

系統信号システムの制御パターン 切り替え戦略に関する研究

久井 守 (知能情報システム工学科)

小田原正和 (日本ユニシス株式会社)

森河雅之 (小糸工業株式会社)

A Study on the Policy Switching Control Programs of Pre-Timed Signal Coordination

Mamoru HISAI (Department of Computer Science and Systems Engineering)

Masakazu ODAWARA (Nihon Unisys, Ltd.)

Masayuki MORIKAWA (Koito Industries, Ltd.)

It is the purpose of this paper to optimize the policy switching control programs of pre-timed signal coordination under the condition that traffic demand changes with time of day. For that purpose, firstly common cycle lengths corresponding to several demand levels are obtained through the methods such as theoretical calculation, approximate equation and GA approach. In GA approach, cycle length and offsets are optimized simultaneously. It is supposed that splits are given. Next, using several control programs consisted of cycle length, offsets and splits, the switching policy is optimized by DP. Total delay is employed as a criterion, which is evaluated by simulation. Switching offsets is performed over several cycles, and additional delay caused by traffic flow disturbance during the switching is considered. From some calculations, it was found that the desirable number of switching exists.

Key Words : Common cycle length, offset, optimization, DP, total delay

1 はじめに

都市部の道路区間における遅れの最大の原因は信号遅れである。信号交差点が密に並んでいる場合には、連続した信号機群を関連づけて制御する系統信号システムが用いられている。系統信号システムでは、制御パラメータは系統効率に大きく影響を与えることから、制御パラメータの決定方法が重要な課題の1つであると考えることができる。系統信号システムの制御パラメータには、共通サイクル長、スプリットおよびオフセットの3つがある。交通を円滑化するためには、これらの制御パラメータを適切に設定することが必要である。

本研究は、系統信号システムにおける制御パラメータの決定方法について検討し、また望ましい制御パターンの切り替え戦略を示すことを目的としている。系統信号システムにおける制御パラメータでは、共通サイクル長とオフセットに着目して最適化を試みる。

最初に系統信号システムの最適サイクル長を求めることを試みた。その方法としては、理論計算による最適サイクル長の計算、李・池之上論文¹⁾の近似式による共通サイクル長の計算および遺伝的アルゴリズム(以下GA)による共通サイクル長とオフセットの同時最適化である。次に共通サイクル長の変更を行うが、この場合オフセット反転²⁾を考慮しつつ、オフセット追従問題の最適化を行った。これについては井上ら³⁾

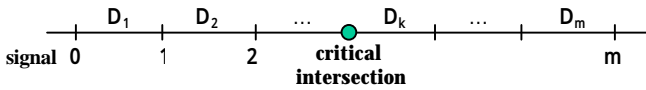


Fig.1 Signal numbering and link length

がアルゴリズムを作成して解いているが、対象路線のリンク数が少ないので、本研究では総当たり法でオフセット追従問題を解いている。最後に時々刻々と変化する交通状況に応じて、いつ、どの制御パターンからの制御パターンに切り替えを行うのがよいか、という問題を解き、制御パターン切り替え戦略の最適化を試みる。交通量変動パターンやリンク長などの計算条件を与えて、望ましい制御パターンおよび切り替え時刻を探索し、その結果を評価し有効性について検討する。

2 共通サイクル長の最適化について

系統信号システムにおける共通サイクル長の決定方法については、まだ確立はされたとはいえない状況にある。しかし、代表的な研究としては、越論文⁴⁾および李・池之上論文がある。これらを参考にしながら、以下に示す3種類の手法で共通サイクル長を最適化することを試みた。

越論文および李・池之上論文に基づいて系統信号系の共通サイクル長と遅れとの関係を理論計算で求めそこから最適共通サイクル長を求める。

李・池之上論文の近似式を用いて最適共通サイクル長を求める。

遺伝的アルゴリズム (GA) によって共通サイクル長を最適化する。またオフセットも共通サイクル長と同時に最適化する。

(1) 理論計算によるサイクル長の計算⁵⁾

越論文では、単純化された系統信号システムについて研究している。ここでは、Fig.1に示すようなmリンクからなる系統信号路線に対してクリティカル交差点が1つ含まれていると仮定する。さらに以下の仮定を設ける。

