

認知地図の構築過程に着目した スマートフォンによる運転者の地点把握度推定手法

松山 聖路¹ 徳永 雄一² 清原 良三³

受付日 2016年12月23日, 採録日 2017年7月4日

概要: 位置情報をもとにサービスの提供を行う Location Based Services (LBS) への関心が高まっている。たとえば、運転時にスマートフォンをナビゲーションやオーディオとして利用するユーザへ、位置に応じたサービスの提供を行うことで、利便性の向上や運転時のストレス軽減などが期待できる。LBS がよりユーザ満足度の高いサービスを提供するためには、位置情報だけでなく、ユーザのコンテキストに応じたサービスの提供を行う必要がある。特に、ユーザと位置との関係を表すコンテキストは LBS において非常に有用である。そこで、本論文では運転者がある地点をどの程度把握しているかを表す地点把握度の推定手法を提案する。提案手法は人が内面に持つ認知地図の構築過程に着目しており、その構築過程に大きな影響を与えると報告されている熟知性とランドマークから、現在運転者がいる地点の認知状態を推定する。このとき、地点把握度の推定は、多くのユーザが常時携帯しており、LBS のプラットフォームとなるスマートフォンを用いて行うことが望ましい。そのため、スマートフォンを用いて取得可能な位置情報とランドマーク情報のみを用いる手法を実現した。12名の被験者に対して走行映像を用いた実験を行い、提案手法が推定した地点把握度と被験者へ課したタスクにより生成した正解データとを比較した結果、その適合率は約 50%であった。また、運転者視点に近いランドマーク情報が地点把握度の推定精度向上に重要であることが確認できた。

キーワード: 認知地図, 地点把握度, Location Based Services (LBS), 運転者支援

A Method for Estimating a Locational Recognition Level Based on a Construction Process of Cognitive Map

SEIJI MATSUYAMA¹ YUICHI TOKUNAGA² RYOZO KIYOHARA³

Received: December 23, 2016, Accepted: July 4, 2017

Abstract: There has been an increasing interest in Location Based Services (LBS) that uses location data to provide services. For example, a convenient and stress-free driving can be expected from providing services based on location data for a user who uses a smartphone as car navigation, audio and so on. For providing satisfying services, LBS has to refer user's contexts as well as location data. In particular, a context representing relation between a user and a specific location is useful for LBS. Therefore, we study a method for estimating a locational recognition level on a specific location. Our proposed method is based on a construction process of cognitive map, and uses location data and landmark data which have a very important role in the construction process. Here, it is deemed desirable to estimate the recognition level using a smartphone which is nearly always carried by a user and the platform of LBS. Therefore, our proposed method only uses location data and landmark data which can be gathered by using smartphone. We made an experiment to evaluate our proposed method. The experiment uses driving movies and has 12 participants. The result shows that the proposed method can estimate a recognition level of location with an accuracy of about 50%.

Keywords: cognitive map, a recognition level of location, Location Based Services (LBS), driver assistance

¹ 神奈川工科大学大学院
Graduate School of Kanagawa Institute of Technology,
Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan

² 三菱電機株式会社情報技術総合研究所
Mitsubishi Electric Corporation Information Technology
R&D Center, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

³ 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology, Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan

1. はじめに

スマートフォンの普及によって位置情報を容易に取得することができるようになり、位置情報をもとにサービスを提供する Location Based Services (LBS) への関心が高まっている。ユーザに広告の提示やクーポンの提供を行う LB Marketing [1], [2], 場所に応じた予定を通知する LB Reminder [3], あらかじめ設定しておいたアプリケーションを特定の地点で自動的に実行する LB Automation [4] など、LBS は幅広い目的のサービスに取り入れられており、今後ますます活発な利用が期待される。

歩行者向けの LBS では、スマートフォンユーザにツアーガイドサービスを提供するもの [5], [6] や、複数の移動手段を利用するユーザに向けて建物内外のナビゲーションサービスを提供するもの [7], 都心の歩行者に対して目的地までの経路を提供するもの [8], [9] などが考案されている。

しかし、同じ場所ではあっても、そこを訪れた回数などはユーザによって異なるため、提供するべきサービスもユーザによって異なったものとなる。そのため、LBS がユーザ満足度の高いサービスを提供していくためには、位置情報だけでなく、ユーザのコンテキストに応じたサービスを提供していかなければならない。スマートフォンに内蔵されているセンサや連携可能なウェアラブル端末、インターネットなど、様々なデータを取得することのできる環境がすでに整っており、これらのデータを用いてユーザのコンテキストを認識する研究が数多くなされている。

一方で、運転時にスマートフォンをナビゲーションやオーディオとして利用するユーザが増加している [10]。運転中は、自動車のコンテキスト（走行中、停車中、高速移動、etc.）や周囲のコンテキスト（天気や渋滞など、etc.）、運転者のコンテキスト（眠気、疲れ、迷い、etc.）など様々なコンテキストがつねに変化しており、運転中のユーザが必要とするサービスもつねに変化し続ける。そこで、運転中のユーザに対して提供される LBS が位置情報だけではなくユーザのコンテキストも参照することができれば、LBS の利便性向上や運転者のストレス軽減などの効果を期待することができる。

運転中のコンテキストの中でも、運転者がある地点をどの程度把握しているかを表すコンテキストは、運転者が必要とするサービスを推測する際に重要である。たとえば、ユーザが運転中に利用したいと考えるアプリケーションは、ユーザが現在いる地点をどの程度把握しているかに大きく左右される。馴染みのある経路を走行中のユーザは地図・ナビゲーションを必要としないが、馴染みのない経路では地図・ナビゲーションを必要とすることが多い。運転中はスマートフォンを操作できる時間がきわめて短いため、図 1 に示すようなアプリケーション切替え支援を行うことができれば、運転者は短い時間の間にアプリケーショ

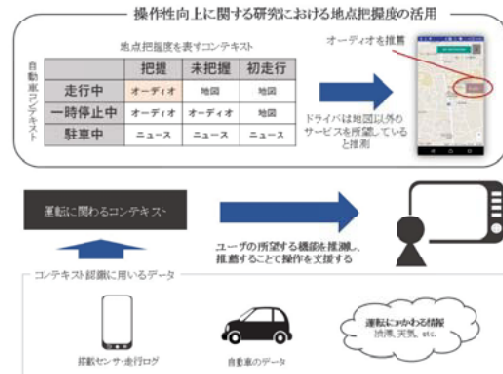


図 1 地点把握度に応じたアプリケーション切替え支援の例

Fig. 1 An Example of application switching assistance according to the recognition level of location.

