

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

伊賀上 聡 (東芝ITコントロールシステム(株))

久井 守 (知能情報システム工学科)

Real-Time Control of Coordinated Traffic Signal Systems through Sequential Formation of Offsets

Satoshi IGAUE (Toshiba IT & Control Systems Corporation)

Mamoru HISAI (Department of Computer Science and Systems Engineering)

This paper presents a real-time control method how to change the offsets for traffic signal coordination in response to fluctuation of traffic situation. The offsets are adjusted so as to minimize the delay obtained from a simulation which introduces traffic demand through on-line measurement. Through some calculation examples, it is confirmed that the offsets are responsive to traffic demand, and that the controls taking in the information about traffic prediction and saturation flow measurement are effective compared with the controls without the information

Key Words : traffic flow ,traffic control ,ITS

1. はじめに

系統交通信号の制御パラメータとしてはサイクル長、オフセットおよびスプリットの3つがある。そのうちオフセットの制御については、わが国では現在のところパタン選択制御が主流となっている。パタン選択制御というのは、いくつかの交通状況を想定してそれに対応する制御パラメータをあらかじめオフラインで求めておき、実際の制御はそこから交通状況に最もふさわしいものを選択して行う制御方式である。それに対して、オフセットの自動生成というのは、オンラインで計測した交通量などの情報をもとにして、その交通状況に対応した最適オフセットをオンラインで直接計算して求めることである¹⁾。自動生成の意義は、あらかじめ交通状況を想定したりオフセットを用意したりする必要がなく、したがってアップデートする手間も費用もかからず、また想定外の交通状況にも対応できるという点であ

る。

自動生成したオフセットを、各信号各サイクルの信号表示タイミング上で実現することがリアルタイム制御である。逆に交通状況に対応した望ましいオフセットを生成したとしても、現行のオフセットから新たに生成したオフセットへ移行するのに、いわゆるオフセット追従にかなりのサイクル数を必要とするようなことになるのであればリアルタイム制御の意義は半減する。新オフセットが実現するまでに時間遅れが生じたり、またいわゆるオフセットの反転状態が生じたりする危険があるからである。

オフセットの自動生成およびそれに基づいて行うリアルタイム制御はいくつか試みられているが、本研究では、オンラインで計測した交通量などの交通情報を入力条件とし、リアルタイムシミュレーションを行って遅れ時間などの評価指標を求め、それを最小とするオフセットを直接計算して求めるという自動生成の計算法を提案する。この計算法はリアル

タイム制御への適用を想定している。したがってオフセット追従にはあまりサイクル数を必要としないようにする。そのために絶対オフセットの変更量に制約を設けた上でオフセットの最適化を行うことを提案する。このようにすると新たに得られるオフセットは現行のオフセットからの変更量があまり大きくはならないので、絶対オフセットをサイクルごとに微調整することによってリアルタイムで新オフセットを実現することができ、またオフセット反転の危険性を小さくすることができる。

具体的には、オフセット変更量にサイクル長の1/4以下という制約を設ける。また局所解を回避することを考慮して、最適化手法としてはGAを用いる。この計算法によって絶対オフセットを求め、その絶対オフセットへの変更をくり返す。これによって交通量の変動に追従してつねに望ましいオフセットを維持することができるようにする。

本研究で提案する計算法の有用性を評価するために、まず最適オフセットが既知となるような道路交通条件について計算例を示し、最適オフセットが得られることを確認する。また交通量の変動に応じてオフセットが適切に追従するかどうかを確認する。さらに交通量の予測情報や飽和交通流率の計測情報などの的確な交通情報が得られたと仮定し、その情報を取り込んだ場合の制御改善効果についても考察する。

2. 既存の関連研究

オフセットの自動生成に関連する既存の研究は大きく3つに分類することができる。第1分類の研究として、わが国では越のフィードバック制御の提案がある²⁾。甲州街道で現場実験も行われたが、最近オフセットだけではなく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³⁾。海外では3つの制御パラメータをリアルタイム制御するSCOOT⁴⁾が普及している。これら第1分類の手法は評価指標を改善する方向に逐次オフセットなどの制御パラメータを改善するものであり、考え方としては勾配法による最適化といえるものである。

