

系統交通信号の制御パラメータの連続調整による自動生成の計算法*

On-line Formation of Control Parameters for Traffic Signal Coordination
by Sequential Adjustment*

久井 守**・伊賀上 聡***

By Mamoru HISAI**・Satoshi IGAUE***

1. はじめに

わが国では、系統交通信号のオフセット制御は、その大部分がパタン選択方式によるものであるが、オフセットの自動生成¹⁾や制御パラメータをすべて自動生成する試みも行われている²⁾。オフセットの自動生成という場合、計測した交通量などの交通情報を入力条件とし、交通流シミュレーションその他の方法で遅れ時間などの評価指標を計算しながらオフセットをオンラインで最適化し、求められたオフセットを直接適用するという自動生成の方法があるが、本研究ではこのような自動生成の方法を考察の対象とする。このようなオンライン計算による自動生成では、パタン選択の場合と同じく、現行のオフセットから新たに求めたオフセットへの切り替えが依然として必要である。すなわちいわゆるオフセット追従が必要となる。このため、新オフセットが実現するまでかなりのサイクル数を要し制御の時間遅れが出る可能性もある。そこで本研究では、追従量をできるだけ小さくすることを目的として、絶対オフセットの変更量に制約をつけた上でオフセットの最適化計算を行うことを提案する。ただし、このような制約条件をつけると最適解が得られるかどうか、すなわち望ましいオフセットが得られるかどうか課題となる。したがって、計算例によってこの点を確認することとする。

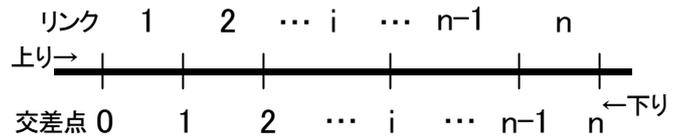


Fig.1 nリンクからなる系統信号路線

2. オフセットの変更量制約

まず本研究では、Fig.1に示すように交差点0, 1, ..., i, ..., nというように(n+1)交差点nリンクからなる系統信号路線を考察の対象とする。各信号の絶対オフセットの変更量はサイクル長Cの±1/4以内に制限する。すなわち次の式(1)および式(2)のような制約条件の下で変更後の新しい絶対オフセットを求める。

$$-\frac{C}{4} \leq x'_i - x_i \leq +\frac{C}{4} \quad (1)$$

$$-\frac{C}{4} \leq -(x'_{i-1} - x_{i-1}) \leq +\frac{C}{4} \quad (2)$$

ここに

x_i : 信号 i の変更前の絶対オフセット (秒)

x'_i : 信号 i の変更後の絶対オフセット (秒)

$(x'_i - x_i)$: 信号 i の絶対オフセットの変更量 (秒)

式(1)と式(2)の各辺の和をとると次のような不等式が得られる。

$$-\frac{C}{4} - \left(\frac{C}{4}\right) \leq (x'_i - x_i) - (x'_{i-1} - x_{i-1}) \leq \frac{C}{4} - \left(-\frac{C}{4}\right) \quad (3)$$

これを变形すると次のようになる。

$$-\frac{C}{2} \leq (x'_i - x'_{i-1}) - (x_i - x_{i-1}) \leq \frac{C}{2} \quad (4)$$