- ・過飽和でない
- ・直進交通のみで、車群の拡散はない
- ・1つのクリティカル交差点と複数の交差点からなる路線を対象とする
- ・交差道路の遅れは考えない

系統信号系全体の全遅れWは、李・池之上論文に基づき、式(1)のように各リンクの一樣遅れとクリティカル交差点のランダム遅れの和として求める。一樣遅れは越の理論による遅れである。このWを最小にするCを系統信号系の最適サイクル長と考える。

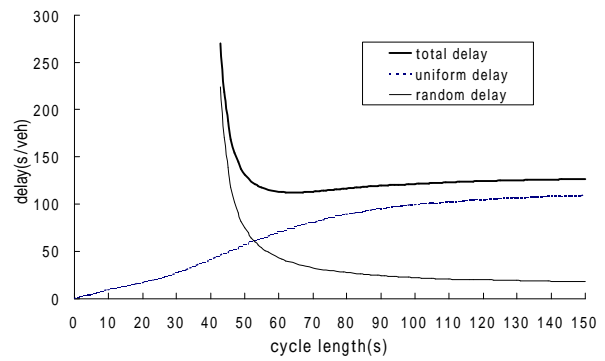


Fig.2 Relationship between total delay and cycle length

$$W = \sum_{k=1}^m \frac{1}{2} \frac{\text{Min} |nC - T_k| + W_r(x)}{n} \quad (1)$$

ここに

W : 系統信号系全体の全遅れ (秒/台)

C : 共通サイクル長 (秒)

$T_k = \frac{2D_k}{V_k}$: 第kリンクの往復所要時間 (秒)

V_k : 第kリンクの系統速度 (m/秒)

D_k : 第kリンクのリンク長 (m)

n : 整数

W_r : クリティカル交差点のランダム遅れ (秒/台)

$x = \frac{qC}{sG}$: クリティカル交差点のトラフィック密度

q : 交通量 (台/秒)

s : 飽和交通流率 (台/青秒)

G = (C - L) : クリティカル交差点の青時間 (秒)

: 現示率

L : クリティカル交差点の損失時間 (秒)

ランダム遅れは最適サイクル長に大きく影響を及ぼすため、ランダム遅れをどのように規定するかは重要な問題である。ランダム遅れの代表的な式として、次のようなWebsterの式がある。この式はM/D/1()型待ち行列システムの平均待ち行列として求められた式である。

$$W_r = \frac{x^2}{2(1-x)q} \quad (2)$$

TRANSYTでは $x^2 / 4(1-x)q$ を1流入部のランダム遅れとしている。本研究ではこれを2倍して、クリティカル交差点の2流入部のランダム遅れ W_r としている。なおランダム遅れは他にも提案されており、十分検討した上で系統制御にもっとも適合するものを用いる必要があるが、本研究では式(2)を用いて議論を進める。なお系統制御では、交通のランダム性は、

孤立交差点よりも小さいと考えられるので、この点も十分に考慮に入れる必要がある。

Fig.2は東京都内のリンク長分布を仮定して、1リンクあたりの一様遅れの期待値を7倍して7リンクあたりの一様遅れとし、それにランダム遅れを加えた全遅れを図にしたものである。計算条件は次のとおりである。

- ・系統速度：12 (m / 秒)
- ・交通量：0.1875 (台 / 秒) (675台 / 時)
- ・飽和交通流率：0.5 (台 / 青秒) (1800台 / 青時)
- ・現示率：0.5
- ・損失時間：10 (秒)

全遅れが最小となるサイクル長が最適サイクル長となる。この場合、すなわち東京都内のリンク長分布では、60秒付近が最適サイクル長となることを示している。

(2) 李・池之上の近似式¹⁾

李・池之上は、確定的遅れと確率的遅れの特性を考慮した上で、系統信号の最適サイクル長を求める方法を示している。系統信号路線の遅れのうち、一様遅れについては越のモデルの拡大利用が可能であり、ランダム遅れについてはクリティカル交差点のそれを扱えばよいことを述べている。種々の設定条件について求めたサイクル長に基づいて、1路線においてこれを近似的に表す式を帰納的に導くことを試みている。このとき、飽和度の要因としてのクリティカル交差点主道路側流入部の流量比 $y = y_1$ 、交差道路側流量比 y_2 と y_1 の比 $r = y_2 / y_1$ 、およびクリティカル交差点の損失時間 L を説明変数として検討している。ここに、 $y = q / s$ である。 y 、 r 、 L と C_{op} の関係を吟味して、一定の y 、 r において C_{op} と L が線形的な関係にあること、一定の L 、 y において C_{op} と r が2次的な関係にあることから、 $r = 1$ の場合の y と C_{op} の関係を基本として、式(3)を考え出している。

