

期待混雑度を用いた信号と車両制御による渋滞緩和策の検討

加藤了也[†] 田学軍[†] 井手口哲夫[†] 奥田隆史[†]

現在、交通渋滞を緩和する方法として路車間や車車間通信を用いた様々な研究が行われている。その中に信号制御による渋滞緩和の方法がある。信号制御とは、道路の混雑状態に応じて信号のパラメータを調整することによって渋滞を緩和するといった方法である。しかし、信号制御のみを行った場合、交差する車線の両方向が混雑してしまった場合、その制御がお互いに衝突してしまい、制御の矛盾が生じてしまう。そこで、本稿では、制御の矛盾が生じた場合に、新たに車両制御を行うことによって、制御の衝突を回避する方式を提案し、シミュレーションによって評価をする。

Alleviating Traffic Congestions by Controlling the Signal and the Route Using Index of Expectation Congestion

Ryoya Kato[†] Xuejun Tian[†]
Tetsuo Ideguchi[†] Takashi Okuda[†]

Various studies have been conducted under the condition of road-vehicle-communication and inter-vehicle communication as a method to ease traffic congestion. As a convention method, much research works focus on signal control, which alleviate traffic congestion in a way of adjusting the parameters of the signal according to traffic conditions. However, only by this method, if in the case that both lanes of two directions are busy at crossroad, signal control will be invalid, and control of conflict will arise. In this paper, we propose a new control scheme in which route control is used as well as signal control to achieve effectively running. We evaluate our proposal by simulation and show its validity.

1. はじめに

日本において、自動車の台数は年々増加しており、それに伴い交通渋滞も増加の傾向にある。渋滞の発生は経済的な損失や、二酸化炭素の排出による環境への影響など、さまざまな問題が懸念されている。そのため、ITS(高度道路交通システム)に関する研究が様々行われている。国規模で交通渋滞の対策を進めているものもある。その一つが高速道路における、ETC^[1]の導入である。その他に、企業単位では NEXCO 東日本による、事前の渋滞予測情報の提供^[2]などがある。

渋滞となる要因には、交通の集中や、交通容量の制限など各道路の交通容量よりも進入する車両が上回った場合に発生する。それに対して、渋滞を緩和する方法としては、交通容量の増加や、交通制御などが考えられる。交通制御の方法の一つに信号制御がある。信号制御には、交通状況に応じて予め定めた様々な信号表示パターンどおりに信号を表示させるものや、交通流動的制御を用いた、交差する道路の交通量の大小により信号の各パラメータを変更する方法^[3]などがある。しかし、これらの方法では現在の道路状況から制御の判断を行うため、場合によっては、渋滞が実際に起こってしまっからの制御となってしまう。そこで、現在から将来までの混雑状況を表す指標である、期待混雑度というものがある。期待混雑度を用いることによって、将来の混雑状況を予測し、事前に信号を制御する方法がある^[4]。

しかし、信号制御を行う際に問題点がある。それは、交差する車線の両方向が混雑してしまう(混雑が予測される)場合に、それぞれの方向をプラスに制御しようとするために、制御の矛盾が生じてしまう。

そこで、本稿では、期待混雑度を用いることによって、将来の混雑状況を予測し信号制御を行い、制御の矛盾が起こってしまう場合に、車両制御を行うことによって、制御の矛盾を解消する方式を提案する。車両制御は、車両毎の目的地までのルートを変更することによって、混雑が予測されている交差点へ流入する車両の数を変更することによって、混雑を回避する制御方法である。

2. 渋滞の緩和策と問題点

2.1 交通渋滞

道路には交通容量があり、車両が単位時間当たり通過できる最大数である。そのため交通量が増加すると、交通容量を超えてしまい必然的に渋滞の発生率は増加してしまう。

[†] 愛知県立大学情報科学部情報システム学科
School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

こういう問題を解決するため、近年では、さまざまな交通整理や制御を行うことによって交通の流れを良くする提案および実装が行われている。

2.2 渋滞緩和策

渋滞緩和策には、たくさんの方が提案されている。ITS(高度道路交通システム)に関する研究が様々行われており、実用化された代表的なものには、国家規模で行われている高速道路の料金所に設置されているETCである。その他にも道路環境の変更、信号の制御、車両の制御などがあげられる。この章では、取り組まれている対策をいくつか紹介する。

