

カーナビ利用時の多種コストの考慮および ドライバーのルート選択意図に基づく経路推薦方式の実験的評価

濱田 恵輔[†] 中島 伸介^{††} 北山 大輔^{†††} 角谷 和俊^{††††}

[†] 京都産業大学大学院 先端情報学研究科 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

^{††} 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

^{†††} 工学院大学 情報学部 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1 丁目 24-2

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

E-mail: ^{††}ti1458067@cse.kyoto-su.ac.jp, ^{††}nakajima@cse.kyoto-su.ac.jp, ^{†††}kitayama@cc.kogakuin.ac.jp,
^{††††}sumiya@shse.u-hyogo.ac.jp

あらまし カーナビゲーションシステムは非常に利便性の高いものだが、常に運転者の意向に沿った経路推薦を行っているわけではない。例えば、カーナビが提示する推薦経路に対して、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、カーナビは元の推薦経路に戻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示しているとは言い難い。我々はこれまでに、単一コストを対象として、カーナビの推薦経路と運転者の選択経路の差異を分析することで、運転者の意向に沿ったルート推薦を可能にするアルゴリズムを開発し、良好な結果を得た。さらに、多種コストに基づき仮想的な代表コスト値を単位経路毎に算出することにより、多種コストを考慮可能にする手法についても提案した。本稿では、これら多種コストを統合する際に各コストに対する重みの計算方法を検討したので、実験結果を交えて報告する。

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

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 6,300 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、VICS による渋滞情報や道路の規制情報等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。さらに、運転者がカーナビの推薦経路から外れた道を走行した場合でも、カーナビに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運転者の意向が常に反映された経路推薦を行っているわけではない。たとえば、カーナビが推薦するルートに対して、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。このとき、現在のカーナビは、運転者の意向とは関係なく、あらかじめ設定された基準に従って経路の再探索を行い、その結果、カーナビが元々推薦したルートに戻るような経路を運転者に提示することがしばしば起こる。運転者が何らかの理由で“意識的に”カーナビが推薦したルートとは別のルートを選択したにもかかわらず、カーナビが前述のようなルートを提示することは、運転者の意向に沿った経路推薦であるとはいえない。

以上をふまえ、我々は運転者の経路選択の意向を自動的に判断して、その意向に沿った経路を設定するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムはカーナビの推薦経路とは異なる経路を運転者が選択したときの、カーナビの推薦経路と運転者の選

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る。そして、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、最適な経路の設定を行うものである（図 1）。なお、この時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 [2] を適用する。差異増幅アルゴリズムは、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。そして、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。差異増幅アルゴリズムに基づく運転者の意向を考慮した経路推薦手法について、既に評価実験を行い良好な結果を得た [3] [4]。

ただし、差異増幅アルゴリズムに基づく運転者の意向を考慮した経路推薦手法で扱えるコストは、1 種類の場合にのみと限られている。運転者の多くは目的地までの距離だけでなく道路の道幅や信号数など様々な道路情報から総合的に判断してルートの選択を行っている。そのため、各種コストを考慮できることが望ましい。

これまでに、各種コストを考慮することが可能な差異増幅アルゴリズムに基づく運転者の意向を考慮した経路推薦手法について提案した [5]。具体的には、各種コストを考慮した仮想的な代表コスト値を単位経路毎に算出することにより、各種コストを考慮することが可能な手法である。本稿では、各種コストを考慮しつつ、運転者によって各コストに対する重み（重要視する比率）が異なることから、運転者の経路変更から如何に各運転者の好みに合うように学習を行えるか、シミュレータを使った評価実験を行う。

