

リアルタイム交通信号最適化制御*

Real-Time Optimization Method for Traffic Signal Settings Problems *

岩岡浩一郎**・織田利彦***

By Koichiro IWAOKA **・Toshihiko ODA ***

1. はじめに

交通管制システムの整備が進むにつれ、交通死亡事故は減少し、道路交通の安全性の向上、および円滑化、快適化が図られてきた。特に、都市街路網を制御するリアルタイム交通信号制御システムが果たしてきた役割は大きい¹⁾。このシステムにより算出される制御パラメータは交通信号タイミングを決定する重要な要素である。制御パラメータ算出にはプログラム選択方式と呼ばれるあらかじめ準備していたパラメータパターンを交通状況に応じて選択する方式とプログラム形成方式と呼ばれる交通状況に応じて制御パラメータ値を作成する方式とがある²⁾。プログラム選択方式を用いている地域では、突発的な交通状況や地域開発による交通需要の経年変化に対応できず渋滞を緩和できない場合も見受けられる。このような必要性から、プログラム形成方式と呼ばれる信号制御方式の導入や高度化がなされてきた。しかし、この制御パラメータの決定にあたり、制御パラメータごとに評価指標を与え、個別に算出する方法が採択されるなど、現状においても基本的な考え方が十分確立されているとはいいがたい。一方、街路網では信号交差点間隔が短く交通量が多いため、系統的な制御すなわち適正なオフセットを維持し交通流動の連続性を保持することが肝要である。オフセットを確立するためには、関係する交差点群を共通のサイクルにて運用する必要がある。しかし、対象道路網が広範囲になると、道路条件や交通状況等が同一とは限らないため、同一条件で運用可能と

*キーワード：パラメータ一括最適、交通シミュレータ、メタヒューリスティックス

**正員、工修、松下通信工業株式会社

(神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3-1,

TEL:045-544-3451, E-mail:iwaoka@mci.mei.co.jp)

***正員、工博、松下通信工業株式会社

(神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3-1,

TEL:045-544-3451, E-mail:oda@mci.mei.co.jp)

想定される交差点群をグループ化して、グループ毎に運用サイクル長を与えている。このグループのことをサブエリアと呼んでいる。現在、このグループ構成の設計においては工学的な観点に基づいた明確な基準はなく、道路形状や交差点間隔などの道路条件や交通状況に従って、熟練技術者により経験的に設計されている。また、制御対象道路網の拡大や交通状況の経年変化に対して、調整・見直しが充分になされているとは言い難い。

本論文では、このような課題に焦点を当て、新たな制御手法の提案を行う。まず、リアルタイムシステムに対して巨視的交通流シミュレータを導入し、時々刻々と変化する交通量を入力値として与える。一方、シミュレータにおいては車両の停止時間と停止回数から遅れ時間(PI:パフォーマンスインデックス)を算出して統一的な最適化指標とし、入力値である交通量から街路網全体における遅れ時間を推定する。この遅れ時間は多峰性関数となるため、最適化にあたりメタヒューリスティックス³⁾を適用し、総遅れ時間最小化を図る。こうしてサブエリア構成・制御パラメータについて一括最適化を実現する。最後に、実際の街路網を対象とした実験を行い、本手法の有用性を確認する。

2. アプローチ

(1) 概要

最適な制御パラメータを算出する問題をサブエリア構成・制御パラメータ(サイクル長、スプリット、オフセット)を変数とする組合せ最適化問題に帰着させる。また、目的指標として対象道路網における全流入路の遅れ時間を採用する。しかし、道路網全体の遅れ時間はサブエリア構成・制御パラメータ・交通状況に応じて変化するが、その関係性を解析的に表現することは極めて困難である。よって、交通シミュレータにより遅れ時間の算出を行う。ここでは、TRANSYT³⁾のモデルをベースに日本の交通事