$$-\frac{C}{2} \leq y'_i - y_i \leq \frac{C}{2} \quad (5)$$

* キーワーズ: 交通流, 交通制御, ITS

** 正員, 助教授, 山口大学工学部知能情報システム工学科
(山口県宇部市常盤台2-16-1)

TEL: 0836-85-9533, E-mail: hisai@plan.csse.yamaguchi-u.ac.jp

*** 学生員, 山口大学大学院理工学研究科
(山口県宇部市常盤台2-16-1)

TEL: 0836-85-9533, E-mail: igaue@plan.csse.yamaguchi-u.ac.jp

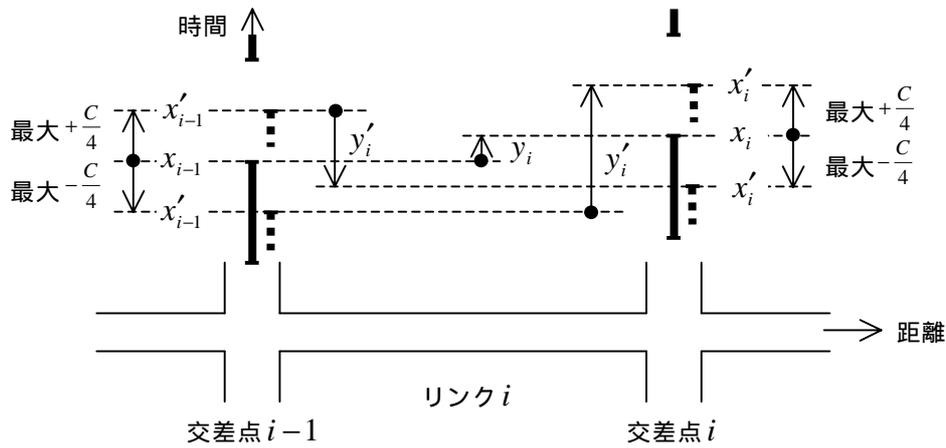


Fig.2 オフセットの変更量制約

ここに

y_i : リンク i の変更前の相対オフセット (秒)

y'_i : リンク i の変更後の相対オフセット (秒)

$(y'_i - y_i)$: リンク i の相対オフセットの変更量 (秒)

これらの関係をFig.2に示す. 絶対オフセットの変更量をサイクル長の $\pm 1/4$ 以内に制限すると, 相対オフセットの変更量はサイクル長の $\pm 1/2$ 以内に抑えることができる. このことは, オフセット追従中にオフセット反転が起こる可能性を少なくすることができるということを意味している. ここでオフセット反転というのは, 変更後の望ましい相対オフセットに対して位相が180度ずれたオフセット状態のことである.

絶対オフセットの変更量をサイクル長の $\pm 1/4$ に制限するということは, 1サイクル当たりの最大追従量をサイクル長の $1/8$ と仮定すると, 追従に要するサイクル数は最大でも2サイクルですむということになる. また相対オフセットの変更量がサイクル長の $\pm 1/2$ ということは, 相対オフセットの探索範囲に制限がないのと同等となる. ただしこれは1リンク2信号の路線を対象とした場合にいえることであって, 複数のリンクからなる路線を対象とした場合には, すべてのリンクについて同時に探索範囲の制限なくして探索を行うということとはできない. したがって本研究では, 反復計算によって変更後のオフセットパターンを求める. この反復計算によってオフセットパターンを求めるときにオンラインで変更するものとする. ただしこの計算法でも最適解が得られるということを数学的に証明することは困難である. そこで計算例によってこの点を確認する.

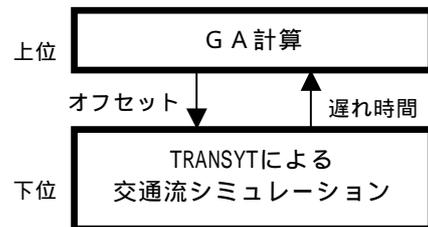


Fig.3 オフセット生成の2レベル計算

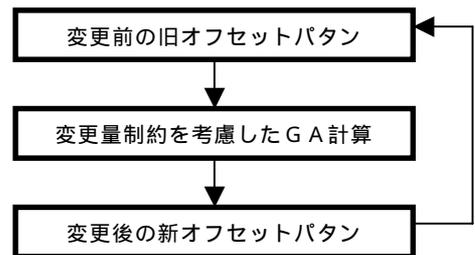


Fig.4 オフセットの反復計算

3. オフセット生成の計算例

オフセット生成のための計算は, Fig.3に示すようにG Aを上位とし, TRANSYT交通流モデルによるシミュレーションを下位とする2レベルの計算システムとする. また計算のフローはFig.4に示すとおりとし, 計算停止条件を満足するまで反復する.

(1) G Aによる最適化

旧オフセットに対して新オフセットを生成する場合の最適化手法としては, 局所解を回避しつつ計算速度の早い計算法が望ましい. ここでは局所解を回避することを重視しG Aを用いる³⁾. G Aの主な条件は次のとおりとした.

Table1 交通量水準 (台/秒)

交通量水準	上り方向	下り方向
①	0.37	0.13
②	0.25	0.25
③	0.13	0.37

Table2 各交通量水準の相対オフセット

	リンク1	リンク2	リンク3	リンク4	リンク5	リンク6	リンク7	リンク8
①	0.34	0.36	0.36	0.36	0.38	0.36	0.36	0.36
②	0.62	0.42	0.42	0.42	0.42	0.62	0.44	0.42
③	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

絶対オフセット：各信号 2 進数 6 桁表現
 集団サイズ：50
 世代数：100世代
 再生産確率：15%
 交叉確率：70%
 突然変異確率：15%

(2) TRANSYTによるシミュレーション

最適化の評価指標は遅れ時間とする。この評価指標を求める方法も計算速度が早くかつオンラインの計測交通情報を取り込むことが容易な方法が望ましい。しかしここではとりあえずTRANSYTの交通流モデルを独自にプログラム化し、それを用いて遅れ時間を求めた。なおシミュレーションの交通条件としては対象路線両端への到着交通流率のみを用いる。ただし実システムに実装する場合には計測に基づく交通条件はこれを取り込むようにするのが望ましい。評価指標は到着交通プロファイルの確定遅れのほかランダム遅れも考慮する。その他の条件は次のとおりとした。

