

格子状道路における車車間アドホック通信を用いた 渋滞緩和を目的とする自動車走行制御

庄崎 和哉[†], 井上 伸二[†], 角田 良明[†],

[†] 広島市立大学 情報科学部

〒731-3194 広島市安佐南区大塚東3-4-1

渋滞による時間と費用の損失は大きく、これらの損失を軽減させるために効果的な渋滞緩和への取り組みが望まれている。渋滞緩和の方法として目的地までの経路を自動的に提示するカーナビゲーションシステムや、VICS カーナビでの道路情報の配信がすでに商用化している。しかしながら、これらの交通情報システムでは現在の混雑情報に基づいた旅行時間を最短とする経路を推奨するので同一の経路をドライバーが選択し、渋滞が発生していた箇所とは別の箇所での渋滞を招く恐れがある。

我々はそれぞれの自動車の状況に応じた交通情報が入手可能で、渋滞緩和が実現されるような経路選択ができるような走行制御システムを目指している。その第一歩として、格子状の道路において車車間アドホック通信を用いて各車両の位置、速度、目的地といった情報が周期的に配信されるモデルを想定し、その情報を基に自動車が渋滞箇所ならびに渋滞となりそうな箇所を回避する手法を提案する。

An Automobile Control Method for Alleviation of Traffic Jam Using Inter-Vehicle Ad hoc Communication in Lattice Networks

Kazuya Shouzaki[†] Shinji Inoue[†] Yoshiaki Kakuda[†]

[†] Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University

Oozuka-Higashi 3-4-1, Asaminami-ku, Hiroshima, 731-3194, Japan

Losing costs and spending time which are caused by traffic jams are large. So methods for alleviation of traffic jams are desired. Some of the methods (ex. car navigation system or vehicle information and communication system (VICS), which shows a route that avoids points of traffic jam) are developed as merchandises. These merchandises could cause other traffic jams by the following mechanism. When a traffic jam is recognized by the merchandise, the merchandise tries to find a route where travelling time becomes shortest. As a result, many drivers, who have the merchandise, choose the same route. It causes other traffic jams on the route. We intend to achieve an automobile control system where each driver obtains traffic information adaptively and it helps to alleviate traffic jams. As a first step for such automobile control system, we propose an automobile control method for alleviation of traffic jam using inter-vehicle ad hoc communication in lattice networks in this paper. In the proposed method, each automobile broadcasts information of the automobile, the information are relayed in multi-hop transmissions, and each automobile obtains information of automobiles. So the automobile can calculate an appropriate route based on the obtained information.

1 はじめに

日本を含む様々な国において、都市部で慢性的な渋滞が発生している。国土交通省のデータによると、日本国内で渋滞によって年間約38億時間の

ロスを生じ、費用にして約12兆円の損失が生じているという結果¹⁾が報告されている。これらの損失を軽減させるためにも効果的な渋滞緩和への取り組みが望まれている。

渋滞緩和の方法として道路交通システムにおい

て、車両の現在位置を取得し、目的地までの経路を自動的に提示するカーナビゲーションシステム（以下「カーナビ」と呼ぶ）が近年急速に普及してきている。さらに、交通状況を収集し、収集されたデータを電波ビーコンなどを介して自動車の運転手に提供する VICS²⁾ と呼ばれるシステムも普及してきている。これに伴って VICS と連動するカーナビゲーションシステム（以下「VICS カーナビ」と呼ぶ）の導入も盛んになってきている。

VICS に代表される様々な交通情報システムで、実際に道路を走行している車両から車両速度や混雑情報を収集し、配信するといった研究が進んでおり、商用サービスもすでに始まっている。しかしながら、(渋滞情報を含む) 交通情報がそれぞれの自動車に配信されて、多くのドライバーがその交通情報に従って経路を選択した場合、道路交通システム全体としての効率が下がってしまうという研究結果も報告されている⁴⁾。

