

プローブカーを用いたオフライン信号最適化に関する研究

OFFLINE SIGNAL OPTIMIZATION BASED ON PROBE CAR DELAY DATA

前 畑 高 康 指導教授 越 正 毅

1 はじめに

元来、任意の2交差点間における車両の遅れ時間を測定するのは困難であった。そのため、従来の信号制御において交通状態を占有率と交通量を用いて信号制御を行ってきた。しかし近年ITS (Intelligent Transport Systems) の発達により、車両の旅行時間を計測することが可能になってきた。これにより、今までの信号最適化の目的関数である遅れ時間を直接的に計ることが可能になった。

本研究では、遅れ時間を計測できる車両をプローブカーと定義する。このプローブカーは、任意の2交差点間における旅行時間を計測し、このデータを光ビーコンや感知器に送信できる機能を持った車両のことである。

遅れ時間を用いた信号制御の方法としては、オンライン制御とオフライン制御が考えられる。プローブカーの混入率が十分に高い状態ではオンライン制御が優れており、また、混入率が少ない場合はオフライン制御が優れている。オフライン信号制御では、プローブカーのデータを数日間集積することにより、低い混入率でもプローブカーのデータを用いて信号制御の最適化が出来る。オフライン制御では現在の信号制御と同様にプリタイムを使用する。つまり、1日の時刻(例:朝8:00~9:00の1時間)のよって制御をを行っている。

よって、本研究ではプローブカーで測定した遅れ時間をもとにオフラインにおける新しい信号の最適化を提案し、シミュレーションを行い、その効果を測定した。

2 信号最適化の論理

信号制御による車両の遅れ時間は、サイクル毎に発生する。プローブカーの混入率が低い場合はある程度のサイクル数分遅れ時間を蓄積する必要がある。混入率が著しく低い場合は、数日にわたって蓄積する必要がある。

また、データは朝から晩まで蓄積することではな

く、例えば、朝8時から9時までのデータをためることです。例えば、混入率1%で1時間当たり1,000台の交通量があれば、期待的に1時間当たり、10台のプローブカーが存在し、そのデータを蓄積できる。

一定期間蓄積したプローブカーの遅れ時間により、到着分布を予測し、その到着分布に基づき、スプリットの最適化、オフセット・サイクル長の同時最適化を行う。

スプリット・オフセット・サイクル長の三つを同時に最適化する事は、計算が煩雑になるため、少ない蓄積回数で最適値を求めにくい。よって、スプリットだけ個別に最適値を求め、オフセット・サイクル長の同時最適化を行うことによって、少ない蓄積回数で信号制御の最適化を行う。

以下に信号制御最適化の論理を示す。

(1) スプリットの最適化

アップリンクの時刻から、図-1に示すように、流入部毎にある、サイクルにおける車両の出発がわかる。混入率が高ければ、到着図は容易にかけますが、混入率が低ければ、プローブカーからの旅行時間を数日間ためなければ、車両の到着図は描けない。こうやって、出発-到着図(A-D図:Arrival-Departure Diagrams)を作成する。

