

分散制約充足による交通信号制御方式

山田 和枝[†] 水野 一徳[‡] 山田 雅一[‡] 三谷 純[‡] 福井 幸男[‡] 西原 清一[‡][†] 筑波大学第三学群情報学類 [‡] 筑波大学大学院システム情報工学研究科

1 はじめに

近年、自動車台数の増加などにより、都市部を中心とした交通渋滞などの交通問題が深刻化している [1]。本研究では、交通渋滞を解決する方法の1つとして、交通信号制御により交差点の交通量の調整を行なうことで渋滞の緩和させる道路交通計画支援を行なうことを目的とする。信号の制御方法としては、交差点をエージェントとしたマルチエージェントシステム (MAS) としてモデル化し、個々の信号パラメータの決定には、分散制約充足問題を用いる。交差点エージェントは接続している道路から、混雑情報などを受け取り、それらを基に、各信号のパラメータを動的に決定する。

2 研究分野の概要

2.1 分散制約充足問題

制約充足問題 (CSP) とは、離散値をとる変数の値の組合せのうち、すべての制約を満たす組合せを探索することによって発見する問題である。分散制約充足問題 (DCSP) は、CSP の変数が複数のエージェントに分散された問題である。

2.2 関連研究

交通信号制御は、信号の現示方式を決めた後、以下に示す3つの信号パラメータを調整する必要がある。

- サイクル長：信号の色が一巡する周期の長さ
- スプリット：1サイクル中の青信号の時間配分
- オフセット：交通をスムーズにするための隣接する交差点間の青信号開始時間のずれ

現在、行なわれている制御方式には、パターン選択方式や MODERATO 方式などがある。前者は、事前の交通調査に基づき、交通状況に対応する複数の制御パターンをあらかじめ設定しておき、車両感知器で計測した交通状況に応じて最適なパターンを選択するものである。後者は、交差点における交通量データを基に車両の交差点通過時の遅れ時間の総量が最小になるようなサイクル長、スプリットを計算する。オフセットはあらかじめ設定したパターンから選択する。

Distributed Constraint Satisfaction for Urban Traffic Signal Control
Kazue Yamada[†], Kazunori Mizuno[‡], Masakazu Yamada[‡], Jun Mitani[‡],
Yukio Fukui[‡], and Seiichi Nishihara[‡]

[†]College of Information Sciences, University of Tsukuba

[‡]Department of Computer Science, University of Tsukuba

3 提案する方式

3.1 基本方針

本研究では、2.2 で述べた信号のパラメータを、道路の混雑状況に応じて動的に決定する方式を提案する。本方式の基本方針を以下に示す。

- (1) 上記の信号パラメータを決定する問題を CSP として捉え、各変数がそれぞれ信号が属する交差点エージェントに分散された DCSP として定式化する。
- (2) 提案する方式を文献 [3] の交通流シミュレータに実装することにより、道路の混雑状況を交差点に接続する道路エージェントから受信する。
- (3) 各エージェントは複数の変数を持つため、文献 [2] で述べられているアルゴリズムを本問題を解くための基本アルゴリズムとする。

3.2 定式化

ここでは、信号パラメータを決定する問題 P を、3組 $P = (V, D, C)$ で定義する。 $V = \{cycle_{ik}, gstart_{ik}, gtime_{ik}\} (i = 0, \dots, A_{max} - 1, k = 0, 1)$ は、変数の集合で、各要素 $cycle_{ik}$, $gstart_{ik}$, および $gtime_{ik}$ はそれぞれ、交差点エージェント i に属する信号 k のサイクル長 (サイクル内の) 青の開始時刻、および青時間の長さを表わす (ただし、 A_{max} は交差点エージェント数)。また、交差点に属する信号数は (存在する場合) 2 組までとする。 $D = \{D_{cycle}, D_{gstart}, D_{gtime}\}$ は、変数に割り当てられるべき値の集合で、それぞれ $D_{cycle} = \{40, \dots, 140\}$, $D_{gstart} = D_{gtime} = \{0, \dots, 140\}$ である。 $C = \{C_{in}, C_{adj}, C_{road}\}$ は、変数間に要請される制約条件の集合であり、それぞれエージェント内制約、エージェント間制約、異エージェント制約といった部分制約集合からなる。以下、これら3つ制約について詳しく述べる。

(1) エージェント内制約 (C_{in})

エージェント内制約とは、交差点 i が持つ2つの信号 S_{i0}, S_{i1} で必ず満たされるべき制約である。

- S_{i0}, S_{i1} のサイクル長は等しい
- $gtime_{ik}$ は、サイクルの20パーセントから80パーセントの間とする

• S_{i0}, S_{i1} が同時に青信号にはならない

(2) エージェント間制約 (C_{adj})

エージェント間制約とは、隣接する交差点 i, j が信号を持っている場合、満たしたほうが良い制約である。

- 隣接信号のサイクル長は等しい
- $gstart_{ik} = gstart_{jk} + Dist_{ij} / LV_{ij}$

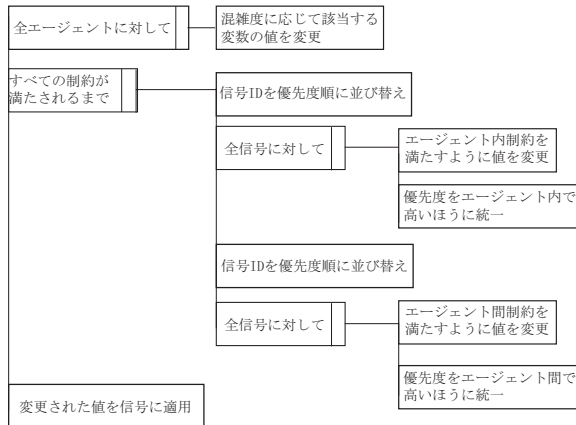


図 1: DCSP を解くための処理手順

ただし, i から j への隣接信号間の距離を $Dist_{ij}(m)$ 道路の制限速度を $LV_{ij}(m/s)$ とする.

