

DPによる系統信号の遅れ最小化制御と通過帯幅最大化制御

DELAY-MINIMIZING CONTROL AND BANDWIDTH-MAXIMIZING CONTROL OF COORDINATED TRAFFIC SIGNALS BY DYNAMIC PROGRAMMING

久井 守*

By Mamoru HISAI

In this paper, a method of calculation is proposed to determine the optimum offsets of coordinated traffic signals so as to minimize the total traffic delay on a street. The optimization technique employed is dynamic programming. The platoon is supposed to be represented by a single rectangle and to be dispersed as it travels. The method is programmed for the numerical computation. The optimum offsets can be obtained for a streets under the arbitrary road and traffic conditions. Some examples are worked out.

Furthermore, it is shown that, by using the same method as mentioned above, bandwidth-maximizing offsets can be obtained under the condition of no dispersion of platoon and no traffic delay, and that the bandwidth is equal to maximum platoon length.

1. はしがき

本研究は1本の路線上の交通信号を対象とした、いわゆる路線系統制御について遅れ最小化を基準としたオフセット最適化を行い、あわせて遅れ最小化の観点から通過帯幅最大化オフセットについて検討したものである。すなわち、各信号交差点で生じる交通流の総遅れ時間を最小にするオフセットをDPモデルによって求め、また同じDPモデルを用いて、通過帯幅最大化基準による最適オフセットを求めている。これによって1つのDPモデルで、計算条件を変更すれば、遅れ最小化および通過帯幅最大化の両基準によるオフセット最適化のいずれも実行可能であることを示す。

通過帯幅最大化基準¹⁾⁻³⁾は、従来から広く用いられてきた基準であって、この通過帯法は必ずしも遅れ最小を保証するものではないが、交通量が比較的少ない場合は遅れ最小化の観点からみてもかなり優れた方法であると考えられる。本研究は通過帯法の評価や制御理論としての位置づけなどの問題点を明らかにしたものではないが、今後これらの問題点を明らかにしていくうえで重要なステップにしたいと考えている。

ところで通過帯法は、交通流の2方向性と上流信号の

影響を考慮した方法、すなわち、信号相互間の影響を総合的に考慮した方法である。遅れ最小化基準でこのように信号相互の影響を考慮したオフセットの最適化はきわめて困難であるが、一連の仮定にたてば、DPの手法によって最適化することが可能であり、すでに著者らはDPモデルによる基本的な方法を提案している⁴⁾。以下、そのDPモデルを従来のDPモデルとよぶこととする。本研究では、この従来のDPモデルに、いくつかの重要な改良を加えて、遅れ最小化基準による最適オフセットを求める。さらにこのDPモデルによって通過帯幅最大化基準による最適オフセットを求め、通過帯幅最大化オフセットは一定の計算条件下では遅れ最小化オフセットの1つの特別な解として得られることを示す。

なお、本研究に関連する研究として、遅れ時間は考慮していないがDPを用いて通過帯幅最大化の手法を示した研究として奥谷の研究⁵⁾がある。また2つの車群を考慮したDPモデル⁶⁾や街路網のループ閉合条件をDPの手法で処理した研究⁷⁾がある。

2. 交通流の仮定と遅れ時間

(1) 単一矩形波と拡散の仮定

信号交差点では交通流は車群を形成する。この車群をここでは図-1に示すように単一の矩形波で仮定する。 L は車群長(s)、 a は車群内のフローレート(台/s)で

* 正会員 工博 山口大学講師 工学部土木工学科
(〒755 宇部市常盤台 2557)

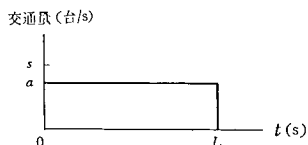


図-1 車群の仮定

ある。1周期当たりの交通量(台/cycle)は

$$Q = aL \dots\dots\dots (1)$$

となる。車群は走行中に拡散すると考え、交差点への到着車群長を

$$L = cD + L_0 \dots\dots\dots (2)$$

と仮定する。ここに L_0 は隣接上流交差点の発進車群長 (s)、 D は交差点間隔 (m)、 c は車群の広がりを表わす広がり係数である。

(2) 車群パタンの変換過程の仮定

信号交差点で車群はパタンの変換を受けるが、その変換ルールを図-2のように仮定する。パタン変換の前後とも、車群はすべて単一の矩形波と仮定する。図の縦軸の太線は赤時間を表わす。仮定(d)は車群が2つに分割される場合であるが、この場合も単一の矩形波とする。仮定(c)は車群が赤信号にかからない場合である。従来のDPモデルでは、関数方程式の次元数を増やさなため図-3のように車群を車群長のみで表現する必要上、車群長を青開始時点からの長さにしていたのを、本研究ではこれを図-2(c)のように改良し、車群を車群長および車群位置を表わす変数で表現するようにしたものである。この改良が本研究における重要な改良の1つである。以下では、従来のDPモデルを無停止通過車群を考慮しない場合のモデル、改良後のDPモデルを無停止通過車群を考慮した場合のモデルとよぶこととす

