

## 交通渋滞緩和のための 遺伝的アルゴリズムに基づく道路交通管制

重 弘 裕 二<sup>†1</sup> 宮 川 拓 也<sup>†1</sup> 増 田 達 也<sup>†1</sup>

本稿では、交通管制センターと各車両が双方向通信により情報を共有できるという想定の下、交通管制センターで各車両の経路を決定し、交通システム全体の効率を向上させる手法について考察する。走行車両台数が多い場合には、車両に対する経路選択の組合せ総数が莫大になるため、遺伝的アルゴリズムを用いて経路選択の最適化を行う。また、解探索効率の向上等のため、経路長に基づくリンク順位と呼ぶ概念や最短経路化と呼ぶ遺伝的操作を新たに導入する。さらに、計算機上でシミュレーションを行い、提案する手法を評価する。

### Road Traffic Control Based on Genetic Algorithm for Reducing Traffic Congestion

YUJI SHIGEHRO,<sup>†1</sup> TAKUYA MIYAKAWA<sup>†1</sup>  
and TATSUYA MASUDA<sup>†1</sup>

In this paper, we propose a road traffic control method for reducing traffic congestion with genetic algorithm. In the not too distant future, the system which controls the routes of all vehicles in a certain area must be realized. The system should optimize the routes of all vehicles, however the solution space of this problem is enormous. Therefore we apply the genetic algorithm to this problem, by encoding the route of all vehicles to a fixed length chromosome. To improve the search performance, a new genetic operator called "path shortening" also designed. The effectiveness of the proposed method is shown by the experiment.

<sup>†1</sup> 大阪工業大学  
Osaka Institute of Technology

#### 1. ま え が き

交通渋滞は、時間や燃料の損失、排気ガスによる環境の悪化等、さまざまな悪影響をもたらす<sup>1)</sup>。しかし交通渋滞は、交通の集中、事故や道路工事等、さまざまな原因により発生する。特に交通量の多い地域では、完全に交通渋滞を抑制するのは難しい。

交通渋滞を緩和する一つの方策として VICS (Vehicle Information and Communication System)<sup>1),2)</sup> が実用に供している。VICS とは、渋滞や交通規制などの道路交通情報を定期的に送信し、カーナビゲーションシステム等の車載機に文字・図形で表示する情報通信システムであり、ドライバーはその情報を利用して渋滞等を避けることができる。多くの車両が渋滞区間を避けるようになれば、その区間の交通量が減少し、渋滞自体が緩和することが期待できる。しかし、このようなシステムが普及し、多くのドライバーが配信される混雑情報に当たって経路選択を行った場合、空いている経路に車両が集中し、道路交通システム全体としての効率下がってしまう<sup>3)</sup>。

この問題に対して、文献 3) では協調カーナビを提案している。これは、車両と経路情報共有サーバ(道路交通情報センター等)が双方向に通信できるという想定の下、各車両の予定する経路に基づき経路情報共有サーバで将来の混雑状況を予測し、その結果を用いて各車両が自律的に渋滞を避けるように経路を変更するというシステムである。文献ではこのようなシステムが適切に機能し、普及可能であるかについて、普及率に対する 3 つの観点(新規利用性、利用継続性、社会的普及性)から評価している。

協調カーナビでは、各車両の経路は各車両自身において自律分散的に決定されるが、単に交通システム全体の効率を考えるのであれば、全車両の経路を中央集権的に最適化した方が、より良い結果が得られる可能性があると考えられる。そこで本稿では、道路交通管制を行うシステム(以下、交通管制センターと呼ぶ)と各車両が双方向通信により情報を共有できるという想定の下、交通管制センターで各車両の経路を決定し、交通システム全体の効率を向上させる手法について考察する。もしも将来、車両の運転が完全に自動化され、例えば目的地を指定するだけで車両が全自動で移動するような交通システムが実用化されることがあれば、その場合もおそらく、同様の管制システムが必要になると思われる。

道路状況は随時変化するため、道路状況の変化に伴い、最適な経路を逐次、探索する必要がある。また、走行車両台数が多い場合には、車両に対する経路選択の組合せ総数が莫大になる。そこで、組合せ総数が莫大な問題に対して短時間で近似最適解を得る方法として、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA)を用いて経路選択の最適化を行う。文献 4)

