

大都市圏における車両センサを用いたリアルタイム交通信号制御

新見 洋正¹・青木 尚久²・上條 俊介³

¹東京大学 情報理工学系研究科 電子情報学専攻

²東京大学 学際情報学府 学際情報学専攻

³東京大学 情報理工学系研究科・学際情報学府 准教授

幹線道路の渋滞を減らすために、幹線道路における交通信号制御に関する様々な研究がこれまでなされてきた。しかしながら、それらの信号制御手法を都市部の道路ネットワークに適用することは難しい。なぜなら、都市部の道路はいずれも交通量が多く、どの道路も他の道路に対して明確な優先順位を持っていないからである。都市部の道路ネットワークの渋滞問題を解決するため、我々は、隣接交差点の信号パラメータと予測される到着車両プロファイルを考慮することにより各交差点のオフセットを最適化するアルゴリズムを提案する。このアルゴリズムでは、隣接交差点間の青時間のオーバーラップを最大化する。その際、各交差点における車両の到着プロファイルを予測して重み付けを行う。到着車両プロファイルの推定には TRANSYT モデルを用いる。実験に際しては交通シミュレーションソフト AVENUE を用いた。そして、本手法が交通の流率を改善することが示された。

Key Words : Traffic Signal Control, Intelligent Transportation System

1. はじめに

道路を走行する車両の増加によって都市部の交通渋滞は何年にもわたり深刻な問題となっており、多くの国々においてこの問題を解決する必要性が高まってきている。渋滞問題を解決するため、これまで交通信号制御に関して様々な研究がなされ、多くの手法が提案されてきた。これらの手法のほとんどは、幹線道路における系統制御という一次元的な交通信号制御であった。幹線道路向けの系統信号制御は、主道路と従道路の違いが明確な区域に対しては有効であるが、都市部のようにいずれの道路も交通量が多いネットワークに対しては適応できなかつた。そこで、交差点に流入する各方向に感知器を設置して交通量を計測し、それに基づいて交通信号制御を行う手法が開発された。これらの手法は全て、ネットワーク内、もしくはサブエリア内でサイクル長を統一しているが、閉路を形成している場合はオフセットに制約条件がかかり、適切なオフセットを設定できないというオフセット閉合の問題が発生する。こうした問題から、大都市圏の交通信号制御については未だ十分な解決策が見出されていないというのが現状である。

そこで本研究では、幹線道路が交差するネットワークでも適用出来る信号制御手法を提案する。

2. 先行研究

交通信号制御手法には、オフラインでの制御とオンラインでの制御が存在する。オフラインシステムの例としては MAXBAND¹⁾ や MULTIBAND²⁾ があり、これらの手法では統計的な交通流のデータに基づいて各信号の最適なパラメータが計算される。一方、オンラインシステムの例としては SCOOT³⁾、SCATS⁴⁾、MODERATO⁵⁾ などが挙げられる。これらの手法ではリアルタイムの交通流の状況に応じて各信号のパラメータが決定される。

MAXBAND は、バンド幅を最大化する幹線道路の信号間オフセットを求める手法である。バンド幅とは、連続した信号制御交差点を青信号で通過できる時間の長さである。各信号の青時間スプリット、クリアランス時間、各交差点間の長さや旅行時間が与えられた上で、MAXBAND は混合線形整数計画法を用いて最適化問題を解く。Gartner らは、この MAXBAND を拡張した MULTIBAND という手法を提案した。こちらは、各道路の各方向に対して交通量に応じた重み付けを行い、バンド幅の重み付け和を最大化するというものである。これらの手法は、予め設定した交通量に基づいてパラメータの値を決定する。そのため、道路の交通量の変動が少ない場合は有効である。しかし実際の交通流が前提とした交通流の通りになるとは限らない上、交通量の変動に対応しきれないという欠点を持つ。