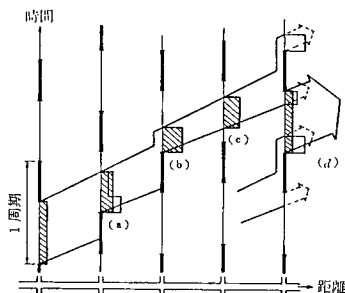


図-2 車群パタンの変換ルール

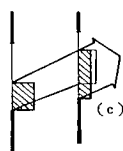


図-3 無停止通過車群を考慮しない場合の変換ルール

る。

(3) 遅れ時間

車群パタンを単一の矩形波で表わしたときの遅れ時間 w は到着車群長と到着時点に応じて次の6つの式で表わされる⁸⁾。

$$w_1 = 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$w_2 = \frac{as}{2(s-a)} (\xi + \lambda - g)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$w_3 = \frac{as}{2(s-a)} r^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$w_4 = q(\xi - g) + \frac{q}{2s} (s\lambda + q) \dots\dots\dots (6)$$

$$w_5 = \frac{a}{2s} \{ -(s-a)\xi^2 + 2(sg-a)\xi + sr - sg + a \} \dots\dots\dots (7)$$

$$w_6 = (a-q)(1-\xi) + \frac{as}{2(s-a)} (\lambda - g)^2 \dots\dots\dots (8)$$

ここに s は飽和流量(台/s)、 ξ は車群後端が交差点に到着した時点から青信号終了時点までの時間、 g は青時間、 r は赤時間、 λ は車群長 ($\lambda = L/T$)、 q は交通量 ($q = Q/T$)、 T は信号周期である。 ξ, g, r などの時間量は周期に対する比の値である。遅れ時間 w の単位は台・s/sを周期で規準化したものである。したがって台・s/s単位の遅れ時間 W は、 $W = wT$ で求められる。以上は $a < s$ で、かつ $aT \leq sG$ の場合の遅れ時間であるが、この場合の遅れ時間を ξ の関数として表わしたものの一例を図-4に示す。

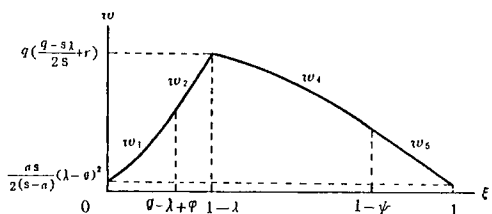


図-4 遅れ時間 ($a < s$ の場合)

一方、車群の拡散がなく、車群内のフローレートが飽和流量に等しく ($a = s$)、かつ $\lambda \leq g$ である場合の遅れ時間を示すと図-5のようになる。この場合

$$0 \leq \xi \leq g - \lambda \text{ のとき} \quad w = 0 \dots\dots\dots (9)$$

$$g - \lambda \leq \xi \leq 1 - \lambda \text{ のとき} \quad w = s\lambda(\xi + \lambda - g) \dots\dots\dots (10)$$

$$1 - \lambda \leq \xi \leq 1 \text{ のとき} \quad w = sr(1 - \xi) \dots\dots\dots (11)$$

である。本研究では車群の拡散がなく ($c = 0$)、かつ $a = s$ である場合についても扱うことができるように、遅れ時間関数として新しく式(9)~(11)を導入したが、

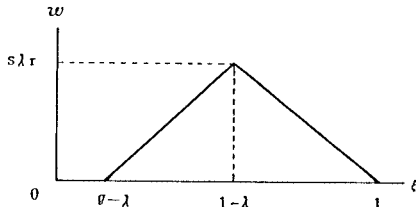


図-5 遅れ時間 ($a=s$ の場合)

これも従来の DP モデルに対する改良点の1つである。

(4) 境界交差点からの流入パターン

系統化の対象は、距離の長い信号区間または車群の存在が認められない信号区間によって区切られた路線内の信号とするべきである。そのようにした場合、対象路線の両端交差点に到着する交通パターンは一樣流またはそれに近いものになる。一樣到着の場合の発進交通パターンは図-6の破線で示すように2段の階段波になる。図の横軸の太線は赤時間を示す。本研究では単一矩形波の仮定を設けているので、この流入パターンを図-6の実線で示すように次の3通りに仮定し、計算時にいずれか1つを指定できるようにしている。

