

平成24年度SCOPE研究発表会

平成24年7月13日

TKP天神シティセンター

中都市圏におけるマルチエレメント GAを用いた交通制御の研究開発 (102310001)

熊本大学大学院 内村 圭一

熊本大学大学院 上瀧 剛

(株)ネットワーク応用技術研究所 石垣 信一

(株)ネットワーク応用技術研究所 杉谷 浩



研究目的



◆車両の円滑な運行によって観光や商業を盛んにし、地域に経済的な効用をもたらすことを目的



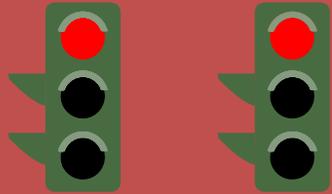
◆信号機を有機的に制御する交通運行システムを構築するための技術・手法を研究開発

◆車両の円滑な運行による渋滞の回避は低炭素社会の実現に向けたCO₂総排出量の削減の効果も併せ持つ



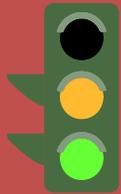
交通信号最適化

交通信号パラメータ最適化



オフセット(Offset)

- 基準となる信号との信号現示の切り替わりのズレ



サイクル(Cycle)

- 信号が「青、黄、赤」と1周する時間



スプリット(Split)

- 車両の通行許可時間
- サイクルに対する割合で与える事が可能

⇒3種類の全てのパラメータを最適化

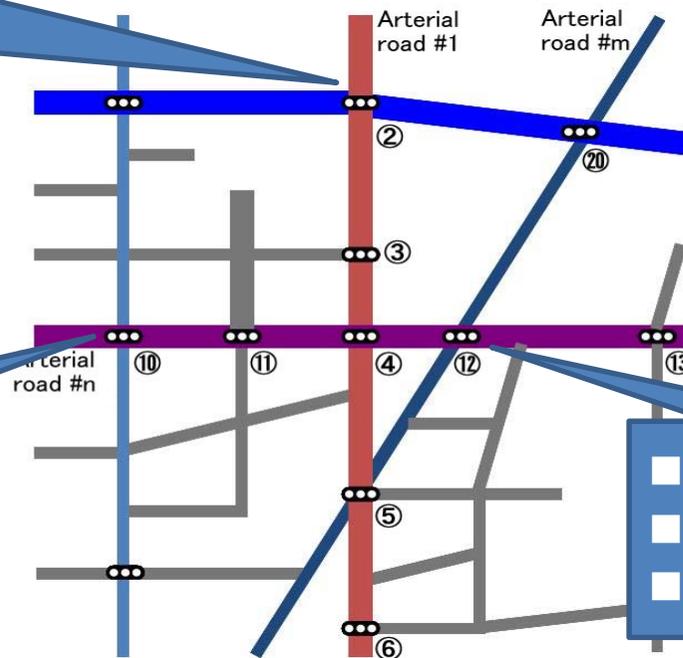
交通信号最適化

車両の円滑な運行

⇒ オフセット、サイクル、スプリットを最適化

- オフセット=0s
- サイクル=70s
- スプリット=50%

- オフセット=50s
- サイクル=140s
- スプリット=60%



- オフセット=30s
- サイクル=100s
- スプリット=30%

交通信号最適化

渋滞とは

- 走行速度10km/h以下（日本道路交通情報センター）
- 走行速度20km/h以下（警視庁）
- 走行速度20km/h以下で車列の延長が1.5kmに達した状態が30分以上継続した場合（首都高速道路公団）
- ...

地域や交通管理団体等によって速度、距離、時間と様々な指標を用いて定義



単に停止（滞留）していなくても渋滞と定義

交通信号最適化

渋滞を評価するための指標

旅行時間(Travel Time)

- 道路網に入ってから抜け出るまでの時間

遅延時間(Delay Time)

- 理想的な到着時間から遅延した時間

流出台数(Gone Out)

- 道路網から抜け出した車両台数

滞留台数(Vehicle In)

- 道路網内に残っている車両台数

待機台数(Wait Out)

- 道路網内に入れずに外で溢れて待っている車両台数

交通信号最適化

評価関数

$$F1 = \exp\left(\frac{\text{WaitOut}}{C_{WO}}\right) + \exp\left(\frac{\text{VehicleIn}}{C_{VI}}\right) + \exp\left(\frac{\text{DelayTime}}{\text{TotalTravelDistanse} \times C_{DT}}\right)$$

C_{WO} , C_{VI} , C_{DT} : 定数

$$F2 = \exp\left(\frac{\text{DelayTime}}{\text{GoneOut}}\right) \times \exp\left(1 - \frac{\text{GoneOut}}{\text{GoneOut} + \text{VehicleIn} + \text{WaitOut}}\right)$$

WaitOut: 待機台数
VehicleIn: 滞留台数
DelayTime: 遅延時間
GoneOut: 流出台数

$F1$, $F2$: 小さな値が良い評価

交通信号最適化

総当たり

- 4つの交差点でのパラメータ制御でさえ約 10^{24} 通り
→計算可能な組合せ数ではない

遺伝的アルゴリズム(GA)