SCOOT は、交通感応型の信号制御手法である。こ

の手法は制御する地域内の交通の遅れと車列、つまり停止を最小化することを目的とする。遅れと停止は、Performance Index (PI) という指標を用いて表される。PI を算出する際、Cyclic Flow Profile (CFP) というものが用いられる。CFP は1サイクル内の各単位時間における交通流率を表したものである。CFP を計測するための車両感知器は、各道路の上流端に設置される。CFP を用いることで、下流信号が青のとき、及び赤のときに到着する車両の数と形成される車列の長さや台数、およびそれが捌ける時間を推測する。SCOOT では、サブエリア内の交通信号のサイクル長は全て同じか、もしくは一部が他の半分のサイクル長となっている。このサイクル長は、サブエリア内で Degree of Saturation (DS) の値が最も大きい交差点に合わせて設定される。しかしそのサイクル長は、他の交差点では必ずしも最適なサイクル長とは限らず、有効に使われない青時間や不必要な赤時間が発生する場合がある。この問題については後述する。しかしながら、SCOOT, TRANSYT で用いられている車群拡散モデル¹³⁾は有用である。各リンクの上流に設置された感知器で計測された車両プロファイルから、下流の停止線に到着する車両の流れを推測する方法は、交通の状況に応じてリアルタイムに信号制御を行う方法として適していると考えられる。

本論文では二次元制御を提案する。この手法では各交差点を分散的に制御し、交通量の多い道路だけでなく交通量の少ない道路も考慮に入れて交通信号制御を行う。このシステムは信号パラメータを決定する際に上述のような制約条件が発生せず、負荷を分散させることも可能である。また、交通感应型の制御なので交通流の変化にも対応した制御を行うことが出来る。これによって全体最適化を目指す。

二次元制御については他にも様々な手法が研究されている。例えば、分散的な制御を行う例として非線形振動子モデルがある⁶⁾⁷⁾⁸⁾。このモデルでは、交差点の周期的な状態量の変化を振動子の位相変化としている。その他に、マルチエージェントモデル⁹⁾¹⁰⁾やファジィ制御¹¹⁾¹²⁾を用いるものが存在する。

制御するパラメータはサイクル長、スプリット、オフセットの3つ存在するが、本研究では基準サイクル長を定め、スプリットの制御方法は一定として、非飽和状態におけるオフセット制御を比較する。オフセットの変化とサイクル長の変化は連動しているため、ここではサイクル長を変更することでオフセットを制御する。このとき、各交差点での出発待ち時間を減らすことにより、交通流を円滑化し、渋滞の発生を抑える方法を提案する。

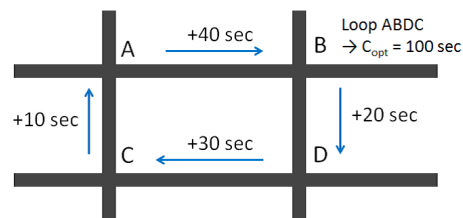


図-1 1閉路でのオフセット制約条件の例

3. オフセット閉合問題

交通信号のパラメータ、即ちサイクル長、スプリット、オフセットは互いに関連しあっている。例えば2現示の信号で、サイクル長が長くなれば、それぞれの現示の秒数も長くなる。また、ある現示の時間が長くなりもう一方の時間が変化しない場合、サイクル長が長くなる。また、隣接した2信号間のオフセットについても同様のことが言える。オフセットを変更する場合は、少なくとも1つの信号のサイクル長、すなわちいずれかのスプリットを一時的に変化させる必要がある。

従来手法では、ネットワークのサブエリア内の交通信号のサイクル長は同じ値とされることが通例であった。これは、最適なオフセットを設定するためにサイクル長の統一が必要であると考えられてきたからである。しかし、閉路を含むネットワークにおいて、サイクル長を統一した状態で閉路内におけるオフセットを全て最適な値にするためには、閉路内を一周する方向のオフセットの和がサイクル長の整数倍でなければならないという条件がある。例えば、図-1において、閉路ABCDを考える。各交差点間の最適なオフセットが40秒(A-B)、20秒(B-D)、30秒(D-C)、10秒(D-A)のとき、最適なサイクル長はこれらの値の合計である100秒である。あるいはこの値の半分の50秒も使用可能である。この条件は1つの閉路においては満たすことができる。しかし、サブエリア内に閉路が複数存在する場合、最適なサイクル長と最適なオフセットを全て同時に満たすことはほぼ不可能である。例えば、図-2において閉路ABEDの最適サイクル長は100秒であるが、閉路BCFEの最適サイクル長は90秒である。この状態でサイクル長の統一を優先した場合、いずれかの交差点間では最適なオフセットを取ることが出来ず、そこに負荷が集中してしまうと考えられる。