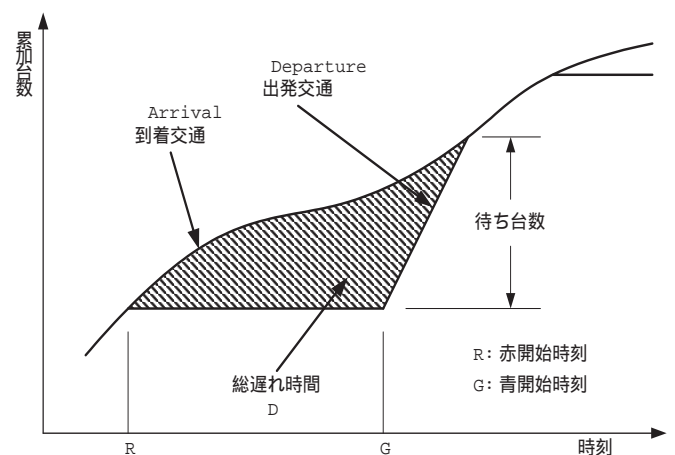


図-1 車両の到着と出発図

Rは赤開始時刻、Gは青開始時刻を示す。サイクルにおける、総遅れ時間は図の斜線部分の面積Dである。

A - D図は、4枝交差点の場合、東西南北の様に4方向の流入部別に作成出来る。本研究では、4枝2交差点を考慮しているため、8方向についてA - D図が出来る。

最適スプリットは、4枝2交差点における遅れ時間の総和(以下、総遅れ時間とする)が、最小になるスプリットである。

すべての流入部において、あるサイクル長の考え得る全てのスプリットを求める。最適スプリットとは遅れ時間が最も短いスプリットの組み合わせである。図-2に示すように、設定されたスプリットではR1から赤が開始され、G1において赤が終了し、青が開始される。その後、車両は飽和交通流で流れ、ある時刻において到着交通と出発交通が同じになる。よって、あるスプリット時の1サイクルにおける遅れ時間が求められる。次に、2tだけ赤時間が短いスプリットの遅れ時間を求める。赤スプリットの中心をCRとする。CRは常に赤時間の中心で、同じ時刻に来るように設定する。つまり、R1からtだけ遅く赤スプリットが始まり、tだけ早く赤スプリットが終わる。よって、t秒を増やしたり、減らしたりすることにより全てのスプリットにおける遅れ時間が算出できる。全ての流入部において、遅れ時間を算出する。

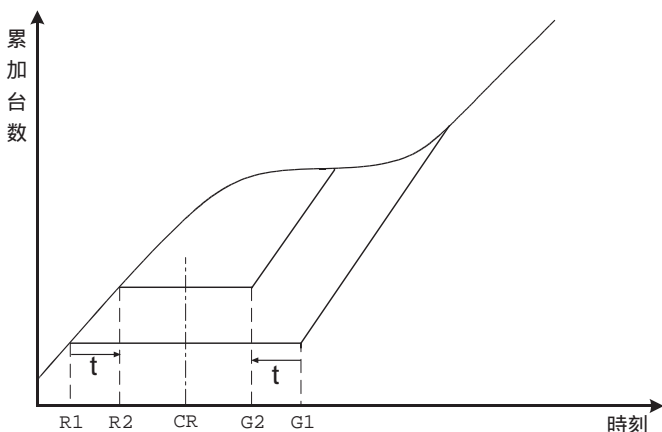


図 - 2 スプリットの算出図

この総遅れ時間を主道路と従道路毎、交差点別に集計する。

$$D_{A主} = D_{AE} + D_{AW}$$

$$D_{A従} = D_{AN} + D_{AS}$$

D : 総遅れ時間

A E ~ A S : 交差点及び方向

算出した主道路、従道路の総遅れ時間の最小が最適スプリットとなり、これを両交差点について行う。この結果により、次の蓄積の時にスプリットを更新する。

(2) サイクル長とオフセットの同時最適化

サンプリングにより求められたA - D図を基に、オフセットを計算する。0秒からサイクル長まで、遅れ時間を求めることにより、東行きオフセットが求められる。東行きオフセットを図-3に示す。

