

実環境を再現した交通道路網による 交通信号制御

西原稔貴[†] I Gede Pasek Suta Wijaya[†] 松元駿太[†]
上瀧剛[†] 内村圭一[†] 杉谷浩^{††} 石垣信一^{††}

[†] 熊本大学大学院自然科学研究科 ^{††} ネットワーク応用技術研究所

近年、交通渋滞が慢性化することにより様々な問題に対して深刻な影響を与えている。この状況に対し、数々の対策が用いられてきたが、これらの対策は利用者等への経済負担が非常に大きい。本研究では、複雑な最適化問題においても致死解を出さず確実に世代交代を行うマルチエレメント GA を開発し、その GA を用いた交通信号機制御システムを作成した。そのシステムを使用し、シミュレータ Aimsun6.1 内に作成した現実交通網モデルの交通信号パラメータを最適化した。そのシミュレーション結果を検証し、良好な結果が得られたので報告する。

Traffic Signal Control Using Road Network Replicated Real World

Toshiki Nishihara[†] I Gede Pasek Suta Wijaya[†] Syunta
Matsumoto[†] Gou Koutaki[†] Keiichi Uchimura[†] Hiroshi
Sugitani^{††} and Shinichi Ishigaki^{††}

[†] Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

^{††} Network Applied Communication Laboratory Ltd.

Recently, traffic congestion becomes chronic problem which greatly affects the several problems. Several methods have been proposed to solve these problems. However, they still have problems in terms of economic load and driver difficulty. In this study, we developed the Multi-Element GA conducted certainly generation recombination for various complicated optimization problem and the system optimized traffic signal parameter of real road network we created in Aimsun6.1 simulator. We will report the good result verified.

1. はじめに

現代社会において、車は移動手段として主に使用されている。しかし、道路交通需要の伸びや非効率的な利用により、渋滞が至る所で発生しており、特に主要都市においては、交通渋滞が多発しており、経済問題や環境問題に対して深刻な影響を与えている。経済問題においては、渋滞による速度低下のため、全国においての年間の渋滞損失が一人当たり約 30 時間に上っていることや、物流コストの増加等により企業の進展にまで影響を与えている。また、環境問題においては、CO₂ 排出の増大等が挙げられる[1]。これらの問題への現在の対策として、道路の拡張、携帯端末やカーナビゲーション等による渋滞情報の提供、既存の信号機の最適化が挙げられる。道路の拡張は国土の問題により環境等に負荷がかかることや、コスト問題が生じる。携帯端末やカーナビゲーション等による渋滞情報の提供は、それらの研究や実社会への投入などで渋滞が改善される事が証明されている[2][3]。しかし、これらの方法は利用者自身の経済や操作による負担を前提とした対策であり、必ずしも全ての運転者に実益があるとは言えない。

近年の信号制御の研究では、リアルタイムに信号制御を行うセンサを用いた手法が研究されているが、交通量と車線数が多い幹線道路の交差点においては、まだ十分な効果が得られていない[4]。よって、本研究では既存の信号機を利用し、全ての運転者に利益を生み、大規模な範囲で渋滞を緩和し、交通量が多い交差点においても渋滞緩和を行うことを目的として、交通信号の各種パラメータの最適化を図り大規模な交通管理を目指す。

本研究の交通信号の最適化とは、「青、黄、赤」と一周の変化に関する時間であるサイクル時間、隣接する信号との現示の切り替わるタイミングのズレであるオフセット、そして信号の各現示に割り当てた通行許可時間であるスプリット時間という 3 つのパラメータを変化させ、効率的に交通管理を行うことである。交通信号の最適化は困難な組合せ問題であることから、組合せ最適化アルゴリズムの 1 つである遺伝的アルゴリズム(GA)の適用が提案されている[5]。しかし、GA による交通信号制御は、本研究が目指している大規模かつ複雑な道路交通網での制御には至っていなかった。本研究では筆者らが独自に開発したマルチエレメント GA を用いることで、この問題を解決する糸口を捜す。