$$C = \frac{1.2L + 1.5}{(1 - 1.98y) + 0.42r(1 - 0.995r)} \quad (3)$$

ここに

- L : 損失時間 (秒)
- y : 流量比
- q : 流率 (台 / 秒)
- s : 飽和交通流率 (台 / 青秒)
- r : y_2 / y_1

実験的に $y = 0.43$ の場合に誤差が比較的小さいことから、式の y を 0.43 としてその r を交差点飽和度 Y に変換して得られる次の近似式を導き出している。

$$C_{op} = \frac{1.2L + 1.5}{2.92Y - 2.26Y^2 - 0.689} \quad (4)$$

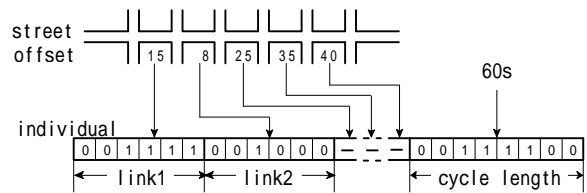


Fig.3 An example of coding

式(4)による値をWebsterの式と比較すると種々の交差点飽和度において、Websterの式のおおむね60%~70%であることがわかったとしている。

(3) GAによる最適化^{6),7)}

GAで共通サイクル長の最適化を行う場合、サイクル長に対して、つねにオフセットを最適化しておく必要があるため、サイクル長とオフセットの同時最適化を行う。最適化手法としてGAを用いたのは、局所解を避け全域的最適解を探索することを意図したためである。最適化の評価指標としては系統区間全体の遅れと停止の加重和 PI を用いる。 PI を求めるために、交通モデルとして、交通現象の再現性を考慮した上でTRANSYT交通流モデルを用いた。

$$PI = \sum_{i=1}^n (d_i + k \times c_i) \quad (5)$$

ここに

- d_i : 第 i リンクの遅れ時間 (台・秒 / 秒)
- c_i : 第 i リンクの1秒あたりの停止台数
- k : 重み係数

Fig.3に示すような方法で、各リンクの相対オフセットおよび共通サイクル長を2進数でコーディングを行った。このとき、次に示すような2種類の方法で、初期集団の個体を生成した。

モード1

初期集団としてN個の個体を発生させる。各個体のもつ遺伝子はランダムに作成する。遺伝子によって表される相対オフセットおよび共通サイクル長は、それぞれ2進数6桁および8桁で与える。本研究では、サイクル長とオフセットの制約条件としてつぎのような範囲を設けた。

- サイクル長：10進数で40秒から150秒の範囲
 - オフセット：10進数で0から49の範囲
- (単位 C : C / 50)

発生した個体によっては、上の制約条件を満足しない場合もでてくる。しかしこれらの個体を無駄なく用いるために、条件を満足しない個体が生じられた場合でも淘汰を行わず、オフセットおよびサイクル長を平行移動して、条件の範囲内にすべての個体が収まるよう

Table 1 Traffic demands

level	time	raw data		adjusted data	
		volume	rate	volume	rate
1	7:10 ~ 7:15	778 vph	0.216vps	953 vph	0.265vps
2	7:50 ~ 7:55	1102 vph	0.306vps	1350 vph	0.375vps
3	9:15 ~ 9:20	792 vph	0.225vps	970 vph	0.269vps
4	12:35 ~ 12:40	892 vph	0.248vps	1093 vph	0.304vps
5	16:45 ~ 16:50	955 vph	0.276vps	1219 vph	0.339vps
6	19:40 ~ 19:45	724 vph	0.201vps	887 vph	0.246vps