そこで本手法では、サブエリア内のサイクル長を統一するという事はせず、各交差点でそれぞれ最適なサイクル長を決定する。こうすることで、オフセット閉合条件を発生させずに制御することが可能となる。

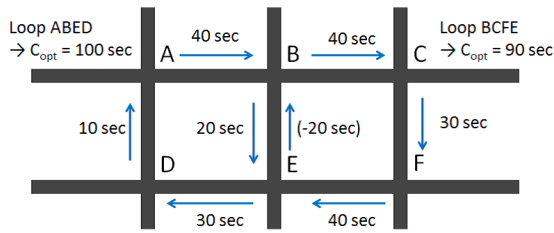


図-2 2閉路でのオフセット制約条件の例

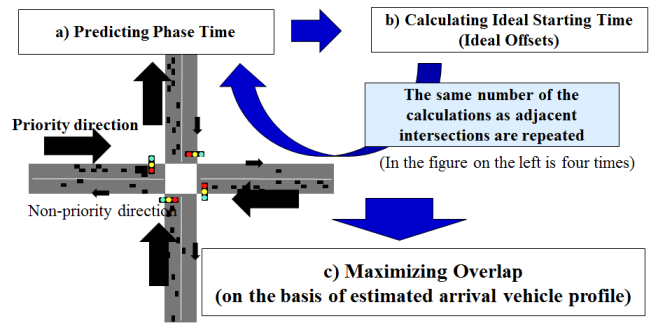


図-3 Green Overlap Maximization (GOM) のフレームワーク

4. 提案手法

我々は、信号交差点における車両の待ち時間を減らし、交通流をより円滑にすることで渋滞を軽減させる信号制御手法を提案する。現在イギリスなどで使われている SCOOT では、制御するエリア内のサイクル長を全て同じにしようとするためにオフセット閉合問題が生じる。そのため、各方向からの最適なオフセットの要請に全て応えることが不可能である。そこで、本手法ではサイクル長の統一は行わず、各交差点の流出台数から車両の車群到着プロファイルを推定することによって各交差点からの要求内容を最大限満たすようなパラメータを設定する。

(1) 概要

本稿では、オフセットを最適化する交通信号制御手法を提案し、他の手法と性能の比較を行う。本手法では、まずスプリット、すなわち各方向を制御する現示の時間比を決定し、サイクル長の決定を行う。なお、今回シミュレーションを行うネットワークの信号交差点は単純な十字路とし、2現示で制御を行うものとする。各交差点は交差点車両流出台数と自身の交通信号情報を持ち、隣接交差点と情報をリアルタイムで更新し合いながら、個々でパラメータの調整を行う。流出台数はサイクルごとに集計され、各交差点のパラメータもサイクルおきに更新される。基準サイクル長は一定として決められた幅で変動する。スプリットは交通量に基づいて比例配分する。このとき、 $\sigma_{(i,p)}$ は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} & \underset{\sigma_{(i,p)}}{\text{minimize}} && \sum_p \left(\sigma_{(i,p)} - \frac{\lambda_{(i,p)}}{\sum_k \lambda_{(i,k)}} \right)^2 \\ & \text{subject to} && \sum_p \sigma_{(i,p)} \cdot Cy_i + T_{i,clearance} = Cy_i \quad (1) \\ & && \sigma_{(i,p)} \cdot Cy_i \geq L_{(i,p)} \end{aligned}$$

ここで、

$\sigma_{(i,p)}$: 交差点 i の信号における現示 p のスプリット

$\lambda_{(i,k)}$: 交差点 i , 信号現示 k の飽和度

$T_{i,clearance}$: 交差点 i の黄時間、全赤時間の和

$L_{(i,p)}$: 交差点 i , 信号現示 p の最小青時間を表す。

(2) GOM (Green Overlap Maximization)

本項では、GOM (Green Overlap Maximization) について説明する。GOM とは、図-3 に表されるようなオフセット最適化手法である。

制御する交差点を i 、交差点 i に隣接する交差点を j と表す。ここで各交差点は、サイクルおきの車両流出台数 $\lambda_{i \rightarrow j}$ 、隣接交差点 j の方向に対するスプリット $\sigma_{i(j)}$ 、サイクル長 $Cy_{i,pre}$ をもつ。簡単のため、ここで表すスプリットには、クリアランス時間も含めることにする。つまり、各交差点はスプリットの値を2つ持ち、その合計は1となる。また現在の時間を t_{now} と表し、各交差点の現在のサイクル終了時刻(次のパラメータ更新時間)を $t_{i,r}$ と表す。