では、多数の車両が単一の出発地から単一の目的地へ移動するという状況において、各車両の経路選択を GA を用いて最適化する計算機実験を行っているが、車両数が多い場合には経路選択の組合せが多すぎて良好な解を見つけ出すことができないと報告されている。それに対して本稿では、各車両が個別の出発地と目的地を持つ一般の状況を扱うために「経路長に基づくリンク順位」と呼ぶ概念を導入して解のコーディングを行い、また、GA の解探索効率を向上させるために「最短経路化」と呼ぶ新たな（このような問題に特化した）遺伝的操作を導入する<sup>5)</sup>。さらに、計算機上でシミュレーションを行い、提案する手法を評価する。

## 2. 交通渋滞緩和問題

### 2.1 交通管制センターによる車両経路の最適化

本稿では、1章で述べたような交通管制センターにおいて、交通の円滑化を目標として各車両の経路を最適化する方法について考察する。交通管制センターは、管轄する道路網の内部を移動中の各車両に対して、文献 3) と同様に双方向に通信を行うことができ、車両の現在地と目的地を知ることができ、さらに、車両の経路を指示することができるものとする。

各車両には個別に出発地、目的地、ならびに出発時刻が定められており、各車両は出発時刻になったら出発地から目的地に向かって移動を開始するものとする。出発前の車両、および目的地に到着した後の車両は、他の車両や交通管制センターに影響を及ぼさない。また出発の際、ドライバはカーナビゲーションシステム等の車載機に目的地を入力するものとする。車載機は、移動中には随時、GPS (Global Positioning System) 等から得られる現在地と出発時に入力された目的地を交通管制センターへ送信し、また、交通管制センターから当該車両の経路を受信してドライバに提示する。ドライバは、交通管制センターから経路を受信した後は、その指示された経路にしたがって車両を移動させるものとする（出発直後、交通管制センターから経路を受信するまでは、目的地に至る最短経路にしたがうものとする）。

なお、交通の円滑化という目標に対し、具体的には全車両の平均速度の平均  $V_{ave}$  を指標として、その最小化を目指す。すなわち、全車両の集合を  $C$ 、総車両数を  $N_{car}$ 、車両  $c$  の出発地から目的地への距離（最短経路の長さ）を  $d_c$ 、所要時間を  $t_c$  とすると、車両  $c$  の平均速度  $d_c/t_c$  の平均

$$V_{ave} = \frac{1}{N_{car}} \sum_{c \in C} \frac{d_c}{t_c} \quad (1)$$

の最小化を目標とする。

### 2.2 道路網と車両群のモデル

2.1 節で述べたような管制システムはまだ実在しない。そこで本稿では、道路網上の車両群の動きについて、計算機上でシミュレーションを行うことにより、提案する手法の評価を行う。シミュレーションにおいては、時間は離散的に扱う。すなわち、単位時間  $T_{sim}$  ごとの車両の位置や速度等を順次計算するものとする。

道路網は、交差点を表す節点と、道路を表す有向枝からなるグラフによりモデル化される。簡単のため、信号機等については考慮しない。以下、節点集合を  $V$ 、枝集合を  $E$  とし、始点と終点をそれぞれ  $v_1, v_2$  ( $v_1, v_2 \in V$ ) とする枝  $e$  ( $e \in E$ ) を  $e = (v_1, v_2)$  と表す<sup>6)</sup>。枝は道路長に応じた長さを持つ。枝  $e$  の長さを  $L_{edge}(e)$  により表す。車両の位置はグラフ上の点により表される。位置  $p$  から車両  $c$  の目的地までの最短経路の長さを  $D_{min}(c, p)$  により表す。

車両は枝上を枝の向きに沿って移動する。双方向に通行可能な通常の道路は、それぞれの方向を向いた 1 対の枝により表され（例えば、枝  $(v_1, v_2)$  と枝  $(v_2, v_1)$ ）、以下ではそのような双方向に通行可能な道路について考える。車両が枝  $(v_1, v_2)$  上を移動して枝の終点に達したら、その節点  $v_2$  を経由して、さらにその節点を始点とする別の枝へ移動し、移動先の枝上で移動を続ける。ただしそのとき、 $(v_1, v_2)$  と対になった逆向きの枝  $(v_2, v_1)$  へ移動することはない（交差点内で U ターンして来た道に戻ることはない）。すなわち、枝  $(v_1, v_2)$  上を移動して節点  $v_2$  に達した車両が次に移動する枝（の候補からなる集合）を  $E_{cand}(v_1, v_2)$  で表すと、 $E_{cand}(v_1, v_2) = \{(v_2, v) \mid (v_2, v) \in E, v \neq v_1\}$  である。なお車両は、出発時刻になったらグラフ上の出発地に配置され、目的地に到着したらグラフ上から取り除かれる。

