

カーナビ利用時の運転者の意図推定に基づく経路推薦手法

須下 善隆[†] 中島 伸介[†] 北山 大輔^{††} 角谷 和俊^{††} NaiwalaP. CHANDRASIRI^{†††}
那和 一成^{†††}

[†] 京都産業大学 コンピュータ理工学部 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

^{††} 兵庫県立大学 環境人間学科 〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1丁目1-12

^{†††} トヨタ IT 開発センター 研究開発部 〒107-0052 東京都港区赤坂6-6-20

E-mail: [†]blackfiend@cc.kyoto-su.ac.jp, ^{††}nakajima@cse.kyoto-su.ac.jp,

^{†††}{dkitayama,sumiya}@shse.u-hyogo.ac.jp, ^{††††}{np-chandrasiri,nawa}@jp.toyota-itc.com

あらまし 自動車に搭載されたカーナビは非常に利便性の高いものであるが、必ずしも運転者の意図を反映した経路推薦を行うことはできていない。例えば、カーナビの推薦経路から意図的に別の経路を走行した場合、カーナビが元の推薦経路に戻るような経路を再推薦することがあるが、これは運転者の意図を反映したものとはいえない。したがって、本論文では運転者がカーナビの推薦経路から意図的に外れた際に、その時の意図を推定して、これに応じた経路推薦を行う手法を提案する。また、本手法のシミュレータを開発したので、これを用いた評価実験結果について報告する。
キーワード 情報推薦, 経路探索, 差異増幅アルゴリズム, カーナビゲーション

Route Recommendation Method Based on Driver's intention estimation When using the car navigation

Yoshitaka SUSHITA[†], Shinsuke NAKAJIMA[†], Daisuke KITAYAMA^{††}, Kazutoshi SUMIYA^{††},
Naiwala P. CHANDRASIRI^{†††}, and Kazunari NAWA^{†††}

[†] Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University Motoyama, Kamigamo,
Kita-Ku, Kyoto-City, Kyoto, 603-8555 Japan

^{††} Faculty of Human Science and Environment, University of Hyogo 1-1-12 Shinzaike-Honcho,
Himeji-City, Hyogo, 670-0092 Japan

^{†††} Toyota Info Technology Center, co., LTD 6-6-20, Akasaka, Minato-ku, Tokyo, 107-0052, Japan

E-mail: [†]blackfiend@cc.kyoto-su.ac.jp, ^{††}nakajima@cse.kyoto-su.ac.jp,

^{†††}{dkitayama,sumiya}@shse.u-hyogo.ac.jp, ^{††††}{np-chandrasiri,nawa}@jp.toyota-itc.com

Abstract Nowadays, car navigation systems are widely used in cars to aid drivers by providing directions to a destination. However, these systems do not always recommend a route that perfectly matches the driver's intent. Even when drivers intentionally select a route that is different from the recommended one, the system leads them back to the original route. Such recommendations do not adequately reflect the driver's intent. This study proposes a route recommendation method for a car navigation system that estimates the driver's intent and re-recommends a route that matches this intent when the driver deviates from the originally recommended route. We developed a simulator based on the proposed method and used it to experimentally verify the effectiveness of the proposed method.

Key words recommendation, route search, difference amplification, car navigation

1. はじめに

近年、カーナビゲーションは年間4700万台を超える出荷[1]

が行われるほど広く普及している。また、これに併せて技術の高度化が進み、渋滞や道路の種類による推薦経路の変更や経路記憶(よく通る道を覚える)等のように、運転者にとって利便性

の高いナビゲートが可能となっている。カーナビゲーションシステム y に関する研究としては、特に経路探索手法に関する研究は数多く行われており [2], ダイクストラ法 [3] や A * アルゴリズム [4], 遺伝的アルゴリズム [5] を始めとする様々なアルゴリズムを用いた手法が提案されている。すなわち、運転者が設定した出発地点、目的地に対して、実距離、時間距離、渋滞の有無、高速道路の有無など、様々な要因に基づき、ユーザに最短経路を提示することが可能になってきている。さらに運転者が推薦経路から外れた場合でも、あらかじめ設定された基準に基づき経路を再探索し、提示することが可能である。

