

カーナビ利用時の推薦経路と選択経路の差異に基づく ルート推薦方式

中島 伸介^{1,a)} 北山 大輔^{2,b)} 濱田 恵輔^{3,c)} 角谷 和俊^{4,d)}

受付日 2013年12月22日, 採録日 2014年2月6日

概要: 近年, カーナビゲーションシステムは累計 5,900 万台を超える出荷が行われるほど広く普及している. このカーナビは非常に利便性が高いといえるが, つねに運転者の意向に沿った経路推薦を行えるわけではない. たとえば, カーナビが提示する推薦経路に対し, 運転者が意識的に別ルートを走行するケースを想定する. この際, カーナビが元の推薦経路に復帰させるような経路を再推薦することがしばしば起こるが, これでは運転者の意向に沿ったルートを提案しているとはいえない. したがって, 本論文ではカーナビの推薦経路と運転者の選択経路の差異を分析し, 経路のコストを動的に変化させることで, 運転者の意向に沿ったルート推薦を可能にする手法を提案する.

キーワード: カーナビゲーション, 経路推薦, 差異増幅アルゴリズム

Car Navigation Route Recommendation Method Based on Characteristics Differences between Recommended Route and Driver's Selected Route

SHINSUKE NAKAJIMA^{1,a)} DAISUKE KITAYAMA^{2,b)} KEISUKE HAMADA^{3,c)} KAZUTOSHI SUMIYA^{4,d)}

Received: December 22, 2013, Accepted: February 6, 2014

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.

Keywords: car navigation, route search, difference-amplification algorithm

1. はじめに

近年, カーナビゲーションシステム (以後, カーナビと略して記述する) は累計 5,900 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, これにあわ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) 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. カーナビに関する研究としては, 特に経路探索手法について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]

¹ 京都産業大学
Kyoto Sangyo University, Kyoto 603-8555, Japan
² 工学院大学
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan
³ 京都産業大学大学院
Graduate School of Kyoto Sangyo University, Kyoto 603-8555, Japan
⁴ 兵庫県立大学
University of Hyogo, Awaji, Hyogo 670-0092, Japan
a) nakajima@cse.kyoto-su.ac.jp
b) kitayama@cc.kogakuin.ac.jp
c) i1458067@cse.kyoto-su.ac.jp
d) sumiya@shse.u-hyogo.ac.jp

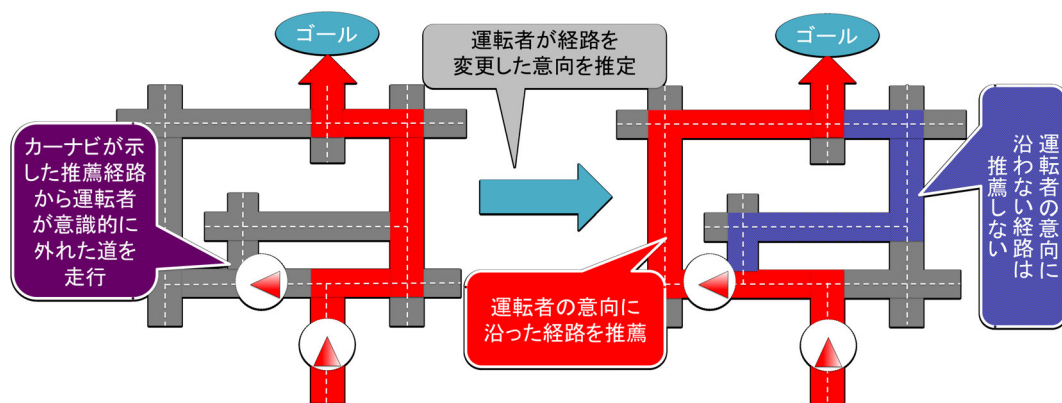


図1 運転者の意向に沿った経路推薦アルゴリズムの概要

Fig. 1 Outline of route setting algorithm considering driver's intent.

