

経路情報共有によるリアルタイム交通信号制御法

Real-time Traffic Signal Control based on Routing Information Sharing

江澤 広泰[†]
Hiroyasu Ezawa向 直人[‡]
Naoto Mukai

1. はじめに

近年、自動車保有者の増加に伴い、都市における交通渋滞の深刻化が重要な問題となっている。本稿では、信号待ちによる交通渋滞を緩和するために、交通信号制御の最適化に注目する。現在の交通信号制御では、各信号の周辺混雑状況を考慮し、予め用意された制御パターンから最適なパターンを選択している。また、これまで、遺伝的プログラミングなどを用いて、隣接信号の状況を考慮した広範囲の交通信号制御手法が提案されている[1]。しかし、従来手法は交通状況の学習時間が必要であり、時々刻々と変化する交通状況にリアルタイムに対応することは難しい。そこで、本研究では、各車両の経路情報を共有することで、信号間の協調動作を制御し、交通流を動的に最適化するシステムを提案する。

2. 交通信号制御問題の定式化

本章では、本稿が対象とする交通信号制御問題を定式化する。また、車両間で共有される経路情報について述べ、期待混雑度を定義する。

2.1. 信号パラメータ

信号を制御するための各種パラメータについて述べる。

- サイクル長
各信号で各表示(青,赤)が一巡するのに要する時間。
- スプリット
1 サイクル中に、各表示に割り当てられる時間(サイクル長に対する比)。
- オフセット
信号間でのサイクル開始時間のずれ。協調動作を要求した信号を基準に計算される。

2.2. 信号・道路間の構成

信号と道路の関係について述べる。各信号は自身に流入するリンクの混雑状況を基に制御パラメータを決定する(リンクは信号間の道路を表す)。図1では、 $link_{01}$, $link_{02}$, $link_{03}$, $link_{04}$ が、信号 S_0 の管理対象リンクとなる。また、管理対象リンクにおいて、信号表示を同期させるリンクの組を同期グループとする。図1では、 $\{link_{01}, link_{03}\}$, $\{link_{02}, link_{04}\}$ が、同期グループとなる。

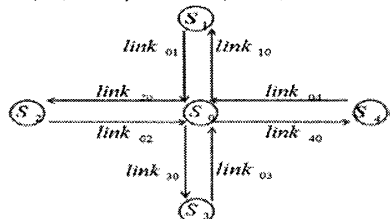


図1 信号・道路間の構成例

2.3. 経路情報と期待混雑度

期待混雑度は、山下ら[2]によって提案された、現状を含んだ将来の混雑度を表す指標であり、以下の手順で算出される。

[†] 東京理科大学大学院 工学研究科 電気工学専攻

[‡] 東京理科大学 工学部第一部 電気工学科

(1) 各車両は定期的に予定されている自身の経路情報をサーバに送信する。

(2) 各車両の経路情報から、各リンクの通過重み PW を算出する。例えば、図2において、 $driver_1$ の経路は $link_4 \rightarrow link_3 \rightarrow link_2$ であり、現在地から目的地まで3つのリンクを含んでいる。この時、各リンクの通過重み PW は、経路に沿って降順に割り当てた重み係数を総リンク数で除算することで算出され、 $PW_4=3/3$, $PW_3=2/3$, $PW_2=1/3$ となる(近い将来に通過するリンクの重みを相対的に大きく設定する)。

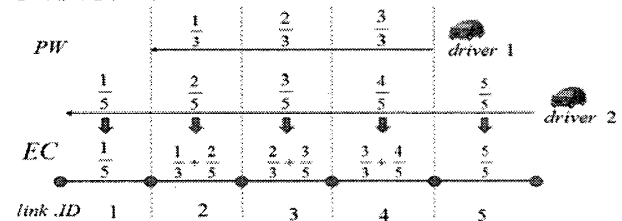


図2 期待混雑度の算出例

(3) 通過重み PW を用いて、各リンクの期待混雑度を算出する。リンク l の期待混雑度 EC_l は、式(1)に示すように、リンク l の通過重み PW の総和で与えられる。変数 a は、将来の混雑度の影響を調整するパラメータである。例えば、 a の値を大きくすると、期待混雑度は近い将来の混雑度を表し、逆に、 a の値を1とすると、期待混雑度は将来の混雑度を考慮した値となる。

$$EC_l = \sum PW_l^a \quad (a \geq 1) \quad (1)$$

3. 経路情報を利用した信号制御

従来手法の多くは強化学習を用いて協調動作を決定している。しかし、パラメータの学習期間が必要であり、予期せぬ交通状況の変化には対応できない。そこで、本稿では、現在から将来のおおまかな混雑状況(期待混雑度)を用いることで、動的に信号間の協調を実現する手法を提案する。期待混雑度が高い交差点では、車両の集中が発生するため、時間経過と共に、隣接信号に車両が移動していくことが予想される。そこで、期待混雑度が高い信号と周辺信号が協調することで、交通全体の信号待ち時間減少を試みる。また、同時にサイクル長、スプリットについても期待混雑度を用いて制御する。

3.1 サイクル長・スプリットの制御

各信号はサイクルの終了時に、期待混雑度 EC を用いて、サイクル長・スプリットを決定する。

● サイクル長の制御

各信号において管理対象リンクの EC の平均を算出する。平均 EC が、現サイクルでの最大通過可能車両数(1 サイクル中に信号下を通過できる車両数)より大きい場合はサイクル長を増やし、小さい場合はサイクル長を減らす。