しかしながら、利便性が向上した現在のカーナビゲーションシステムでも、必ずしも運転者の意図を反映した経路推薦が十分に行えているわけではない。例えば、運転技術に不安があり、カーナビゲーションシステムが提案する経路よりも広い道路を選ぶという場合である。この時、従来のカーナビゲーションシステムは、運転者の「広い道路を走りたい」という意図とは関係なく、あらかじめ設定された最短経路の基準に従って経路の再探索を行う。このため、運転者は広い道路を走り続ける場合、カーナビゲーションシステムを参考に走行することが困難となる。また、カーナビの推薦経路から意図的に別の経路を走行した場合、カーナビが元の推薦経路に戻るような経路を再推薦することがあるが、これは運転者の意図を反映したものとはいえない。ここで、運転者は経路探索アルゴリズムが推薦する経路のパラメータを手動で調整することが可能であれば、意図する経路を発見することが可能であると考えられるが、経路探索のパラメータは、実距離、時間距離、信号数、交差点数、道幅など多様であり、また、運転者が経路探索アルゴリズムを理解している必要があり現実的ではない。

運転者はカーナビゲーションが推薦する経路に不満を持ち、意図的に異なる経路を選ぶ事があるが、その要因は様々である。表 1 は、事前調査として 900 人の被験者にカーナビゲーションに関するアンケートを行った際の『推奨ルートに従わない理由は何か?』という設問の回答をまとめたものである。この結果から、推奨ルートに従わない理由の多くは、カーナビゲーションシステムが推定しにくい理由であることが分かる。

本研究では、このような問題に対し、運転者の経路選択意図を自動的に判断して、その意図に応じた最適経路を設定するアルゴリズムの開発を行う。我々は、カーナビゲーションシステムの推薦する経路とは異なる経路を運転者が選択した時の、推薦経路と選択経路の差異、およびその交差点におけるその他の経路と選択経路の差異に運転者の経路選択意図が含まれると考え、その差異を増幅して経路探索パラメータにフィードバックすることで、最適な経路を設定するアルゴリズムを開発する(図 1)。なお、この時の運転者の意図推定手法としては、差異増幅アルゴリズム [6] を適用する。差異増幅アルゴリズムとは、ユーザが“選択したもの”と“選択しなかったもの”の特徴的な差異を比較し、これを増幅することで、本来ユーザが求めていたものを推定しようとする手法である。

表 1 推奨ルートに従わない理由

経路変更理由	人数
抜け道を知っていたから	343
慣れた道を通りたかったから	315
近道だったから	250
渋滞を避けられるから	232
交通量が少ない方がいいから	209
曲がりきれなかった	190
寄り道したい所があった	166
幅が広い道を通りたい	117
いつもと違う道を通りたい	59
その他	137

2. 関連研究

狩野ら [7] は、動的にコストを変動させるアルゴリズムを用いて、数分毎に道路のコストデータを更新し、渋滞回避を可能にする手法の研究を行っている。しかし、このシミュレータでは渋滞や事故、工事等の情報のみ考慮しているため、運転者の意図を十分考慮するには不十分である。また、明示された交通情報のみへ適応可能であるため、突発的な渋滞や事故に対応出来ない。これに対し、我々の提案手法では、運転者の意図に影響する情報の種類については特に制限はなく、結果としてどの経路を重要視したのかという意図を推定しようとするものである。

根笹ら [8] は、運転者の提示する条件に合わせて経路推薦を行うアルゴリズムの研究を行っている。しかしながら運転者が提示する条件は、立寄地や道路の種類・大きさなどに限られている。また、稲垣ら [9] は遺伝的アルゴリズムを用いて重複しない複数の経路を表示させる手法の研究を行っており、運転者の意図に応じた経路を選出できる手法を提案している。