車両の速度は、文献 3) と同様に混雑具合により定まるものとする。そのため、各枝をブロックと呼ぶ小区間に分割し、ブロックごとに車両の速度を定めるものとする。具体的には、ブロックの長さを  $l$ 、ブロック上に存在する車両の台数を  $n$  とすると、当該車両を除く車両の台数  $(n-1)$  より当該車両の移動を妨げる車両の密度  $k = (n-1)/l$  を求め、パラメータ  $K_{jam}, V_{max}, V_{min}$ （ただし  $V_{min} < V_{max}$ ）を用いて、ブロック上を移動中の車両の速度  $v$  を  $v = \max\{(1 - k/K_{jam}) \times V_{max}, V_{min}\}$  とする<sup>\*1</sup>。

\*1 車両は近くに他の車両がなければ（すなわち  $n=1$ ）、速度  $V_{max}$  で移動する。まわりの車両が増加すると、車両の密度  $k$  が  $K_{jam}$  に等しくなると速度 0 になるような割合で車両の速度は低下する。しかし渋滞時でも車両は少しずつ前進している状況を想定し、速度は最低でも  $V_{min}$  を下回らないものとする。

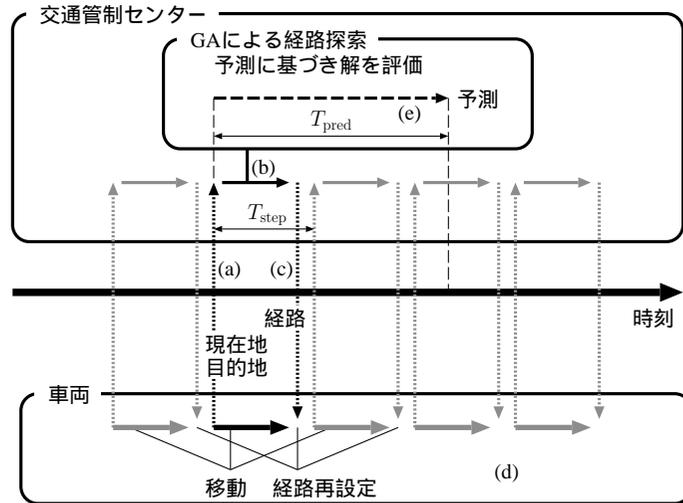


図 1 提案する交通管制システムの概要  
Fig. 1 Outline of the proposed traffic control system.

### 3. 道路交通管制手法

#### 3.1 概要

本章では、2章で述べたような交通システムにおいて、交通管制センターにより交通を円滑化する手法について考察する。道路状況は時々刻々と変化するため、交通管制センターでは随時、道路状況を調べ、交通を円滑化するような各車両の経路を求め、それを各車両に配信しなければならない。そこで交通管制センターは、図1に示すように、まず走行中の全車両の現在地と目的地を収集し(図1(a))、一定時間  $T_{step}$  後までに各車両の経路をGAにより決定し(図1(b))、その結果を各車両に配信する(図1(c))という一連の動作を反復して行うものとする。各車両は2.1節で述べたとおり、配信された経路情報にしたがって移動するものとする(図1(d))。

GAでは、走行中の全車両の経路を個体(解)として経路探索を行う。各個体の適応度を求めるときには、個体ごとに、計算機上でシミュレーションを行うことにより一定時間  $T_{pred}$  経過後の道路状況を予測する(図1(e))。

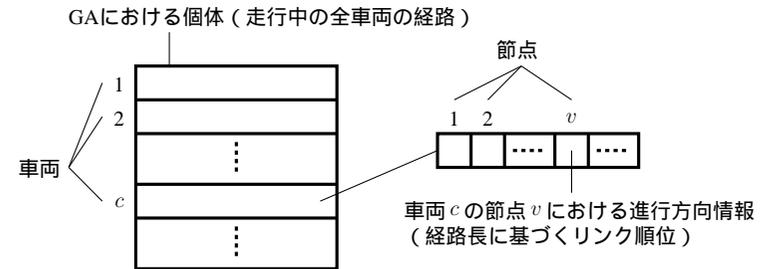


図 2 GA における個体の表現  
Fig. 2 Representation of a solution in GA.