本稿では、大規模交通網で信号機の最適化を実現するための前段階として、現実の道路交通網をシミュレータ内に作成し実環境を想定したシミュレーションを行い、その結果を報告する。

2. 交通信号制御システム

2.1 マルチエレメント GA

図 1 に交通信号制御システムの流れ図を示す．本システムはマルチエレメント GA 部と評価部(Simulation 部)を，連結部(API 部)で接続することで構成されている．以下に GA 部について示す．

GA は生物の進化過程から着想を得た確率的探索手法である．選択，交叉および突然変異の 3 つの比較的単純な遺伝子操作から構成されているアルゴリズムであり，あらゆる最適化・探索問題に適用可能である．

GA では遺伝子を持つ仮想的な個体の集団を計算機内に設定して，あらかじめ定めた環境に適応している個体が子孫を残す確率を 高くするよう世代交代のシミュレーションを実行し，遺伝子および個体集団を「進化」させる．このように GA は適合度（環境に適合する度合）の高い個体を生成するように動作する[6]．

一般的な GA の大きな特徴として，適用範囲の多様性が挙げられる．しかし，ランダム性が強いことにより，制約条件の多い複雑な最適化問題においては，その問題が与える環境に適応できない個体が生成される可能性が考えられる．このような個体を致死解と呼び，この致死解が同一世代数中の個体の多くを占めると，解が初期収束を起こす可能性が高くなり，最悪の場合は，発散し最適解を導出できずに終わってしまう．

