

交通信号制御手法に関する実験的研究

Experimental Studies on Strategies of Computer Control of Traffic Signals

越 正 毅*
Masaki KOSHI

1. はじめに

本研究は、図1に示されるような5箇の交差点信号を研究室に置かれたミニコン(16K語)で制御するという実験的研究であって、電子計算機による都市内交通信号機群の集中制御のための効果的な手法を開発することを目的としている。

制御の目的関数としては、在来用いられて来た、遅れ時間および停止回数他に、騒音および排気を取り上げることになっているが、後2者はいずれも前2者の関数として表現されることを前提として考え、当面は遅れおよび停止の最小化手法の開発に目標を置いている。

研究施設のハードウェア構成については、すでに述べた¹⁾ので、本稿では現段階におけるソフトウェアの開発状況について説明し、併わせて最近行なった第1回の制御効果比較実験について速報的に御報告したい。

2. ソフトウェア構成

本研究のソフトウェア構成は、次の8要素から成っている。

- (1) オペレーティング システム
- (2) 感知器情報一次処理システム
- (3) 交通信号制御システム
- (4) サポート システム (ダンププログラム群)
- (5) 対話サービス システム
- (6) ユーティリティ プログラム群
- (7) アプディティング システム
- (8) 制御効果評価システム

(1), (4), (5) および (6) は、ハードウェアメーカーから提供されたものをそのまま利用している。

(2) は、50 ms ごとに 25 個の車両感知器をスキャンして交通量と占有時間(車両感知器出力が ON である時間の合計)とを計測するシステムで、メーカー提供のプログラムに多少の変更を加えて使用している。感知器の異常チェックもここで行なわれる。

(3) は、信号制御パラメータ(サイクル、スプリットおよびオフセット)を決定するためのストラテジックなプログラム群と、決定されたパラメータに基づいて、端末信号機にステップ歩進信号を送出するルーチンプログラムとから成っている。後者については、メーカー提供のプログラムに多少の手直しをしながら使用しているが、前者は、本研究における開発目標のひとつであって、すべて新たに作成したプログラムから成っている。またさらに、今後も新たなプログラムが追加される部分である。これまでに作成されたプログラムについては、次節に概要を説明する。

(7) は、本研究のもうひとつの主要開発目標である。大規模な実用システムを効果的に運用して行くためには、制御パラメータや他の諸定数、係数などを常にアプディットすることが必要であり、さらにこのアプディティングの作業をできるだけ省力化、自動化の方向に持って行くことが重要である。人力をもってシステムの運用開始時に正確、最適な諸数値を与え、運用開始後も定期的にアプディットすることは実際上ほとんど不可能だからである。このような観点からのアプディティングシステムは、従来皆無であって、本研究においてもまだ模索段階にある。現在完成しているのは、遅れと停止台数の任意の加重和を最小にするような各リンクの相対オフセット

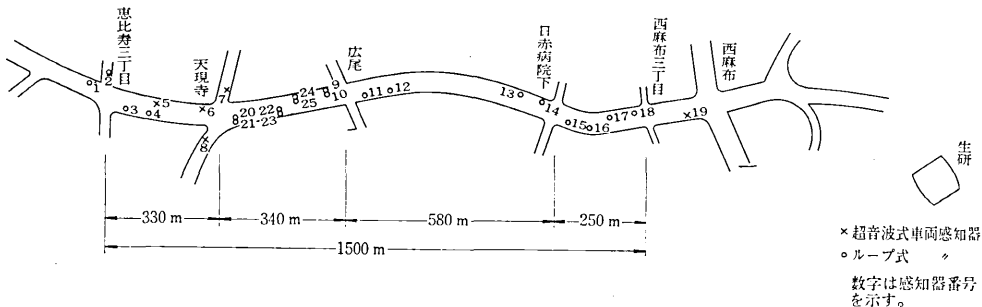


図1 現場交差点見取図

* 東京大学生産技術研究所 第5部

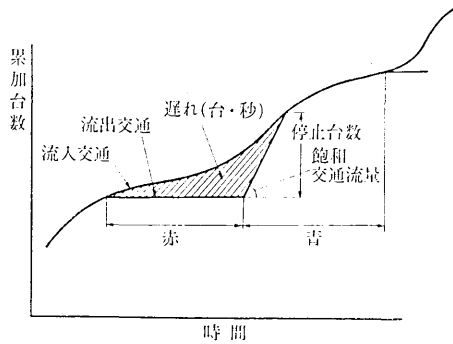


図2 遅れおよび停止台数計算のモデル

をオンライン情報から求めるというプログラムのみである。これは、遅れと停止台数とを図2に示されるモデルに基いて、2秒刻みにオフセット値を変えて計算することによって最適オフセットを見出すという方法によっており、流入交通流の波形は、各停止線の上流 100~150 m の位置に設けられた車両感知器情報から求めている。飽和交通流量(図2参照)は、オフライン調査(実査)から求めたものを用いる。このプログラムは、オフセットパタンの選択制御(定時選択または交通感応選択)のための、オフセットパタンのアップデートングプログラムのひとつのサブプログラムとなるものである。

