

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00436

研究課題名（和文）安全・安心歩行者ナビにおけるユーザ個性・状況・環境変化への適応化機構の開発

研究課題名（英文）Development of an adaptive mechanism to differences in user attributes, situation, and environment for safe and secure pedestrian navigation

研究代表者

古川 宏（FURUKAWA, Hiroshi）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：90311597

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：利用者の迷い・不安を軽減する歩行者ナビの実現に向け、“ランドマークの見つけやすさ”の定量的評価に基づく経路探索法を開発している。本研究では、この実用化への2課題として、環境変化に伴うモデル追加の困難さ、個人差への対応の困難さを対象とした。前者に対し、新規モデルの容易かつ迅速な追加を可能とするため、ランドマークに対する人の視認特性を組み込んだモデル構築手法を開発した。後者については、身体的・心的負荷に関する情報を利用者から取得することで、各個人に応じたモデル調整を行う手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本プロジェクトでは、“迷い”や“不安”という心的状態を取り上げ、利用者のQOLの向上に寄与する技術の開発を目指している。本研究の主な特徴は2点である。サービスの持続的運用を可能とするため、更新地図データにより新たなコストモデルの半自動的構築を可能としている。また、各利用者の特性・要求に特化したサービスの実現を可能とするため、年齢や身体的・心的な要因の違い、安心感の違いを積極的に考慮に入れる機構としている。提案する利用者の迷い・不安を軽減する技術は、災害時のようなパニックになりやすい状況において、歩行者ナビシステムを用いた誘導により被災者の迅速な避難への応用も期待できる。

研究成果の概要（英文）：Goal of our project is the development of pedestrian navigation methods that can reduce anxiety of the users. The basic idea is a route planning algorithm weighs the user's difficulty of locating own current position. Two studies related to the project were conducted. The aim of the first study was to eliminate the difficulty of adding models due to changes in the environment. In order to enable easy and quick addition of new models, we have developed a model construction method that incorporates human visual characteristics for landmarks. The aim of second study was to eliminate the difficulty of dealing with individual differences. We have developed a method to adjust the model according to each individual by acquiring information about the physical and mental load from the user.

研究分野：認知システム工学

キーワード：歩行者ナビゲーション 高度道路交通システム 状況適応 高齢者 減災 ユーザインタフェース

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 対象と経緯：歩行者ナビゲーションサービスは、携帯電話端末に GPS 機能が標準となり、災害時の避難誘導などの新サービスが広がり始めている。さらに、最短距離以外の要求も取り入れた経路探索法も開発されている。一方、サービスの質向上に障壁となる課題として、利用者が不安を感じる状況があると報告されている[1]。主たる状況は、GPS の測位誤差による現在地表示のズレや、地図上のランドマークと現実との不整合が生じ、利用者が現在地を見失う場面である。

一連の研究からなる本プロジェクトにおいては、この問題に対し“ランドマークの見つけやすさ”を定量的に評価することで、現在地推定が容易で不安の起こりにくい個所を経由する経路探索法の開発を進めてきた。“ランドマークの見つけやすさ”を、“目立つ目印の有無や一般的な馴染みなどによる認知のしやすさ（認知容易性）”と“遮蔽物の有無による視認できる可能性（視認可能性）”という特性が異なる 2 要因よりなる定量的モデルを定義し、認知的負荷を定量的に推定する評価機構を構築した（図 1 の中央部分）。実用性を考慮し、高コストのデータやインフラを想定せず、既存の地図データ（道路データ、建物情報等）のみを利用している。さらに、高齢ユーザに適したモデル構築（加齢、身体的コスト、不安感、嗜好を考慮）、避難時の誘導支援のためのモデル構築（安全性、不安感を考慮）も実施している。