にしている。また、遺伝的处理によって作成された個体が制約条件を満足しない可能性もあるが、この場合にも平行移動を行って個体を無駄なく用いるようにしている。

平行移動を行うために用いた式は、次のとおりである。オフセットは2進数6桁、サイクル長は2進数8桁でコーディングしているため、これを10進数に換算するとオフセットxは0~63、サイクル長x'は0~255の範囲をとることになる。

オフセットの平行移動の式

$$y = \frac{x}{64} \times 50 \quad (6)$$

ここに

y: 平行移動後のオフセット値

x: 遺伝子のオフセット部分を10進数に変換した値

サイクル長の平行移動の式

$$y' = 40 + \frac{x'}{255} (150 - 40) \quad (7)$$

ここに

y': 平行移動後のサイクル長の値

x': 遺伝子のサイクル長部分を10進数に変換した値

モード2

モード2は平行移動を行うことについてはモード1と同様であるが、相違点は初期集団内に、サイクル長40秒から150秒まで10秒刻みで変化させ、それぞれのサイクル長に対して次式の値を計算して、それに応じてノーマルオフセットを与えた個体を含めた点である。はリンクの時間距離をサイクル長で標準化したものである。

$$t = \frac{D}{v \times C} \pmod{1} \quad (8)$$

ここに

D: リンク長 (m)

v: 系統速度 (m/秒)

C: サイクル長 (秒)

ノーマルオフセットは次のように定義される。

Table 2 Common cycle lengths corresponding to traffic demands

level	1. Theory		2. Approx		3. GA			
	eq.(3)		eq.(4)		mode 1		mode 2	
1	40	50.00	32.2	54.7	56	53.056	50	48.572
	0 25	25 25			3 20	37 16	48 35	10 27
	0 25	0 25			22 21	30 45	23 23	22 42
2	76	151.27	76.6	77.4	148	141.37	73	129.61
	0 25	25 25			2 1 44	43	43 42 36	
	25 0	25 25			5 5	8 4	34 19 24 28	
3	40	50.80	32.9	54.2	53	45.493	55	47.309
	0 25	25 25			1 34	10 25	44 26 45 27	
	0 25	0 25			24 25	24 49	23 24 27 41	
4	45	63.88	40.6	53.5	63	75.24	55	66.733
	25 25	25 25			1 30	45 33	42 49 33 33	
	0 25	25 25			19 24	26 22	22 22 27 47	
5	61	82.2	52.8	59.3	63	92.733	62	93.781
	25 25	25 25			42 47	37 15	42 47 37 33	
	25 0	25 25			19 25	26 24	20 24 27 24	
6	40	47.13	29.3	58.3	50	47.85	64	45.126
	0 25	25 25			2 14	21 26	3 26 49 34	
	0 25	0 25			24 21	24 41	19 24 26 25	

同時式オフセット: 0.00 < 0.25 または
0.75 < 1.00 のとき
交互式オフセット: 0.25 < 0.75 のとき

10進数のオフセットおよびサイクル長を遺伝子として表現するために、2進数に変換する必要がある。このときオフセットは2進数6桁、サイクル長は2進数8桁で表現することにする。またTRANSYTモデルはオフセットの基準を青開始時刻としているが、ノーマルオフセットは赤時間の中心をオフセットの基準とするために、オフセットを換算して計算を行った。

(4) 計算結果

3種類の手法を用いて、共通サイクル長の最適化を試みた。交通量変動パターンは、平成6年1月25日(水)に福岡市渡辺通り清水四ツ角交差点から160m下流にある感知器によって計測された午前0時から午後12時までの24時間の交通量データを用いた。1日24時間の交通量変動パターンにより、その交通流率を考慮に入れて6個の交通量データを抽出した。それをTable 1に示す。表中の生データとは、実際に観測された5分間交通量を時間交通量レートで表したものである。表中の調整データとは、最大交通量が1350(台/時)となるように、生データを定数倍したものである。計算対象路線は9信号からなる路線を用いた。共通サイクル長を求める計算条件は次のとおりである。

- ・リンク長: 150, 200, 200, 250, 300, 350, 400, 500 (m)
- ・系統速度: 12 (m/秒) (43.2km/時)
- ・現示率: 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70
- ・飽和交通流率: 0.90 (台/青秒)
- ・損失時間: 10 (秒)
- ・右左折: なし