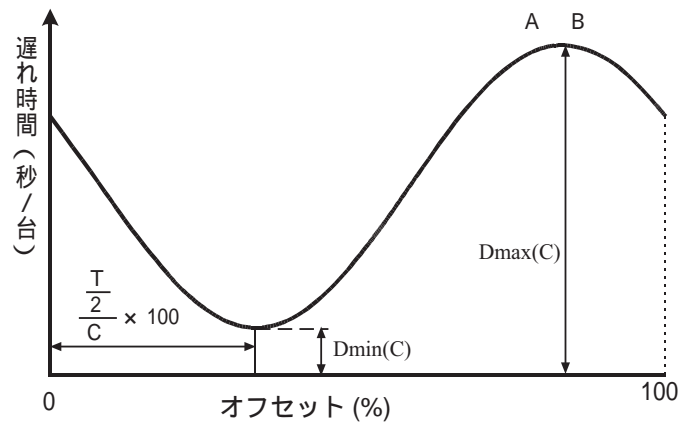


図 - 3 東行きのオフセット図

また、A Bにおいて、オフセット1秒とはA交差点から1秒遅れることである。よって、東行きと同様に遅れ時間を図-4に示す。

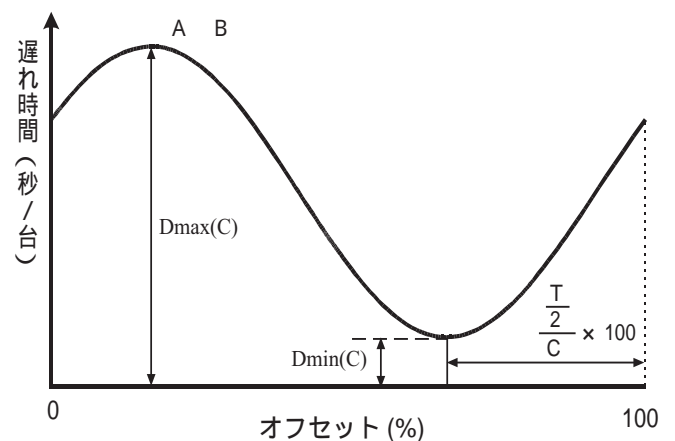


図 - 4 西行きのオフセット図

最適オフセットは設定されたサイクル毎に違って来る。つまり、2停止線の総遅れ時間の合計が最小になったところが、そのサイクル長の最適オフセットである。この概念図を図-5に示す。

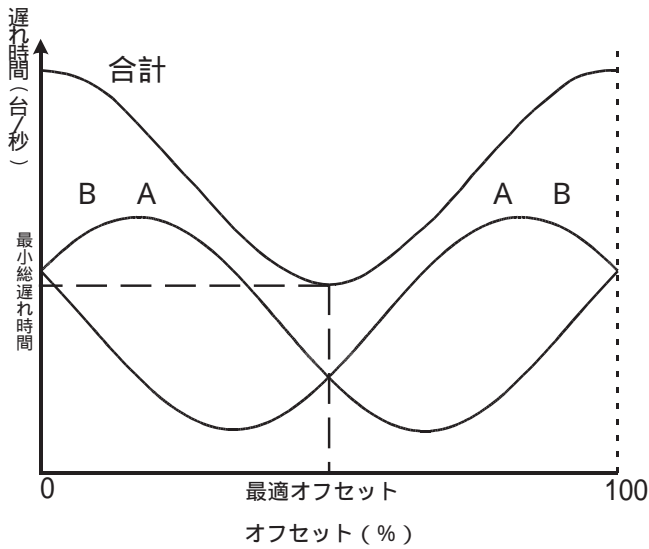


図 - 5 総遅れ時間とオフセットの関係

このように、全てのサイクル長で最適オフセットを求め、最も最小総遅れ時間が短いところが、最適サイクル長・オフセットになる。ただし、オフセットはAを基準とした物である。

3 シミュレーションの条件

(1) 道路・交差点の形状

図 - 6 に示すように、4 枝交差点が 2 つあり、主道路・従道路ともに往復 2 車線にした。交差点間距離は 750 m とし、系統速度は 15m / 秒の定速走行とした。

