

三重県 正員 ○ 藤井 稔
名古屋工業大学 正員 松井 寛

1. まえがき

単独信号交差点の信号制御パラメータはサイクルとスプリットである。このうちサイクルの決定については、現在ウェブスターが提案したシミュレーションによる実験式に基づく最適サイクル長が用いられ、一方スプリットについては、経験的に各現示の飽和度に比例して有効青時間を配分する方法が広く用いられている。しかし上記の方法は到着交通流が時間変動する場合は扱えないこと、また多現示信号制御に対してもそのまゝ適用できるかどうかの疑問点がある。そこで本研究では、交差点流入部の信号待ち行列の時間変動に着目した状態方程式を導入した信号遅れ最小基準に基づく動的信号制御モデルを開発し、これを多現示信号制御に適用した場合について検討する。

2. モデルの定式化

多現示信号制御の代表例として右折専用現示をもつ信号交差点の最適制御を取り上げる。図-1に示すような標準的な4枝交差点を考える。一般性を失わない程度に問題を簡単にするため、上下、左右方向ともに卓越した流入部の交通流のみを考えることにする。現示数を4とし、現示の表示順序は、

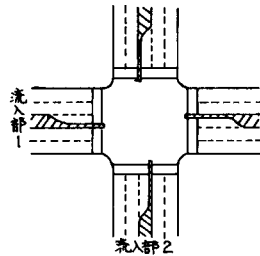


図-1 4現示制御交差点

図-2に示すとおりである。図-1に示すように右折車両に対しては右折専用車線が付加されるものとする。その他の車両は直進車と左折車の混用車線とするが、必要に応じてこれを分離することも可能である。

以下の記号を定義する。

g_i : 流入部 i ($i=1, 2$) の到着交通量 (時間関数) で与えてよい。

x_{i1} : 時刻 t における流入部 i の直進+左折待ち行列

台数

x_{i2} : 時刻 t における流入部 i の右折待ち行列台数

P_{i1} : 流入部 i の直進+左折率

P_{i2} : 流入部 i の右折率

($P_{i1} + P_{i2} = 1$ を満足する)

S_{i1} : 直進+左折混用車線の飽和交通流量

S_{i2} : 右折専用車線の飽和交通流量

u_{i1} : 信号表示に従って交差点に流入する直進+左折交通量

u_{i2} : 信号表示に従って交差点に流入する右折交通量

このとき、各流入部の直進+左折車線上の信号待ち台数の変化率は次のように表わせる。

$$\dot{x}_{i1} = P_{i1} \cdot g_i - u_{i1} \quad (i=1, 2) \quad (1)$$

同様に右折車線上の右折待ち台数について、以下の状態方程式が成立する。

$$\dot{x}_{i2} = P_{i2} \cdot g_i - u_{i2} \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

ここに u_{i1} , u_{i2} ($i=1, 2$) は本信号制御問題の制御変数に相当し、これは信号表示に対応して

$$\left. \begin{aligned} \text{信号が赤のとき } u_{ij} &= 0 \quad (i=1, 2, j=1, 2) \\ \text{信号が青で } x_{ij} > 0 \text{ のとき } u_{ij} &= S_{ij} \\ \text{信号が青で } x_{ij} = 0 \text{ のとき } u_{ij} &= P_{ij} \cdot g_i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

のような値をもつ関数である。したがって u_{ij} の値が切り換わる時刻に注目すれば、これ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。このほか u_{ij} には、正の値をとる順序があらかじめ定められた現示パターンに従うという拘束条件が追加される。いま流入部1の直進青開始時刻を時間軸の原点にとったとき、その順序は図-2に対応して図-3に示すとおりとなる。

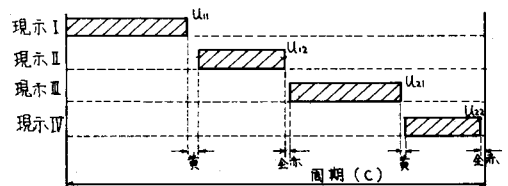


図-3 現示と制御変数

なお黄時間、全赤時間については別に与えるものとする。

更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と下限値によって $u_{ij} > 0$ の継続時間（青時間）が制約される。