- 解候補である遺伝子情報を持つ個体を選択・交叉・突然変異を行いながら進化させる手法

交通信号最適化

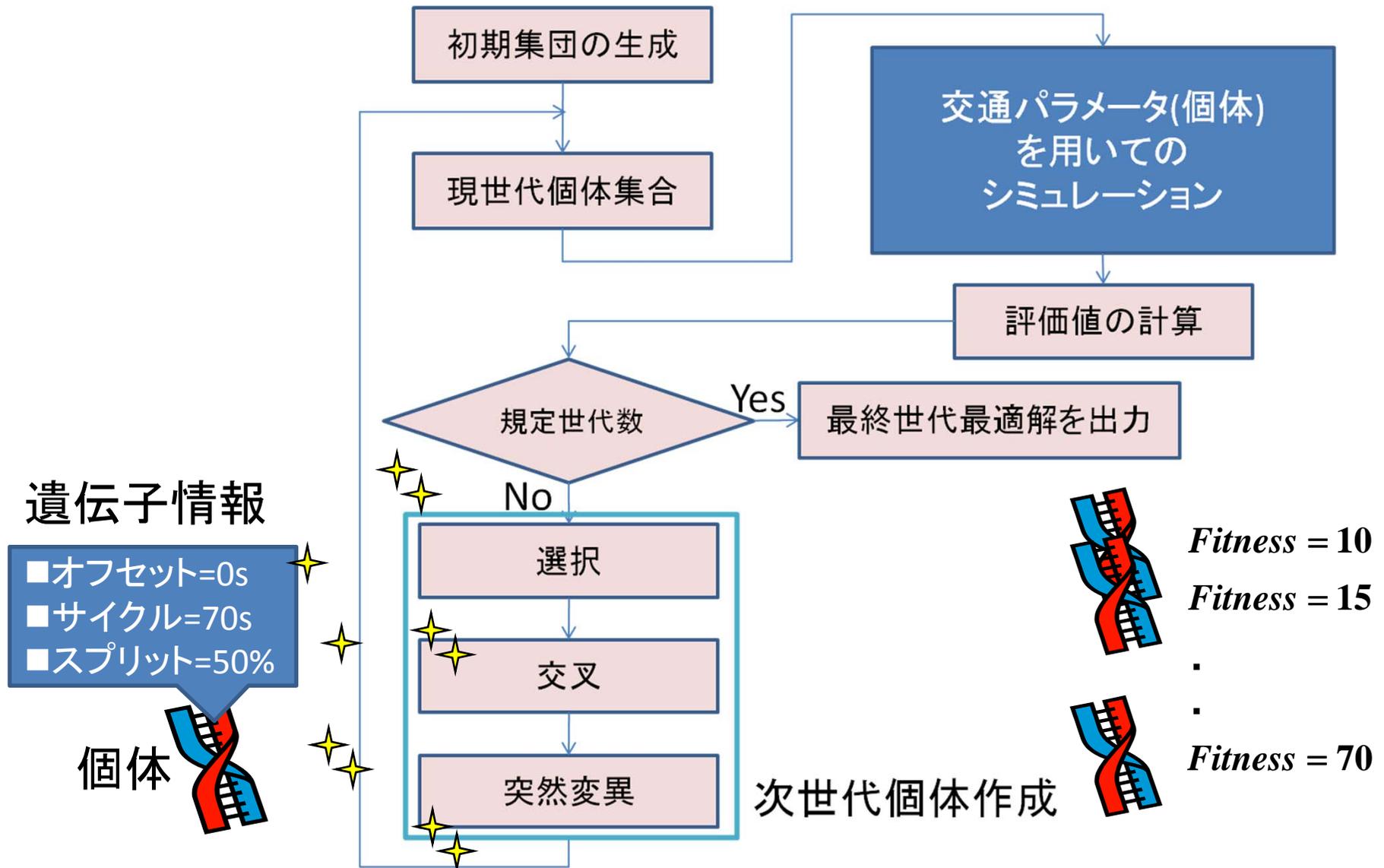
GAの利点・欠点

- 利点: 最適化問題への適用が容易
- 欠点: 複雑な問題に対しては致死解への対応が不可欠
⇒ 一条路への適用のみあり

マルチエレメントGA

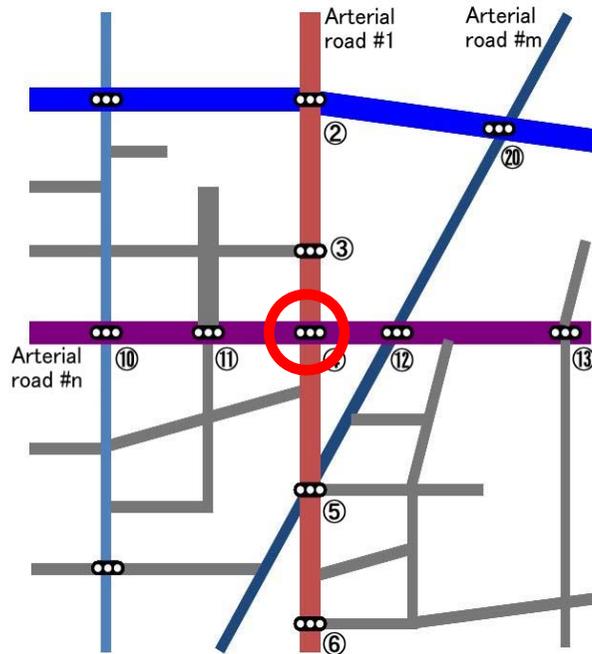
- 既存のGA + 複数の遺伝子をルールで関連付け
⇒ 致死解をなくす
⇒ 複雑な交通網への対応

マルチエレメントGA



マルチエレメントGA

遺伝子表現



従来のGA

Signal No.	2	3	4	5	6	...	20
Offset(s)	0	10	30	40	20	...	20
Split(%)	50	20	60	65	70	...	30
Cycle(s)	100	90	70	140	140	...	50

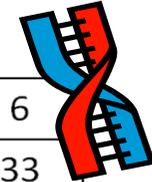
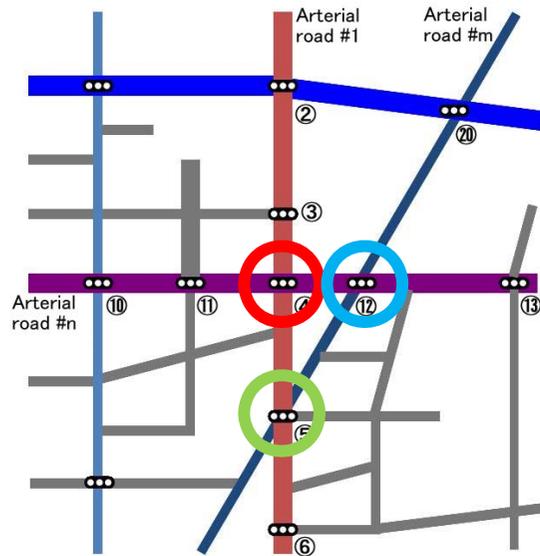
マルチエレメントGA

Arterial road#1	Signal No.	2	3	4	5	6
	Offset(s)	0	39	70	2	33
	Split(%)	50	50	60	90	60
	Cycle(s)	120	120	150	80	80

Arterial road#m	Signal No.	5'	12	20		
	Offset(s)	65	50	9		
	Split(%)	60	20	30		
	Cycle(s)	90	90	90		
Arterial road#n	Signal No.	4'	10	11	12'	13
	Offset(s)	2	24	59	72	14
	Split(%)	60	10	50	40	50
	Cycle(s)	80	100	100	140	140

マルチエレメントGA

遺伝子表現



Arterial road#1	Signal No.	2	3	4	5	6
	Offset(s)	0	39	70	2	33
	Split(%)	50	50	60	90	60
	Cycle(s)	120	120	150	80	80

⋮

Arterial road#m	Signal No.	5'	12	20
	Offset(s)	2	50	65
	Split(%)	10	20	60
	Cycle(s)	80	90	90

Arterial road#n	Signal No.	4'	10	11	12'	13
	Offset(s)	70	2	24	50	14
	Split(%)	40	60	10	80	50
	Cycle(s)	150	80	100	90	140

