

令和 2 年 9 月 11 日現在

機関番号：22605

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18957

研究課題名（和文）身体の拡張による直感的な方向情報伝達手法による避難誘導

研究課題名（英文）Mobile Navigation Integrated Smartphone with Physical Finger for Evacuations

研究代表者

飛田 博章（Tobita, Hiroaki）

産業技術大学院大学・産業技術研究科・教授

研究者番号：30736062

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,600,000円

研究成果の概要（和文）：道案内を行うサービスは広く使われているが、進む方向は、デジタル表示された地図と実際の風景を頭の中で統合して決めるため、緊急時など情報の詳細を見る余裕の無い際用途には向いていない。本研究では、指モデルを使った直感的な方向提示手法を実現し、実験により有効性を明らかにする。携帯電話に取り付けた指モデルが進む方向を指し示すので、従来の地図による平面的な歩行者誘導に加え、屋内での階上・階下への誘導も同じ手法で行うことができる。研究期間内に、指モデルによる誘導手法を実現し、避難誘導における有効性を実験により明らかにすることで、防災減災のための新しい情報機器の創生に寄与することが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

携帯電話による歩行者誘導を避難誘導に適用し、有効性を検証した例はない。既存の誘導手法がデジタル画像を使った屋外での誘導を対象としているためである。提案手法では、指モデルは前後、左右及び、上下の方向提示を行えるので、デジタル画像による前後及び左右の平面的な移動に加え、上下の動作により階上・階下への指示も行える画期的な手法である。屋外の道案内は平面的に行えるが、建物内は階段を使う誘導が必要になる。提案手法では、屋内・屋外の歩行者誘導を同じユーザインタフェースで行える点に特徴を持ち、システムを実現し有効性を検証することは学術的に非常に意義が高く、地震や台風等の自然災害が多い日本においては重要となる。

研究成果の概要（英文）：Smartphones are widely used for communication and entertainment, and have characteristic features such as an even surface and a few buttons. However, the interaction with them is quite simple and limited. In contrast, we have found a way to use a physical finger attached to a smartphone. A real finger has many capabilities such as pointing and gestures. For example, we use our finger to point at something or someone, or to count a number, so we use such features for interactions to mobile navigation. The finger approach makes smartphone more intuitive and familiar for novice and elderly users who are not good at manipulating smartphone. In this research, we implement our system based on our design concepts and evaluate the system.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：防災・減災 3次元造形 ナビゲーション モバイルアプリケーション ビーコン

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は、指の造形モデルを携帯電話に取り付けるアナログ的なアイデアにより、直感的な道案内を実現する。これまでの携帯電話による道案内では、ユーザは常に画面に表示されたデジタル地図と目の前の風景の2つを確認しながら移動していた。この場合、目の前の風景が実際のデジタル地図のどこに位置するか、デジタル地図と実際の風景を頭の中で統合する必要があった。こうした作業の繰り返しによる移動が、交通事故につながるケースも少なくない。一方で、古くから道案内で最も効果的な手法は、指で方向をさし示す動作である。目的地の方向を指でさし示すことで、方向を直感的に伝えることができる。申請者は、携帯電話の形状に指の造形モデルを加えるチャレンジにより、子供、高齢者及び、外国人でも扱える直感的な情報提示手法の実現を考えた。

### 2. 研究の目的

道案内を行うサービスは、携帯電話のアプリケーションとして広く使われている。現在地から目的地までの経路情報を画面の地図上に表示することにより、歩行者を視覚情報で誘導する。移動による現在地の変化と共にルートが変化するため、どの程度近づいているのかが視覚的にわかる。しかし、進む方向は、デジタル表示された地図と実際の風景を頭の中で統合して決めるため、緊急時など情報の詳細を見る余裕の無い際の用途には向いていない。また、地図による平面的な誘導は、建物内部の階上階下への誘導に向かないため、建物内部から避難所へ移動する避難誘導での使用は難しい。