・道路環境の変更

道路環境の変更には、現状の道路を改良することによって、交通容量を増加させることによって渋滞のボトルネックとなっている箇所を改善する方法である。

(1) 交差点部の車線数増加

交差点部の車線数を増やす事によって、交通容量を増やす方法。単純に、車線数が多くなると交通容量も増えるため、車が集中する交差点に有効的と言える。実際の道路においても右折車が多い交差点においては、右折車線を2車線設けることによって直進車線の交通流の妨げを減少させているところもある。

(2) 交差点や踏切の立体交差化

交差点における飽和交通容量は、有効青時間によるため、交差点や踏切などの赤信号時間(停車時間)を立体交差化することによってなくし、交通流の円滑を図る方法。すべての車線を立体交差化するのではなく、バイクや普通自動車のみが通行できる小型車専用立体交差の導入^[5]が期待されている。

(3) 高速道路のETC導入

国規模での、渋滞緩和策。高速道路において、渋滞が発生する箇所の代表的な場所に料金所があげられる。料金所は、料金を払うためどうしても一時停止が必要となってしまうため、渋滞のボトルネックとなっている。そのため料金所の通過を円滑にするために導入されたのがETCである。ETCは、料金所を無線通信によって、停止することなく通過できるため、料金所の渋滞を解消することができる。

・信号の制御

一番実地できる方法である。交差点の信号のパラメーターを変更することによって、交通流の円滑化を図り、交通渋滞を緩和する方法である。

交差点において、1車線の飽和交通容量は有効青1時間あたり、基本値として直進車線では2000(台)、右左折車線ではそれぞれ1800(台)とされており、歩行者や路面の状況によって変わる。そのため信号のパラメーターを変更することによって、交通量の多い方向は時間を長く、少ない方向は短く設定することによって、交差点全体の交通容量を増やすことができる。

(1) パターン選択法

混雑状況に応じて予め定めた様々な信号表示パターンから最適なものを表示させる方法。交差点の混雑状況で、交通量の多い方向の信号青時間が長いパターンの表示をすることによって交通の円滑を図る。

(2) 交通流動的制御

信号交差点において、交差する道路それぞれの交通量の大小を比較し、その大小に応じて信号のパラメーターを変更することによって混雑を解消する方法。

・車両の制御

各車両の目的地までのルートを制御することによって、交通の集中による渋滞が発生している箇所への流入量を減少させることによって渋滞を解消させる方法。

(1) わき道の利用

あまり使われていない道路を有効的に活用することによって、その地域全体の交通容量を増やす。平野には網状に道路が敷かれているが、幹線道路などは使用率が高いが、生活道路などあまり使用されていない道路が多く存在する。そのような道路を使用することによって、交通流の集中を防ぎ渋滞を緩和することができる。

(2) 渋滞情報の提供

カーナビなどによって、先の渋滞状況を提供することによって、事前に渋滞地域をさけて目的地へ行くことが可能。また、渋滞地域への流入量を減少させることができるため、渋滞の緩和がされる。

2.3 問題点

渋滞緩和策にはそれぞれ問題点がある。道路環境の変更によって渋滞緩和を目指す場合、拡張工事やETCレーンの設置など、大がかりな工事が必要なため現実において実行性が低くなってしまふ。そのような点から立体交差化においても、コストが少ない小型車専用立体交差が期待されている。続いて信号制御によって渋滞を緩和させる場合の問題点は例を用いて説明する。

「例：交差する両方向(例:東西方向, 南北方向)の車線が混雑している場合、以下のような手順で制御を行う。手順1.東西方向の青時間増加, 手順2.南北方向の赤時間増加⇒南北方向の混雑増加, 手順3.南北方向の青時間増加, 手順4.東西方向の赤時間増加⇒東西方向の混雑増加, 手順1へ。」このように制御の矛盾が発生してしまいうまく混雑の解消にならない場合がある。