(8) は、本研究において様々な制御手法を適用した場合の制御効果の評価するためのシステムである。現在は、遅れと停止台数とを計算してタイプアウトするようになっている。計算は、図2に示されるモデルに基いており、上記の最適オフセットの計算と、同様な方法に従っている。

3. 交通信号制御システム

前節に概説したソフトウェアの構成要素のうち、一番中心となる交通信号制御システムについて、以下にやや詳しく説明したい。

一般に、交通信号機群の集中制御の方式として、次の4種類があるということが出来る。

- (1) 制御パラメータ定時選択方式
- (2) 制御パラメータ交通感応選択方式
- (3) 制御パラメータリアルタイム形成方式
- (1) 制御パラメータ定時選択プログラム

クロックに従ってあらかじめ指定した時間帯にあらかじめ指定した制御パラメータを選択するプログラムで、プログラム自体はきわめて単純である。この制御方式はもっともプリミティブではあるが、英国道路研究所の研究によれば、上記3方式についての比較実験の結果、この定時選択方式が遅れの減少に対してもっとも効果的であったと報告されている²⁾。(もっとも、この結論は、比較の対象となった他の2つの方式のアルゴリズムがむしろあまり効果的でなかったことを示すと筆者は解している。)しかし、この定時選択方式を有効に運用するために

は、交通流の時間変動パタンの把握と、各時間帯のための良好な制御パラメータのオフライン作成とが不可欠である。

現在、本研究においても、時間帯への分割方法と、各時間帯に対する制御パラメータの作成とについて、交通の時間変動データを集積しながら作業中の段階である。

(2) 制御パラメータ交通感応選択プログラム

車両感知器からの交通情報に基いて、あらかじめ定められた選択基準に従って、あらかじめ設定したいくつかの制御パラメータの中から、ひとつを選択する方式であるから、選択に用いる交通情報端末の組み合わせや、選択のアルゴリズムによって、無数のプログラムが可能である。

現在完成しているプログラムは、他の制御方法との比較の対象とするために、とりあえず、現在わが国で路線系統制御にもっとも広く用いられている方法に従っている。これは、系統路線の代表的地点における上り、下り交通量に基いて、図3に示される基準に従ってサイクル

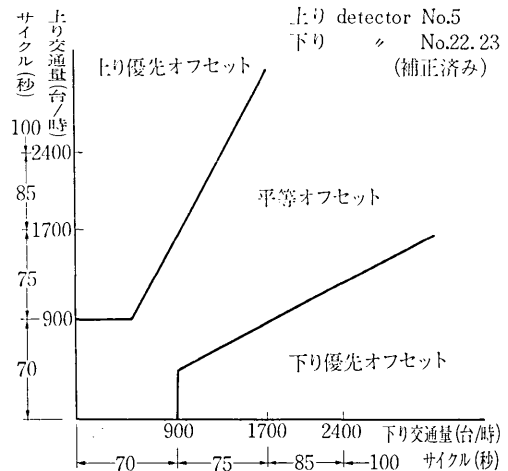


図3 サイクルおよびオフセットの交通感応選択の基準

およびオフセットパターンを選択する方法である。オフセットパターンは図4に示されるようなもので、在来のエンジニアリング的なオフセットの決め方としてはもっとも常識的なパターンである。

スプリットについては、現在のところ天現寺交差点(図1参照)が50%—50%である以外はすべて60%(系統路線)—40%(交差道路)であり、常に一定でパラメータ選択の対象としてはいない。

(3) 制御パラメータリアルタイム形成プログラム

この範疇に入るものとして、現在二つのプログラムができています。ひとつはオフセットおよびサイクルのフィードバック制御プログラムであり、他のひとつはスプリットのフィードバック制御プログラムである。