第2分類の研究としては、リアルタイムシミュレーションを行って評価指標を求めオフセットを最適化する研究¹⁾、および同じくシミュレーションで評価指標を求めサブエリア構成を含め制御パラメータを一括最適化する研究がある⁵⁾。後者の研究は局所解を回避するためにRSなどの組み合わせ最適化の手法を用いている。

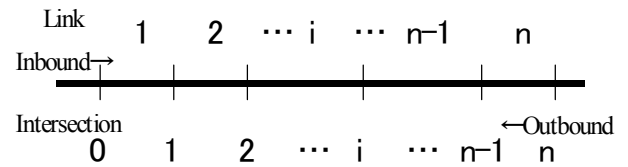


Fig.1 Study section of signal system

第3分類の研究としては、交差点への到着交通パターンに応じて青信号の打ち切りか延長かを常時判断するというサイクルレスの制御がある^{1),6)}。海外ではローリングホライズンの概念によるリアルタイム制御方式としてOPAC⁷⁾、UTOPIA⁸⁾のほか、最近RHODES⁹⁾が提案されている。

本研究は第2分類に属する研究である。本研究では遅れ時間などの評価指標を直接計測することはしないが、そのために逆に交通流計測装置は既存システムの感知器を用いるだけですむというメリットがある。また最適化の考え方は勾配法ではなく組み合わせ最適化の手法であるGAを用いる。したがって局所解を回避することができるなどの利点がある。

3. オフセットの変更量制約

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。変更前の旧オフセットから新オフセットへの変更量があまり大きくならないようにするために、まず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)のような制約条件を設ける。この制約条件下で変更前の旧オフセットを既知として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)

$(x'_i - x_i)$: 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。

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

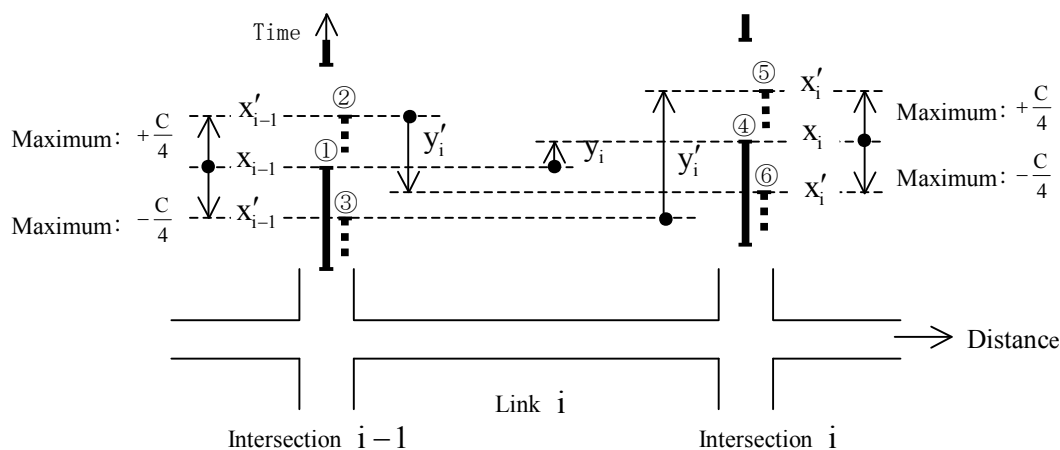


Fig.2 Constraints on offset alteration

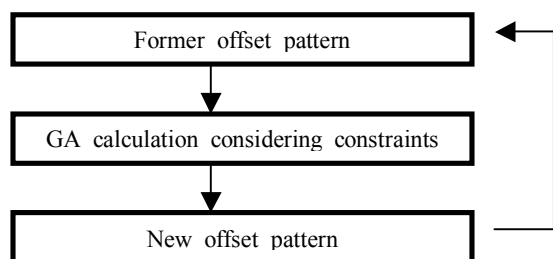


Fig.3 Iteration of offset calculation

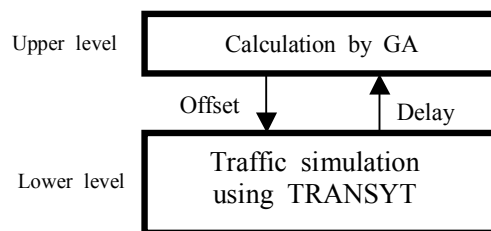


Fig.4 Two-level calculation of offset

これを变形すると次のようになる.