流入パターン1: $\lambda=g, a=q/\lambda$

流入パターン2: $\lambda=2\lambda_g, a=q/2\lambda_g$

流入パターン3: $\lambda=q/s, a=s$

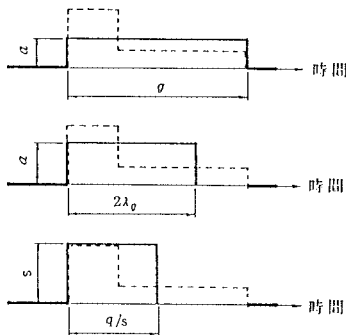


図-6 流入パタンの仮定

流入パターン1は従来の DP モデルで用いた仮定であるが交通量の少ないときは、実際の車群パターンとかなりかけ離れたものになる。したがって本研究では、流入車群長を、青開始時点から破線で示した2段階波の図心までの長さ λ_g の2倍にとるという仮定を導入した。これが流入パターン2である。もう1つ考えられる仮定として、飽和発進の仮定がある。これが流入パターン3である。本研究では流入パターンをこのように3通りに仮定したがこれも従来の DP モデルに対する改良点の1つである。

(5) その他の仮定

交差点での右左折はないとし、信号区間途中での交通の流入はなしのものとする。車群の速度は上り、下りの

両方向で異なり、信号区間ごとにも異なると考える。また現示率は交差点ごとに異なると考える。

3. DP による定式化と計算法

(1) 定式化

最適化の対象路線を図-7のように表わす。最適化の目的関数 J を対象路線全区間の総遅れ時間とすると、

$$J = \sum_{k=1}^N |w_k(\lambda_k, x_k, \xi_k) + w'_k(\lambda'_k, x'_k, \xi'_k)| \dots \dots \dots (12)$$

となる。この J を最小にする最適決定 ξ_k^* ($k=1, 2, \dots, N$) を探索することが目的である。ここに w_k は図-8に示すように第 k 区間上り方向車群が第 k 交差点でこむ遅れ時間であり、これは λ_k, x_k および ξ_k の関数である。 λ_k は発進車群長、 x_k は発進車群位置、 ξ_k は到着車群位置を表わす。また、 w'_k は第 k 区間下り方向車群が第 $(k-1)$ 交差点でこむ遅れ時間であり、これは λ'_k, x'_k および ξ'_k の関数である。

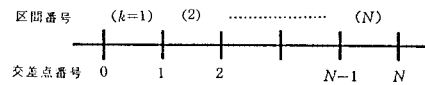


図-7 DP の対象路線

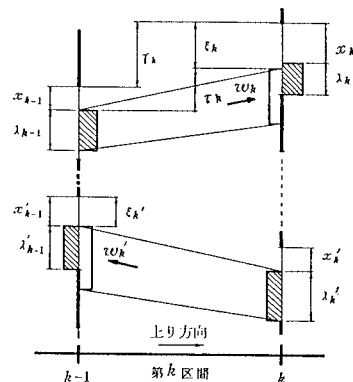


図-8 第 k 区間の車群と遅れ時間

上り方向の車群について、 λ_k と x_k はいずれも λ_{k-1} および ξ_k の関数であり、図-2の車群変換ルールに対応して次のように表わすことができる。

- (a) $0 \leq \xi_k < g_k - q/s$ かつ $g_k \leq \xi_k + (cD_k + \lambda_{k-1}) \leq 1$ のとき

$$\left. \begin{aligned} \lambda_k &= g_k - \xi_k \\ x_k &= \xi_k \end{aligned} \right\}$$
- (b) $\xi_k \geq g_k - q/s$ かつ $\xi_k + (cD_k + \lambda_{k-1}) \leq 1$ のとき

$$\left. \begin{aligned} \lambda_k &= q/s \\ x_k &= g_k - q/s \end{aligned} \right\}$$
- (c) $0 \leq \xi_k \leq g_k - q/s$ かつ

$$\left. \begin{aligned} \xi_k + (cD_k + \lambda_{k-1}) < g_k \text{ のとき} \\ \lambda_k = cD_k + \lambda_{k-1} \\ \mathbf{x}_k = \xi_k \end{aligned} \right\}$$

(d) $\xi_k < 1$ かつ

$$\left. \begin{aligned} \xi_k + (cD_k + \lambda_{k-1}) > 1 \text{ のとき} \\ \lambda_k = g_k \\ \mathbf{x}_k = 0 \end{aligned} \right\}$$

ここに g_k は第 k 交差点の青時間、 D_k は第 k 区間の区間距離 (m) である。($cD_k + \lambda_{k-1}$) は第 k 交差点への到着車群長であり、これが 1 より大きい場合は 1 に置き換えるものとする。下り方向についても同様であり、 λ_{k-1} と \mathbf{x}'_{k-1} はいずれも λ_k および ξ_k の関数である。

式(12)を DP の関数方程式で表わすと、

$$f_k(\lambda_k, \mathbf{x}_k, \lambda'_k, \mathbf{x}'_k) = \min_{\xi_k} \{ w_k(\lambda_k, \mathbf{x}_k, \xi_k) + w'_k(\lambda'_k, \mathbf{x}'_k, \xi'_k) + f_{k-1}(\lambda_{k-1}, \mathbf{x}_{k-1}, \lambda'_{k-1}, \mathbf{x}'_{k-1}) \} \dots (13)$$

