交通変量の精度が制御に及ぼす影響

信州大学工学部　正会員　奥谷　巖
信州大学工学部　　　　　宮坂　英治
信州大学工学部　　　　○櫃本　史典

1　まえがき

本研究においては、わが国の大都市でむしろ一般的である過飽和街路網の信号制御を対象とし、制御の入力情報である交通需要の予測値の精度が制御目標に対していかなる影響を及ぼすかについて基礎的な検討を行う。街路網が過飽和状態にある場合、ある時点における信号制御パラメータの微妙な変更がそれ以降の交通流態に大きく影響を及ぼすことが知られている。このことは、少なくとも過飽和状態が続いている時間長さは1つの制御対象時間として考え、その対象期間全体の入力交通需要パターンを完全に把握した上で、各時点の制御政策の決定がなされなければならないことを意味している。しかしながら、制御期間の始点で把握できる入力交通需要はすべてその予測値から構成されており、そこには誤差の介在は不可避であることから、そうした不完全な情報をもとに決定された制御政策は当然のこととして真の最適政策から離れることとなる。こうした制御の信頼性に関する研究例は少なく、過去に1交差点を対象とし、一様な交通流を前提とした解析例が1件あるのみである[1]。このことに鑑み、ここでは複数交差点からなるネットワークを対象とし、かつ時間的制御を伴う交通需要を前提とした、より一般的な条件の下で制御の信頼性という問題がどのように解明できるかについて基礎的な立場から検討しようとするものである。

2　動的制御理論

ここで対象とする街路網においては、いずれの交差点でも交通需要が容量近くまであることを前提としているが、こうした状況下ではわずかな交通流の乱れが拡大し易くオフセットの効果が十分期待されない。したがって、オフセットについては微量なオフセット設定に精力を費やすよりもむしろ渋滞予防の観点から主方向に対して制御の重点を周期とスプリットの最適化に置く方がより現実的であり、実際の交通管制においても結果的にそうなっている可能性が高い。さらに、過飽和街路網という混雑が持続する状況下においては、共通周期も最大値に固定されると考えてよいであろう。以上のことに鑑みて本研究ではスプリットを制御パラメータとした動的制御理論の展開を図ることとする。

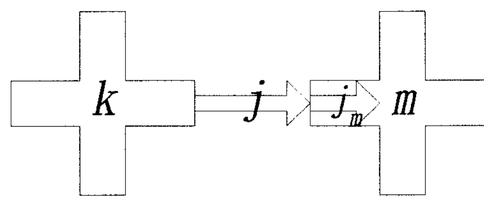

図 1: リンク j

図1のような2つの交差点kおよびmに挟まれたリンクjを考える。いま、交差点kのi方向が現示iで通行権があるとしたとき、C：周期、$g_i^k(t)$：時間$(t, t+1)$の間の交差点k、第i現示に対する青信号時間、$\tilde{s}_i^k$：交差点k、i方向の飽和交通量、$\bar{q}_i^k(t)$：交差点k、i方向の1周期あたり平均流出交通量、L^k：1周期あたりの損失時間、なる記号を定義すると、過飽和状態にある交差点では青信号の間はほぼ飽和交通量が持続するので、

$$\tilde{s}_i^k g_i^k(t) = \bar{q}_i^k(t)C \quad \cdots\cdots (1)$$

すなわち、

$$C\tilde{s}_i^k \frac{g_i^k(t)}{C} = \bar{q}_i^k(t)C \quad \cdots\cdots (2)$$

となる。ここで、1周期あたりの飽和交通量を表す上式左辺の$C\tilde{s}_i^k$をs_i^k、青信号スプリットを表す$g_i^k(t)/C$を$u_i^k(t)$とすると、結局、1周期あたりにi方向から流出する交通量を与える関係式として、

$$s_i^k u_i^k(t) = \bar{q}_i^k(t)C \quad \cdots\cdots (3)$$

なる関係が得られる。本研究では1周期を単位時間とした交通動態に着目して制御理論を構築してゆくことを考えているので、交差点の1つの方向からの流出量表現には上式の$s_i^k u_i^k(t)$を用いる。