通常 VICS カーナビは現在の混雑状況に基づき旅行時間を最短にする経路を推奨するので、他の多くのドライバーも同様の情報に基づいていっせいに同じ経路を通ろうとして、混雑が発生してしまう。この問題は、それぞれの自動車が違っていても、同一の情報に基づいて走行制御してしまったがために発生する問題であると考えられるため、このスキームを採用している限り、「渋滞箇所を示す交通情報を入手する」→「(この情報を入手した運転手は) 渋滞箇所を回避しようとする」→「しかし、同じ情報を入手したほとんどの運転手は同様の回避行動を取る」→「別な箇所での渋滞を誘発してしまう」という結果になる恐れが高い。

一方、我々の研究グループでは、過去の研究において高速道路における渋滞緩和の手法について提案してきた³⁾。これは、車車間アドホックネットワークを用いて自動車同士が交通状況を把握する通信を行い、その情報をもとに自動車に走行指示を与え渋滞の緩和を図るものである。

我々は、それぞれの自動車の状況に応じた交通情報を入手し、渋滞緩和が実現されるような経路選択ができるようなスキームを目指している。その第一歩として本稿では高速道路の渋滞緩和のために用いてきたアイデアを利用し、格子状の道路において車車間アドホックネットワークを用いた情報交換が可能であるモデルを想定し、その情

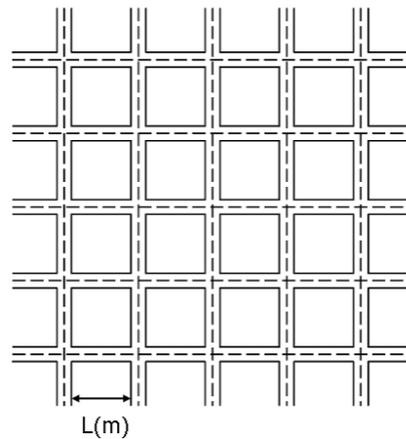


Fig. 1 格子状道路

報交換によって得られた情報を基に自動車が渋滞箇所を回避する手法を提案する。

本稿の構成は以下の通りである。2章で想定するモデルについて述べる。続いて3章で提案法について述べ、4章でまとめと今後の課題について述べる。

2 モデル

2.1 格子状道路

対象となる道路は図.1のような格子状の道路を想定する。この道路は片側一車線の道路で、南北に走る平行な道路が N 本、東西に走る平行な道路が M 本、各道路が交差点で垂直に交わる。また、道路と道路の間隔を全て同じ $L(m)$ とする。各道路の交通容量は全て等しいものとする。

また、全ての交差点には信号機が設置されているものとした。そして、これらの信号機は同機しているものとした。ここでは「ある信号機において東西方向が青信号であるときその他の信号機も東西方向が青信号であり、東西方向が赤信号であるときその他の信号機でも同じく東西方向が赤信号である」ということを信号機が同機していると呼ぶことにする。

2.2 自動車

各自動車には、カーロケーションシステムに類似したシステムが搭載されていることとする。カーロケーションシステムとは、GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) を利用して測位

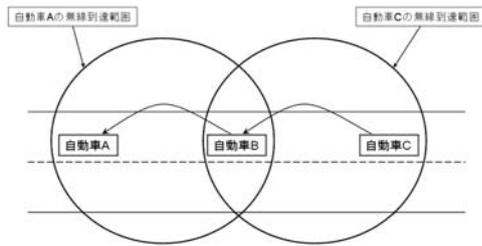


Fig. 2 マルチホップ通信によるデータの中継

した自車位置情報およびその他の情報を無線で周囲に送信することが可能なシステムである。

さらにこのカーロケーションシステムが自動車走行制御システムと関係しているものとする。自動車走行制御システムは後述の走行制御を司るだけでなく、カーロケーションシステムが発信した情報を受信すると車車間通信を用いてその情報を第三者に向けて中継する機能を有するものとする。もし仮に中継機能がなかった場合、カーロケーションシステムが発信した情報は自動車が装備する無線デバイスの到達範囲内に存在する自動車にしか伝達することができない。そのため、収集される車両情報は限られ、渋滞緩和に有効な経路選択ができないと考えられる。そこで、ブロードキャストによる第三者の車車間通信の中継（無線マルチホップ通信:図.2）を行うことにより、より広範囲な交通情報の収集を行うことが可能となるモデルを想定した。