しかし、これらの研究で提案している手法では、いずれも運転者が発車前に設定することを求めており、走行中に状況が変わるような場面には対処することができない。これに対して我々の手法は動的にコストを変化させるものであり、走行中であつても柔軟に対処する事が可能である。

3. 差異増幅に基づく経路推薦手法

本論文では、差異増幅アルゴリズム [6] を採用し、運転者がカーナビゲーションシステムの推薦経路から意図的に外れた際に、その時の意図を推定して、これに応じた経路推薦を行う手法を提案する。なお、目的地は一定であることを前提とする。これは、カーナビゲーションの経路推薦機能を用いる際、運転者の目的地が変わる事は殆どないためである。このことは表 1 より、運転手がカーナビが推薦した経路から変更を行った理由に目的地の変更が挙げられていないことから推測できる。差異増幅アルゴリズムとは、ユーザが

“選択したもの” と “選択しなかったもの”

の特徴的な差異を比較し、これを増幅することで、本来ユーザが求めていたものを推定しようとする手法である。

そこで本研究においては、

“カーナビの推薦ルートに反して、選択したルート” と



図 1 運転者の意図を用いた最適経路設定アルゴリズムの概要

“カーナビの推薦ルートではあるが選択しなかったルート”のコストの差異に注目し、これを増幅処理することで、ルートのコストを再計算し、ユーザの意図に合致した最適経路の推薦を目指している。

以下、図 2 に示した、経路のコストと推奨ルートの例を用いて、差異増幅アルゴリズムによる経路推薦手法の説明を行う。図 2 中のノードは交差点、エッジは交差点を結ぶルートであり、エッジ上の数字は走行コストを表している。赤いルート(1 → 3 → 9 → 12 → 15)は、ノード 1 からノード 15 へ移動する際の最短経路である。

ここで、ノード 1 からノード 15 へ移動する運転者が、推奨ルートに反して、(1 → 2) のルートを選択したとする。このようなケースでは、従来のカーナビゲーションシステムは、ノード 2 からノード 15 への最短ルートを再計算して、運転者に提示することが多いが、ノード 2 からノード 15 への最短経路は、(2 → 3 → 9 → 12 → 15) であり、この運転者に対しては(2 → 3) のルートを推薦することになる。しかしながら、ノード 3 に移動するのであれば、(1 → 2 → 3) と進むことはなく、最初から(1 → 3) のルートを選択するのが自然である。したがって、ある意図を持って運転者が(1 → 2) のルートを選択した場合は、(2 → 3) のルートを推薦するのは適切とはいえない。

そこで本研究では、選択したルートと選択しなかったルートの差異に着目して、仮想的なコスト計算を行うことで、運転者の意図に合致した経路推薦を行うことを目指す。以下に、ノード s からノード x への走行をカーナビゲーションに推奨されたが、この推奨ルートには従わずノード s からノード y に走行した場合のノード i から先の“仮想”走行コスト $C'_{i \rightarrow ?}$ の算出式を示す。“仮想”走行コストとは、運転者の意図に基づいて算出されるコストであり、通りたくないと推定される経路のコストは大きく、通りたいと推定される経路のコストは小さく算出される。

$$C'_{i \rightarrow ?} = \left(\frac{C_{s \rightarrow y \rightarrow i}}{C_{s \rightarrow x \rightarrow i}} \right)^\alpha \cdot C_{i \rightarrow ?} \quad (1)$$

ただし、

$C_{a \rightarrow b \rightarrow c}$: ノード a から b を経由して c まで辿った時の経路の走行コスト

$C_{i \rightarrow ?}$: ノード i から 1 ホップ先の経路の走行コスト
 $C'_{i \rightarrow ?}$: ノード i から 1 ホップ先の経路の“仮想”走行コスト
 α : 増幅係数
 である。