ここで新たに、$x_j(t)$：時点tにおけるリンクjの待ち台数、$p_{ih}^k(-\theta)$：交差点kのi方向から$(t-\theta, t-\theta+1)$の間に流出してきた交通量のうち、$(t, t+1)$の間に直進$(h=1)$、右折$(h=2)$、左折$(h=3)$する割合、$d_j(t)$：リンクj内で$(t, t+1)$の間に発生し待ち台数に加わる交通量(リンクjが街路網の外側のリンクの場合は、外部からの流入交通量)、を定義する。さらに、交差点kを流出した車がリンクjの待ち台数に加わるのに要する最大到達時間をl単位時間とし、交差点mのリンクj方向の現示番号をj_mとすると、

$$\begin{aligned} &x_j(t+1) \\ &= x_j(t) + \sum_i \sum_{\theta=0}^{l} \sum_h s_i^k u_i^k(t-\theta) p_{ih}^k(-\theta) \delta_{ijh}^k \\ &- s_{j_m}^m u_{j_m}^m(t) + d_j(t) \quad \cdots\cdots (4) \end{aligned}$$

ここで、δ_{ijh}^k ：交差点kのi現示で進行方向hがリンクjに流入するする場合$=1$、それ以外$=0$のダミー変数である。上式において第2項は上流の交差点kからの到着交通量の合計を表しており、第3項は下流端からの流出交通量を表している。式(4)は変量$x_j(t)$に関する状態方程式であり、最適制御決定に際する一つの制約を構成する。また$x_j(t)$は$0 \leq x_j(t) \leq x_{j\max}(t)$($x_{j\max}(t)$:許容最大待ち行列)でなければならない。

さらに、他の制約として$u^k(t)$に係わる次式のような条件を考えなければならない。

$$\sum_i u_i^k(t) \leqq 1 - L^k/C \quad \cdots\cdots (5)$$

$$u_{i\min}^k(t) \leqq u_i^k(t) \quad \cdots\cdots (6)$$

$$(i = 1, 2, \cdots, M^k(n)\ , k = 1, 2, \cdots, N)$$

ここに、Nはネットワークに含まれる交差点数を表しており、$M^k(n)$は交差点kの現示数を表しており、$u_{i\min}^k(t)$は$u_i^k(t)$の最小値を表している。

ここで図2のような交差点を考える。東西方向の現示:U_1は、$U_1 = \max(u_1, u_2)$とし、南北方向の現示:U_2は、$U_2 = \max(u_3, u_4)$とする。$U_1 + U_2 = 0.9$なら、そのU_1、U_2をその交差点の現示とし、$U_1 + U_2 <$

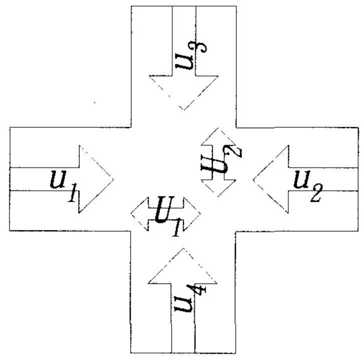

図 2: 4方向交差点

0.9なら、あまった青信号スプリット$[0.9-(U_1+U_2)]$をそれぞれの現示の飽和度に応じて分配する。

制御目標としては次式で表せるような待ち行列台数の最小化を考える。

$$F = \sum_t \sum_j x_j(t) \rightarrow \min \quad \cdots\cdots (7)$$

3 予測誤差の検討

まず上記の方法を用いて真の$\boldsymbol{d}^*$、s^*、$\boldsymbol{p}^*$、より$\boldsymbol{u}^*$を求め、真のF^*を求める。ここで真のs^*、$\boldsymbol{p}^*$は予測される$\hat{s}$、$\hat{\boldsymbol{p}}$の周りに正規分布すると考える。次に交通量の予測誤差は真の値の周りに正規分布すると考えられるので[2)]、正規乱数を発生させ真の値に加え予測交通量$\hat{\boldsymbol{d}}$とし、それより$\hat{\boldsymbol{u}}$、$\hat{F}$を求め$\boldsymbol{u}^*$、F^*と比較する。

参考文献

1) Richard E. Allsop : Sensitivity Of Delay at a Fixed Time Traffic Signal to Small Errors in the Observations Used for Calculating the Signal Setting

2) 奥谷　巌：交通管制のための交通需要予測手法の実証的検証、電気学会論文誌C、巻7号、pp141-148、昭和61年7月