オフセットのフィードバック制御は、先に発表した方法³⁾に従って、図5に示すような値として各流入路ごとに遅れおよび停止台数の任意の加重和のオフセットに対

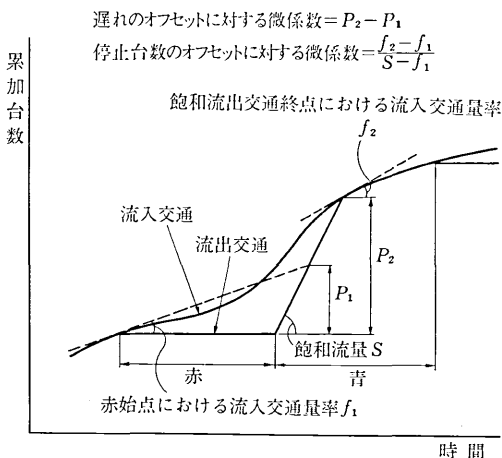
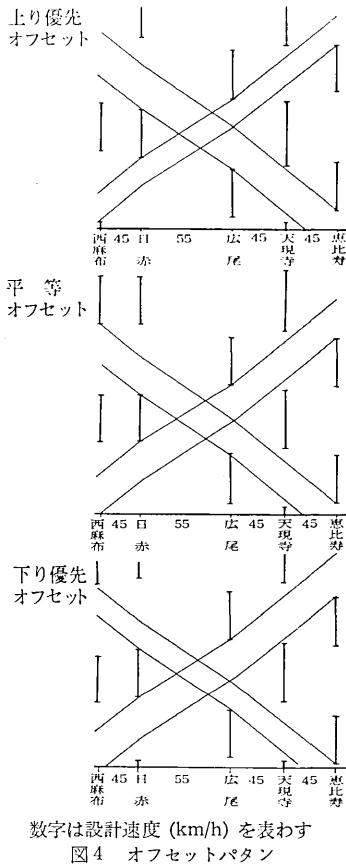


図5 遅れおよび止台数のオフセットに対する微係数
 する微係数をセンサー情報から毎サイクル計算し、この結果を次のサイクルの制御にフィードバックするという方法である。これによって、常に上記の加重和が減少するように、オフセットをシフトしながら制御することができる。

各流入部の微係数の和をとれば、サイクルに対する微係数となる。図6のようなリンクを考えよう。この場合、両方向ともに遅れ(または止台数)のこのリンクの相対オフセット(交通の方向に計った)に対する微係数は負

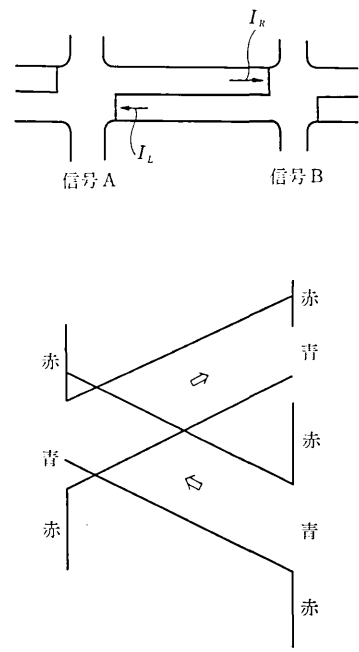


図6 遅れのリンク相対オフセットに対する微係数が両方向ともに負の場合

であり、左向き交通の遅れを減らすには信号 A のオフセットを信号 B に対して増す(青始点を遅らせる)ことが必要であり、右向き交通の遅れを減らすには逆に信号 B の青の始点を信号 A に対して遅らせなければならない。この場合にはしたがって、A B 両信号ともにオフセット値を増しても相対オフセットには変化がないので無意味であるが、サイクルを長くすれば、両方向の非反する要求を満たすことができる。

サイクルの最適値は、このような最適オフセットに近いオフセットを与えるという条件の他に、交差点の飽和度を適当な値に保つ(一般に、サイクルが長いほど同じ交通需要に対して交差点の飽和度が低く保たれるという関係がある)という条件も満たさなければならないので、実は上記のオフセットの条件だけでは決めることができない。したがって、サイクルについては、現在のところ上記の微係数を計算しているのみで、実際にサイクルをこれで制御してはいない。今後、交差点飽和度の測定方法の開発と併わせてサイクルの制御を実施したいと考えている。

スプリット制御の方法としては、在来の方がいずれも交通需要の高い、飽和状態に近い状態に対する制御特性が良くないので、本研究の当面の課題としてこのような状態に対して各現示の飽和度を等しく保つような手法を見出すことを目標としている。現在完成しているプログラムは、各現示(青)の終りの n 秒間の停止線直近上流(約 30 m)の車両センサーによる占有率(センサー出力が ON である時間の全サンプル時間に対する比)を毎サイクル測定し、この値がひとつの信号の全現示について等