1 サイクルの時間ステップ数：50ステップ
 平滑化係数：1.0 (車群拡散係数：0.0)

(3) 計算条件

交通量はTable1に示すように上り交通量が多い水準から上下両方向等しい水準を経て下り交通量が多い水準まで0.03(台/秒)きざみに変化する交通量変動を仮定した。計算対象として用いた系統信号路線は9信号8リンクからなる路線とする。道路・交通・信号条件は以下のとおりである。

リンク長：全リンク420m
 系統速度：12m/秒
 リンク走行所要時間：35秒
 飽和交通流率：0.9台/秒(2車線)
 右左折率：全交差点 0%
 サイクル長：100秒
 現示率：全信号0.5
 損失時間：16秒

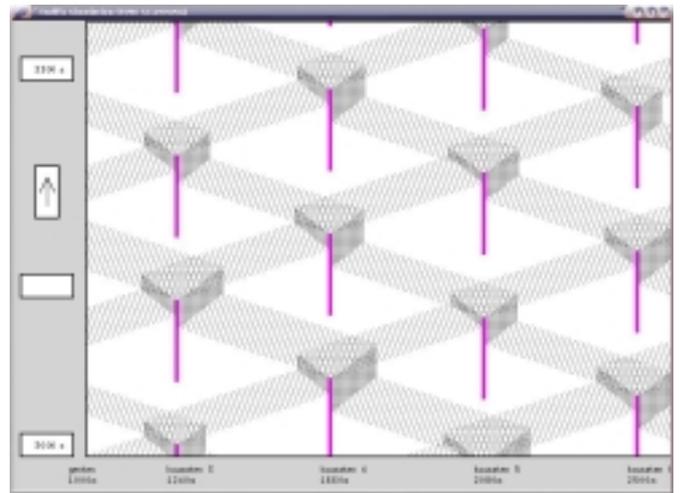


Fig.5 交通水準 で求めたオフセット

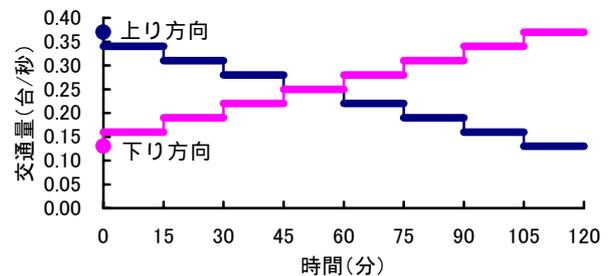


Fig.6 交通量変動

(4) 計算結果

Table2は各交通量水準について、互いに独立にGAを適用して求めた最適オフセットである。リンク走行所要時間の対サイクル長比は0.35であることから判断して、交通量水準①では上り優先オフセットが得られ、また交通量水準②では下り優先オフセットが得られていることがわかる。また交通量水準③で得られたオフセットを時間距離図上に示し走行軌跡を描くとFig.5のようになった。この図から平等オフセットに近いオフセットになっていることがわかる。

次に交通量がFig.6に示すように15分ごとに段階的に変化すると仮定し、オフセットの変更量制約を考慮して、GAによって新オフセットを自動生成した。15分当たりの生成回数を2回とした場合と、10回とした場合について交差点ごとの絶対オフセット、およびリンクごとの相対オフセットの推移を示したのがFig.7~Fig.10である。上下両方向の交通量比率の変化に追従して、相対オフセットは上り優先0.35付近から下り優先0.65付近に変化していることがわかる。ただし生成回数が少ないと追従が緩慢となり制御遅れが現れている。しかし生成回数をあまり多くすると更新の

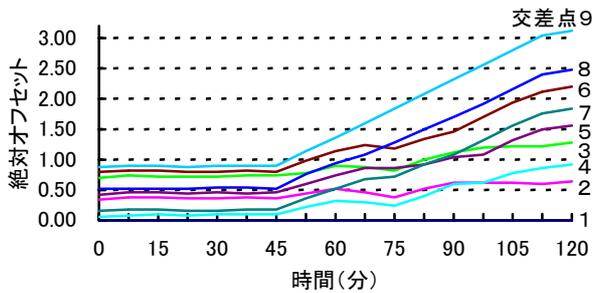


Fig.7 絶対オフセットの推移 (生成回数 2 回の場合)