本研究ではそのような致死解を出さず，複雑な最適化問題においても確実に世代交

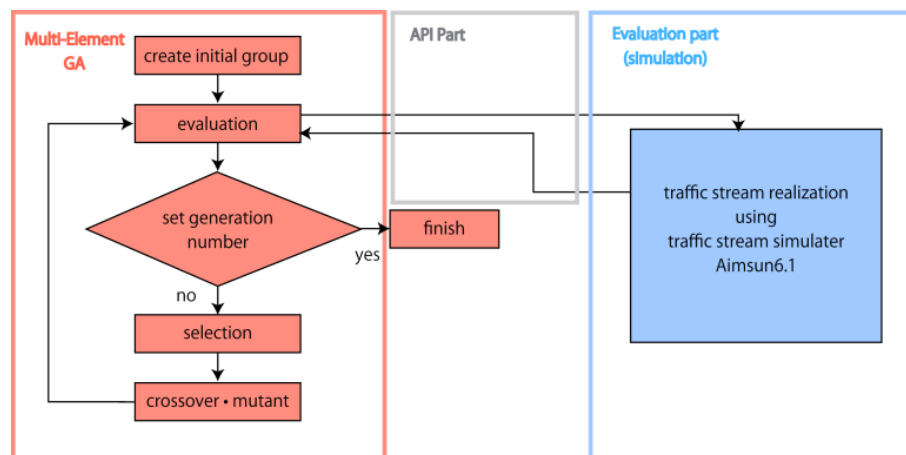


図 1 交通信号制御システムのフローチャート

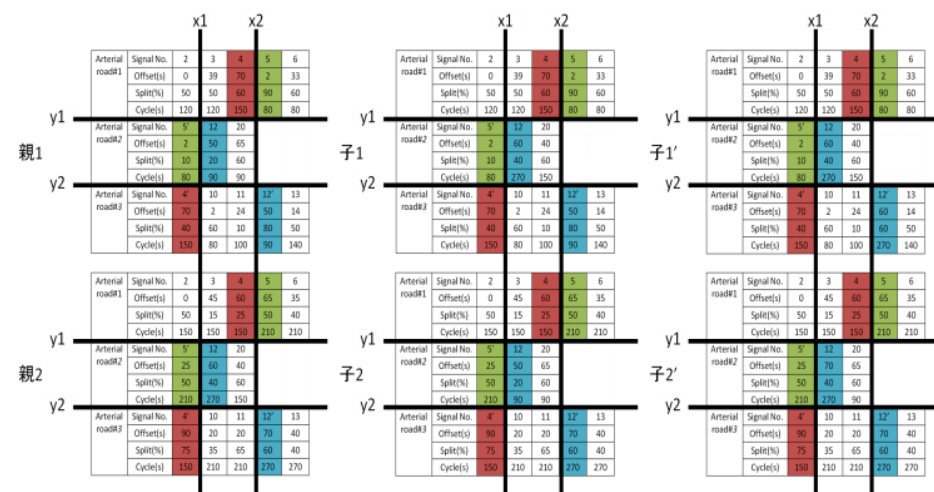


図 2 マルチエレメント GA における交叉の一例

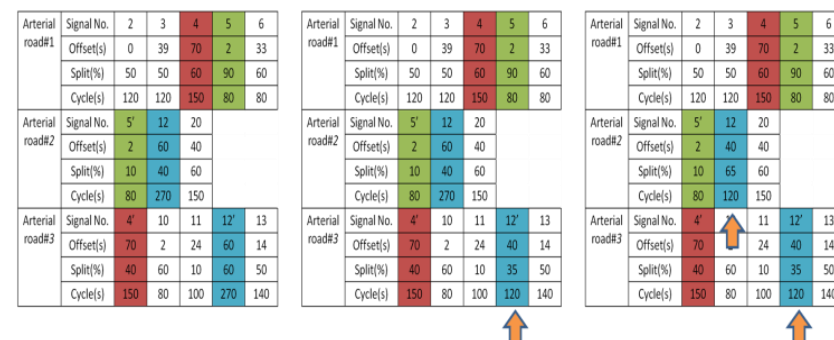


図 3 マルチエレメント GA における突然変異の一例

代を行って最適解を導出する為に，独自に開発した「マルチエレメント GA」を用いる．このマルチエレメント GA は個体表現を図 2 のように多次元配列化し，個体内の遺伝子情報に最適化問題毎でのルール化をするという特徴を持つ．このマルチエレメント GA を用いることで，従来研究では一条道路にしか適応できなかった GA[4]を，広範囲かつ複雑な道路網に対応できるようになった[7][8]．マルチエレメント GA での交叉および突然変異の一例をそれぞれ図 2 および図 3 に示している．

2.2 目的関数

本校のマルチエレメントGAに用いる目的関数 F は次式のように設定する。

$$F = f_s \times f_e \quad (1)$$

$$\text{ここで, } f_s = \exp\left(\frac{t_{delay}}{V_{go}}\right) \quad (2)$$

t_{delay} = Delay Time, V_{go} = Gone Out

$$\text{ここで, } f_e = \exp\left(1 - \frac{V_{go}}{V_{go} + V_{wo} + V_{in}}\right) \quad (3)$$

V_{wo} = Wait Out, V_{in} = Inside

式(2)は理想的な走行時間と実際の走行時間の時間差の1台当たりの平均であるDelayTime(t_{delay})と対象となる道路交通網から脱出した台数であるGoneOut(V_{go})の比を指数とする指数関数で定義されたものである。よって、 f_s の値が小さくなることが理想になる。また、式(3)はGoneOutと、道路交通網内に渋滞等で入れない車両の台数であるWaitOut(V_{wo})と道路網内に存在する車両台数であるInside(V_{in})とGoneOutとを加算した値との比を1から減算して指数関数としているのは、 f_e の値を式(2)と同様に小さくなることを理想とするためである。最終的に、式(2)と式(3)を掛け合わせることで目的関数 F としている。

2.3 信号機パラメータ

道路交通網内の信号機を制御するときに必要な信号機パラメータについて説明する。信号機パラメータには以下に示すOffset, CycleとSplitの3つの種類がある。なお、各信号機にはNode No.という番号を与えている。

- Offset

起点となる交通信号が青になってから、それぞれの交通信号が青になるまでの時間である。この時、Offset = 0[s]の交通信号が起点となる。

- Cycle

各Node No.の交通信号が「青、黄、赤」と一周の変化に要する時間である。Node No.に対して2本以上の一条路が交差している場合は、全ての交通信号の現示の一周に要する時間の合計である。

