遺伝的アルゴリズムによる交通流量の変動に適応した 最適信号機オフセットの探索

正員 高橋 聖* 非会員 風間 洋**
非会員 藤倉 智一** 正員 中村 英夫*

Adaptive Search of an Optimal Offset for the Fluctuation of Traffic Flow Using Genetic Algorithm

Sei Takahashi*, Member, Hiroshi Kazama**, Non-member, Tomokazu Fujikura**, Non-member,
Hideo Nakamura*, Member

This paper describes offset optimization for the fluctuations of traffic flow using a genetic algorithm (GA). An Offset which is the target of signal control parameters for this study is difficult to optimize because of its variety of combinations. Traffic signal optimization using GAs has been investigated in previous studies. Most of them however, focused on signal control without considering the fluctuations of traffic flow. In a practical scene, the rate of flow changes as time passes, so that offset-optimization considering these fluctuations of flow is required. As a case study, an urban traffic route in a city of the Chubu region in Japan, with twenty-one signalized intersections, was tested. To perform offset-optimization by a GA, offset values were represented in a chromosome having the same number of genes as the signals. Two different schemes are introduced into the GA-based program and evaluated in terms of average travel time. The results show that the offset optimization schemes used in this study were valuable for efficient signal control.

キーワード：交通信号，オフセット，交通流量，最適化，遺伝的アルゴリズム

Keywords: Traffic signal, Offset, Traffic flow, Optimization, Genetic algorithm

1. まえがき

交通渋滞の緩和のための手段として、交通信号制御は重要な役割を果たしており、制御方法について多くの研究がなされている⁽¹⁾⁽²⁾。交通信号の制御パラメータには、青信号から黄信号、赤信号を経て青信号に至るまでの時間であるサイクル長、青信号と赤信号の割合を意味するスプリット、そして複数の信号機相互において、サイクル長に対する青信号現示タイミングの時間差の割合であるオフセットなどがある。この中でオフセットは線区の交通流の流れを制御する際に用いられる重要なパラメータである。上下方向のいずれか一方の流れを犠牲にすることにより、最適解

を与える系統式は導出できる。しかし、上下の交通量を加味した最適解でないために、実際の現場に適用することはできない。このため、最適解の探索にはシミュレーションを用いることになる。それでも、オフセットの最適な組合せパターンを求めることは容易ではない。たとえば、後述する本論文のモデル線区のように20の交差点のオフセットを操作できるとし、オフセットの操作を高々0%と50%の2通りであったとしてもその組合せは 2^{20} （約100万）パターンになる。さらに、そのパターンに対し交通流を与えたときのシミュレーションによる評価を経て最適なものを選択しなければならず、膨大な時間がかかる。なお、今回の筆者らの検討では、オフセットを0%から99%まで100通り変化させる。

一方、現在は「縦軸に交差点位置をとり、横軸に時間をとったグラフ上でオフセットに応じた交通流の遮断、通過を決定し、シミュレーションで求めた交通流のフローを図示して全体の流れを把握し、流れを阻害している交差点を見つけては、オフセットを変更し再度シミュレーションする」という方法を繰り返してオフセットパターンを決定している。なお、その際のオフセット調整は0%にするか50%に

* 日本大学理工学部電子情報工学科
〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1
College of Science and Technology, Nihon University
7-24-1, Narashinodai, Funabashi-shi, Chiba 274-8501

** 京三製作所
〒230-0011 神奈川県横浜市鶴見区上末吉2-10-5
Kyosan Electric Manufacturing Co., Ltd.
2-10-5, Kamisueyoshi, Tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa
230-0011

図1 対象道路交通路線の概要

Fig. 1. The schematic diagram of the target route.

表1 対象路線の信号パラメータ

Table 1. Signal parameters for the route.