P I の計算では車両の停止回数を考慮に入れており、重み係数は k = 25.0とした。

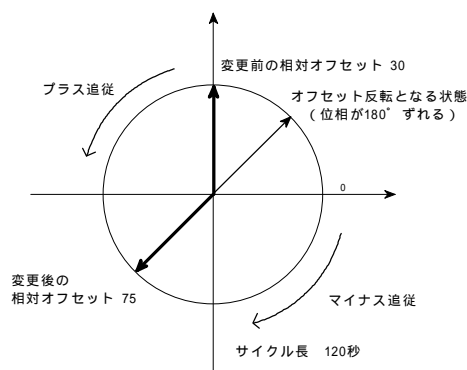


Fig.4 Reversal offset

計算結果について示したのがTable 2である．理論計算については最適サイクル長，そのときの遅れ時間，ノーマルオフセットの順に示している．李・池之上の近似計算については，式(3)，式(4)でそれぞれ計算して求めた最適サイクル長である．GAの結果については，最適サイクル長，遅れ時間，最適オフセットの順に示している．

この結果より，交通量が大きくなるほど各方法で求めた最適サイクル長が互いに近い値をとることがわかる．これは，正規化交通量が大きくなるほど，より厳密な交通条件で共通サイクル長を求めることができるからである．また，理論計算の結果からわかるように，交通量が小さい場合には最適サイクル長は小さくなってしまふということである．そのため，各方法とも正規化交通量がある程度大きくなければ，長いサイクル長を必要としないということがいえる．またGAでは，遅れ時間に停止回数を加味しても他の手法で求めたサイクル長とはそれほど差がないので，TRANSYTの計算では基本的には停止回数を考慮に入れるのがよいと考えることができる．

3. オフセット追従問題とその解法

(1) オフセット追従と反転防止²⁾

オフセットの定義としては，相対オフセットと絶対オフセットの2種類がある．絶対オフセットは交差点ごとに定義されるもので，ある基準時点から青開始時刻までの時間である．隣接2交差点の絶対オフセットの差をとると，これが相対オフセットとなる．相対オフセットはリンクごとに定義されるものである．

現在のオフセットを新しいオフセットに移行する動作はオフセット追従と呼ばれている²⁾．オフセット追従は数サイクルにわたって実行するのが普通である．Fig.4に示すように絶対オフセットの追従の過程で相対オフセットが望ましい値に比較して半サイクル程度

ずれた状態になる危険性があるが，このような状態はオフセット反転と呼ばれている²⁾．

(2) オフセット追従問題³⁾

オフセット追従によって絶対オフセットを変更するためには，交差点ごとにサイクル長を延ばすか縮めるかのいずれかの方法を用いる．ただしオフセット追従中にオフセット反転が生じると交通流に混乱を起こすことになる．したがってオフセット反転による交通混乱を含め，オフセット追従中に発生する交通混乱を最小にするようなオフセット追従方法を求めることが重要な問題となる．

井上らは，オフセット反転箇所数を最小にするという制約のもとでオフセット総追従量（または総追従回数）を最小化するオフセット追従方向を求める問題をオフセット追従問題と定義し，この問題は線形計画法に帰着できることを示して解法アルゴリズムを導いている³⁾．

本研究では，共通サイクル長およびオフセットを切り替える場合，共通サイクル長は1サイクルで切り替えを行い，オフセットは1回の変更量をサイクル長の1/8を上限として数サイクルにわたって追従を行うこととする．問題はオフセットの追従方向を求めることである．

本研究では，オフセット反転箇所数を最小にするという条件で，総追従量を最小にする追従方向を総当たり法で求める．ただし総当たり法の組み合わせ数をできるだけ少なくするために，井上らの研究で示されたリンクの連結グループの考え方をいり，連結グループごとに総当たり法で絶対オフセットの追従方向を求める．サイクル長を延ばす場合をプラス追従，縮める場合をマイナス追従という．なお井上らは，絶対オフセットを1サイクルを越えて変化させることをオフセットの回転と呼び，オフセットの回転を許す場合にはオフセットの反転が生じないことを示している．しかし本研究ではオフセットの回転は認めないものとする．

