

道路網の観点からみた混雑時の系統信号のオフセット制御*

Offset Control of Signal Coordination under Congested Conditions Considering Whole Network*

岩永和大**・久井 守***

By Kazuhiro IWANAGA**・Mamoru HISAI***

1. はじめに

本研究は、ネットワークシミュレーションによる計算例をとおして過飽和交差点を含む系統交通信号のオフセット制御について考察したものである。過飽和条件下にある交差点ではサイクル長やスプリットも重要な制御パラメータとなるが、本研究では特にオフセット制御に着目する。まず過飽和系統信号路線のみからみた場合の非渋滞方向優先オフセット、オフセット禁止領域、交差方向からの流入抑制などについて考察する。次にネットワーク全体の中の系統信号路線という観点から考察する。ネットワークを対象としたシミュレーションではOD交通量を配分し総旅行時間を計算し、これを評価指標とする。

2. シミュレーションの概要

本研究ではネットワークシミュレーションによる計算例をとおして、オフセット制御について考察するが、そのシミュレーションの概要は以下の通りである。

- 1) ノードとリンクでネットワークを構成する。
- 2) OD交通を与えてそれをネットワークに流す。
また交通需要の時間変動を与えることができる。
- 3) 車両は1台ずつ扱う。
- 4) タイムスキニング方式で時間を進める。
- 5) 加減速と追従はせず、停止か定速走行とする。
- 6) 水平待ち行列と先詰まりを考慮する。
- 7) 停止波と発進波の伝播速度を考慮する。

- 8) 飽和交通流率を指定することができる。
- 9) リンク別、車線別に車両を走行させる。
- 10) ノードには信号を設け、サイクル長、スプリット、オフセット等は任意に与えることができる。
- 11) 時間最短経路は情報更新間隔ごとに更新する。

3. 旅行時間の計算法

オフセット制御の評価指標としては旅行時間または遅れ時間を用いる。リンクの総旅行時間は、①リンク流出時刻と流入時刻の差を累加するという方法のほか、②車両がリンク内に存在する時間の総和と考えると次のようにして求めることができる。

$$\sum n_k(t)dt \quad (1)$$

すなわち時刻 t におけるリンク k の存在台数 $n_k(t)$ にスキャンサイクル dt を乗じたものをスキャンサイクルごとに総和することによって求めることができる。1台あたりの平均旅行時間はこの総旅行時間を通過台数で割れば求められる。この平均旅行時間から一定速度による走行所要時間（これは一定値）を差し引くことによって遅れ時間を求めることができる。ネットワーク全体の総旅行時間は式(1)をすべてのリンクについて総和すればよい。したがって総旅行時間最小化制御は存在台数最小化制御と等価であり、また交通処理量最大化制御と等価となる。

4. 過飽和系統信号路線のみからみた制御

(1) 非渋滞方向優先オフセット

まず Fig.1 に示すような系統信号路線のオフセット制御について考察する。図中の D はリンク長、 q は交通需要量、 G は青時間、 x は相対オフセットである。系統信号路線のみからみた場合、リンクの片

*キーワード：交通流、交通制御、交通管理、交通情報

**学生会員，山口大学大学院理工学研究科

(〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1,
iwanaga@plan.csse.yamaguchi-u.ac.jp)

***正会員，工博，山口大学工学部知能情報システム工学科
(〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1, TEL & FAX 0836-85-9533,
hisai@plan.csse.yamaguchi-u.ac.jp)

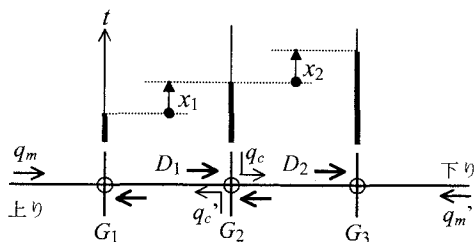


Fig.1 系統信号路線の例

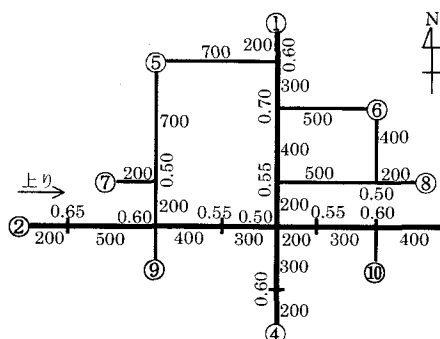


Fig.2 計算対象ネットワーク

方向が過飽和でその逆方向に渋滞がない交通条件下では、非渋滞方向の優先オフセットが最適となる³⁾。なぜなら過飽和方向の交通処理量は下流のクリティカル交差点のスプリットで決まりオフセットには関係しないからである。