($k=1, 2, \dots, N$)

となる。ここに $f_k(\lambda_k, \mathbf{x}_k, \lambda'_k, \mathbf{x}'_k)$ は第 1 区間～第 k 区間までの最適政策によって得られる最小遅れ時間であり、これは 4 つの変数 $\lambda_k, \mathbf{x}_k, \lambda'_k, \mathbf{x}'_k$ の関数であると考えられる。 f_k の意味を図に示すと図-9 のようになる。また

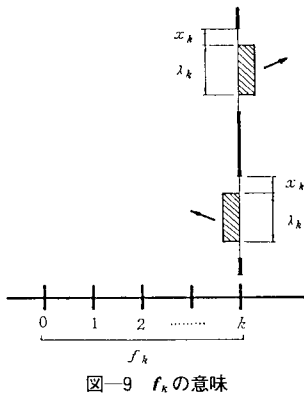


図-9 f_k の意味

$f_0=0$ とする。式 (13) における ξ_k と ξ'_k の間には $\xi'_k = 1 - \tau_k - \tau'_k + \mathbf{x}'_k + \mathbf{x}_{k-1} - \xi_k \dots (14)$ なる関係があるので、式 (13) は ξ_k に関して最小化すればよい。式 (14) において τ_k および τ'_k は次式に示すように信号区間距離 D_k の走行所要時間を周期で規準化したものである。

$$\tau_k = D_k / T v_k \dots (15)$$

$$\tau'_k = D_k / T v'_k \dots (16)$$

ここに v_k, v'_k はそれぞれ上り方向および下り方向の走行速度 (m/s) である。最適決定 ξ_k^* が求められると最適オフセット γ_k^* は次式で求めることができる。

$$\gamma_k^* = \xi_k^* + \tau_k - \mathbf{x}_{k-1} \pmod{1} \dots (17)$$

ただし γ_k^* は青時間終了時点の時間差である。

なお本研究の無停止通過車群を考慮した DP モデル

では関数方程式は $f_k(\lambda_k, \mathbf{x}_k, \lambda'_k, \mathbf{x}'_k)$ のように 4 変数の関数となるが、無停止通過車群を考慮しない従来の DP モデルでは、車群パタンの変換過程を図-3 のように簡略化しているので車群の位置を表わす変数 $\mathbf{x}_k, \mathbf{x}'_k$ は必要ではなく、関数方程式は $f_k(\lambda_k, \lambda'_k)$ のように 2 変数のみの関数となっている。この分だけ本研究では計算時間が長くなることになる。

(2) 計算方法

計算は格子点探索法で行う。まず

$$f_0(\lambda_0, \mathbf{x}_0, \lambda'_0, \mathbf{x}'_0) = 0$$

とおくが、4 つの変数 $\lambda_0, \lambda'_0, \mathbf{x}_0, \mathbf{x}'_0$ は

$$q/s \leq \lambda_0 \leq g_0$$

$$q'/s \leq \lambda'_0 \leq g_0$$

$$0 \leq \mathbf{x}_0 \leq g_0 - \lambda_0$$

$$0 \leq \mathbf{x}'_0 \leq g_0 - \lambda'_0$$

の範囲を λ_0, λ'_0 は $\Delta\lambda$ 間隔、 $\mathbf{x}_0, \mathbf{x}'_0$ は Δx 間隔の離散量で与える (図-10)。

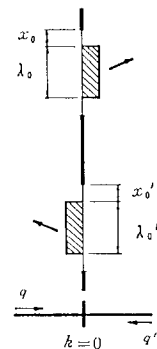


図-10 第 0 交差点の車群の与え方

一般に第 k 区間の計算では、4 つの変数 $\lambda_k, \lambda'_k, \mathbf{x}_k, \mathbf{x}'_k$ は

$$q/s \leq \lambda_k \leq g_k$$

$$q'/s \leq \lambda'_k \leq g_k$$

$$0 \leq \mathbf{x}_k \leq g_k - \lambda_k$$

$$0 \leq \mathbf{x}'_k \leq g_k - \lambda'_k$$

の範囲を λ_k, λ'_k は $\Delta\lambda$ 間隔、 $\mathbf{x}_k, \mathbf{x}'_k$ は Δx 間隔の離散量で与える。 q は上り方向交通量 (台/s)、 q' は下り方向交通量 (台/s) である。 $\lambda_k, \lambda'_k, \mathbf{x}_k, \mathbf{x}'_k$ のあらゆる組合せについて f_k の値を式 (13) によって求める。 f_k は ξ_k について最小化を行うが、 ξ_k は $\Delta\xi$ 間隔の離散量として最適化を行う。その場合、 ξ_k は車群パタン ($\lambda_{k-1}, \mathbf{x}_{k-1}$) と (λ_k, \mathbf{x}_k) は車群パタンの変換ルールを満足するように設定する。可能な ξ_k が一定の範囲を有する場合はその中から式 (13) の $\{w_k + w'_k + f_{k-1}\}$ を最小にするように ξ_k を決定する。ただし与えられた ξ_k に対して、下り方向の車群パタン ($\lambda'_k, \mathbf{x}'_k$) と ($\lambda'_{k-1}, \mathbf{x}'_{k-1}$) が車群パタン