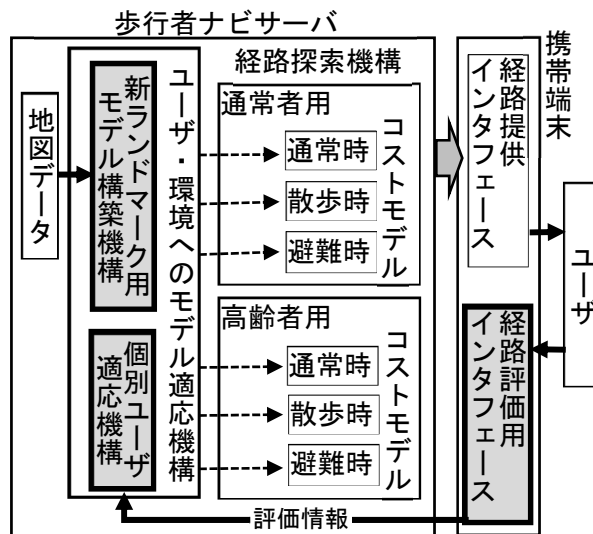


図 1 提案する安心・安全な歩行者ナビシステム

(2) 研究課題：本手法の実用化に向けて注目した 2 課題が“運用持続性”と“利用者の個人差”である。

【課題 1】提案する経路探索法では、実験参加者による認知実験データに基づいたモデル構築法を採用している。仮に実運用を開始した後、環境の変化によって新たなランドマークを対象とする際には、新たなモデルの構築と追加が不可避である。しかし認知実験の実施コストは高く、継続した実運用は困難が伴う。

【課題 2】認知測定実験の結果から、個々人の主観的評価に差が著しいこと、よって平均値的モデルの利用では高いユーザ満足度を得るに不十分との知見を得ている。高齢者の QOL 向上、災害避難時の緊急的判断において、特に本課題は重要となる。

(3) 関連する研究動向：近年、歩行者ナビの経路探索に関する研究が世界的に広がりを見せている。Sahelgozin ら(2015)[2]は、利用者の多様な要求に応えるべく、複数基準 (length, safety, difficulty, attraction) による多基準計画法による探索法を提案している。Xi ら(2016)[3]は、建物（ランドマーク）の目立ち度を、高さ、形、看板等を変数としたモデルにて表現し、3D ナビ用の探索法を提案している。両研究論文とも申請者の論文を参考文献に挙げており、同一の狙いを有した研究となっている。ここでも上記の 2 課題は解決されておらず、実用化にはその解決が求められる。

2. 研究の目的

提案システムの実用性を飛躍的に向上するため、2 手法の開発を実施する。

(1) 環境変化に対応した新規モデルの構築・追加手法の開発：提案システムの持続的な運用には、ランドマークの出現などの環境変化に対し、新たなモデルを迅速に構築・追加する機構が求められる。この実現に向け、ランドマークの物理的属性と利用者の認知的特性との関係を認知測定実験により明らかにし、これを組み込んだモデル構築手法を開発する（図 1 左上）。システムの運用開始後も、認知実験等のプロセスが不要となり、低負荷で迅速なモデル追加が可能となる。

(2) 個別ユーザへの適応のためのモデル調整手法の開発：移動における心的・心身の個人差は著しく、高い安全・安心を得るためには、個々ユーザに対するモデルの特化が必要となる。歩行者ナビ・プロトタイプシステムを用いた長期の実利用実験を通して、利用者による経路評価のためのインタフェース（図 1 右下）と、取得情報に基づくモデル調整機構（図 1 左下）の開発を実施する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 環境変化に対応した新規モデルの構築・追加手法の開発

①ランドマークの物理的属性と利用者の認知的特性間の関係性の解明：第一段として、多様なランドマーク各々を対象とし、人の認知特性を反映した認知容易性評価モデルを求める。実験では、実験参加者（青年・成人および高齢者）に、風景写真からのランドマーク発見タスクを課す。タスク容易性に対する主観的評価データから、当該ランドマークの認知容易性評価関数を導出する。次に、各ランドマークにおいて、その物理的属性値（看板の有無や建物のサイズなど）と評価関数のパラメータ間の関係を対象とした解析を行い、その定量的関係性を求める。

②地図更新に対応した経路評価コストモデルの構築手法の開発：①にて取得した“ランドマークの物理的属性とモデルパラメータ間の定量的関係”に基づき、新たなランドマークに対するコストモデルを新規に求める手法を構築する。具体的には、ランドマークの物理的属性値を変数とし、コストモデルのパラメータを推定する手法となる。基本案として回帰モデルを用いる。①にて取得したデータから評価用データを準備し、ここで提案する手法の評価と改善を図る。