(3) オフセット追従問題の計算手順³⁾

本研究では，井上論文に基づいて，次のような手順でオフセット追従問題を解いた．

手順1：まず変更後の絶対オフセットから変更前の絶対オフセットを引いて絶対オフセット変更量を求める．この値が負となる場合は，サイクル長Cを加えて正の値にする．

手順2：各交差点の絶対オフセット変更量を用いて，各リンクの相対オフセットの追従判定値を求める．この追従判定値は相対オフセット変更量がサイクルの

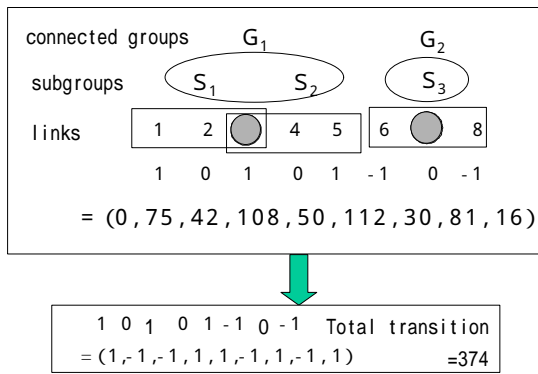


Fig.5 Solution of offset transition

半分を超えるかどうかの指標である。

手順3：求めたオフセット追従判定値を用いて、対象路線の先頭リンクより、順にサブグループがあればそれを構成する。次に、連結グループの条件を満足すればそれを構成する。

手順4：連結グループごとに各交差点の追従方向 (+1, -1) のすべての組み合わせについて、オフセット反転リンク数とオフセット総追従量を求める。オフセット反転が起きない条件式はとで表される。

また連結グループに含まれない交差点については、オフセット追従量が小さくなるような方向をオフセット追従方向とする。

手順5：以上の計算結果から総追従量が最小になるときのオフセット追従方向とオフセット反転箇所を最適値として決定する。

(4) オフセット追従問題の計算例³⁾

次のような計算条件でオフセット追従問題を解いた。

- ・交差点数9個
- ・サイクル長120秒
- ・変更前の絶対オフセット(秒)
(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
- ・変更後の絶対オフセット(秒)
(0, 75, 42, 108, 50, 112, 30, 81, 16)

各信号の絶対オフセット変更量(秒)は次のように求めることができる。

$$= (0, 75, 42, 108, 50, 112, 30, 81, 16)$$

このとき各リンクの追従判定値は次のようになる。

$$= (1, 0, 1, 0, 1, -1, 0, -1)$$

追従判定値より、サブグループと連結グループの位置を示したのがFig.5である。これよりオフセット反転箇所を最小とする制約条件のもとで、オフセット総追従量が最小となるような最適解はリンク3とリンク7に反転箇所を定めるときで、このとき各交差点のオフセット追従方向は

$$= (+1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, -1, +1)$$

となる。+1はプラス追従、-1はマイナス追従である。オフセット総追従量は374秒となる。

このようにして、入力データとして、交差点数、サイクル長、各交差点の変更前後の絶対オフセットを与えるだけで、オフセット反転箇所が最小となるような絶対オフセット追従方向を求めることができる。制御パタンの切り替え戦略ではこの計算法によってオフセット追従方向を求めた上で実行することとする。

4. 交通状況に応じた制御パタンの切り替え戦略

(1) DPによる制御パタン切り替え時刻の決定

制御パタンの切り替え時刻は、ダイナミックプログラミング(以下DP)の手法を用いて探索を行った。M組の制御パタンが与えられたとき、N回の切り替えによって総遅れ時間を最小にする最適な切り替え時刻は、以下のようなDPの1次元配分過程として定式化することができる。

$$f_n(x_n, P_k) = \min_{i, x_{n-1}} \{ f_{n-1}(x_{n-1}, P_i) + \sum_{t=x_{n-1}+1}^{x_n} D(P_i, P_k, q(t)) \} \quad (9)$$

ただし、 $f_0(x_0) = 0$, $x_0 = 0$

ここに

t : 5 (分)

x_n : n回目の切り替え時刻

q(t) : 時刻tの交通量(台/秒)