の変換ルールを満足しない場合、その ξ_k は最適オフセットの候補から除外することとする。

(3) 計算例

計算例として図-11 に示す 8 信号からなる路線につ

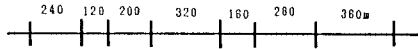


図-11 計算例に用いた路線

いて計算を行った。計算条件としては

$$\Delta\lambda=0.1, \Delta x=0.1, \Delta\xi=0.025, s=1 \text{ 台/s}$$

$$c=0.017, v=v'=12 \text{ m/s}, g=0.6$$

とし、交通条件、信号条件としては、

- ① $q=q'=0.3 \text{ 台/s}$
 $T=60, 70, 80, 90, 100 \text{ s}$
- ② $T=60 \text{ s}$
 $q=q'=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 \text{ 台/s}$
- ③ $T=60 \text{ s}, q=0.3 \text{ 台/s}$
 $q'=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 \text{ 台/s}$

の 3 通りを用いた。無停止通過車群を考慮しない DP

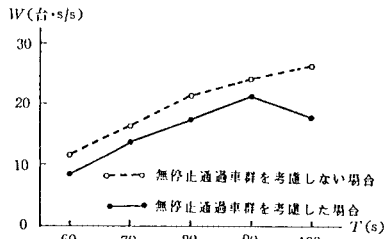


図-12 周期と遅れ時間の関係

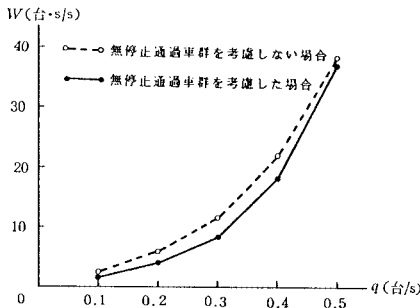


図-13 交通量と遅れ時間の関係

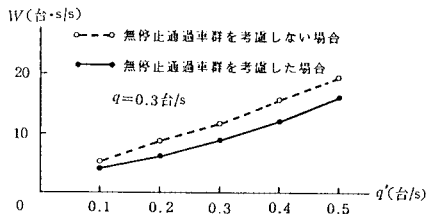


図-14 下り方向交通量と遅れ時間の関係

モデルと、無停止通過車群を考慮した DP モデルの両者によって計算を行い、遅れ時間を比較したのが、図-12~図-14 である。図-12 は周期と遅れ時間の関係を示し、図-13 は交通量と遅れ時間の関係を示し、また図-14 は上り交通量を一定に保ち、下り交通量を変化

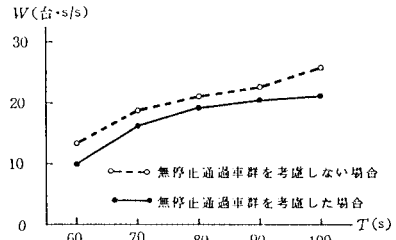
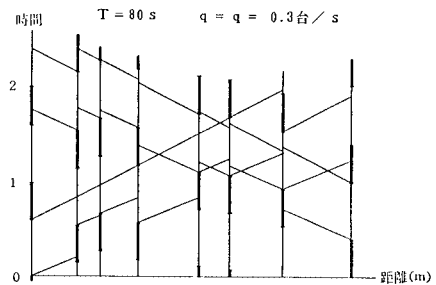
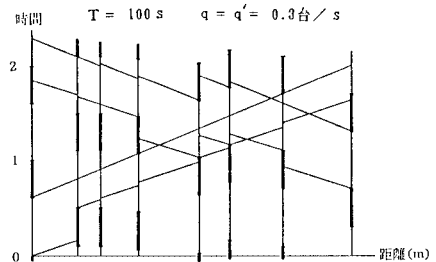


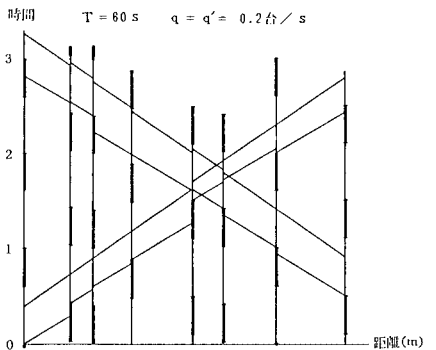
図-15 周期と遅れ時間の関係 (流入パターン 2 の場合)