(3) 異エージェント制約 (C_{road})

道路エージェントからの情報によって変更交差点の 4 方向から流れ込む車の量から, 各方向の混雑度の最小値 $Wmin_{ikl}$ と最大値 $Wmax_{ikl}$ を求める. 混雑度 W とは交差点に流れ込む車列の長さを $CL(m)$, その道路の長さを $RL(m)$ とすると, $W = CL/RL (W = 0.0...1.0)$ と定義する. 信号が青から赤に変わった直後には車列がもっとも短くなると考えられるため, この時点での混雑度を $Wmin$ とし, 赤から青に変わる直前にもっとも車列が長くなると考えられるため, この時点での混雑度を $Wmax$ とする. また, 各信号 S_{ik} における優先度 $value_{ik}$ は, $value_{ik} = Wmin_{ikl} + Wmax_{ikl}$ とする.

- $Wmax_{ikl}$ が 0.4 よりも大きい場合,
 $cycle_{ik} = cycle_{ik} + Const$
 - $Wmin_{ikl}$ が 4 方向全てもいいて 0.4 以下の場合,
 $cycle_{ik} = cycle_{ik} - Const$
 - $Wmax_{ikl}$ が 0.4 よりも大きい場合,
 $gstart_{ik} = gstart_{jk} + Dist_{ij}/LV_{ij}$
 - $gtime_{ik} = \frac{Wmax_{ik0} + Wmax_{ik1}}{\text{全 4 方向の } Wmax_{ikl} \text{ の和}}$
- ただし, サイクルを変更する幅 $Const$ は定数で 4 秒とした.

3.3 処理手順

図 1 に本方式の DCSP を解くための処理手順を示す.

4 評価実験

提案した方式を文献 [3] の交通流シミュレータ上に実装し, 実験を試みた. ここでは, 5×5 の道路網 (交差点数=25, 交差点をつなぐ道路数=40) に 400 台の車を走行させ, 本方式による信号制御を行なった場合と制御を行なわない場合とで比較した. 図 2 および図 3 は, それぞれすべての車の平均速度および停止している車の台数に関する 30 秒ごとの実験結果を示している. 図 2 および図 3 より, 本方式を適用した場合の方

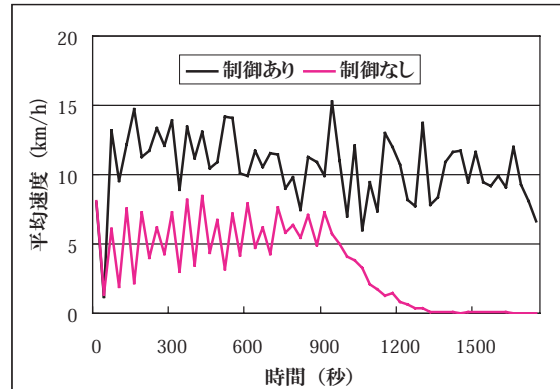


図 2: 実験結果 (平均速度)

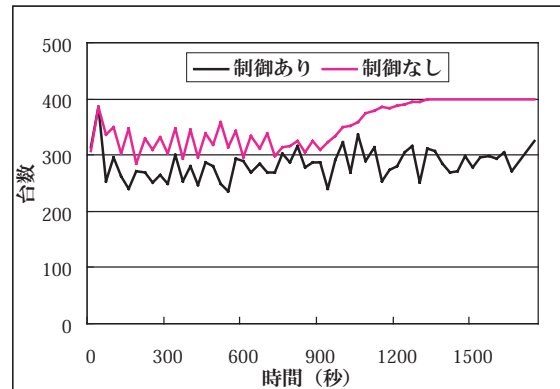


図 3: 実験結果 (停止している車の台数)

が, 平均速度が高く, 停止している車の台数も少ないことが分かる. したがって, 本方式は渋滞緩和に有効であると考えられる.

5 おわりに

本報告では, 道路交通における渋滞緩和の方法として, 道路状況に応じて動的に信号制御を行なう方式を提案した. 本方式は, 信号制御のパラメータ調整を分散制約充足問題として定式化しリアルタイムに信号の調整を行なうものである. また, 交通流シミュレータを用いた実験により本方式の有効性を確認した. 今後は, 現示方式も含めた制約表現の拡張, およびより大規模かつ現実に近い道路網を用いた実験を行なうことが重要な課題であると考えられる.

参考文献

- [1] R. Chen et al.: ACTAM: Cooperative Multi-Agent System Architecture for Urban Traffic Signal Control, *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol. E88-D, No. 1 (2005).
- [2] 横尾真, 平山勝敏: 複雑な局所問題に対応する分散制約充足アルゴリズム, *人工知能学会誌*, Vol. 15, No. 2, pp. 348-354 (2000).
- [3] 山田雅一, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一: マルチエージェントによる都市道路網の交通流シミュレーション, 第 21 回 NICOGRAPH, pp. 73-78 (2005).