同一交差点内において

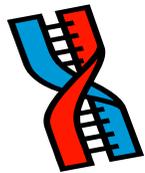
■ Split' = 100 - Split

■ Cycle' = Cycle

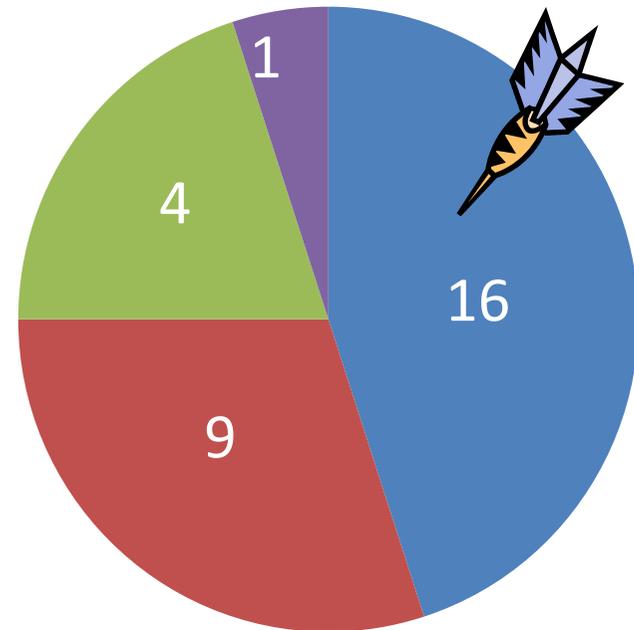
マルチエレメントGA

選択

選択方法: ランク付けスケーリングによるルーレット選択
評価値が近い個体間でも選択確率に差を生じさせる事が可能



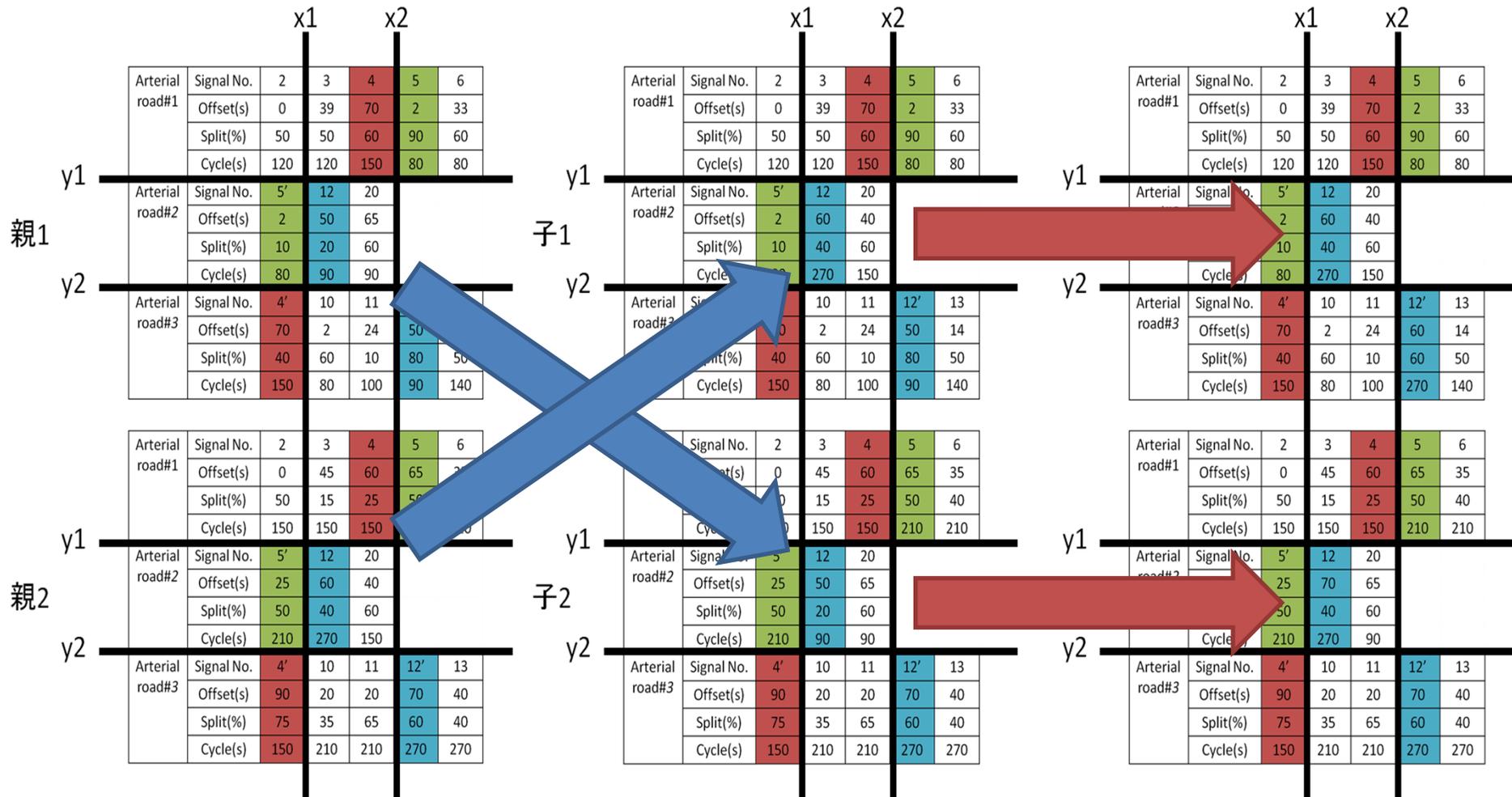
Fitness	ランク	スケーリング
10	4	16
12	3	9
30	2	4
40	1	1



マルチエレメントGA

交叉

交叉: 2個の個体を掛け合わせる操作



マルチエレメントGA

突然変異

突然変異: 個体の遺伝子を変異させる操作

Arterial road#1	Signal No.	2	3	4	5	6
	Offset(s)	0	39	70	2	33
	Split(%)	50	50	60	90	60
	Cycle(s)	120	120	150	80	80
Arterial road#2	Signal No.	5'	12	20		
	Offset(s)	2	60	40		
	Split(%)	10	40	60		
	Cycle(s)	80	270	150		
Arterial road#3	Signal No.	4'	10	11	12'	13
	Offset(s)	70	2	24	60	14
	Split(%)	40	60	10	60	50
	Cycle(s)	150	80	100	270	140

