークを2つのノードの連鎖で表現しており、車車間の局所的なネットワーク

の繋がりを表現する。KML は地理的情報を表現する。

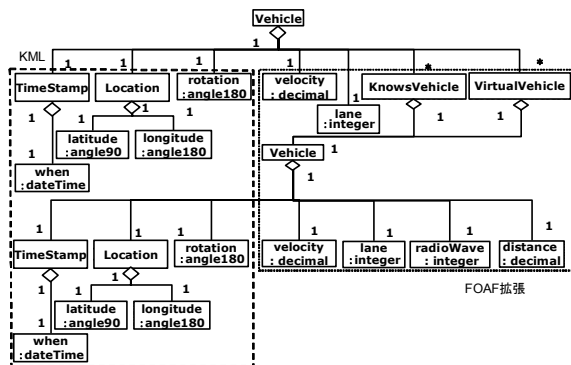


図 7 V2VCL の構造

8. 走行シナリオによる評価

8.1. 走行シナリオ

走行シナリオを用いて提案した自己組織ネットワークアーキテクチャの評価を行なう。シナリオは複数車線上に自動車群が存在し、個々の自動車の移動速度により車間距離が変化する。車間距離の変化でネットワークの接続性が変化する。その変化に対し適応可能かを評価する。

8.2. ネットワーク変化への適応の評価

図 8 中の左の図は、シナリオのネットワークモデルである。図 8 の右の図は自動車の走行により変化した後のネットワークモデルである。自動車 C から自動車 D に対する視点でネットワーク変化に適応可能かを V2VCL を用いて検証する。図 9 は自動車 C と自動車 D の V2VCL である。

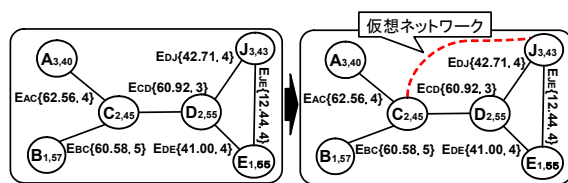


図 8 ネットワークモデル

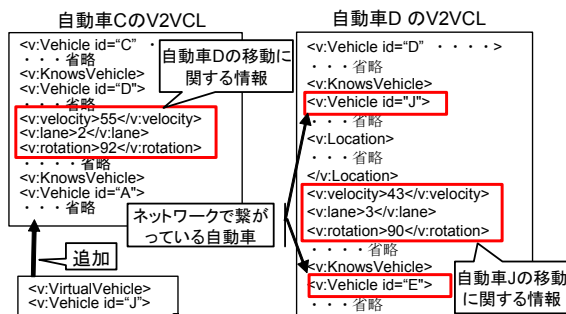


図 9 自動車 C と自動車 D が保持する V2VCL

自動車 C と自動車 D 間の電波状況が低下した場合、自動車 C の視点のネットワークの自己組織化を示す。

- (1) 自動車 C は時速 45 km, 自動車 D は時速 55 km で走行する。
- (2) 自動車 C は自動車 D に自動車 D の V2VCL を要求し受信する。
- (3) 自動車 C は受信した V2VCL から自動車 D が接続している自動車の情報を調べ、自動車 E と自動車 J に関する情報を取得することができる。
- (4) 自動車 C と同一車線に自動車がないため、自動車 J の存在する車線 3 の自動車から分析する。
- (5) 自動車 J の速度は時速 43 km で前方を走行しており、かつ同じ方向に走行しているため、自動車 C に近づく可能性が高い。そのためネットワークとして繋がる可能性が高く、仮想ネットワークとして自動車 J を保持する (図 9)。

図 8 中の右の図が構築された仮想ネットワークである。V2VCL を用いて車車間の局所的なネットワークを表現した。さらに動的な変化を V2VCL 内に記述してある移動に関する情報から予測し、それに基づき変化に適応することが可能となった。

9. 今後の課題

電波状況が変化するときには、無線通信範囲から遠ざかり電波状況が悪化する場合のみでなく、渋滞などの環境でも変化する。前方の自動車との車間が狭い場合や、停止している場合などには、狭域のプロトコルに変更するなどの状況に応じたプロトコル変更を考える必要がある。

10. まとめ

自動車ネットワークの動的なネットワーク変化を表現するために、移動モデルと車線モデルを用いてモデル化を行なった。さらに、自動車ネットワークの変化を分類し、分類に基づき自己組織化の方法を提案した。自動車ネットワークの動的な変化を予測し、事前にネットワークを変更することが可能となり、柔軟で一定の品質の保証が可能となった。

参考文献

- [1] W. Chen, et al, Ad Hoc Peer-to-Peer Network Architecture for Vehicle Safety Communications, IEEE Communications, Vol. 43, No. 4, Apr. 2005, pp.100-107.
- [2] C. J. Merline, et al, A Study of Safety Applications in Vehicular Networks, IEEE MASS 2005 Workshop – MHWMN05, Nov. 2005, pp. 102-109.
- [3] 神崎 正英, メタデータによる知人ネットワークの表現, <http://www.kanzaki.com/docs/sw/foaf.html>.
- [4] KML 2.1 リファレンス, http://earth.google.co.jp/kml/kml_tags_21.html.
- [5] C. Perthofer, et al, Self-Organization in Communication Networks: Principles and Design Paradigms, IEEE Communications, Vol. 43, No. 7, Jul. 2005, pp. 78-85.