- Split

各Node No.に割り当てられたCycle内の通行許可割合を表す。通行許可割合とは、どの程度の時間の間、車両の通行を許可するのかを定めた割合である。交差点において、東西道路の交通を制御する信号機のSplitをMain Split、南北道路のそれをSub Splitとす

る。この時、車両が通行出来る交通信号の現示は、青の時間と、黄の時間の前半半分とする。

3. 現実道路交通網でのシミュレーション

3.1 青時間、流入流出の実測

現実の道路交通網を図4に示す。熊本市内で平日の朝夕にNode 1およびNode 3の交差点に激しい渋滞が起こることからこの大江・渡鹿地域を実環境における検証地域とし



図4 シミュレーション対象となる現実の道路交通網

表 1 図 4 の Node1 で実測した信号機の Cycle と Split
(「右」は右折専用信号)(単位:秒)

南北道路	青	黄	右	黄	赤	赤				
	44	3	11	3	3	102				
東西道路	赤					青	黄	右	黄	赤
	64					87	3	6	3	3

表 2 図 4 の道路交通網内に流入する車両の実測台数

流入口 a			流入口 b		
車	バス	トラック	車	バス	トラック
536	14	25	564	4	20
流入口 c			流入口 d		
車	バス	トラック	車	バス	トラック
1490	25	110	429	12	44
流入口 e			流入口 f		
車	バス	トラック	車	バス	トラック
316	1	8	1025	30	63
流入口 g			流入口 h		
車	バス	トラック	車	バス	トラック
164	1	8	335	1	23

表 3 現実の道路交通網の GoneOut (台)

車種別		GoneOut
全車両		5122
内訳	車	4712
	バス	89
	トラック	321

表 4 実測した交通信号パラメータ

	Offset	Cycle	Main Split	Sub Split
Node 1	0s	167s	60%	40%
Node 2	3s	170s	47%	53%
Node 3	7s	173s	60%	40%
Node 4	0s	169s	21%	79%

て選定した。図4の道路交通網に赴き2011年11月30日午前8時～午前9時までの1時間、信号機の青時間割合、道路交通網内に流入する車種毎の車両台数、道路交通網からの脱出台数および交通信号パラメータを実測した。まず、対象信号機を確認し、青、黄、赤の時間を測定した。測定した信号機の青時間割合(Split)を表1に示す。

道路交通網の流入口は図4のa～hとする。図4の道路交通網内に流入する車両台数の結果を表2に示す。ここで、車とは自家用車、タクシーまたは軽トラックを指している。バスは、大型バスにマイクロバスを含んでいる。トラックは2tトラック以上のものをトラックとした。

3.2 道路交通網モデルの作成

現実の道路交通網をシミュレータ Aimsun6.1 内に作成し、この道路交通網をシミュレーションに用いる。本稿で作成した交通道路網を図5に示す。交差点間の距離、車線数と右折車線の長さは現実と同じに設定している。他に次のような設定のための工夫を行っている。

(1). 右折専用信号

図4のNode1およびNode3の交差点には右折専用信号が設けられている。よって、図6に示すように、シミュレータ内の道路交通網にも右折専用信号を作成した。交差点内に入る前にある破線で指す物体が右折専用信号を示している。右折車が交差点内に進入しているのがわかる。なお、マルチエレメント GA 内の右折専用信号および青信号から右折専用信号が変わるときの黄信号は設定されていない。

(2). 歩行者信号

図6の横断歩道の手前に並んでいる小さい点は歩行者である。本研究は渋滞緩和を目的としているので、シミュレーション状況はラッシュ時である午前8時を想定している。よって、通勤、通学者である歩行者の存在は渋滞を招く大きな要因となる。図6に示すように対向車線との間にも信号機があるなどの現実との違いはあるが、現実の交通状況に近づかせるために歩行者の歩道、横断歩道及びそれらの信号機を作成した。これにより、右左折車両は曲がりにくくなり、現実により近い状況で渋滞が発生することとなる。しかし、マルチエレメント GA 内に車両信号との時間差を設けることはできていない。