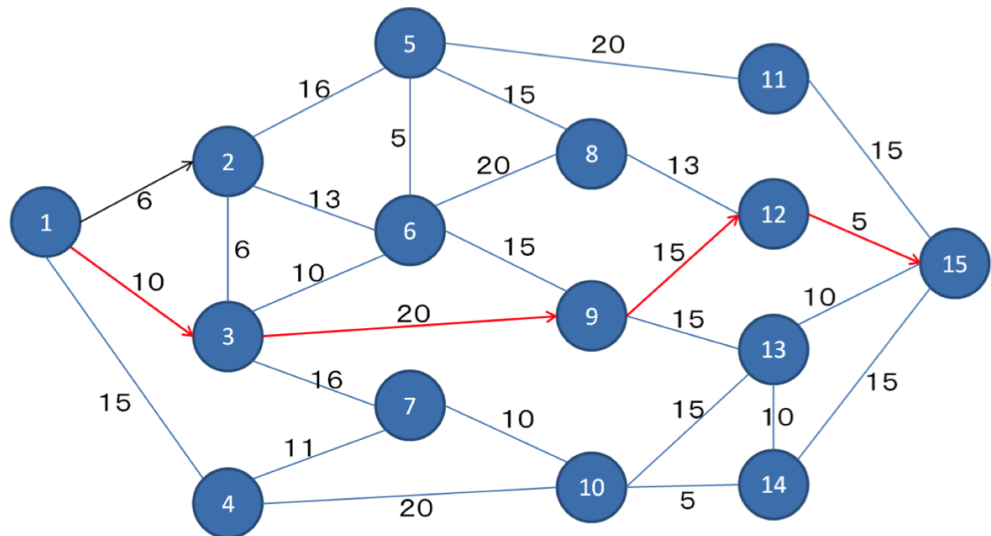
図 3 に示した例に基づいて説明する。図 3 は、(1 → 3) の推奨ルートを(1 → 2) と進んだ場合の以降の経路の仮想走行コストの計算例を示したものである。ただし、この例では増幅係数 α は、1 としている。

まず、経路(3 → 9)に注目する。この経路の元々のコストは 20 である。(コストの種類は特に制限はないが、例えば仮に所要時間を想定してもらっても差し支えない) この経路を走行するためには、元々の推奨ルートの場合は(1 → 3) (コスト 10) を辿ることになる。(1 → 2) と進んだ後にこの経路を走行するためには、(1 → 2 → 3) (コスト 12) と辿ることになる。すなわち、推奨ルートに逆らって(1 → 2) と進んだ運転者の行動により、経路(3 → 9)への到達コストが $\frac{12}{10}$ 倍になる。運転者が経路(3 → 9)を走行したければ、推奨ルートの通り(1 → 3) と進んでいたと考えられるため、ここでは仮想走行コストを元々の 20 の $\frac{12}{10}$ 倍と設定する。これが差異増幅アルゴリズムに基づく仮想走行コストの算出方法である。

次に、経路(2 → 5)に注目する。この経路の元々のコストは 16 である。この経路を走行するためには、元々の推奨ルート(1 → 3) から辿る場合は、(1 → 3 → 2) (コスト 16) と辿ることになる。実際に運転者が進んだことにより(1 → 2) (コスト 6) となる。すなわち、推奨ルートに逆らって(1 → 2) と進んだ運転者の行動により、経路(2 → 5)への到達コストが $\frac{6}{16}$ 倍になる。運転者が経路(2 → 5)を走行したくなくれば、推奨ルートの通り(1 → 3) と進んでいたと考えられるため、ここでは仮想走行コストを元々の 16 の $\frac{6}{16}$ 倍と設定する。