(a) 無停止通過車群を考慮しない場合



(b) 無停止通過車群を考慮した場合



(c) 無停止通過車群を考慮した場合

(流入パターン 2 の場合)

図-16 最適オフセットと交通流パターン

させたときの遅れ時間を示したものである。いずれも無停止通過車群を考慮した DP モデルによる方が遅れ時間が小さくなっていることがわかる。これらの計算結果は、境界条件として流入パタン 1, すなわち上り方向交通については

$$\lambda_0 = g_0, x_0 = 0$$

とし、下り方向については

$$\lambda'_N = g_N, x'_N = 0$$

として得たものである。

また境界条件として、流入パタン 2 を用いた計算も行った。その結果、全般に若干遅れ時間が増加するが、ほぼ図—13～図—15 の傾向と同様の傾向が得られた。ただ遅れ時間と周期の関係が多少異なるのでそれを図—15 に示す。

次に代表的なオフセットパタンと交通流パタンを時間距離図上に示したのが図—16 である。図 (a) は無停止通過車群を考慮しない DP モデルによる計算結果であり $T=80\text{ s}$, $q=q'=0.3\text{ 台/s}$ の場合である。この場合ではたとえば、第 4 番目交差点で上り方向車群の車群長が不連続に大きくなるという結果となっている。図 (b) は無停止通過車群を考慮した DP モデルによる計算結果であり、 $T=100\text{ s}$, $q=q'=0.3\text{ 台/s}$ の場合である。図 (c) は境界条件、すなわち両端交差点からの流入車群パタンとして流入パタン 2 を用い、 $T=60\text{ s}$, $q=q'=0.2\text{ 台/s}$ とした場合の計算結果である。この例では、交通量が少ないこともあって、車群長を短くして、できるだけ赤信号にかからないように各交差点を通過させるという結果になっている。

4. 通過帯幅最大化オフセット

以上において、遅れ最小化を基準とした場合のオフセット最適化を DP の手法によって定式化し、計算法を示し、いくつかの計算例について計算を行った。次にこの DP モデルを用いて、通過帯幅を最大化するオフセットを求める方法を示し、いくつかの計算例について計算を行う。

(1) 計算方法

基本的には無停止通過車群を考慮した DP モデルをそのまま用いるのであるが、若干モデルの修正を行う。

修正の第 1 点は信号交差点における車群パタンの変換過程において、一定の変換誤差を許容しているために下り交通については交差点への到着車群と発進車群の後端が最大 $1/2 \Delta x$ だけ食い違う場合があった点を解消することである。そのために、DP 計算の第 k 段階 (第 k 区間) の計算の例についていえば、隣接上流側信号の発進車群の λ_k, x'_k のいずれか、またはその両方を微調整して下り側信号の発進車群に合わせるように修正する。

修正の第 2 点は境界条件の取扱いの変更である。すなわち、DP モデルでは両端交差点からの流入車群については流入パタン 1~3 を仮定しているが、ここでは流入車群長を上り交通については

$$\lambda_0 = q/s, x_0 = 0 - (g_0 - q/s)$$

とし、下り交通については

$$\lambda'_N = q'/s, x'_N = 0 - (g_N - q'/s)$$

とする。すなわち、車群内のフローレートは流入パタン 3 と同じく飽和流量に等しくするが車群の位置 x_0, x'_N は 1 つに固定せず、 x_0 は Δx_0 きざみ、 x'_N は $\Delta x'_N$ きざみに変化させる。きざみ幅 Δx_0 の大きさは得られる最大通過帯幅に影響するので、演算速度と記憶容量の許す範囲でできるだけ小さくする。

修正の第 3 点は入力データの変更である。まず車群の拡散はないとして、広がり係数は

$$c = 0$$

と置く。また便宜的に飽和流量を

$$s = 1\text{ 台/s}$$

と与える。そうすることにより

$$\text{上り通過帯幅} = q$$

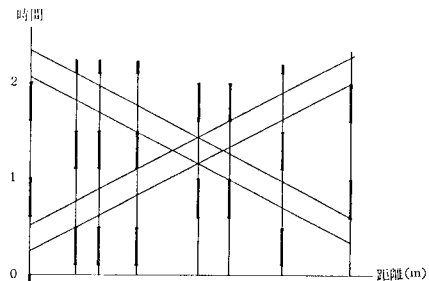
$$\text{下り通過帯幅} = q'$$

与えられることになる。

通過帯幅最大化オフセットはトライアルに求める。すなわち、 q および q' を与えて DP 計算を行い、総遅れが 0 となる範囲でできるだけ大きい q および q' が得られるまで DP 計算を繰り返すことによって求める。実際には q を 0.1 から 0.1 きざみで増加させていき、総遅れが 0 から正に変化した区間について 2 分法によって q の精度を高めていくという計算が合理的であろう。