ここに述べた車車間通信に基づくマルチホップ通信を車車間アドホック通信と呼ぶことにする。各自動車は車車間アドホック通信で周囲に向けて自分自身の情報（現在地、速度、目的地）を周期的に発信するものとする。これにより各自動車は逆に車車間アドホック通信によって他車の情報を入手できるものとする。

また、目的地に向かう経路については、後述の経路選択によって決定されるものとしているが、各自動車はその経路に従うものとする。そして、自動車の加減速は追従理論⁵⁾に従うものとする。追従理論は、交通流の中の車を粒とみなして、先行車、後続車との関係をモデル化したものである。これは、適当な車間を保ちつつ先行車に追従する車の挙動を表現している。一般式は次式が提案されて

いる。

$$\dot{v}_i(t) = \frac{\alpha \dot{S}(t - T_1)}{S(t - T_1)^l} + \frac{\beta(S(t - T_2) - f[v_i(t - T_2)])}{S(t - T_2)^m} \quad (1)$$

ここで、 v_i は後続車の速度、 S は先行車との車間距離、 T_1, T_2 は反応遅れ、 f は運転者の希望車間距離（速度の関数）、 α, β, l, m はモデルパラメータである。

3 提案法

ここでは、車車間アドホック通信を用いて通信を行い、個々の自動車が経路を選択する手法について述べる。

3.1 車車間アドホック通信

全ての車両において車載機が無線通信機能を備え、車車間通信が可能であるとする。この車車間通信を利用したマルチホップ通信によって車車間アドホック通信も可能であるとする。これにより、遠く離れた自動車に向けての情報伝達が可能となる。

車車間アドホック通信により、各自動車は自身の近辺の交通状況だけでなく、広範囲にわたった車両情報も収集することが可能となり、周囲の交通状況を考慮した走行制御を行うことが可能となる。

この際、TTLの値を大きくすると自動車が収集する情報量が増え、より正確な交通状況の把握が可能となる。しかし、一方でTTLが大きすぎると情報収集のための時間がかかりひいては走行制御に利用するまでの反応速度の点が問題となる。

3.2 経路選択

ここでは、出発地から目的地までの経路選択に関して、最短経路とN%迂回路から選択し、渋滞を回避する方法を述べる。

3.2.1 最短経路とN%迂回路

各自動車は目的地までのルート候補をn本もつ。一本は最短経路で、残りの(n-1)本はN%迂回路である。ここで、最短経路とは出発地から目的地までの距離が最短かつ、右左折の回数が最小のものである。N%迂回路とは、最短経路と同じく出発地から目的地までを結ぶ経路であり、その経路長が最短経路の経路長のN%増までに抑えられているような経路である。このような経路はいくつも考えることが可能であるが、本稿では出発地と目的地の間から無作為に1点中継点を選び、出発地から中継点までを結ぶ最短経路(最短経路1)

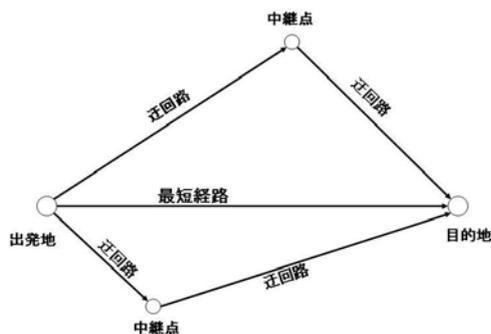


Fig. 3 N%迂回路

とその中継点から目的地までを結ぶ最短経路 (最短経路2)、この最短経路1と最短経路2をつないだ経路の経路長が出発地と目的地を結ぶ最短経路の経路長のN%増までに抑えられていたならばこの最短経路1と最短経路2をつないだ経路をN%迂回路の中の1つとして採用することにした(図.3).

