

マルチエージェント信号制御メカニズムによる グリーンウェーブ制御法の提案と評価

Proposal and Evaluation of Green Wave control method based on multi-agent signal control mechanism

高橋光紀 *1 篠田孝祐 *1 諏訪博彦 *2 栗原聡 *1
Kouki Takahashi Kosuke Shinoda Hirohiko Suwa Satoshi Kurihara

*1電気通信大学大学院情報システム学研究所
Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

*2奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Traffic congestion is a serious problem in urban life causing social problems such as time loss, economical loss, and environmental pollution. we propose a multi agent based traffic light control framework for intelligent transport systems. We proposed a traffic light control framework based on a multi-agent paradigm to react to dynamic traffic flow, decrease the number of cars stopping at a red light, and adaptively form a green-wave control group. However, in this model in some cases it is difficult to effectively control the traffic flow in certain conditions. Traffic signal control has proposed a control to unify the split of the Green Wave. Simulation results, the proposed method has a good results.

1. はじめに

近年の都市部にて恒常的に発生する交通渋滞は、ドライバーの時間的損失だけではなく、輸送の遅れに伴う経済的損失や燃料消費の増加、さらには排気ガスの排出による環境汚染などの主要な原因として指摘され、早急な解決が求められている。交通渋滞解消のアプローチとして最適な交通情報の提供手法や信号制御システムの改善がある [1]。一般的な道路の場合、交通渋滞が起こりうる起点として、交差点がある。交差点では様々な方向からの車の通過を制御する必要があり、そのために交差点に設置される制御器が信号機である。交差点での交通流を滞留させることなく制御するには、信号機を制御するパラメータ値を適切に操作する必要がある。しかしながら、朝夕のラッシュ時と昼間では交通量が大きく異なるように、交通流は時間の経過とともに変化する。また、突発的な事故や、イベントの開催などでも、交通流に変化が生じる。そのため、信号機の制御パラメータ値を交通流の変化に応じて動的に操作することが全体的な最適化には欠かせない。以上のような問題に対し、GAを用いたパラメータの最適化を行う手法や、強化学習と関数近似アルゴリズム、またはファジィ制御を組み合わせた制御を行うことで対応する手法が提案されている [2][3][4]。更に、適応信号制御について実環境で試験をする研究や、振動同期を用いた交通信号機制御法など、多様な研究が行われている [5][6]。その他には、プローブ情報を用いた異常検出の提案や、車両や歩行者の位置、進行方向を活用した制御システムの提案など、新たな交通流検出技術の活用による交通流の制御も行われている [7][8]。しかし、これらの研究では小規模な道路ネットワークや限定的な環境の検証にとどまっており、現実の様々な道路ネットワークに導入する際には、計算コストやアルゴリズムの最適化、実環境における交通流検出精度の検証などが問題として考えられる。そこで、我々は、これまで各交差点に存在する信号機を制御するエージェントを配し、エージェント同

士が協調することで、効果的に交差点同士が連携して信号機制御を行い自律的に信号のパラメータを制御する手法を提案している [9][10]。佐藤らは、ばねモデルを用いたスプリット制御を行うことで、各エージェントが間接的に協調し、低い計算コストと通信コストで即応性の高い制御システムを構築した [9]。白井らは、信号機制御のパラメータとしてオフセットに着目し制御を行っている [10]。各エージェントを直接的に協調させることで、隣接する信号機同士のオフセットを調整し、一定速度にて車が走行すると青信号が続く区間を形成する。その区間において赤信号にて停車せずに進むことができるようにする「グリーンウェーブ」を動的に発生させる。

先行研究では、各エージェントが自律的に動作し、交通流の変化に応じて、動的にグリーンウェーブを形成することを確認した。その効果として、グリーンウェーブを発生させる以前よりも、シミュレーションの領域内の待ち台数が減少した。しかし、先行研究の手法では対向する車両が全く無い、特殊な条件において、安定してグリーンウェーブを形成することが困難であった。そこで、本研究ではそのような状況下においても、交通流を円滑化することが可能なグリーンウェーブ制御方法について提案し、評価を行う。

