

マルチエージェントシステムを用いた信号機オフセット制御方法の構築

Construction of Autonomous Traffic Light Offset Control System using Multi Agent System

白井 嵩士*¹
Takashi Shirai

矢野 純史*²
Junji Yano

香川 浩司*²
Kouji Kagawa

森田 哲郎*²
Tetsuo Morita

沼尾 正行*³
Masayuki Numao

栗原 聡*³
Satoshi Kurihara

*¹大阪大学大学院情報科学研究科情報数理学専攻

Department of Information and Physical Sciences, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

*²住友電気工業株式会社 情報通信研究所

Information and Communication Labs, Sumitomo Electric Industries, Ltd

*³大阪大学 産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

Traffic jam is one of critical issues in urban life. By which, many social problems, for example, time loss, economical loss, and environmental pollution are caused. There are two typical methods for solving traffic jam, improvement of car navigation system and control of traffic lights. We focus on control of traffic lights. Existing traffic light control system is basically centralized control type and lacks robustness and scalability. If the central computer becomes breakdown, all traffic lights received the damage of it. In this paper, we propose a new traffic light control system based on multi-agent model. The offset value, one of the main traffic light parameters, is controlled by using only local information, and green-wave formation is formed through the coordination of each intersection agent.

1. はじめに

近年、都市部でしばしば発生する交通渋滞は、ドライバーの時間的損失だけでなく、輸送の遅れに伴う経済的損失や燃料消費量の増加、さらには排気ガスの排出による環境汚染などの大きな原因として指摘されている。特に世界各国で環境問題に関する議論が活発に交わされていることもあり、交通渋滞は早急に解決すべき問題である。

ここで、交通渋滞解消の手段として、渋滞の検知と予測に基づく効率的なナビゲーションによる方法 [1] と、効率的な信号機の制御による方法の 2 つがある。前者は VICS や Probe システムなどの進展が見られるが、後者では大きな進展が望まれている段階である。そこで、本研究では後者の信号機の制御に着目する。

一般道路の場合、交通渋滞が起こりうる場所として、交差点が挙げられる。交差点では様々な方向から車両が合流し、複雑な交通流を形成する。また信号機の現示の長さから、交通容量が制限される。このような理由から、交差点は交通流のボトルネックとなる可能性がある。交差点での交通流を改善するには、信号機を制御するパラメータを適切に定めてやればよい。しかし朝夕のラッシュ時と昼間では交通量が異なるように、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。このため、信号機の制御パラメータを交通流の変化に対応して動的に変更できる仕組みが必要となる。

現在主に用いられている信号機制御システムは大きく 2 つに分類することができる。1 つはあらかじめ算出した信号機制御パラメータを用いる方法であり、もう 1 つは複数の交差点をまとめて管理し、信号を制御する方法である。前者は交差点

の交通流を測定しておき、結果を基に信号機制御パラメータを 1 つあるいは複数パターン用意し、複数のパターンを用意している場合は、ラッシュ時などの時間帯によって使い分ける方法をとる。しかしこの方法では、あらかじめ定められたパラメータのみを用いるため、突発的な事故などに対応することができないという問題がある。後者は道路ネットワーク内の交差点の情報を、中央のコンピュータでまとめて管理を行う。道路ネットワークにおける交通状況から、全ての交差点に設置されている信号機のパラメータを計算し、適用する。この方法では交通状況に応じてパラメータを計算するため、突然の交通状況の変化に対しても対応することができる可能性がある。しかし全交差点の情報を集め、計算し、信号機に制御パラメータを適用するというプロセスから、即応性が低いという問題と、中央コンピュータの故障により、全ての信号機が制御できなくなる問題がある。

以上のような問題点の解決を目指した信号機制御に関する研究として、強化学習を用いた手法 [2] や、位相振動子を導入した手法 [3] などが挙げられる。しかしこれらの研究では極小規模な碁盤目状の道路ネットワークによる検証が中心であり、現実の複雑な道路ネットワークに導入するために、大きな道路ネットワークによる議論が必要となる。