ンの切替え操作を行う必要がなくなり、限られた時間を有効に利用することができる。

しかしながら、運転中のユーザのコンテキストを認識する研究には、居眠りを検知 [11] するものや運転者の疲労度を推定するもの [12] など、安全性の向上に活用するための研究が多く、ユーザと位置との関係を表すコンテキストを認識する研究はほとんど行われていない。特に、ユーザがある地点をどの程度把握しているのかを推定する手法は考案されていない。

そこで、本論文では運転中のユーザがある地点をどの程度把握しているのかを表す地点把握度の推定手法を提案する。我々は、人が内面に持つ認知地図の構築過程に着目し、その構築過程に大きな影響を与えると報告されている熟知性とランドマークからユーザの地点把握度を推定する手法を実現した。このとき、地点把握度の推定は、多くのユーザが常時携帯しており、LBS のプラットフォームとなるスマートフォンを用いて行うことが望ましい。そのため、スマートフォンを用いて取得可能な位置情報とランドマーク情報のみを用いる提案手法を実現した。

以下、2 章では関連研究を紹介し、本研究の位置付けを述べる。3 章では提案手法の土台となっている認知地図の概要を述べ、本研究における地点把握度の定義を述べる。4 章では提案手法について述べる。5 章では評価実験とその結果、および考察について述べる。6 章では本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究

2.1 位置情報を利用したサービス提供の研究事例

LBS に関する研究には、スマートフォンユーザにツアーガイドサービスを提供するもの [5], [6] や、複数の移動手段を利用するユーザに向けて建物内外のナビゲーションサービスを提供するもの [7], 都心の歩行者に対して目的地までの経路を提供するもの [8], [9] など、歩行者を対象とした LBS に関する研究が数多くなされている。しかし、運転者

を対象とした LBS に関する研究はあまり行われていない。

2.2 運転者のコンテキストを認識する研究事例

運転中のユーザのコンテキストを認識する研究には、居眠りを検知するもの [11]、運転者の疲労度合を推定するもの [12]、運転者が周囲へ向ける警戒度 [13] を評価するもの、安全な運転がなされているかどうかを判定するもの [14] など、運転者の安全状態を認識する研究が数多くなされている。これらのコンテキストに応じた対応を行うことは安全面やユーザビリティ面の課題に対して非常に有効である。しかし、ユーザと位置との関係に着目し、その関係を表すコンテキストを認識する研究はあまり行われていない。

2.3 本研究の位置付け

本論文で提案する手法は、ユーザが現在いる地点をどの程度把握しているかを表す地点把握度の推定を行う手法である。推定する地点把握度は LBS での活用を想定している。現在は、自動車の運転者のみを対象としているが、運転者と歩行者が持つ特性の違いを考慮することで、運転者だけでなく歩行者の地点把握度推定も実現可能となり、幅広い目的の LBS で活用することのできる可能性を持つ。

また、提案手法では 3 章で述べる認知地図の構築過程に影響を与える要素を用いているが、そのデータはスマートフォンを用いて取得可能であるため、スマートフォンのみを用いて実現可能な手法となっている。

3. 認知地図の概要と地点把握度の定義

運転者がある地点をどの程度把握しているかというコンテキストは運転者が内面に持つものであり、このコンテキストを推定するためには、取得可能なデータから運転者の内面の状態を定量的に扱わなければならない。そこで我々は、人が内面に持つ認知地図に着目した。

この章では認知地図の概要をまとめ、本研究における地点把握度を定義する。

3.1 認知地図

認知地図とは人が頭の中に持つ空間のイメージであり、このイメージが鮮明であるほど地点把握度も高いといえる。そのため、認知地図の構築過程とその構築過程に影響を与える要因を理解することで、人間の地点把握度がどのように向上していくのかを理解することができる。図 2 に認知地図の構築過程の概要を示す。

認知地図に関する研究の始まりは Tolman がネズミを用いて行った実験 [15] であるといわれている。この実験はネズミを迷路に放してしばらく自由にさせたあとで、迷路に餌を置き、再度空腹状態のネズミを迷路に放ったところ最短経路を通して餌のある地点に到達したというものである。Tolman はネズミが最初の探索で空間を学習して内面に空

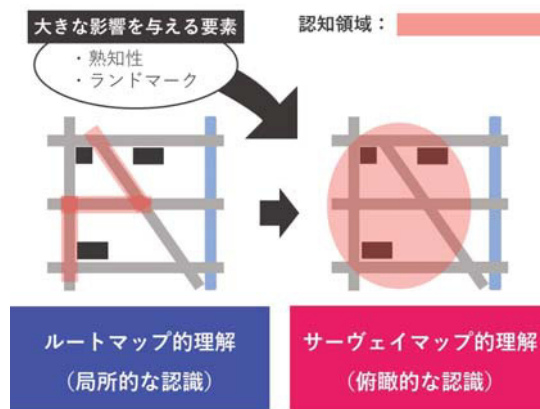


図 2 認知地図の構築過程の概要

Fig. 2 An overview of a construction process of cognitive Map.

間のイメージを構築したと分析し、この空間のイメージを認知地図であると見なした。この空間のイメージは人間も同様に持つものであると考えられ、人間と空間との関係を解明するために認知心理学の分野で様々な観点から研究が行われている。

認知地図の構築過程には「ルートマップ的理解」と「サーヴェイマップ的理解」という 2 つの段階があると報告されている [16]。ルートマップ的理解の段階では、自分の視点から見たルートとその周辺に関する空間認知が行われており、その領域は局所的である。サーヴェイマップ的理解の段階では、俯瞰的な空間認知が行われており、その領域は広域的である。つまり、ルートマップ的理解の段階では、「交差点を右折した後、2 つ先の信号まで直進」といったように移動経験を手続き型でイメージしているだけで、周囲の空間との位置関係までは把握できていない。しかし、認知地図の構築が進み、サーヴェイマップ的理解の段階になると、空間どうしの位置関係まで把握することができ、自らルーティング（新規ルートの開拓）を行ったり、道案内をするときに相手にとって適切な経路を選択して説明することができるようになる。