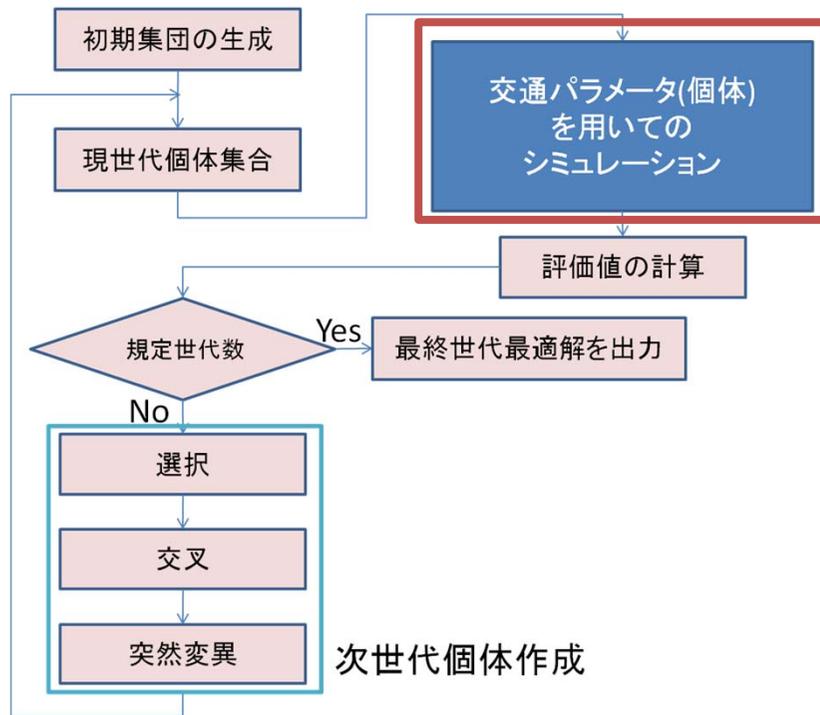
Arterial road#1	Signal No.	2	3	4	5	6
	Offset(s)	0	39	70	2	33
	Split(%)	50	50	60	90	60
	Cycle(s)	120	120	150	80	80
Arterial road#2	Signal No.	5'	12	20		
	Offset(s)	2	60	40		
	Split(%)	10	40	60		
	Cycle(s)	80	270	150		
Arterial road#3	Signal No.	4'	10	11	12'	13
	Offset(s)	70	2	24	40	14
	Split(%)	40	60	10	35	50
	Cycle(s)	150	80	100	120	140



Arterial road#1	Signal No.	2	3	4	5	6
	Offset(s)	0	39	70	2	33
	Split(%)	50	50	60	90	60
	Cycle(s)	120	120	150	80	80
Arterial road#2	Signal No.	5'	12	20		
	Offset(s)	2	40	40		
	Split(%)	10	65	60		
	Cycle(s)	80	120	150		
Arterial road#3	Signal No.	4'	1	11	12'	13
	Offset(s)	70	24	40	14	
	Split(%)	40	60	10	35	50
	Cycle(s)	150	80	100	120	140

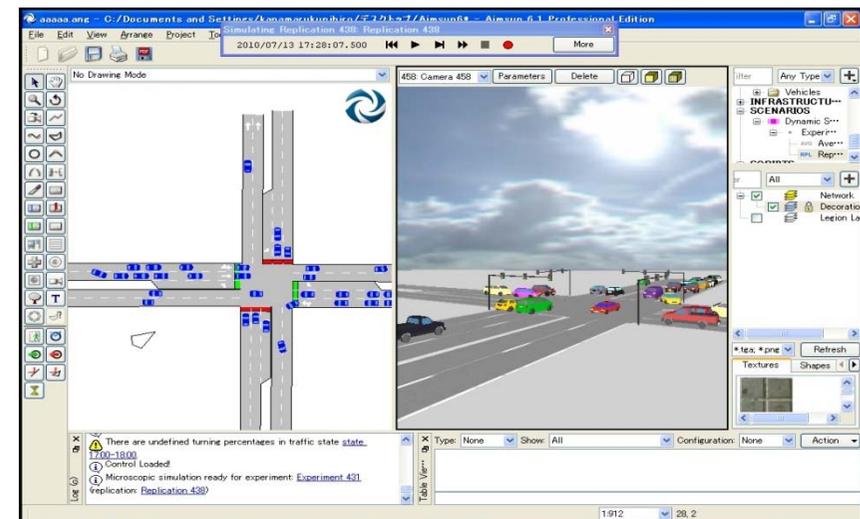


シミュレーション基盤の構築



高機能交通流シミュレータ『Aimsun6』

- 交通網の作成
- 交通状態の設定
- シミュレーション
- 評価値の出力

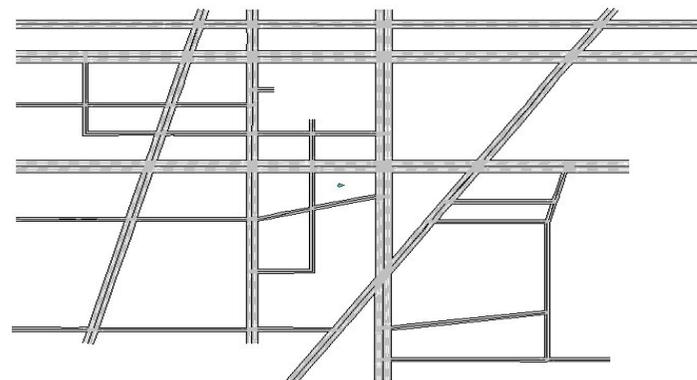


シミュレータにて、各個体毎の交通信号パラメータを用いたシミュレーションにより、評価値を計算

シミュレーション基盤の構築

複雑な交通網

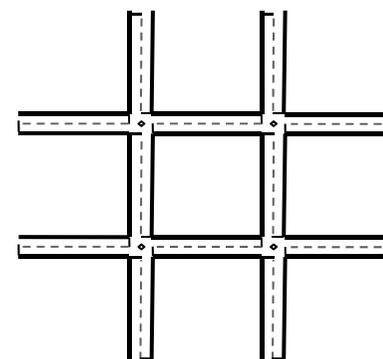
- 大規模
- 複数の変化要因
- ▶ マルチエレメントGAが正しく動作しているか？
- ▶ 渋滞を評価出来ているか？