本研究では、指モデルを使った直感的な方向提示手法を実現し（図1）、実験により避難誘導における指モデルの有効性を明らかにする。携帯電話に取り付けた指モデルが進む方向を指し示すので、従来の地図による平面的な歩行者誘導に加え、屋内での階上・階下への誘導も同じ手法で行うことができる。研究期間内に、指モデルによる誘導手法を実現し、避難誘導における有効性を実験により明らかにすることで、防災減災のための新しい情報機器の創生に寄与することが期待できる。

### 3. 研究の方法

本研究では、避難誘導を効果的に行うための直感的なナビゲーション手法を実現し、利用者実験により提案手法の評価を行う。研究は大きく3つの単位に分かれる。

#### 1) 指の造形モデルのデザインとスマートフォンとの連携

研究単位1として指モデルと携帯電話のソフトウェアを連動させ、歩行者誘導デバイスを構築する。指モデルのデザイン及び造形を行い、サーボモータ等のセンサにより動作させる。この指モデルを携帯電話のアプリケーションと連携するためのソフトウェアも開発する。

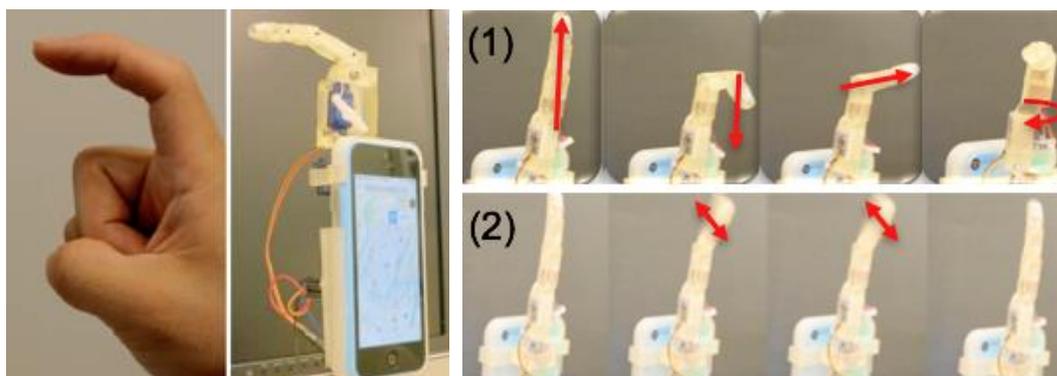


図1：指の造形モデルとスマートフォンを連携させ動作

指モデルは前後、左右及び、上下の方向提示を行えるので、デジタル地図による前後及び左右の平面的な移動に加え、上下の動作により階段やエレベータによる階上・階下への移動指示も行える（図2）。デジタル表示による既存手法では画面での表示では見るアングルが限られているが、提案手法では物理的に存在する指の動作は様々な角度から複数人が同時に認識できる。また、動きの組み合わせや速さにより様々な情報提示が可能となり、もう少し左や、もっと右などといった情報提示を指の動作で表現することが可能となる。

指の造形モデル及びセンサにより構成される指誘導部と携帯電話は、はめ込むことで一体化させる（図2）。スマートフォンのカバーのように扱える。指モデルは3Dプリンタにより大きさ

や形を変えた試作を繰り返すことで効果的な形状を明らかにする。小型のサーボモータを使い、指の曲げ伸ばしや回転する動作により、前後、左右及び、上下を指し示す。サーボモータはマイコンを用いて制御し、マイコンは無線通信 (Bluetooth Low Energy) により、携帯電話と情報交換を行う。指モデルを動作させるために、各種センサを 5V の充電電池で駆動させる。

GPS 情報はスマートフォンに内蔵されたセンサから得られる情報をアプリケーションにより取得する。アプリケーションでは地図が表示されているので、目的地を指定することで最短経路が表示される。

