

遅れ時間のリアルタイム計測による交通感应信号制御
Adaptive Traffic Signal Control Using Real-time Delay
Measurement

浅野美帆*, 堀口良太**, 桑原雅夫*

*) 東京大学生産技術研究所 第5部

**) (株)アイ・トランスポート・ラボ

1. はじめに

本研究は、ITS のセンシング技術を用いて個々の車両の旅行時間の実測データから信号待ちによる遅れ時間を算出し、全車両の総遅れ時間を減少させるように信号制御パラメータを自動生成するアルゴリズム¹⁾を実際の制御システムとして実装し、その有効性について検証を行ったものである。

国内における現在の信号制御方式は、飽和度感应によるパターン選択制御方式が主要なものとなっている。これは感知器等で各流入路の交通量を計測し、求められた飽和度の比に応じて、あらかじめ設定してある現示階梯のパターンの中から最適なものを選択する方式である。しかし、飽和度に基づくパターン設計法が最適解との保証はない。また、この方式では設定した現示階梯パターン以外を呈示できないので、パターン設定後に交通状況が変化した場合の経年劣化や、事故などの突発事象に対して自動で対処できないという課題がある。

このような課題を克服するため、越ら²⁾は動的に変動する交通状況を測定、信号に起因する渋滞損失 = 遅れ時間を最小化するように信号制御パラメータ（スプリット、オフセット、サイクル長）を一定量ずつ更新するアルゴリズムを提案している。本研究ではこれを実世界に適用できるよう発展させる。このアルゴリズム(以下、CARREN: Control Algorithm Retuning paRameters with self performance Evaluation³⁾)では制御に必要な情報をすべてセンサー類により取得するため、現示階梯パターンの事前設定や、交通状況の経年変化に伴う調整などはしなくてすむ。

遅れ時間の測定は、近年開発されてきたセンサー類により可能となった。今回は現段階で利用可能な AVI（車番読取装置）を用いた遅れ時間評価を想定するが、将来的には高度な画像処理による車両軌跡の追跡技術をもとにした、より安価なセンサーの使用を期待している。

本制御システムは、2004 年秋に名古屋で開催される ITS 世界会議においてフィールドデモンストレーション²⁾を行

う予定であり、それに向けての実証評価実験が産学官の連携のもとに行われている。

2. 制御アルゴリズムの概要

(1) 必要なデータと機器配置

制御に必要な情報は、対象交差点からの全車両の出発時刻と、そのうちのサンプル車両が流入リンク通過に要する旅行時間の2つである。これらを測定するため、図1のように AVI、超音波感知器を各リンクの上流端に設置する。

車両の出発時刻を全車両について取得することが必要なため、AVI より台数カウントの精度が高い超音波感知器を用いる。また、AVI から得られるプレートナンバーを交差点の上下流²⁾地点間でマッチングし、各車両の旅行時間を取得する。

(2) 交通量累積図を用いた遅れ時間の評価

CARREN では交通状況を、到着・出発交通量累積図を用いて評価する。まず超音波感知器の通過履歴情報により、図1の における出発交通量累積図を描く。次に AVI から得られるサンプル車両の旅行時間を用いて、 の通過時刻を算出する。最後に、 - 間の自由走行での旅行時間を差し引くことにより、到着曲線を描画、信号待ちによる遅れ時間を求める。遅れ時間は、到着曲線と出発曲線で囲まれる部分の面積で表される。

(3) 信号制御パラメータ変更時の遅れ変動量推定

信号パラメータが変化すると、到着曲線や出発曲線の形状が変化し、それにつれて遅れも増減する。CARREN では、信号制御パラメータがそれぞれある一定量変化したときの遅れの変動量を方向別に累積図から推定し、遅れ時間が最小となるように各パラメータの変更量を決定する。

ここで、累積図の形状が毎サイクル変化しないと仮定すると、現状の累積図を利用して、信号パラメータを変更したときの次のサイクルの遅れ時間評価をすることができる。

図2では、オフセット、サイクル長を現状のままとし、スプリットを 増加した場合の遅れの変動を示している。現状の累積図は実線で表される。スプリットを増加させると赤現示の開始時刻は現在よりも 遅れるため、出発曲線はもとの曲線を上方向にシフトした破線となり、このときの遅れ時間の変動量が推定できる。同様に、オフセット、サイクル長についても、それぞれのパラメータが一定量変化したときの遅れの変動量を累積図に基づき算出する。