#### (2) 個別ユーザへの適応のためのモデル調整手法の開発

①経路評価用インタフェースとコストモデル調整機構の構築：提供経路に対する個々の利用者の評価・要求情報を取得する機構、そして取得情報により個々に特化したコストモデルへと調整する機構を設計する。提供経路に対する利用者の評価・要求情報を取得する機構は、“利用者自ら報告するインタフェース画面”と“提供経路と実際の歩行経路と差の収集機能”からなる。前者は、サービスのユーザ特化を目指した自発的報告を想定し、経路内の各ポイントにおける位置特定のしやすさ、安心感、好感度等の主観的評価に用いる。また、日常生活の中で、災害時の避難を想定し、通過に不安を感じる個所の報告を可能とする手段も検討する。後者は、サーバ内に位置し、利用者の移動結果から、提案経路に反して回避あるいは選択した個所の情報を得る。コストモデルの調整機構では、取得した各ユーザの情報をを用いて、位置特定のしやすさ、身体的負荷、安心感、嗜好などの各評価関数のパラメータを変更することで、コストモデルの個人特化を実現する。このとき、先行実施研究および(1)①項にて得たデータを用いることで、パラメータの個人特化修正ルールの策定を実施する。

②プロトタイプシステムを用いた機構の評価と改善：モデル調整機構を組み込んだプロトタイプによる長期の利用実験を実施することで、各機構の有用性と問題点の確認、問題の改善のプロセスを通して手法を開発する。①にて構築した機構を組み込んだプロトタイプシステムを用いて、実験参加者による利用実験を実施する。主観評価用インタフェース、情報取得の方策、避難時情報の取得方策、モデル調整ルール等の評価と改善、適切なパラメータ変更速度の検討を実施する。

### 4. 研究成果

#### (1) 環境変化に対応した新規モデルの構築・追加手法の開発

①ランドマークの認識のしやすさを定量的に示す認知容易性評価モデル：宇戸ら[4]、中村ら[5]は、実験参加者による認知実験を実施し、その結果から「認知容易性」の定量化のためのモデル式を構築している（ $[\text{認知容易性}] = ax + b$ ）。ここで  $x[m]$  は交差点とランドマークとの距離、 $a, b$  はモデルパラメータである。利用するランドマークの種類数を増やすためには、高い負担を要する同様の実験の実施が求められる。

②ランドマークの属性に基づいた認知容易性評価モデルのパラメータ推定：宇戸らは 9 種のランドマークに対してモデル式を構築している。本実験では分析対象を増やすため新たに 5 種のランドマークに対して認知実験を実施し、計 14 種のモデル式を対象とする。実験から得られた各実験参加者の主観的評価を目的変数、距離を説明変数として単回帰分析を行い、認知容易性を評価する関数を構築した。

ランドマークの属性と「認知容易性」のモデル式のパラメータ ( $a, b$ ) との関係性を明らかにするために重回帰分析を実施した。ここで、目的変数をモデル式のパラメータ、説明変数をランドマークの特性の有無とした。ランドマークの属性は先行研究において考察されていたものに加え、実地での建物の情報を参考にした。ステップワイズ法を適用し、有意確率が 0.05 以下となる目的変数のみを採用している。分析結果を用いて、入力をランドマーク特性の有無、出力をモデル式の各パラメータとするパラメータ推論式を構築した（表 1）。ここで  $x_1 \sim x_5$  は、ランドマークにおける 5 つの物理的属性を示している。どちらの推定式においても決定係数が 0.8 以上と高い値を示している。このことから、ランドマークの物理的属性を説明変数とした重回帰分析によるパラメータ推論は可能であることが確認できた。

表 1：認知容易性評価モデルのパラメータの推定式

パラメータ	推論式 (決定係数)
a: 距離係数	$0.012x_1 + 0.01x_2 + 0.004x_3 - 0.015$ (0.942)
b: 定数	$1.996x_4 + 1.286x_5 + 2.948$ (0.826)