2. 信号制御手法

一般的に信号制御は現示の決定、制御パラメータの決定の2段階によって行われる [11]。現示 (phase) とは、信号周期のうちある交通流または交通流の組み合わせに対して交通圏を与える表示時間をいう。一般に、現示数を増やして相交錯する交通流を分離する方が安全性が向上するが、現示の切り替え時に損失時間が生じるため、効率が低下し、交通容量が減少する。

信号制御パラメータは、現示を切り替えるタイミングを決定し、サイクル長 (信号1周期の長さ)、スプリット (1回のサイクルで各現示に与えられる時間の比率)、オフセット (近隣交差点の信号機間における、青信号開始時間のずれ) の3種類が使用される。なお、オフセットは、ある共通な基準時間からのずれを絶対オフセットという。

信号制御には、大きく2つの方向に分けて考えることがで

連絡先: 布施太章, 電気通信大学大学院情報システム学研究所,
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1,
E-mail : fuse@ni.is.uec.ac.jp

きる。スプリット制御とオフセット制御である。スプリット制御は、個々の信号機の赤と青の時間間隔を制御し、オフセット制御は隣接する信号機同士での赤や青が開始されるタイミングを制御するものである。

3. マルチエージェントによる信号制御手法

本研究ではマルチエージェントによる信号制御手法について提案し、シミュレーションを使用し評価する。マルチエージェントによる信号制御手法は、各交差点に配置されるエージェントが、自身が管理する交差点に流入する車両数に関する情報と、隣接する交差点に設置されるエージェントから得られる局所的な情報のみを用いてお互いに協調を行い、それぞれが自律的に信号機制御パラメータを調整する。調整するパラメータとしてスプリットとオフセットがある。従来研究として、以下に述べる制御手法について、車の待ち台数と通過時間による評価を行った。その評価を基に、本研究では新たにグリーンウェーブ制御方法について提案する。

3.1 信号制御のためのエージェントモデル

交差点 i を管理するエージェントを A_i とし、 i に隣接する交差点を j とする。 A_i は以下の情報を取得することができる。

1. i と j の距離 $l_{i,j}$
2. i から j に向かう車の交通量 $p_{(i,j)}$ 、および車の速度 $v_{(i,j)}$
3. j から i に向かう車の交通量 $p_{(j,i)}$ 、および車の速度 $v_{(j,i)}$
4. i に設置されている信号機のサイクル長 C_i 、スプリット S_i 、オフセット O_i
5. サイクルの開始時間 T_i 、現在のタイムカウント t_i
6. 交差点 i への交通流の総量は $P_{(i)} = \sum_j p_{(j,i)}$ のように定義する

交通量 p は、サイクル間に通過した車の台数の合計から算出する。 T_i は各サイクルの開始時間である。 t はサイクル時間からの時間の経過を表し、時刻が T_i のとき、 $t_i=0$ である。各エージェントは、各サイクルの開始時にこれらの値を計算し更新する。

3.2 スプリット制御

本研究では、スプリット制御にばねモデルを用いたスプリット制御モデル [9] を用いる。交差点における各エージェントは、各道路の交差点が青信号の状態の時に接続された各道路の交通流の情報を取得する。この情報から、各エージェントは、提案されたばねモデルに基づいて各現示のスプリット比をそれぞれ算出する。

2 現示 (赤信号と青信号) の信号が一般的な十字路の交差点に設置している場合のスプリット制御について考える。この時、2 現示のうち、第 1 現示 $phase_1$ のスプリットが $split[0]$ と定義され、第 2 現示 $phase_2$ のスプリットが $split[1] = 1 - split[0]$ と定義される。交通流は力であると考え、ばねを押すように力が加わる。ばねモデルの式は以下の式 (1) として定義される。

$$K(C - Csplit[0]) + D = K(C - Csplit[1]) \quad (1)$$

C はサイクル長であり、 D は、 $phase_1$ と $phase_2$ の間の交通流の差であり、 K は 1 ステップ中の赤信号で停車している車の台数として定義されるばね定数である。またスプリットは以下の式 (2) として定義される。

$$split[0] = \frac{(KC + D)}{2KC} \quad (2)$$

しかし、式 (2) では $split[0] \geq 1$ もしくは $split[1] \geq 1$ となる場合があり、 $split \geq 1$ では 1 サイクルよりも大きくなるため、信号の現示を変更することができない。従ってスプリットの最大値を 0.9、最小値を 0.1 とする。