複雑な交通網

シンプルな交通網

- 予測解の導出可能
- マルチエレメントGA(MEGA)の確認
- 目的関数の確認

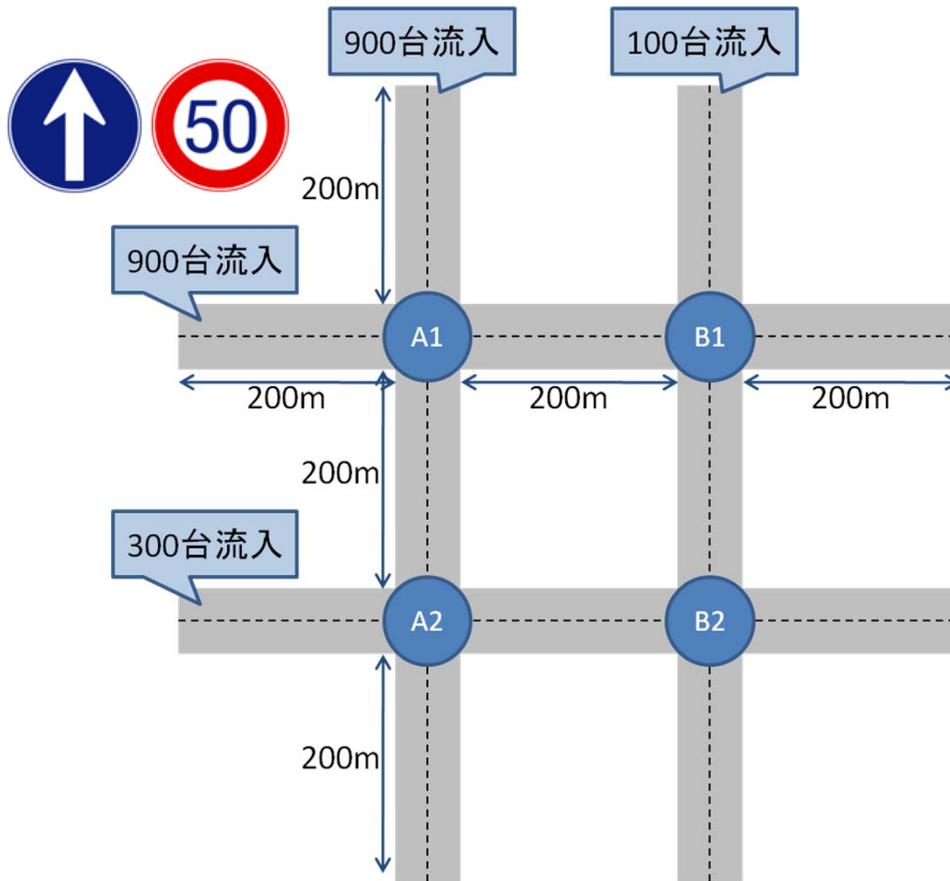


シンプルな交通網

シミュレーション基盤の構築

シミュレーション条件

道路条件

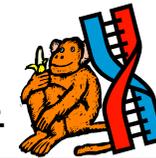


車両条件



車両長	4[m]
車両幅	2[m]
加速度	3[m/s ²]
減速度	4[m/s ²]
緊急減速度	6[m/s ²]
速度許容量	1.1

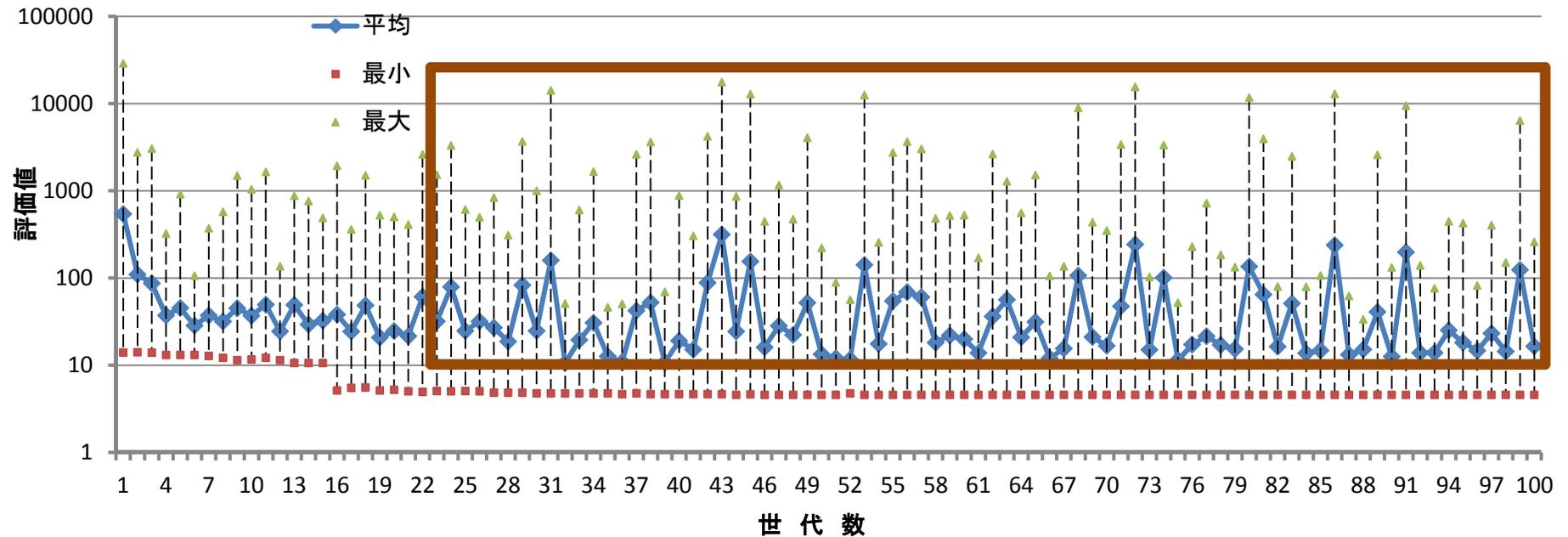
MEGA条件



個体数	100
交叉確率	80[%]
突然変異確率	5[%]

シミュレーション基盤の構築

結果



- 最小値は収束傾向にある
- 平均値と最大値のバラツキは突然変異の作用

マルチエレメントGAは正しく動作している

シミュレーション基盤の構築

予測解

シミュレーション解

交通工学からの計算値 交通工学の推奨値

	Offset(s)	Split(%)	Cycle(s)
交差点A1	0	50:50	70 or 140
交差点A2	15	50:50	70 or 140
交差点B1	15	50:50	70 or 140
交差点B2	30	50:50	70 or 140

	Offset(s)	Split(%)	Cycle(s)
交差点A1	0	50:50	100
交差点A2	15	50:50	100
交差点B1	13	60:40	100
交差点B2	31	55:45	100

$$\begin{aligned}
 \textit{Fitness} &= 16.12 (\textit{Cycle} = 70) \\
 &= 9.39 (\textit{Cycle} = 140)
 \end{aligned}$$

$$\textit{Fitness} = 4.57$$

■ 適応度の改善

Cycle = 70 : 渋滞を解消できない

Cycle = 100 : 渋滞を解消

Cycle = 140 : 渋滞を解消、無駄な停止時間あり

$$\textit{Fitness} = \exp\left(\frac{\textit{Delay Time}}{C}\right) \times \exp\left(\frac{\textit{Cycle} - C_a}{C_b}\right)$$