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

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

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)
- $(y'_i - y_i)$: 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 $\pm 1/4$ 以内に制限するという事は次のようなメリットがある.

① 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.

② 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, したがって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. 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.

③ 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

ないのと同様となり, 局所解を回避できる可能性が大きくなる.

4. オフセット自動生成の計算法

相対オフセット変更量がサイクル長の $\pm 1/2$ 以内になるようにしたとしても, 局所解を回避できるのは, 厳密に言えば1リンク2信号の路線を対象とした場合であって, 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に制限がないようにすることはできない. したがって本研究では, Fig.3に示すように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. すなわち変更後の新オフセットパターンを求め, それを旧オフセットパターンとあわせて新オフセットパターンを求めるという計算を反復する. この反復計算, すなわち新オフセットパターンを求める回数を生成回数ということとする. この反復計算によって求めた最終の新オフセットパターンをオンラインで実行するというリアルタイム制御の方式をとる. このような反復計算によるオフセットの自動生成で交通量変動に追従して望ましいオフセットが得られるかどうかは次のいくつかの計算によって確認する.

Fig.3に示したフローの中の「変更量制約を考慮したGA計算」は, Fig.4に示すようにGAを上位とし, TRANSYT交通流モデルによるシミュレーション

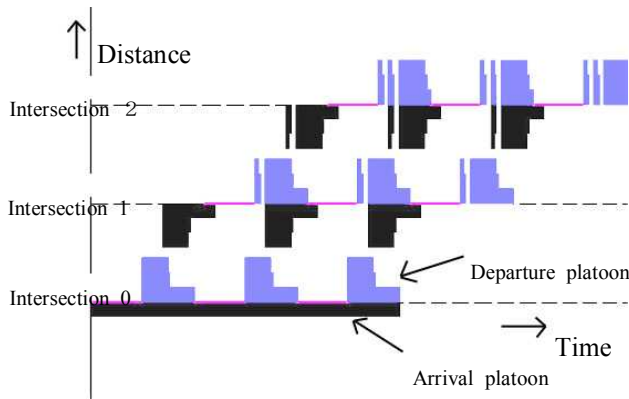


Fig.5 Traffic flow profile without dispersion

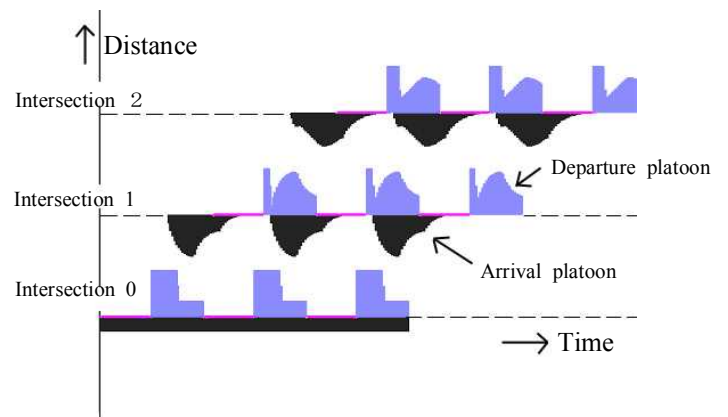


Fig.6 Traffic flow profile with dispersion

を下位とする2レベルの計算システムとする。

(1) GA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、局所解を回避しか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GAを用いる¹⁰⁾。これは勾配を用いた最適化ではなく、組合せ最適化の手法である。GAの主な条件は次のとおりとした。

- 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：最大100世代
- 初期再生産確率：15%
- 交叉確率：70%
- 初期突然変異確率：15%

初期集団は乱数処理により作成する。同じ個体を作成された場合は作成しなおす。また遺伝的操作で次世代の個体を作成して、それが絶対オフセットの変更量制約を満足しない場合は致死とする。初期突然変異確率はやや大き目として極力局所解を避けるようにしたが、10世代ごとに2%ずつ減少させ、最終的には1%で一定とした。逆に再生産確率は2%ずつ増加させた。選択はルーレット選択とし、エリート保存戦略も併用した。