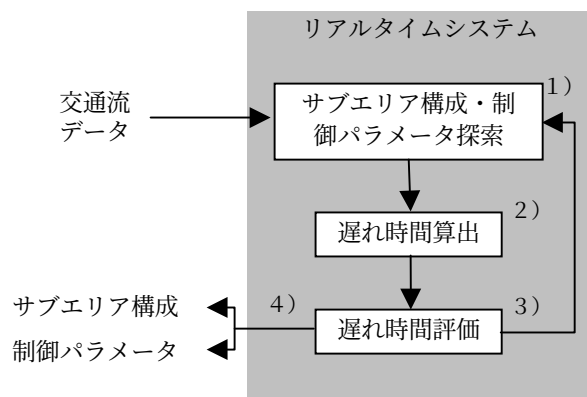
情や制御方式等を反映させるために独自の改良を行ったシミュレータを用いる⁴⁾⁵⁾。その算出結果に対してメタヒューリスティックスを適用し、高速に最適なサブエリア構成・制御パラメータを算出する。

(2) 処理手順

リアルタイムシステムにおいて、サブエリア構成・制御パラメータを計算し、制御パラメータを信号制御機へ送信する一連の処理手順を以下に示す。

(図1 参照)

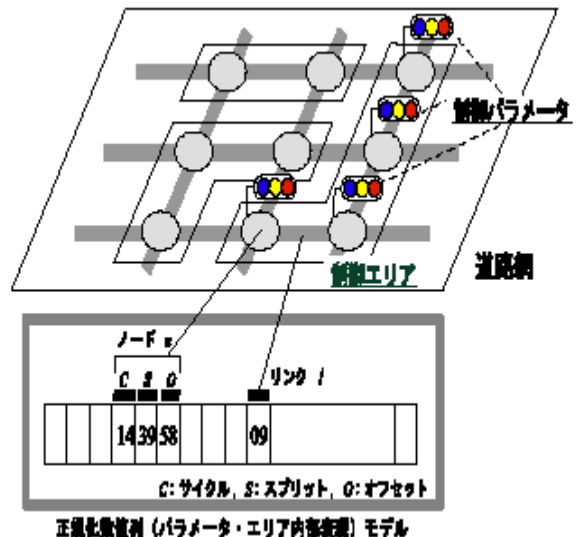
- 1) メタヒューリスティックスにより制御パラメータを効率的に探索。(最初の反復では初期値生成)
- 2) シミュレーションにより遅れ時間計算。
- 3) 遅れ時間評価。残り計算時間があれば1)へ、なければ4)へ。
- 4) これまで計算した中で、遅れ時間最小となるサブエリア構成、制御パラメータを送出。



図ー1 リアルタイムシステムにおける処理手順

(3) 最適化モデル

信号制御パラメータを決定する問題が組合せ最適化問題に帰着できることは明らかではあるが、解析的な表現は困難である。また、制御パラメータの構成要素ごとの関係性を表現することも難しい。このような難点を解決するために、サブエリア構成と制御パラメータを図2のような数値列で表現したモデルの導入を行なう。この数値列モデルにより直接的に目的指標を解析的に表現できるわけではないが、



図ー2 数値列モデル表現イメージ

各変数を同等に扱うことが可能となりメタヒューリスティックスによる一括最適化とその高速計算が可能となる。

(4) 最適化手法

TRANSYTでの信号制御パラメータを最適化する処理は山登り法(H.C.: ヒルクライミング)を採用しているが、目的関数の降下方向探索が試行錯誤的であることや局所最適解に陥りやすいこと等の実用上での問題点があった。本報告において提案する手法では、メタヒューリスティックスの適用により、ランダム探索法(R.S.)、遺伝的アルゴリズム(G.A.)、シミュレイトッド・アニーリング法(S.A.)などの手法を利用できる。これにより、H.C.における問題点を回避できる。

(5) 交通流モデル

前述したようにシミュレーションにより遅れ時間の算出を行なうが、そのシミュレーションモデルの概要について説明する。TRANSYTのモデルをベースに改良を加えたものであり、特徴を以下に示す。