以下、本稿の構成を示す。2 章では、関連研究について述べ

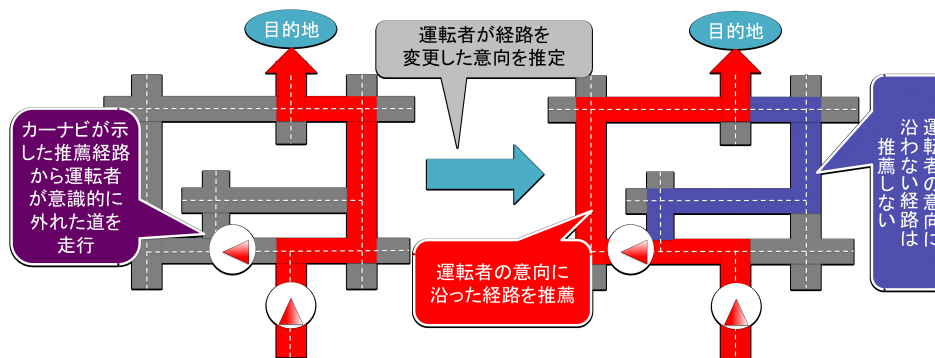


図1 運転者の意向に沿った経路推薦アルゴリズムの概要

る。3章では、各種コストを考慮しながら運転者の意向を反映可能な経路推薦方式について説明する。4章では、各種コストを統合する際に、運転者ごとの各コストに対する重視する比率の計算方法について説明する。5章では、作成したシミュレータに基づく評価実験とその結果について述べる。6章では、まとめと今後の課題について述べる。

なお、本稿で述べる提案手法とは、差異増幅アルゴリズムに基づく運転者の意向を考慮した経路推薦手法をさす。

2. 関連研究

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[6]、ダイクストラ法[7]やA*アルゴリズム[8]といった最短経路探索のみならず、わかりやすく説明が容易な経路を探索するアルゴリズム[9]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。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、運転者の意向を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、我々の差異増幅アルゴリズムによる経路推薦手法では、運転者の選択意思に影響する情報の種類については特に制限はない。経路の選択結果としてどの経路を重要視したのかという意向を反映しようとするものである。

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。

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いる。したがって、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、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処する事が可能である。

3. 各種コストにおける差異増幅アルゴリズムに基づく運転者の意向を考慮した経路推薦方式

本章では、各種コストが考慮可能な差異増幅アルゴリズムに基づく運転者の意向を考慮した経路推薦方式について説明を行う。まず、本手法の説明にあたり、3.1節では、本手法を用いるに至った背景について説明する。3.2節では、本手法である単位経路毎の各種コスト統合方式について説明する。3.3節では、本手法の具体例を示す。

3.1 各種コストを考慮した経路推薦における課題

本論文におけるコストは、「距離」、「道幅」、「信号数」とした。これは事前アンケートより、運転者が経路選択をする差異に決め手となる要因の大きいものを選んだ。なお、本論文における各経路のコストとは、交差点と交差点の間の一区間を単位経路として、この単位経路毎におけるコストである。出発点から終点までの経路を総経路と呼び、総経路のコストをトータルコストと呼ぶ。このトータルコストは、総経路に含まれる単位経路のコストを合計することで求めることができる。

前述のとおり、各種コストを考慮した経路推薦を行う必要がある。カーナビに目的地を設定してルートが提示され、推薦された経路から運転者が意識的に経路変更を行ったと想定する。これまでに各種コストを考慮するための方法として我々は、3種類のコスト（距離、道幅、信号数）それぞれについて差異増幅アルゴリズムに基づく経路推薦手法から推薦経路候補を求めた。差異増幅アルゴリズムに基づく経路推薦手法にて扱えるコストは1種類限定であるため、3種類のコストそれぞれについて推薦経路候補を求めた。その3つの推薦経路候補における統合コスト（3種類のコストのトータルコストを統合）の比較から最上位の経路を再推薦していた[13]。しかし、3つの推薦経路候補の比較を行う際、3つの推薦経路候補の中に運転者の意向に沿った経路が存在するとは限らなかった。そのため、運転者の意向には沿わない経路が最上位の経路になるケースがあった。

3.2 単位経路毎の各種コスト統合方式

本論文では、前述の各種コストのトータルコストを統合して各種コストの考慮した経路推薦を行わず、単位経路毎に各種コストを統合して各種コストの考慮した経路推薦を行う方法について説明する。単位経路毎に統合コストを求める際には、距離