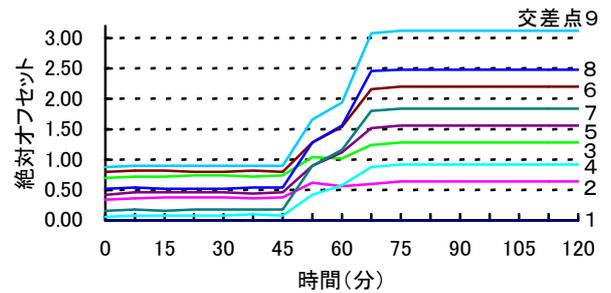


Fig.9 絶対オフセットの推移 (生成回数10回の場合)

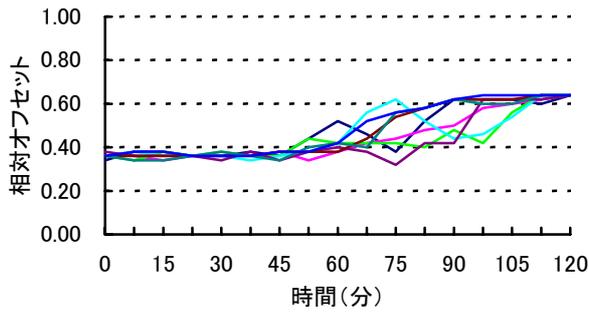


Fig.8 相対オフセットの推移 (生成回数 2 回の場合)

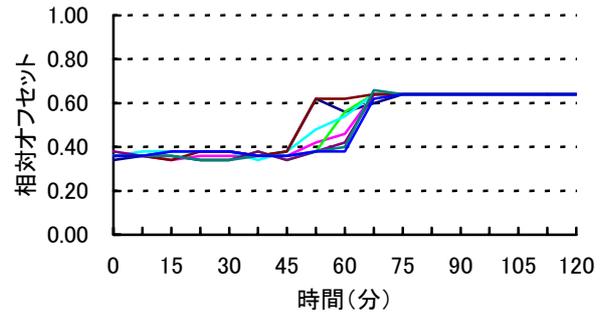


Fig.10 相対オフセットの推移 (生成回数10回の場合)

実行が不可能になる .したがって適切な生成回数で制御を行うことが重要である .いずれにしても,本研究で提案した自動生成の計算法によれば,オフセットは交通量変動に適切に追従して最適オフセットを維持するという見通しは得られた .

4 . 共通サイクル長の生成

本研究では,共通サイクル長の自動生成は行っていないが,これについては,変更前のサイクル長 C に対して,変更後のサイクル長として

$$C - n\Delta C, C - (n-1)\Delta C, \dots, C - \Delta C, C, \\ C + \Delta C, \dots, C + (n-1)\Delta C, C + n\Delta C$$

の中から最適のものを選択するという方法が考えられる .実際には,例えば $n = 1, \Delta C = 10$ 秒 などとし,3とおりのサイクル長について,それに対応する新オフセットを生成し,得られた3組のサイクル長とオフセットの中から遅れ時間を最小にする組を選択するという方法がよいであろう .ただしオフセットが収束するのを待って新たなサイクル長の探索に入るなどの細かい配慮が必要であろう .

5 . オフセット生成法のメリット

本研究で提案したオフセット生成法では,交通量変動を与件とする必要はなく,オンラインの計測交

通量を用いることができ,オフセット追従に要するサイクル数を2サイクル以下にできるなどのメリットがある .さらに 短いリンクにおける交互式オフセットの回避などといった制約を追加できること,シミュレーションを工夫すればITSの先進技術によって得られる計測交通情報または予測交通情報を活用できること,などの機能拡張の可能性がある .

6 . まとめ

本研究では,オフセット変更量に制約を課して新たにオフセットを生成するひとつの計算法を示した .限られた計算例であるが,この計算例から,最適解が得られるという見通しが得られた .今後の課題としては,多様な道路交通条件について計算例を蓄積すること,交通量以外の計測交通情報を取り込んだ場合の制御の改善効果を検討することなどが挙げられる .

参考文献

- 1) 宇佐美勤,榊原肇:道路網の信号制御システム,計測と制御,第41巻,第3号,pp.205-210,2002.3
- 2) 越正毅ほか:I T S センシング技術を活用した交通信号制御アルゴリズム,第25回土木計画学研究発表会(春大会),2002.6
- 3) 久井守,小田原正和:GAによる系統交通信号の共通サイクル長に関する研究,山口大学工学部研究報告,Vol.49, No.2, pp.65-71,1999.3