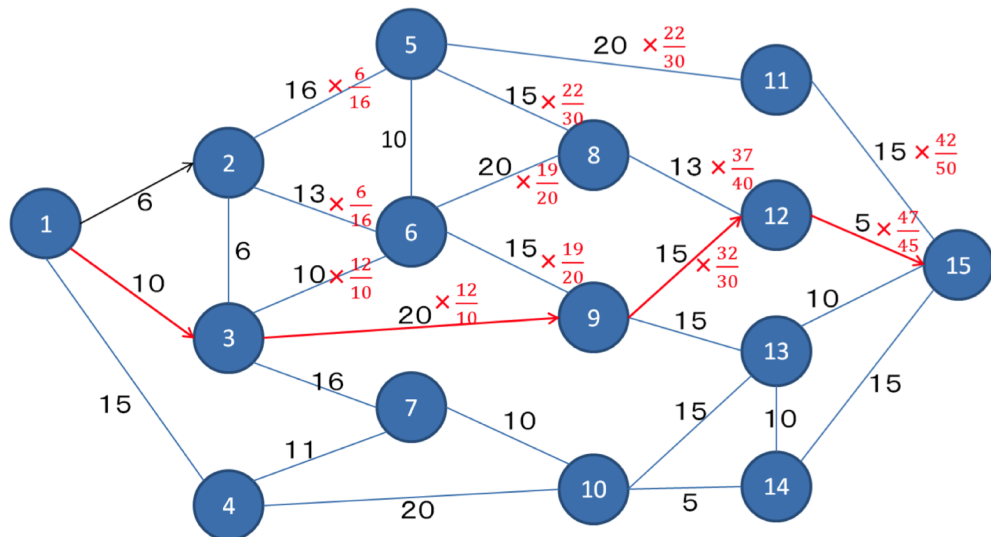
このようにして各経路(エッジ)の仮想走行コストを、 $\frac{C_{s \rightarrow y \rightarrow i}}{C_{s \rightarrow x \rightarrow i}}$ に基づいて計算することができる。なお、この時の増幅係数は α により調整することが可能である。 $0 < \alpha < 1$ の時、増幅を小さく、 $1 < \alpha$ の時、増幅を大きく設定することができる。

この結果、図 3 に示した各経路の仮想走行コストに基づき、ノード 2 から 15 への最短経路の再計算を行うと、元々の最短経路である、(2 → 3 → 9 → 12 → 15) はコスト 46 からコスト 51.22 になり、(2 → 5 → 11 → 15) はコスト 51 だったものが



● はノードを表す。エッジの数字は走行コスト。¹

図 2 経路のコストと推奨ルート为例



● はノードを表す。エッジの数字は走行コスト。

図 3 カーナビ推奨経路に反してノード 2 へ移動した際の仮想走行コストの例

32.67 となる（再計算後の最短経路）。このように最短経路の再計算を行うことで、運転者が意図的にカーナビ推奨ルートから別のルートを選択した場合でも、無理に元のルートに戻らせるようなことはせず、運転者の意図に応じた経路推薦を行うことが可能になると考えている。

4. 評価実験

差異増幅アルゴリズムの有効性を確かめるため、評価実験を行った。

4.1 シミュレータの開発

評価実験には C# で開発したシミュレータを用いた（図 4、図 5）。表示に関して右の画面には Google のストリートビュー、左の画面には Google Maps を用いている。GoogleMap はよって車内のカーナビゲーションシステムを模しており、ストリート

ビューは車内から見たフロントガラス越しの風景を模している。内部においては Open Street Map のデータにある道路情報を示す `< way >` タグや `< way >` タグを結び付ける `< node >` タグ等を道路ネットワーク情報として読み込み、経路推薦の処理を行う。最短距離の求め方は最短経路問題に有効とされているダイクストラ法を用いている。

現在地を表示するアイコンの前進と後退はストリートビュー右の上下のボタンを押すことで行える。ストリートビューは自動的に進行方向を向くように制御される。ユーザは自由にストリートビューを操作し、進みたい道を選ぶための視覚的情報を得ることができる。また、アイコンはストリートビューの操作に合わせて回転するようになっている。

シミュレータには被験者のデータのログを残す機能を備えている。名前入力用のテキストフォームに新たな名前を入力する



図 4 シミュレータ (起動時)



図 5 シミュレータ (経路変更後)