● スプリットの制御

各信号の同期グループにおいて、 EC の合計を算出する。グループ間で合計 EC の差が一定値以上

の場合は、合計 EC の小さいグループの青表示時間を減少させ、減少分を合計 EC の大きいグループの青表示時間に加算する。

3.2. オフセットの制御

各信号はサイクルの終了時に、期待混雑度 EC がリンクの車両許容量を超える場合には、隣接信号に対し、協調動作を要求する（リンクの車両許容量とは、リンクの長さ按比例した値であり、リンクを同時に通行可能な車両の最大数を表す）。また、期待混雑度 EC が閾値以上の場合にも動作を要求する。図3にオフセット制御における信号間の協調動作を示す。

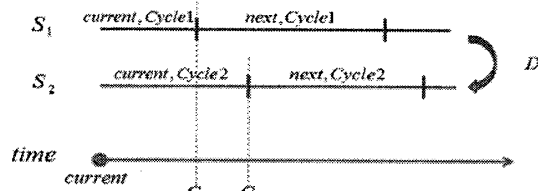


図3 オフセットの算出

協調動作を要求する信号を S_1 、協調対象となる信号を S_2 とする。また、各信号の現サイクルが一巡する時刻を C_1 , C_2 、信号間の距離を D 、信号間の平均速度を V とする。このとき、信号間のオフセット O は以下の式で算出する。

$$O = C_1 - C_2 + D/V \quad (2)$$

対象信号は、サイクル長をオフセットの値だけ増減させ、その後、スプリットを要求信号の値に同期する。またオフセット値が大きい場合には、急激な変化を避けるため、複数サイクルに分け、値を調整する。

4. シミュレーション

4.1. 信号モデル

本稿では、固定信号、サイクル・スプリット制御（C-S制御）、オフセット制御（O制御）、C-S制御+O制御を比較する。固定信号はサイクル長、スプリットの標準値で信号制御する。オフセットの最適化により、局所的な交通流の改善が期待できるが、混雑状況の変化により、周辺信号での交通流が悪化する可能性がある。このため、O制御にC-S制御を組み合わせることで、オフセットによる周辺交通状況の悪化を防ぐ効果が期待できる。

4.2. シミュレーション環境

皇居周辺・約5km四方の主要幹線道路図上(図4)に、ランダムに車両を流入させ、一定車両数が目的地に到着するまでの車両の平均待ち時間を比較した。

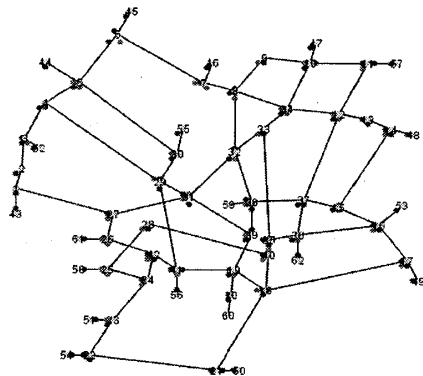


図4 シミュレーション環境

4.3. シミュレーション結果

図5は各信号モデルにおける車両の平均待ち時間を示している。提案するC-S制御、O制御では、固定信号と比べ、待ち時間が改善されていることがわかる。しかし、O制御とC-S制御と組み合わせてもC-S制御と同等程度の結果しか得ることができなかった。これはO制御を優先することで、サイクル長、スプリットの修正ができなくなることが原因であり、協調動作における閾値の調整が必要であることを示している。

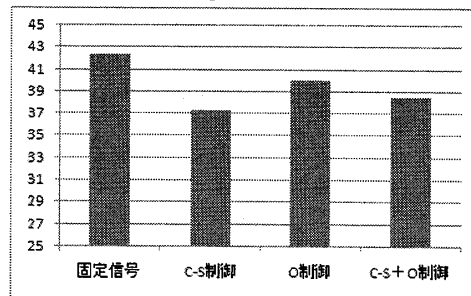


図5 各信号モデルの平均待ち時間

図6は、O制御における閾値を変化させた場合の平均待ち時間を示している（O制御・1よりもO制御・2が信号間で協調しやすい）。協調動作の閾値を最適化することによって、C-S制御単体よりも、C-S制御とO制御と組み合わせることで、よい結果が得られる可能性があることが分かる。

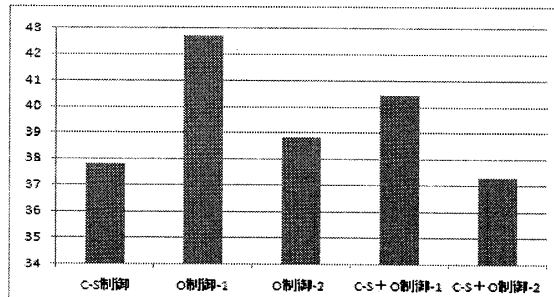


図6 平均待ち時間（O制御閾値）

5. 結論

本研究では、車両の経路情報から将来的な混雑度を予測することで、リアルタイムな交通状況を反映する信号制御手法を提案した。またシミュレーションでは、提案手法が待ち時間を改善し、交通流の最適化に効果があることを明らかにした。

今後の課題は、O制御の開始条件（閾値）の最適化と、協調動作後のパラメータ調整である。また、今回のシミュレーション環境では、車両集中による移動速度の減速を考慮していない。より現実的なシミュレーション・モデルを構築する必要がある。

参考文献

- [1] 熊谷潤一, 小島康夫, 高重聡一, 亀谷由隆, 佐藤泰介: 頻出部分木発見法を用いた遺伝的プログラミングの交通信号制御法への適用, 人工知能学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 127-139, 2007
- [2] 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巻, No. 1, pp. 177-187, 2008