ここで、本研究ではマルチエージェントシステムを用いた方法を提案する。本手法では、道路に設置されている各信号機に搭載されるコンピュータにエージェントを実装する。各々のエージェントが管理する交差点の情報を取得し、それらの局所的な情報を用いて、自律的に信号機制御パラメータの調整を行う。さらにエージェント同士が互いに協調を行い、交通流の円滑化を目指すシステムを提案する。

以降第 2 章では一般的な信号機制御に関する用語をまとめる。第 3 章では提案手法について説明し、第 4 章で検証実験の内容及び結果を、第 5 章で結論を述べる。

連絡先: 白井 嵩士, 大阪大学産業科学研究所沼尾研究室, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel(Fax):06-6879-8426, E-mail:shirai@ai.sanken.osaka-u.ac.jp

2. 信号機制御

交差点では複雑な交通流が形成され、同時に交通事故や交通渋滞が発生しやすい場所である。信号機はこの交通流を円滑に対処することを目的として設置される。一般的に信号機の制御は、現示の決定と制御パラメータの設定の2段階によって行われ、4枝交差点では図1のような2現示方式がしばしば採用される。また右折専用車線が設けられている場合、右折専用信号による現示が追加される場合もある。

信号機制御パラメータは現示を切り替えるタイミングを決定する。制御パラメータは、サイクル長(信号1周期の長さ)、スプリット(1サイクル中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、青信号開始時刻のずれ)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、隣接信号機間におけるずれを相対オフセットという。

また、交差点をそれぞれ独立で管理する制御を地点制御、道路に属する交差点を関連付けて管理する制御を系統制御、複数の道路に属する交差点をまとめて管理する制御を広域制御という。

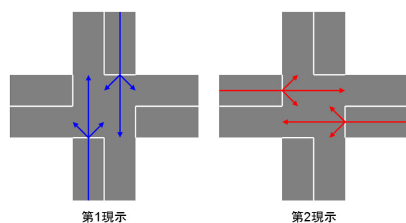


図 1: 2 現示方式

3. 提案手法

3.1 概要

信号機に搭載された各エージェントは、自身が管理する交差点の情報や、隣接するエージェントとの通信から得られる情報を用いて、互いに協調を行い、エージェントが自律的にパラメータを調整することを目指す。本研究では信号制御パラメータの内、オフセットの制御を扱い、全ての信号機のサイクル長は共通の長さであるとする。エージェント同士が協調を行うことで、グリーンウェーブあるいはスルーバンドと呼ばれる、特定の方向に進む車が、停車することなく通過できる区間の形成を目指す。

3.2 エージェント

本手法では、交通量が設定したしきい値を超えたエージェントが起点となり、協調の提案を隣接エージェントに提案していくことで、グリーンウェーブの形成を行う。エージェントは信号機制御の状況から、次のいずれかの状態をとる。

- 制御の中心となる起点エージェント。
- 起点エージェントに従って制御を行う従属エージェント。
- 他のエージェントと協調を行わない独立エージェント。

交差点 i に設置されている信号機のエージェントは、次の情報を取得することができる。ここで交差点 i と隣接する交差点を交差点 j とする。

- 管理する交差点 i に接続する、各道路から流入する車の台数 $p_{(i,j)}$ 及び車の速度 $v_{(i,j)}$ 。
- 交差点 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 、青信号開始時間 T_i 。
- 隣接する交差点 j との間の距離 $l_{(i,j)}$ 。
- 現在の時間 t 。

ただし、車流入台数 p は、信号1周期の間に交差点に流入した車の台数とする。また、エージェント間の通信により、次の情報を取得することができる。

- 隣接する交差点 j の、車流入台数 $p_{(j,i)}$ 及び車流入総数 P_j 。
- 起点エージェントが管理する交差点 C の、車流入総数 P_C 。
- 交差点 C からの距離 $l_{(i,C)}$ 。

ここで交差点 i の車流入総数 P_i は、 $P_i = \sum_j p_{(i,j)}$ である。なお、ここでは交差点間の道路上において、車の発生、消滅は考えないものとする。よって、交差点間の道路の交通量(信号1周期の間に、交差点間の道路を通過する台数)を、交差点 i から交差点 j に向かう方向の交通量 $q_{(j,i)} = p_{(j,i)}$ 、交差点 j から交差点 i に向かう方向の交通量 $q_{(i,j)} = p_{(i,j)}$ として与える。