#### 3.2 解の表現

車両は各節点において、その節点を始点とする複数の枝から一つを選んで移動する。したがって、車両が、全ての節点において、どの枝を選択するのかを指定することにより、車両の経路を(冗長ではあるが)表現することができる。以下、どの枝を選択するのかを指定する(すなわち、進行方向を指定する)情報のことを「進行方向情報」と呼ぶ。

走行中の全車両の経路を一つの個体として表現するために、走行中の全車両に関して、文献4)と同様に、その車両の全ての節点における進行方向情報を集めて、図2のように個体を表現する。文献4)では、単一の出発地から単一の目的地へ移動するという状況を考えており、進行方向情報として、単純に、車両が節点において選択する「経路番号」を用いている(車両が選択する枝を、直接指定している)。しかし本稿では、任意の出発地から任意の目的地へ向かってあらゆる方向に車両が移動し得る状況を想定しており、そのような状況でも効率良くGAによる探索を行うことができるように、新たに「経路長に基づくリンク順位」という概念を導入して、進行方向情報として用いる。

車両が枝  $(v_1, v_2)$  を移動して節点  $v_2$  に達したとき、車両が各枝  $e (e \in E_{cand}(v_1, v_2))$  を経由して目的地に至る最短経路の長さを求め、その短い順に各枝  $e (e \in E_{cand}(v_1, v_2))$  に対して順位付けを行う。これを経路長に基づくリンク順位と呼ぶ。なお、その値は、次に移動する枝の候補の数  $|E_{cand}(v_1, v_2)|$  以下の自然数となる。

例えば、図3において車両  $c$  が枝  $e_0$  を移動して節点  $v$  に達したとすると、車両  $c$  が節点  $v$  から枝  $e_1, e_2, e_3$  を経由して目的地に至る最短経路  $r_1, r_2, r_3$  を求め、その長さを

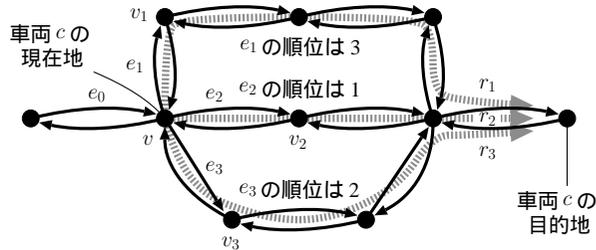


図3 枝  $e_1, e_2, e_3$  の経路長に基づくリンク順位  
Fig.3 Rank of each edge  $e_1, e_2, e_3$  based on the length of the path through it.

それぞれ  $d_1, d_2, d_3$  で表す<sup>\*1</sup>。もし、その大小関係が  $d_2 < d_3 < d_1$  であれば、その順に、対応する枝  $e_2, e_3, e_1$  の経路長に基づくリンク順位がそれぞれ 1, 2, 3 となる。

この経路長に基づくリンク順位を、図2に示す個体の表現において進行方向情報として用いる。例えば、個体中の進行方向情報が全て1であれば、その個体は、全ての車両が全ての節点において、経路長に基づくリンク順位が1の枝を選ぶ(すなわち目的地への最短経路を選ぶ)ことを意味している。

### 3.3 解の評価

個体には、走行中の全車両の経路に関する情報が含まれている。そこで、仮に全車両がその情報にしたがって移動したとして、時間  $T_{\text{pred}}$  経過した後の道路状況がどうなっているのかについて、計算機上でシミュレーションを行うことにより予測することができる。ただし2.1節で述べたように、その時にまだ出発しておらず、後から(時間  $T_{\text{pred}}$  の間に)新たに出発する車両に関しては、交通管制センターでは一切の情報を得ることができない。当然、そのような車両も道路状況に影響を及ぼすため、長時間経過した後の道路状況を予測することはできない。

前述のように、交通管制センターにおける最適化目標は式(1)の最小化である。しかし、式(1)は全ての車両の出発地から目的地までの距離と所要時間に基づいて計算されるため、出発していない車両に関する情報を得ることができない(すなわち、一部の車両に関する情報のみしか得ることができない)交通管制センターには、式(1)の値を見積もることは原理