以上では対向流入部の現示を同じとしているが、たとえば時差付き信号制御の場合は、流入部ごとに列の制御変数を導入すれば同様に取り扱いえる。

次に、信号待ち台数に関しては、当然次の非負条件を満足しなければならない。

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

更に信号待ち行列台数に制限長がある場合は

$$x_{ij} \leq M_{ij} \quad (5)$$

の制約が加わる。ここに M_{ij} は制限台数を示す。

さて、信号制御の評価基準であるが、ここでは最も一般性のあ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される。

$$J \equiv \sum_i \sum_j \int_0^C u_{ij}(t) dt / \sum_i \int_0^C g_i(t) dt \rightarrow \text{最小化} \quad (6)$$

ここに C はサイクル長である。この C は固定的に考える必要はなく、これも制約変数と考えることによって平均信号遅れ最小化基準に基づく最適サイクル長を同時に求めることができる。なお u_{ij} は各信号待ち行列の重みを与えるもので、すべての待ち行列を同等に評価する場合は $u_{ij} = 1$ とおけばよい。

以上の最適信号制御問題は結局制約条件式(1)~(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、これはポントリヤギンの最大原理によって解くことが可能となる。

3. 解法

各現示の青信号が黄信号に切り替わる時刻を現示 I, II, III, IV それぞれ m_1, n_1, m_2, n_2 とする。また計算にあたってサイクル長 C を離散化し、 $I = 0, 1, 2, \dots, N$ で表わす。計算手順は次のとおりである。

- 1). サイクル長を仮定
- 2). 各現示の青時間の初期値を与える。
- 3). 初期信号待ち台数 $x_{ij}(0)$ を与える。
- 4). 信号が青で $x_{ij}(I) > 0$ のとき $u_{ij}(I) = S_{ij}$
 信号が青で $x_{ij}(I) = 0$ のとき $u_{ij}(I) = \min(p_{ij} \cdot g_i, S_{ij})$
 信号が青以外のとき $u_{ij}(I) = 0$

と仮定しながら $I = 0, 1, 2, \dots, N$ の順に

$$x_{ij}(I+1) = x_{ij}(I) + p_{ij} \cdot g_i(I) - u_{ij}(I)$$

を計算する。

$$5). a = \max \{u_{11}(m_1), u_{12}(n_1), u_{21}(m_2), u_{22}(n_2)\}$$

$$b = \min \{u_{11}(m_1), u_{12}(n_1), u_{21}(m_2), u_{22}(n_2)\}$$

とおき、 a に対応する現示の青を1秒延ばす。

また b に対応する現示の青を1秒縮める。

6). 手順4)に戻り、平均遅れが最小になるまで計算を繰り返す。

7). サイクル長を変えて計算を繰り返し、平均遅れが最小となるサイクル長を求める。

4. 計算例

図-1及び図-2に示した右折現示のある4現示信号交差点を取り上げる。一定到着交通流を仮定し、また右折率を20%、左折率を10%とする。直進飽和交通流量を2000台/青1時間/車線とし、左折車混入の車線の場合は、左折混入による補正を行なう。右折専用車線の飽和交通流量は1800台/青1時間/車線とし、右折車は右折現示のときのみ右折できると仮定する。

またこの計算例では1方向の交通流量を1440台/2方向の交通流量を1200台/とし、この計算結果を表-1に示す。表には参考のため、右折現示を設けない2現示制御の場合の計算結果も載せてある。

4 現 示 制 御								2 現 示 制 御			
最適 周期 (S)	現 示 時 間 (s)		遅 延 時 間 (%)					現 示 時 間 (s)		遅 延 時 間 (%)	
	1 方向	2 方向	直 進	左 折	右 折	全 体	平均	1 方向	2 方向	直 進	左 折
	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
80	23	14	21	12	29	33	30	75	36	29	21

表-1

5. あとがき

今回の計算例では1ケースの交通流量しか考えなかったが、この流量が多くなると2現示制御では車両同士の交差や織込みの回数が多くなり、交通事故の起こる可能性も高くなると思われる。よってそのような場合には、4現示制御を含め、それぞれの交差点での交通条件に見合、た多現示制御を採用する方が多少待ち時間が長くても安全に交通流を流せることができると思われる。また、大型車、二輪車等の混入、そして歩行者交通、沿道条件等を考慮し、時々刻々変化する交通流量を確率的に変化する流入量としてとらえらる、さらに実用的な解が得られることが期待できる。