3.3 オフセット制御

オフセット制御は、2 つの連続する交差点間の交通流に基づいて算出される。交差点の交通量の総量があらかじめ設定した閾値を越えたエージェントが起点となり、協調の提案が隣接エージェントにパケツリレーの要領で提案されていくことで、グリーンウェーブを形成する一連の交差点集合を動的に組織化する [10]。グリーンウェーブを形成する一連の交差点集合をサブエリアと呼ぶ。各エージェントは自分が管理する交差点での交通量から、次のいずれかの状態 (モード) をとる。

- 起点モード：制御の中心となる
- 従属モード：起点エージェントにしたがって制御を行う
- 独立モード：他のエージェントと協調を行わない

隣接する交差点の信号機間の相対オフセットは、交差点間の道路の交通量から算出する。道路の対向する交通量の偏りが多い方向を優先するオフセットを導入する。ここで、 p_l 多い方向の交通量、 p_s を少ない方向の交通量とし、 γ と δ を閾値としたときに、 $\frac{p_l}{p_s} \geq \gamma$ を満たすとき、すなわち交通量の偏りが大きい場合、相対オフセット O_r を

$$O_r = \frac{L}{v_l} \quad (3)$$

で与える。 L は信号機間の距離を表し、 v_l は交通量の多い方向の車の速度を表す。相対オフセットの値が式 (3) よりも大きいときは、優先する方向の車が交差点に到達する時にはまだ赤信号であり、無駄な待ち時間が生じる。このため式 (3) の値は、相対オフセットの最大値となる。また、 $\gamma > \frac{p_l}{p_s} > \delta \geq 1$ を満たす、交通量の偏りが小さい場合、交差点間の道路の対向する交通量の日に対する 1 次関数の相対オフセット

$$O_r = \frac{L \left(\frac{p_l}{p_s} - \delta \right)}{v_l (\gamma - \delta)} \quad (4)$$

を与える。

4. 提案手法

上記のスプリット制御とオフセット制御を行ったとき、各エージェントが自律的に動作し、交通流の変化に応じて、動的にグリーンウェーブを形成する。スプリット制御、オフセット制御の効果について評価を行った [12]。その効果として、スプリット制御は交通流、交通量の変化に対応し、自律的にスプリットの値を制御していることを確認した。スプリット制御は、現示の長さの特定の方向のみの交通流に対応することは困難であった。オフセット制御は、交通流、交通量の変化に対応し、グリーンウェーブを発生させることで、交通流の円滑化を行った。オフセット制御は、交通量の差に対しても対応が可能であり、特定の方向の交通流を優先的に通過させることができるため、交通量に差がある場合はスプリット制御よりも効果的な制御を行うことが可能であった。

しかし、対向する交通流が無い場合にスプリット制御とオフセット制御を行うと、安定した制御が行えず、通過時間増加した。この要因として、グリーンウェーブを発生させる制御を行うことで、交通量が短期間で急激に変化することが起こり、

スプリット制御、オフセット制御ともに、その変化に対応することが出来なかったと考えられる。そのため、本研究では対向する車が無い状態においても効率的な制御を実現するために、スプリット制御とオフセット制御が協調して動作する手法を提案する。

4.1 提案するグリーンウェーブ制御方法

先行研究 [10] ではオフセットの値を変更しグリーンウェーブを形成する。つまり、グリーンウェーブの形成にはスプリット制御が関与していなかったため、スプリットの値が効率的なグリーンウェーブの形成を妨げていたことが考えられる。