Signal No.	1	2	3	4	5	6	7
Link [m]	0	215	295	500	450	300	650
Split [%]	67	75	56	54	75	75	69
Signal No.	8	9	10	11	12	13	14
Link [m]	500	405	450	495	430	370	530
Split [%]	68	57	63	62	76	68	62
Signal No.	15	16	17	18	19	20	21
Link [m]	495	430	370	530	400	100	350
Split [%]	62	76	68	62	71	71	50

するかであり、シミュレーションも右左折を考慮せず、自動車も全て均一とみなしたマクロモデルが一般的である。実際には、その解に現場導入後の人手による調整を加えることで実用可能な水準を確保してきた。

多くのオフセットの組合せの中から最適なオフセットを見つけ出すことは、一つの最適解探索問題である⁽³⁾。最適解探索には遺伝的アルゴリズム (GA) が有効である。GA を用いた交通信号制御はこれまでも研究が行われているが、いずれも与えられた一定の交通流を前提とした最適解の探索にとどまり、交通流の変化に適応した制御方法や制御時の交通流の過渡的な変化の吟味といった実際に適用する上で重要となる課題については触れていない⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾。

本論文では、遺伝的アルゴリズムを用いて、交通流量の変動に適応できる最適オフセットの制御方法について探索し、オフセットの移行に伴う交通流の過渡的な状態をも明らかにする。なお、本研究の目的は、現場に適用できる制御方法の確立にある。従って、シミュレーション条件や GA の探索アルゴリズムも時間的制約を重視して設定した。以下、第2章で検討対象とした交通路線について述べ、第3章では GA によるオフセット最適化プログラムを説明する。そして、第4章で交通流の変動を考慮したオフセットの最適化と制御方法について実験結果を交えて紹介する。

2. 対象道路交通路線

今回検討対象とした道路交通路線は、中部地方都市に位置しており、信号機が設置された21の交差点により構成されている。図1に対象路線の概要を示す。路線の総延長は8,305mで、図中の白丸は交差点を表している。19番目と20番目の交差点の信号機は、交差点の間隔が短いので同一の制御パラメータを持たせている。表1に各信号機の青スプリットと、前の信号機との間隔を示す。

本研究では、信号の制御パラメータであるオフセットパターンの最適化を行う。その他のパラメータであるサイク

図2 オフセット最適化プログラムの概要

Fig. 2. Concept for the GA-based program.

ル長及びスプリットは、対象路線で実際に用いられている値に固定するものとした。すなわち、当該路線ではサイクル長及びスプリットの変更はほとんど行われておらず、すべての信号機のサイクル長は130[s]であり、青スプリットは表1に示すものである。本研究ではこれらの値を用いた。

3. オフセット最適化プログラム

〈3・1〉概要 最適なオフセットパターンを探索するために、我々は遺伝的アルゴリズム (GA) によるオフセット最適化プログラムを構築した。本プログラムは、GAプログラム (GA Optimizer) と交通シミュレータプログラムの二つのコンポーネントで構成されている。オフセット最適化プログラムの概要を図2に示す。GAプログラムは、初期設定として、あらかじめ決められた数の個体をランダムに生成する。各個体は符号化されたオフセットパターンを染色体として持っている。交通シミュレータプログラムは、GAプログラムで生成されたオフセットパターンを評価し、適応度 (Fitness Value) を返す。GAプログラムは適応度に基づいて進化し、ある世代を経過したところで終了する。

〈3・2〉GAプログラム GAプログラムでは、オフセットパターンを染色体の持つ遺伝子に符号化する必要がある。基本的なGAにおいては、各遺伝子は0または1の値を持つが、本研究では各信号機のオフセットを遺伝子に表現させる。すなわち、サイクル長に対する割合 (%) である0から99の整数をオフセットとして各遺伝子に持たせることとした。第2章で述べたように、19番目と20番目の信号機のオフセット値は同一のものとした。オフセットパターンを符号化した染色体の一例を以下に示す。なお、本研究におけるオフセットは、0%を基準とする絶対オフセットである。

{15:93:7:86:34:53:87:51:65:83:6:33:38:17:1:12:92:79:
29:29:0}

GAプログラムに用いた各パラメータを表2に示す。染色体のサイズは、対象路線の交差点の数である。個体選択にはルーレットホイールアルゴリズムを用い、交叉は二点交叉を行った。突然変異率を50%という高い値に設定したが、これは実際の交通信号制御でのリアルタイム性を考慮し、最適解への収束を早めることが目的である。終了判定のための世代数を250世代としたが、ここで用いたパラメータによるオフセット最適化プログラムでは、すべての試行

表2 GAプログラムのパラメータ

Table 2. Parameters for the GA optimizer.