認知地図がルートマップ的理解からサーヴェイマップ的理解へと遷移する過程において、「熟知性」と「ランドマーク」という 2 つの要素が大きな影響を持つと報告されている。Appleyard はベネズエラ都市住民の認知地図を居住年数に応じて検証した結果から、馴染みのない空間を学習するときどのような要素に着目し、空間に慣れ親しむに従って空間の認知がどのように変化していくのかを分析している [17]。居住年数の短い住民は経路を中心とした認知地図を形成していたが、居住年数の長い住民は経路や建物、山や川など地域性のあるものを用いて認知地図を構築していた。この報告から、認知地図は空間の経験に比例して鮮明に構築されていくことが確認できる。運転者の地点把握度を推定するためには、空間の経験を表す要素（走行頻度など）を参照する必要がある。

「ランドマーク」の影響に関する研究では、認知地図構築の初期段階から記憶される [18] ことや目的地への到達という移動課題に対して空間的な情報（方角や距離）よりもランドマークなどの知覚的情報がよく用いられていること [19]、認知地図が詳細なものとなるのに比例してランドマークの数が増加すること [20] などが報告されている。つまり、人間の地点把握度が上昇する過程においてランドマークは非常に重要な役割を持っており、地点把握度を推定する際にランドマークを参照する必要がある。

これらの研究から，地点把握度を認識するためには 1) 熟知性と 2) ランドマークの 2 点に着目することは欠かせないといえる．そこで，本論文で提案する手法でもこれらのデータを用いて地点把握度の推定を行う．

3.2 地点把握度の定義

上記で述べた認知地図の構築過程に関する報告をもとに、本研究における地点把握度を定義する。地点把握度はまったく初めてという状態と、家の近くなどのように熟知している状態の大きく2つに分類できる。この2状態の間は地点把握度を活用するアプリケーションが必要とする詳細度に応じて分類する必要があるが、本研究で想定するアプリケーションでは2状態と中間状態を含む3段階で十分であると考えするため、「よく把握している」、「ある程度把握している」、および「ほとんど把握していない」の3段階に分類した。それぞれの定義は下記に示すとおりである。

よく把握している

認知地図の構築過程におけるサーヴェイマップの理解の段階であると定義する。この段階は移動に地図などの外的資源を必要としないだけでなく、自らルーティング（新規ルートの開拓）を行ったり、相手にとって適切な経路を選択して案内することができる。

ある程度把握している

認知地図の構築過程におけるルートマップの理解の段階であると定義する。この段階は移動に地図などの外的資源を必要としないが、現在地周辺を俯瞰的なイメージで把握している状態ではないため、自らルーティングを行ったり、相手にとって適切な経路を選択して案内することはできない。

ほとんど把握していない

認知地図の構築過程におけるルートマップ的理解の段階であると定義する。ただし、この段階は移動に地図などの外的資源を必要とし、地点に対してほぼ初見の状態である。

4. 提案手法

4.1 提案手法の概要

本論文では、運転者がある地点をどの程度把握しているかを表す地点把握度を推定する手法を提案する。地点把握

度を3章で述べた認知地図を用いていい換えるならば、ある地点においてユーザが持つ認知地図（空間のイメージ）の詳細度がどの程度であるかを表すものである。そのため、地点把握度を推定するためには、ユーザが内面を持つ認知地図を定量的に扱わなければならない。

3章で述べたとおり、人の持つ認知地図（空間のイメージ）は熟知性とランドマークの影響を受けながらその詳細度を深めていく。ある地点を繰り返し訪れることでその地点の把握度は高くなり、あまり訪れたことがない地点の把握度は低いものとなる。これが熟知性の影響である。また、訪れる回数が少ない地点でも、印象に残る建物などがあればその地点の把握度は高くなる。これがランドマークの影響である。さらに考慮しなければならない要素として、昼間に訪れたのか夜間に訪れたのかといった周辺環境の違いや、前回その地点を訪れてから経過した時間という熟知性の間隔といった要素がある。このように、時間的要素と空間的要素の両方が認知地図の詳細度に影響を与えている。

そこで、この2つの要素をそれぞれ定量的に扱うことで、認知地図の詳細度も定量的に扱うことができると考えた。熟知性を定量的に扱うために活用するのは位置情報であり、ある地点を訪れた回数として数値化する。どこにどのようなランドマークが存在するのかはインターネット経由で取得することができるため、ランドマークがユーザに与える影響は、その度合いを評価して定量的に扱う。

そこで我々は、位置情報とランドマーク情報を用いて各地点の把握度をスコア付けする「地点把握スコア記録モジュール」と、記録されているスコアから地点把握度の推定を行う「地点把握度認識モジュール」によって提案手法を構成した。提案手法の全体構成を図 3 に示す。

4.2 地点把握スコア記録モジュール

地点把握スコア記録モジュールは、運転者が内面に持つ認知地図を扱うために、3章で述べた熟知性とランドマークを考慮して各地点の把握スコアを計算して記録するモ

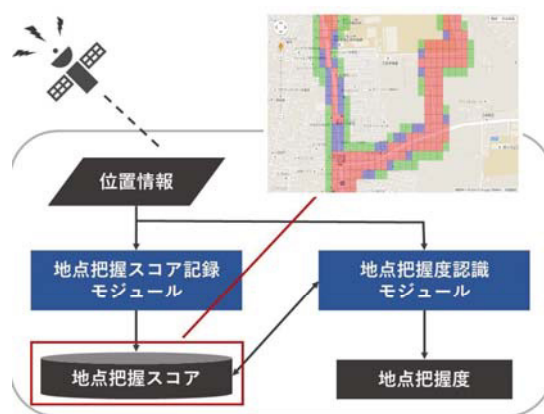


図 3 提案手法の全体構成

Fig. 3 An overview of our proposed method.