現示時間の推定 現在の制御パラメータに基づいて、1サイクル先と2サイクル先の予想される青開始時刻と終了時刻を求める。 $t_{i,s1}$ は制御交差点の次のサイクルのフェーズ開始時刻を表し、 $t_{i,f1}$ は制御交差点の次のサイクルのフェーズ終了時刻を表す。同様に、2サイクル先のフェーズ開始時刻、終了時刻を $t_{i,s2}$, $t_{i,f2}$ と表す。サイクル開始直後に隣接交差点 j の存在する方向に流入口を持つ現示が開始されるならば、 $t_{i,s1}$, $t_{i(j),s1}$ は次のように表される。

$$t_{i(j),s1} = t_{i,r} \quad (2)$$

$$t_{j,s1} = t_{j,r} \quad (3)$$

直後に隣接交差点方向と異なる方向の現示が開始された場合は、次のように表される。

$$t_{i(j),s1} = t_{i,r} + (1 - \sigma_{i(j)})Cy_{ref} \quad (4)$$

$$t_{j,s1} = t_{j,r} + (1 - \sigma_{j(i)})Cy_{ref} \quad (5)$$

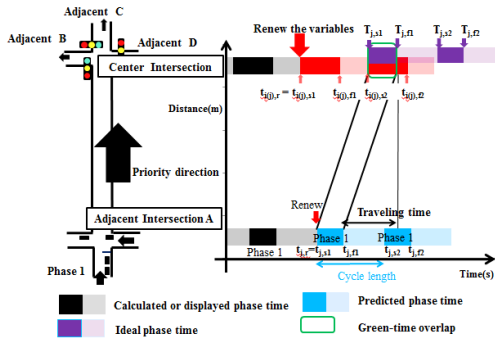


図-4 青時間オーバーラップ

ここで、 Cy_{ref} は基準サイクル長を表す。また、隣接交差点 j の予測現示時間は、次のように与えられる。

$$t_{j,f1} = t_{j,s1} + Cy_{ref} \cdot \sigma_{j(i)} \quad (6)$$

$$t_{j,s2} = t_{j,s1} + Cy_{ref} \quad (7)$$

$$t_{j,f2} = t_{j,f1} + Cy_{ref} \quad (8)$$

これらの値は図-4 に示す。

最適なパラメータの算出 まず初めに、各隣接交差点から車両が流入してくる際に最も理想的な青開始時刻を計算する。このとき、交差点間距離 $l(i, j)$ と車両の平均速度 $v(i, j)$ から交差点間の旅行時間 $t_{transyt}(i, j)$ を求めておく。

$$t_{transyt}(i, j) = \frac{l(i, j)}{v(i, j)} \quad (9)$$

予測現示時間 $t_{j,j}$ と交差点間の旅行時間に基づいて、隣接交差点 j との理想現示時間 $T_{j,K}$ を次のように算出する。

$$T_{j,K} = t_{j,K} + t_{transyt}(i, j) (K = s1, f1, s2, f2) \quad (10)$$

これらの値を図○に示す。

オーバーラップ最大化 (オフセットの決定) パラメータ決定にあたって、以下のような最適化問題 (11) を定義する。ここでは、青時間重複の合計 $\sum_j W_{(i,j)}$ を最大化する ΔCy を求める。

$$\begin{aligned} & \text{maximize}_{\Delta Cy} \sum_j W_{(i,j)}(\Delta Cy) \\ & \text{subject to } W_{(i,j)}(\Delta Cy) = \int f_{(i,j)}(t; \Delta Cy) dt \quad (11) \\ & \Delta Cy \leq M \cdot Cy_{ref} \end{aligned}$$

ここで、 W は重複青時間を表す。このとき、青時間重複を離散値で表した値 $f(t)$ は次のように与えられる。

$$f_{(i,j)}(t; \Delta Cy) = \begin{cases} 1 & (t \in (P_i(i, j) \cap P_j(i, j))) \\ 0 & (t \notin (P_i(i, j) \cap P_j(i, j))) \end{cases} \quad (12)$$