コストをベースとし、道幅コストと信号数コストは距離コストに対する重みとしている。運転者がカーナビを使用する目的は、効率よく目的地に到着したいためであり、その中でも目的地になるべく早く到着することはカーナビの経路推薦において基本であると考えられる。そのことから、統合コストを求める際に距離をベースにすることは自然である。また、道幅コストと信号数コストは距離コストに対する重みとすることで、たとえば、道幅が広い道を通りたい運転者の場合、道幅重みを小さくする。もしくは、信号数が少ない道を通りたい運転者の場合、信号数重みを小さくするなど柔軟に対応することが可能になる。単位経路に与えるコストは各種コストを考慮した統合コスト1種類のみである。そのため、差異増幅アルゴリズムに基づく経路推薦手法にて扱えるコストは1種類限定であるという条件にも合致しており、統合コストを用いた経路推薦手法の有用性は担保されている。

以下に、距離コストに対する道幅を考慮した重み係数および信号数を考慮した重み係数の算出方法について説明する。

● 道幅を考慮した重み係数の算出

以下に、算出式を示す。

$$C_w = \left\{ 1 - \left(\frac{w - 14}{7} \right) \times \alpha \right\} \quad (1)$$

w ：実際の道幅 (m)

α ：運転者の道幅に対する重み (初期値 = α_0 ，算出方法は4章参照)

道幅は片側2車線、対向車線も含めて4車線の道路を基準としている。それよりも道幅が狭ければ係数を大きく、道幅が広ければ係数を小さくする。道幅の範囲は7m～21mとする。道幅7mよりも狭い道路は7m、道幅21mよりも広い道路は21mとみなす。これは、運転者が7mより狭い道路であれば実際の道幅に関係なく狭いという認識を持つと考えられるためである。 α の値を運転者毎に変更することで、係数の範囲を重要度に応じて大小に変化することが可能となる。

● 信号数を考慮した重み係数の算出

以下に、算出式を示す。

$$C_s = 1 + (s - 1) \times \beta \quad (2)$$

s ：200mあたりの信号数 (基)

β ：運転者の信号数に対する重み (初期値 = β_0 ，算出方法は4章参照)

200mあたりの信号数が1基の道路を基準としている。それよりも信号数が多ければ係数を大きく、信号数が少なければ係数を小さくする。信号数の個数に制限は設けていない。 β の値を運転者毎に変更することで、係数の範囲を重要度に応じて大小に変化することが可能となる。

式(1)、式(2)および実際の単位経路の距離を用いて、以下の算出式から統合コストを求める。

$$L' = L \times C_w \times C_s \quad (3)$$

L' ：統合コスト

L ：実際の距離 (m)

式(3)により算出する統合コストを単位経路毎に求めることにより、各種コストを考慮した経路推薦を実現する。また、本稿では想定するコストを「距離」、「道幅」、「信号数」としているが、新たなコストを追加する場合（たとえば、高速道路の有無など）でも容易に対応することが可能となっている。