といった最短経路探索だけでなく、分かりやすく説明が容易な経路を探索するアルゴリズム [5] のような、様々なアルゴリズムを用いた手法が提案されている。実距離のみをコストとするのではなく、時間距離や渋滞の有無、高速道路の有無といった様々な要因をコストとして扱うことで、運転者が設定した出発地、目的地に対して、ユーザにそのコストにおける最短距離を提示することが可能になってきている。たとえば、道路に設定されている距離コストと時間コスト、VICS 情報による渋滞コストを線形結合した複合コストを設定すれば、この3つの要因に関して扱った最短距離を提示可能となる。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でも、必ずしも運転者の意向に沿った経路推薦が十分に行えているわけではない。たとえば、何らかの理由で、カーナビが推薦するルートから外れ、別のルートを選択した場合である。このとき、従来のカーナビは、運転者の「別のルートを行きたい」という意向とは関係なく、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。この場合、少なからず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、これは運転者の意向を反映したものとはいえない。

運転者はカーナビが推薦する経路に不満を持ち、意識的に異なる経路を選ぶことがあるが、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に関するアンケートを行った際の『推奨ルートから外れた道を選択するとき、主にどのような理由があるか?』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うち「曲がりきれなかった」に関しては、元の推薦基準を用いて再推薦することが妥当であるが、他の理由に対しては必ずしもそうではなく、従来のカーナビでは適切に対処することが難しい理由であることが分かる。

以上をふまえ、カーナビ利用時の推薦経路と選択経路の差異に基づくルート推薦方式の開発を本研究の目的とす

表1 推奨ルートに従わない理由

Table 1 Reasons for not following the recommended route.

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
近所だったから	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

る。カーナビの推薦する経路とは異なる経路を運転者が選択したとき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コストにフィードバックすることで、運転者の意向に沿った経路推薦を行うアルゴリズムを開発した(図1)。なお、このときの運転者の意向を推定する手法としては、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する手法である。

2. 関連研究

経路探索に関する研究は、認知心理学など様々な分野で研究されている。ダイクストラ法やA*アルゴリズムといった最短経路探索が有名であるが、最短経路は最適な経路であるとは限らない。Streeterら [7], [8] の研究によれば、人間の案内者が案内する場合に選ぶ経路は、説明することやついてこさせることが簡単な経路を選ぶ傾向にあり、最短経路ではない。Golledge [9] の研究では、人間が経路選択をする際の要求の順位について、最短経路や最短時間距離以外にも、曲がり角の数なども高い順位であると報告して

いる。本研究では、これらのことからユーザの経路選択理由は多様であるにとらえ、経路選択をした際に、カーナビゲーションシステムの初期コストから、選択した経路およびそこから走行されると考えられる経路の特徴に合致する経路を推薦するべきであると考えている。

狩野ら [10] は、動的にコストを変動させるアルゴリズムを用いて、数分ごと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、この手法では渋滞や事故、工事などの情報のみ考慮しており、たとえば運転者が進路を変更したとしても運転者の意向を考慮できず、渋滞情報に基づいたコストによる経路を推薦するのみである。本手法で扱うコストは複合的なパラメータの結果であり、我々の手法ではその内部はブラックボックスとして扱っているものの、そのパラメータが動的に変化しても提案手法のアルゴリズムでは、その変更後のコストを扱うため、突発的なパラメータ変更があったとしても対応可能である。

静的なコストに対して、運転者の意向に合致する経路を探索する研究は数多く研究されている。根笹ら [11] 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 [12] 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、運転者の意向に応じた経路を選出できる手法を提案している。大沢ら [13] や鈴木ら [14] は、設定した経路に対して、寄り道箇所を追加した場合の経路探索アルゴリズムを提案している。具体的には運転者が入力した寄り道条件に合致する POI (Point Of Interest) を通る最適な経路を発見するために逐次拡大法というアルゴリズムを用いている。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明示的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、走行中であっても柔軟に対応することが可能である。

歩行者の嗜好に合わせた経路を提示するために、松田ら [15] は、100~200 人規模のアンケート調査を 2 回にわたって行い、歩行者の嗜好を表現するパラメータを特定している。この研究では、経路上の階段の有無などの快適性や、ガードレールや横断歩道などの安全性に寄与するパラメータが重視されるという知見を得ている。このようなアンケート調査を、個人単位で行うことで嗜好を表現することが可能になると考えられる。しかし、運転中においてはこのような静的なパラメータだけでなく、道路状況に対する運転者の判断といった動的なパラメータが存在すると考えられ、提案手法はこのような動的なパラメータを扱うことを目的としている。

