

信号制御の最適化におけるメタ戦略の比較と 制御パラメータの連続自動調整への適用

新川 力 ((株)日本テクシード)
岡田 巨平 ((株)アルファシステムズ)
久井 守 (知能情報システム工学科)

Comparison of Metaheuristics in Optimizing Signal Control and Their Application to Sequential Adjustment of Control Parameters

Tsutomu SHINKAWA (Japan Tecseed, Ltd.)
Kouhei OKADA (Alpha Systems Inc.)
Mamoru HISAI (Department of Computer Science and Systems Engineering)

This research aims to find an optimization method that is applicable to the real-time control of offsets and cycle lengths and that is better than Genetic Algorithm (GA) from a viewpoint of calculation efficiency. For this purpose, some methods are selected from metaheuristics that is a generic name of stochastic search methods like GA and that intends to find a global optimal solution. Those selected methods are compared through application to offset optimization. As a result, ILS is adopted as a best search method. After that, ILS is applied to sequential adjustment of offset and cycle length. It was found that ILS was applicable to real-time control strategy of signal coordination.

Key Words : signal coordination, offset, cycle length, real-time control

1 . はじめに

交通信号のコンピュータ制御は世界的に広く行われている . 海外では OPAC (米) , SCOOT (英) , UTOPIA (伊) などが代表的である . これに対してわが国では MODERATO が推進されている . しかしわが国の系統交通信号のオフセット制御に關す限り , 現在のところパターン選択制御が主流であるというほかはなく , 制御パラメータの自動生成によるリアルタイム制御はサイクル制御とスプリット制御を中心に行われているというのが現状である .

系統制御はサイクル長を共通にしたうえでオフセットを設定して一連の信号を制御する制御方式である . この系統制御において , オフセットとサイクル長が交通量の変動に応じて自動的に

オンラインで調整でき , それによってつねに最適制御を維持することができれば , 人手を要することなくコスト的に効率のよいリアルタイム制御システムを構築することができる . そのためには , オフセットとサイクル長を毎サイクル自動的に微調整するための最適化の手順を確立することが必要である . 最適化では局所解を回避し全域的最適解の探索を意図したものでなければならない . またオンライン交通情報をリアルタイムで活用することも重要である . ただし情報の計測コストを抑え , また情報の集計や伝達に起因する時間遅れを小さくすることについても十分にこれを考慮しなければならない .

これまでは TRANSYT 交通流モデルと遺伝的アルゴリズム (GA) を用いたオフセット自動生

成によるリアルタイム制御が検討されてきた¹⁾。本研究ではオフセットとサイクル長の最適化に適用可能で、かつGAよりも演算効率のよい最適化手法を探すことを目的とする。具体的には、メタ戦略と総称される最適化手法の中からいくつかの手法をとりあげる。TRANSYT 交通流モデルとメタ戦略を組み合わせた信号制御最適化もすでに行われている^{2),3)}。本研究では、これを参考にしながら、最適解が既知の信号制御問題に適用することを試みた。メタ戦略は目的関数の勾配を用いる探索手法ではなく、GAと同じく、いわば確率探索手法であり、全域的最適解の探索を意図した手法であるという点に特徴がある。とりあげたメタ戦略について演算効率と解のよさを比較し、その結果から望ましい手法を選び出す。選び出した手法をオフセットおよびサイクル長の連続自動調整に適用して、その適用性について検討する。

2. 絶対オフセット変更量の最適化

系統制御のオフセットについては信号ごとの絶対オフセットと、隣接信号間の相対オフセットという2とおりの定義がある。この2とおりのオフセットは互いに変換が可能であるから、オフセット最適ではそのいずれを未知数にとってもさしつかえはない。ただし実際の制御でオフセットを変更する場合には、信号ごとに絶対オフセットを変更している。このような事情を考慮して、本研究では絶対オフセットの現在値を既知とし、その変更量を未知数とする。