(2) 計算例

図—11 に示す路線を例として計算を行う。まず比較のため、この路線について高田の方法³⁾によって通過帯法の平等オフセットを求めたのが図—17 である。 $T=80\text{ s}$, $v=v'=12\text{ m/s}$, $g=0.6$ なる条件で求めたものであるが、この場合は通過帯幅 $B=0.267$ (対周期比) となっている。



図—17 通過帯法および DP モデルで求めた平等オフセット (速度が等しい場合)

次に DP モデルによって通過帯幅最大化オフセットを求める。計算条件は

$$\Delta\lambda=0.1, \Delta x=0.1, \Delta x_0=0.015, \\ \Delta\phi=0.025, s=1 \text{ 台/s}, c=0, T=80 \text{ s}$$

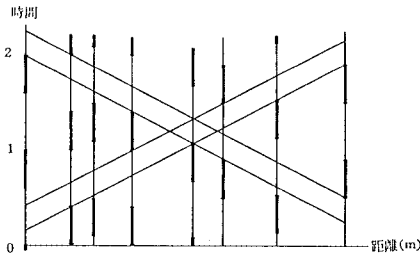
とし、特に指定しない場合は

$$v=v'=12 \text{ m/s}, g_i=0.6 \quad (i=0, 1, 2, \dots, 7)$$

とする。通過帯幅は 0.005 の精度まで求めた。

a) 上下両方向の速度が等しい場合の平等オフセット

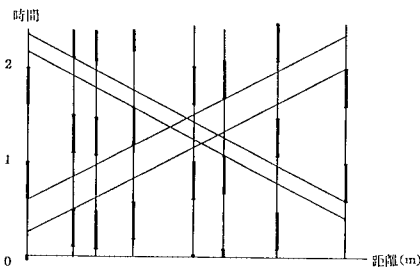
上下両方向の速度が等しい場合の平等オフセットを DP モデルによって求めたところ図一17 とほぼ同じ結果が得られた。ただし高田の方法によって求めた通過帯幅が $B=0.267$ であるのに対してこの場合の通過帯幅は $B=0.260$ にとどまっているが、これは、車群長 λ 、車群位置 x 、およびオフセット ϕ を離散量として扱っていることに起因している。また、この結果は遅れ時間に影響しない範囲でオフセットを同時式あるいは交互式になるように微調整するルーチンを付加したアルゴリズムによる結果である。微調整ルーチンをスキップしオフセットの移動を行わない場合の計算結果は図一18 のように得られている。



図一18 平等オフセット (オフセットの移動を行わない場合)

b) 不平等オフセット

上り通過帯幅と下り通過帯幅が 2:1 であるという条件を与えて求めたオフセットパターンは図一19 のとおりである。上り通過帯幅は $B=0.350$ 、下り通過帯幅は $B'=0.175$ となっている。この結果を図一17 に比較すると通過帯幅を規定するクリティカルな信号のオフセットが移動していることがわかる。

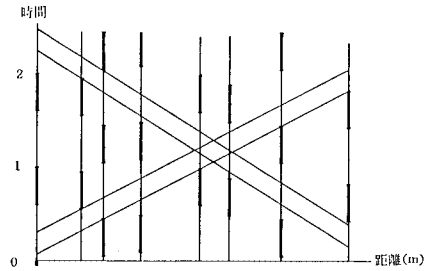


図一19 不平等オフセット ($q:q'=2:1$ の場合)

このような計算以外に、たとえば、上り通過帯幅を指定し、その条件下で下り通過帯幅を最大にするようなオフセットパターンについても求めることができる。

c) 上りと下りの速度が異なる場合

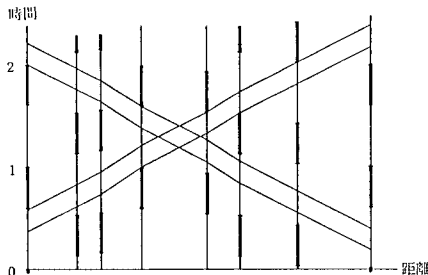
上り方向の速度を $v=12 \text{ m/s}$ とし、下り方向の速度を $v'=10 \text{ m/s}$ とした場合の平等オフセットを求めると図一20 のようになる。この場合の通過帯幅は $B=0.230$ となっている。



図一20 上りと下りの速度が異なる場合の平等オフセット

d) 区間ごとに速度が異なる場合

第 3 区間と第 5 区間の速度を上下両方向とも 10 m/s とし、それ以外は 12 m/s とした場合の平等オフセットを求めると図一21 のようになり、この場合の通過帯幅は $B=0.210$ となっている。