とその被験者用のログ用ファイルが作られる。ログの記録タイミングは経路変更点が指定された時、ストリートビューまたは経路変更用マーカーを操作した時、アンケート入力を行った時の三パターン。またログの記録に合わせてシミュレータのスクリーンショットを撮る。このスクリーンショット画像を用いる事で被験者の経路変更の動機推定に役立てる。記録内容はユーザ ID、操作日時、出発点座標、目的点座標、経路変更点座標、SV 水平方向角度、SV 垂直方向角度、SV 進行後座標、赤経路の通常コスト計、赤経路の再計算後コスト計、青経路の通常コスト計、青経路の再計算後コスト計、選択経路 (赤/青)、自由記述メモ、スクリーンショットファイル名である。

シュミレーションを行う地域は東京 23 区、京都市中心部、大阪市中心部、名古屋市中心部、横浜市中心部、福岡市中心部、

広島市中心部、札幌市中心部の八カ所である。

差異増幅アルゴリズムの変数 α は 3 とした。 α の値を必要以上に少なくすると既存手法と変わらない推薦が行われる頻度が多くなり、必要以上に大きくすると初期の推薦経路から大きく迂回してしまう。複数経路で検証を行い、ほどよい経路を選ぶ事が多かった 3 を変数 α の値に選んだ。

4.2 実験内容

被験者が行った実験のタスクを以下に示す。

(1) シミュレータを起動し、名前をテキストフォームに入力する。

(2) 被験者は出発点と目的地を決定する。この時、被験者が出発点と目的地を選ぶ際に道路ではない場所を選択すれば、

表 2 実験結果

	経路変更理由	従来手法	提案手法	合致率
道路の既知・未知に関わらない変更	右折が苦手	1	14	93.3%
	道幅が広い方へいきたい	50	313	86.2%
	信号が少なそうだったから	13	53	80.3%
	左折が苦手	1	0	0.0%
	計	65	380	85.4%
既知の道路に対する変更	いつもと違う道を通りたかった	5	38	88.4%
	慣れた道を通りたかったから	19	87	82.1%
	寄り道したい所があった	16	66	80.5%
	抜け道を知っていたから	7	17	70.8%
	近道だったから	25	47	65.2%
	計	72	250	78.0%
	その他	13	62	82.7%
	総計	151	700	82.3%

シミュレータにより自動的に最寄りの道路が出発点/目的地として選ばれる。両方決定したら、経路探索ボタンを押す。

(3) シミュレータが推薦経路を提示するので、地図とストリートビューを用いて経路を確認する。

(4) そこで被験者が自分の意図とそぐわない経路を見つけた場合、経路変更を行いたい地点に移動しストリートビュー上の矢印を選ぶか、経路変更可能なポイントを示す黄色いマーカーを選ぶ。

(5) シミュレータが従来手法と提案手法の経路を表示させるので、どちらがより意図に合っているかを選択する。両方の経路が重なった場合には『同じ』の選択肢を選ぶ。

(6) (2) にて推薦経路がそぐわないと思った理由をアンケートとして記入する。

実験回数は1人約60回。既知のエリアを3つと未知のエリアを3つ選んでもらい、それぞれ10回試行してもらった。被験者は19名であり、大学生もしくは社会人で運転経験があることを確認している。

被験者実験により975回分のデータを得た。アンケートは運転者が走行道路についての知識の有無による経路選択の影響を調べるため行ったもので、アンケートの選択肢には道路を知っていると考えられる変更理由と道路の既知/未知に影響しない変更理由の二種類入れている。被験者が行った実験のタスク(5)では図5のように従来手法により計算した経路は青色、提案手法により計算した経路は赤色で被験者に提示した。なお、被験者には示した青と赤の二つの道がどういう思惑があるのかは伝えていない。

実験結果をアンケートの意図別に表2にをまとめる。

提案手法が選ばれた回数は700回であり、従来手法が選ばれた回数は151回であったため、提案手法による運転者の意図との合致率は82.3%となった。なお、この実験においては『どちらの手法が運転者の意図に応じているか』を求めているので、提案手法と従来手法の推薦結果が同じになった124回に関しては含まれていない。運転者が走行道路についての知識の有無による経路選択の影響を調べるため行ったアンケートの結果、既知/未知に影響しない選択肢を選んだ場合での合致率は85.4%と提