(3). トラヒック擬似

現実の道路交通網は大規模でシミュレータで今回作成した道路交通網より遥かに巨大である。そのため、作成した道路交通網の周辺で渋滞が起きることがある。その現実を擬似するために流出口の手前に信号機を設置した。図7にそのトラヒック擬似を示す。設置場所は現実の道路交通網の各 Node から一番近い信号機と同じ距離に設置した。これにより作成した道路交通網に渋滞の影響を与える擬似となる。

3.3 道路交通網モデルの妥当性

シミュレータ上における道路交通網モデルの妥当性を検証するためのシミュレーションを行った。道路交通網は図5の道路交通網を使用する。また、流入量は表2に示す測定した現実の流入台数を、信号機パラメータは実測した表4の値を使用する。シミュレーションする前に5分間ウォーミングアップを行い、道路交通網内に予め車両を数十台流入させておく。車両がない状態の道路交通網に車両を流入させても、現実ではありえない状況のためである。

右折専用信号、歩行者信号およびトラヒック擬似を作成したことによる交通量の増減を表5と表6に示す。

表5と表6を比較すると、WaitOutとInsideの車両台数が増加し、Gone Outが減少している。このように、実際の道路交通網のようにシミュレータにおいても渋滞がより発生するような道路交通網を作成できた。また、表3と表6のGone Outを見ると、表6の方が小さい数値になっている。これは、現実の道路交通網では、シミュレータ内に作成した道路交通網にはない小さい道路から車両が脱出した可能性や作成した道路交通網内の住民の車両が道路交通網内に進入した可能性などが理由として挙げられる。それらを考慮しても、大きな差があることは、シミュレータ内の細かな設定が未設定であることが大きな要因であると考えられる。