(2) 個別ユーザへの適応のためのモデル調整手法の開発

①ユーザの属性と嗜好性に基づくコスト関数と適応化のための調整機構：ユーザごとに適切な経路を提供するためには、ユーザの属性と嗜好性との関係性を明らかにする必要がある。そのため、属性の異なる高齢者ユーザ 50 名に対して、「ガードレールのある道」「公園を通る道」等の経路要因に対するコストを専門用紙にて調査した。ユーザ属性を独立変数として回帰分析を実施し、コストを説明するモデルを作成した。しかし、いずれのモデルも調整済み R<sup>2</sup>乗値が 0.4 以下と低く、これをさらに改善していく手法が必要であることを改めて確認した。モデルを個々のユーザに合わせて改善するために、実際に通行した経路の情報や評価を利用することが有用であると考えられる。そこで本研究では、ユーザに対して通行した経路に存在した要因に対する評価を 5 段階で行ってもらい、これを利用してモデルを改善することを検討した。

本手法では経路要因への評価を利用しコストを改善するにあたって、過去 3 回分の評価合計値を利用するものとする。各ユーザ専用のコスト関数を定義し、図 2 に示したコスト更新パラメータを各要因に対するコスト値に乗算する方法により、ユーザの評価を経路要因に対するコストに反映させる。なおこの計算式は、評価値が最大の場合に現在のコスト値に対して 1.5 倍、評価値が最低の場合は 0.5 倍の補正となるように定義している。好意的な要因の場合と否定的な要因の場合で対応が異なるため、異なる定義式となっている。

✓ 「通行したい要因」の場合

$$\text{コスト更新パラメータ} = \frac{1}{12} * (\text{3回の評価値合計}) + \frac{1}{4}$$

✓ 「遠回りしたい要因」の場合

$$\text{コスト更新パラメータ} = -\frac{1}{12} * (\text{3回の評価値合計}) + \frac{7}{4}$$

図 2 モデル改善手法の計算式

②提案手法の検証実験：モデル改善手法の有用性を検証するため、実地における歩行実験を実施した。高齢者ユーザ 9 名に 3 経路を歩行にて移動してもらい、経路上の対象要因に対する良し悪しを 5 段階にて評価してもらった。その後、得られた評価値を上述の提案調整式の入力とすることでコストの推測モデルを更新した。これにより、出発地点と目的地点は同じであるが、調整後のモデルを利用して策定した 3 経路を再度歩行してもらった。図 3 は、モデル改善前とモデル改善後の経路評価点を（満点 100 点）を比較したものである。検証実験の結果として、歩行する経路により改善手法の有用性が変化することが判明した。経路 2、経路 3 は元々道幅が狭い・車が多いなど危険を感じる経路が多かったことから、より安全な経路を歩行することで評価が高まったと推測できる。反対に経路 1 は元々の経路評価が高かったが、モデルを改善したことで異なる経路を案内され、評価が下がってしまうケースが見受けられた。

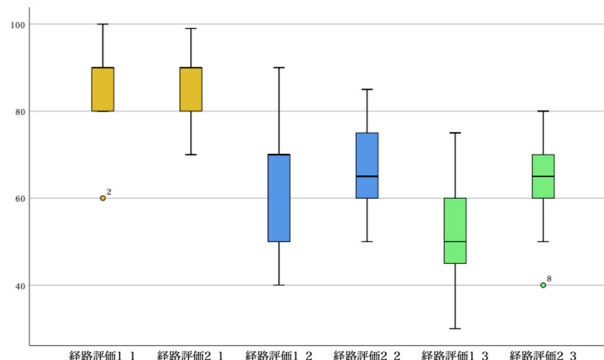


図 3 経路評価値の比較

(3) 成果のまとめ

①環境変化に対応した新規モデルの構築・追加手法の開発：多様なランドマークや道路条件を対象とした実験参加者によるランドマーク発見評価実験より、ランドマークの物理的属性（看板の有無や建物のサイズなど）と利用者の認知的特性間の定量的関係を確認した。実験では広視角動画視聴装置による模擬環境を用いた。構築した認知容易性評価関数に基づき、新たなランドマークに対するコストモデルを新規に求める手法を構築した。具体的には、ランドマークの物理的属性値を変数とし、コストモデルのパラメータを推定する手法となる。実測データによる定量的評価結果から、構築したモデルは十分な有用性を有することを確認した。

