街路網の信号制御における種々の最適化問題

京都大学工学部　正員　米谷栄二
〃　　　〃　○奥谷　巌

1．まえがき　今回は筆者が既に発表しているD.P法[1]を基本として、街路網の信号制御における種々の最適化問題を呈示し、その解法について述べる。

2．最適化問題の種類とその解法　(1)．交通損失に隣接区間の影響を考慮した場合　すでに発表している路線系統[2]の場合と同様の考え方にたてば、本仮定のもとに網の最適化を議論することは極めて容易である。すなわち図-1に示したような格子状街路網をN個の区間に分け，かつ交差点に行列的な名前を付すものとしたとき，${}^{h}\theta^{m,n}$；交差点(m,n)と$(m,n+1)$間の相対オフセット

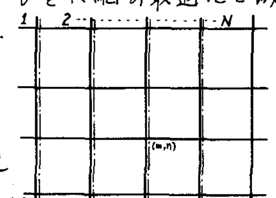

図-1

${}^{h}g_1^{m,n}({}^{h}\theta^{m,n-1},\ {}^{h}\theta^{m,n},\ {}^{v}\theta^{m-1,n},\ {}^{v}\theta^{m,n},\ {}^{h}g_1^{m,n})$；交差点$(m,n)$から交差点$(m,n+1)$に向かう交通${}^{h}g_1^{m,n}$が被むる損失．その他の量は従来の定義に準ずるものとし、さらに$f_i({}^{h}\theta^{1,i-2},\ {}^{h}\theta^{2,i-2},\cdots,{}^{h}\theta^{M,i-2},\ {}^{v}\theta^{1,i-1},\ {}^{v}\theta^{2,i-1},\cdots,{}^{v}\theta^{M-1,i-1})$；第$(i-1)$区間の相対オフセットが$f_i$の（　）中に示した値であるという条件下で第$i$区間から第N区間までを最適化したときに、それら$(N-i+1)$個の区間で発生する損失　を定義すると第$i$区間と第$(i+1)$区間の間の繰り返えしの関係は

$$f_i(\ )=\min_{{}^{h}\theta^{1,i-1},{}^{h}\theta^{2,i-1},\ldots,{}^{h}\theta^{M,i-1},{}^{v}\theta^{1,i},{}^{v}\theta^{2,i},\ldots,{}^{v}\theta^{M-1,i}}\Big[\sum_{k=1}^{M}\{{}^{h}g^{k,i-1}({}^{h}\theta^{k,i-2},{}^{h}\theta^{k,i-1},{}^{v}\theta^{k-1,i-1},{}^{v}\theta^{k,i-1},{}^{h}g^{k,i-1})+{}^{h}g_2^{k,i-1}({}^{h}\theta^{k,i},{}^{h}\theta^{k,i-1},{}^{v}\theta^{k-1,i},{}^{v}\theta^{k,i},{}^{h}g_2^{k,i-1})\}$$
$$+\sum_{k=1}^{M-1}\{{}^{v}g_1^{k,i}({}^{v}\theta^{k-1,i},{}^{v}\theta^{k,i},{}^{h}\theta^{k,i-1},{}^{h}\theta^{k,i},{}^{v}g_1^{k,i})+{}^{v}g_2^{k,i}({}^{v}\theta^{k+1,i},{}^{v}\theta^{k,i},{}^{h}\theta^{k+1,i-1},{}^{h}\theta^{k+1,i},{}^{v}g_2^{k,i})\}+f_{i+1}(\ )\Big]$$

となり，DP法によって解けることがわかる。ただしオフセットの実現可能条件（ループ閉合条件）は考慮する必要がある。(2)．任意数交差点の影響を認めた場合　ある一つのリンク内で発生する損失が対象街路網に属する任意数の交差点（この特別な場合としては全交差点）の影響を受ける場合は、まず網全体の総損失が一般に$F(\xi_1,\xi_2,\cdots,\xi_s)$（ここに、$\xi_1\sim\xi_s$ ―集合ξとする― は対象街路網の各交差点の絶対オフセット）のように表わされるが、これがつぎのようにいくつかの関数に分解される場合またはそれに準ずる場合に限り解ける。すなわち、$F(\xi_1,\xi_2,\cdots,\xi_s)=G_1(\xi^1,\xi^2)+G_2(\xi^2,\xi^3)+\cdots+G_K(\xi^K,\xi^{K+1})$　ここで$G_1\sim G_K$は任意の関数，また$\xi^i\ (i=1,2,\cdots,K+1)$は$\xi$の任意の部分集合とする。ただし、$\bigcup_{i=1}^{K+1}\xi^i=\xi$，$\xi^i\cap\xi^j=\phi$　$i\neq j$　とする。解法は$f_i(\xi^i)$をいまξ^iを一組固定したという条件下で$\xi^{i+1}\sim\xi^{K+1}$を最適化した場合の$\sum_{k=i}^{K}G_k(\xi^k,\xi^{k+1})$の値としたとき

$$f_i(\xi^i)=\min_{\xi^{i+1}}\left[G_i(\xi^i,\xi^{i+1})+f_{i+1}(\xi^{i+1})\right]$$