(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計算方法としては計算速度が早く、オンラインの計測交通情報を取り込むことができ、交通現象の再現性のよいシミュレーションが望ましい。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。停止回数の重みは $K=0$ とした。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
- ・ 拡散なしの場合
 - 車群拡散係数：0.0 (平滑化係数：1.0)
- ・ 拡散ありの場合
 - 車群拡散係数：0.5

拡散なしの場合の交通流プロファイル例をFig.5に示す。また拡散ありの場合の例をFig.6に示す。いずれも横軸は時間、縦軸は距離とし、交通流は上向きとしている。3交差点3サイクルを対象として、各交差点への到着車群を黒で示し、また発進車群を灰色で示している。ただし最初の交差点へは一律到着としている。

5. 生成したオフセットを評価するための計算例

最適オフセットがあらかじめ定性的に予想されるような道路交通条件を設定してオフセットを求め、提案手法が予想どおり最適オフセットを生成することができるかどうかをまず確認する。そのために計算対象の路線のリンク長がすべて等しい場合についてオフセットを求める。

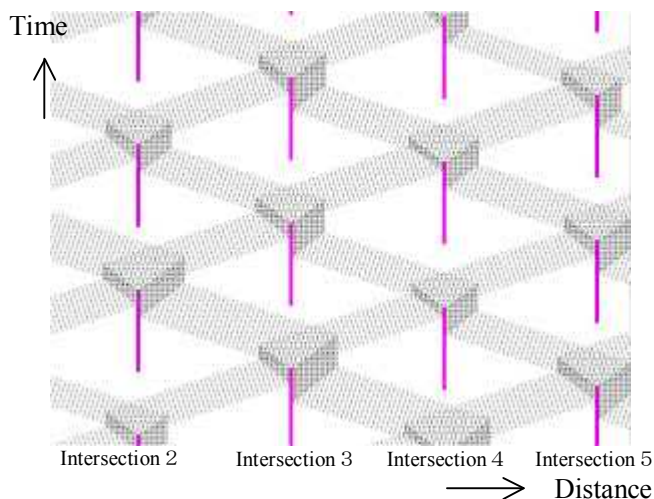
(1) 計算条件

まず交通量はTable 1に示すように上り交通量が多い水準①から上下両方向等しい水準②を経て下り交通量が多い水準③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($n=8$)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
- 現示率：全信号50%
- サイクル長：100秒

Table1 Level of traffic demand (vps)

Demand	Inbound	Outbound
①	0.37	0.13
②	0.25	0.25
③	0.13	0.37

**Fig.7 Offsets corresponding to demand level ②**

損失時間：16秒

系統速度：12m/秒 (43.2 km/時)

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%

損失時間は黄信号と全赤で5秒，発進損失3秒，合計8秒の2現示分として16秒とする．したがって青信号は有効青として扱う．

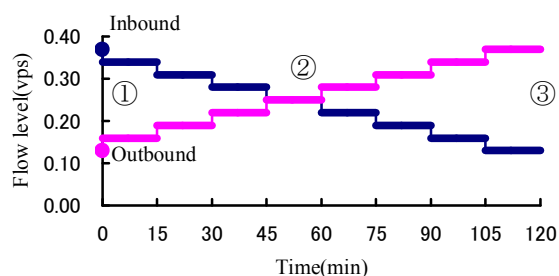
(2) 車群拡散なしの場合の計算結果

車群拡散なしの場合は交通流は単純となり，オフセットは定性的に予想しやすい．この前提条件でまずオフセットを求めた．その結果をTable2に示す．これは3とおりの各交通量水準について，それぞれ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③では下り優先オフセットが得られることがあらかじめ予想されるが，計算の結果ほぼそのような結果が得られていることがわかる．また交通量水準②では平等オフセットが得られることが予想されるが，計算の結果を時間距離図上に示し走行軌跡を描くとFig.7のようになった．この図から予想どおり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.8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

Table2 Relative offset corresponding to each traffic demand

	Link1	Link2	Link3	Link4	Link5	Link6	Link7	Link8
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