交差道路から右左折による流入交通 q_c がない系統信号路線の場合には、ネットワーク全体からみてもやはり非渋滞方向優先オフセットが最適となる。なぜならネットワークと相互の影響はないからである。

(2) オフセットの推奨領域

リンク長が短い場合あるいはサイクル長（および青時間）が長い場合には、リンク下流交差点から1サイクル中に流出する交通量をリンク内に貯留できないことが起こる。このような場合には、

$$-D/v_s \leq x \leq D/v_f \quad (2)$$

の範囲内のオフセット x (単位: 秒) が望ましい。ここに D はリンク長 (m), v_f は自由速度 (m/秒), v_s は発進波の伝播速度 (m/秒) である。 D/v_f は優先オフセット, D/v_s は発進波の到達所要時間である。この範囲以外のオフセットではリンク下流交差点の青信号に無駄が生じて処理交通量の減少につながる可能性がある。

Table 1 OD 表 (単位: 台/時)

$\begin{matrix} o & d \end{matrix}$	1	2	3	4	U_i
1	0	0	100	200	300
2	0	0	700	0	700
3	0	700	0	0	700
4	400	50	0	0	450
5	0	0	100	0	100
6	0	0	0	300	300
7	0	0	300	0	300
8	0	0	0	300	300
9	0	50	0	0	50
10	0	300	0	0	300
V_j	400	1100	1200	800	3500

交通需要比率

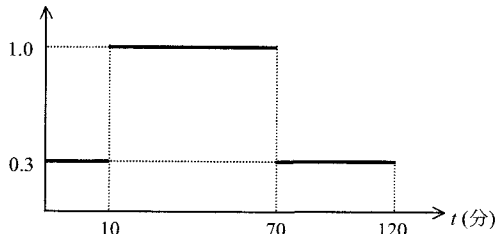


Fig.3 交通需要の時間変動

(3) 交差方向からの流入を抑制するオフセット

待ち行列が上流交差点に到達して先詰まりが発生した時点で交差方向が青信号になるようなオフセットを設定すれば、交差道路から右左折で流入してくる交通を抑制し、系統信号路線方向のみの観点から都合のよい制御を行うことは可能である。

5. 道路網全体からみたオフセット制御

Fig.2 のようにネットワーク内にある東西方向の系統信号路線(②-③)を結ぶ路線について考える。この図ではリンク長 (m) と各信号の現示率を示している。系統信号路線と①-④を結ぶ南北方向の幹線が交差する交差点をクリティカル交差点と想定し現示率を 0.50 とし、またサイクル長は 100 秒, 損失時間は 0 秒, 飽和交通流率は 1600 台/青時とした。このネットワークに Table 1 の OD 表と Fig.3 の時間変動から求めた OD 交通を距離的最短経路に配分する。すなわち経路を固定した場合について考える。この場合には各リンクの交通需要の変動は既知となり、最も飽和度の高いクリティカル交差点の処理が問題となる。また総旅行時間最小の観点からすると、式 (1) から判断されるようにネットワークから流出する交通量すなわち交通処理量を最大化する制御が望ましい。

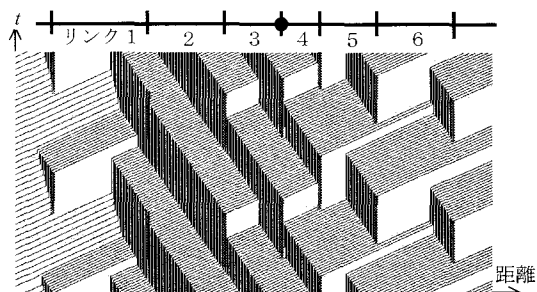


Fig.4 上り走行軌跡 (系統路線最適制御時)

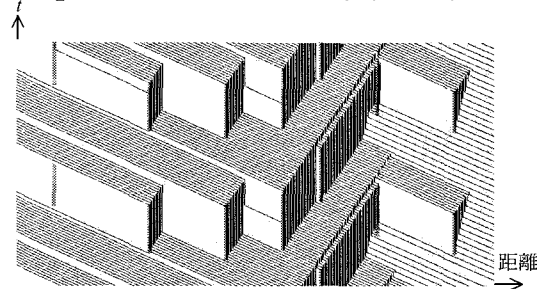


Fig.5 下り走行軌跡 (系統路線最適制御時)