的に不可能である。

そこで、GAで個体の評価を行う際には、式(1)の代わりに、時間  $T_{\text{pred}}$  の間の各車両の平均速度を予測して、その平均を用いることとする。具体的には、まず計算機上でシミュレーションを行い、時間  $T_{\text{pred}}$  経過後の各車両の位置を予測する。以下、各車両に対して、予測の結果得られた(時間  $T_{\text{pred}}$  経過後の)位置を  $p_1$  とする。また、現在(図1(a)で車両の情報を得たとき)の実際の位置を  $p_0$  とする。次に、その車両が目的地に近づいた距離  $d$  を、 $p_0, p_1$  から目的地までの最短経路の長さを用いて、 $d = D_{\text{min}}(c, p_0) - D_{\text{min}}(c, p_1)$  と求める。さらに、その車両が走行したと予測される時間  $t$  から、その車両  $c$  の平均速度  $v_c = d/t$  を求める。この  $v_c$  の平均を個体  $i$  の評価値  $f_i$  とするので、走行中の車両の集合を  $C$ 、走行中の車両の台数を  $n$  とすると、個体  $i$  の評価値  $f_i$  は

$$f_i = \frac{1}{n} \sum_{c \in C} v_c \quad (2)$$

となる。ここで、車両が走行したと予測される時間  $t$  は、時間が  $T_{\text{pred}}$  経過する前に目的地に到着する(と予測される)車両については、到着までの時間であり、 $t < T_{\text{pred}}$  である。それ以外の車については、 $t = T_{\text{pred}}$  である。なお、車両が目的地に近づいた距離  $d$  は、車両が目的地から遠ざかる方向に移動しているときには負となる。

### 3.4 解探索の手続き

GAでは、最適化問題の解を個体に対応付け、まず初期個体の集団を生成した後、選択、交叉、突然変異といった遺伝的操作を繰り返し適用することにより、解探索を行う。本稿では、進行方向情報(経路長に基づくリンク順位)を遺伝子として3.2節で述べたように個体を構成し、さらに、探索効率向上のために「最短経路化」と呼ぶ操作を導入する。以下、順に説明する。

選択 適応度比例戦略とエリート保存戦略を併用する。式(2)により求まる個体  $i$  の評価値  $f_i$  は負になる可能性があるが、適応度比例戦略では適応度関数は非負であることが要請されるため、評価値  $f_i$  の値域を調整<sup>7)</sup>して適応度関数  $f'_i$  とする。具体的には、各世代において、個体集団  $I$  に含まれる各個体  $i'$  の評価値  $f_{i'}$  の最小値  $\min f_{i'}$  を求めて、

$$f'_i = f_i - \min_{i' \in I} f_{i'} \quad (3)$$

として  $f'_i$  を定義し、適応度関数として用いる。

交叉 遺伝子を単位として一様交叉を行い、2つの親個体から2つの子個体を生成する。

突然変異 突然変異率  $P_{\text{mut}}$  の割合で各遺伝子をランダムに変更することにより、新たな個

\*1 2.2節で定義した枝の長さ  $L_{\text{edge}}$  と目的地へ至る最短経路の長さ  $D_{\text{min}}$  を用いると  $d_1 = L_{\text{edge}}(e_1) + D_{\text{min}}(c, v_1)$ 、 $d_2 = L_{\text{edge}}(e_2) + D_{\text{min}}(c, v_2)$ 、 $d_3 = L_{\text{edge}}(e_3) + D_{\text{min}}(c, v_3)$  である。

体を生成する。

最短経路化 ある一定の割合  $P_{\text{sh}}t$  で各遺伝子の値を 1 減らすことにより、新たな個体を生成する。ただし、遺伝子の値が 1 だった場合、その遺伝子は変更しない。遺伝子（経路長に基づくリンク順位）の値が小さければ、目的地に至る最短経路の長さが短い枝が選択されることになるため、この操作には、車両の経路を少しずつ最短経路に近づける働きがある。GA の構成 図 4 に GA の処理の流れを示す。 $N_{\text{gen}}$  は世代数、 $N_{\text{pop}}$  は各世代において個体集団を構成する個体数である。なお、突然変異や最短経路化を適用する個体の割合を定めるために  $P_{\text{ind}0}$  と  $P_{\text{ind}1}$  というパラメータを用いている。

#### 4. 実験結果

提案する手法の有効性を評価するため、2.2 節のようにモデル化された車両群の動きを調べるためのシミュレータ、ならびに、3 章で述べた GA に基づく経路探索手法を、C 言語により実装し、計算機実験を行った。実世界の車両の動き（図 1 (d)）を調べるためのシミュレーションと、GA 内で車両の動きを予測する（図 1 (e)）ためのシミュレーションには、同じシミュレータを用いた。シミュレーションにおける単位時間は  $T_{\text{sim}} = 10[\text{sec}]$  とした。