そこで、オフセットの値だけでなく、スプリットの値も合わせて伝達するグリーンウェーブの制御方法を提案する。この制御では、スプリットの値も伝達することで、グリーンウェーブ中の交差点集合のスプリットを統一し、効率的な制御を実現することができる。この制御における各エージェントのスプリットの値の伝達は以下のように行う。

・ 起点モード

道路ネットワーク中のどのエージェントでも起点モードとなることができる。オフセットの協調を隣接する交差点に提案するとき、自身の管理する交差点のスプリットの値も同様に伝達する。起点モードとなったエージェント A_c は、隣接交差点 j のエージェント A_j に対して、起点モードから隣接交差点への交通量 $P_{(c,j)}$ または隣接交差点から、起点モードへの交通量 $P_{(c,j)}$ が閾値 β よりも大きくなる $P_{(c,j)} > \beta$ または $P_{(j,c)} > \beta$ の場合、オフセットの調整の提案を行う。提案を行う際、算出したオフセットの値 $O_{(c,j)}$ とともに、起点モードのサイクル開始時刻 T_c 、起点モードとなった交差点の交通総量 P_c 、起点モードの交差点から隣接交差点までの距離 $l_{(c,j)}$ 、スプリット制御によって算出されたスプリット値 S_c を、 A_j に送信する。

・ 従属モード

起点モードの値を隣接する交差点に伝達することで、スプリットが統一された信号機群を形成する。起点エージェント A_c から提案を受け取った交差点エージェント A_j が独立モードの場合、隣接する交差点エージェント A_j は無条件に提案を受け入れ、起点エージェントと同様のスプリット値 S_c となる。 A_j が他の起点エージェント $A_{c'}$ の提案を受け入れている従属モードの場合、提案を受け取った交差点の総交通量が多い $P_c > P_{c'}$ 、または、交通総量が同一 $P_c = P_{c'}$ かつ提案を受けた交差点までの距離が遠くなる $l_{c,j} > l_{c',j}$ の場合提案を受け入れスプリット値 S_c となる。 A_j が起点モードの場合、 $P_j < P_c$ の場合は提案を受け入れ、 $P_j > P_c$ の場合は受け入れず起点モードとして振る舞い、自身の交差点の交通流から算出されるスプリット値 S_j となる。従属モードとなったエージェント A_j は、隣接交差点 k に対して、 $P_{(j,k)} > \beta$ または $P_{(k,j)} > \beta$ を満たす場合、オフセット調整の提案と共にスプリット値 S_c も伝達する。

・ 独立モード

自身が管理する交通量からスプリットの値を計算し、制御を行う。交差点 i を制御するエージェントが独立モードで制御を行っている場合、エージェント A_i はスプリット制御を実行し、スプリット S_i の値となる。

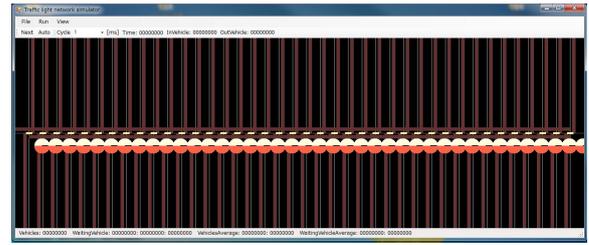


図 1: 実験環境

5. 交通シミュレータ

本研究では信号制御の評価実験を行うために、シミュレータを作成した。シミュレータでは、道路上の車の動について ASEP (Asymmetric Simple Exclusion Process: 非対称単純排他仮定) モデルを用いて表現する [13]。ASEP モデルでは車が 1 台入ることができるセルを用いて、道路を離散的なセルの列として考える。車の動きは車が隣のセルに移るとして表現される。このモデルでは、車は定められた方向のみ移動することができ、セルには 2 台以上の車を入れることはできない。

シミュレータ内の道路ネットワークでは各交差点に座標を割り当てた。また、各交差点に接続された道路についても番号を割り当てた。シミュレータでは、車は表示される道路ネットワークの外部から供給される。外部からの車の流入量、交差点での進行方向は、それぞれ確率を設定することで表現する。流入確率は、各道路に対して 1step ごとに 1 台の車が流入する確率を表す。そのため、100% では 1step ごとに車が流入し、1% では 100step に 1 台程度の車が流入する。