3.2.2 渋滞の影響の指数化

近々渋滞する恐れがある度合いを示す指標として渋滞指数を導入する。

交通密度と交通量の関係により、交通密度が大きくなればそれにほぼ比例して交通量も増加する。しかし、ある交通密度になるとそれ以上交通量が増加しない限界点(臨界交通量)が現れる。この臨界交通量を越えてその道路に自動車が入り込んだときに渋滞と定義する。

いま図.4のような交差点を考える。この図において中心から西へ伸びる道路をa、北へ伸びる道路をb、南へ伸びる道路をc、東へ伸びる道路をdとする。aからdへ向かう車線のdで渋滞が発生しているとする。aからdへの交通量をA、bからcへの交通量をB、cからdへの交通量をCとすると、各道路への渋滞の影響は次のように指数化される。

aの車線は w_A 、bの車線は左折する車が影響を受けるので $w_L B$ 、cの車線は右折する車が影響を受けるので $w_R C$ となる。

このように渋滞箇所の周辺の道路に渋滞指数という重みを加えていくことにした。

また、地点Aから地点Bをつなぐ経路が与えられたとき、経路上の道路の渋滞指数のシーケン

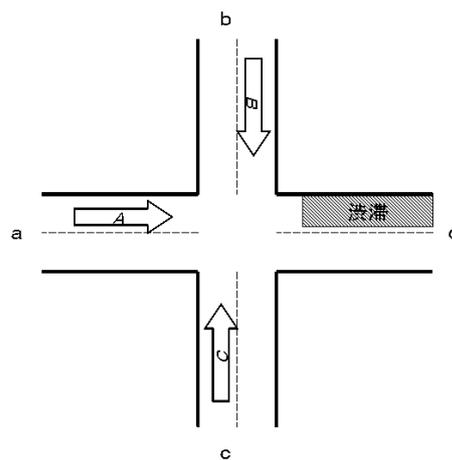


Fig. 4 交差点における渋滞影響の指数化

ス $\langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle$ から、経路の渋滞指数 w が求められるものとする。 $\langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle$ から w を求める式はいくつか考えられるが、現在は $\langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle$ の平均値を w にすることを考えている。

3.2.3 経路の選択手順

経路選択手順の基本的な考え方は、

1. 現在走っている経路上に渋滞があれば迂回する。
2. 現在走っている経路上に渋滞が無くても周囲に渋滞箇所があれば現在自分が走っている経路をゆずり、周囲で発生している渋滞緩和に利用する。というものである。具体的な選択の手順を示す前に副経路の説明を行う。3.2.1節で考えたk本の経路候補がある。各々の経路の1ブロックはなれた経路を副経路と呼ぶ。例えば、図.5において、ある経路が S_{main} のとき、 S_{sub1} と S_{sub2} が副経路となる。

それでは以下に手順の説明を行うが、n本の経路候補として $S_{main}, B_1, \dots, B_{n-1}$ があり、これらの経路候補の副経路として $S_{sub1}, S_{sub2}, B_{1_{sub1}}, B_{1_{sub2}}, \dots, B_{n-1_{sub1}}, B_{n-1_{sub2}}$ があるものとする。

処理手順

- (1) 各経路とその副経路の渋滞指数 $w_{S_{main}}, w_{S_{sub1}}, w_{S_{sub2}}, \dots$ および $w_{B_1}, w_{B_2}, \dots, w_{B_{n-1}}$ を算出する。
- (2) 現在使用している経路に渋滞箇所があるかどうか判断