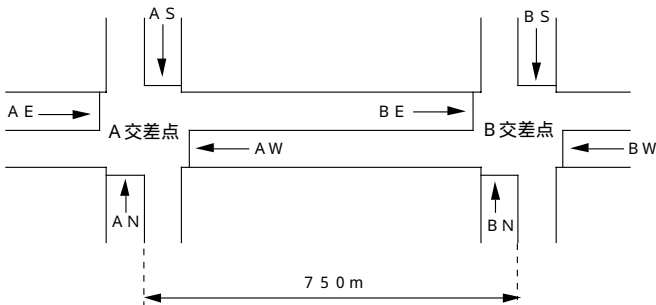


図 - 6 交差点とリンク長の関係

(2) 車両

発生

最小車頭時間 (0.7 秒) だけシフトした指数分布に従う。発生車両は普通車のみで、発生位置は最上流とした。

挙動

加減速・追従を考慮しない定速行動 (15 m / 秒) とした。交差点において、全ての車両は直進する。飽和交通流率は (2,000 台 / 青 1 時間) とした。

待ち行列

待ち行列は Vertical Queue と扱うものとした。

(3) 信号設定

表 - 1 に示す設定値を初期信号パラメータとした。

(4) プローブカーの混入率

プローブカーの混入率は、1%、5%、10% を行った。また、蓄積日数は 5 日もしくは、10 日とした。

4 シミュレーションの結果

表 - 1 に信号パラメータの初期条件と交通量を示す。

表 - 1 シミュレーションモデルの初期設定条件

初期値		ケース 1	ケース 2	ケース 3	
交通量 (台 / 時)	A N	400	300	300	
	A S	400	400	400	
	B N	400	400	400	
	B S	400	500	500	
	A E B E	800	800	400	
	B W A W	800	1,200	1,200	
サイクル長 (秒)		120	120	120	
オフセット (秒)		10	10	10	
スプリット (秒)	主道路	A 交差点	40	40	40
		B 交差点	40	40	40
	従道路	A 交差点	70	70	70
		B 交差点	70	70	70
蓄積日数		5	10	10	

(1) モデル 1

表 - 2 にモデルの結果を示す。ただし、収束期間とは、最適化され、次の更新でも殆ど一緒の結果になるまでの期間を言います。例えば、5 日間の蓄積期間では収束期間は 20 日となっている。これは、信号制御の最適化を 4 回行ったということである。

交通量が対称だと 1% では、あまり良い結果にならなかったが、5 日の蓄積日数から 10 日の蓄積日

表 - 2 モデル 1 の結果

5 日間		サイクル長 (秒)	オフセット (秒)	スプリット (秒)			
混入率	収束期間			A 主道路	A 従道路	B 主道路	B 従道路
1%	20 日	120	10	70	40	70	40
5%	20 日	92	46	44	38	44	38
10%	20 日	96	49	47	39	47	39
10%	20 日	98	49	48	40	48	40

10 日間		サイクル長 (秒)	オフセット (秒)	スプリット (秒)			
混入率	収束期間			A 主道路	A 従道路	B 主道路	B 従道路
1%	20 日	120	10	70	40	70	40
1%	20 日	96	49	47	39	46	40

数で回すことにより、ある程度の結果が得られた。

(2) モデル2

表 - 3 にモデルの結果を示す。混入率による差は明確には現れなかった。サイクル長は94秒から91秒となっており、大きな差異にはならなかった。オフセット、スプリットにおいても、同様に大きな差異はみられなかった。

表 - 3 モデル2の結果

10日間		サイクル長 (秒)	オフセッ ト(秒)	スプリット(秒)			
混入率	収束期間			A主道路	A従道路	B主道路	B従道路
		120	10	70	40	70	40
1%	20日	94	46	56	28	56	28
5%	20日	91	45	55	26	55	26
10%	20日	91	45	55	26	55	26

(3) モデル3

表 - 4 にモデルの結果を示す。このモデルは、A交差点を基準にオフセットを設定しているため、交通量を対向交通に比べ、大幅に交通量を減らしたモデルである。混入率による差は明確には現れなかった。サイクル長は91秒から96秒となっており、大きな差異にはならなかった。オフセット、スプリットにおいても、同様に大きな差異はみられなかった。