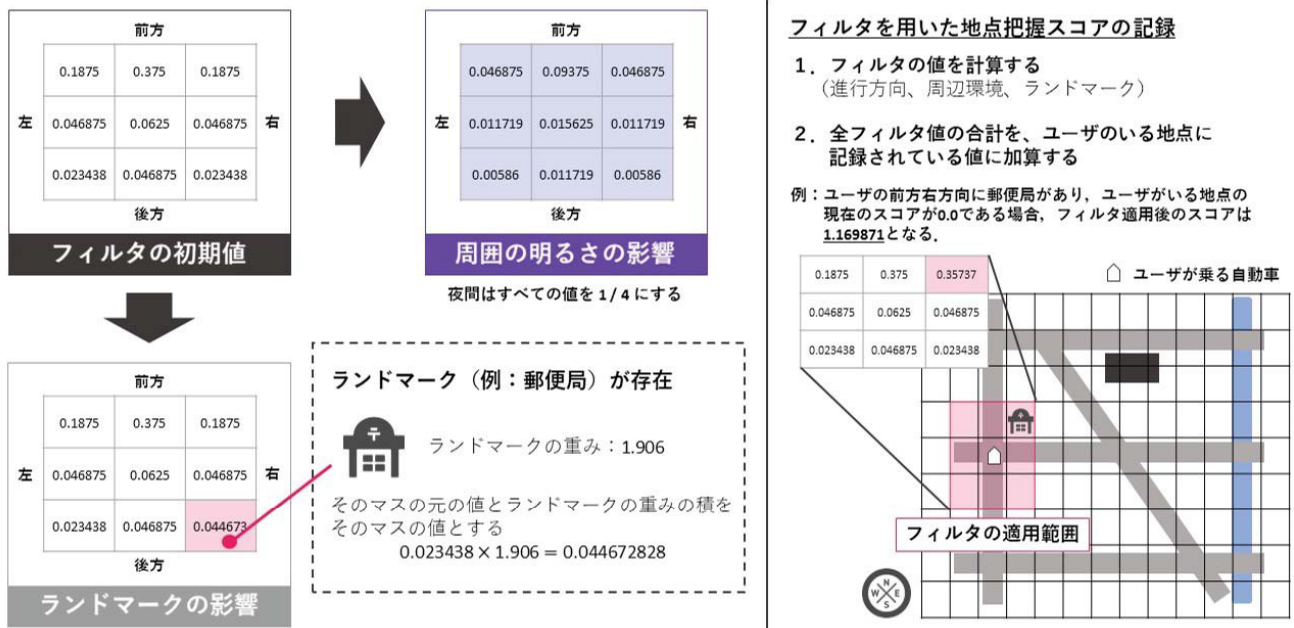


図 4 地点把握スコア記録モジュールの概要

Fig. 4 An overview of recognition score recording module.

ジュールである。本モジュールの概要を図 4 に示す。

熟知性とは空間の経験を表すため、本提案手法では走行回数を熟知性として扱うこととする。走行回数は GPS などを用いて位置情報を取得することで定量的に扱うことができる。また、ランドマーク情報はインターネットを経由して容易に取得することができる。これらのデータはスマートフォンを用いることで取得可能であり、これによりユーザが内面に持つ認知地図を定量的に扱うためのスコア付けが可能となる。

地点把握スコアは一定の距離ごとに区切られた格子状の緯度・経度座標（マス）に記録される。提案手法は運転者を対象としたものであるため、その移動速度と視界を考慮し、各マスが $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 四方となるように区切られた地図上へスコアを記録するようにした。今回は地点把握度の範囲の精度は運転者がある時点で目視できる程度の範囲を想定したため、4 車線ある大きな道路で横幅いっぱいを含むような大きさとなるよう設定した。適切なマスの大きさは地点把握度を利用するアプリケーションによって異なると考えられるため、アプリケーションに応じて適切な大きさに変更する必要がある。

記録処理は 3×3 マスのフィルタを用いて行い、すでに記録されている過去の値に新しく走行した際のスコアを加算する。過去に走行した記録のない地点は 0 ポイントとして扱う。フィルタの値は、運転者が周囲へ向ける注意を考慮して、1) 運転者の前方、2) 運転者の前方左右、運転者の位置（中心のマス）、3) 運転者の左右、後方 4) 運転者の後方左右の順に重み付けされ、その合計が 1.0 となるような値とした。フィルタ値の比重は筆者の運転経験から直感的

に設定した暫定的な値を用いる。しかし、適切なフィルタ値の設定、および個人差を考慮するための検証が必要であるため、フィルタ値の検証は今後の課題とする。夜間は視認性が著しく減少するため、昼間と夜間とで異なるフィルタの値を用いなければならない。夜間に走行中の自動車がライトをハイビームにした場合とロービームにした場合とでどの程度視認性が異なるのかを検証した報告がなされている [21]。この報告によれば、ハイビームはロービームの 2～3 倍の安全視認距離があるとされている。ハイビームであっても昼間と比べれば視認性は劣ると考えられるため、この報告を参考に、本提案手法では前述で説明したフィルタのすべてのマスの値を $1/4$ としたものを夜間のフィルタとして用いることとする。

また、フィルタの適用範囲にランドマークが存在する場合、以下の手順にしたがってフィルタの値を変更した。

- (1) フィルタの範囲内の各マスにランドマークが存在するかどうかを確認する。
- (2) ランドマークが存在する場合、該当するマスの値に後述するランドマークの重みを乗算する。

また、あるマスに複数のランドマークが存在することも考えられる。その場合、存在するランドマークの中で最も重みの大きいものを選択してフィルタの値に乗算する。

これにより、ランドマークが周辺に存在しない地点では一度走行するごとに 1.0 ポイント加算されるが、ランドマークが周辺に存在する地点では 1.0 ポイント以上のスコアが加算されるため、何もない地点に比べて認知地図は早く鮮明なものとなる。

4.2.1 ランドマークの重み付け

ランドマークの存在する地点は印象に残りやすいため、ランドマークの有無は認知地図の構築速度に大きな影響を与える。前述のとおり、ある地点をどの程度把握しているかを定量的に扱うために、フィルタを用いたスコア付けを行うが、フィルタの値をランドマークの有無に応じて変化させることでランドマークが認知地図の構築速度に与える影響を反映させる。

しかし、ランドマークの有無によってフィルタの値を変化させる場合、どの程度変化させるかはそれぞれのランドマークが人に対してどの程度印象に残りやすいかを考慮しなければならない。

そこで、ランドマークの認知されやすさに応じた重み付けを行い、フィルタの値の変化量をそれぞれのランドマークに応じて異なるものとした。ランドマークの認知されやすさは種類、大きさ、周辺環境など様々な要因によって異なると考えられるが、本論文ではランドマークの種類に着目してランドマークの重み付けを行った。

何をランドマークとして認知するかという点には個人差があると考えられるが、本提案手法では広く一般に人が認知するであろうランドマークを用いる。藤井ら [22] は無作為に収集した案内地図を分析し、案内地図を構成する要素の調査を行った。調査の結果、ランドマークの認知しやすさは属性種別（公共施設、飲食店、etc.）によって異なるとし、その出現頻度を報告している。案内地図に登場するランドマークは広く一般に認知されるランドマークが採用されているため、本提案手法ではこのランドマークの出現頻度をもとに重み付けを行った。