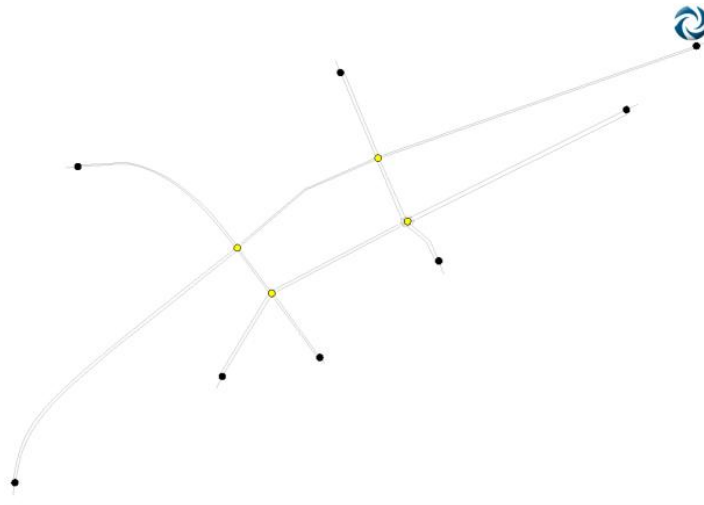


図5 Aimsun6.1で作成した道路交通網モデル

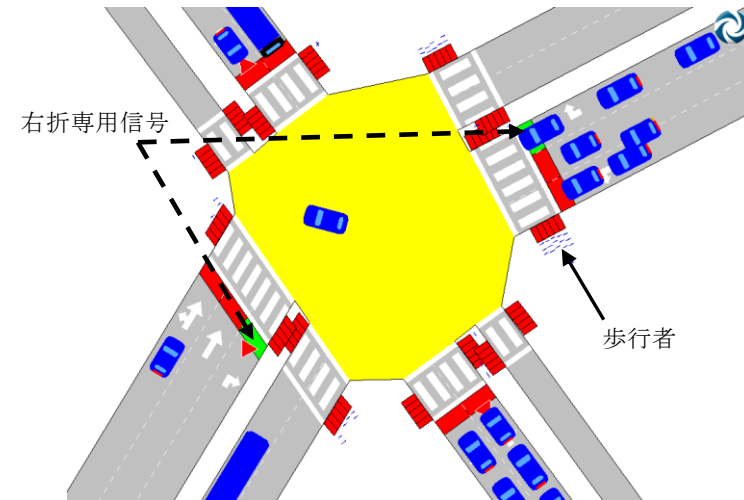


図6 Aimsun6.1内の右折専用信号

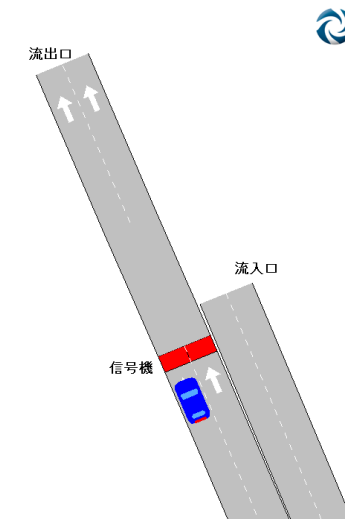


図7 シミュレーション対象となる交通網の周辺にある交差点を擬似したトラヒック擬似

表 5 右折専用信号，歩行者擬似およびトラヒック擬似を用いなかったときの交通量(台)

車両種別		WaitOut	Inside	GoneOut
全車両		62	495	4940
内訳	車	57	459	4562
	バス	1	10	87
	トラック	4	26	291

表 6 右折専用信号，歩行者擬似およびトラヒック擬似を用いたときの交通量(台)

車両種別		WaitOut	Inside	GoneOut
全車両		378	954	4207
内訳	車	340	898	3880
	バス	6	18	82
	トラック	32	38	245

4. 最適な交通信号パラメータにおける交通量および検討

4.1 シミュレータを使用したシミュレーション

シミュレータ上に作成した道路交通網(図5)においてマルチエレメントGAを用いた最適な交通信号パラメータを求め，その値による WaitOut などの交通量をシミュレーションにより求める．今回は，黄信号と右折専用信号時間を青時間に含み検証する．なお，表7にマルチエレメントGAとシミュレータの設定値を示す．シミュレータ内に入力する流入量は表2に示した現実の値を使用する．以下に最適な交通信号パラメータを求める際のシミュレーション条件を示す．

- Offset : Min =0, Max = 150, 増分 $\Delta_{offset}=1$
- Cycle : Min =40, Max = 240, 増分 $\Delta_{Cycle}=1$
- Split : Min =10, Max = 90, 増分 $\Delta_{split}=5$
- 信号機の時間は青時間にのみ決定する

(1). 実測した交通信号パラメータにてシミュレータを稼働した結果

表4に示した現実の交差点での交通信号パラメータを用い，シミュレータに反映してシミュレーションした結果を表8に示す．ただし，現段階でのマルチエレメントGAでは，車両用の交通信号と歩行者用の交通信号との時間差の作成，マルチエレメントGA内の右折専用信号の設定および青信号と右折専用信号の間の黄信号の設定ができ

ていない．このために，このシミュレーションにおいても車両信号と歩行者信号との時間差および，右折専用信号は設定していない．

(2). マルチエレメントGAでの最適交通信号パラメータにてシミュレータを稼働した結果

マルチエレメントGAを用いた交通信号制御のシミュレーションにて，最適交通信号パラメータを得た．この値をシミュレータに反映してシミュレーションした結果を表9に示す．

表 7 マルチエレメントGAとシミュレータAIMSUN6.1の設定値

Multi-Element GA		AIMSUN6.1	
世代数	100	車線幅	3 m
個体数	50	車両幅	2 m
交叉率	80 %	分岐	直進, 右左折
突然変異率	5 %	速度	50 km/h
交叉方法	2 点交差	流入量	4800 vehicles/h
選択方法	ルーレット選択	加速度	30 m/s ²
評価式	式(1)	減速度	40 m/s ²