Number of individuals	30
Size of chromosome	21
Crossover rate	0.8
Mutation rate	0.5
Number of generation	250

表3 車両のパラメータ

Table 3. Parameters for a vehicle.

Acceleration [m/s ²]	1.4
Deceleration [m/s ²]	1.7
Maximum speed [km/h]	60

で250世代までに解が収束した。

〈3・3〉交通シミュレータ オフセット最適化プログラムの構成要素である交通シミュレータは、GAプログラムから渡されたオフセットパターンを評価し、その適応度を計算する。交通シミュレータでは、1番目の交差点から発生する車両を上り、21番目の交差点から発生する車両を下りとした。解析を容易にするため右左折は無いものとし、対象路線以外からの流入も考慮していない。交通流量は飽和度として上り下り個別に設定できるようにした。各車両は加速度及び減速度、最高速度のパラメータを持ち、各値は表3に示すものとした⁽⁷⁾。

本研究では、対象路線を走行する各車両の旅行時間ができるだけ短くなるようなオフセットパターンを最適なオフセットであるとした。したがって、交通シミュレータが計算する適応度は、全車両の旅行時間の平均値である平均旅行時間 (Average Travel Time: ATT) の逆数を用いた。なお、オフセット評価においては、単なる旅行時間のみでなく、信号による一時停止回数の少ないものが良しとされ、一時停車を嫌う傾向にある。このことを加味するため、平均旅行時間算出においては1回停止する度にペナルティとして30[s]を旅行時間にプラスすることとした。適応度は以下の式で表される。

$$\text{Maximize } \frac{1}{\text{ATT}} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、

$$\text{ATT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i + 30 \times S_i) \text{ [s]} \dots \dots \dots (2)$$

である。ここで、

T_i : i 番目の車両の旅行時間 (停止信号による実際の待ち時間も含む)

S_i : i 番目の車両の停止回数

N : 上り下りの車両総数

である。交通シミュレータでは、安定した交通状態で評価できるように、3サイクルの期間車両を発生し、適応度を計算させた。GAプログラムでは、この適応度が最大となるように進化が行われる。

表4 上り下りの飽和度20%の結果

Table 4. Results of the degree of saturation 20% for up and down flows.

Offset pattern	Average travel time [s]
GA-based program (best)	604
GA-based program (worst)	666
Present method	708

〈3・4〉動作検証 オフセット最適化プログラムの有効性を検証するために、まず交通流量の変動を考慮しない場合についてのオフセット最適化を検討した。ここでは、飽和度を上り下りとも20%と仮定した。

GAは初期個体にランダムなものを含むので、各試行ごとに収束する解が異なる。したがって、本実験ではオフセット最適化プログラムを10回試行した。10回の試行によって得られた最適オフセットのうち、最も良いオフセット及び最も悪いオフセットによる平均旅行時間を表4に示す。表中には比較のため、現在対象路線のオフセット決定に用いられている方法 (Present method) による最適オフセットでの結果も示している。現在用いられている方法では、二つの交差点ごとに0%と50%の二つのオフセットのうち、総遅れ時間が短いほうを最適オフセットとして採用している。オフセット最適化プログラムによる最も悪いオフセットを用いた場合でも、既存の方法に比べて平均旅行時間が40[s]ほど短くなった。今回使用した計算機 (CPU: Pentium III 863 MHz, RAM: 260 MB) では、オフセット最適化の1回の試行に約4.4分の時間がかかった。このことは前述した時間的制約を満足できる値である。なお、その分、試行により最適解のばらつきが見られた。純粋に最適解を探索する目的なら、何回試行してもばらつかないような世代交代の回数や、交配の仕方、突然変異のさせ方などGAそのものに対するより詳細な検討も必要になる。しかし、前述したようにここでは実用性を重視し時間制約を重視した。

図3にオフセット最適化プログラムの解の収束過程を示す。ここでは一例として、10回の試行のうち最も良いオフセットが探索された場合を示した。横軸は世代を、縦軸は各世代における最適解による平均旅行時間をそれぞれ示す。また比較のため、現在用いられている方法での平均旅行時間を点線で示した。初期世代において、オフセット最適化プログラムによる平均旅行時間が既存の手法より長くなっているが、世代交代が進むにつれ短くなり、150世代を越えたあたりで604[s]に収束している。

4. 適応型オフセットの最適化の検討

本章では、交通流量の変動に適応した適応型オフセット最適化手法について検討する。交通流の変化は、現在15分毎に制御部に伝えられる。この間の変動については、緩やかに変動するケースや、ある時間帯を境に急激に変化する場合など様々なものがある。本研究は、いずれのケースにおいても利用できる方法の探索にあるが、まず不連続となる

図3 オフセット最適化プログラムの収束過程
Fig. 3. Convergence of the GA-based program.