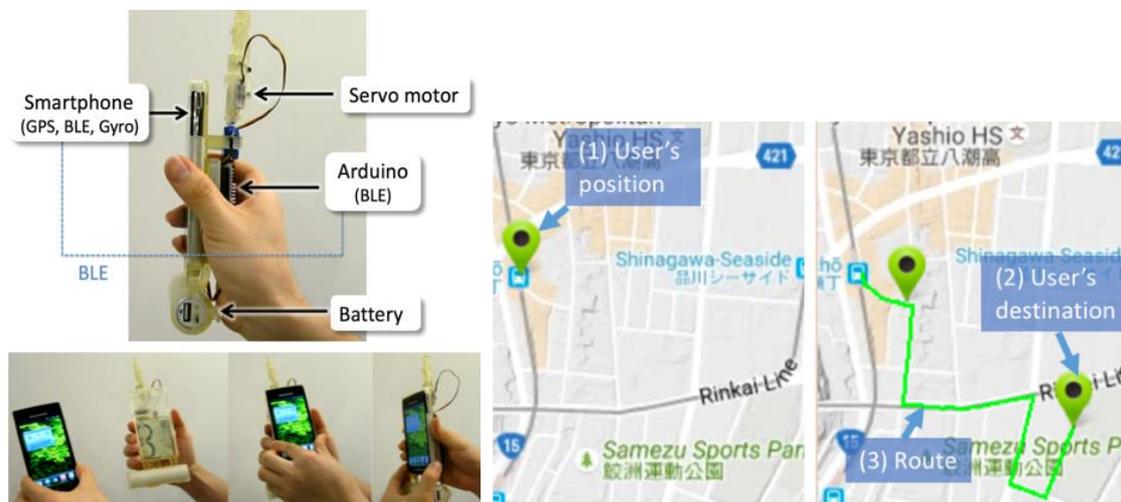


図 2：システムの実装として、ハードウェアとソフトウェアの開発

## 2) 位置情報の推定手法の実現とデバイスとの連携

研究単位 2 として、屋内・屋外での歩行者誘導を行う環境を整備し、指モデルの効果を評価する。屋内での位置認識を行うために、室内にセンサを配置することで実験環境を構築する。屋外では GPS を用い、屋内では BLE ビーコンを用いることで位置測位を行い、位置に応じて指の動作を決定する。この実験環境により屋内誘導を、GPS により屋外誘導を行い提案手法の有効性を検証する。

BLE ビーコンによる位置測位において、RSSI 信号が安定していることが重要となる。屋内誘導による実験と評価のために必要なビーコンの調査として、市販のビーコンとラズベリーパイ (以下、ラズパイ) により実装したビーコンの比較を行う。RSSI 信号の強度にばらつきを実験的に調査し、安定したビーコンを選び、室内位置測位を行う。

次に、それぞれのビーコンが発する RSSI 信号の強度をスマートフォンで測定する。測定した信号強度とあらかじめ測定したビーコンの位置情報をもとに 3 点測位を用いて、スマートフォンの位置を推定する (図 3)。信号強度や、ビーコンの位置情報はサーバに送られ計算され、計算結果をスマートフォンで受けるものとする。

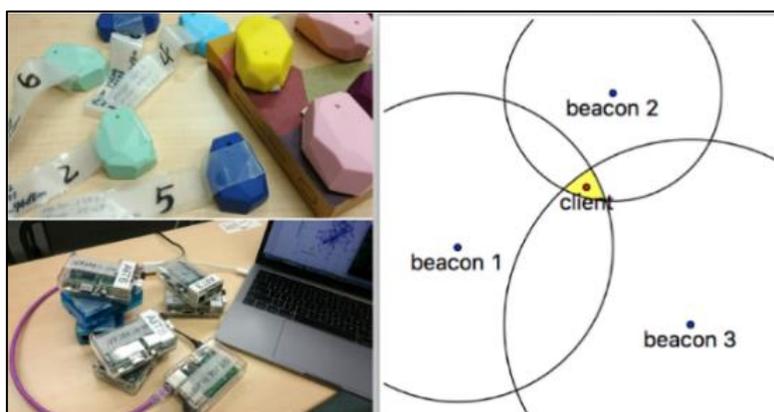


図 3：3 点測位により位置の推定



図 4：指モデルの造形と機構

### 3) ユーザテストによるシステムの検証とその応用

研究単位 3 として、屋内から屋外へ誘導する避難訓練による実証実験により提案手法を検証し有効性を明らかにする。また、アンケートをもとに提案手法の有効性を明らかにする。