なる繰り返しの関係を用いる。

(3)．制御パラメーターの中にスプリットを含めた場合　この場合の最適化の方法としては単に損失関数として、たとえば、オフセットに対して区間独立性が成立する場合であれば、${}^{h}g^{m,n}(\xi^{m,n},\xi^{m,n+1},{}^{h}\delta^{m,n},{}^{h}g^{m,n})$あるいは${}^{h}g^{m,n}(\xi^{m,n},\xi^{m,n+1},{}^{h}\delta^{m,n},{}^{h}\delta^{m,n+1},{}^{h}g^{m,n})$　（δはスプリット）のように新たに定義して、オフセットのみの場合とまったく同様な計算を行なえばよい。最も困難なことは上のような関数形がいかに現実に即した形で決められるかである。

(4)．特定路線あるいは特定区間のウェイトづけをする場合　この場合の最適制御パターンを見つける方法は、ウェイトづけをしたい路線に含まれる各区間に対応する損失関数$g(\ )$に適当な係数を乗じて、最適パターン探索を行なえばよい。

(5). ツリーあるいはツリーとループの混在する場合　一般に、一つの街路網を路線系統のみによって制御しようとするとき、その制御対象となる街路はツリーとなるし、ループの存在も認めるならば、ツリーとループが混在した網となる。このような場合の最適制御パターンの探索方法は、図-1に示したような格子状網のリンクで、制御対象となるツリーまたはループからはずされたリンクに対応する損失関数を0または定数として計算する。
(6). 路線系統の効果を生かした全体的制御　まず、路線系統の対象路線の系統パターンを独立に決め、そこに含まれるリンクに対応する相対オフセットを記憶し、その後でDP法によって網の最適パターン探索を行なう際に、路線系統に含まれていたリンクに対応する相対オフセットが常に上で決められた値になるようにさえすればよく、計算は楽になる。
(7). 待ち行列長の制限がある場合、該当リンクに対応する相対オフセットあるいはスプリットが、行列長がある制限値以下になるような値に制約されるということであるから、制御パラメーター探索領域がせばめられ、(6)と同様に計算はかえって楽になる。
(8). 重要区間，重要交差点がある場合、ここでいう重要とはその区間あるいは交差点に対応する制御パラメーターが予め独立に定められた値以外の値をとると非常な混乱が生ずるものと定義すると、明らかにこの場合も重要区間あるいは重要交差点での制御変数の探索領域が減るから、計算は楽になる。計算手法は基本的DP法とほとんど同じでよい。
(9). 主要交差点間に小交差点がある場合、まず一方通行の場合には、主要交差点のみで制御パターンを決め、その後で、各リンクごとにおのおの独立に上流側の主要交差点を基準に、下流側主要交差点の一つ手前の小交差点まで局部的な路線系統を組めばよい。二方通行の場合の処理は、主要交差点の制御パターン決定の際に、小交差点も同時に最適化の過程の中に入れれば問題がないわけであるが、計算時間がかかる恐れがあるので、実際的にはまず主要交差点のみで計算を行ない、中間の小交差点については、青時間を十分に主要流れの方に与え、その下でその区間について独立に両端固定のDPによる最適化を行なう。
(10). 制御効率からみた交差点立体化の問題　街路網中のどの交差点を立体化すれば制御効率が向上するかという問題であるが，このためには，交差点を一つ一つ立体化したものとして，そのつど最適化を行ないそれに対応する総損失を求めて、最も小さい総損失を与える場合に対応する交差点立体化をもって求める解とすればよい。二つ以上についても同様。
(11). 街路網が格子状でない場合　(5)に述べた方法と同じ方法によれば，街路網が秩序正しい格子状をしていない場合にもまったく同じ方法がつかえる。また，より複雑な形状をしたものについては，その形に応じて適切な区間分割を行なえば，格子状の場合と同じ計算過程で最適パターンを求められる。

3. むすび

(3)〜(11)の方法は，(1)〜(2)の場合についても，また(4)〜(11)の方法は(3)の場合についても適用できる。また殆んどのケースは離散型最大原理[3]によっても解ける。

1)奥谷巌：面制御に関する基礎的考察，交通工学，Vol.3，No.4，昭和43年7月
2)奥谷巌：路線系統制御の決定手法，交通工学，Vol.4，No.5，昭和44年9月
3)奥谷巌：最大原理による損失最小オフセットパターンの決定，土木学会論文報告集，No.174，1970-2