3.3 単位経路毎の各種コスト統合方式を用いた経路推薦の具体例

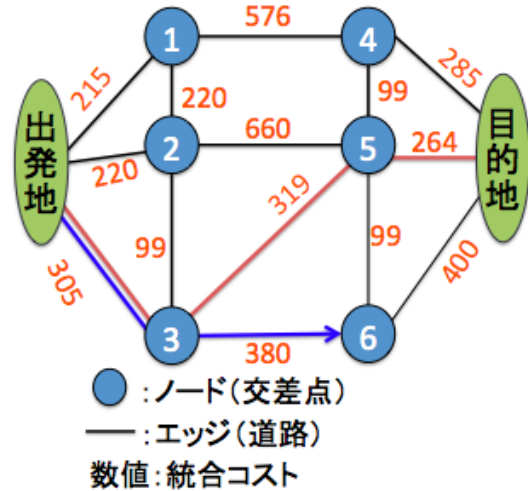


図2 単位経路毎に算出した統合コストによる架空のグラフ

表1 図2における各単位経路の架空の道路データ

単位経路	距離 (m)	道幅 (m)	信号数 (基)
R (出発地 → 1)	150	14	4
R (出発地 → 2)	200	7	1
R (出発地 → 3)	250	14	4
R (1 → 2)	200	7	1
R (1 → 4)	500	14	6
R (2 → 3)	100	7	0
R (2 → 5)	600	7	3
R (3 → 5)	300	7	1
R (3 → 6)	400	14	1
R (4 → 5)	100	7	0
R (4 → 目的地)	250	14	3
R (5 → 6)	100	7	0
R (5 → 目的地)	200	7	3
R (6 → 目的地)	400	14	2

3.2節で説明した各種コスト統合方式を用いた経路推薦の具体例について説明する。説明にあたり表1、図2を使用して説明する。表1は図2における架空の道路データであり、図2は統合コストを求める例として用意した架空のグラフである。

経路R (出発地 → 1) を例に説明する。表1より道幅は14mであり、式(1)より $C_w = 1.0$ 。信号数は4基であり、式(2)より $C_s = 1.43$ である。道幅、信号数各重み係数における重み係数の値は、 $\alpha = 0.1000$ 、 $\beta = 0.1000$ である。前述の結果と式(3)より統合コストは $L' = 215$ である。この統合コストを全ての単位経路毎に求めたものが図2である。図2における最小

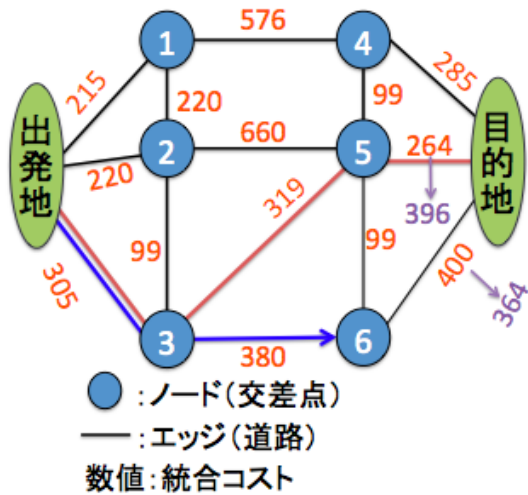


図 3 差異増幅アルゴリズムによる仮想統合コストの算出例

コストの経路はダイクストラ法より、経路 R (出発地 → 3 → 5 → 目的地) である (トータルコスト: 888)。

次に、運転者がノード 3 にて、カーナビが推薦したノード 5 の方向ではなく、ノード 6 を意識的に選択した場合を想定する。この場合ダイクストラ法で再探索すると、経路 R (6 → 5 → 目的地) のコストが 363、経路 R (6 → 目的地) のコストが 400 である。その結果、最小コストである経路 R (6 → 5 → 目的地) が再推薦される。差異増幅アルゴリズムに基づく経路推薦手法を用いて再探索を行うと、経路 R (5 → G)、経路 R (6 → 目的地) の仮想統合コストがそれぞれ 396、364 となる。経路 R (6 → 5 → 目的地) のコストが 495、経路 R (6 → 目的地) のコストが 364 であり、最小コストのルートである経路 R (6 → 目的地) が再推薦される (図 3 参照)。

4. 運転者ごとの各種コストに対する重みの学習方法

4.1 概要

運転者が意識的にカーナビが推薦された経路とは異なる経路を選択した場合、運転者ははじめに提示されたカーナビの推薦経路に対し、不満を感じたために経路を変更したと考えられる。本章では、運転者の選択経路から重要視していると推定されるコストおよび重要視していないと推定されるコストに対する重みの学習方法について説明する。

重みは、“学習によって値を上げる重み”と“学習によって値が下がる重み”がある。“学習によって値を上げる重み”とは、カーナビが推薦した経路と運転者が選択した経路と比較して、運転者が選択した経路の各コストが低い経路 (たとえば、道幅がより広いなど) だった場合に、値を上げる重みのことである。