3. 差異増幅アルゴリズムを用いた経路推薦手法

差異増幅アルゴリズム [6] を採用し、運転者がカーナビの推薦経路から意識的に外れた際に、そのときの運転者の意向に沿った経路推薦を行う手法の説明を行う。なお、目的地は一定であることを前提とする。これは、カーナビの経路推薦機能を用いる際、運転者の目的地が変わることはほとんどないためである。このことは表 1 より、運転者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あ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。

そこで提案手法においては、

“カーナビの推薦ルートに反して、選択したルート”と

“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、ユーザの意向に沿った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 ($1 \rightarrow 3 \rightarrow 9 \rightarrow 12 \rightarrow 15$) 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 ($1 \rightarrow 2$) 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 ($2 \rightarrow 3 \rightarrow 9 \rightarrow 12 \rightarrow 15$) であり、この運転者に対しては ($2 \rightarrow 3$) 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 ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$) と進むことはなく、最初から ($1 \rightarrow 3$) のルートを選択するのが自然である。したがって、意識的に運転者が ($1 \rightarrow 2$) のルートを選択した場合は、($2 \rightarrow 3$) のルートを推薦するのは適切とはいえない。

そこで提案手法では、“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、運転者の意向に沿っ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、運転者の意向に基づいて算出されるコストであり、通りたくないと思われ推定される経路のコストは大きく、通りたと思われ推定され

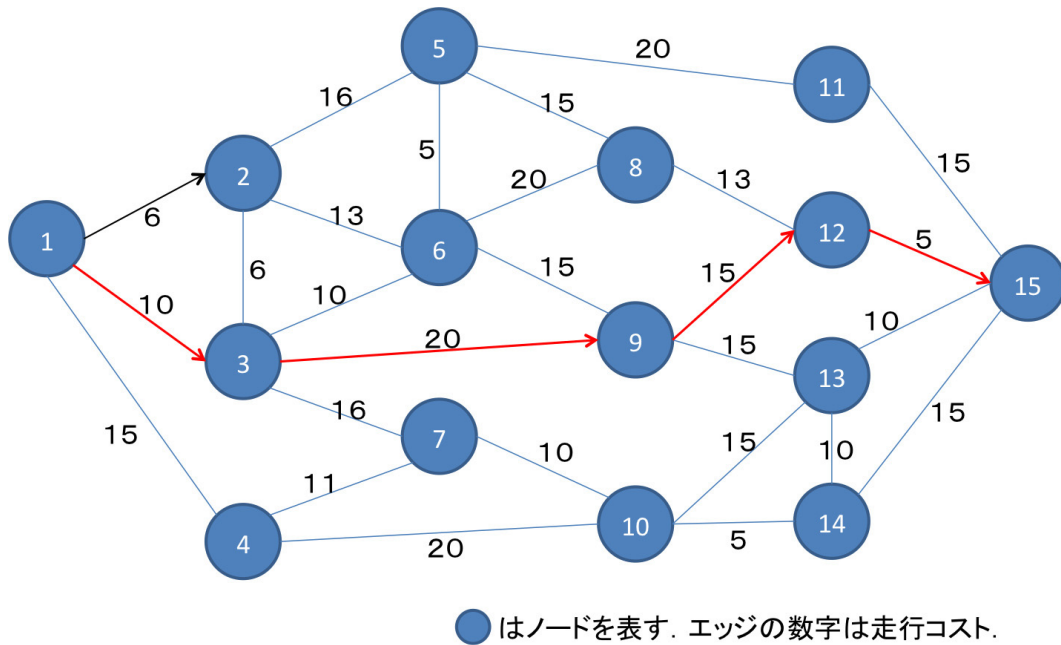


図 2 経路の走行コストと推奨ルートの例

Fig. 2 Example of route's driving costs and recommended route.