C, C_a, C_b : 定数

目的関数 (Fitness) は正しく渋滞を評価している

現実道路網

現実の道路網モデルの作成



観測した交通信号パラメータ諸量

	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%

シミュレーション対象となる
大江渡鹿地区の地図

Node1とNode3の間の道路で渋滞が発生(観測)

現実道路網

現実の道路網モデル

- ◆ 右折信号

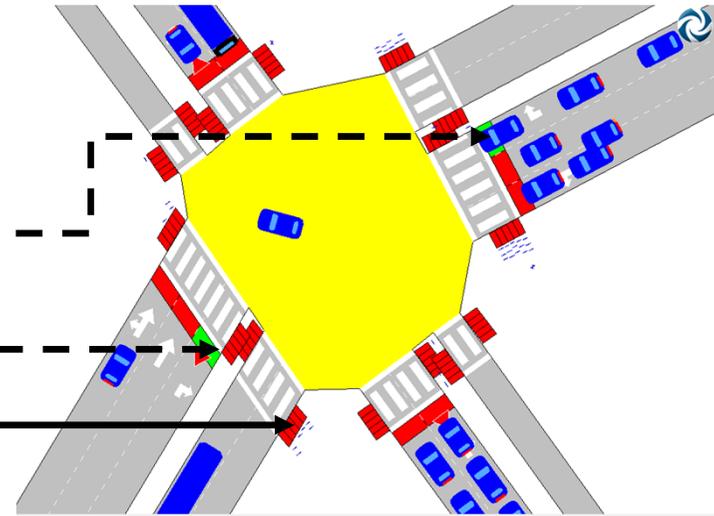
Node 1とNode 3に設置

- ◆ 歩行者信号

午前8時の状況を再現

- ◆ 流出箇所への信号

流出箇所 a~hに信号を設置



交差点の様子

流出口

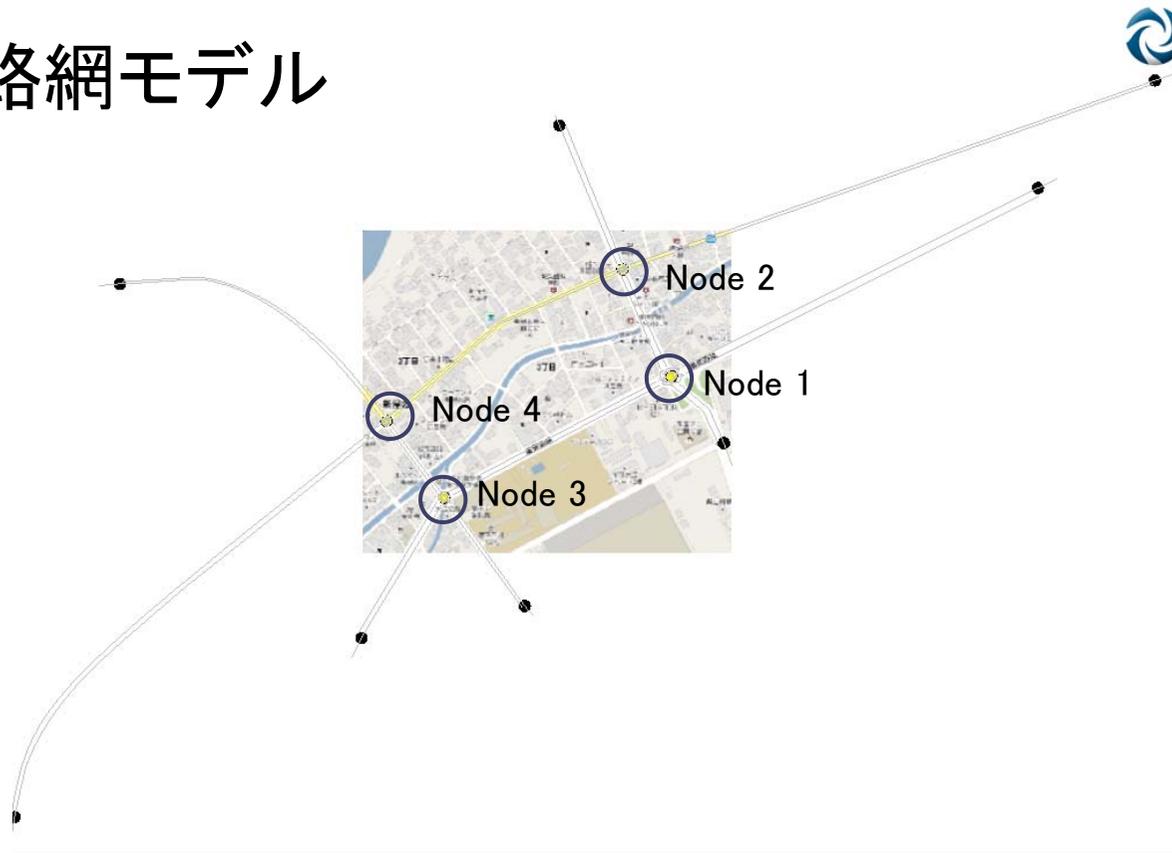
流入口

信号機

流出入口の様子

現実道路網

現実の道路網モデル



シミュレータによる現実道路網のモデル

この道路網モデルをシミュレーションに使用

現実道路網

現実道路網モデルを使用したシミュレーション

マルチエレメントGAとAIMSUN6.1の設定

マルチエレメント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, 左折, 右折
突然変異率	5 %	速度	50 km/h
交叉法	2点交叉	車両数	4800 vehicles/h
選択法	提案ルーレット ト選択	加速度	30 m/s ²
評価方法	2つの目的関 数	減速度	40 m/s ²

