

IV-280

過飽和信号交差点のサイクル及びスプリットについて

東北大学 学生員 ○ 孔 永 健

秋田大学 正 員 清水浩志郎

秋田大学 正 員 木村 一 裕

1. まえがき

交通量の増加により過飽和状態が生じる場合に適応した交通制御システムを構築するためには、単独過飽和信号交差点の知識が必要となるが、過飽和交差点の制御パラメータに対する理論研究はいままであまり行われていない⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

本研究では、直進交通のみ存在する2現示4流入部の単独十字信号交差点について、交通量が一時的に増加する時間帯について、設定した評価指標を用いて、過飽和状態のサイクルとスプリットの決定手法を理論的に考察することを目的としている。

2. 単独信号交差点のサイクルとスプリット

過飽和交差点の最も大きな特徴は捌けきれない累積台数の時間的増加にある。交差点の制御目的は、非飽和の場合には遅れ時間最小化が一般的であるが、過飽和では交通容量の維持や行列の波及の最小など必ずしも明確な基準はない。本報告では流入部ごとのサイクル当りの捌けきれない累積台数(待ち行列の波及)を押えながら、容量を増加させることを評価基準とし、目的関数をサイクルごとの交差点における、(捌けきれない累積台数の平均増加率/流出台数の平均増加率)の和とし、これを最小化することによってサイクルとスプリットを求めることとした。

4流入路のうち直進路線と交差路線はそれぞれ一流入路だけの流入交通量が増加し、その正規化交通量は最大正規化交通量であると設定する。なお、4流入路ともに交通量が増える時は最大正規化交通量の入れ替えによって適用できる。

基準時点 $t=0$ から i 流入路の流入交通量が式(1)に示すように線形的増えてくると仮定する。

$$Q_i(t) = Q_{i0} + \alpha_i \cdot t, \quad i=1, 2 \quad (1)$$

交差点の飽和度 λ は

$$\lambda = \sum \rho_i = \sum (Q_{i0}/S_i) + \sum (\alpha_i/S_i) \cdot t \quad (2)$$

で、 ρ_i 、 S_i はそれぞれ i 流入路の正規化交通量と飽和交通流率である。 λ は0.9を超えると過飽和とみなされ、その時間 t_0 は式(2)によってわかる。 t_0 を制御基準時点として、式(1)は

$$Q_i(t) = Q_{i0} + \alpha_i \cdot t, \quad i=1, 2$$

となる。ここに、 $Q_{i0} = Q_{i0} + \alpha_i \cdot t_0$ で、過飽和状態の1サイクル目の初期交通量である。

1サイクル目の i 流入部の累積台数は

$$X_{i1} = \int_0^{T_1} (Q_{i0} + \alpha_i \cdot t) dt - S_i \xi_{i1} \\ = Q_{i0}T_1 + \alpha_i T_1^2/2 - S_i \xi_{i1} \quad (3)$$

と表し、 N サイクル目の累積台数は

$$X_{in} = Q_{in}T_n + \alpha_i T_n^2/2 - S_i \xi_{in} + X_{in-1} \quad (4)$$

となる。ここに、 $Q_{in} = Q_{in-1} + \alpha_i T_{n-1}$ 、 $N=1, 2, \dots$ はサイクル回数で、 T_n 、 ξ_{in} はそれぞれサイクル長、青時間長である。

1サイクル目の i 流入部の交通容量は

$$H_{i1} = S_i \xi_{i1} / T_1 \quad (5)$$

で、 N サイクル目の i 流入部の交通容量は

$$H_{in} = S_i \xi_{in} / T_n \quad (6)$$

である。

制御パラメータ間の関係は(7)式のとおりでである。

$$T_n = \sum \xi_{in} + L, \quad \xi_{in} = \mu_{in} (T_n - L) \\ \sum \mu_{in} = 1 \quad (7)$$

ここに、 μ_{in} は i 流入路の N サイクル目のスプリットである。また L は1サイクル中の総損失時間で定数である。目的関数は式(1)、(4)、(6)より、

$$j_n = \sum \frac{X_{in}/T_n}{H_{in}}$$

式(4)、(6)、(7)を利用して、上式は

$$j_n = \sum \left\{ \frac{Q_{in}T_n + \alpha_i T_n^2/2 + X_{in-1}}{S_i \mu_{in} (T_n - L)} - 1 \right\} \quad (8)$$

となる。ここに、 $X_{i0}=0$ である。

変数 T_n 、 μ_{in} ($\sum \mu_{in}=1$) の関数 j_n が極小値をとる必要十分条件は、

$$\frac{\partial j_n}{\partial T_n} = 0, \quad \frac{\partial j_n}{\partial \mu_{in}} = 0 \\ \frac{\partial^2 j_n}{\partial T_n^2} > 0, \quad \frac{\partial^2 j_n}{\partial \mu_{in}^2} > 0 \\ \left\{ \frac{\partial^2 j_n}{\partial T_n^2} \right\} \left\{ \frac{\partial^2 j_n}{\partial \mu_{in}^2} \right\} > \left\{ \frac{\partial^2 j_n}{\partial T_n \partial \mu_{in}} \right\}^2 \quad (9)$$

である。よって (9) 式を利用して、サイクルとスプリットは下記のように求められる。

1 サイクル目のサイクル長 T_1 は

$$T_1 = L \left\{ 1 + \left(1 + \frac{2(Q_{101} + \omega_1 Q_{201})}{(\alpha_1 + \omega_1 \alpha_2) L} \right)^{1/2} \right\} \quad (10)$$