ところで絶対オフセットの1回の変更量の上限としてはサイクル長Cの1/8、すなわちC/8が用いられている。したがって絶対オフセットの変更量が多い場合には、数サイクルにわたってオフセットを変更することが必要になる。絶対オフセットの変更量が

$$-\frac{C}{4} \leq \text{絶対オフセットの変更量(秒)} \leq +\frac{C}{4} \quad (1)$$

のように±C/4以下であれば、オフセット変更は2サイクルで完了し、制御の時間遅れは少なくとも、絶対オフセット変更量を最適化する場合に、このような制約を課したとすると相対オフセットの変更量は次のようになり、2信号に関する限り制約がないのと同じこととなる。

$$-\frac{C}{2} \leq \text{相対オフセットの変更量(秒)} \leq +\frac{C}{2} \quad (2)$$

3. 最適オフセットの計算方法

本研究では、絶対オフセットの現在値を既知とし、その変更量を最適化する。最適化の評価指標は遅れ時間とする。本研究では、GA以外のメタ戦略についてその性能を比較評価し、最も計算効率のよい方法を検討する。評価指標PIの遅れ時間はTRANSYT 交通流モデルで求める。Fig.1のようにメタ戦略またはGAを上位とし、TRANSYT 交通流モデルを下位とする2レベルの計算方式とする。上位からはオフセット(ベクトルx)を与え、それを条件として下位でシミュレーションを行い、評価指標を求めてそれを上位にかえすという計算方式である。

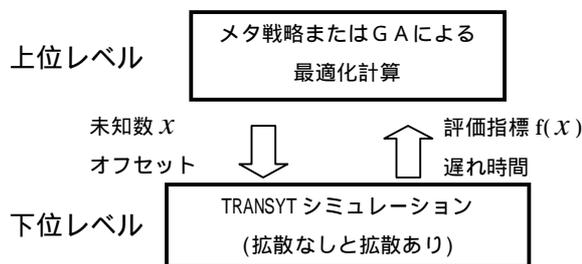


Fig.1 オフセットの最適化計算

4. 最適サイクル長の計算方法

サイクル長の最適化についても、オフセットと同様、サイクル長そのものではなく、サイクル長の変更量を未知数としてその最適化を行う。サイクル長の現在値は既知とし、それに対して±30秒(10秒刻み)の計7とおりのサイクル長を作り、それぞれについてオフセット最適化を行う。その中から遅れ時間を最小にするサイクル長とそのときのオフセットの組合せを最適サイクル長と最適オフセットとする。ただし、サイクル長は50~150秒の範囲内で計算を行う。Fig.2はサイクル長の現在値が60秒とした場合のサイクル長の最適化計算である。

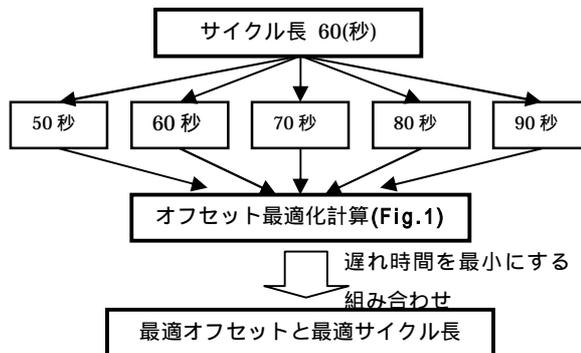


Fig.2 サイクル長の最適化計算

5 . TRANSYT 交通流モデル

TRANSYT はサイクル長を 50 分割した 50 個の時間区間ごとの交通流率をヒストグラムで表わす車群モデルである .これを独自にプログラム化し ,これを用いて交通流を再現し遅れ時間を求めることとする .実際の制御システムに実装する場合には ,オンラインで計測した交通情報を入力条件としてリアルタイムでシミュレーションを行って遅れ時間を求めることを想定している .

6 . メタ戦略

メタ戦略とは ,柳浦・茨木から引用すると ,
・過去の探索の履歴を利用して新たな解を生成し
・生成した解を評価し次の解の探索に必要な情報をとり出す ,という操作を反復して最適解を求める計算法である 4) .

本研究では ,プログラミングが比較的容易な次の 5 つの計算法を比較した 4),5),6) .