しくなる方向に、次のサイクルでスプリットを一定値だけシフトするという方法をとったものである。通常ひとつの現示には対向する2つの交通流があるが、いずれか高い方の占有率をもってその現示の占有率としている。この方法では、青の終りの n 秒間の占有率がその現示の飽和度を表現しているという前提に立っているが、現示の飽和度を検出する方法が、今後のスプリット制御についての研究課題であって、実査と感知器情報との対応関係を分析しつつ、いくつかの方法について比較実験を行いたいと考えている。

なお、スプリット制御実験は、交通需要の条件から、恵比寿3丁目と天現寺との2交差点に適用される。

(4) 隣接システムとの連動制御プログラム

このプログラムは、ひとつのシステム内のみを扱うものではないので、本節初めに述べた3分類の制御方法のいずれにも属さない。

図1に示すように、西麻布交差点は本実験システムに隣接しており、しかも距離的にかなり近い位置にある。この交差点信号は、現在警視庁の電子計算機制御システムに組み込まれており、本実験システムとは、ハードウェアとしては互いに独立している。

このプログラムは、図1における No. 19 感知器の情報から、西麻布交差点のサイクルとフェーズとを検出し、本実験システムのサイクルを西麻布交差点に同期させ、かつ西麻布3丁目交差点と西麻布交差点との間に適切なオフセットを保たせることを目的としたものである。このような制御プログラムは、もし成功すれば、ハード的には独立な隣接するシステム相互間の統系制御をソフトウェアによって保つことを可能にするので、実用上の価値は高いと考える。

現在のプログラムは次のようなアルゴリズムに基いている。

- (1) No. 19 感知器の4秒間交通量を4秒ごとに計測する。
- (2) 4秒ごとに過去5回分の4秒間交通量の合計(20秒間交通量)を計算し、前回の20秒間交通量と比較することによって、20秒間交通量の極小値の出現する時刻を求めて記憶する。
- (3) 西麻布交差点に適用されるサイクルの最大値、最小値を考慮しながら、上の(2)の極小値間の時間々隔を4回求める。
- (4) 西麻布交差点に適用されるサイクルが、5秒刻みの離散的なラウンド数であることを利用して、(3)で求めた4サイクルの平均値から西麻布交差点のサイクルを求める。(これは、西麻布交差点が警視庁の電子計算機制御システムに組み込まれているという状態を前提としたものである。)
- (5) No. 19 感知器に20秒間交通量の極小値が出

現する時点と、西麻布交差点の特定フェーズの開始時点との差を実査によって測定して置き、この値に基いて、西麻布3丁目—西麻布間のオフセットを決める。

このような、交通量の極小値出現時点を利用するというアルゴリズムは、図7に示されるような No. 19 感知

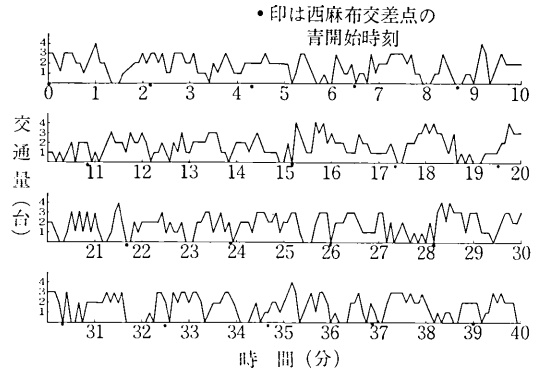


図7 No. 19 感知器の5秒間交通量変動

器の交通量実測資料に基いたものであって、一般には交通量変動特性によって、アルゴリズムが決まるものであり、極小値でなくて極大値を検出する方がよい場合もありうる。

4. 制御手法間の比較実験結果 (第1回)

これまでに行なわれた実験は、主として新たに作成するプログラムのデバッグ、アルゴリズムの検定、定数の決定などを目的としたものであり、制御手法間の比較検討実験はまだ十分に行なわれていない。以下に報告するのは、第1回の比較検討実験の結果として、まったく系統制御をせずに各信号を独立に制御した場合と、交通感応選択制御を行なった場合との遅れと停止台数の比較である。

(1) 実験条件

比較の対象とした制御条件は次のようである。

(1) サイクル

独立制御 表1に示される通りである。これは、本実験システム設置以前の状況に比較的近く、かつ隣接交差点の同期周期があまり長くないように適度に定めたもので、各交差点の最適値では必ずしもない。