また、報告の中で出現頻度が高かったランドマークは駅、商店、レストラン、公共施設（郵便局、図書館、公園）、銀行、コンビニであったため、本提案手法ではこれらをランドマークとして用いる。藤井らの報告ではビルの出現頻度も高かったが、歩行時とは異なり運転中では外見的特徴からの同定が困難であると考え、除外した。

ランドマークの重みは、藤井らが報告したランドマークの出現頻度を 1.0 から 2.0 の範囲となるように正規化した値を用いた。本提案手法で採用したランドマークとその出現頻度、およびランドマークの重みを表 1 に示す。また、今回はランドマークの出現頻度に応じた重み付けを行ったが、一度見ただけでその地点を記憶してしまうようなランドマークの存在も考えられる。今回評価実験を行う地域ではそのようなランドマークは存在しないものと想定したが、今後そのようなランドマークへの対応についても検討する必要がある。

今回、ランドマーク情報の取得には Google Maps API のライブラリである Place Library [23] を用いた。Place Library は、検索したい領域と検索したいランドマークの種類を指定することで、ランドマークの名前や位置といっ

表 1 本提案手法で採用した各ランドマークの出現頻度と重み

Table 1 Frequencies and weights of landmarks.

属性種別	出現頻度	重み
駅	0.117	1.898
商店	0.13	2.000
レストラン	0.081	1.614
公共施設	0.118	1.906
銀行	0.124	1.953
コンビニエンスストア	0.049	1.362

た情報を取得することができる。

4.3 地点把握度認識モジュール

記録されている地点把握スコアから現在走行中の地点に該当するマスの値を取得し、あらかじめ定義されている閾値とを比較して地点把握度の推定を行う。推定される地点把握度は、前章で定義した 3 段階であり、各閾値は筆者らの経験から定義した暫定的なものを用いる。「よく把握している」は 5 回 (5.0 ポイント)、「ある程度把握している」は 3 回 (3.0 ポイント)、「ほとんど把握していない」はそれ以下の走行経験に相当する値とした。

5. 評価と考察

5.1 評価

12 名の被験者に対して走行映像を用いた実験を行い、提案手法が推定した地点把握度と被験者へ課したタスクにより生成した正解データとを比較することで評価を行った。

5.1.1 被験者

被験者は 20 代男性 11 名と 20 代女性 1 名の計 12 名である。被験者のうち 9 名は普通自動車免許を所持しており、路上での運転経験がある。また、被験者には情報工学の学部生と自動車工学の学生がおり、自動車が趣味であったり、ふだんから利用している被験者が半数いた。被験者は進行方向・周辺環境（明るさ）の異なる走行映像を視聴する 4 つのグループに分かれて実験を行った。

グループ分けは、道を憶えることが得意であるか不得意であるかによって偏りが生じないように、あらかじめ方向感覚質問紙 [24] を用いて方向感覚能力を評価し、その結果に基づいて行った。方向感覚質問紙とは、20 問の質問に「よくあてはまる」から「ほとんどあてはまらない」の 5 段階で回答することで方向感覚能力を定量的に評価することができる。スコアは最高で 100 点となり、何点以上であれば方向感覚が良いという基準は存在しないが、相対的に各被験者の方向感覚能力を評価することができる。各グループが視聴した走行映像の内容と方向感覚質問紙のスコア平均を表 2 に示す。実験に用いたルートは、すべて被験者にとって初見となるルートとした。

5.1.2 正解データ作成

提案手法が推定した地点把握度がどの程度被験者の認知

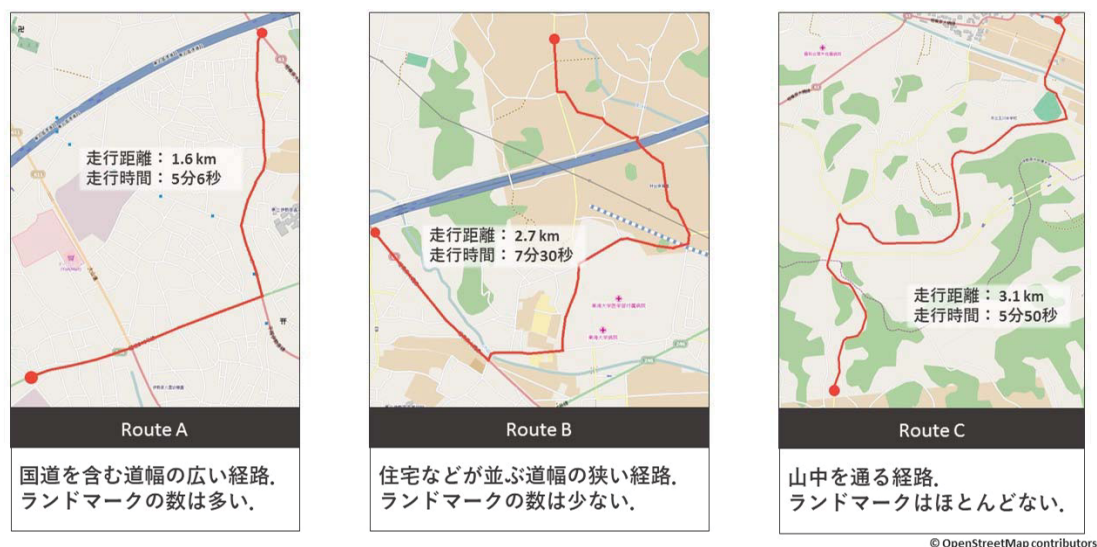


図 5 実験に使用した 3 つの経路
Fig. 5 Three routes used for the experiment.

表 2 各グループの概要
Table 2 Features Table of participant group.