表 - 4 モデル3の結果

10日間		サイクル長 (秒)	オフセッ ト(秒)	スプリット(秒)			
混入率	収束期間			A主道路	A従道路	B主道路	B従道路
		120	10	70	40	70	40
1%	20日	91	45	55	26	55	26
5%	20日	94	47	57	27	57	27
10%	20日	96	49	58	28	58	28

(4) 最適解のばらつき

車両をランダム発生させているので、100%のデータで、最適化してもばらつきがでる。よって、混入率が低ければ、ばらつきが大きくなると考えられる。ばらつきが大きければ、遅れも大きいと考えられる。

現実ではモデルは考えにくいので、現実的にあり得そうなモデル2で比較した。ある混入率・蓄積日数で最適とされた遅れ時間と100%で最適とされた遅れ時間とのばらつき具合を図 - 7、図 - 8 に示す。

混入率によって、大きな差は明確にできなかったが、1%の場合、1.08といった誤差をとることがわかった。混入率1%で、蓄積日数を変えてもシミュ

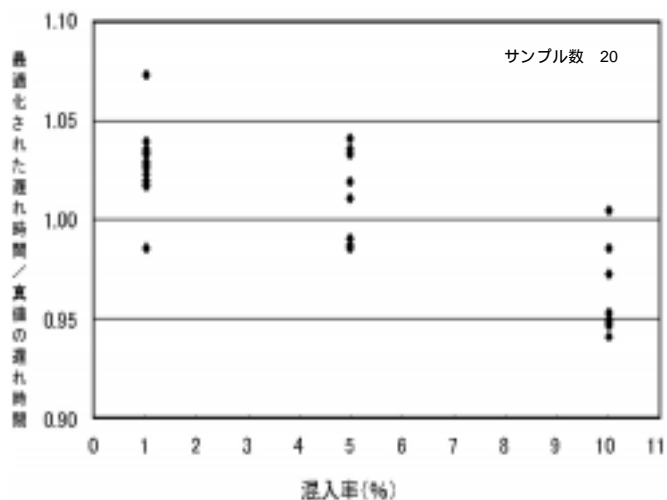


図 - 7 混入率と遅れ時間の関係図

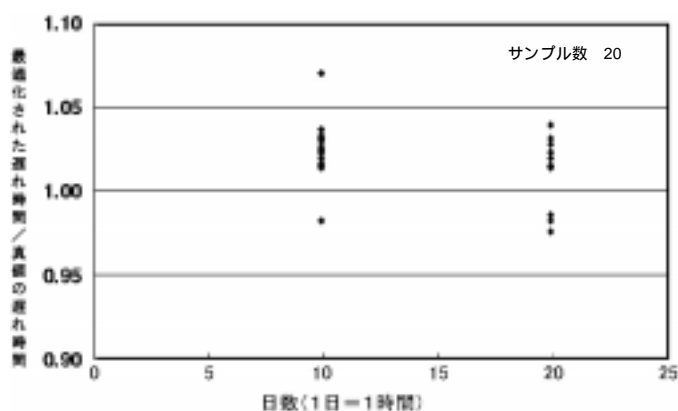


図 - 8 蓄積データと遅れ時間との関係図

レーションを行ったが、20日の蓄積日数で行うと10日の蓄積日数で行った時に出了大きな誤差は発生しなかった。

8 結論

混入率1%では最も大きなばらつき、つまり大きな差が発生する。ただし、この結果は普通の交通運用上では問題にならない程度の誤差である。つまり、100%の時最適とされた遅れ時間の±10%の範囲に入っている。よって、1%でも良い結果になった。また、蓄積日数を増やすことにより、よりよい結果をもたらした。これにより、1%でもある程度の蓄積日数があれば、十分信号制御を行うことができる。1%でも信号最適化ができるということは、大きな意義を持ったことになった。今後、今回のシミュレーションでは考慮されていない系統されている停止線含めたサイクル長の信号最適化のパラメータを考える必要があり、今後更なる研究を行う必要がある。