表1 独立制御の場合のサイクル

交 差 点 名	サイクル (秒)
恵比寿3丁目	85
天現寺橋	90
広尾橋	80
日赤病院下	75
西麻布3丁目	85

交通感応選択制御 図3に示される通りである。もっとも常識的と考えられる値であって、おそらく大多

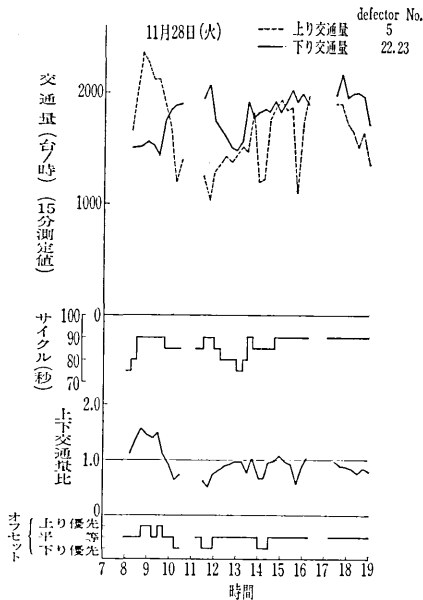


図8 交通感応選択制御における制御パラメータと上下交通量および上下交通量比

数の信号技術者が選ぶであろうと思われる値を採用したものである。

(2) スプリット

両方式ともに共通のスプリットを用いた。天現寺交差点のみ 50%—50% であり、他の 4 交差点はすべて主道路 (系統路線) 60% のスプリットである。

(3) オフセット

独立制御 当然ながらオフセットはない。

交通感応選択制御 オフセットパタン選択基準は図 3 に示される通りであり、各パタンのオフセット値は図 4 および表 2 に示される通りである。

(4) 実験日

独立制御 昭和 47 年 11 月 27 日月曜

交通感応選択制御 昭和 47 年 11 月 28 日火曜

(2) 実験結果

図 8 は、交通感応選択制御における制御パラメータの実現値を、上下交通量およびその比と対比して示したものである。

図 9 には、それぞれの制御方式のもとにおける遅れの合計および総停止台数を 15 分ごとに計算した値が、交通量とともに示されている。両実験間には交通量の相違はあまりないのに、遅れおよび停止台数には差があることが認められる。特に遅れの相違は顕著である。

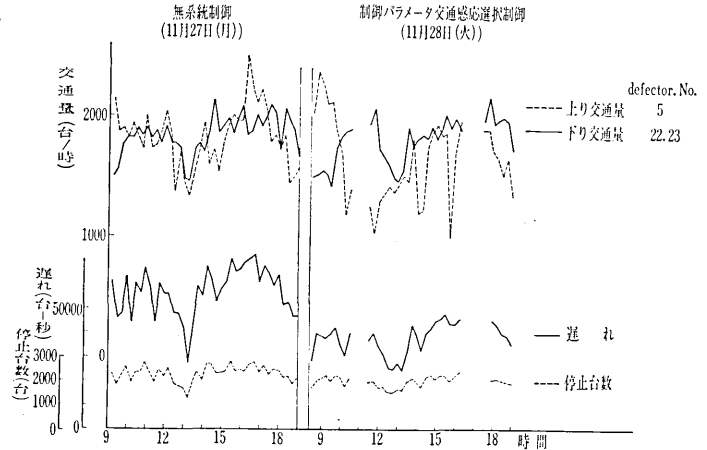


図9 2つの制御方法による交通量、遅れおよび停止台数

表2 交通感応選択制御の場合のオフセット値

	サイクル(秒)	西麻布3丁目	日赤病院下	広尾橋	天現寺橋	恵比寿3丁目
平等オフセット	70	0	0	50	5	50
	75	0	0	50	5	50
	85	0	0	50	5	50
	100	0	0	50	5	50
上り優先オフセット	75	6	0	50	5	56
	85	0	94	44	5	50
	100	0	94	44	5	50
下り優先オフセット	75	94	0	50	5	44
	85	0	6	56	5	50
	100	0	6	56	5	50

5. おわりに

本研究のこれまでの主力が新しいプログラムの作成に注がれていたため、本稿では主として現有プログラムの紹介を行なったが、現在ひと通りのプログラムが揃い、制御手法間の比較検討実験で始めたところなので、今後は逐次速報などで実験結果の報告をしていきたいと考えている。制御効果の経済的、都市環境的な面からの評価も今後併わせて進めていきたい。

(1972 年 12 月 5 日受理)

参 考 文 献

- 1) 越 正毅・高羽楨雄・大野進一・河村達雄：「都市交通公害対策の調査研究」生産研究 24, 3 (47 年 3 月)
- 2) Holroyd・Robertson：「Strategies for area control systems」Second International Symposium on Area Traffic Control Systems, Nov. 1972, Toulouse, France
- 3) 越 正毅：「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」生産研究 20, 3 (43 年 3 月)