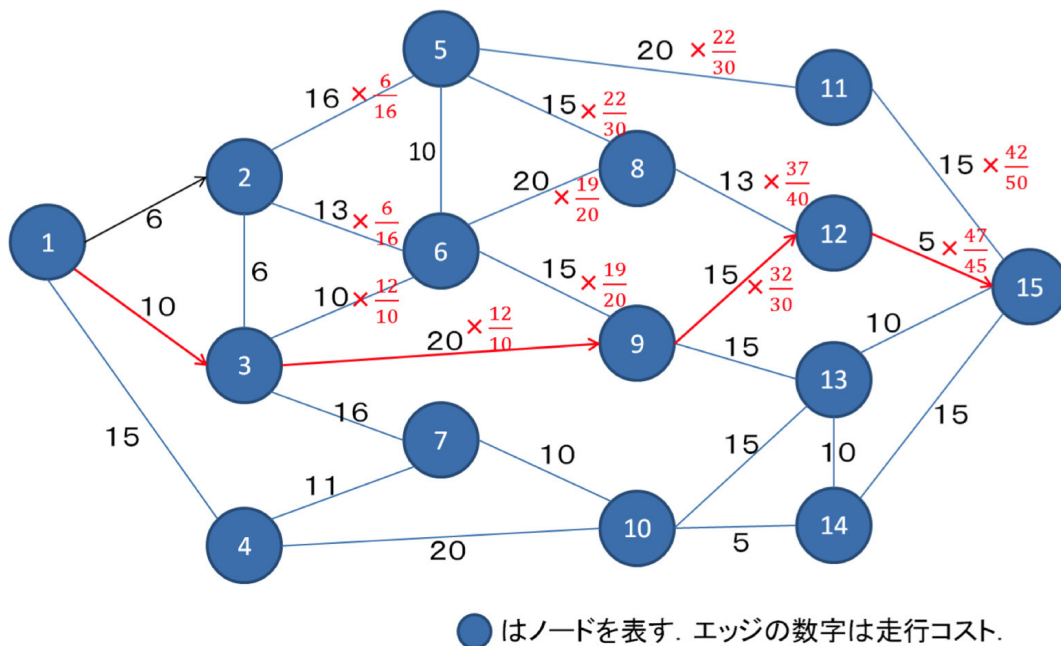


図 3 仮想走行コストの計算例

Fig. 3 Example of calculating virtual driving costs.

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 までたどる最短経路の走行コスト

$C_{i \rightarrow ?}$: 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, $(1 \rightarrow 3)$ の推奨ルートに反して $(1 \rightarrow 2)$ と進んだ際の, それ以降の経路の仮想走行コストの計算結果を示したものである. ただし, この例では増幅係数 α は, 1.0 としている.

まず, 経路 $(3 \rightarrow 9)$ に注目する. この経路の元々のコストは 20 である. なお, コストの種類は特に制限はないが, たとえば仮に所要時間を想定してもらっても差し支え

表 2 図 3 に示した例における仮想走行コスト (一部)

Table 2 Result of calculation for the assumed traveling cost in Fig. 3 (A part of result).

	元々のコスト	仮想走行コスト
経路 (3 → 9)	20	24
経路 (2 → 5)	16	6

ない。この経路 (3 → 9) を走行するためには、元々の推奨ルートの場合 (1 → 3) (コスト 10) をたどることになる。(1 → 2) と進んだ後にこの経路を走行する場合は、(1 → 2 → 3) (コスト 12) とたどることになる。なお、これらを式 (1) にあてはめると、以下ようになる。

$$s = 1, x = 3, y = 2, i = 3, ? = 9$$

$$C_{i \rightarrow ?} = 20, C_{s \rightarrow x \rightarrow i} = 10, C_{s \rightarrow y \rightarrow i} = 12$$

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、推奨ルートのとおり (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 (表 2 参照)。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) からたどる場合は、(1 → 3 → 2) とたどることになり、コストは 16 である。ただし、実際には運転者が (1 → 2) と進んだことにより、このコストは 6 となる。これらを式 (1) にあてはめると、以下ようになる。

$$s = 1, x = 3, y = 2, i = 2, ? = 5$$

$$C_{i \rightarrow ?} = 16, C_{s \rightarrow x \rightarrow i} = 16, C_{s \rightarrow y \rightarrow i} = 6$$

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) を走行したくなければ、推奨ルートのとおり (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 (表 2 参照)。

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、このときの増幅係数は α により調整することが可能である。 $0 < \alpha < 1.0$ のとき、増幅を小さく、 $1.0 < \alpha$ のとき、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 32.67 となる (再計算後の最短経路) (表 3 参照)。このように最短経路の再計算を行うことで、運転者が意識的にカーナビ推奨ルートから別のルートを選択した

表 3 図 3 に示した例における仮想走行コストのトータルコスト (一部)

Table 3 Result of calculation for the total cost of the assumed traveling cost in Fig. 3 (A part of result).