- アニーリング法(Simulated Annealing: SA 法)
- アント法(Ant Colony System : ACS 法)
- 反復局所探索法(Iterated Local Search : ILS 法)
- タブー法(Tabu Search : TS 法)
- 誘導局所探索法(Guided Local Search : GLS 法)

7 . メタ戦略の性能評価

メタ戦略を用いて絶対オフセットの最適化を行った .初期絶対オフセットはすべて 0.0 とし ,各プログラムを 25 回ずつ計算して 25 個の解を求めた .それによって TRANSYT シミュレーションの実行回数・PI・計算時間について性能評価した .対象路線は Fig.3 に示す 9 信号からなる路線である .計算条件は ,損失時間 L=0.0 秒 ,速度 $v=12.5\text{m/秒}$,サイクル長 $C=80$ 秒 ,飽和交通流率 $s=1.0$ 台/青秒 ,右左折なし ,車群拡散なしとする .この路線と計算条件では全リンクとも相対オフセット 0.5 が最適となり ,そのとき PI が 0.0 となる .すなわち最適解が既知となるように条件を設定している .計算には 2.5GHz のパソコンを用いた .

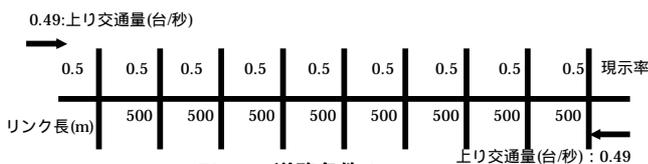


Fig.3 道路条件 1

計算結果を Table 1 に示す .反復局所探索法 (ILS)が 5 つの評価項目のうち 3 つで 1 番よいという結果が得られた .

Table 1 メタ戦略の性能評価表(灰色 : 1 位)

メタ戦略名	シミュレーション実行回数	PI 最小値	PI 最大値	PI 平均値	平均計算時間[秒]
アニーリング法	40044	0.00	15.38	3.80	5.0
アント法	40956	4.70	52.70	22.88	5.1
誘導局所探索法	135559	5.92	5.92	5.92	38.5
タブー法	74782	0.00	0.00	0.00	18.7
反復局所探索法	9999	0.00	15.35	2.38	1.3

8 . ILS と GA の比較

5 つのメタ戦略の中で最もよい ILS と GA について ,道路条件 1 を用いて比較する .計算結果は Table 2 に示す .この表から計算時間は ILS の方が GA よりも早いことがわかる .

Table 2 GA と ILS の比較

メタ戦略名	シミュレーション実行回数	PI 最小値	PI 最大値	PI 平均値	平均計算時間[秒]
反復局所探索法	25471	0.00	1.17	0.33	3.0
遺伝的アルゴリズム	241531	0.00	2.73	1.31	54.3

次に一般的な道路条件について計算を行う .その道路条件を Fig.4 に示す .また , $L=10.0$ 秒 , $v=12.0\text{m/秒}$, $C=100$ 秒 , $s=0.9$ 台/青秒 ,右左折なし ,車群拡散なしとする .

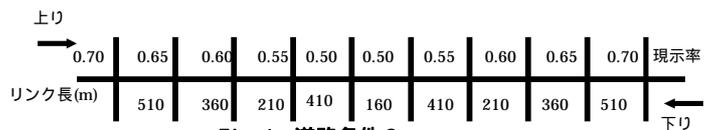


Fig.4 道路条件 2

交通量(台/秒) は 15 分ごとに ,上り方向は 0.3 から 0.2 まで 0.01 ずつ減少させ ,下り方向は 0.2 から 0.3 まで 0.01 ずつ増加させる . 3 つの交通量水準を Table 3 に示し ,また 15 分ごとの交通量変化を Fig.5 に示す .この道路・交通条件では ,交通量が上下両方向とも 0.25 台/秒の前後で PI が対称になる ,と予想されるが ,Fig.6 に示した計算結果から GA と ILS のいずれも予想どおりの結果となった .

