

広域交通制御における信号オフセットの プログラム形成のひとつの方法

A Possible Method of Program Formation Control of Offset for Area Traffic Control

越 正 毅

Masaki KOSHI

1. はじめに

信号の系統制御に特有の制御パラメタであるオフセットについては、これまでプログラム形成による制御は実行されたことがない。トロントおよびサンホゼの広域制御システムはプログラム形成の分野に足を踏み入れたものと称しているが、実際にはいずれも単に孤立した交差点の単独交通感応制御であるに過ぎず系統制御としてはやはり従前どおりのプログラム選択方式によっている。

オフセットのプログラム形成が可能であるためには、交通感知情報から最適なオフセットを形成するための論理が必要であり、またその論理は、オンラインリアルタイムの計算機で演算して交通状況の変動に追従できるような、十分単純なものでなければならない。

信号に到着する交通の入力密度波形を矩形波とか三角波とかの一定の波形であるとする仮定、すなわち定形波モデルを導入すれば、オフセット形成のための演算論理は非常に簡単なものとなる¹⁾²⁾。しかしこの手法は定形波モデルの実交通現象への適合性の問題のほかに、フィードバックループを持つことができないという点で、在来のプログラム選択方式の本質的欠陥から十分脱け出していないと考えられる。

在来のプログラム選択方式によるオフセット制御には(1)プログラム間の連続性、(2)プログラムの多様性、(3)フィードバックループの三つの点で欠陥があると考えられ、これらを根本的に解決するための新たな手法が望まれる。

ここに示す手法は、定形波モデルを用いないで、上記の三つの欠陥を補うことのできるようなオフセットのプログラム形成のひとつの可能な方法であり、すでに報告した論文³⁾における遅れモードでのオフセット制御の内容に相当するものである。

2. 概 要

最適化の目的関数としては、遅れ、停止または両者の加重和が一般に考えられるので、ここでは遅れと停止について考える。両者の加重和は、個々について求められれば容易に求まる。ここでは一般にこれらを損失と呼ぶことにしよう。

信号の系統制御における損失は、毎サイクルに1回ずつ発生するので、1サイクルを1バッチとするバッチシ

ステムと考えることができる。

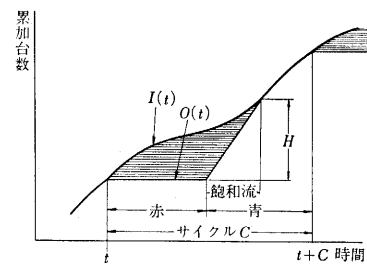
プログラム形成によるオフセット制御は、あるバッチで発生した損失とそのバッチでのオフセットとの関係から、損失の減少量が最大になるようなオフセットの移動量を算出し、次のバッチでこれを実行するという方法によって行なうことができる。しかし、このとき損失減少量が必ずしも最大にならなくても、損失が減少しさえすればバッチの回を重ねるにしたがって最適制御に近づくことには変わりがない。ただ、交通状況が常に変動していることと、たとえそれが定常的であっても収束の速度(制御の追従性)とを考慮すれば、1回のオフセット移動による損失減少量が大きい方がよいというに過ぎない。

プログラム形成方式を採り入れることによって、一挙に最適プログラム(オフセットパターン)を求める必要は無くなり、常に現在のオフセットをより損失の小さな方向へ移動するという操作をくり返せばよいことになりプログラム間の連続性、プログラムの多様性およびフィードバックの条件も満たされることになる。

3. 損失の増減とオフセットの関係

図1はひとつの信号のひとつの方向の交通を示したものである。 $I(t)$ は到着交通を、 $O(t)$ は出発交通を示す。1サイクル当たりの停止台数は H で、1サイクル当たり遅れは $\int_0^C [I(t) - O(t)] dt$ で表わされる。

いま、この信号のオフセットを進み側へ $P(-P)$ 、または遅れ側へ $P(+P)$ だけ移動させた場合の遅れおよび停止の増減を考えてみる。



$I(t)$: 到着交通
 $O(t)$: 出発交通
 H : 1サイクル当たり停止台数
 \ominus : 1サイクル当たり遅れ $\int_0^C [I(t) - O(t)] dt$

図 1

【オフセット移動による遅れの減少量】

図2のように到着交通が一様流の場合にはオフセットの移動による遅れの増減はゼロであることから、図3のような一様流でない場合に

研 究 速 報

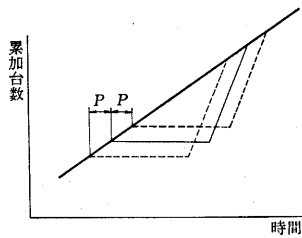


図 2

は、図にハッチした面積 A^- または $-A^+$ がそれぞれ $-P$ または $+P$ だけオフセットを移動した場合の遅れの減少量である。いま f_1 : 赤始点における到着交通量

f_2 : 飽和流終点における到着交通量

S : 飽和交通量

H : 飽和流で流れる台数 (または停止台数)