これらの条件の他に、信号制御手法について個々の車に着目したシミュレーションを行うために、発生した車一つ一つに固有の番号を与えた。固有の番号を与えることによって個々の車を識別することが可能になり、個々の車がどのように移動したかの認識することが可能になる。また、それぞれの車は、現在地、通過時間、グリーンウェーブが発生している交差点を通過したかどうかの情報を持つ。通過時間は、車がシミュレータの領域に流入してから、領域の外部に出るまでの時間を測定する。

6. 評価実験

提案した信号制御手法について評価を行う。使用するシミュレータは ASEP モデルに従うため、時間はステップ数で、距離はセルの個数で表す。ここでは実験環境として、 1×40 の道路ネットワークを用意して使用した。実験環境のシミュレータを図 1 に示す。ここで隣接する交差点間の距離は全て 50 セルとし、車の速度は 1 セル/ステップとした。また、閾値を [10] より $\gamma = 1.5$ と $\delta = 1.1$ とした。車の待ち台数は、シミュレーションにおいて、step 数が次の step に移り変わるとき、他のセルへ移動せず、同一の場所に止まった車の数とする。また、シミュレーション領域の流入する最初のセルに他の車が存在し、流入することができない車についても滞留している車として待ち台数とみなす。車の通過時間は各車が流入してから外部へ流出するまでの時間を通過時間と定義し検証した。この条件より実験を行う。

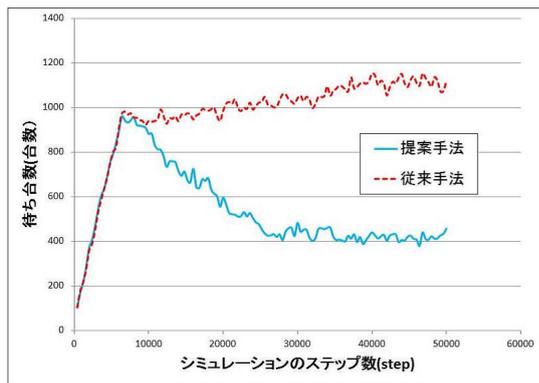


図 2: 実験:待ち台数の変化

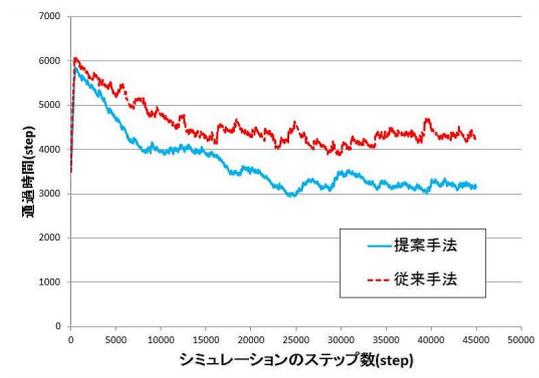


図 3: 実験:通過時間の変化

6.1 実験方法

提案手法について評価するために、グリーンウェーブを形成する時にオフセットを統一する提案手法と、従来の制御を行った場合の信号待ちの車台数と通過時間を比較した。車の流入率を西側から流入する確率を 20%，対向する東側からの車の流入率を 0%とし、南北方向からの車の流入率を 5%と設定し、50000step までシミュレーションを行った。

6.2 実験結果

3 回実験を行い、シミュレーション領域全体の待ち台数の平均と、西側から流入し、東側へ通り抜けた車の通過時間の実験の平均を測定した。全体の待ち台数の結果を図 2、車の通過時間の結果を図 3 に示す。

図 2 の結果より、提案手法のスプリットの値を統一したグリーンウェーブを形成する制御を行った方が、待ち台数が低い数値となるのがわかる。更に実験開始時間から終了時間までの平均を比較すると、従来手法の待ち台数の平均が 972.876 台/step であることにに対し、グリーンウェーブのスプリットを統一する制御を行った場合は 541.944 台/step となった。この結果より、グリーンウェーブのスプリットを統一する制御を行った場合、待ち台数が 44.3%減少したといえる。