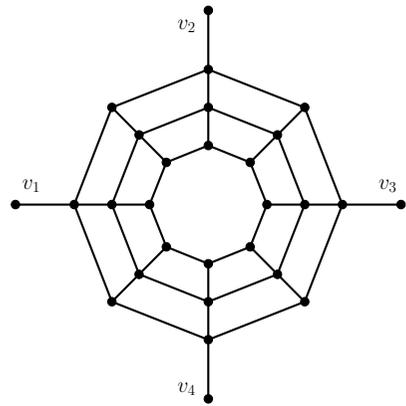
各車両は、出発時刻になったら出発地から目的地に向かって移動を開始する。2.1 節で述べたとおり、全ての車両は、交通管制センターから経路を受信するまでは最短経路を移動し、経路を受信した後は、その経路にしたがって移動するものとする。交通管制センターが車両の情報を収集する間隔は  $T_{\text{step}} = 5[\text{min}]$  とし、また、情報を収集してから配信するまで（図 1 の (a) から (c) まで）に、同じく  $T_{\text{step}}$  の時間を要するものとした。全ての車両が目的地に到着した後に、式 (1) により全車両の平均速度を求め、提案する管制手法の評価を行う。なお、GA 内で個体の評価を行う際には、前述のように、式 (2) により解の評価値を求め、式 (3) により適応度を求める。また、比較のために次の 3 つの手法でも実験を行う。MinDist（最短距離の経路を選択）全ての車両は、出発地から目的地まで最短経路を移動する（交通管制を行わない）。

MinTime（最短時間の経路を選択）全ての車両は、VICS センター（道路交通情報センター等）の配信する混雑情報（枝の通過時間）を取得し、その情報を元に最も目的地までの時間が短くなる経路を求め、その経路を選択する。なお、混雑状況の収集、処理、配信は、提案する手法と同じタイミングで行われる。

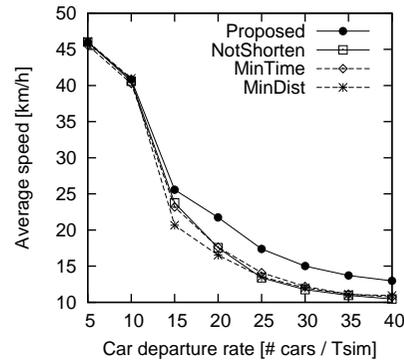
NotShorten（最短経路化を行わない GA による経路探索）提案する手法と同じだが、最短経路化を行わない（ $P_{\text{ind}1}$  を 0 にする）。

- (1) 全ての遺伝子がランダムな個体を初期個体とする。初期個体を  $N_{\text{pop}}$  個生成し、個体集団  $I$  とする。
- (2) 以下の 1 世代分の手続き (a) ~ (c) を  $N_{\text{gen}}$  回繰り返す。
  - (a) 選択と交叉を繰り返して  $(N_{\text{pop}} - 1)$  個の個体を生成し、その結果を  $I_1$  とする。まず  $I_1 \leftarrow \phi$  としておき、 $|I_1| < (N_{\text{pop}} - 1)$  の間、以下の手続き (i) ~ (iv) を繰り返す。
    - (i) 適応度比例戦略により  $I$  より 2 個体  $i_1, i_2$  を選択する。
    - (ii)  $i_1, i_2$  に交叉を適用して 2 個体  $i'_1, i'_2$  を生成する。
    - (iii)  $i'_1$  を  $I_1$  へ追加する。
    - (iv)  $|I_1| \geq (N_{\text{pop}} - 1)$  でなければ、 $i'_2$  も  $I_1$  へ追加する。
  - (b)  $I_1$  に含まれる個体の一部に突然変異や最短経路化を適用し、その結果を  $I_2$  とする。まず  $I_2 \leftarrow \phi$  としておき、 $I_1$  に含まれる各個体  $i$  に対して、以下の手続き (i), (ii) を行う。
    - (i) 確率  $P_{\text{ind}0}$  で [A] を、そうでない場合は [B] を行う。
      - [A] 確率  $P_{\text{ind}1}$  で [A-1] を、そうでない場合は [A-2] を行う。
        - [A-1]  $i$  に最短経路化を適用して個体  $i'$  を生成する。
        - [A-2]  $i$  に突然変異を適用して個体  $i'$  を生成する。
      - [B]  $i$  をそのまま  $i'$  とする。
    - (ii)  $i'$  を  $I_2$  に追加する。
  - (c)  $I$  に含まれる中で最も適応度の高いエリート個体を、 $I_2$  に含まれる  $(N_{\text{pop}} - 1)$  個の個体と合わせて、 $N_{\text{pop}}$  個体からなる個体集団とし、それを新たに  $I$  とする（次の世代の個体集団とする）。
- (3) 最終的に得られた  $I$  に含まれる最も適応度の高い個体を探索結果とする。

図 4 GA の処理の流れ  
Fig. 4 Outline of the GA.