ここで、 $P_i(i, j)$, $P_j(i, j)$ は式 (13)(14) のように定義する。

$$P_i(j) = t \mid t_{i(j),s2} \leq t \leq t_{i(j),f2} \quad (13)$$

$$P_j = t \mid T_{j,s1} \leq t \leq T_{j,f1}, T_{j,s2} \leq t \leq T_{j,f2} \quad (14)$$

ここで、 $t_{i,f1}$, $t_{i,s2}$, $t_{i,f2}$ は次のように定義する。

$$t_{i,f1} = t_{i,s1} + (Cy_{ref} + \Delta Cy) \cdot \sigma_{i(j)} \quad (15)$$

$$t_{i,s2} = t_{i,s1} + (Cy_{ref} + \Delta Cy) \quad (16)$$

$$t_{i,f2} = t_{i,f1} + (Cy_{ref} + \Delta Cy) \quad (17)$$

もし ΔCy の値が複数出てきた場合は、絶対値の最も小さい ΔCy を選択する。

(3) GOMVAP (GOM Considering Vehicle Arrival Profile)

青時間の中でも、車群の通過する時間帯と車の通過しない時間帯が存在する。特に青開始時間直後は、信号待ちをしていた車両が一斉に流れ出し、車群を形成していると考えられる。そこで、青時間重複最大化を行うにあたって、車群到着が考えられる部分に重みづけを行う。まず、隣接交差点の流出台数から車両到着プロファイルを推定する。交差点の車両流出プロファイルは、最初の $T_{startup}$ 秒間は立ち上がり時間であり、その後飽和交通流が続くものとする。

$$Pro_{out}(t) = \begin{cases} a(t) & (0 \leq t < T_{startup}) \\ b(t) & (T_{startup} \leq t < T_{platoon}) \\ 0 & (T_{platoon} \leq t) \end{cases} \quad (18)$$

ここで、

$Pro_{out}(t)$: 車両流出プロファイル

$a(t)$: 立ち上がり時間の車両流出を表す関数

$T_{startup}$: 立ち上がり時間

$b(t)$: 飽和交通流

$T_{platoon}$: 車群全ての車両が交差点を通過し終える時間

$Pro_{out}(t)$ は、飽和度で表される。車両流出プロファイルの車両の合計は車両流出台数と等しくならなければならない。

$$\lambda = \int Pro_{out} dt \quad (19)$$

$T_{platoon}$ は λ から計算される。車両到着プロファイルはそこから TRANSYT 車群拡散モデル (図-5) を用いて推定する。この予測された車群到着プロファイルを、旅行時間に合わせて絶対時刻 t をもつ関数に変換する。その際、 $\alpha_{(i,j)}(t)$ は簡略化する。

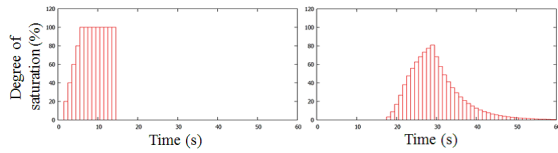


図-5 TRANSYT 車群拡散モデル

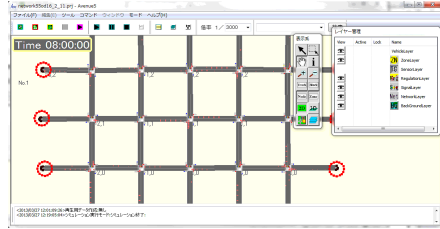


図-6 AVENUE のスクリーンショット

まとめると、 ΔCy 次のような最適化問題によって求められる。

$$\begin{aligned} & \text{maximize}_{\Delta Cy} \sum_j W_{(i,j)}(\Delta Cy) \\ & \text{subject to } W_{(i,j)}(\Delta Cy) = \int \alpha_{(i,j)}(t) f_{(i,j)}(t; \Delta Cy) dt \\ & \Delta Cy \leq M \cdot Cy_{ref} \end{aligned} \quad (20)$$

5. 実験と考察

(1) 実験環境

我々は、交通シミュレーションソフト「AVENUE」(図-6)を用いて複数の状況で実験を行い、交通信号制御システムの性能を比較評価した。作成したネットワークは、縦横方向に5つずつの十字路交差点が並ぶ、基盤目状のネットワークである(図-7)。各交差点間の道路の長さは250mとし、各道路は双方向交通で、1方向につき2車線とした。また、各交差点は4方向の流入路を持ち、交通信号制御機が設置され、全ての信号機は縦方向、横方向の交通を交互に流す2現示式とした。そして、各交差点の出口、すなわち各リンクの上流端には感知器を設置した。

