IV-170　過飽和単独交差点の信号パラメーターの一決定法

信州大学工学部　正員　奥谷　巌
信州大学工学部　学生員○三井達郎

1. まえがき

従来の単独交差点の信号制御に関する研究は、主として交通流を定常的なものと仮定して行なわれており、任意の一周期を考えることによって信号パラメーターを決定してきたわけであるが、現実にはこのようなことはありえず、特に過飽和交差点については前サイクルの捌け残りが生ずるため、定常交通量を仮定した方法ではパラメーターを決定することは困難となる。以上の点を考慮して、本研究では交通流を非定常的なものとし、適当な一定時間を考え、その中のある時間においては過飽和状態を呈するような単独交差点の信号周期・スプリットの決定法について述べる。

2. 遅れ時間の算出

本研究では遅れ時間最小化規準によってパラメーターを決定することにする。ここで遅れ時間とは「交差点の手前で車が停車してから交差点を通過するまでの時間」と定義する。記号を次のように定める。

$q(t)$：交通流関数
T_n：第n周期の終了時間
$\overline{R}_n$：第n周期中の赤時間（含黄）
Q_n：第n周期の残留交通量
S：交通容量

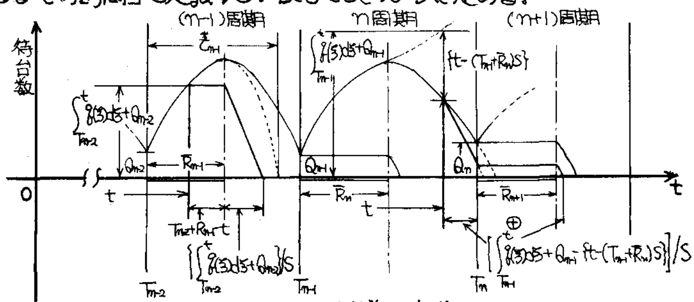


図-1．時間と待台数の関係

図-1を参照すれば、第n周期における遅れ時間 d_n は一般に次のように表わすことができる。

$$d_n = Q_{n-1}\times\overline{R}_n + \int_{T_{n-1}}^{T_{n-1}+\overline{R}_n} q(t)\left[T_{n-1}+\overline{R}_n - t + \left\{\int_{T_{n-1}}^{t} q(\xi)d\xi + Q_{n-1}\right\}/S\right]dt + \int_{T_{n-1}+R_n}^{T_{n-1}+\tau_n} q(t)\left[\left(\int_{T_{n-1}}^{t} q(\xi)d\xi + Q_{n-1} - \{t-(T_{n-1}+R_n)\times S\}\right)/S\right]dt \quad \text{------(1)}$$

ただし　$\overline{Q}_n = \int_{T_{n-1}}^{T_n} q(t)dt + Q_{n-1} - S\times(T_n - T_{n-1} - \overline{R}_n)$　としたとき

$\overline{Q}_n \geqq 0$　のとき　$Q_n = \overline{Q}_n$，$\tau_n = T_n - T_{n-1}$

$\overline{Q}_n < 0$　のとき　$Q_n = 0$，$\tau_n = \overset{*}{\tau}_n$　（$\overset{*}{\tau}_n$ は次式より求める．$\int_{T_{n-1}}^{T_{n-1}+\overset{*}{\tau}_n} q(t)dt + Q_{n-1} - S(\overset{*}{\tau}_n - R_n) = 0$）

(1)式の左辺の第1項は、(n−1)周期の残留交通量が、n周期の赤時間だけ待つことによって生じる遅れ、第2項は、n周期の赤時間に到着した車が、それ以前に到着している車が捌きわれるまで待つことによって生じる遅れ、第3項は、n周期の青時間に到着した車の前項と同様な意味の遅れ、をそれぞれ示している。なお一定時間 $[0, T_0]$ に到着する車のみを考えることにすれば、第1周期においては、式(1)の第1項は0とし、最終周期Nにおいては、残留交通量がある場合には、遅れ時間に $Q_N\times R_c$（R_c：適当な時間係数）を加えることによって補正する必要がある。

3. 動的計画法の関数方程式の算出

適当な一定時間 $[0, T_0]$ を考え、この時間内においては、周期・スプリットともに各周期ごとに変化可能であるとし、周期数も変数として取り扱う。なお、対象とする交差点は、四差路，現示パターンは、2現示とする。
以下、動的計画法への具体的アプローチについて述べる。

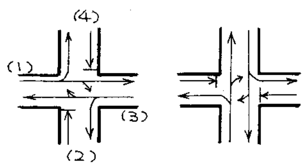
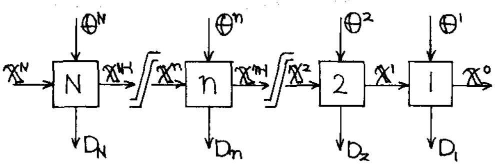


図-2　対象交差点

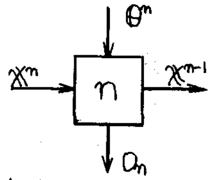
a) 状態，決定，遅れ時間

決定変数 Θ^n，状態変数 X^n を次のように定め，各周期をDPの各段階に対応させる。ここで段の番号が過程の進行方向と逆向きについているために 2 で定義した記号の添字が若干異なっていることに注意する。