(5) 最適パラメータの選択

(4)で算出した方向別の遅れ時間変動量をもとに、対象エリア全体の遅れ時間が最小となるように信号制御パラメータの組合せを決定する。

組合せの数は、1つのパラメータにつき一定量増加、減少、現状維持の3つとなる。またスプリットは交差点単位、オフセットはリンク単位、サイクル長は共通サイクル長をもつ所与のエリア単位で1つずつ決定される。対象エリアが大きくなると探索数も増加するが、実世界でのリアルタイム運用のためには探索数を減らすことが望ましい。そこでスプリットは交差点ごとに個別に決定し、サイクル長・オフセットは決定したスプリットの下、共通サイクル長をもつエリア単位で決定する。

3. 交通流シミュレーションを用いた仮想実験

(1) シミュレーションの設定

CARREN を実フィールドに適用する前段階として、交通流シミュレーションモデル「AVENUE³⁾」を用いた仮想実験による制御性能の評価⁴⁾を行った。評価対象ネットワークは図3に示す、名古屋長久手線星ヶ丘・打越エリアである。感知器配置は実配置を参考にして、幹線道路と星ヶ丘・打越の従方向流入路の各リンクに AVI・超音波感知器を設置している。信号階梯秒数の初期値を表1に、その他のシミュレーションの設定を表2に示す。

このネットワークにおいて、表3に示す3通りの交通状況を設定し、最初10分のウォームアップを含む2時間10分のシミュレーションを行った。図4では実測の5分間交通量とシミュレーションでの発生需要(太実線)を比較している。シナリオ2の発生需要が実際のピーク時交通量、シナリオ1における需要のピークが日中の交通量にほぼ相当する。1サイクルごとのパラメータの変更量は、スプリットとオフセットは±2秒、サイクル長は±4秒とした。

今回の実験では実世界での稼動を想定して、AVENUE をリアルタイムで実行している。CARREN のプロセスは外部から AVENUE と非同期に通信する。これにより、CARREN の実時間内での実行可能性も確認された。

(2) 制御アルゴリズムの性能評価

図5に、各シナリオにおける2時間分のネットワーク全体の遅れ時間を示す。比較に用いた固定制御は、シミュレーションの開始から終了まで信号制御パラメータを初期値で運用した場合の結果である。CARREN の制御ではすべてのシナリオにおいて固定制御に比べ遅れ時間が減少して

おり、その減少幅は25~44%となっている。

また、図6にはシナリオ1、3における星ヶ丘交差点の信号パラメータと発生需要の推移の一例を、図7は同じくシナリオ2における推移を示した。

シナリオ1、2より、需要の増減に追従してサイクル長・スプリット共に増減していることがわかる。

シナリオ3では、CARREN 導入時にはシナリオ1とほぼ変わらない遅れ時間を示している。CARREN では到着交通流のパターンだけでなく、出発曲線の形状、つまり飽和交通流率そのものを測定しているため、飽和交通流率の変動に応じてパラメータを変化させていることがわかる(図6)。シナリオ3のような状況は、実際には事故等の突発事象によるものが考えられ、このような突発的な交通状況の変化にも対応した制御ができることが示された。

このほか、評価に当たっては、停止回数、平均旅行時間等を指標として用いているが、本稿では割愛する。

4. まとめ

本研究では、ITS 技術により測定した遅れ時間を最小化する信号制御アルゴリズムを提案し、シミュレーション上の仮想実験によりその有効性を検証した。

本アルゴリズムが需要や飽和流率の変動に応じて信号パラメータを追従させられることが示され、信号パラメータを固定した場合に比べ25~44%の遅れ減少効果があった。

今後の課題としては、今回は固定制御との比較を行ったものの、実際に運用されているパラメータ選択方式との比較評価が必要である。

この信号制御システムについて、現在実フィールドでの社会実験が始まっている。2004年10月に行われる名古屋 ITS 世界会議において、社会実験の結果報告と制御のデモンストレーションが行われる予定である。

謝辞

本研究は、越正毅先生(東京大学名誉教授)をはじめとする数大学の研究者と共同で実施しており、本稿をまとめるに当たっても多くのご示唆を頂戴しました。ここに、謝意を表します。

参考文献

- 1) 越正毅, ほか: ITS センシング技術を活用した交通信号制御アルゴリズム, 土木計画学研究・講演集, Vol.25, 2002.
- 2) 尾上和志: 名古屋信号制御実証実験の概要, 交通工学, Vol.38, No.4, pp.36-40, 2003.
- 3) 桑原雅夫, 吉井稔雄, 堀口良太: ブロック密度法を用いた交通流の表現方法について, 交通工学, Vol.32 No.4 pp.39-43, 1997.
- 4) 浅野美帆, 中島章, 堀口良太, 小根山裕之, 桑原雅夫, 越正毅, 赤羽弘和: 遅れ時間自己評価によるリアルタイム交通信号制御, 土木計画学研究・論文集, Vol.20 No.4 pp.879-886, 2003.