車両の自由流速度は50km/hとし、各車線の飽和交通流率は1800台/時とした。シミュレーション中、全ての車両は直進し、右左折は行わないものとした。交通量のパターンとして以下のケースを用意して実験を行った(表-1)。

全ての交通はOD交通量によって指定する。パターン1では、全方向の交通量が同じである。パターン2では、縦方向と横方向の道路のうち交通量が多

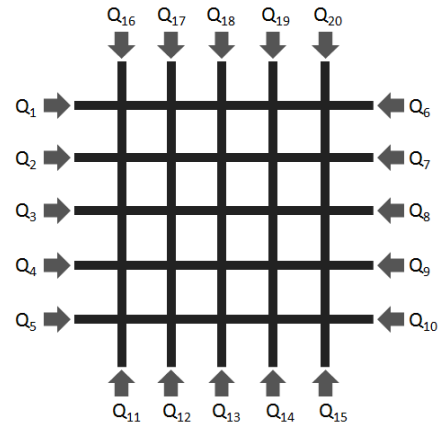


図-7 シミュレーションネットワーク

い道路がそれぞれ一本ずつある。パターン3では、縦横の道路のうちそれぞれ二本ずつの交通量が多い。パターン4では、シミュレーション時間中に交通量が変動する。パターン5はネットワーク全体の交通量が他に比べて多く、より飽和状態に近い。各交通はポアソン到着とする。

我々は提案手法であるGOMVAPと、既存手法であるSCOOT、およびSCOOTを分散的に制御した手法であるDecSCOOTを比較した。DecSCOOTの手法は、交通信号パラメータを制御するにあたってPIを用いているという点でSCOOTに類似している。しかしDecSCOOTはネットワーク全体のサイクル長を統一せず、各信号で最適なサイクル長を決定する。 ΔCy は次のように与えられる。

$$\text{minimize}_{\Delta Cy} PI(\Delta Cy) \quad (21)$$

subject to

$$PI(\Delta Cy) = \sum_j (W_D D_j(\Delta Cy) + W_S S_j(\Delta Cy)) \quad (22)$$

$$\Delta Cy \leq M \cdot Cy_{ref} \quad (23)$$

ここで、

M : サイクル長の変化幅の割合の最大値

D_j : 遅れ時間

S_j : 停止回数

また、 PI は performance index を表す。各交差点の交通信号パラメータは、 PI を最小化するように決められる。

また、DecSCOOTとGOMVAPについて、通常の制御の他に、交通量の多い1方向だけを優先する制御も考える。1方向優先制御では、その交差点の流入方向のうち最も交通量の多い方向が選ばれ、その方向の道路が優先的に制御される(図-8(a))。一方で2次元制御の多くはすべての方向を考慮に入れる(図-8(b))。こ

表-1 OD 交通量のパターン

Pattern	Vehicle inputs (vehicles/hour)
1	$Q_{1-20} = 600$
2	$Q_{4,9,13,18} = 1200, Q_{others} = 600$
3	$Q_{3,4,8,9,13,14,18,19} = 900, Q_{others} = 600$
4	$Q_{9,18} = 1200, Q_{4,13} = 900 \rightarrow 1500, Q_{1,2,3,5} = 480 \rightarrow 720, Q_{others} = 600$
5	$Q_{3,4,7,8,13,14,17,18} = 1200, Q_{others} = 900$

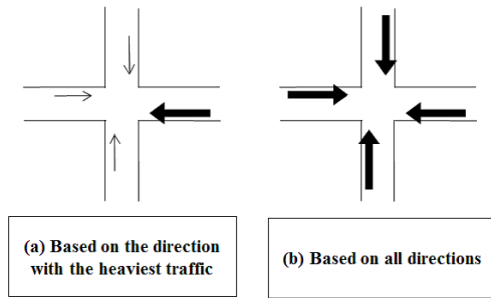


図-8 制御方向の決定

の方法を用いると、幹線道路が制御されることになる。なぜなら幹線道路の交通量は他の道路よりも多いからである。このようにして、我々は二次元制御と一次元制御の比較も行う。