車両制御によって渋滞を緩和させる場合、車両に情報を届ける方法に問題点がある。情報の通信方法には大きくわけて路車間通信と車車間通信の2種類ある、それぞれの通信方法の特徴を以下の表1に示す。

表1：路車間通信と車車間通信の方法と特徴

通信の種類	方法	特徴
路車間通信	車両と路側機が通信することによって情報のやり取りをする方法。	車車間通信に比べて実用性が高いが、ETC導入のように大がかりな工事が必要となる。 基地局など情報を管理する場所をかいするため、情報のリアルタイム制が損なわれる。
車車間通信	車両同士が直接通信を行うことによって情報のやり取りをする方法。	通信機を車両に搭載することで実用できるため普及は容易である。 複数の車両から通信を行った場合に、通信できない場合や遅延が生じるなど、様々な問題点があるため研究の開発が必要。 直接情報のやり取りを行うため、情報のリアルタイム制が高い。

現在は、路車間通信が実現されているが、情報のよりとりにリアルタイム性が欠けがちで、渋滞を回避する前に渋滞に巻き込まれてしまう場合がある。また、すでに起こっている渋滞に関する情報は価値が落ちる。渋滞が起こりうる道路を予測する方法の一つに期待混雑度^[6]を用いた方法がある。

3. 期待混雑度

期待混雑度とは、各車両の目的地までのルートに基づき算出された数値であるため、現状を含んだ将来の混雑状態を表す指標である。

3.1 経路選択情報

各車両は、出発地から目的地までの経路長の最短経路を選択するものとし、その際に混雑情報は考慮しないものとする。また、最短経路の選択する方法としては、図1に示すように、ダイクストラ法^[7]を使用する。円がノード、Sがスタート、Gがゴールとした場合に、各ノード間に重み(距離)によってSから各ノードまでの最小値(最短距離)を順に求めていき、Gまで最小値で到達できた経路を選択する。また、選択した経路情報は(S, S₃, S₅, G)のように表す。

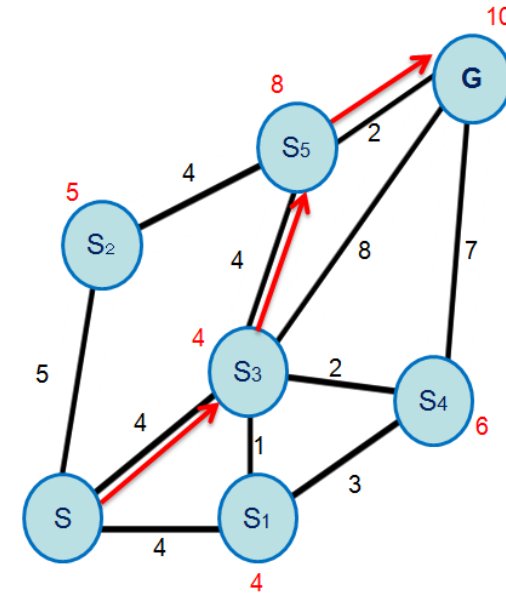


図1：ダイクストラ法による最短経路

3.2 期待混雑度の算出方法

期待混雑度の算出手順を以下に示す。

- (1) 各車両の経路情報より、各ノード間の各リンクに通過重み $PW(\text{Passage Weight})$ を算出する。通過重みは以下の式(1)で定義される。 l は対象のリンク番号、 s は経路情報上に存在するリンクの総数、 t は目的地から現在地までの

各リンクに 1 から s を昇順に割り当てる.

$$PW(l) = \frac{t}{s} \quad (1)$$

以下に例を示す. 図 2 において, 車両 1 の経路はノード $S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5$ であるため, リンク $5 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ となり. リンクの総数 s は 5 となる. よって通過重み PW は以下の式(2)となる.

$$PW(1) = \frac{1}{5}, PW(2) = \frac{2}{5}, PW(3) = \frac{3}{5},$$

$$PW(4) = \frac{4}{5}, PW(5) = \frac{5}{5}. \quad (2)$$

同様に車両 2 についても算出する.