	元々のトータルコスト	仮想走行コストのトータルコスト
経路 (2 → 3 → 9 → 12 → 15)	46	51.22
経路 (2 → 5 → 11 → 15)	51	32.67

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、運転者の意向に沿った経路推薦を行うことが可能になる。

4. シミュレータの開発および評価実験

4.1 シミュレータ概要

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)。シミュレータの右の画面には Google のストリートビュー、左の画面には Google Maps を用いている。Google Maps は車内のカーナビを模しており、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。システムの内部においては Open Street Map *1 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>` タグなど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。コストにはノード (交差点) 間の距離を用いた。そのため、ベースラインであるダイクストラ法では、最も短い距離になる経路が推薦される。

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とき、ストリートビューまたは経路変更用マーカを操作したとき、アンケート入力を行ったときの 3 パターンである。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ことで考察時に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

*1 <http://www.openstreetmap.org/>



図 4 シミュレータ (起動時)

Fig. 4 Simulator (Start-up).



図 5 シミュレータ (経路変更後)

Fig. 5 Simulator (After changing driving route).

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)、経路変更理由アンケート、自由記述メモ、スクリーンショットファイル名である。

シミュ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 8 カ所である。

4.2 提案手法の評価実験

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) 被験者は出発地と目的地を決定する。このとき、被験者が出発地と目的地を選ぶ際に道路ではない場所を選択すれば、シミュレータにより自動的に最寄りの道路が出発地/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のマーカを選ぶ。

表 4 提案手法の評価実験結果

Table 4 Result of experimental evaluation for proposed method.

	経路変更理由	従来手法の選択回数	提案手法の選択回数	提案手法の選択割合
道路の既知・未知に影響しない変更理由	右折が苦手	1	14	93.3%
	道幅が広い方へ行きたい	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理由	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%

(5) シミュレータが従来手法と提案手法の経路を表示するので、より運転者の意向に合致する経路を選択する。両方の経路が重なった場合には『同じ』の選択肢を選ぶ。

(6) (4) で推薦経路がそぐわないと思った理由をアンケートに入力する。

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、運転経験がある大学生もしくは社会人19人である。

被験者実験により975回分のデータを得た。なお、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と提案手法により計算した経路を被験者に提示した。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に行ったもので、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2種類が用意されている。

差異増幅アルゴリズムにおける増幅係数 α は、3.0として実験を行った。増幅係数が1.0または2.0の場合、従来手法で推薦された経路と提案手法で推薦された経路に明確な違いが現れなかったが、増幅係数を3.0に設定した際に、それぞれの経路に明確な違いが現れたため、まずは増幅係数3.0とした。

実験結果をアンケートの経路変更理由別に表4にまとめる。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、提案手法の選択割合は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向に沿っているのか』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回に関しては結果に含まない。

運転者の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に行ったアンケートの結果、“道路の

既知・未知に影響しない変更理由”を選択した場合による提案手法の選択率は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変更理由”を選択した場合では78.0%と“既知・未知に影響しない変更理由”に比べ比較的低い選択率となった。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向を考慮することができているといえる。

なお、提案手法では、推奨ルートに対する経路変更により、運転者の相対的な意向を考慮するものであり、実際の変更意図、たとえば「道幅が広い方がいい」や「曲がる回数が少ない方がいい」などの詳細な意図について推定することを目指すものではない。

4.3 差異増幅アルゴリズムにおける増幅係数の検証

4.2節では、既存手法との違いが明確となる最低限の増幅係数である3.0で評価実験を行った。本節では、運転者の意向に沿ったルートを最も多く再推薦する増幅係数について検証を行う。4.2節の評価実験では、従来手法(ダイクストラ)より少しでも優れているかどうかを検証したが、本節の評価実験では、「単に従来手法より少しでも優れているか」だけでなく、「本来の運転者の選択経路に合致したルートを再推薦できているか」を検証する。したがって、4.2節の評価実験よりも厳しい基準で評価を行うものである。

被験者が行った実験のタスクを以下に示す。

- (1) 指定された増幅係数を設定し、シミュレータを起動する。
- (2) 被験者はあらかじめ決められた出発地と目的地を設定する。両方設定したら、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



図 6 提案手法により計算した経路が被験者の意向に沿った例

Fig. 6 Example of recommended route of proposed method consistent with user's intent.

表 5 提案手法の増幅係数検証結果

Table 5 Result of experimental evaluation on amplification coefficient for proposed method.