**Fig.8 Fluctuation of flow level**

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.9～Fig.12である．ここで生成回数1回というのは初期集団から最大100世代まで計算して新オフセットを求めるまでの計算が終了すれば，生成回数1回とカウントする．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計算時間がかかり，オフセットを更新するリアルタイム制御の実行が困難になる．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ことがわかった．

(3) 車群拡散ありの場合の計算結果

次は車群拡散を考慮して同様の計算を行った．車群拡散を考慮しない場合はどちらかという理論的に最適オフセットを基本検証するのに有効であった．これに対して，車群拡散を考慮すると交通流を実現象に近づけることになるという意義がある．

計算の結果はFig.13～Fig.16に示すとおりである．車群の拡散を考慮しない場合では，上下方向の交通量差の多少にかかわらず優先オフセットを維持し，交通量が上下逆転すると上り優先から下り優先に短時間の間に逆転するという特性があり，理論的な予想にはよく一致している．これに対して，車群の拡散を考慮した場合には，上下両方向の交通量差が徐々に変化するのであわせてオフセットの値も徐々に変化している．これは15分ごとの微小な交通量変動に敏感に着実に応答しているということであり現

実的には望ましい動作をしていると判断される。また、車群の拡散を考慮した場合、生成回数が2回るときと10回るときとであまり差はみられなかった。これは2回程度の生成回数で十分であるという意味であり、計算時間の観点からリアルタイム制御にとって望ましい特性である。

6. オフセット生成の計算例

前章ではリンク長と現示率が共通の場合の計算例を示したが、ここではリンク長と現示率が共通ではない一般的な場合の計算例を示す。交通量はTable3に示すような3水準を対象とする。ただし交通量水準①から②への変化、および交通量水準②から③へ