(a) 道路網



(b) 実験結果

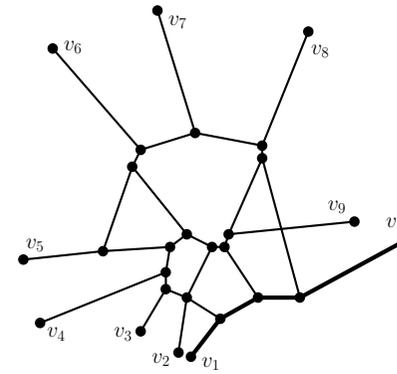
図 5 放射環状道路網

Fig. 5 A radial-circular road network.

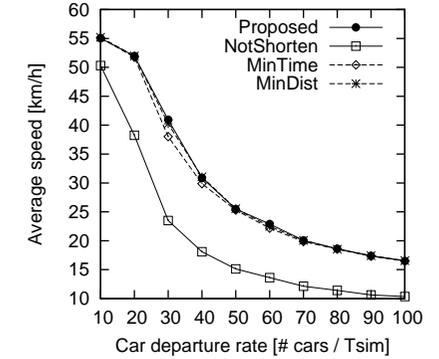
まず、図 5 (a) に示す放射環状道路網において計算機実験を行った。以下、道路網の図における節点間の(矢印の付いていない)線分は、互いに逆方向を向いた 1 対の有向枝を表している。各車両の出発地は  $v_1, \dots, v_4$  のいずれかにランダムに設定し、目的地は反対側の節点、すなわち  $v_1, v_2, v_3, v_4$  に対してそれぞれ  $v_3, v_4, v_1, v_2$  とした。各車両の出発時刻は、 $T_{sim}$  あたり 5, 10, 15,  $\dots$ , 40 台の車両が出発するように設定した(以下、この値を  $N_{rate}$  とする)。各車両の出発時刻が集中していると道路は混雑し、分散していると道路は閑散とするので、これにより混雑度の異なる状況を生じさせる。総車両台数は、いずれの状況においても  $N_{car} = 5,000$ [台] とした。

道路網と車両群のモデルに関するパラメータはそれぞれ、 $V_{max} = 50$ [km/h]、 $V_{min} = 6$ [km/h]、1 ブロックの長さは  $(V_{max} \times T_{sim})$ 、 $K_{jam} = 144$ [台/km] (1 ブロックあたり 20 台) とした。なお、この道路網は全部で 248 ブロックを含んでいる。また、GA 内で評価のために予測を行う時間を  $T_{pred} = 20$ [min] とし、最適化手法に関するパラメータはそれぞれ、 $N_{pop} = 40$ 、 $N_{gen} = 250$ 、 $P_{mut} = 0.1$ 、 $P_{sht} = 0.1$ 、 $P_{ind0} = 0.1$ 、 $P_{ind1} = 0.5$  とした。

図 5 (b) に実験結果を示す。グラフの横軸は  $N_{rate}$ 、縦軸は式 (1) により求めた全車両の平均速度である。Proposed は提案手法による結果、NotShorten、MinTime、MinDist はそれぞれ前述した比較のための手法による結果である。MinTime は  $N_{rate} = 15$  では MinDist よりも良いが、 $N_{rate}$  が大きくなる、すなわち混雑が増すと、MinDist と同程度



(a) 道路網



(b) 実験結果

図 6 首都高速道路を模した道路網

Fig. 6 A road network like Tokyo Metropolitan Expressway.