グループ名	視聴した走行映像	方向感覚
A	進行方向がすべて同じ昼間の映像	61.0
B	進行方向がすべて同じ夜間の映像	60.0
C	昼間と夜間が交互に異なる 進行方向がすべて同じ映像	64.7
D	進行方向が交互に異なる昼間の映像	69.7

地図を正確に反映できているかを評価するために用いる正解データを作成した。正解データは、走行映像を視聴した被験者に対して複数のタスクを課し、その結果から作成した。同じ経路を複数回走行した場合の認知地図をどの程度正確に推定できているかを評価するために、走行映像の視聴とタスクの実施はそれぞれ 1 日 1 回を計 5 回行った。正解データ作成の際に実走行ではなく映像を用いたのは、全被験者が同一の環境で走行の疑似体験を行えるようにするためである。しかし、走行映像を用いた場合には左右および後方の目視ができないため、目視できない方向のフィルタ値を 0.0 としたフィルタを用いた。目視できない後方 3 マス、および左右の 2 マス以外の値はそのままとしたため、全フィルタ値の合計は 0.8125 となる。

走行映像はドライブレコーダを用いて撮影した。撮影した走行映像は、周辺環境の違いに対応できているかを評価するために、昼間と夜間の両方を用意した。また、進行方向の違いによる景色の違いに対応できているかを評価するために、行きと帰りの 2 つの進行方向で撮影した。走行映像の撮影は図 5 に示す 3 本のルートで行った。走行映像の撮影と同時に GPS を用いて位置情報の取得も行った。

正解データの作成は、走行映像を視聴した後に以下のタスクを実施して行った。作成環境は図 6 に示す。



図 6 実験環境

Fig. 6 Experimental environment.

(1) 記憶しているランドマークの抽出

被験者は視聴した走行映像の中から記憶しているランドマークを列挙する。

(2) 場面の記憶確認

走行映像を視聴した経路の場面をランダムに選択し、1 枚の画像として提示する（提示した画像は視聴した走行映像が昼・夜どちらのものであっても昼間の画像とした）。被験者は、提示された場面を憶えているかどうかを報告する。提示された場面を被験者が憶えていなかった場合、その地点の正解データは「ほとんど把握していない」地点とする。憶えていた場合には、次のタスクにより「ある程度把握している」か「よく把握している」かを決定する。画像の提示は各回に 100 回行った。

(3) 場面間の関係認知確認

場面の記憶確認で憶えていると報告された場面の中から 2 つをランダムに選択して提示する。被験者は、視聴した

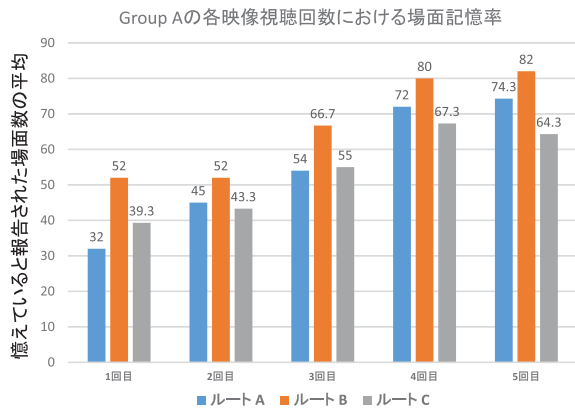


図 7 走行映像の視聴回数と場面の記憶率

Fig. 7 A Relation between a number of watching movie and a number of remembering scenes.

走行映像において、提示された2つの場面のどちらを先に通過したか報告する。サーヴェイマップの理解の段階は地点間の関係まで把握できている状態であるため、2つの場面の前後関係が正しく把握できている場合、その地点の正解データは「よく把握している」地点とする。2つの場面の前後関係が正しく把握できていない場合、その地点の正解データは「ある程度把握している」地点とする。

5.2 結果と考察

5.2.1 熟知性とランドマークの影響

グループ A の被験者が各走行映像を視聴した後に行った場面の記憶確認タスクにおいて、憶えていると報告された場面数の平均を図 7 に示す。

どのルートも視聴回数を重ねるごとに憶えている場面数も増加した。これは全グループの被験者に共通してみられた傾向である。帰無仮説 H_0 「走行映像の視聴回数と場面記憶数との間には関係がない」を立て、有意水準 0.05 として p 値を求めた結果、 H_0 は棄却されなかったため、各回の間に有意差はなかった。一般的に経験が多くなることで記憶数が上昇すると考えられるが、今回は有意差がなかった。また、今回は1日おきに実験を行ったためあまり影響はなかったと考えられるが、通常は経験の時間的間隔による忘却効果も考慮する必要があるため、再度検討することが必要である。

また、各ルートによって憶えている場面数が異なっていることも確認できる。国道沿いのようにランドマークが集中する地点では、走行しながら各ランドマークを個別に認知することが困難であるため、ランドマークが存在していても空間の記憶に与える影響は小さなものとなる。一方で、山中を通るような経路ではランドマークとなるものがほとんど存在せず、立ち並ぶ木々によって周囲の景色がどこも同じように見えてしまうため、場面の記憶が残りにくい。

ルート B が国道を含むルート A や山中を通るルート C に比べて場面の記憶数が多くなっているのは、ランドマー

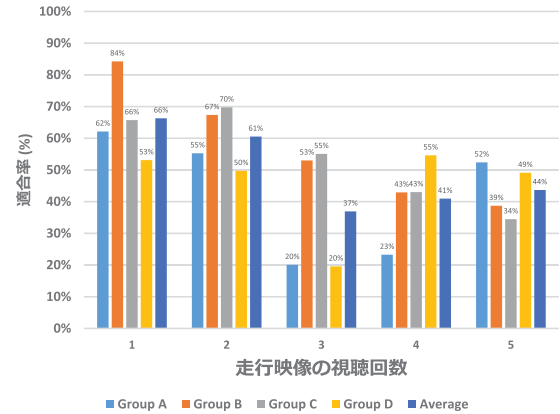


図 8 提案手法による地点把握度の適合率

Fig. 8 Accuracy of our proposed method.

クとなるものは少ないものの、それぞれのランドマークが存在する場面の印象が強く残りやすかったためであると考えられる。

ランドマークが運転者に与える影響を以下にまとめる。

- 国道沿いのように多くのランドマークが隣接している地点ではランドマークが認知しにくく、空間の記憶に与える影響は小さくなる。
- ランドマークとなるものがほとんど存在しない山中を通るような経路では、周囲の景色がどこも同じように見えてしまうため、空間の記憶が困難となる。

5.2.2 提案手法の適合率

提案手法の性能評価指標として、提案手法が推定した結果のうち、正解データと比較して本当に正しかった結果の割合を表す適合率を用いる。提案手法の適合率を図 8 に示す。値は各グループの平均値である。

本提案手法が各ルート・各視聴回数に対して持つすべての適合率の平均は 49.7% となった。この精度で推定される地点把握度は、おすすめ情報を提示するサービスなどであれば提示する情報の選択基準の1つとして十分に活用可能であると考えられる。しかし、端末の操作などを支援するような安全性に影響を与えるサービスにおいて活用するためにはさらなる精度向上が必要である。