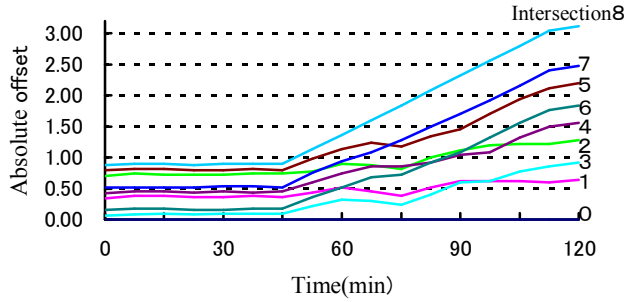


Fig.9 Transition of absolute offsets renewed twice per 15min

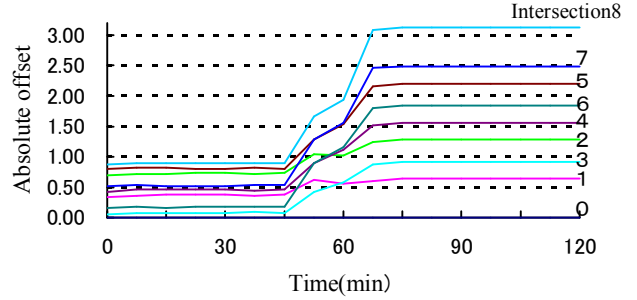


Fig.11 Transition of absolute offsets renewed 10times per 15min

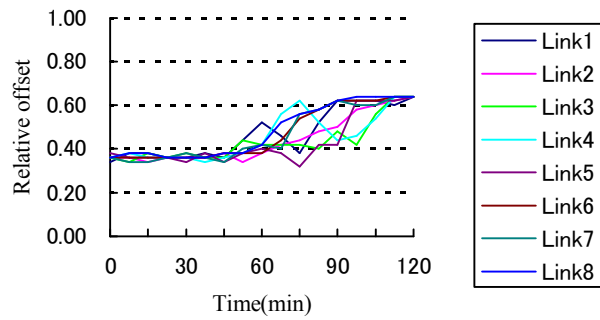


Fig.10 Transition of relative offsets renewed twice per 15min

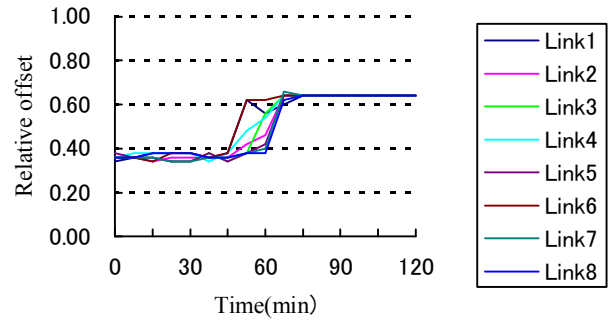


Fig.12 Transition of relative offsets renewed 10times per 15min

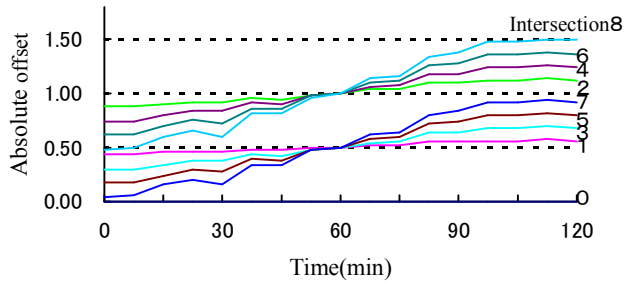


Fig.13 Transition of absolute offsets renewed twice per 15min

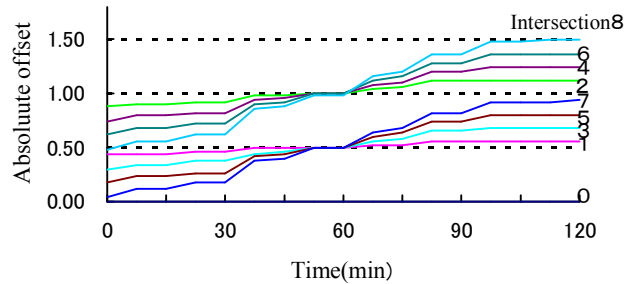


Fig.15 Transition of absolute offsets renewed 10times per 15min

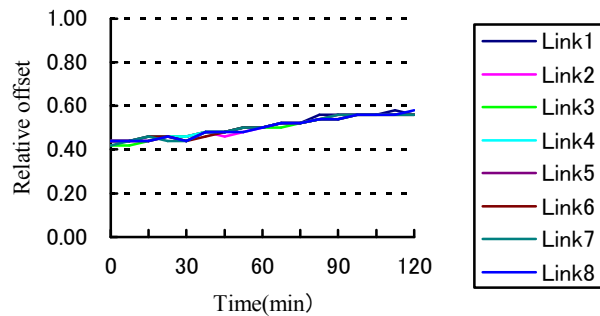


Fig.14 Transition of relative offsets renewed twice per 15min

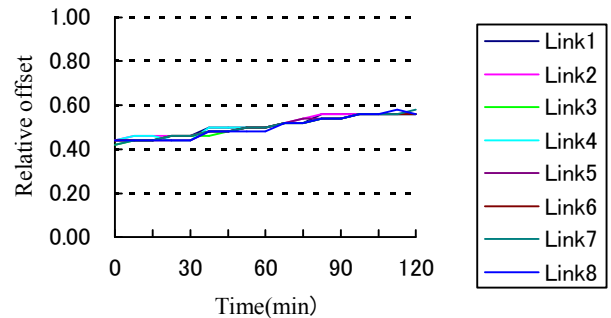


Fig.16 Transition of relative offsets renewed 10times per 15min

Table3 Level of traffic demand(vps)

Demand	Inbound	Outbound
①	0.37	0.20
②	0.30	0.30
③	0.20	0.37

Table4 Optimal absolute offsets for each traffic demand

	Intsect 0	Intsect 1	Intsect 2	Intsect 3	Intsect 4	Intsect 5	Intsect 6	Intsect 7	Intsect 8
①	0.00	0.46	0.58	0.00	0.18	0.28	0.68	0.76	0.14
②	0.00	0.50	0.48	0.00	0.20	0.18	0.66	0.64	0.12
③	0.00	0.52	0.44	0.02	0.90	0.74	0.32	0.20	0.94