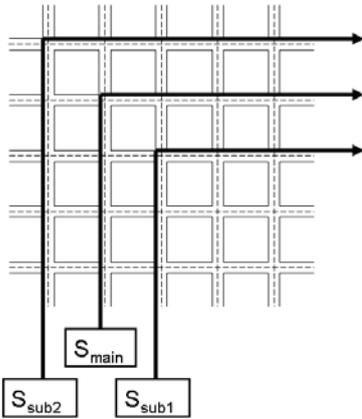


Fig. 5 副経路

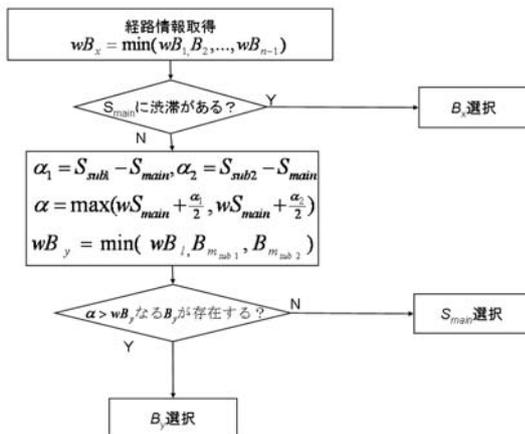


Fig. 6 経路選択手順のフローチャート

する

(2.1) 渋滞箇所がある場合,

$w_{B_x} = \min(w_{B_1}, w_{B_2}, \dots, w_{B_{n-1}})$ なる経路 B_x に変更.

(2.2) 渋滞が無い場合. $\alpha_1 = w_{S_{sub1}} - w_{S_{main}}, \alpha_2 = w_{S_{sub2}} - w_{S_{main}}$ を求め,

$\alpha = \max(w_{S_{main}} + \frac{\alpha_1}{2}, w_{S_{main}} + \frac{\alpha_2}{2})$ を算出する. α 以下の $w_{B_l}, w_{B_{m_{sub1}}}, w_{B_{n_{sub2}}}$ を挙げ, $w_{B_y} = \min(w_{B_l}, w_{B_{m_{sub1}}}, w_{B_{n_{sub2}}})$ なる経路 B_y に変更する. そのような B_y が存在しない場合現在の経路をそのまま使用する.

図.6 は上記の手順をフローチャートで示したものである.

3.3 期待される効果

以上の経路選択により次のような効果が期待される.

従来の VICS カーナビでは個々に配信される情報が同じ情報であったため, 渋滞を避けようとしてドライバーが同じ経路を選択し, その経路で再び渋滞が発生してしまうことが考えられる. 提案法では個々が取得する情報が異なり, 個々にとっての最適な経路を選択するため, 同じ迂回路に自動車が集中する可能性が少ない. また, 渋滞の指数化により, 渋滞する恐れがある経路を迂回することにより, 渋滞の拡大を防ぐことができる. さらに, 渋滞緩和のために役立つと思われる道路の使用を控えることも渋滞の拡大を防ぐことに効果を挙げていると思われる.

4 まとめと今後の課題

本論文では, 車車間アドホック通信を用いて自動車同士で通信を行い, そこで得た情報を基に各車両が経路を選択して渋滞の緩和を図る手法を提案した.

今後は提案手法の有効性を示すためにシミュレーション実験を行う予定である.

参考文献

- 1) 国土交通省: “全国の渋滞状況”
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/data/jutai/index-d.html>
- 2) 国土交通省: “VICS のシステム概要”
<http://www.its.go.jp/etcvics/vics/>

- 3) Takashi Oka, Shinji Inoue, and Yoshiaki Kakuda: *“An adaptive automobile control system using scheduling by imprecise computation and multiagent-based traffic information exchange and its experimental evaluation”* Proc. 24th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ADSN2004), pp.610-615 (March 2004)
- 4) 山下 倫央, 車谷浩一: “道路交通流の円滑化に向けた情報共有に基づく協調カーナビの提案” 情報処理学会研究報告、2006-ITS-25, pp63-70
- 5) 福田 正, 武山 泰, 堀井 雅史, 村井 貞規, 遠藤 孝夫: “新版交通工学” 朝倉書店 2002