増幅係数	被験者の意向に対する不正解数	被験者の意向に対する正解数	被験者の意向に対する正解率
3.0	19	5	21%
4.0	11	13	54%
5.0	11	13	54%
6.0	9	15	63%
6.5	9	15	63%
7.0	7	17	71%
7.5	8	16	67%
8.0	8	16	67%
8.5	8	16	67%
9.0	9	15	63%
10.0	10	14	58%
12.0	11	13	54%
14.0	11	13	54%

イントを示す黄色のマークを選ぶ。

- (5) シミュレータが従来手法と提案手法の経路を表示するので、提案手法の経路が、被験者の意向を正確に汲み取った経路であるか被験者が判断する。被験者の意向を正確に汲み取った経路であれば「正解」、そうでない場合は「不正解」とした。

実験回数は312回。様々な都市から24の経路を設定し、増幅係数3.0～14.0の範囲(表5参照)の中で、それぞれ検証を行った。予備実験を行い増幅係数が6.0～9.0の間にある場合、提案手法の経路が、被験者の意向を反映した経路を推薦するケースが多かったため、検証する増幅係数の範囲はそれも含めて、3.0～14.0にした。被験者は運転経

験がある大学生である。なお、この検証は、提案手法により計算した経路が、被験者があらかじめ想定した経路に近いかどうかを調べるのが主たる目的であるため、被験者には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あることを伝えた。検証結果を表5にまとめる。

増幅係数が7.0のとき、被験者の意向に対する正解率は71%であった。増幅係数が7.0で、提案手法により計算した経路が被験者の意向を反映した例を図6に示す。この例では、提案手法により推薦された経路が、被験者が意向した経路と一致している(赤色)。

同様のケースで、増幅係数を3.0に変更した場合の経路を図7に示す。従来手法により計算した経路(青色)との変化が少なく、このときの被験者の意向と一致する経路が推薦されなかった。これらの結果から、増幅係数の値により、大幅に経路を変更するのか、もしくは変更幅を小さく抑えるのかを、決定することが可能であることが分かる。

4.4 考察

●既知の道路に対する適用について

4.2節の表4で示したとおり、“既知の道路に対する変更理由”の場合の方が、“道路の既知・未知に影響しない変更理由”に比べて、相対的に低い選択率となった。これは、“既知の道路に対する変更理由”の場合、既知であるがゆえに運転者が明確な目的や経由地を認識しているものと考えられる。これに対して提案手法では、元々の推薦経路に比べて比較的運転者の意向に沿った経路を推定するものであるため、運転者の明確な目的意識を満足させるには至らなかった可能性が考えられる。実際の運用を行う場合には、



図 7 提案手法により計算した経路が被験者の意向に沿わなかった例

Fig. 7 Example of recommended route of proposed method inconsistent with user's intent.

もしも明確な経由地点があるならば、運転者に直接経由地点を指定させ、提案手法と適切に組み合わせる手法が妥当ではないかと考えている。

●最適な増幅係数の設定について

4.3 節の表 5 に示したとおり、増幅係数が 6.0~9.0 の中で被験者の意向に対する正解率が良い結果となり、増幅係数 7.0 のときに最も高い正解率となった。しかしながら、提案手法によって再推薦された経路が、被験者の意向と一致するかどうかは、運転者の好みやその地域の道路状況にも影響を受けるため、一概にどの増幅係数が最適であるということはいい難い。増幅係数が 3.0 の場合における被験者の意向に対する正解率が十分高いとはいえないが、従来手法の経路と比べてより良い経路推薦が行えていることは 4.2 節の評価実験で明らかである。増幅係数が 3.0 の場合において、増幅係数が 6.0~9.0 の場合よりも被験者の意向と一致する経路が推薦されたケースもあり、今後、目的や運転者に対して適切な増幅係数を設定する手法に関して検討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推薦経路と選択経路の差異に基づくルート推薦方式の開発を行った。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の中に、運転者の意向を分析するためのカギが隠されていると仮定し、コストの再計算を行うことで経路推薦を行った。なお、シミュレータとして、提案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。また、評価実験を通して、提案手法の有効性を確認した。さ