• 決定変数 $\Theta^n=[\bar{\theta}_n, \bar{R}_n]$

$\bar{\theta}_n = T_{n-1} - T_n$ （n段階の周期に相当）



• 状態変数 $X^n=|Q^n, T_n|$

$$X^{n-1}=\begin{bmatrix}Q^{n-1}\\ T_{n-1}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}h^n(X^n,\Theta^n)\\ T_n+\bar{\theta}_n\end{bmatrix} = t^n(X^n,\Theta^n) \quad \text{—(2)}$$

ただし $\bar{Q}_i^{n-1}=\int_{T_n}^{T_n+\bar{\theta}_n} q_i(t)dt+Q_i^n-S_i(\bar{\theta}_n-R_i^n)$

$\bar{Q}_i^{n-1}\geq 0$ のとき $h_i^n(X^n,\Theta^n)=\bar{Q}_i^{n-1}$

$\bar{Q}_i^{n-1}<0$ のとき $h_i^n(X^n,\Theta^n)=0$

（$Q^n=\{Q_i^n\}$, $h^n=\{h_i^n\}$ $i=1\sim4$）

• 遅れ時間 $D_n(X^n,\Theta^n)$

各流入部の遅れ時間を d_i^n とすれば

$$d_i^n = Q_i^n\times R_i^n+\int_{T_n}^{T_n+\tau_i^n} q_i(t)\left[T_n+R_i^n-t+\left\{\int_{T_n}^{t} q_i(\xi)d\xi+Q_i^n\right\}/S_i\right]dt \quad \text{—(3)}$$

（$R_i^n=\bar{R}_n\ (i=1,3)$，$R_i^n=\bar{\theta}_n+L-\bar{R}_n\ (i=2,4)$　L：信号切換時のロス時間）

ただし　$\bar{Q}_i^n \geq 0$ のとき　$\tau_i^n=\bar{\theta}_n$

$\bar{Q}_i^n<0$ のとき　$\tau_i^n=\overset{*}{\tau}_i^n$　$\left(\int_{T_n}^{T_n+\overset{*}{\tau}_i^n} q_i(t)dt+Q_i^n-S_i(\overset{*}{\tau}_i^n-R_i^n)=0\right)$

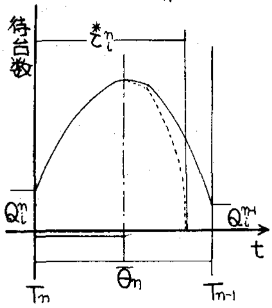


図-3. DPとの関係

（記号右下の i は流入部を示す。）

よって，D_n は次のように表わされる。

$$D_n=D_n(X^n,\Theta^n)=\sum_{i=1}^{4}\alpha_i d_i^n \quad (\alpha_i \text{ は各流入部の重み}) \quad \text{—(4)}$$

b) 変数の範囲　ここで用いる変数は，周期数を除いては一般に連続的なものであるが，実際の計算では，ある間隔をもった離散値として扱う。各変数のとり得る範囲を下に示す。

• $\Theta^n=[\bar{\theta}_n,\bar{R}_n]$ ： $C_{min}\leq\bar{\theta}_n\leq C_{max}$ （C_{max}, C_{min} は周期の上限，下限）

$\bar{R}_n$ は $\bar{\theta}_n$ の値によってその範囲が変化，$R_{min}\leq \bar{R}_n\leq\bar{\theta}_n+L-R_{min}$ （R_{min}：最小赤時間）

• $X^n=[Q^n,T_n]$ ： $0\leq Q_i^n\leq Q_{max}$ （Q_{max}：最大の残留交通量）

T_n は n の値によってその範囲が変化．$T_{min}^n\leq T_n\leq T_{max}^n$ （$T_{min}^n=\max\{T_0-n\times C_{max}, 0\}$，$T_{max}^n=T_0-n\times C_{min}$）

• 周期数N：時間$[0, T_0]$ をN分割した場合．T_N の範囲の中に必ず0を含まなければならない。すなわち $T_{max}^N\geq 0$ および $T_{min}^N\leq 0$ より，$N_{min}\leq N\leq N_{max}$ （$N_{min}=[T_0/C_{max}]+1$，$N_{max}=[T_0/C_{min}]$）

c) DPの関数方程式　以上述べたことより，DPの関数方程式は次のように表わすことができる。

$$f_n(X^n)=\min_{\Theta^n}\{D_n(X^n,\Theta^n)+f_{n-1}(t_n(X^n,\Theta^n))\} \ ; \ X^{n-1}=t_n(X^n,\Theta^n),\ (n=2\sim N),\ f_0=0$$

4. 計算手順　計算は，N_{min}からはじめてN_{max}まで，それぞれNを固定してDP計算を行う。この場合，Nの増加につれて過程が延長してゆくだけであるから，すべての段階について繰り返し計算を行う必要はない。各Nのうちで最小の遅れ時間を与えるNの値が最適周期数となり，それに対応するX^n，Θ^nによって各段階の周期・スプリットが決定できる。

5. 数値計算例　具体的計算例は，当日発表する予定である。

6. あとがき　本研究では，周期・スプリットともに各段階ごとに変化可能であるとしたが，これは多段信号機の制御パラメーターの切り換え時等に応用できると思われる。さらに周期・スプリットを一定とすれば，過飽和定周期信号機の信号パラメーターの決定問題となる。（この場合DP計算は不要）なお，今回は，DPによる最適化について述べたが，最大原理による方法も考えられる。

[参考文献] 奥谷巌：街路網における信号機のオフセット最適化に関する基礎的研究 47.7 京大学位論文，坂島一郎：動的計画法(森北)