(1) 系統信号路線のみを最適化した場合

まず系統信号路線のみの総旅行時間を評価関数とした場合を考える。この総旅行時間には流入リンクの旅行時間も含める。総旅行時間は実時間 120 分のシミュレーションから②の方法で求める。それを評価関数として勾配法で系統信号路線のオフセット最適化を行った。未知数は 6 リンクの相対オフセット $x_1, x_2, \dots, x_6$ である。東西方向の系統信号路線以外の相対オフセットはすべて一定で 0 とした。最適化計算では初期オフセットをランダムに与えて 8 ケース計算したほか、非渋滞方向優先オフセットを初期オフセットとして計算した。その結果、非渋滞方向優先オフセットとは異なるオフセットが最適となった。計算結果の中から評価関数を最小にするオフセットを選んで、それを設定した場合の走行軌跡を Fig.4 および Fig.5 に示す。

(2) 道路網全体を最適化した場合

次に道路網全体の総旅行時間を評価関数として、系統信号路線のオフセット最適化を行った。評価関数を変更した点以外はすべて同じ計算条件とした。その結果、この場合も非渋滞方向優先オフセットとはやや異なるオフセットが最適オフセットとして得られた。評価関数を最小にするオフセットを選んで設定した場合の走行軌跡を Fig.6 および Fig.7 に示す。

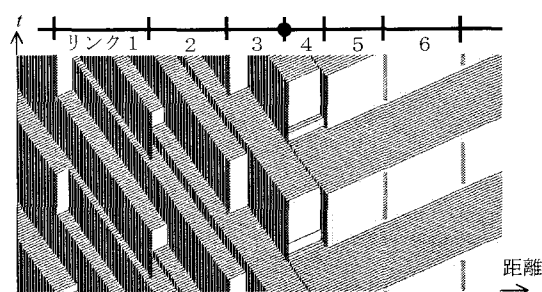


Fig.6 上り走行軌跡 (道路網全体最適制御時)

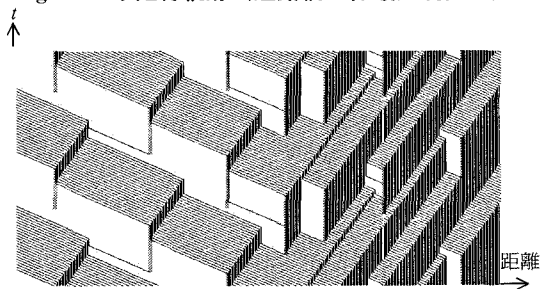


Fig.7 下り走行軌跡 (道路網全体最適制御時)

この図より、リンク 1, 2, 3 の上り方向が過飽和となり、その逆方向の下り方向を優先的にするオフセットとなっていることがわかる。またリンク 4, 5, 6 では下り方向が過飽和となり、その逆方向の上り方向を優先的にするオフセットとなっていることがわかる。

最適化の対象範囲が総旅行時間に及ぼす影響を Table 2 に示す。この表から、系統路線のみを最適化した場合のオフセットは必ずしも道路網全体からみて最適とはならず、道路網全体を最適化した場合のオフセットは系統路線のみをみたときには必ずしも最適とはならないことがわかる。

Table 2 最適化の対象範囲と総旅行時間の関係

最適化の対象範囲	総旅行時間 (単位: 台・時/時)		
	系統路線	系統路線以外	道路網全体
系統路線のみ	137.4	234.0	371.4
道路網全体	224.7	96.1	320.8

シミュレーション経過時刻 65 分付近のネットワークの交通状況を Fig.8 および Fig.9 に示す。Fig.8 の系統路線の最適制御では交差道路に渋滞が広がっている。これは交差道路から系統路線への流入を抑