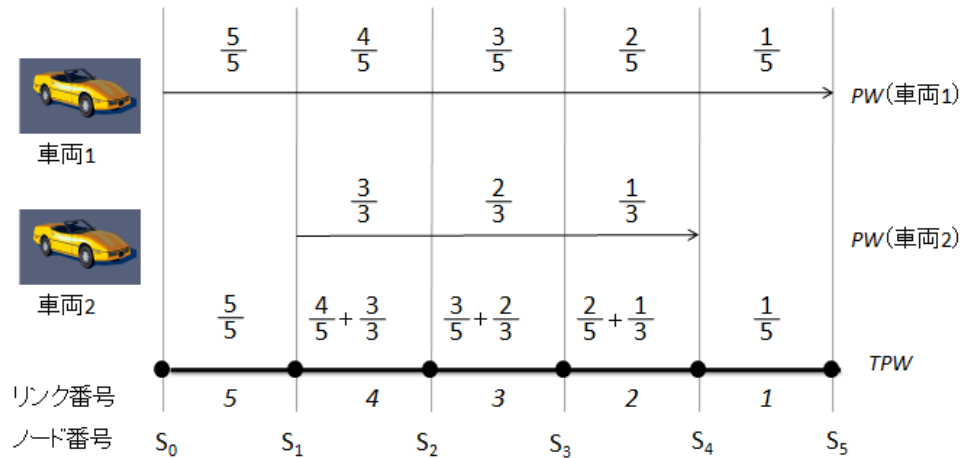


図 2 : 各リンクの通過重みと期待混雑度の算出例

(2) 各車両の通過重み PW を用いて, 各リンクの期待混雑度 ETC (Expected Traffic Congestion)を算出する. 期待混雑度 ETC の算出方法は以下に示す式(3)のように, リンク毎に各車両の通過重みの総和 TPW に変数 α 乗となっている. 式中の変数 α ($\alpha \geq 1$)は, 将来の混雑度の影響を調整するもので, α を大きくすると, 近い未来の混雑度の重みが大きくなるため, 近い将来を考慮した値と

なる.

$$ETC(l) = \sum PW(l)^\alpha \quad (3)$$

4. 提案方式

本稿では, 2 章で述べた信号制御の問題点である制御の矛盾を考慮し, 期待混雑度を用いることによって, 将来の混雑予想による制御が可能となるため, 2 章で述べた車両制御の問題点を克服することができる, 信号制御と車両制御の両方を用いる方式を提案する.

4.1 期待混雑度を用いた信号と車両制御

制御は, 交差点(ノード)に隣接する各道路(リンク)の期待混雑度によって実施する. 信号制御では, サイクル長, スプリット比率(信号 1 サイクルあたりの青時間の比率)を, 車両制御では, 目的地までのルートを再検索する.

- ・サイクル長の制御
 - ある交差点の全方向(EWNS)の合計の期待混雑度と閾値 θ_1 との大小を比較する.
 - (1) 閾値 θ_1 以上だった場合
信号のサイクル長を x だけ増加させる.
 - (2) 閾値 θ_1 より小さかった場合
信号のサイクル長を x だけ減少させる.
- ・スプリット比率の制御
 - ある交差点の東西方向(EW), 南北方向(NS)それぞれの合計の期待混雑度 $ETC(EW), ETC(NS)$ が閾値 θ_2 より大きいか小さいかを判別する.
 - (1) 両方 θ_1 より小さかった場合
制御を行わない
 - (2) どちらか片方が大きかった場合
大きかった方の信号のスプリット比率を y 増加させ, 小さかった方の信号のスプリット比率を y 減少させる.
 - (3) 両方 θ_1 より大きかった場合
それぞれの期待混雑度 $ETC(EW), ETC(NS)$ の大小を比較し, 大きかった方のスプリット長を y 増加させ, 小さかった方のスプリット長を y 減少させる.

