Ⅳ－7　交通流の時間変動を考慮した最適信号制御に関する研究

名古屋工業大学　学生員　○木岡　一郎
名古屋工業大学　正　員　　松井　寛

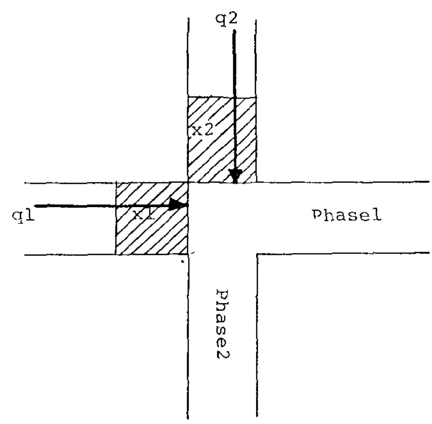
1．はじめに

本研究では、時間的変動のある非定常な交通流を対象とした動的信号制御問題を取り上げる。まず街路網上の交通流をマルコフ流と仮定し、各交差点流入部の信号待ち台数を状態変数、信号表示パラメーターを制御変数とする状態方程式を導入し、ある評価関数を最適とする信号制御問題を定式化しこれを最大原理によって解く方法を提案する。従来　非定常な交通流を対象とした動的信号制御理論を扱った研究は比較的少ない。この新しい信号制御モデルは、信号表示パラメータであるサイクル、スプリット及びオフセットを同時に最適化できるほか、到着交通流の予測が可能な場合は　これら信号表示パラメータのオンライン最適化が可能な点に特徴がある。

2．単独交差点における制御モデル

孤立した単独信号交差点を図－Ⅰのように考える。一般性を失わない程度に問題を簡単にするため、上下左右方向とも卓越した流入部の交通量のみを考えることにする。

［状態方程式］　交差点流入部1及び2における時刻tにおける信号待ち台数をそれぞれ$x1(t)$，$x2(t)$で表わす。信号待ち行列の後方からは$q1(t)$，$q2(t)$なる交通量が到着し、一方行列の先頭からは交差点の信号表示に従ってそれぞれ$u1(t)$、$u2(t)$の交通量が流出していくものとすれば、各流入部の信号待ち台数の変化率は次のように表わせる。



図－Ⅰ

$$\frac{dx_i(t)}{dt}=q_i(t)-u_i(t)\qquad(i=1,2)\qquad(1)$$

［制約条件］　式(1)は流体における連続方程式に相当し、$x_i(t)$は当然非負条件を満足しなければならない。

$$x_i(t)\geqq 0\qquad(2)$$

もし信号待ち行列に制限長が設けられる場合は、さらに

$$M_i\geqq x_i(t)\qquad(3)$$

の条件が加わる。ここにM_iは流入部iの許容待ち行列台数である。以下$x_i(t)$を状態変数と呼ぶことにする。

一方$u_i(t)$は信号表示に従って次のような値をもつ関数である。

$$\left.\begin{array}{ll}\text{信号が赤のとき} & u_i(t)=0\\ \text{信号が青で}x_i(t)>0\text{のとき} & u_i(t)=S_i\\ \text{信号が青で}x_i(t)=0\text{のとき} & u_i(t)=q_i(t)\end{array}\right\}(4)$$

ここにS_iは流入部iの飽和交通流量である。したがって$u_i(t)$の値が0と0以外の値をとるその切り換え時刻に注目することが、とりもなおさず信号制御プログラムを決定することに対応してくる。以下$u_i(t)$を制御変数と呼ぶことにする。

さらに、各現示の青時間には上限値と下限値が設けられることが多い。このときは、その上限値を$g_{i\,max}$、下限値を$g_{i\,min}$で表わすと現示i（$i=1,2$）の青時間g_iは以下の条件式を満足する必要がある。

$$g_{i\,min} \leqq g_i \leqq g_{i\,max} \qquad (5)$$

なお黄時間については別に与えられるものとしておく。

以上では標準的な2現示4枝交差点を想定して定式化を行ったが、この他たとえば時差付き信号制御の場合は、流入部ごとに別の制御変数を用いればよい。また右折専用現示がある場合は、右折交通に対応する状態変数と制御変数を追加することにより同様な取り扱いが可能である。

〔評価基準〕　ここでは最も一般性のある評価基準として知られる平均信号遅れ最小化基準を採用する。これは次のように定式化できる。

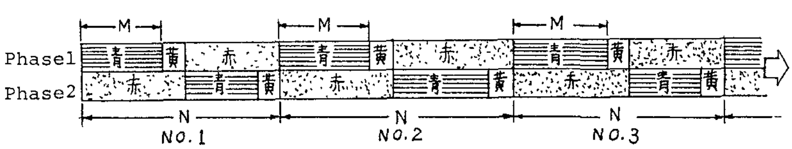
$$J=\sum_i\int_0^T x_i(t)\,dt \Big/ \sum_i\int_0^T q_i(t)\,dt \Longrightarrow min. \qquad (6)$$

ここにTは制御時間である。

以上の最適信号制御問題は結局、状態方程式(1)と制約条件式(2)〜(5)を満足しながら、式(6)で与えられる評価関数を最小化する問題となり、これはポントリャーギンの最大原理によって解くことが可能となる。

3．計算例

式(1)を離散化し、その間隔を1秒とする。周期は毎回最適周期となるようにし、各周期ごとに最適青時間を決定する（図－II参照）。黄時間は5秒で固定してあるから　Ｐｈａｓｅ１の青時間Mが決まればＰｈａｓｅ２の青時間は決まる。また　周期Nは黄金分割法を用いて最適化する予定である。



N:サイクル長
M:Phase1の青時間

図－II
（黄時間は5secで固定）

NO.	N(sec)	M(sec)	J
1	60	23	13.0
2	80	37	21.4
3	90	43	24.1
4	95	47	25.9
5	95	48	26.4
6	95	47	27.0
7	100	48	27.4
8	105	52	28.1
9	105	53	28.6
10	105	52	28.1
11	105	53	28.6
12	105	52	28.1
13	105	53	28.6
14	105	52	28.1
15	105	53	28.6

DATA
$x1(0)=10$ 台/sec　$x2(0)=0$ 台/sec
$s1=1$ 台/sec　$s2=1$ 台/sec
$M1=80$ 台/sec　$M2=80$ 台/sec
$q1(t)=0.5(1+SIN(2\pi t)/100)$ 台/sec
$q2(t)=0.4(1+SIN(2\pi t)/100)$ 台/sec

表－I

計算結果を表-Iに示す。流入交通量$q1$，$q2$が周期関数であれば、最適周期長Nはしだいに一定値に近づくと言える。

4．あとがき

現段階においては、単独交差点における制御モデルしか取り上げていないが、これを都市内街路網の複数交差点を対象とすることにより、サイクル、スプリット及びオフセットを同時に最適化できるようになる。

（参考文献）　P.G.Michalopoulos and G.Stephanopoulos
"An algorithm for veal-time control of critical intersections" Traffic Eng.& Control (1979)