各シミュレーション時間は1時間である。すべての交通信号の制御パラメータは整数値とする。これはシミュレータの制約による。各信号において、黄時間は3秒、全赤時間は2秒とし、これらの値は固定する。標準サイクル長は100秒とする。サイクル長の変動幅は標準サイクル長の8分の1以下とする。すなわち、サイクル長の取りうる値は88秒以上112秒以下である。各信号、各現示のスプリットは飽和度 DS (Degree of Saturation) の比によって割り当て、最大値は0.8、最小値は0.2とした。最初の10分間に出発した車両の遅れ、停止は結果の計算に含めないものとした。

(2) 結果1 : SCOOT と GOMVAP の比較

まず、既存手法である SCOOT と提案手法の GOMVAP の性能を比較した。その結果、表-2 のように、GOMVAP の方が遅れ時間、停止回数ともに小さくなり、性能がより高いことを示している。既存手法である SCOOT での交通信号制御は、ネットワークでサイクル長を統一することによるオフセット閉合問題の影響が表れていると考えられる。

表-2 SCOOT と GOMVAP の比較結果

Pattern 1			
Method	Vehicles	Stops	Delay
SCOOT	653.8	2.09	84.7
GOMVAP	633.6	1.68	77.5

Pattern 2			
Method	Vehicles	Stops	Delay
SCOOT	798.2	2.30	88.8
GOMVAP	772.8	1.96	80.5

Pattern 3			
Method	Vehicles	Stops	Delay
SCOOT	790.0	2.05	85.5
GOMVAP	775.7	1.71	81.8

Pattern 4			
Method	Vehicles	Stops	Delay
SCOOT	802.2	2.46	89.8
GOMVAP	779.4	1.79	83.8

Pattern 5			
Method	Vehicles	Stops	Delay
SCOOT	1195.4	2.63	101.2
GOMVAP	1115.0	1.78	85.2

(3) 結果2 : 1 方向優先制御と全方向を考慮した制御の比較

次に、交通量の最も多い1方向だけを優先する制御と全方向を考慮に入れた制御の比較を行った。比較に用いたのは DecSCOOT で、パラメータの決定を行う際に1方向を優先するか全方向を計算に含めるかという点においてのみ差をつけた。すると、表-3 のように、全方向の交通量をパラメータ決定に用いた方が遅れ時間、停止回数ともに少なく、ネットワーク内に存在する平均台数も少ないことから交通流がスムーズに流れていることが分かった。

(4) 結果3 : DecSCOOT と GOMVAP の比較

最後に、DecSCOOT と GOMVAP の比較を行った。その結果、表-4 のように、交通量のパターンによって

表-3 1方向優先制御と全方向を考慮した制御の比較結果

Pattern 1			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT (1d)	638.1	2.06	78.7
DecSCOOT	632.8	1.76	77.2

Pattern 2			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT (1d)	795.0	2.39	88.0
DecSCOOT	795.6	2.12	88.7

Pattern 3			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT (1d)	786.7	2.21	85.5
DecSCOOT	770.1	1.87	80.0

Pattern 4			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT (1d)	789.1	2.22	87.0
DecSCOOT	787.8	1.98	86.0

Pattern 5			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT (1d)	1148.3	2.45	92.0
DecSCOOT	1137.8	2.00	90.8

差があるものの、総合的に見ると GOMVAP の方が高い性能を発揮した。

6. 結論

本稿では、我々は青時間オーバーラップと到着車両プロファイルを考慮に入れることでオフセットを最適化する新しい信号制御手法を提案した。シミュレーションの結果から、提案した交通感应型二次元制御は従来の手法と比較してより効率がよく、動的な交通需要に対しても従った。この手法が都市部の交通ネットワークの制御においてより柔軟で効率的な制御を行うことが期待される。

今後、我々は都市部の道路ネットワークにおいて、より現実的な交通状況にこの手法を適用させるつもりである。そのため、右左折、複数現示交差点、過飽和といった状況を取り入れていく必要がある。

参考文献

- 1) J.D.C. Little., M.D. Kelson and N.H. Gartner: MAXBAND: A Program for Setting Signals on Arteries and Triangular Networks, Transportation Research Record 795: Traffic Flow Theory and Characteristics, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1981, pp. 40-46.
- 2) N.H. Gartner, S.F. Assmann, F.Lasaga, and D.L. Hou, "A MULTIBAND Approach to Arterial Traf-