ただし片側交通量で上り下りは等しい

P_k : 第k番目の制御パタン (k = 1, 2, ..., M)

(P_k はサイクル長, 絶対オフセットを要素とするベクトル)

$D(P_i, P_k, q(t))$: 制御パタン P_i から制御パタン P_k へ切り替えた場合に時刻tにおいて生じる総遅れ時間(秒)

$f_n(x_n, P_k)$: 1 ~ x_n をn分割し、n分割目を制御パタン P_k で制御した場合に時刻1 ~ x_n において生じる総遅れ時間(秒)の最小値

$f_n(x_n, P_k)$ はn回目の切り替え時刻 x_n までに得られる総遅れ時間の最小値であるので、式(9)をn = 1, 2, ..., Nの順に計算していけば最適な切り替え時刻を求めることができる。

(2) DPシミュレーションで用いる制御パタン

DPで用いる制御パタンについては、シミュレーション時間内の交通条件に対して最適な制御パタンでなければならない。これまでに説明した手法により制御パタンのうち、共通サイクル長およびオフセットについて最適化を行い、それを制御パタンとして用いた。

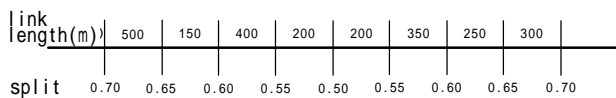


Fig.6 Test Street

Table 3 Signal Plans

plans	cycle	relative offsets							
1	40s	46	38	8	21	21	32	23	29
2	71s	27	48	26	39	40	21	3	25
3	80s	24	0	23	42	2	21	7	21
4	100s	24	3	33	7	2	21	0	23
5	130s	24	48	39	1	1	8	9	13

D Pシミュレーションで制御パタン切り替え政策を求める場合の共通の計算条件は次のとおりである .

- ・道路条件 : 9 信号 8 リンクの系統区間
- ・系統速度 : 12 (m / 秒)
- ・飽和交通流率 : 0.9 (台 / 青秒)
- ・損失時間 : 10 (秒)

対象路線はFig.6に示すような系統信号路線とした .

D P の計算に必要な制御パタンのうち , 共通サイクル長とオフセットは , 次に説明する 2 種類の方法で制御パタンを作成した .

作成方法 1 : サイクル長を与え , 交通量一定として相対オフセットを求める方法

常用サイクル長の範囲である 40 秒から 150 秒まで 10 秒刻みのサイクル長に対して , G A で最適オフセットを計算した . このとき交通量は $q = 0.31$ (台 / 秒) とした .

作成方法 2 : 交通量を変動させてサイクル長と相対オフセットを求める方法

交通量 q を 0.3 (台 / 秒) から 0.4 (台 / 秒) まで , 0.0025 (台 / 秒) 刻みで変化させ , これらの交通量に対してサイクル長の最適化を行った . このとき , 理論計算の方法により共通サイクル長を求め , G A でオフセットのみ最適化を行った .

ここで求めた中から総遅れ時間からみて望ましい 5 個の制御パタンを選び出したものを Table 3 に示す .

(3) DP による制御パタン切り替え戦略の探索

1 日 24 時間の 5 分間交通量の変動を示したのが Fig.7 である . 特に交通量の変動が激しい午前 6 時から午前 9 時までの 3 時間の時間帯を対象とし , 交通量変動に着目して D P シミュレーションを実行した .

作成した制御パタンを用いて , 切り替え回数ごとに切り替え時刻と切り替え後の制御パタンを D P シミュレーションで求めた . この場合 , オフセット追従方向を考慮に入れて , 制御パタンの切り替えを行った . したがって制御パタン切り替え時の交通混乱を考慮に入