図 4 は、各種コストに対する重みの学習のフローチャートを示したものである。運転者が目的地に到着するまで重みの計算は運転者の経路変更ごとに行われる。

このとき算出された重みは、式 (1)、(2) で各種コストを統

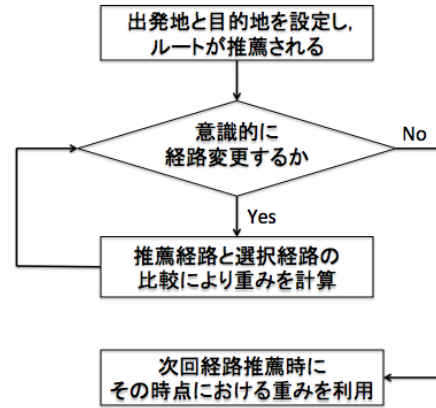


図 4 各種コストに対する重みの学習のフローチャート

合する際に用いられる。そのため、次回経路推薦時には過去の運転パターンを反映した経路推薦が可能となる。

4.2 重みの計算方法

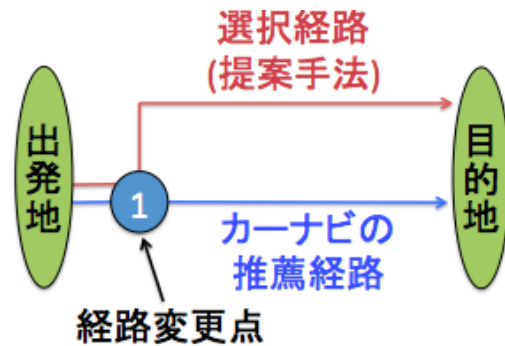


図 5 経路変更後の重みの計算時に用いる経路

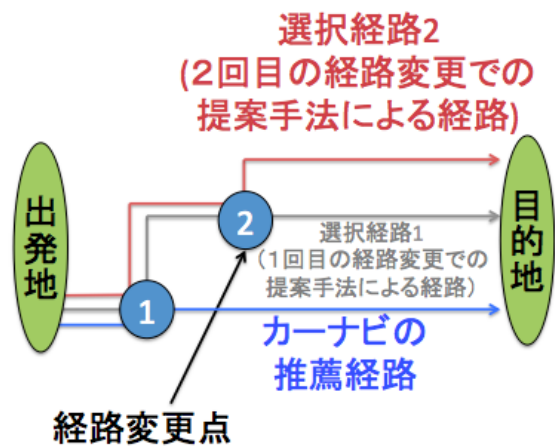


図 6 2 回目の経路変更後の重みの計算時に用いる経路

図 5 は、重みの計算時に用いる経路を示したものである。青色の矢印 (推薦経路) は、出発地と目的地を設定して得られた経路を示している。赤色の矢印 (選択経路) は、運転者が意識的にノード 1 にて経路を変更した場合、差異増幅アルゴリズム

に基づく経路推薦手法（提案手法）によって得られた経路を示している。

各コストに対する重みの学習に際し、比較に用いるデータは、カーナビが推薦した経路（推薦経路）および運転者が選択した経路（選択経路）それぞれの出発地から目的地までの、平均道幅（ m ）と総信号数（基）とする。“学習によって値を上げる重み”と“学習によって値が下がる重み”どちらの重みに属するかを判定する方法として、推薦経路および選択経路の平均道幅と総信号数の比を用いる。各比が1以上であれば、“学習によって値を上げる重み”とし、1未満であれば“学習によって値が下がる重み”とする。