図4 オフセット切り替えに伴う移動平均旅行時間の推移
Fig. 4. Transitions of MATT for changing offset.

極端なケースで制御方法が求まるかどうかを調べることとした。このため、最初上り下り飽和度は5%で同一 (U5D5) であったものが、上りの飽和度のみ 25% (U25D5) に増加したケースを事例として設定する。

〈4・1〉オフセット切り替えの影響分析 交通流量の変動に追従した最適制御を実現する考え方として、変化した飽和度に対応した最適オフセットパターンを求め、変化に適応して切り替える方法が考えられる。しかし、実際の制御に適応するには、それぞれのオフセットパターンにしたがって走行している各車両が、オフセットパターンの変更に伴ってどのような影響を受けるかといった、過渡的な応答に対する十分な吟味を行うことが望まれる。

図4に、オフセット切り替えを行った時の、過渡的な応答に対する分析結果を示す。分析は上りの飽和度が5%から25%に変化した時点から、制御遅れなくオフセット追従動作を行って25%での最適オフセットへ移行した場合と、オフセットを変更せず5%での最適オフセットを維持した場合とを移動平均旅行時間 (Moving Average Travel Time: MATT) で評価した。移動平均旅行時間は、ある時点から過去6サイクル (780 [s]) の間に発車した車両の旅行時間を1 [s] ごとに移動平均したものである。6サイクルは、対象路線を始点から終点まで十分に走りきれの最も短い期間として採用した。なおオフセット追従方式は、現実の交通管制システムに採用されている $\pm 12.5\%$ 方式を採用した。

各飽和度に対して用いたオフセットは、以下に示すような10回の試行での最良オフセットである。

(飽和度 U5D5 に対する最適オフセット)

{87:71:16:42:66:50:15:10:31:58:86:2:38:67:79:71:98:
24:53:53:89}

(飽和度 U25D5 に対する最適オフセット)

{20:13:50:70:95:92:41:56:59:80:12:39:62:82:7:25:30:55:
74:74:9}

図中実線は、飽和度の変動に伴って上り 25%、下り 5%での最適オフセットへ移行した場合 (offset changing) の推

移であり、点線は上り下りとも 5%での最適オフセットを維持した場合 (offset unchanging) の推移を示している。シミュレーションでは、まず上り下りとも 5%の飽和度で 15 サイクル車両を発生させ、続いて上りの飽和度を 25%に変化させ 30 サイクル車両を発生させた。また図の横軸は、移動平均旅行時間の評価を開始した 6 サイクル経過後を基準としている。交通流量の変動に対してオフセットを変更せずに維持した場合 (offset unchanging)、対象路線の交通状態が新しい交通流量に変動するのに伴い、移動平均旅行時間が次第に長く、不利になっていくことがわかる。上り 25%、下り 5%での最適オフセットへ移行した場合 (offset changing)、2500 [s] を越えると、移動平均旅行時間が小さくなり、最適オフセットへ切り替えた効果が現れている。しかし、1000 [s] から 2500 [s] までの間に移動平均旅行時間が大幅に増大しており、この間の運転者にとっては必ずしも最適とは言えない状況が出現することがわかる。これは図に示すようにオフセット切り替えに伴う損失分 (Loss) と考えられ、新しい飽和度の交通状態がこの損失分を相殺するだけの持続時間を持たなければ、オフセット変更は不利になることを示している。

このように、単に飽和度の変化に応じ、その最適化オフセットに適宜切り替える制御方法の採用は、車両の流れを著しく阻害することを明らかにした。したがって、実際の交通信号制御の現場に適用できる制御方法を構築するには、図4に示すような損失分が小さくなるようなオフセットパターンを導出することが不可欠となる。

そこで、本研究では交通流量の変動に適応した適応型オフセット最適化手法を提案する。適応型オフセット最適化のために、第3章で述べたオフセット最適化プログラムに以下の二つの最適化手法を導入した。

最適化手法 1: GA プログラムの初期個体に交通流量変動前での最適オフセットを含める。

最適化手法 2: GA の適応度に、交通流量変動前での最適オフセットとの距離を考慮する。

表 5 最適化手法 1 による平均旅行時間の結果

Table 5. Average travel time for scheme 1.