・車両制御

スプリット比率の制御の(2)において、期待混雑度の小さかった方へ将来侵入する予定がある車両に対して、ルートの変更を実施する。ルートの変更においては、対象となっているリンクを除いたリンクをたどるものとする。ただし、ルートの変更は、車両が一番近い信号を渡った後に実行するものとする。

ルートを変更する車両数は期待混雑度の大きさによって定められており、一度車両制御を行ったリンクは、1サイクルの間車両制御を行わないものとする。

5. シミュレーション

本稿では、4章で述べた方法のうち信号制御のみを、簡単なモデル図を用いてシミュレーションを行い、期待混雑度による信号制御の渋滞緩和に対する評価を行う。

5.1 環境

以下の表2に今回シミュレーションを行うにあたってのパラメーターを、図3にモデル図を示す。

モデル図は一辺120マスの正方形で、3×3の9つの信号交差点が存在している。信号のパラメーターは青:15, 黄:5, 赤:20となっており、信号の間隔は30マス(600m)の等間隔となっている。道路は片側1車線の道路で交差点部に右折専用の車線が設けてある。図3中の青い丸が各車両で、緑や赤が信号の色を表している。

表2: 各種パラメーター

モデル図	120×120 (1マス20m)
信号	30マス間隔の縦3つ横3つの9つ
車線	片側1車線の交差点部, 右折専用車線あり
信号サイクル	青15ステップ, 黄5ステップ, 赤20ステップ秒のサイクル長40ステップ
α	1
θ_1	サイクル長
θ_2	10
x	5
y	10%

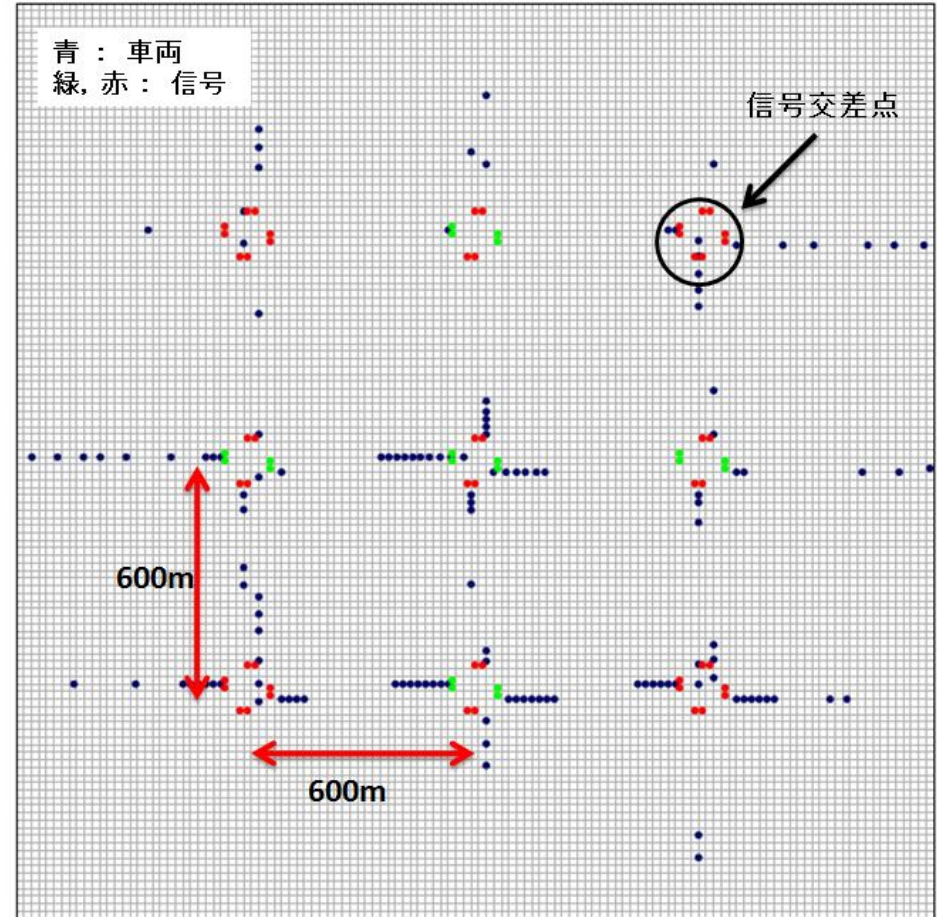


図3: シミュレーションモデル図

5.2 結果

下の図4は、信号制御を行った場合と何も行わなかった場合の、全体の車用総数毎の平均旅行時間を示している。

結果より期待混雑度を用いて信号制御した場合、制御しない場合よりも、平均旅行時間が減少していることから、信号制御によって渋滞が緩和できていることがわかる。車両総数毎に見ると、制御なしの場合の増加量と制御ありの場合の増加量は、