結果を確認すると、走行映像の視聴回数が1~2回目の適合率は比較的高い結果となっているが、3~5回目の適合率、特に3回目の適合率は比較的低い精度となっている。これは、ルートマップ的理解からサーヴェイマップ的理解への遷移が通常よりも早い地点の推定結果に誤りが多く生じてしまったためであると考えられる。認知地図の遷移が通常よりも早くなる要因として、ランドマークの有無が重要であることは3章で述べたとおりである。視聴した映像の中に夜間の映像が含まれていた Group B と Group C はランドマークの影響をあまり受けなかったため、3回目の適合率があまり低下していない。今回の実験では、ランドマークの影響を適切に反映することで、認知地図の早い

遷移に対応することのできた地点もあったが、対応できなかった地点もあった。

被験者から報告されたランドマークの件数は、ルート A は 31 件、ルート B は 23 件、ルート C は 17 件であった。一方で、今回の提案手法で取り扱えたランドマークの件数は、ルート A は 17 件、ルート B は 13 件、ルート C は 12 件であった。どのルートも報告されたランドマーク数に対して半数以下のランドマークしかデータとして取得することができなかったため、ランドマークの影響を十分に反映できていないといえない。

対応できなかった地点には、今回ランドマーク情報の取得に利用した Place Library では取得することのできないランドマーク（看板など）や、取得対象としなかったランドマーク（歩道橋や高速道路など）の存在が確認できた。対応できなかった地点に存在したランドマークの多くは夜間にライトアップされることもなかったため、Group B と Group C はあまり影響を受けていない。しかし、ランドマークの影響を十分に反映できなかったものの、ランドマークという要素を取り入れることの有効性は確認できた。ランドマークを取り入れない手法 [25] で行った評価では、走行回数が一定以上にならないと「ほとんど把握していない」地点以外の推定がほとんどできなかった。しかし、今回の評価ではランドマークの影響を受けて 1～3 回目の視聴時に認知の進んだ地点を一部評価することができている。つまり、運転者の地点把握度を推定するために用いるランドマーク情報は、走行映像から抽出するなど、運転者の視点に近いものとする必要がある。

また、進行方向の異なる映像を用いて試験した Group A と Group D の適合率の差異について考察する。両グループの試験条件の差は 2 回目と 4 回目の 2 回異なる進行方向の映像を視聴するという点のみである。そのため、4 回目の視聴時の適合率以外ではほとんど差がみられない。4 回目の視聴時の結果に 30% 程の差がみられるのは、異なる進行方向の映像を視聴していた Group D の認知地図構築速度が Group A と比較して遅かったため、提案手法の推定結果と適合する地点の数が多くなったためだと考えられる。しかし、今回の実験では全体を通して進行方向の違いによる影響はほとんどみられなかった。また、すべての実経路において進行方向が与える影響が小さいとはいえないため、様々な条件の経路における検証を今後の課題とする。

また、今回は案内地図における出現率からランドマークの重み付けを行ったが、案内地図は歩行者を対象としているものも多く運転時のランドマークには適さなかった可能性がある。たとえば、飲食店という同じ属性種別のランドマークであっても、色や大きさなどにより各ランドマークの視認性は異なる。移動速度が歩行時よりも速い自動車では、この視認性の違いによるランドマークの影響が大きなものになってしまう。そのため、重み付けを視認性に応じ

て行う方が、運転者にとって適切なランドマークの重みとなるのではないかと考える。この改善を行うことで、認知地図がルートマップの理解の段階からサーヴェイマップ的理解の段階へと遷移する早さの違いに対応することができるようになり、提案手法の適合率の向上が期待できる。

さらに、今回の実験結果では、走行映像の視聴を繰り返すことで憶えている場面数は増加するものの、地点間の関係までは認知できていない被験者と、早い段階で場面間の関係まで認知できており多くの地点の正解データが「よく把握している」となった被験者とに分かれた。早い段階で多くの地点の正解データが「よく把握している」となった被験者は、自動車を日常的に利用している者や、自動車を趣味としている者がほとんどであった。日常的に運転を行うユーザとそうでないユーザとの間に認知地図の構築速度の違いが存在することがうかがえる。3 回目の走行映像視聴時点ですでに「よく把握している地点」が多くなったため適合率が 30% 下回った被験者 6 名のうち 5 名は自動車を日常的に利用、あるいは趣味としている被験者であった。

このような個人差に対応するためには、推定手法に学習機能を追加して、対象ユーザがどのような地点を憶えやすいのかといったパターンに対応するなどの取り組みが必要である。

機械学習を追加する場合には、その地点の特徴だけでなく、サービスを提供した際にユーザがどのような応答をしたかという情報も参考にすることができる。たとえば、ユーザが現在いる地点をよく把握していると推定し、地図・ナビゲーションサービスから別のサービスへの切替えを提案した際に、ユーザがその提案を拒否した場合にはその地点をよく把握していなかった可能性が考えられる。このように、LBS で地点把握度を活用しながらの推定精度向上も可能である。

また、今回の実験では静止画像を提示してルートの記憶確認を行ったが、運転者が持つ場面や場面間の記憶は動画像のようなイメージで持たれている可能性がある。たとえば、右左折の地点を記憶する際に「ある建物の横を通過した先にある交差点」というような記憶の仕方をすることがある。これは場面を流動的に記憶している状態であり、このような記憶がなされている場合には、運転者の場面間の認知の確認を動画像を用いて行うべきである。今後の取組みの中で、静止画像を用いて場面間の認知状況を確認した場合と動画像を用いて確認した場合との間に違いがあるかどうかを確認していく。

また、今回の実験ではすべてのルートが被験者にとって初見のルートであったため考慮しなかったが、ユーザの生活圏情報（自宅の位置や通勤・通学経路など）を参照することができれば、さらなる精度向上につなげることができる。

6. まとめ

本論文では、運転者が現在いる地点をどの程度把握しているのかを表す地点把握度の推定手法を提案した。我々は心理学の分野で研究されている認知地図の構築過程に着目し、その構築過程に大きな影響を与えると報告されている熟知性とランドマークをもとに地点把握度の推定を行う手法を構築した。熟知性には位置情報をもとに作成した過去の走行経路を用い、ランドマークはインターネット経由で取得可能なデータを用いることで、LBSのプラットフォームであり、ユーザが常時携帯しているスマートフォンのみを用いて実現可能な手法とした。