	Best	Worst	Average	Stdev
Scheme 1	553.6	562.7	556.5	2.4
Simple optimization	557.5	603.3	579.8	15.2

以下、これら二つの手法について検討した。

〈4・2〉最適化手法 1 最適化手法 1 では、交通流量変動後の飽和度 (U25D5) での最適オフセットを求めるにあたり、GA プログラムの初期個体に、変動前の飽和度 (U5D5) での最適オフセットを含める。飽和度 U5D5 での最適オフセットは、前節で示したものをを用いた。このオフセットを変動前の飽和度での最適オフセットとして選択し、GA プログラムの初期個体の一つに含ませた。この手法により、交通流量が変動する場合の飽和度 U25D5 に対する最適オフセットを求めた。10 回の試行により、最良オフセットは次のように導出された。

(最適化手法 1 による最適オフセット)

{82:76:13:42:53:50:11:10:35:58:85:6:33:57:79:71:0:24:
47:47:84}

最適化手法 1 による最良オフセットは、変動前の飽和度での最適オフセットと類似したオフセットパターンとなっている。

最適化手法 1 と単純に飽和度 U25D5 に対して求めた最適オフセットによる結果の比較を表 5 に示す。結果は、10 回の試行のうちの最良及び最悪のオフセットを用いた平均旅行時間 ([s]) と、10 回の試行の平均値及び標準偏差 (Stdev) を示している。どちらの方法でも最良オフセットによる結果の差は小さく、最適化手法 1 によるものが約 4 [s] ほど短い。しかし、平均値を見ると、最適化手法 1 によって 20 [s] 以上平均旅行時間が短縮されている。また、最適化手法 1 の標準偏差は 2.4 となり、単純に飽和度 U25D5 に対して求めた最適オフセットの場合の 15.2 に比べて小さい。このことは、最適化手法 1 による最適オフセットのばらつきが小さいことを示しており、実際の交通制御への適用を考えた場合、少ない試行で実用的な最適オフセットが見つかることが期待できる。更に、最適化手法 1 では初期個体に変動前の飽和度での最適オフセットを含ませているので、収束後の解はこのオフセットよりも適応度が低いことはない。前の飽和度でのオフセットより適応度が低い場合は、オフセット変更することの意味がない。実際、単純に飽和度 U25D5 に対して求めた場合では、10 回の試行のうち 3 回の試行でこのようなオフセットが最適解として出現してしまっている。なお特定の飽和度に限らず、他の飽和度でも、初期個体に最適オフセットを含めることで同様の傾向が見られる。

次に、交通流量の変動に伴って、最適化手法 1 による最適オフセットに切り替えた場合の効果について検討した。図 5 に、最適化手法 1 での移動平均旅行時間の推移を示す。

図 5 最適化手法 1 での移動平均旅行時間の推移

Fig. 5. Transitions of MATT using the best offset optimized by scheme 1.

最適オフセットに移行した場合、図 4 と同様にオフセットの移行に伴い移動平均旅行時間が増加し、ピークを迎えた後、時間の経過とともに最適なオフセットでの平均旅行時間に収束する傾向が見られるが、最適化手法 1 による最適オフセットを用いた場合、より少ない損失分でオフセットの移行ができています。この傾向は、他の試行でも同様に見られることを確認している。