シミュレーション条件

Offset : Min = 0, Max = 150,
 $\Delta Offset = 1$

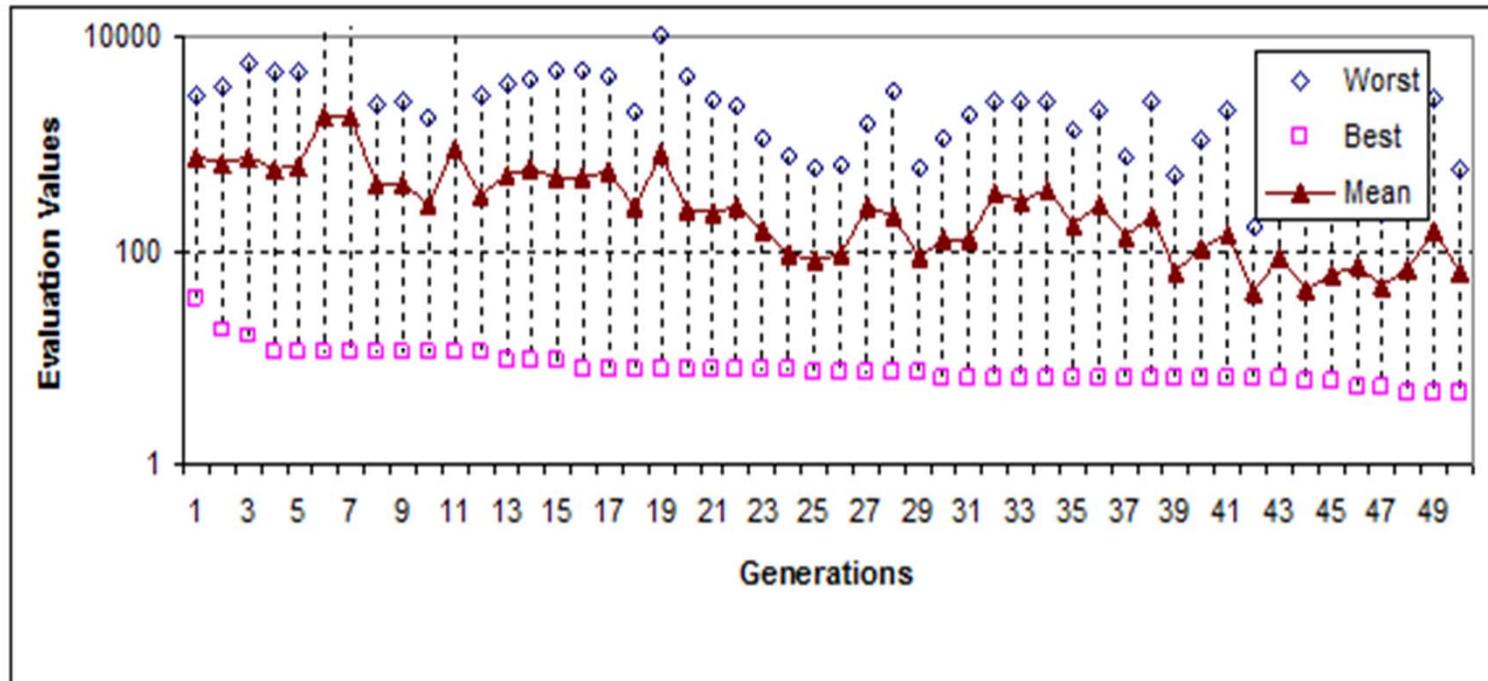
Cycle : Min = 40, Max = 240 ,
 $\Delta Cycle = 1$

Split : Min = 10, Max =
90 , $\Delta Split = 5$

現実道路網

シミュレーション結果

マルチエレメントGAを用いたシミュレーション



世代ごとの評価式F1の推移

現実道路網

シミュレーション結果

マルチエレメントGAを用いたシミュレーション
観測した交通信号パラメータを用いたシミュレーション } 結果の比較

評価関数	待機台数 Wait Out(台)	残留台数 Vehicle In(台)	流出台数 Gone Out(台)
F1	120	758	4,575
F2	145	624	4,688
現実の交通信号 パラメータ使用	882	1,095	3,651

待機台数、残留台数 ⇒ 減少(残留台数: 30-43%改善)

流出台数 ⇒ 増加(25-28%改善)

→ 渋滞緩和

現実道路網

マルチエレメントGAを用いたシミュレーションによる交通信号パラメータ

F1	Offset(s)	Cycle(s)	Main Split(%)	Sub Split(%)
Node 1	0	120	60	40
Node 2	30	145	55	45
Node 3	85	155	80	20
Node 4	32	165	65	35

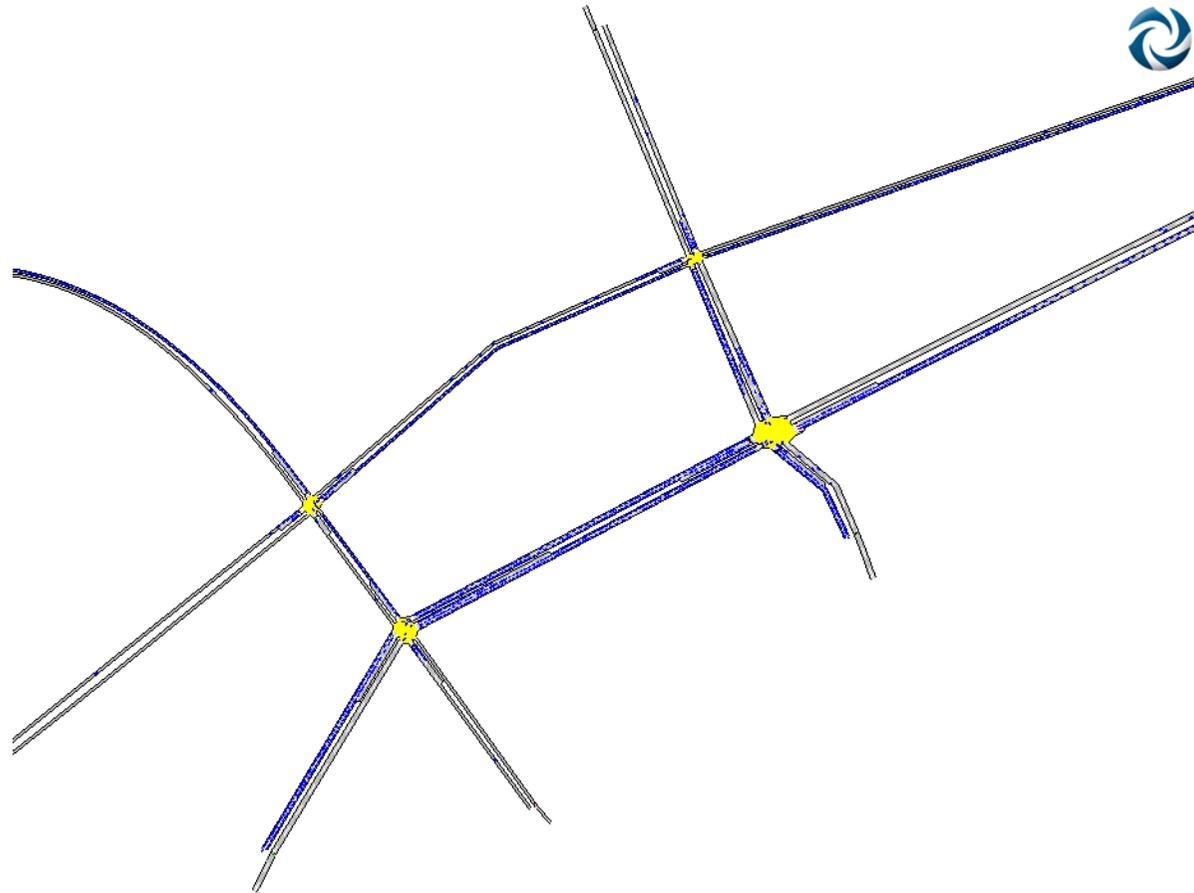
F2	Offset(s)	Cycle(s)	Main Split(%)	Sub Split(%)
Node 1	0	125	60	40
Node 2	104	85	60	40
Node 3	95	105	75	25
Node 4	42	90	65	35