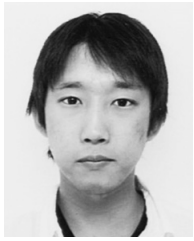
走行映像を用いた12名の被験者による評価実験により、本提案手法は運転者に対して適合率49.7%の精度を持つことを確認し、おすすめ情報などの提示サービスにおいては、提供する情報の選択基準の1つとして用いることができる可能性を示した。

今後は、ランドマーク情報を運転者の視点に近いものへと変更したり、ユーザの生活圏情報を取り入れるなど、さらなる精度向上に努める。また、本提案手法で推定することのできる地点把握度を活用するサービスの検討を行い、LBSがユーザ満足度の高いサービスを提供するための取り組みを行っていく。

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費16K00143の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Lin, T.T., Paragas, F., Goh, D. and Bautista, J.R.: Developing location-based mobile advertising in Singapore: A socio-technical perspective, *Technological Forecasting and Social Change*, pp.334–349 (2016).
- [2] Gana, M.A. and Thomas, T.K.: Consumers Attitude Towards Location-Based Advertising: An Exploratory Study, *Journal of Research in Marketing*, Vol.6, pp.390–396 (2016).
- [3] Wang, Y., Schlager, M. and Prez-Quinones, M.: The Impact of the Encoding View in Location-Based Reminders: Improving Prospective Remembering, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.2406–2416 (2016).
- [4] Tasker, available from <http://tasker.dinglish.net/> (accessed 2016-12).
- [5] Smirnov, A.: Mobile application for guiding tourist activities: Tourist assistant - TAIS, *Proc. 16th Conference of Fruct Association*, pp.94–100 (2014).
- [6] Shi, X., Sun, T., Shen, Y., Li, K. and Qu, W.: Tour-Guide: Providing Location-Based Tourist Information on Mobile Phones, *10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology* (2010).
- [7] Rehrl, K., Göll, N., Leitinger, S. and Brunsch, S.: Combined indoor/outdoor Smartphone navigation for public transport travellers, *Location Based Services & Telecartography - Proc. Symposium 2005* (2005).
- [8] Bartie, P., Mills, S. and Kingham, S.: An Egocentric Urban Viewshed: A Method for Landmark Visibility Mapping for Pedestrian Location Based Services, *Geospatial Vision*, pp.61–85 (2008).
- [9] Li, C.: User preferences, information transactions and location-based services: A study of urban pedestrian wayfinding, *Computers, Environment and Urban Systems*, pp.726–740 (2006).
- [10] 総務省：平成26年度版情報通信白書（4-1-3:車とICT）.
- [11] Han, W., Yang, Y., Huang, G.-B. and Denk, C.: Driver Drowsiness Detection Based on Novel Eye Openness Recognition Method and Unsupervised Feature Learning, *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, IEEE (2015).
- [12] Yang, G., Lin, Y. and Bhattacharya, P.: A Driver Fatigue Recognition Model Based on Information Fusion and Dynamic Bayesian Network, *Special Issue on Intelligent Distributed Information Systems*, Vol.180, pp.1942–1954 (2010).
- [13] Ji, Q. and Yang, X.: Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking for Monitoring Driver Vigilance, *Real-Time Imaging*, Vol.8, pp.357–377 (2002).
- [14] Lee, B.-G. and Chung, W.-Y.: A Smartphone-Based Driver Safety Monitoring System Using Data Fusion, *Sensors*, Vol.12, pp.17536–17552 (2012).
- [15] Tolman, E.C.: Cognitive maps in rats and men, *Psychological Review*, Vol.55, No.4, pp.189–208 (1948).
- [16] Shemyakin, F.: Orientation in space, *Psychological Science in the USSR*, Vol.1, pp.186–225 (1962).
- [17] Appleyard, D.A.: Styles and methods of structuring a city, *Environment and Behavior*, Vol.2, pp.100–116 (1970).
- [18] Siegel, A.W. and White, S.H.: The development of spatial representations of large-scale environments, *Advances in Child Development and Behavior*, Vol.10, pp.9–55 (1975).
- [19] 新垣紀子：なぜ人は道に迷うのか？：一度訪れた目的地に再度訪れる場面での認知プロセスの特徴，認知科学，Vol.5, No.4, pp.108–121 (1998).
- [20] 井原成男，庄司順一：児童の認知地図 Cognitive Mapの発達 (I)，日本教育心理学会総会発表論文集，Vol.22, pp.250–251 (1980).
- [21] 加藤義和，岡本征四郎，横田成昭，松田充生，八木昌男：夜間における運転者の視認性の研究—距離判断と見え方の評価，大阪産業大学産業研究所所報，pp.1–12 (1978).
- [22] 藤井憲作，杉山和弘：携帯端末向け案内地図生成システムの開発，情報処理学会論文誌，Vol.41, No.9, pp.2394–2403 (2000).
- [23] Google, available from <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/places/> (accessed 2016-05).
- [24] 竹内謙彰：方向感覚と方位評定，人格特性及び知的能力との関連，Japanese Journal of Educational Psychology, pp.47–53 (1992).
- [25] 松山聖路，中山祐貴，奥脇 優，山辺教智，清原良三：コンテキスト活用ナビのための位置コンテキスト認識手法，情報処理学会 DPS ワークショップ (2015).



松山 聖路

2015 年神奈川工科大学大学情報学部情報工学科卒業，2017 年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了．現在，富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ（株）勤務．



徳永 雄一 （正会員）

1990 年 3 月東京理科大学工学部電気工学科卒業．同年 4 月三菱電機情報電子研究所入社．発電電向け計算機のフォールトトレラント技術，携帯端末向け省電力設計技術，ネットワーク時刻同期・位置同定技術，鉄道および自動車の車載ネットワーク技術および機器データ活用技術の研究に従事．工学博士．情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ（ITS）研究会幹事．システム制御情報学会，電子情報通信学会他会員．



清原 良三 （正会員）

1985 年大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻前期課程修了．同年三菱電機（株）入社．1988 年より（財）新世代コンピュータ技術開発機構に出向．1993 年三菱電機（株）に復職．2012 年より神奈川工科大学情報学部情報工学科教授．組込み機器のソフトウェア更新，JavaVM 実装方式，組込み機器の信頼性，ITS に関する研究に従事．2008 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了．博士（情報科学）．2016 年度より本会情報処理学会高度交通システムとスマートコミュニティ（ITS）研究会主査，電子情報通信学会，ACM，IEEE 各会員．