(a) 道路網表現

信号交差点を表すノードと、信号交差点間を結ぶリンクによって構成される。

(b) 交通流表現

シミュレーション上での交通流は、実際の交通流を近似したマクロモデルを用いて車群で表現される。具体的には、各車群は信号交差点で制御された後に、新たな車群を形成し下流リンクに流入し、次の交差点に到着するまでに车速の違い等により次第に拡散するものとしている。拡散の影響は以下のように表現される。

$$q(t+T) = F \cdot i(t) + (1-F) \cdot q(t+T-1)$$

$i(t)$: 流入車群の第 t ステップにおける流入量

$q(t)$: 下流における第 t ステップにおける推定流量

T : 対象リンクの平均走行時間 $\times 0.8$

F : 平滑化係数 $1/(1+T \cdot \alpha)$

α : 車群拡散係数

この拡散式より流入してきた車群パターンから下流交差点への到着パターンを求め、

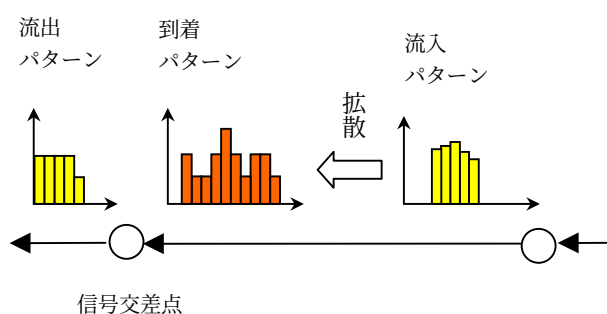


図3 交通流再現イメージ

その交差点で下流リンクに対して新たに形成される流出パターンを求めるという一連の演算を行いながら、交通状況を再現していく。計算イメージを図3に示す。開発されてから近年までオリジナルのTRANSYTは過飽和状態を扱うことができなかった。しかし、日本の交通事情を鑑みると過飽和流への対応は必須であり、モデルを次のように拡張している。第 l リンクについて、交通容量を Q'_l 、時点 t での行列台数を $Q_l(t)$ 、上流交差点からの流入交通量を $q_l(t)$ として

1) $Q_l(t) + q_l(t) \leq Q'_l$ ならば、第 l リンクに流入可

2) $Q_l(t) + q_l(t) > Q'_l$ ならば、第 l リンクに流入不可とする。これにより、閑散交通から渋滞発生時に至るまで全ての交通状態を表現することができる。

処理イメージを図4に示す。

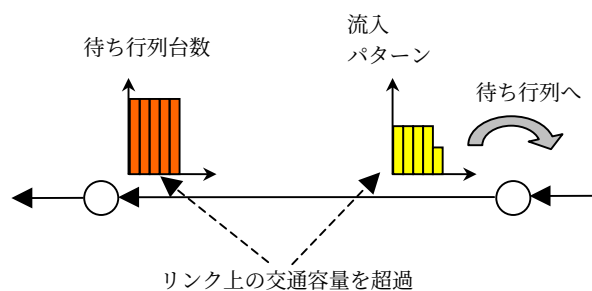


図4 過飽和時の処理イメージ

3. 実用化に向けた取組み

提案手法の特筆すべき点としては、提案手法の実システムにおける実行可能性である。交通管制システムは長い年月をかけて整備されてきたものであり、提案手法の実用化を考える場合には現行システムとの親和性が重要となる。そこで本研究においては、交通流データ収集タイミングや信号制御パラメータ送出タイミングなどは実システムと同一条件としてリアルタイムシステムで使われているミニコン上で実験システムの構築を行なった。

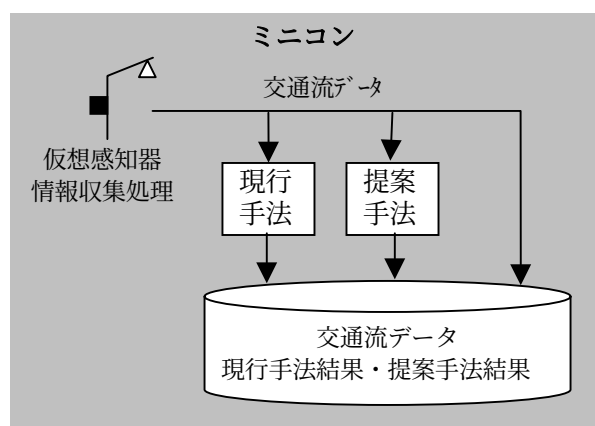


図5 実験システムのイメージ

具体的な処理手順は以下の通りである。

- 1) 仮想的な感知器情報収集処理が実施され、現行手法と提案手法に交通流情報等が入力される。入力されるデータは実際に観測された情報を用いる。
- 2) 各手法によりサブエリア構成・制御パラメータそれぞれ計算する。また、現行手法においては算出した結果をもとにシミュレータを実行