現実の観測した交通信号パラメータ(再掲)

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

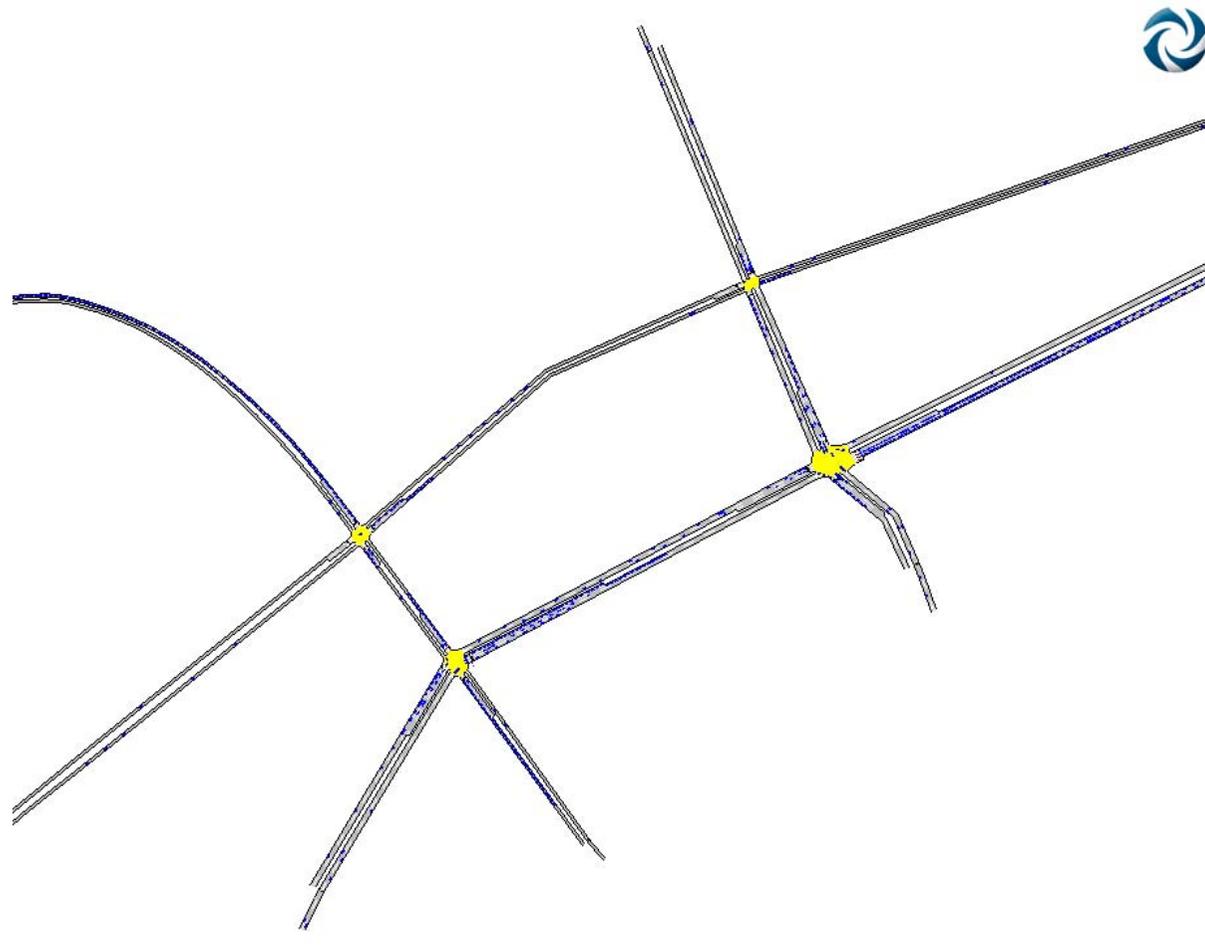


シミュレーション結果



現実の信号機パラメータを用いたシミュレーション結果

シミュレーション結果



マルチエレメントGAで最適化した信号機パラメータを用いたシミュレーション結果

むすび

- ◆最適化問題に対するマルチエレメントGAの有用性
- ◆マルチエレメントGAを用いた信号機制御システムの交通流改善への有効性
- ◆交通渋滞の解消
 - 公共交通機関の定時運行
 - 商業・観光の発展
 - CO2総排出量の削減

むすび

課題

- ◆ 大規模な道路網でのシミュレーション
- ◆ 実証実験

今後の展開

- ◆ 交通事故・イベントなどの突発的な交通渋滞への展開
- ◆ 最適化を必要とする産業分野への寄与

	平成22年度	平成23年度	平成24年度*1	合計	当初目標
査読付き論文数	0件(0件)	0件(0件)	1件(1件)	1件(1件)	2件(1件)
被引用論文数	0件(0件)	0件(0件)	件(件)	0件(0件)	-件(-件)
その他の誌上発表数	0件(0件)	0件(0件)	件(件)	0件(0件)	-件(-件)
口頭発表数	3件(0件)	6件(2件)	3件(2件)	9件(2件)	9件(3件)
申請特許数	0件(0件)	1件(0件)	件(件)	1件(0件)	1件(-件)
登録特許数	0件(0件)	0件(0件)	件(件)	0件(0件)	-件(-件)
国際標準提案数	0件(0件)	0件(0件)	件(件)	0件(0件)	-件(-件)
国際標準獲得数	0件(0件)	0件(0件)	件(件)	0件(0件)	-件(-件)
受賞数	0件(0件)	1件(1件)	件(件)	1件(1件)	-件(-件)
報道発表数	0件(0件)	3件*2(0件)	件(件)	3件*2(0件)	2件(-件)

査読付き論文採択” The Improvement ME-GA Based Traffic Signal Control Optimization Using New Fitness Model”, GSTF Journal on Computing (Accepted)

[10] “The Verification with Real-World Road Network on Optimization of Traffic Signal Parameters using Multi-Element Genetic Algorithms”, 19th World Congress on Intelligent Transport Systems (Vienna, Austria: Accepted: October 2012)

[11] “ Fitness Evaluation of Multi-Element Genetic Algorithm for Traffic Signal Parameters Optimization”, International Conference on Soft Computing, Intelligent System and Information Technology , Bali, Indonesia, May 2012

[12]“実環境を再現した道路交通網を用いた交通信号制御システムの検証”、第56回システム制御情報学会研究発表講演会,平成24年5月

受賞: Annual International Conference on Control, Automation and Robotics (2012.3.12)

Best Research Paper

戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)
に感謝します。