ここで、 $\omega_1 = S_1 \mu_{11} / S_2 \mu_{21}$ である。

また、1 サイクル目のスプリット μ_{11} は、

$$\mu_{11} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{(Q_{201} T_1 + \alpha_2 T_1^2 / 2) S_1}{(Q_{101} T_1 + \alpha_1 T_1^2 / 2) S_2} \right\}^{1/2}} \quad (11)$$

N サイクル目のサイクル長は

$$T_n = L \left\{ 1 + \left(1 + \frac{2 K_n (\mu_{in}; Q_{ion}; X_{in-1})}{F_n (\mu_{in}; \alpha_i)} \right)^{1/2} \right\} \quad (12)$$

ここで

$$K_n = (Q_{ion} + \omega_n Q_{2on}) L + (X_{1,n-1} + \omega_n X_{2,n-1})$$

$$F_n = (\alpha_1 + \omega_n \alpha_2) L^2$$

N サイクル目のスプリットは

$$\mu_{1n} = 1 / (1 + G_n (T_n; Q_{ion}; \alpha_i; X_{i,n-1})^{1/2}) \quad (13)$$

ここで、

$$G_n = \frac{(X_{2,n-1} + Q_{2on} T_n + \alpha_2 T_n^2 / 2) S_1}{(X_{1,n-1} + Q_{1on} T_n + \alpha_1 T_n^2 / 2) S_2}$$

$$= (X_{2,n-1} / S_2 + \int_0^{T_n} \rho_{2nd} T) / (X_{1,n-1} / S_1 + \int_0^{T_n} \rho_{1nd} T)$$

$$\mu_{2n} = 1 - \mu_{1n}$$

なお、 $\omega_n = S_1 \mu_{1n} / S_2 \mu_{2n}$ である。式(12)と(13)の共通解はNサイクル目のサイクル長とスプリットとなる。以下、計算例として2方向の交通が増加する場合について検討を行った。入力数値は $Q_{101}=17.6$ 、 $Q_{201}=13.3$ 、 $S_1=31.67$ 、 $S_2=30$ 、単位：台/min。 $\alpha_1=1.2$ 、 $\alpha_2=1.1$ 、単位は台/min²である。

1 サイクル目について、図1に(10)と(11)式の共通解を、また図2には(8)式に示された目的関数 ($N=1$) が共通解のサイクルで最小値をとることを図示した。図3には1サイクル目の総捌けきれない累積台数の増加率 ($\sum X_{i1} / T_1 = \sum \{Q_{i01} + \alpha_i T_1 / 2 -$

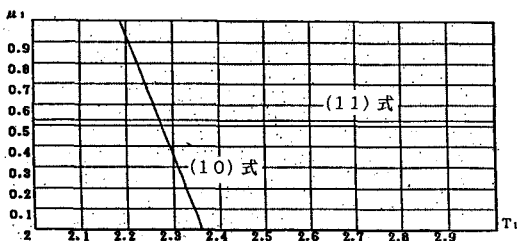


図-1 サイクルとスプリットの図解

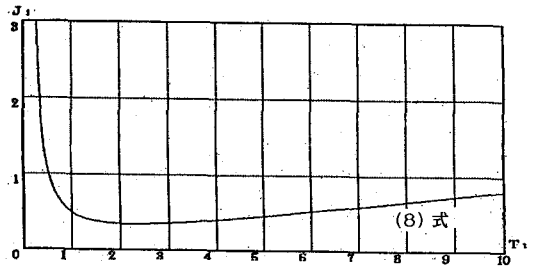


図-2 目的関数のサイクルに対する変動

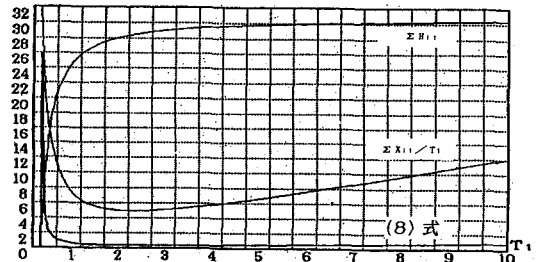


図-3 総累積台数と総流出台数の

平均増加率のサイクルに対する変動

$S_i \mu_{i1} (1 - L/T_1) \}$) と総容量 ($\sum H_{i1} = \sum S_i \mu_{i1} (1 - L/T_1)$) を示した。図2と図3から、目的関数が最小となるサイクル長には流入流出台数の比率はほぼ最小となることがわかった。

3. 考察

上に示した制御パラメータと交通指標の関係式(1)と(12)から次のことがいえる。

- 1) サイクル長は交通量の増加が始まるとともに徐々に増加する傾向がある。
- 2) 流入交通需要の増加率 α が比較的大きい場合には、サイクル長は著しく減少する。
- 3) 非飽和状態のスプリットは飽和度比 (Webster などの研究) によるものである。2 現示の場合には $\mu_1 = \rho_1 / \lambda = \rho_1 / \sum \rho_i = 1 / (1 + \rho_2 / \rho_1)$ である。これに対して、式(13)はほぼ $\mu_1 = 1 / (1 + (\rho_2 / \rho_1)^{1/2})$ となり、過飽和状態のスプリットを示すことができた。
- 4) α_1 と α_2 がいずれか 0 の場合、すなわち 1 流入路だけ交通が増えるとき、式(12) はその流入路のスプリットが時間的に増加する傾向を示した。

<参考文献>

- 1) Michalopoulos, P.G., Stephanopoulos P.G.; Optimal Control of Oversaturated Intersections, Traffic Engineering & Control, Vol. 19, 1978
- 2) 山崎, 丸山, 宇佐美: 新交通システムにおける信号制御方式について, 第12回交通工学研究発表会論文集, 1992
- 3) 李, 池之上, 安井, 深井: 過飽和交通信号系におけるスプリット連携による制御方策について, 交通工学, Vol. 28, No. 2, 1993