Table5 Absolute offsets obtained through sequential formation

	Intsect 0	Intsect 1	Intsect 2	Intsect 3	Intsect 4	Intsect 5	Intsect 6	Intsect 7	Intsect 8
①	0.00	0.46	0.58	0.00	0.18	0.28	0.68	0.76	0.14
②-1	0.00	0.52	0.52	0.04	0.22	0.22	0.72	0.70	0.20
②-2	0.00	0.52	0.52	0.04	0.22	0.22	0.72	0.70	0.18
②-3	0.00	0.52	0.50	0.02	0.20	0.20	0.70	0.68	0.16
②-4	0.00	0.50	0.52	0.04	0.22	0.22	0.72	0.70	0.20
②-5	0.00	0.52	0.52	0.04	0.22	0.22	0.72	0.70	0.20
③-1	0.00	0.64	0.62	0.22	0.12	0.98	0.58	0.48	0.22
③-2	0.00	0.54	0.46	0.04	0.92	0.76	0.36	0.24	0.98
③-3	0.00	0.54	0.46	0.04	0.92	0.76	0.34	0.22	0.94
③-4	0.00	0.54	0.46	0.04	0.92	0.76	0.34	0.22	0.94
③-5	0.00	0.54	0.46	0.04	0.92	0.76	0.34	0.22	0.94

の変化はいずれも時間的に不連続とした。計算条件は以下のとおりである。また車群拡散係数は0.5とし、停止回数の重みはK=0とした。

- リンク長 (m) :
510, 160, 410, 210, 210, 360, 260, 310
- 現示率 (%) :
70, 65, 60, 55, 50, 55, 60, 65, 70
- サイクル長 : 100秒
- 損失時間 : 16秒
- 系統速度 : 12m/秒 (43.2 km/時)
- 飽和交通流率 : 0.9台/秒 (2車線)
- 右左折率 : 全交差点 0%

計算結果はTable4とTable5に示すとおりである。Table4は3とおりの交通量水準について、それぞれ独立にGAを適用して求めた最適オフセットである。Table5は交通量水準①について求めた最適オフセットを旧オフセットとし、交通量水準が②に変化したと考えるとオフセットの自動生成を5回行い、次に交通量水準が③に変化したと考えるとさらにオフセットの自動生成を5回行った結果を示したものである。独立に求めた最適オフセットと、連続自動生成で最終的に求められたオフセットはほぼ同等となっており、交通量水準の変化によく追従していることがわかる。またそれを絶対オフセットの推移で示したのがFig.17であり、また相対オフセットの推移で示したのがFig.18である。これらの図から、交通量水準

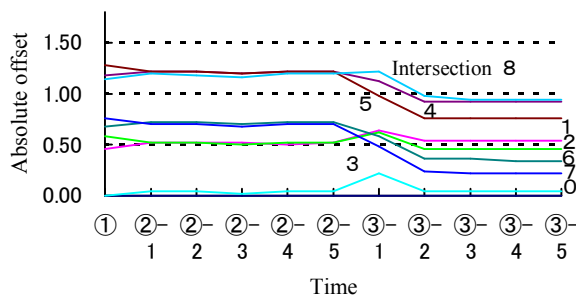


Fig.17 Transition of absolute offsets

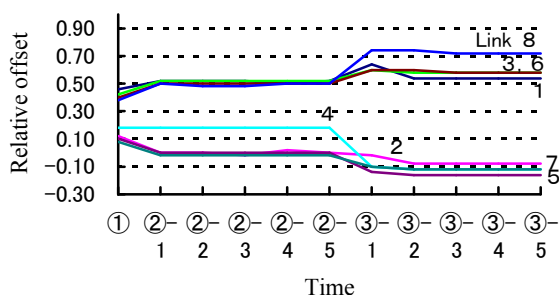


Fig.18 Transition of relative offsets

が①から②へ)変化した場合では1回の自動生成でほぼ最適オフセットが得られ、交通量水準が②から③へ変化した場合では2回の自動生成でほぼ最適のオフセットに収束していることがわかる。このように交通量変化への応答がきわめて迅速であり、これはリアルタイム制御に適用する上で望ましい特性であると判断される。