H' : 到着交通が f_1 の一様流であると仮定した場合の、飽和流で流れる台数 (または停止台数)

$$h = H - H'$$

P : オフセットの移動量

とすると、

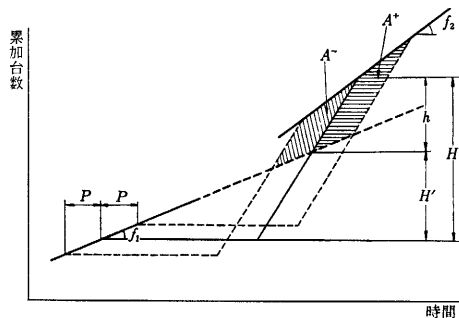


図 3

進み側へのオフセット移動による遅れの減少量 (A^-)

$$= P \left(\frac{S - f_1}{S} \right) \left\{ h - \frac{1}{2} P \left(\frac{S - f_1}{S} \right) \left(\frac{S - f_1}{S - f_2} \right) (f_2 - f_1) \right\}$$

遅れ側へのオフセット移動による遅れの減少量 ($-A^+$)

$$= P \left(\frac{S - f_1}{S} \right) \left\{ -h - \frac{1}{2} P \left(\frac{S - f_1}{S} \right) \left(\frac{S - f_1}{S - f_2} \right) (f_2 - f_1) \right\}$$

のように表わすことができる。

[オフセット移動による停止台数の減少量]

図4のように、 $f_2 = f_1$ の場合にはオフセット移動による停止の増減はゼロである。 $f_2 \neq f_1$ の場合には、図5に示される l だけの増減がある。

上と同じ記号を用いれば、

進み側へのオフセット移動による停止台数の減少

$$= P \frac{f_2 - f_1 S}{S - f_1}$$

遅れ側へのオフセット移動による停止台数の減少

$$= P \frac{f_1 + f_2 S}{S - f_1}$$

と表わすことができる。

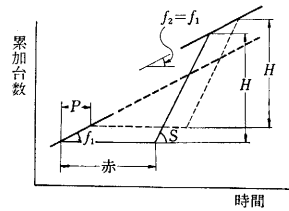


図 4

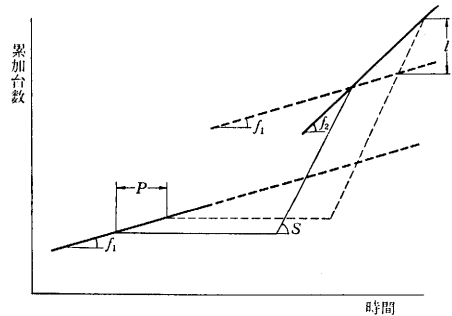


図 5

4. 交通感知の方法

図6のような感知器配置が、上述の諸量を測定するためには、基本的に必要であろう。

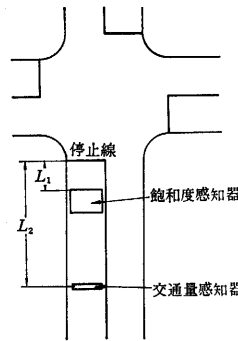


図 6

飽和度感知としては、密度感知が最も望ましいが、オキユパンスー感知で代用することも可能であろう。しかし、いずれの場合でも、通過型 (passage detector) のみから成る感知器 (たとえば通過台数と速度とから密度を計算するタイプ) より、存在型

(presence detector) を用いたものの方が、計測の時間遅れが小さいことと、通過が非常に小さくなる渋滞時の計測も可能であることから、好ましいと考えられる。存在型にはドリフトの問題がつかまとうが、何とか克服できそうだという話も耳にしている。

交通量感知器は、従来から多種多様なものが開発されており、それぞれ長短があるが、ここでは特にどのタイプという指定は不要である。

飽和度感知器の停止線からの距離 L_1 (図6) は、この感知器の計測時間遅れによって決まるもので、時間遅れがゼロであれば L_1 もゼロでよい。このことは、ここに述べるオフセットのプログラム形成には特に必要な条件ではなく、スプリットの制御に必要な条件である。

交通量感知器の停止線からの距離 L_2 としては、赤になってから 10~15 sec 間の流量を測定できるために、

40~50 m が必要である。これは、停止車列の延伸速度がせいぜい 3 m/sec であることから計算された値である。L₂ はまた、あまり大きすぎてもいけない。それは L₂ を走行するに要する時間 (図 7 における τ) が走行速度によって大きく左右され、一定値と推定することができなくなるからである。L₂ が 50 m 程度であれば、20 km/hr~70 km/hr の範囲の速度に対して 2.5 sec~10 sec の範囲の所要時間であり、6 sec 程度の一定値と推定して置けば、誤差はせいぜい ± 4 sec 程度となる。