②個別ユーザへの適応のためのモデル調整手法の開発：多様な道路条件、状況、ユーザ属性を条件とした認知的実験を実施することで、各ユーザ属性と道路条件に対する主観的コストの間の定量的関係を確認した。これを基本モデルとすることで、取得した各ユーザの情報を用いて、位置特定のしやすさ、身体的負荷、安心感、嗜好などの各評価関数のパラメータ変更を行う。経路評価用機構から得られる提案経路や通過個所に対するユーザの評価結果（能動的評価と実移動からの推論値）を用いることで、実利用において経路評価モデルの各ユーザへの適応化が可能となる。モデル調整機構を組み込んだプロトタイプを構築し、既存手法との比較実験を実施することで、各提案手法の有用性と問題点の確認、そして問題の改善のプロセスを実施した。個々人の情報により調整された各ユーザ特化モデルを用いることで高齢ユーザの評価が向上することから、その基本的有用性を確認した。

<引用文献>

- [1] 楯列, 松下, 宗本: 携帯電話歩行者ナビゲーションシステムによる経路探索行動の不安度の変化, 日本建築学会計画系論文集, No.608, pp.59-64(2006).
- [2] M. Sahelgozin, A. Sadeghi-Niaraki, S. Dareshiri, "Proposing a multi-criteria path optimization method in order to provide a ubiquitous pedestrian wayfinding service," The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL.1: pp. 639-644 (2015)
- [3] D. Xi, Q. Fan, X. Yao, et al., "A visual salience model for wayfinding in 3D virtual urban environments," Applied Geography, Vol. 75, pp. 176-187 (2016)
- [4] 宇戸, 古川: ランドマークの定量的評価に基づく歩行者の不安を軽減する経路探索アルゴリズム, モバイル学会シンポジウム「モバイル' 08」研究論文集, pp.47-52 (2008)
- [5] 中村, 古川: ランドマークに基づく歩行者の位置特定難易度推定モデルの提案と実践的検証, モバイル学会シンポジウム「モバイル' 13」研究論文集, pp.119-124 (2013)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Furukawa Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Refinement of the quantitative models to estimate user's fear in evacuation route planning: A study on the effectiveness of physical factors for signboards	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 11th International Conference on Intelligent Energy Management, Electronics, Electric & Thermal Power, Robotics and Automation	6. 最初と最後の頁 10 pages
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Furukawa Hiroshi, Wang Zhiping	4. 巻 -
2. 論文標題 A Route Evaluation Method Considering the Subjective Evaluation on Walkability, Safety, and Pleasantness by Elderly Pedestrians	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Decision Science, Image Processing, Security and Computer Vision	6. 最初と最後の頁 408 ~ 416
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-24322-7_51	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Furukawa Hiroshi, Liu Zhihuan	4. 巻 722
2. 論文標題 A Qualitative Model to Estimate Users' Fear of Environmental Conditions for Evacuation Route Guidance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Intelligent Human Systems Integration. IHSI 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 473 ~ 479
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-73888-8_74	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 峰 亮太郎, 古川 宏
2. 発表標題 歩行履歴を活用し個人属性への適応性を高めた高齢者向け経路探索手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小清水 亮太, 古川 宏
2. 発表標題 地震災害における避難誘導のためのVRを用いた不安感測定の妥当性評価
3. 学会等名 モバイル学会シンポジウム「モバイル'20」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Furukawa Hiroshi
2. 発表標題 Refinement of the quantitative models to estimate user's fear in evacuation route planning: A study on the effectiveness of physical factors for signboards
3. 学会等名 11th International Conference on Intelligent Energy Management, Electronics, Electric & Thermal Power, Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 峰亮太郎, 古川 宏
2. 発表標題 高齢者の身体状況と嗜好性が 歩行経路選択に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 モバイル学会主催シンポジウム'19
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Furukawa, Zhiping Wang
2. 発表標題 A Route Evaluation Method Considering the Subjective Evaluation on Walkability, Safety, and Pleasantness by Elderly Pedestrians
3. 学会等名 International Conference on Emerging Trends in Engineering (ICETE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Furukawa Hiroshi、Liu Zhihuan
2. 発表標題 A Qualitative Model to Estimate Users' Fear of Environmental Conditions for Evacuation Route Guidance
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Human Systems Integration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中優輝、古川宏
2. 発表標題 災害避難時における不安要因の抽出と経路評価モデルの拡張
3. 学会等名 モバイル学会主催シンポジウムモバイル'18
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----