案手法が高い結果となったが、既知の道路に対する選択肢を選んだ場合では78.0%と比較的低い合致率になった。既知/未知に影響しない、一般的な経路変更理由に対し、提案手法は適切に暗黙的な運転者の意図を検知することができているといえる。

既知の道路における経路の変更意図としては、特定の道路や地理オブジェクトを経由したいという強い意図があると考えられ、提案手法の推奨経路に対する暗黙的な否定による経路推薦が適切に行われなかったものと考えられる。しかし、このような場合、運転者が直接経由地点を指定することが可能であると考えられるため、自動的な意図推定と明示的な意図の入力を適切に組み合わせる手法が有効であると考えられる。

「抜け道を知っていたから」、「近道だったから」といった、距離に関係がある変更理由での経路変更では、提案手法による合致率が比較的低いものとなった、これは提案手法により検知している意図が、初期コストである最短距離に対する否定的な意図を検知しているためであると考えられる。提案手法では、初期コストによる推奨ルート対しての経路変更という、その因子に対しての否定的な意図を検知し、実際の変更意図、例えば、「道幅が広い方がいい」や「曲がる回数が少ない方がいい」などはブラックボックスとして扱っている。今後は、この経路変更意図を詳細に分析し、検知するアルゴリズムを構築し、差異増幅を行うべきコストを決定する必要があると考えている。

5. おわりに

差異増幅アルゴリズムに基づくカーナビ利用時の運転者の意図推定による経路推薦手法の提案を行った。提案手法では、初期値として与えられたコストと経路変更によって生じた仮想的コストとの差異に運転者の意図が含まれると仮定し、コストの再計算を行うことで経路推薦を行った。シミュレータとして、アルゴリズムを実装し、日常的に運転を行っている被験者を用いて評価実験を行った。評価実験を通して、差異増幅アルゴリズムの有効性を確認した。

今回の評価実験では経路の比較に用いるコストを距離のみとしたが、道幅や道路の種類など様々な要因をコストとして考慮していく。経路変更の際に曲がりきれなかった等の運転者の

意図とは違った理由で経路変更をしてしまった場合の対策も考慮していく。本実験の提案手法は運転者が選択した経路のコストと選択しなかった経路のコストの“比”を用いたが、“差”を用いた場合どちらがより適切であるか検証していく。また、運転者の経路判断にはどのような基準や価値感があるのかを見いだしてプロファイリングを行い、運転者個人に合わせた経路推薦を行えるように目指す。

謝 辞

本研究の一部は、株式会社ミックウェアとの共同研究「運転者の意図を用いた最適ルート設定手法の研究」による。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] 国土交通省道路局『カーナビ・VICS の出荷台数』2011 年 9 月時点
- [2] 独立行政法人 工業所有権情報・研修館『カーナビ経路探索技術』, 2005
- [3] E. W. Dijkstra, “A note on two problems in connexion with graphs,” *Numerische Mathematik*, vol. 1, no. 1, pp. 269–271, Dec. 1959.
- [4] P. Hart, N. Nilsson, and B. Raphael, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,” *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968.
- [5] David E. Goldberg, genetic algorithms in search optimization and machine learning, addison-Wesley, 1989
- [6] 中島伸介, 木下真一, 田中克己. 差異増幅型適合フィードバックに基づく画像データベース検索. 電子情報通信学会論文誌 (データ工学特集号) VOL.J87-D1 No.2, pp.164-174, 2004.
- [7] 狩野均, 小塚英城, CA 法による広域道路交通シミュレータを用いた経路案内方式の評価, 情報処理学会, ITS 研究会, 2002.
- [8] 根笹 賢一, 宮岡 伸一郎, カーナビ経路探索における運転者希望経路の反映, 情報処理学会研究報告.MBL 2007.
- [9] 稲垣潤, 長谷山美紀, 北島秀夫, 遺伝的アルゴリズムを用いた経路探索における複数経路候補の決定法, 電子情報通信学会論文誌, 1999.