図 7 は図 6 のような感知器配置によって測定される諸量を示すものである。f₁ について f₁⁺ と f₁⁻ とを計測するのは、オフセットの遅れ側または進み側への移動に対して、それぞれ区別して用いるためである。f₂ については、f₂⁺ は計測が容易であるが、f₂⁻ の計測は停止車列長が図 6 の L₂ をこえた場合には不可能である。しかし、オフセットのプログラム形成の対象となる交通状態 (遅れモードを適用する場合—文献³⁾ 参照) では、L₂ を 50 m 程度にとって置けば、ほとんどの場合に f₂⁻ も計測できよう。

前述 3 で定義した諸量のうち、f₁ および f₂ は上記のように直接計測が可能である。計測の時間単位としては、ランダム変動とリップルを避けるために 10~15 sec 程度がよいであろう。

H は図 7 の n (台) に等しいので、やはり直接に計測が可能である。

S は、一定値を推定して置く場合もあるが、天候、歩行者、右左折車などによって変わりやすい量であるので図 7 のように飽和流の継続時間 d を計測すれば、S = n/d として求めることができる。

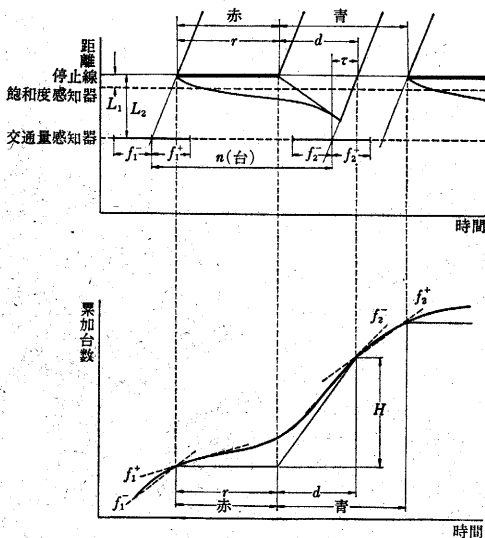


図 7

H' は、赤時間を r とすれば

$$H' = \frac{S}{S - f_1} f_1 r$$

として求めることができる。

5. ネットワークにおけるオフセット移動量の計算

図 8 のようなひとつの単位区間の相対オフセットと損失との関係は、これまで述べたひとつの信号の一方のオフセットと損失との関係から (2 方向道路なら往復を合計することによって) 求めることができる。

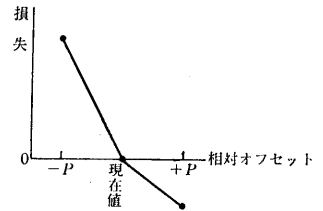


図 8

ネットワークの tree 部分に対しては、各単位区間の最適相対オフセットをそのまま適用することができる。

閉ループを形成する部分に対しては、厳密には LP によらなければ最適解は得られないが、始めに述べたように、必ずしも最適解である必要はないので、かなり単純化した便宜的方法によることができる。

そのひとつとして、次のような方法がある。

まず、損失減少量の大きな単位区間から順に、それぞれの最適相対オフセットをとって tree を作る。最も大きな tree ができたら次にどの単位区間をそう入しても閉ループができるが、このときそう入される単位区間の相対オフセットの変化量がある定められた値以上にならないように、すでにでき上がった tree の一部を、損失の増加が最小になるように手直しをしながら、残った単位区間をそう入して行く。

このようにしてネットワークのすべての単位区間の相対オフセットが定まったら、進み側への移動を負、遅れ側への移動を正として各信号の絶対オフセットの移動量の算術平均がゼロとなるように移動の原点を定め、さらに絶対オフセットの移動量がある定められた値をこえるものについては、その定められた値に置き換えて各信号のオフセット移動量を決定する。

(1968 年 1 月 8 日受理)

文 献

- 1) 猪瀬 博, 藤崎博也, 浜田 喬 「一連の交差点における交通流の待合せおよび信号制御」 東大工学部総合試験所年報第 24 年第 1 号
- 2) 猪瀬 博, 藤崎博也, 浜田 喬 「巨視的交通モデルに基づく道路交通制御の理論」 電気学会誌第 87 巻第 947 号
- 3) 越 正毅 「広域交通制御のひとつの可能な方法」 生産研究 20 巻 1 号
- 4) 越 正毅 「交通信号の系統制御オフセットパタンの一解法」 土木学会論文集第 147 号