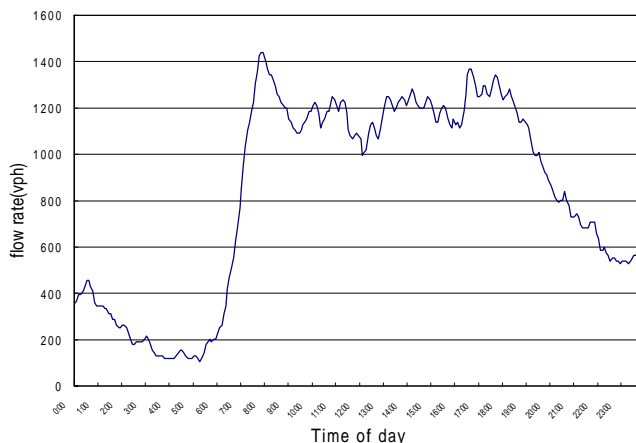


Fig.7 Traffic demand

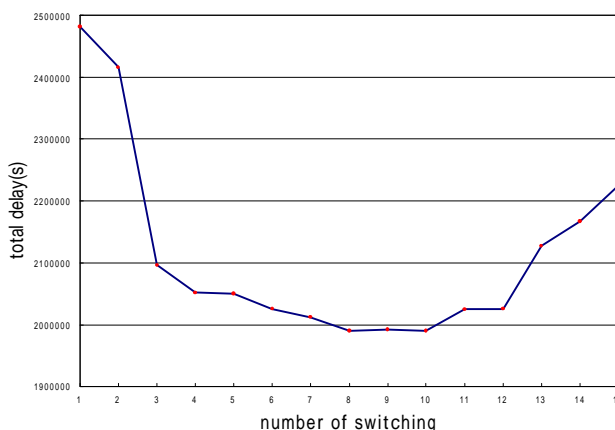


Fig.8 Relationship between number of switching and total delay

れたことになる .

Fig.8 は制御パタンの切り替え回数と総遅れ時間との関係を示したものである . これは交通量の変化にあわせて制御パタンを切り替えるのが望ましいが , あまり切り替えが多すぎると切り替え時の交通混乱が大きくなってかえって効率が悪くなることを示しており , 8 ~ 10 回程度の切り替えが望ましいことがわかる .

5 まとめ

本研究では , 系統信号システムを対象として , 共通サイクル長とオフセットの最適化について検討した . さらに , 最適化で用いた計算手法とその結果より制御パタンを作成して , D P シミュレーションにより望ましい制御パタン切り替え戦略についても探索を行った .

いくつかの計算条件について系統信号システムの最適サイクル長を計算したところ , 交通量大きいほど各手法の最適サイクル長は互いに近い値となることがわかった . これは正規化交通量が大きくなり , 飽和に近くなるほど交通条件が理論式の仮定に近づくからで

ある。DPシミュレーションで信号制御パタンの切り替え時刻の探索を行った。結果として、望ましい制御パタン切り替えについてはいくつかの特質があるということがわかった。制御パタンの切り替え回数と総遅れ時間との関係についても調べたが、切り替えを行うことで総遅れ時間を減少させることができることが確認できた。

今後の課題としては、共通サイクル長の理論計算では、大きな仮定を前提としているので、シミュレーションまたは観測調査によって理論の検証を行う必要があると考えられる。DPシミュレーションでは、信号切り替え戦略を最適化するためには、交通量に応じた望ましい制御パタンを用意することが前提条件となるので、道路交通条件に応じた共通サイクル長およびオフセットの最適化についてなお改善する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 李 光勲, 池之上 慶一郎: 系統交通信号における遅れの特性と最適サイクル長に関する研究, 交通工学, Vol. 27, No. 4, pp. 9-20, 1992年
 - 2) 交通工学研究会: 交通信号の手引き, pp. 82-85, 平成6年7月
 - 3) 井上 健士, 横田 孝義: U型伝送を使用した道路交通信号におけるオフセット追従問題の最適解法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J81-A, No. 4, pp. 562-577, 1998年4月
 - 4) 越 正毅: 系統交通信号におけるサイクル制御の研究, 土木学会論文報告集, 第241号, pp. 125-133, 1975年9月
 - 5) 小田原 正和, 久井 守, 高橋 直樹: ひとつの理論計算からみた系統交通信号の最適サイクル長, 第18回交通工学研究発表会論文集, pp. 61-64, 1998年11月
 - 6) 小田原 正和, 久井 守: GAによる系統交通信号の共通サイクル長に関する研究, 土木計画学研究・講演集20(2), pp. 815-818, 1997年11月
 - 7) 小田原 正和, 久井 守: 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年3月
- (平成11年7月30日受理)