図一21 区間ごとに速度が異なる場合の平等オフセット

e) 一般的な条件下の平等オフセット

速度が上下両方向で異なり、また区間ごとにも異なるという条件のほか、スプリットも信号ごとに異なるという一般的な条件下で平等オフセットを求めたのが図一22 である。通過帯幅は $B=0.255$ となっている。

f) 図一11 に示す路線を対象として 50~120 s の各周期に対する平等オフセットを通過帯法と DP モデルの両方で計算を行った。その結果、通過帯法によって求めた平等オフセットと DP モデルによって求めた平等オフセットは同じものが得られた。ただし表一1 に示すように $T=70 \text{ s}$ および $T=120 \text{ s}$ において DP モデルで求めた通過帯幅が、通過帯法で求めた通過帯幅よりかなり小さくなっている。これは $\Delta\lambda=0.1, \Delta x=0.1$ とい

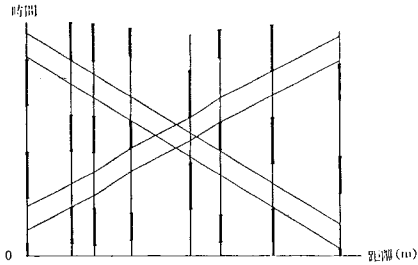


図-22 一般的な条件下の平等オフセット

表-1 通過帯幅の比較

周期 T (s)	通過帯幅 B	
	通過帯法	DP モデル
50s	0.200	0.195
60s	0.322	0.310
70s	0.243	0.215
80s	0.287	0.260
90s	0.287	0.250
100s	0.200	0.195
110s	0.287	0.260
120s	0.239	0.195

うようにステップ幅を大きくしたことによる影響であり、DP モデルの基本的考え方に起因するものではない。

以上により、通過帯幅最大化オフセットはDP の遅れ最小化モデルにおいて、両端交差点からの流入車群のフローレートおよび交差点の飽和流量をともに1台/sとし、車群の拡散はなく($c=0$)遅れが0であるという条件下で交通量を最大にする特別のケースとして求められることがわかった。

5. むすび

本研究は路線系統制御の遅れ最小化オフセットを求めた従来のDPモデルを改良し、遅れ最小化基準によるオフセット最適化を行うとともに、そのDPモデルを用いて通過帯幅最大化基準によるオフセットの最適化を行い、通過帯幅最大化オフセットは遅れ最小化オフセットに一定の条件を与えた場合の特別のケースとして求めることができることを示した。

本研究を要約すると次のとおりである。

(1) 本研究のDPモデルは路線系統制御を対象とし、交通流の2方向性と信号相互の影響を考慮した遅れ最小化オフセットを求めるモデルである。

(2) 本研究では従来のDPモデルに重要な改良を加えたが、最も重要な改良点は交差点における車群変換ルールを改良し、車群が赤信号にかからない場合を考慮

した点である。

(3) この改良により、DPの関数方程式は2次元から4次元になり、計算時間は長くなるが、通過帯幅最大化オフセットを求めることができるようになる。

(4) さらに通過帯幅最大化オフセットを求める場合においては車群変換が不連続になる点を改良した。

(5) DP計算は道路条件(交差点間隔など)、交通条件(交通量、速度など)、信号条件(周期、スプリット)を任意に与えて計算することができる。

(6) したがって上下両方向の交通量と速度が異なり、区間ごとにも速度が異なるほか、各信号のスプリットも異なるような一般的な条件で、遅れ最小化オフセットおよび通過帯幅最大化オフセットを求めることができる。

DPモデルは手法的にはエレガントさはないが、柔軟な手法であるから、今後の発展や応用が期待される。

今後の課題としては、境界条件すなわち両端交差点からの流入車群の与え方などについて検討することが必要である。また車群の変換ルールたとえば車群が2つに分割される場合の処理方法の改善、広がり係数の決定、実測やシミュレーションによるDPモデルの評価などについても検討していきたい。

なお、本研究の計算例は山口大学情報処理センターACOS-850によって計算を行った。

参考文献

- 1) 越正毅：交通信号の路線系統化について，道路，No.291，pp.354~365，1965年5月。
- 2) Morgan, J.T. and Little, J.D.C. : Synchronizing traffic signals for maximal bandwidth, Operations Research, No.6, pp.896~911, 1964年。
- 3) 高田 弘・栗本 譲：系統信号方式による街路交通管制御に関する一考察，土木学会論文集，No.124，pp.11~20，1965年12月。
- 4) 枝村俊郎・久井 守・藤井登史雄：DPによる系統信号の最適化とシミュレーションによる検討，土木学会論文報告集，第209号，pp.115~122，1973年1月。
- 5) 奥谷 巖：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，京都大学学位論文，pp.70~90，昭和47年7月。
- 6) 勅使河原可海：交通流の最適制御，日本機械学会論文集(第1部)，35巻，275号，昭和44年7月。
- 7) 奥谷 巖：動的計画法による街路網における交通信号オフセットの最適化，土木学会論文報告集，No.221，pp.59~71，1974年1月。
- 8) 枝村俊郎・久井 守：系統式信号制御パラメーターに関する一考察，交通工学，第5巻，第5号，pp.24~33，1970年9月。

(1985.12.9・受付)