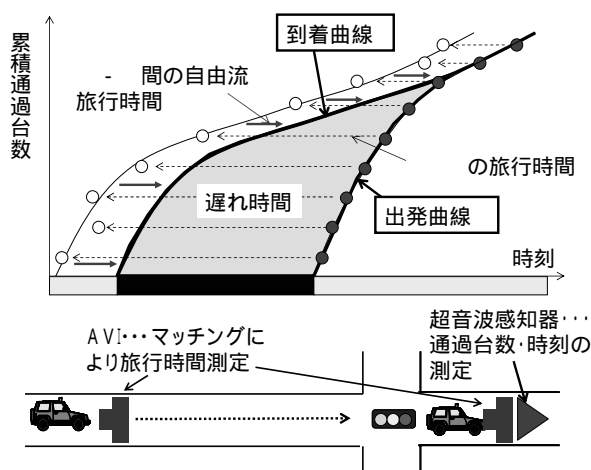


図1 到着・出発交通量累積図

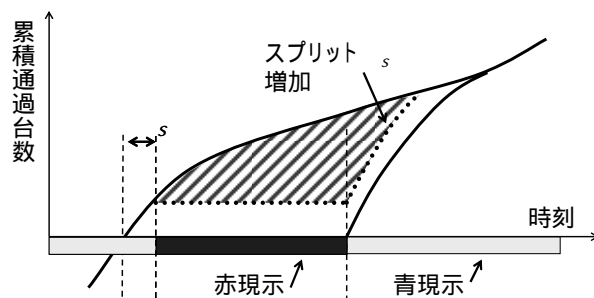


図2 遅れ時間の変動(スプリット変更時)