西側から流入し、東側へ通り抜けた車の通過時間の比較でも、提案手法のスプリットの値を統一したグリーンウェーブを形成する制御を行った方が、通過時間が短くなっていることがわかる実験開始時間から終了時間までの平均を比較すると、従来手法の通過時間の平均が 4348.61step であることにに対し、提案手法の制御を行った場合は、3668.054step となった。通過

時間においても、グリーンウェーブのスプリットを統一する制御を行った場合、15.7%通過時間が短くなる制御を行うことができたといえる。

これらの結果より、スプリットを統一したオフセット制御を行うことで更なる交通流の円滑化行えると言える。

7. おわりに

本研究では、マルチエージェントモデルによる信号制御シミュレーションについて、従来手法では効率的な制御が困難だった、特殊な条件においても交通流の円滑化が可能な信号制御となるグリーンウェーブ制御法について提案した。提案した制御について、評価実験を行い、車の待ち台数、通過時間から、交通流が円滑化されることを確認した。今後の課題として、更に現実に近い環境でのシミュレーションを行うことや、グリーンウェーブを形成するための条件の改良が考えられる。

参考文献

- [1] 玉置洋, 矢野純史, 香川浩司, 森田哲郎, 沼尾 正行, 栗原 聡, "複数の交通情報を効率的に利用する最適な交通情報提供手法の構築", 第 23 回人工知能学会全国大会論文集, CD-ROM, 2009
- [2] 西原稔貴, I Gede Pasek Suta Wijaya, 松本駿太, 上瀧剛, 内村圭一, "マルチエレメント GA による道路交通信号パラメータの最適化と実環境における検証", 電子情報通信学会 信学技報, pp 263-268, 2012
- [3] Weirong Liu, Jing Liu, Jun Peng, Zhengfa Zhu, "Cooperative Multi-agent Traffic Signal Control System Using Fast Gradient-descent Cunction Approximation Cor V2I Networks", IEEE ICC Mobile and Wireless Networking Symposium, pp 2562-2567, 2014
- [4] Wei Lu, Yunlong Zhang, Yuanchang Xie "A Multi-Agent Adaptive Traffic Signal Control System Using Swarm Intelligence and Neuro-Fuzzy Reinforcement Learning", IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, pp 233-238, 2011
- [5] Joseph K.Lam, Sinisa Petrovic, Perry Craig "Adaptive Traffic Signal Control Pilot Project for the City of Surrey", TAC Annual Conference, 2011
- [6] 西川郁子, "振動同期を用いた交通信号機制御法について", システム/制御/情報, Vol52, No.5, pp 163-168, 2008
- [7] 赤塚裕人, 高須淳宏, 安達淳 "プローブカーを用いた自動交通異常検出", 電子情報通信学会 信学技報, pp 13-18, 2012
- [8] 麻生敏生, 長谷川孝明, "高度デマンド信号制御 u 方式", 電子情報通信学会 信学技報, pp 25-30, 2011
- [9] 佐藤和宏, 長岡諒, 安場直史, 矢野純史, 香川浩司, 森田哲郎, 沼尾 正行, 栗原 聡, "マルチエージェントモデルによる自律的信号制御システムの構築", 第 22 回人工知能学会全国大会, 2008
- [10] 白井嵩士, 矢野純史, 香川浩司, 森田哲郎, 沼尾 正行, 栗原 聡, "マルチエージェントモデルによる信号機オフセット制御法の提案", 第 24 回人工知能学会全国大会, 2010
- [11] 飯田恭敬, 北村隆一: 交通工学, オーム社, 2008.
- [12] 高橋光紀, 篠田孝祐, 諏訪博彦, 栗原聡, "マルチエージェントモデルによる信号制御シミュレーションの考察", 研究報告知能システム, 2014-ICS-177 巻 7 号, 2014.
- [13] 西成活裕: 渋滞学, 新潮社, 2006.