〈4・3〉最適化手法 2 最適化手法 2 では、オフセット最適化プログラムでの交通シミュレータの適応度に、交通流量変動前での最適オフセットとの距離を考慮する。前述したように、オフセット変更を効率的に行うためには、オフセットの移行に伴う損失分ができるだけ小さいことが望ましい。新しい飽和度でのオフセットが、前の飽和度でのオフセットと類似しているほど、追従動作による損失分が小さくなることが予想されるので、最適化手法 2 では、これら二つのオフセット間の距離を適応度の一部に導入した。オフセット間の距離が小さいほど、二つのオフセットは類似していると考えられる。なお、本論文でのオフセットは、対象道路以外に同サイクルの仮想的な信号機を考え、この信号機の青になるタイミングを基準とした絶対オフセットを用いている。従って、個々の信号機のオフセットの差は、他の信号機のオフセットに影響を与えない。このため、オフセット間距離には、オフセットパターンの対応する要素同士から算出式を定義できる。オフセット間距離 D_{offsets} として、各オフセットパターンのユークリッド距離を用いることとし、次式によって定義した。

$$D_{\text{offsets}} = \sqrt{\sum_i (o_i^{\text{Prev}} - o_i^{\text{New}})^2} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

o_i^{Prev} : 前のオフセットの i 番目のオフセット値

o_i^{New} : 新しいオフセットの i 番目のオフセット値

である。

オフセット間距離を導入した新たな適応度は次式で表さ

表 6 異なる c_d の値による結果Table 6. Typical results for different c_d values.

c_d	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0
ATT	559.5	562.0	571.5	578.5	603.0
D_{offsets}	100.51	13.45	8.66	6.86	2.0

れる。

$$\text{Maximize } \frac{1}{\text{ATT} + c_d \times D_{\text{offsets}}} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

ATT: 式 (2) により求める平均旅行時間

c_d : オフセット間距離の適応度への寄与率

を示す。

異なる c_d 値に対し、それぞれ 10 回の最適化の試行を行った。なお各試行では、最適化手法 1 を採用しており、初期個体には前節で用いた飽和度 U5D5 での最適オフセットを含ませている。5 つの異なる c_d 値で求めた最適オフセットの典型的な結果として、平均旅行時間 (ATT) 及びオフセット間距離 (D_{offsets}) を表 6 に示す。 c_d 値が大きくなるにしたがって、オフセット間距離は小さくなるが平均旅行時間は増加する傾向がある。

表 6 に示した各 c_d 値によって求めた典型的な最適オフセットを用いて、オフセット変更の効果を検討した。評価は最適化手法 1 の場合と同様の方法で行った。図 6~9 に各 c_d 値で求めた最適オフセットでの移動平均旅行時間の推移を示す。ただし $c_d = 0.0$ の結果は、図 5 に相当する。オフセット間距離の適応度への寄与率である c_d 値を大きく設定すると、オフセット追従動作による損失分が小さくなる傾向が認められる。しかし $c_d = 3.0$ のような大きな値を用いると、損失分は小さいが収束後の旅行時間とオフセットを変更せず維持した場合の旅行時間との差が小さくなり、必ずしも有利なオフセットパターンとは言えない。 c_d 値を 4.0 とした場合は、すべての試行で前の飽和度でのオフセットが最適オフセットとして残る結果となった。図 8 の結果から、 $c_d = 2.0$ のような適切な c_d 値を設定することで、オフセット追従動作による損失分も少なく、平均旅行時間も短い最適オフセットが効率的に探索できることが示唆される。

5. むすび

実際の道路交通では、時間とともに交通流量が変動する。したがって、これらの変動を考慮した信号機オフセットの最適化を実用的な時間で行うことが重要である。本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いたオフセット最適化プログラムにより、交通流量の変動に適應したオフセット最適化について検討した。そして、オフセットの移行に伴う車両の過渡的な状態を考慮した適応型オフセット最適化に有効な手法を提案し、平均旅行時間により評価した。

その結果、各交通流量で個別に求めた最適オフセットを

図 6 $c_d = 0.5$ で求めたオフセットでの移動平均旅行時間の推移

Fig. 6. Transitions of MATT using the offset optimized by scheme 2 ($c_d = 0.5$).

図 7 $c_d = 1.0$ で求めたオフセットでの移動平均旅行時間の推移

Fig. 7. Transitions of MATT using the offset optimized by scheme 2 ($c_d = 1.0$).

図 8 $c_d = 2.0$ で求めたオフセットでの移動平均旅行時間の推移

Fig. 8. Transitions of MATT using the offset optimized by scheme 2 ($c_d = 2.0$).

単にに組み合わせただけでは、オフセットの移行に伴う損失分が大きくなることを明らかにした。提案した最適化手法 1 では、GA プログラムの初期個体に交通流量変動前での最適オフセットを含めることで、以下の有効性を示した。

図9 $c_d = 3.0$ で求めたオフセットでの移動平均旅行時間の推移

Fig. 9. Transitions of MATT using the offset optimized by scheme 2 ($c_d = 3.0$).