Table 3 交通量 1

水準	上り交通量	下り交通量
	0.30	0.20
	0.25	0.25
	0.20	0.30

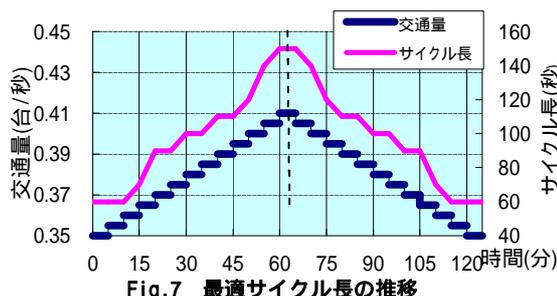


Fig.7 最適サイクル長の推移

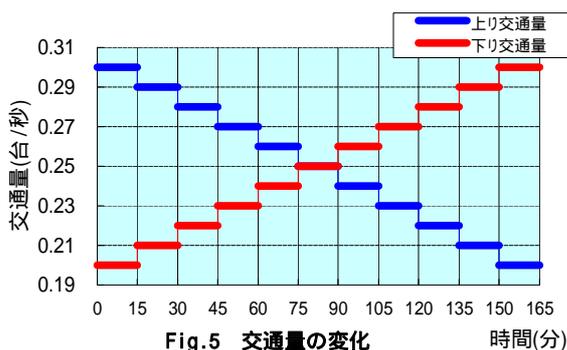


Fig.5 交通量の変化

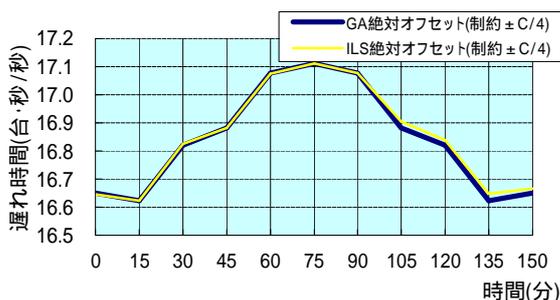


Fig.6 道路条件2のGAとILSのPI比較

9. サイクル長とオフセットの同時最適化

一般に交通量が増加すれば最適サイクル長は大きくなり、減少すれば最適サイクル長も小さくなる。そこで、ILSによってサイクル長とオフセットの同時最適化を行い、その結果について検証を行う。交通量水準はTable 4に示す。交通量水準からへ0.005ずつ増加させ、からは0.005ずつ減少させる。計算結果をFig.7に示す。交通量の増減に伴いサイクル長が定性的に予想されるとおりの変化を示す結果となった。なお遅れ時間にはランダム遅れを考慮している。

Table 4 交通量 2

水準	上り交通量	下り交通量
	0.35	0.35
	0.41	0.41
	0.35	0.35

10. まとめ

本研究ではオフセットとサイクル長の連続自動調整の計算法を検討した。オフセット最適化については数種類のメタ戦略を比較し検証した。その結果、反復局所探索法(ILS)がよいことがわかった。また、GAとILSを比較したところ、ILSはGAよりよい計算方法であるということがわかった。さらに、ILSによってオフセットとサイクル長のそれぞれについて連続自動調整を行い、定性的に予想されるとおりの望ましい結果を得ることができた。

参考文献

- 1) 伊賀上 聡, 久井 守: 系統交通信号のオフセット自動生成によるリアルタイム制御, 工学部研究報告, Vol.56, No.1, pp.53-61, 平成17年10月
- 2) 織田 利彦, 音喜多 亨, 津久家 智光, 橋場加奈: メタ戦略による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
- 3) 岩岡 浩一郎, 織田 利彦: リアルタイム交通信号最適化制御, 土木計画学研究・講演集, Vol.25, 2002
- 4) 柳浦 睦憲, 茨木 俊秀: 組合せ最適化 - メタ戦略を中心として -, 朝倉書店, pp.54, pp.73-122, 2002年6月
- 5) 三井 和男ほか: 発見的最適化手法による構造のフォームとシステム, コロナ社, pp.19-32, 2004年7月
- 6) Fred Glover and Gary A. Kochenberger: Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, 2003

(平成18年8月31日受理)