制御ありの場合の増加量のほうが緩やかになっている。このことから、信号制御は車両台数が多くなるにつれて、効果があることがわかる。

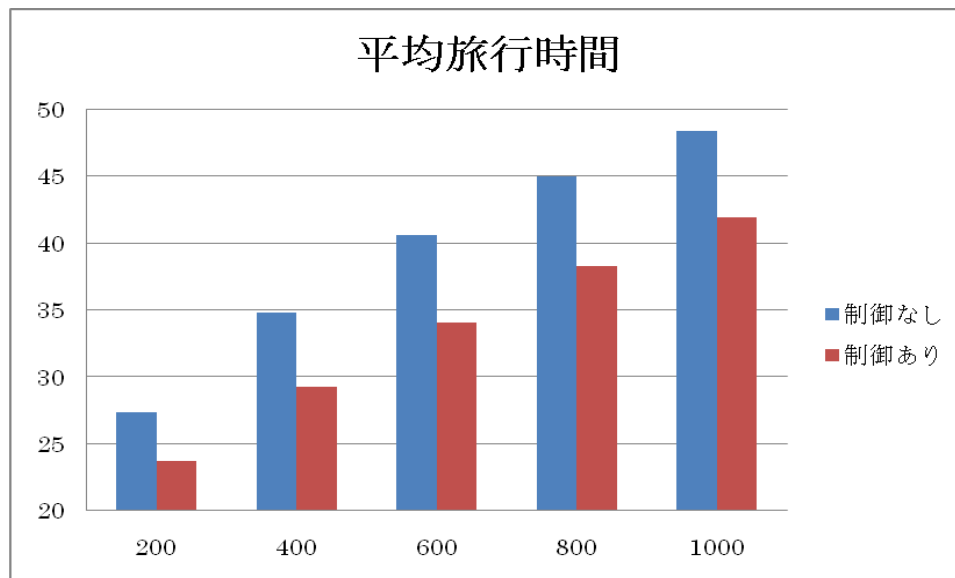


図4：制御ありと制御なしの平均旅行時間

6. おわりに

本研究では、信号制御での問題点を車両制御で補い、また期待混雑度という指標を用いることによって現在を含む将来の混雑を予想した信号、車両制御の手法を提案した。

本稿では、今回のシミュレーションで、簡単なモデルにおいて期待混雑度を用いた信号制御の効果をみる事ができた。本研究の目的は、提案方式でもある車両制御も加えたシミュレーションをすることによって、最適な制御を行い、渋滞を緩和及び防ぐことである。今後、簡単なモデルにおいて車両制御を加えた提案手法の評価を行っていき、最終には、現存するマップでシミュレーションをおこない、実道路環境での有効性を検討していきたいと思う。

謝辞 本研究の一部は、平成 22 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (20300030) の支援を受けて行った。

参考文献

- 1) 情報処理 Vol40 NO.10, 特集 ITS 情報処理学会 (1999) P.987-P.988.
- 2) EXTEC No.84, NEXCO 東日本における渋滞緩和策の取り組み-お客さまの快適なドライブをサポートする渋滞予測情報の提供-, NEXCO 東日本本社・関東支社.
- 3) 柴田貴範: 交差点上の交通流動的制御方式の検討, 愛知県立大学情報科学部地域情報科学科, 平成 19 年度卒業論文(2008)
- 4) 江澤広泰, 向直人: 期待混雑度を用いた交通信号の最適化, 第 10 回 MAS コンペティション
- 5) 福田敦, 小田崇徳, 石坂哲宏, 室井寿明: 交通社理から見た交差点への小型車専用立体交差導入の評価, 国際交通安全学会誌 Vol. 30, No. 2, 2005年8月
- 6) 山下倫央, 車谷浩一, 中島秀之: 交通流の円滑化に向けた協調カーナビの提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No.1, pp.177-187, 2008
- 7) ダイクストラ法(最短経路問題), "<http://www.deqnotes.net/acmicpc/dijkstra/>"