平均道幅の比は、以下の式で算出する。

$$R_W = \frac{AW_P}{AW_C} \quad (4)$$

R_W ：推薦経路および選択経路、平均道幅の比

AW_P ：選択経路の平均道幅

AW_C ：推薦経路の平均道幅

総信号数の比は、以下の式で算出する。

$$R_S = \frac{1}{\frac{TS_P}{TS_C}} \quad (5)$$

R_S ：推薦経路および選択経路、総信号数の比

TS_P ：選択経路の総信号数

TS_C ：推薦経路の総信号数

各コストに対する重みの計算は、式（4）、式（5）で算出した各コスト比を用いて行う。

道幅コストに対する重みは、以下の式で算出する。

$$\alpha' = \alpha \times R_W \quad (6)$$

α' ：計算後の道幅コストに対する重み

α ：計算前の道幅コストに対する重み

信号数コストに対する重みは、以下の式で算出する。

$$\beta' = \beta \times R_S \quad (7)$$

β' ：計算後の信号数コストに対する重み

β ：計算前の信号数コストに対する重み

経路変更1回で運転者が目的地に到着した場合、計算された各コストに対する重みを学習し、次回経路推薦時に利用する。

図6は、同一経路における2回目の経路変更後の重みの計算時に用いる経路を示したものである。同一経路において複数回経路変更が行われる場合、1回目の経路変更時に算出した重みに追加して重みを計算するのではなく、再度推薦経路と2回目の経路変更時に得られる経路（図6では、選択経路2）と比較して、重みを計算する。すなわち、1回目の経路変更で計算された重みを計算前の重みに戻して、再計算する。この方法を採用する理由は、運転者はまだ目的地に到着していないため、その途中段階の重みを学習すると本来学習すべきではない重みを反映する可能性があるからである。

5. 評価実験

4章にて説明を行った“運転者毎の各種コストに対する重みの学習方法”によって、運転者にとって最適な経路推薦を行える重みの学習が行えるか検証するための実験を行った。

5.1 シミュレータの開発

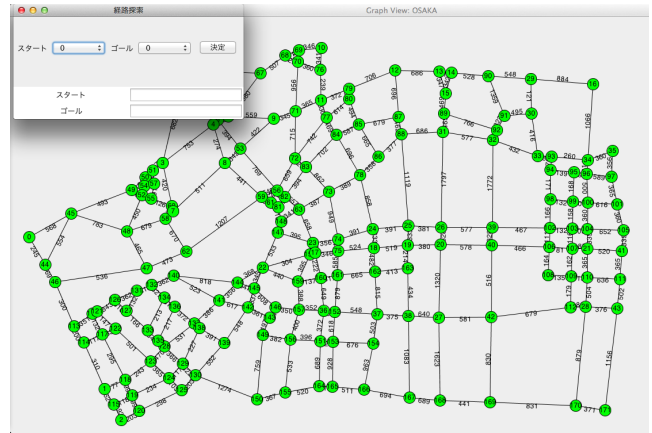


図7 評価実験を行うために開発したシミュレータ

評価実験を行うためのシミュレータを開発した（図7参照）。ある大阪市内の道路地図を基にノード（交差点）とエッジ（道路）からなる簡易的な地図を作成した。各ノードは判別するために、それぞれ数字を与えている。図にて、各エッジに数字が与えられているが、これは交差点間の実際の距離、道幅、信号数を基に3.2節で説明した方法で各種コストを統合したものである。各データについては、Open Street Map^(注1)のデータを参考にした。最小コストの経路の探索にはダイクストラ法を用いる。

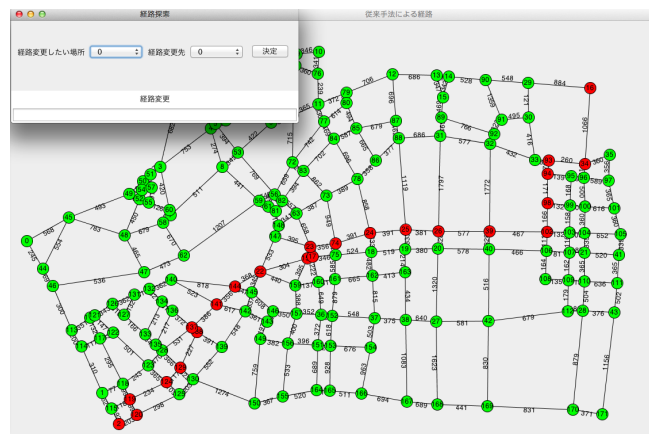


図8 出発地（ノード2）と目的地（ノード16）を設定し推薦された経路

続いて、シミュレータの概要を説明する。まず、図7において、出発地と目的地を設定する。図8において、ダイクストラ法に基づいた出発地から目的地までの最小コストの経路が推薦される。運転者が推薦経路に不満を感じて意識的に経路を変