3.3 オフセット制御

本節では、グリーンウェーブ形成までのエージェントの動作を述べる。以下にグリーンウェーブ形成までのプロセスを述べる。

1. 道路ネットワーク中の、あるエージェントが起点エージェントとなる。エージェントが起点エージェントとなる条件は、管理する交差点 i の車流入総数 P_i がしきい値 α を超えている、あるいは自身が従属エージェントであるが、起点エージェントが管理する交差点 C の車流入総数 P_C を、自身が管理する交差点の車流入総数 P_i が超えていることである。
2. 起点エージェントは、隣接交差点 a との間において、交通量 $q_{(a,C)}$ または $q_{(C,a)}$ がしきい値 β を超えている場合、交差点 a の信号機を管理するエージェントに対しオフセット調整の提案を行う。起点エージェントは交差点 a のエージェントに対し提案を行う際、自身の青信号開始時刻 T_C 、交差点 a との間の道路における交通量から算出したオフセットの値 $O_{(C,a)}$ 、自身が管理する交差点 C の車流入総数 P_C 、及び自身から交差点 a までの距離 $l_{(a,C)}$ を送信する。
3. 起点エージェントから提案を受け入れた交差点 a のエージェントは、その起点エージェントの従属エージェントとなり、オフセットの調整を行う。交差点 a の信号機の青信号開始時刻 T_a は、 $T_a = T_C + O_{(C,a)}$ となる。
4. 従属エージェントとなった、交差点 a のエージェントは、隣接交差点 b との間の道路の交通量 $q_{(b,a)}$ または $q_{(a,b)}$ がしきい値 β を超えている場合、交差点 b の信号機を管理するエージェントに対しオフセット調整の提案を伝達する。交差点 a のエージェントは、自身の青信号開始時刻 T_a 、交差点 b との間の道路における交通量から算出したオフ

セットの値 $O_{(a,b)}$, 起点エージェントの車流入総数 P_C , 及び起点エージェントからの距離 $l_{(b,c)}=l_{(b,a)}+l_{(a,c)}$ を交差点 b のエージェントに送信する。ただし、提案の相手が従属エージェントかつ、起点エージェントからの距離が自身よりも近い場合、提案は行わない。これは提案の経路がループすることを防ぐためである。

5. 3. と同様に、提案を受け入れたエージェントは従属エージェントとなる。このように提案の伝達を繰り返し、グリーンウェーブを形成する。

本手法では道路ネットワーク中の一部分の交差点において、起点エージェントを中心としたエージェント間の協調によってオフセット制御を行う。これは起点エージェントの青信号開始時刻が変化すると、その値が全ての従属エージェントに影響を与えることを意味する。そのため起点エージェント自身の青信号開始時刻がしばしば変化することがあれば、交通の混乱を招き、交通流の円滑化という目標が達成できない恐れがある。以上の理由から本手法では、起点エージェントである限り、青信号開始時刻を変えることは無い。また協調を行っている範囲内では、起点エージェントは1つだけ存在できるとする。

3.4 オフセットの計算

ここでは相対オフセットの計算式について述べる。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。道路の上下方向の交通量の偏りが大きい場合、交通量が多い方向を優先するオフセットを導入する。ここで q_l, q_s をそれぞれ多い方向の交通量、少ない方向の交通量とし、 γ, δ をしきい値としたときに、 $\frac{q_l}{q_s} > \gamma$ 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

$$O_r = \frac{L}{v_l} \quad (1)$$

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(1)よりも大きい時は、優先する方向の車が対象の交差点に到達するとき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(1)の値は、相対オフセットの最大値となる。また、 $\gamma > \frac{q_l}{q_s} > \delta$