表-4 DecSCOOT と GOMVAP の比較結果

Pattern 1			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT	632.8	1.76	77.2
GOMVAP	633.6	1.68	77.5

Pattern 2			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT	795.6	2.12	88.7
GOMVAP	772.8	1.96	80.5

Pattern 3			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT	770.1	1.87	80.0
GOMVAP	775.7	1.71	81.8

Pattern 4			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT	787.8	1.98	86.0
GOMVAP	779.4	1.79	83.8

Pattern 5			
Method	Vehicles	Stops	Delay
DecSCOOT	1137.8	2.00	90.8
GOMVAP	1115.0	1.78	85.2

fic Signal Optimization," in Transportation Research, 25B(1), 1991, pp. 55-74.

- 3) D.I. Robertson and R.D. Bretherton, "Optimizing Networks of Traffic Signals in Real-time: the SCOOT Method," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 40, no. 1, Feb 1991, pp. 11-15.
- 4) A.G. Sims and K.W. Dobinson, "The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) System Philosophy and Benefits," IEEE Transactions on Vehicular Technology vol. VT-29, no. 2, May 1980, pp. 120-137.
- 5) H. Sakakibara, T. Usami, S. Itakura and T. Tajima, "MODERATO (Management by Origin Destination Related Adaptation for Traffic Optimization)," Proc. of IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation System, pp.38-43, 1999.
- 6) M. Sugi, H. Yuasa, J. Ota and T. Arai, "Autonomous Decentralized Control of Traffic Signals with Closed-loop Constraints on Offsets," SICE 2003 Annual Conference 4-6 Aug. 2003, vol. 2 pp. 1954-1960.
- 7) S. Lammer, H. Kori, K. Peters, and D. Helbing, "Decentralised Control of Material or Traffic Flows in Networks Using Phase-synchronisation" Physica A, vol. 363, pp. 39-47, 2006.
- 8) K. Sekiyama, J. Nakanishi, I. Takagawa, T. Higashi and T. Fukuda, "Self-organizing Control of Urban Traffic Signal Network," IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 4, pp. 2481-2486, 2001.
- 9) I. Arel, C. Liu, T. Urbanik, A.G. Kohls, "Reinforcement Learning-based Multi-agent System for Network Traffic Signal Control," IET Intelligent Transport Systems, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 128-135.
- 10) M. Wiering, "Multi-agent Reinforcement Learning for Traffic Light Control," Proceedings of the Seventeenth International Conference (ICML'2000), 2000,

pp. 1151–1158.

- 11) Jee-Hyong Lee and Hyung Lee-Kwang, Member, IEEE, “Distributed and Cooperative Fuzzy Controllers for Traffic Intersections Group,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, vol. 29, no. 2, May 1999.
- 12) B.P. Gokulan, Student Member, IEEE, and Dipti Srinivasan, Senior Member, IEEE, “Distributed Geometric Fuzzy Multiagent Urban Traffic Signal Control,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 3, Sept 1999.
- 13) D.I. Robertson, “TRANSYT Method for Area Traffic Control,” *Traffic Engineering and Control*, vol. 11, no. 6, 1969, pp. 276–281.

(2013. 5. 7 受付)

REAL TIME TRAFFIC SIGNAL CONTROL USING VEHICLE DETECTORS IN URBAN AREAS

Hiromasa Niimi, Naohisa Aoki, and Shunsuke Kamijo

To reduce congestion on arterial roads, many comprehensive studies on corridor traffic signal control for arterial roads have been performed. However, it is difficult to apply these signal control methods to urban road networks in which most of the links are major roads and none has priority for traffic control over another. To solve congestion problems in urban road networks, we propose an algorithm to optimize the offset value of each intersection by considering the boundary conditions of the offset values at adjacent intersections and the estimated vehicle arrival profile. The proposed algorithm maximizes the overlap of green time among adjacent intersections, where the traveling time of each link is taken into account to estimate the green time overlap and predict the vehicle profile using the TRANSYT model. Traffic simulations were performed using AVENUE, and the proposed algorithm was proved to improve the traffic efficiency. In this study, simulations were performed under the conditions of under-saturated traffic.