7. 予測情報と計測情報を考慮した場合の制御効果

次に交通量の予測情報がある場合、あるいは飽和交通流率が変化するという計測情報がある場合、これらの情報を取り込んでオフセットを求めると、遅れ時間がどの程度改善されるかについて比較を行う。①上り交通量が0.3台/秒、下り交通量が0.3台/秒と想定して求めたオフセットパターンと、②上り交通量が0.3台/秒、下り交通量が0.25台/秒という予測情報を用いて求めたオフセットパターンについて制御効果を比較したのがTable6である。また③飽和交通流率が0.9台/秒と想定して求めたオフセットパターンと、④実際の飽和交通流率の計測情報0.8台/秒を用いたオフセットパターンについて制御効果を比較したのがTable7である。これらの結果から交通量予測の的確な情報があつて、これを取り込むと、この例では、遅れ時間が49.65から47.99へ1.66台・時/時 (3.3%)の制御改善効果が得られた。また飽和交通流率計測の的確な情報があつて、これを取り込むとこの例で

Table6 Improvement of delay by using predicted traffic demand

Offset pattern	Case with real demand of inbound 0.3 and outbound 0.25 vps
①	49.65 veh・hour/hour
②	47.99 veh・hour/hour

Table7 Improvement of delay by using measured saturation flow rate

Offset pattern	Case with real saturation flow rate of 0.8 vps
③	74.94 veh・hour/hour
④	74.27 veh・hour/hour

は遅れ時間が74.94から74.27へ0.67台・時/時(0.9%)の制御改善効果が得られた。これらの計算で用いた道路・交通・信号条件は前章の場合と同一である。また車群拡散係数は0.5とし、停止回数の重みは $K=0$ とした。

8. 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、 $C - \Delta C$, C , $C + \Delta C$ の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組み合わせ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のではないかと考えられる。ただしサイクル長とオフセットを同時に変化させるとサイクル長がオフセット探索を攪乱することになりかねない。したがってサイクル長とオフセットの同時探索については細かい配慮が必要であろう。

9. 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、①交通量変動を与件とする必要はなく、②オンラインの計測交通量を用いてリアルタイムで計算することができ、③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④短いリンクにおける交互式オフセットを回避することなどの制約を追加できること、⑤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予測交通情報または計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。

10. まとめ

本研究では、系統交通信号を対象とし、交通状況の変化にตอบสนองしてオフセットを自動生成する計算法と、自動生成によって得られたオフセットによってリアルタイム制御を行う方法を提案した。オフセットの自動生成では、オフセット変更量に制約条件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。遅れ時間などの評価指標はオンライン交通情報を取り込んだリアルタイムシミュレーションを想定しているが、本研究ではTRANSYTを用いて計算した。限られた計算例であるが、これらの計算例から、交通条件に対応した最適オフセット解が得られること、交通量変動への応答性が良好であることがわかった。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さらに幅広く検討することなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 宇佐美, 榊原: 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: 広域交通制御における信号オフセットのプログラム形成のひとつの方法, 生産研究, 第20巻, 第3号, pp. 45-47, 1968. 3
- 3) 浅野美帆ほか: 遅れ時間自己評価によるリアルタイム交通信号制御, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, No. 4, pp. 879-886, 2003. 9
- 4) Hunt, P. B., Robertson, D. I. and Bretherton, R. D.: Split, cycle and offset optimisation technique: the SCOOT on-line traffic signal optimisation technique, Traffic Engineering & Control, pp. 190-192, April 1982
- 5) 岩岡, 織田: リアルタイム交通信号最適化制御, 第25回土木計画学研究発表会(春大会), 2002. 6
- 6) 小林, 宇佐美, 大田: リアルタイム情報を用いた次世代の信号制御方式, 第25回土木計画学研究発表会(春大会), 2002. 6
- 7) Gartner, N. H.: OPAC: A demand-responsive strategy for traffic signal control, Transportation Research Record 906, pp. 75-81, 1983
- 8) Mauro, V. and Di Taranto: UTOPIA, IFAC Control, Computers, Communications in transportation, pp. 245-252, 1989

- 9) Mirchandani, P. and Head, L. : A real-time traffic signal control system:architecture, algorithms, and analysis, Transportation Research, Vol. 9C, No. 6, pp. 415-432, 2001
- 10) 久井守, 小田原正和 : G A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

(平成17年8月31日受理)