(1) 単純に飽和度に対し個別に求めた場合より良好なオフセットが探索できた。

(2) GAの試行による結果のばらつきが少なくなった。

(3) オフセット追従動作による損失分が小さくなった。最適化手法2では、GAの適応度に、交通流量変動前での最適オフセットとのオフセット間距離を導入した。オフセット間距離の適応度への寄与率を適切に選ぶことで、オフセット追従動作による損失分も少なく、平均旅行時間も短い最適オフセットが効率的に探索できることを示した。

本研究は、実際の対象路線での制御実験を行い有効な制御方法を確立することを意図している。本論文では試行錯誤的に寄与率 c_d の最適値を求めたが、あらかじめ様々な交通流の変化を与えて c_d の変化傾向を把握し、実制御段階では試行錯誤せずに解が得られるようにすると、考え得る状況に対する解を全て用意しておき、状況の変化に対しそれを索引して制御するなどの方法の採用が望まれる。今後より詳細なデータの把握に努めると共に、右左折率も加味した研究の深度化も図って行きたい。

(平成14年3月12日受付, 平成14年10月31日再受付)

文 献

- (1) B. G. Hansen, P. T. Martin, and Jr. H. Joseph Perrin: "Scoot real-time adaptive control in a corsim simulation environment", *Transportation Research Record*, Vol.1727, No.00-1550, pp.27-31 (2000)
- (2) G. E. Shoup and D. Bullock: "Dynamic offset tuning procedure using travel time data", *Transportation Research Record*, Vol.1683, No.99-1086, pp.84-94 (1999)
- (3) D.E. Goldberg, J.C.F. Telles, and L.C. Wrobel: "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., (1989)
- (4) G. Abu-Lebdeh and R. F. Benekohal: "Genetic algorithms for traffic signal control and queue management of oversaturated two-way arterials", *Transportation Research Record*, Vol.1727, No.00-1630, pp.61-67 (2000)
- (5) Y. Goto, K. Komaya, and T. Fukuda: "A Simulation Experimental Study of Traffic Signal Control by Using Genetic Algorithm", *T. IEE Japan*, Vol.115-D, No.6, pp.784-792 (1995-6) (in Japanese)

後藤幸夫・駒谷喜代俊・福田豊生: 「遺伝的アルゴリズムによる交通信号制御の検討」, 電学論, 115, 6, pp.784-792 (1995-6)

- (6) B. B. Park, C. J. Messer, and T. Urbanik II: "Enhanced genetic algorithm for signal-timing optimization of oversaturated intersections", *Transportation Research Record*, Vol.1727, No.00-1661, pp.32-41 (2000)
- (7) B. Park, C. J. Messer, and T. Urbanik II: "Traffic signal optimization program for oversaturated conditions: Genetic algorithm approach", *Transportation Research Record*, Vol.1683, No.99-1507, pp.133-142 (1999)

高橋 聖 (正員) 1968年8月18日生。1991年日大・理工・建築卒。1993年同大学院博士前期課程建築学専攻了。現在、同大電子情報工学科助手。ニューラルネットワークによる時系列パターンの認識、遺伝的アルゴリズムの産業応用に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本建築学会, 日本不動産学会各会員。

風間 洋 (非会員) 1951年1月21日生。1973年法政大・工・電気工卒。同年(株)京三製作所入社。現在、交通システム技術部にて道路交通制御システムのアルゴリズム設計の開発に従事。交通工学研究会会員。

藤倉 智一 (非会員) 1948年2月3日生。1971年日大・生産工・電気工卒。同年(株)京三製作所入社し、交通管制システム開発設計に従事。現在、交通システム技術部技術部長。

中村 英夫 (正員) 1948年7月12日生。1971年国鉄中央鉄道学園大・電気卒。1972年鉄道技術研究所, 1978年日大・委託研究員。1986年東京理科大・工(II)・電気卒。1994年日大・理工・助教授を経て、現在、同大電子情報工学科教授。工博。フォルトトレラントシステム, フェイルセーフシステム, 鉄道信号システムなどの開発・研究に従事。電子情報通信学会, 日本信頼性学会各会員。