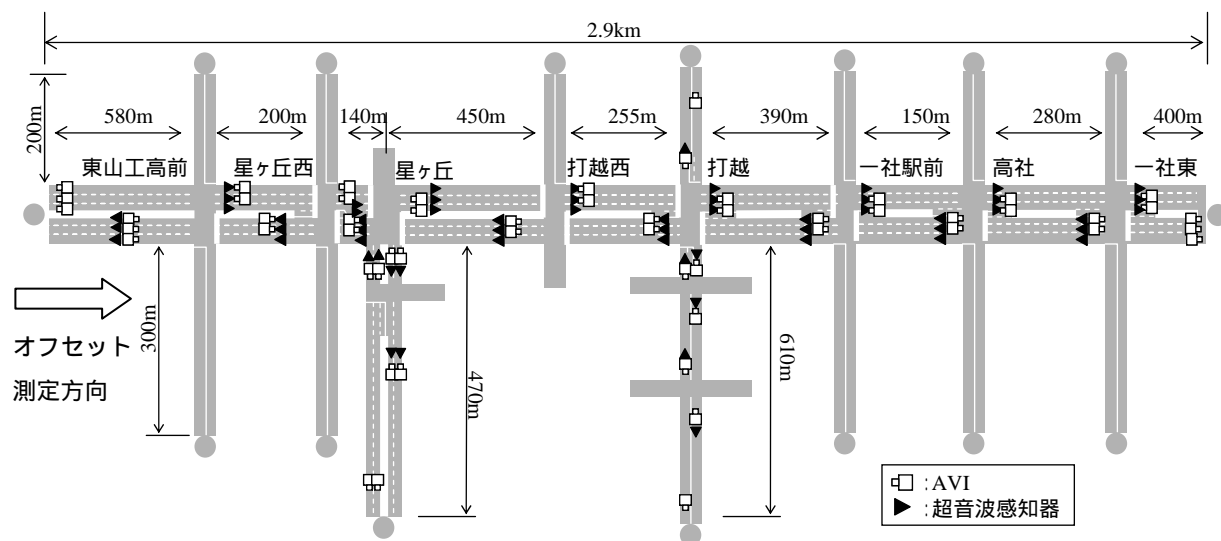


図3 実験対象ネットワーク(星ヶ丘・打越エリア)⁴⁾

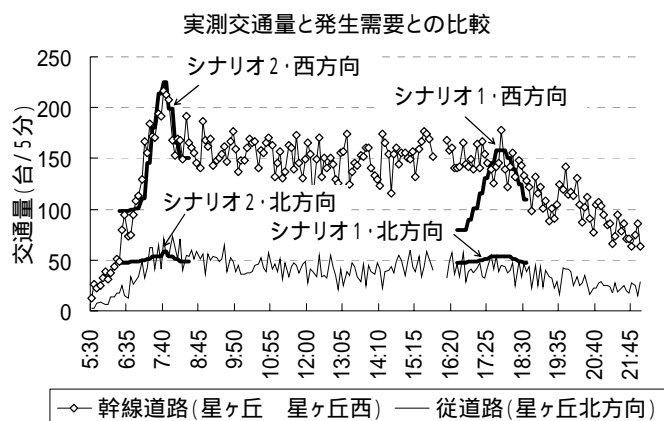


図4 実測交通量とシミュレーション発生需要の比較

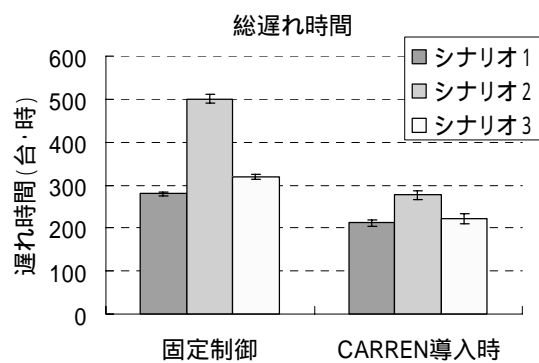


図5 対象エリア全域の遅れ時間
(5回の試行の平均値)

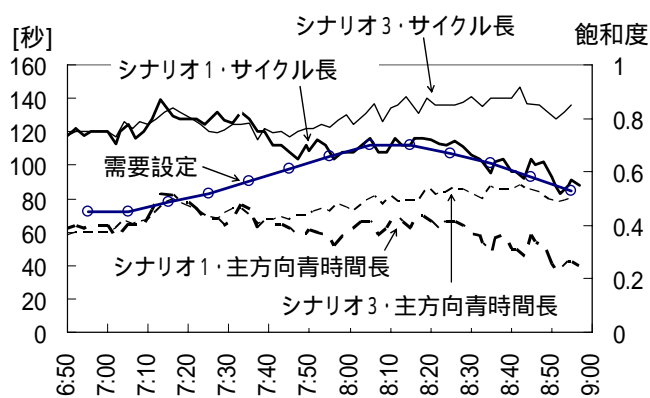


図6 信号パラメータの推移 (シナリオ1, 3)

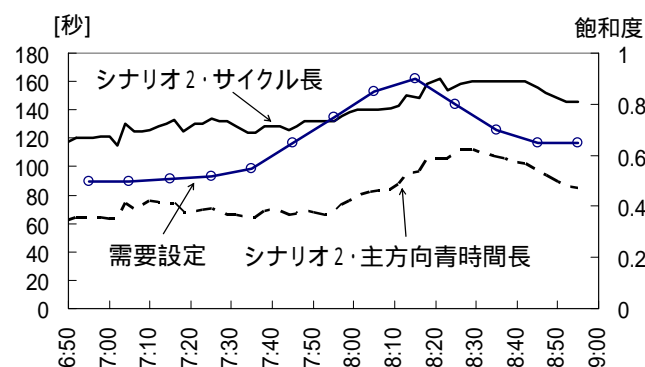


図7 信号パラメータの推移（シナリオ2）

表1 初期信号現示階梯

(単位:秒)

交差点名	サイクル長	現示									
打越	120秒		黄	右折青矢	黄	全赤		黄	右折青矢	黄	全赤
		58	2	5	2	3	40	2	3	2	3
星ヶ丘西, 星ヶ丘, 一社駅前, 高社, 一社東	120秒		黄	右折青矢	黄	全赤		黄	全赤		
		62	2	5	2	3	40	3	3		
東山工高前, 打越西	120秒		黄	全赤		黄	全赤				
		68	3	3	40	3	3				

表2 シミュレーションの設定

設定項目	設定値
直進飽和交通流率	1800 [pcu/G1hr/lane]
左折飽和交通流率	1200 [pcu/G1hr/lane]
右折飽和交通流率	1600 [pcu/G1hr/lane]
自由流速度	36 [km/時]
全赤の右折捌台数	2 [台/サイクル/方向]
最大・最小サイクル長	最大 160 秒・最小 80 秒
最小青時間	主従両方向とも 30 秒
オフセット初期値	全て同時オフセット
センサーのエラー	0%

表3 設定需要

シナリオ	星ヶ丘交差点の設定需要
1. 閑散時	飽和度0.45～0.7
2. ピーク時	飽和度0.5～0.9
3. 飽和流率変動時	飽和度0.45～0.7, シミュレーション開始1時間10分後に飽和交通流率を2割減少