表 8 実測した交通信号パラメータを用いてシミュレーションを行った交通量(台)

車種別		WaitOut	Inside	GoneOut
全車両		1437	1207	3325
内訳	車	1340	1132	3085
	バス	32	20	81
	トラック	65	55	159

表 9 マルチエレメント GA での最適交通信号パラメータを用いて
シミュレーションを行った交通量(台)

車種別		WaitOut	Inside	GoneOut
全車両		287	778	4539
内訳	車	267	724	4255
	バス	4	11	73
	トラック	16	43	211

4.2 検討

現実の道路交通網とシミュレータで再現した道路交通網モデルでの交通量の比較は次のようになる。表 3 と表 8 において、Gone Out に差がある大きな理由は現実の道路交通網に存在する右折専用信号や車両信号と歩行者信号との時間差等を道路交通網モデルにおいて使用していないためである。

しかしながら、交通信号パラメータの最適化を行った表 9 は最適化を行っていない実測パラメータを用いた表 8 と比べて、Wait Out が大幅に減少し、Gone Out が増大していることが分かる。すなわち、交通信号パラメータの最適化を行ったことにより、交通が円滑に流れていることが分かる。このことから、本稿のマルチエレメント GA による道路交通信号制御システムは現実道路交通網においても渋滞緩和を行うことは可能ということが分かる。

5. 結論

本研究では小規模ながら現実の道路交通網をシミュレータで再現し、現実に近い交通環境を作成した。また、マルチエレメント GA を用いたシミュレーションによって渋滞緩和を行う交通信号パラメータの有効性を検証した。

実際の交通信号パラメータを用いたシミュレーション結果とマルチエレメント GA を使用した交通信号パラメータでのシミュレーション結果を比較して、後者の全ての交通量が前者のそれらと比べて上回った結果を得た。よって、提案手法は今回の目的である渋滞緩和に大変有効な手法であるという見通しが得られた。

今後の課題として、マルチエレメント GA に関しては、右折専用信号、青信号と右折専用信号の間の黄信号および車両信号と歩行者信号との時間差を反映した個体の作成が必要である。また、道路交通網モデルに関しては、現実の道路交通網に更に近付ける必要がある。

最後に、シミュレーションで求められた最適解が現実の道路交通網において交通渋

滞を緩和することができるのか、また、シミュレーションと同様な動きをするかなどを確かめる実証実験を行う必要がある。

本研究は戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)の援助による。

文 献

- (1). 国 土 交 通 省 : 道 路 行 政 の 業 績 計 画 書 ,
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h18/07.pdf>
- (2). 吉井稔雄, 桑原雅夫: リアルタイム交通情報の提供効果, 土木学会論文集, No.653/iv-48, pp.39-48, 2000.7
- (3). 前司敏昭, 堀口良太, 赤羽弘和, 小宮粹史: GPS 携帯端末による交通モード自動判別法の開発, 第 4 回 ITS シンポジウム, pp.21-28, 2009
- (4). 麻生敏正, 長谷川孝明: 高度デマンド信号制御 II 方式, 電学論 A, Vol.J92-A, No.6, pp.419-433, 2009
- (5). 高橋聖, 風間洋, 藤倉智一, 中村英夫: 遺伝的アルゴリズムによる交通流量の変動に適応した最適信号機オフセットの探索, 電学論 D, Vol.123, No.3, pp.204-210, 2003
- (6). 三宮信夫, 喜多一, 玉置久, 岩本貴司: 遺伝的アルゴリズムと最適化, 朝倉書店, 2004
- (7). 松村直紀, 金丸国広, I Wijaya, 内村圭一, 上瀧剛, 石垣信一, 杉谷浩: マルチエレメント GA を用いた交通信号制御, ITS 信学技報, pp.299-304, 2011
- (8). 松村直紀, 金丸国広, I Wijaya, 内村圭一, 上瀧剛, 石垣信一, 杉谷浩: 多元的アルゴリズムを用いた交通信号制御, 信学会総合大会, A-17-10, p.256, 2011