らに、運転者にとって最適な経路を推薦する増幅係数の検証を行った。

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、今後は道幅や道路の種類など様々な要因をコストとして考慮する手法についても検討し、実用化に向けて取り組む予定である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 26280042 および、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。また、評価実験の実施において京都産業大学コンピュータ理工学部卒業生須下善隆氏（現在、株式会社アグレックス勤務）にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 国土交通省道路局：カーナビ・VICS の出荷台数, 2013 年 12 月末時点.
- [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] Dijkstra, E.W.: A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, Vol.1, No.1, pp.269-271 (1959).
- [4] Hart, P., Nilsson, N. and Raphael, B.: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths, *IEEE Trans. Systems Science and Cybernetics*, Vol.4, No.2, pp.100-107 (1968).
- [5] Duckham, M. and Kulik, L.: "Simplest" Paths: Automated Route Selection for Navigation, *Spatial Information Theory. Foundations of Geographic Information Science, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2825, pp.169-185 (2003).
- [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 (画像検索・映像データベース〈特集〉データ工学論文), 電子情報通信学会論文誌 D-I, 情報・システム, Vol.J87-D-I, No.2,

- pp.164-174 (2004).
- [7] Streeter, L., Vitello, D. and Wonsiewicz, S.: How to tell people where to go: Comparing navigational aids, *International Journal of Man Machine Interaction*, Vol.22, No.5, pp.549-562 (1985).
 - [8] Streeter, L. and Vitello, D.: A profile of driver's map-reading abilities, *Human Factors*, Vol.28, No.2, pp.223-239 (1986).
 - [9] Golledge, R.: Path selection and route preference in human navigation: A progress report, *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS (COSIT '95)*, Frank, A. and Kuhn, W. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol.988, pp.207-222, Berlin, Springer (1995).
 - [10] 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, 情報処理学会研究報告 (ITS 研究会), Vol.2002, No.83, pp.37-43 (2002).
 - [11] 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の評価, 情報処理学会研究報告 (MBL), Vol.2007, No.116, pp.1-7 (2007).
 - [12] 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 (人工知能, 認知科学), 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J82-D-I, No.8, pp.1102-1111 (1999).
 - [13] 大沢 裕, 藤野和久: 前処理を必要としない道路ネットワーク上での最短寄り道経路探索アルゴリズム (空間データベース〈特集〉データ工学論文), 電子情報通信学会論文誌 D, 情報・システム, Vol.J93-D, No.3, pp.203-210 (2010).
 - [14] 鈴木源吾, 榎本俊文, 小林伸幸, 山室雅司, 鬼塚 真: 時間制約を持つ寄り道経路探索システムの実現と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.857-867 (2012).
 - [15] 松田三恵子, 杉山博史, 土井美和子: 歩行者の経路への嗜好を反映した経路生成 (空間情報応用〈特集〉空間情報認知特性の基礎と応用論文), 電子情報通信学会論文誌 A, 基礎・境界, Vol.J87-A, No.1, pp.132-139 (2004).



中島 伸介 (正会員)

京都産業大学コンピュータ理工学部准教授。博士 (情報学)。1997 年神戸大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。2004 年京都大学大学院情報学研究科博士後期課程修了。情報通信研究機構専攻研究員, 奈良先端科学技術

大学院大学助教を経て, 2008 年より現職。主にプログマイニングおよび情報推薦の研究に従事。電子情報通信学会, 日本データベース学会, ACM, IEEE-CS 各会員。



北山 大輔 (正会員)

2007 年兵庫県立大学大学院環境人間学研究科博士前期課程修了。2009 年兵庫県立大学大学院環境人間学研究科博士後期課程修了。同年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科客員研究員および日本学術振興会特別研究員

PD。2011 年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科特任助教。2012 年工学院大学情報学部助教, 現在に至る。博士 (環境人間学)。映像データベース, マルチメディアデータベースを研究。電子情報通信学会, 日本データベース学会各会員。



濱田 恵輔

京都産業大学大学院先端情報学研究科博士前期課程在籍中。2014 年京都産業大学コンピュータ理工学部卒業。日本データベース学会学生会員。



角谷 和俊 (正会員)

1988 年神戸大学大学院工学研究科修士課程修了。同年松下電器産業 (株) 入社。ソフトウェア開発環境, マルチメディアデータベース, データ放送の研究開発に従事。1998 年神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程情報

メディア科学専攻修了。1999 年神戸大学都市安全研究センター都市情報システム研究分野講師, 2000 年同助教授。2001 年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。2004 年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科教授, 現在に至る。博士 (工学)。IEEE Computer Society, ACM, 電子情報通信学会, 日本データベース学会等各会員。

(担当編集委員 上善 恒雄)