1 を満たす、すなわち交通量の偏りが小さい場合、双方方向の交通量を考慮した平等オフセットを計算する必要がある。しかし通常の系統制御や広域制御では、道路上の交差点を全て考慮したうえで平等オフセットを与えるため、本研究の目的とは反するものである。このため、本手法では交差点間の道路の上下方向交通量の比に対する1次関数の相対オフセット

$$O_r = \frac{L}{v_l(\gamma - \delta)} \left(\frac{q_l}{q_s} - \delta \right) \quad (2)$$

を与える。

以上から交差点 i のエージェントが交差点 j のエージェントに対して提案するオフセットの値 $O_{(i,j)}$ は、 $q_{(i,j)} > q_{(j,i)}$ の場合は $O_{(i,j)}=O_r$ 、 $q_{(i,j)} < q_{(j,i)}$ の場合は $O_{(i,j)}=-O_r$ である。

4. 評価実験

4.1 交通シミュレータ

本研究では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、道路上の車の動きには ASEP (Asymmetric Simple Exclusion Process: 非対称単純排他仮定) モデル [4] を用いた。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いうことで表現される。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。以上から、このモデルでは現実の車の動きをよく再現することができる。

今回の評価実験では碁盤目状の道路ネットワークを用いる。シミュレータ内の道路ネットワークでは、図2のように各交差点に座標を割り当てる。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。また、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。

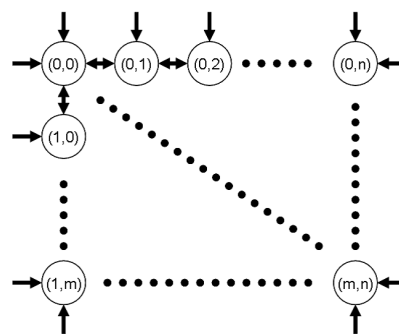


図 2: シミュレーション環境

4.2 評価実験

提案手法の評価を行うために、シミュレータを用いた実験を行った。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、 10×10 及び 1×20 の道路ネットワークを用意した。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 セル毎ステップとした。各交差点に設置されている信号機のサイクル長はすべて 400 ステップとした。また、式(1)および式(2)のしきい値を、 $\gamma = 1.5, \delta = 1.1$ と定めた。エージェントが起点エージェントとなるときのしきい値 α は、交差点の交通容量の 80% とした。またエージェント同士が協調を行うためのしきい値 β は、交差点の交通容量の 20% とした。ここで交差点の交通容量とは、信号 1 サイクルの間に通過することができる車の最大数である。

なお、今回の評価実験では、スプリットの制御は佐藤らが提案したばねモデル [5] を用いる。ばねモデルは本研究同様、マルチエージェントモデルによる協調分散制御を目指したモデルであるため、導入した。本研究では評価として、ばねモデルによるスプリットの制御のみを行った場合と、ばねモデルに加えて提案手法を導入した場合での、道路ネットワーク中の信号待ちの車台数を比較した。

● 実験 1

10×10 の格子状の道路ネットワークに適用し、効果が見られるかどうかを確かめる実験を行った。交差点 (0,3) の北側、交差点 (5,9) の東側、交差点 (9,6) の南側から 10% の確率、交差点 (0,6) の北側、交差点 (9,3) の南側から 15% の確率、交差点 (5,0) の西側から 20% の確率で、それぞれ車を流入させた。また、これ以外の方向からの車の流入確率はそれぞれ 2.5% とした。

● 実験 2

グリーンウェーブの形成による影響が顕著に現れる例と

して、 1×20 の道路ネットワークによる実験を行った。交差点 (0,0) に西側から 25 % の確率、交差点 (0,19) の東側から 22.5 % の確率、それ以外の方向からは 5 % の確率の確率で車を流入させた。また交差点 (0,19) の東側からの車流入確率を、途中 30000 ステップ経過した時点で 17.5 % に、60000 ステップ経過した時点で 12.5 % に変更し、変化の様子を調べた。