し、ネットワーク全体の遅れ時間を算出する。一方、提案手法に関しては、処理を実行する過程で対応する遅れ時間が計算されるため、その値を制御実施時の遅れ時間とする。

- 3) 各手法ともに算出結果とそのときの遅れ時間がDBに蓄積される。

4. 実験

前項で構築した実験システムにより提案手法の有効性を検証した。対象道路網は神奈川県内のノード数57・リンク数182の規模を持つネットワークを用いる。入力とする交通状況は2001年9月13日5:00～11:00に収集された交通流データとする。収束速度や実現最小値から優れているのはR.S.であると報告されているため、リアルタイムシステムを想定した本実験では最適化手法としてR.S.を採用する。また、実システムでの制御に合わせて、制御パラメータ算出間隔は15分とする。有効性検証として、提案手法と現行手法との遅れ時間を比較する。ここで、現行手法としては対象道路網で現在実施されているプログラム選択方式を用いた。図6に時点毎に算出された制御パラメータに基づいたシミュレーションで計測した遅れ時間を示す。また、表1は手法毎に遅れ時間の平均をとり、比較したものである。

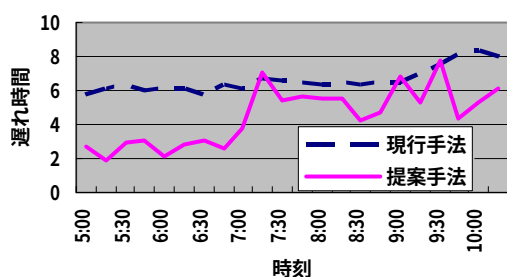


図6 遅れ時間算出結果

表1 遅れ時間比較

	現行手法	提案手法	低減率
平均P.I.	6.62	4.48	32%

この結果から、提案手法は現行システムより約3割強の遅れ時間低減を実現できるという結果を得た。よって、提案手法は実システムでの実行可能性を保持しながら遅れ時間低減に寄与できることがわかり、その有効性を確認することができた。特に、ミニコ

ン上で実験システム構築し、実際の制御間隔に合わせたパラメータ算出を行なっているために、信号制御機や下位系と呼ばれる装置群の種類に関係なく適用可能であり、リアルタイムシステムへ広く適用可能であることが特筆すべき点である。ただし、図6では提案手法においても現行システムと同等の遅れ時間しか実現できない時点も見受けられた。これは最適化における探索回数がやや不足し遅れ時間を効率的に低減する探索方向を見つけないことができなかったためと考えられる。最適化手法の改良や計算機環境の充実等で解候補探索の安定化を図ってきたい。

5. おわりに

本研究では、サブエリア構成・制御パラメータの一括最適化をオンラインで実現する手法を構築した。さらに、数値実験を交通管制システムとほとんど同一の環境にて実施し、その実行可能性と有効性を確認することができた。今後の課題として、制御パラメータ算出の安定化とさらなる高速化を実現していきたい。最後に、フィールドデータ収集等で本研究にご協力を頂いた神奈川県警察本部交通部交通管制課の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- 1)警察庁交通局監修：警察によるITS，（財）日本交通管理技術協会・（財）都市交通問題調査会，1998.
- 2)（社）交通工学研究会：交通信号の手引，交通工学研究会出版，1994.
- 3)Robertson,D.I.：TRANSYT; a traffic network study tool, Road Research Laboratory Report LR 253, 1969.
- 4)織田,音喜多ほか：メタ戦略におけるTRANSYT交通流モデルにおける交通信号制御最適化，システム制御情報学会論文誌，Vol.10, No.10, pp.547-555, 1997.
- 5)織田,音喜多ほか：メタヒューリスティクスによる都市街路網におけるサブエリア構成最適化，システム制御情報学会論文誌，Vol.11, No.8, pp.466-476, 1998.
- 6)茨木,柳浦：組合せ最適化～メタ戦略を中心として～，朝倉書店，2001.