(注1) : <https://openstreetmap.jp/>

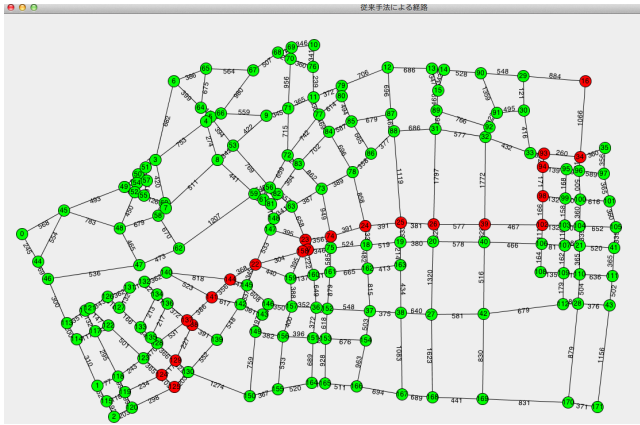


図 9 従来手法（ダイクストラ法）における経路変更後の経路

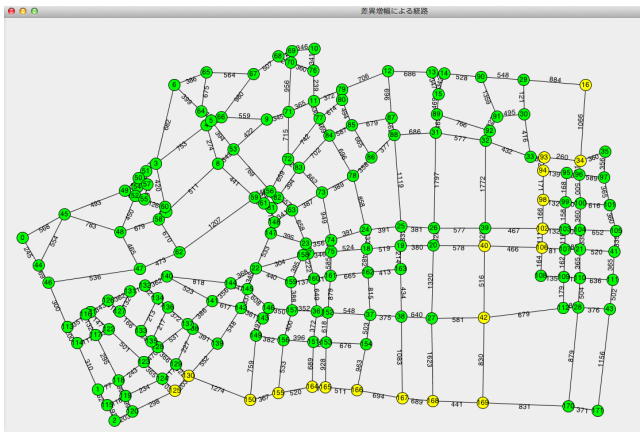


図 10 本手法における経路変更後の経路

更したい場合、経路変更をしたい地点のノードと経路変更先のノードを指定し、従来手法（ダイクストラ法）によって再推薦された経路（図 9）および提案手法（差異増幅アルゴリズムによる経路推薦）によって再推薦された経路（図 10）を提示する。

5.2 評価実験の概要および実験結果

実験のタスクを以下に示す。

- (1) 出発地および目的地を設定する。
- (2) 運転者が経路変更をしなかった場合、現状の重みで運転者は不満を感じていないため、重みの学習は行わずに、次の経路の実験を行う。
- (3) 運転者が推薦経路に不満を感じた場合、経路変更地ノードおよび経路変更先ノードを決定する。
- (4) 経路変更先ノードから目的地ノードまで、提案手法（差異増幅アルゴリズムによる経路推薦）にて得られる経路を運転者の選択経路とする。
- (5) 推薦経路と選択経路の出発地から目的地までの平均道幅と総信号数を求め、4.2 節にて説明した各種コストに対する重みの計算を行う。
- (6) 目的地に到着するまで、経路変更が行われるごとに重みの計算を行う。
- (7) (6) にて算出した重みを次の経路推薦時に使用する。運転者として、「道幅」を重要視している運転者を想定する。被験者は運転経験がある大学生である。本実験では、出発地と

目的地が異なるルートを 6 パターン用意して本手法により、運転者のルート選択時に重視するコストの学習が正しく行われるか検証する。

表 2 経路変更後の従来推薦および提案手法の経路の違い

	従来手法により 探索されたルート	本手法により 探索されたルート
平均道幅 (m)	11.90	13.65
総信号数 (基)	35	37

表 2 は、出発地と目的地、経路変更地を設定して得られた最初の推薦経路と本手法により推薦された経路（図 8, 図 10 参照）の違いを示したものである。本実験では、道幅、信号数各重み係数における重みの値はそれぞれ $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.1$ として実験を行った。平均道幅、総信号数はそれぞれ出発地から目的地までのデータである。本手法で得られた経路は、平均道幅において最初の推薦経路より広い経路であり、運転者の経路選択により、運転者が重視する要素を反映した経路が推薦された。