実験 1 の結果は図 3 および図 4 の通りである。また、実験 2 の結果は図 5 および図 6 の通りである。



図 3: 実験 1: 検証終了時のシミュレータの様子

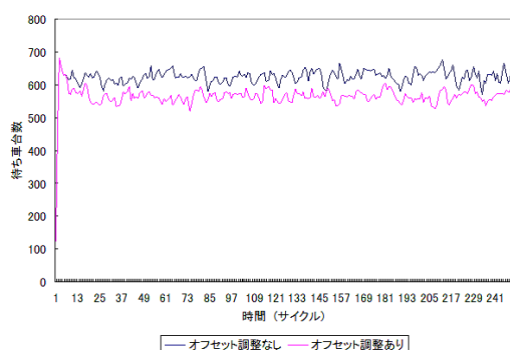


図 4: 実験 1: 待ち車台数の変化

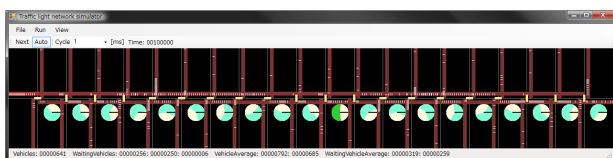


図 5: 実験 2: 検証終了時のシミュレータの様子

ここで、図 3、図 5 では、緑色で表示されているエージェントは起点エージェント、水色で表示されるものは従属エージェント、オレンジ色で表示されるものは独立エージェントである。実験 1 では交差点 (5,3) を管理するエージェントが起点エージェントとなった。また交差点 (5,0) と交差点 (5,9) を結ぶ道路、交差点 (0,3) と交差点 (9,3) を結ぶ道路、及び交差点 (0,6) と交差点 (9,6) を結ぶ道路上のエージェントが従属エージェントとなった。実験 1 では、待ち車台数の実験開始時から終了時まで

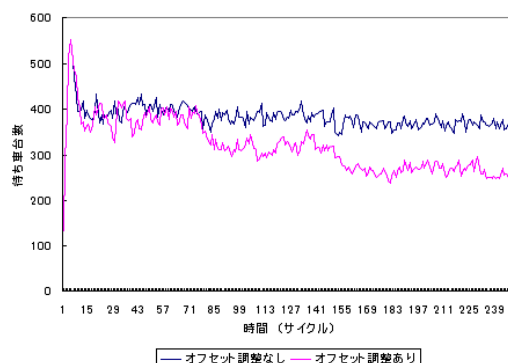


図 6: 実験 2: 待ち車台数の変化

の平均値は、提案手法を導入しない場合は 622 台、提案手法を導入した場合は 564 台となった。実験 2 では、待ち車台数の平均値は、提案手法を導入しない場合は 382 台、導入した場合は 319 台となった。提案手法を導入することで、待ち車台数が減少した、すなわち交通流の円滑化が行えたといえる。実験 1 の結果から、交通量の多い幹線道路が複数存在するような道路ネットワーク中においても、エージェントの協調から、自律的に広域制御を行うことが確認できた。また実験 2 の結果から、グリーンウェーブの形成によって、特に交通量の偏りが大きいとき、より良い効果が得られることが確認でき、また、交通量の変化に対してもエージェントが対応できることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、マルチエージェントモデルによる自律的な信号機のオフセット制御システムを提案した。エージェント同士が協調を行うことで、信号機の広域制御を自律的に実現することができ、各エージェントは隣接エージェントとの通信のみからパラメータを調整するため、従来のコンピュータによる一括制御の問題である、中央コンピュータの故障が全信号機の制御不能につながる問題が解決できる。

今後の課題としては、オフセットの計算にフィードバックを導入する、評価に関して、待ち車台数の変化から、各車の旅行時間の変化といった別の視点からの評価を行う、また今回は碁盤目状の道路を用いたため、現実に即した道路ネットワークへの適用、他の手法との比較などが挙げられる。

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] 参沢匡将, 木村春彦, 広瀬貞樹, 大里延康, “ 強化学習エージェントによる交通信号制御 ”, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J83-D-I, No.5, pp.478-486, 2000.
- [3] 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, Vol. 52, No. 5, pp. 163-168, 2008.
- [4] 西成活裕, “ 渋滞学 ”, 新潮社, 2006.
- [5] 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機制御システムの構築 ”, 第 22 回人工知能学会全国大会, 2008.