の結果しか得られなくなっている。NotShorten も MinTime と同様である。それに対して提案手法では  $N_{rate} > 15$  においても他手法に比べて良い結果が得られている。

次に、図 6 (a) に示す首都高速道路をモデルとした道路網において計算機実験を行った。 $v_1$  から  $v_{10}$  への太線の部分は片側 3 車線、その他の部分は片側 2 車線であり、車線数は  $K_{jam}$  に反映させる。なお、計算時間を考慮し、実際の首都高速道路に対して枝の長さ  $K_{jam}$  の値を 1/2 にした道路網で実験を行った。総車両台数は  $N_{car} = 20,000$ [台] とし、各車両の出発時刻は、 $N_{rate} = 10, 20, 30, \dots, 100$  となるように設定し、出発地と目的地は、以下にしたがってランダムに設定した。

- 6 割の車両は、出発地と目的地を、それぞれ、 $v_1, \dots, v_{10}$  のいずれかとする。
- 2 割の車両は、出発地を  $v_1, \dots, v_{10}$  のいずれか、目的地を任意の位置とする。
- 2 割の車両は、出発地を任意の位置、目的地を  $v_1, \dots, v_{10}$  のいずれかとする。

道路網と車両群のモデルに関するパラメータはそれぞれ、 $V_{max} = 60$ [km/h]、 $V_{min} = 6$ [km/h]、1 ブロックの長さは  $(V_{max} \times T_{sim})$ 、片側 2 車線部分については  $K_{jam} = 120$ [台/km] (1 ブロックあたり 20 台)、片側 3 車線部分については  $K_{jam} = 180$ [台/km] とした。なお、この道路網は全部で 522 ブロックを含んでいる。また、GA 内で評価のために予測を行う時間を  $T_{pred} = 15$ [min] とし、最適化手法に関するパラメータはそれぞれ、 $N_{pop} = 40$ 、 $N_{gen} = 1,000$ 、 $P_{mut} = 0.1$ 、 $P_{sht} = 0.1$ 、 $P_{ind0} = 0.1$ 、 $P_{ind1} = 0.5$  とした。

図 6 (b) に実験結果を示す。MinTime では MinDist をわずかに下回る結果しか得るこ

とができなかった（この実験では、車両が迂回路に回るとロスが大きく経路選択の余地があまりないと考えられる）。NotShorten では解の探索空間が広がったためか、他手法に対して大きく劣る結果しか得ることができなかった。それに対して提案手法では他の手法と同等以上の結果を得ることができており、これは最短経路化の有効性を示している。

## 5. ま と め

GA に基づき中央集権的に各車両の経路決定を行う道路交通管制手法について考察した。文献 4) では、問題設定は異なるが、車両数が多い場合に GA では良好な解を見つけ出すことができないと報告されており、本稿でも通常の GA による計算機実験（4 章の NotShorten）により同様の結果を得たが、最短経路化という新たな操作を導入した結果、結果を大幅に改善することができた。このような管制システムの効果は、道路網の形状や車両の行動の設定等により異なると思われるが、放射環状道路網における実験では、全車両が VICS 等に基づき自律分散的に経路決定を行う状況に対して優位な結果を得ることができた。

計算機実験では Intel Core 2 Quad (2.83GHz) プロセッサを用い、GA で経路探索を 1 回行う（図 1 (b)）ために数分から数十分を要したが、これは GA において膨大な回数のシミュレーション（図 1 (e)）を行っているためであり、例えば個体数  $N_{pop}$  と同数の計算機を用意して各個体の評価を並列に行うことにより、容易に高速化できると考えられる。なお、文献 3) は、各車両が異なる行動を取る状況についての研究であり、管制システムの実用化にはこのような考察も必要となるが、本稿は、まず全車両が理想どおりに行動する状況において経路の最適化を考えるものであり、より一般的な状況については今後の課題としたい。

## 参 考 文 献

- 1) 元田良孝, 岩立忠夫, 上田 敏: 交通工学 (第 2 版), 森北出版 (2006).
- 2) 交通工学研究会: ITS インテリジェント交通システム, 丸善 (1997).
- 3) 山下倫央, 車谷浩一, 中島秀之: 交通流の円滑化に向けた協調カーナビの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.177-187 (2008).
- 4) 大原 健, 能島裕介, 石淵久生: 交通渋滞解消のための大域的及び局所的最適化経路選択手法の性能比較, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.18, No.6, pp.867-873 (2006).
- 5) 宮川拓也, 重弘裕二, 増田達也: 遺伝的アルゴリズムを用いた交通渋滞解消のための経路選択手法, 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp.1177-1180 (2009).
- 6) 伊理正夫, 白川 功, 梶谷洋司, 篠田庄司: 演習グラフ理論, コロナ社 (1983).
- 7) 三宮信夫, 喜多 一, 玉置 久, 岩本貴司: 遺伝アルゴリズムと最適化, 朝倉書店 (1998).