表 3 各ルートでの最初の推薦経路および本手法による推薦経路の違い

		最初の 推薦ルート	本手法による 推薦ルート
平均道幅 (m)	ルート 1	11.90	13.65
	ルート 2	12.83	13.71
	ルート 3	11.30	13.65
	ルート 4	12.40	13.67
	ルート 5	12.16	14.00

表 3 は、出発地と目的地が異なる経路 6 パターンのうち、5 パターンの最初の推薦経路および本手法による推薦経路の違いを示したものである。平均道幅は出発地から目的地までのデータである。本手法で得られた経路は、最初の推薦経路より道幅の広い経路が推薦された。さらに、目的地に到着後、4.2 節の方法により各種コストに対する重みを算出し、それを学習することで、次の経路推薦時において、運転者の重視するコストを反映した統合コストを算出することができた。ただ、同様の重みの学習を繰り返し 2 回行っただけでは、出発地と目的地を設定したときに推薦される最初の推薦経路は、重みの学習前と学習後で違いはなかった。これは、学習の回数が足りなかったことが原因であると考えられ、さらに、学習することで、対処することが可能である。

本実験での出発地と目的地による経路に対し、提案手法により得られた経路変更後の経路は、道幅を重視する運転者に、道幅が広い経路が再推薦された。しかし、さらに多くの経路においても同様に推薦されるか検証を行う必要がある。今後は、さらなる実験を行い、他の経路においても運転者が重視する経路が推薦されるか検証する予定である。

6. おわりに

カーナビ利用時の多種コストの考慮およびドライバーのルート選択意図に基づく経路推薦方式の実験的評価を行った。すでに、提案を行った差異増幅アルゴリズムに基づく経路推薦手法

には単一のみのコストしか扱えない課題があった。そのため、各種コストの考慮を行うために、単位経路毎にコストを統合することで、コストを仮想的に1種類とみなし、前述のアルゴリズムが適用することが可能な手法について提案した。また、運転者は推薦経路に対し何らかの不満を持つことにより異なる経路を選択したとの仮説に基づき、カーナビの推薦経路と運転者の選択経路から運転者毎に重要視するコストを反映する学習方法について説明し、その評価実験を行った。本稿では、距離、道幅、信号数をコストとして用いたが、今後は、ルート上における交差点の数や高速道路の有無など新たに考慮するコストを検討し、追加する予定である。また、さらなる評価実験を実施する。

(2014)。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 26280042 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，2014 年 09 月末時点。
- [2] 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）。
- [3] 中島 伸介，北山 大輔，濱田 恵輔：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，情報処理学会論文誌データベース（TOD），Vol.7，No.2，pp.83–92（2014）。
- [4] Shinsuke Nakajima, Daisuke Kitayama, Yoshitaka Sushita, Kazutoshi Sumiya, Naiwala P. Chandrasiri and Kazunari Nawa: “Route Recommendation Method for Car Navigation System based on Estimation of Driver’s Intent”. Proc. of the 2012 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2012), pp.318-323 (2012).
- [5] 濱田 恵輔，中島 伸介，北山 大輔：カーナビ利用時の複数コストの考慮およびルート選択意図に基づく経路推薦手法の提案，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.114，No.101，DE2014-18，pp.79–82（2014）。
- [6] 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）。
- [7] Dijkstra, E.W.: A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, Vol.1, No.1, pp.269–271 (1959).
- [8] 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).
- [9] 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).
- [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] 濱田 恵輔，中島 伸介，北山 大輔：カーナビ利用時の運転者の意向を考慮したルート推薦およびその学習方法，第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（DEIM2014），B9-6