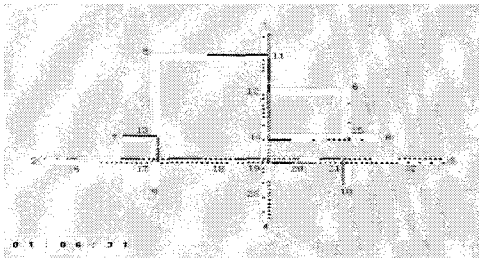


Fig.8 系統路線最適制御時の交通状況

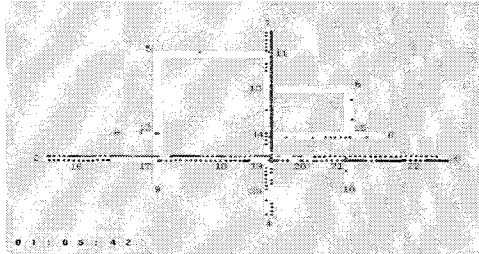


Fig.9 道路網全体最適制御時の交通状況

制した結果、すなわち交差道路を犠牲にし系統信号路線を優遇する制御を行った結果であると解釈することができる。これに対して、道路網全体の最適制御では渋滞が分散していることがわかる。

6. 経路選択を考慮した場合のオフセット制御

次に経路選択を考慮した場合について、渋滞リンクのオフセットの影響について考察する。Fig.10のように渋滞リンクを1つだけ含む小規模なネットワークを対象として配分シミュレーションを行い、その結果から渋滞リンクの相対オフセットと道路網全体の総旅行時間の関係を求め、渋滞リンクのオフセットが道路網全体に及ぼす影響について考察する。図ではリンク長と飽和交通流率 S (台/青時)を示している。スプリットは $g_4=0.55$, $g_5=0.50$, サイクル長は $C=100$ 秒, 損失時間は $L=0$ とした。①→③および②→③には800台/時のOD交通量があり、いずれもリンク5を通る経路が距離的に最短となるように条件を設定している。

車両は起点を出発する時点で旅行時間最短の経路を選択する。時間最短経路は情報更新間隔ごとに探索し更新する。本研究では情報更新間隔を5秒とし、できるだけ等時間原則配分が得られるようにした。計算結果をFig.11に示す。総旅行時間は5.と同様に②の方法で求めた。この図からオフセットに

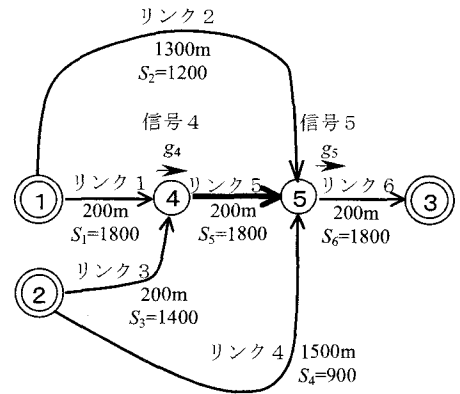


Fig.10 計算対象ネットワーク^{1), 2)}

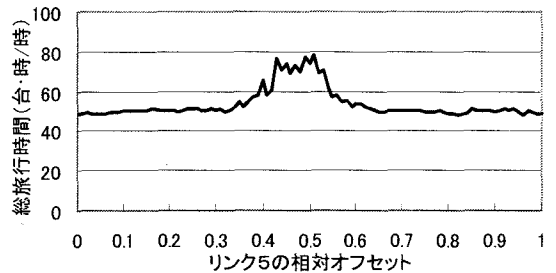


Fig.11 総旅行時間とオフセットの関係^{1), 2)}

応じて総旅行時間が変化し、総旅行時間を最小にするオフセットを探索する意義があることがわかる。

7. むすび

道路網全体の総旅行時間を評価関数とし、これを最小にする制御は、系統信号路線のみの旅行時間を考慮した制御とは異なり、またMODERATO³⁾のように交差道路からの流入を抑制することは道路網全体の観点からみて必ずしも望ましいとはいえないことがわかった。またいずれの制御でも、交差道路から右左折流入がある場合には、非渋滞方向優先オフセットが必ずしも最適とはならないという計算結果となった。さらに渋滞リンクのオフセットはネットワーク全体の総旅行時間に影響することがわかった。

参考文献

- 1) 岩永和大, 久井守, 南正昭: 配分シミュレーションによる渋滞リンクのオフセット最適化への検討, 平成12年度土木学会中国支部研究発表会, pp.503-504, 2000
- 2) 久井守, 岩永和大, 南正昭, 福島永士: 交通配分による渋滞リンクのオフセットがネットワーク全体に及ぼす影響分析, 山口大学工学部研究報告, Vol.51, No.1, pp.25-31, 2000
- 3) 日本交通管理技術協会: 警察によるITS, p.87, 1998