## 4. 研究成果

### 1) 指の造形モデルのデザインとスマートフォンとの連携

指モデルの造形や、動作に関して、試行錯誤を繰り返しながら想定した指モデルをデザインすることができた。最初は糸を介して全体を動作させていたが、機構により動作させることでスムーズな動作が可能となった（図 4）。スマートフォンからの命令に対して、指モデルがリアルタイムで反応することを確認した。また、指の本数や機能についても様々なデザインを試すことにより、1 本よりも効果的な情報伝達が可能であることを確認した。指モデルはカメラなどのセンサとの連携が可能であり、複数の指が同時に動作することにより複雑な情報が得られることを確認した。また、大きさを変えることでスマートフォンだけでなくタブレットでも提案手法が動作することを確認した。

### 2) 位置情報の推定手法の実現とデバイスとの連携

位置誘導に関しては、屋内位置測位を安定させるために比較実験を行った。位置情報が推定できれば指モデルは正確に動作するので、複数のビーコンを用いた位置推定の実験結果を図 5 に示す。左側が市販のビーコンで、右側がラズパイビーコンによる測定結果である。市販のビーコンの RSSI 信号が不安定であり、ラズパイビーコンの方がより安定していることが分かる。こうした実験を繰り返すことで、市販のビーコンよりも、ラズパイにより実装したビーコンが屋内位置測位に適していることを確認した。

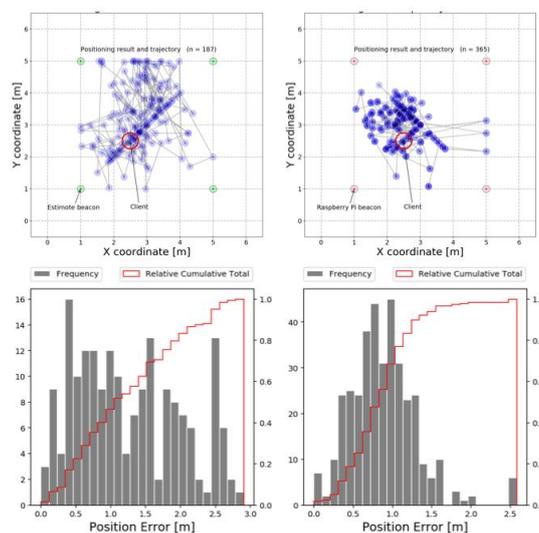


図 5：市販ビーコンとラズパイによる位置推定の比較

### 3) ユーザテストによるシステムの検証とその応用

提案手法の評価のために被験者によるユーザテストを行った。屋内位置測位に関するテストとユーザインタフェースに関するテストを行い有効性の確認を行った。

屋内位置測位を使い、縦横 8m のエリアの中で、正確に場所が特定できるかどうかのテストを 3 つの異なる状況(矩形、直線及び、ランダム)で行った。この実験では多くの被験者が高い正解率を示したが、正解率の低い被験者も見られた。RSSI 信号の影響によるものと考えられる。スマートフォンからも RSSI 信号が発信されているため、他の被験者のスマートフォンの影響などを

受けやすいと考える。RSSI 信号の誤差による影響はあるが、提案手法で屋内においても方向提示に必要な位置を推定を行えることが分かった。

ユーザインタフェースに関するテストとして、アンケートを実施した。スマートフォン自体のコンパクトさが失われるといったコメントもあったが、直感的な手法に関して高い評価を得ることができた。特に、複数人が同時に見ることができる点や、階上階下への移動も指モデルの上下移動で支援できる点に理解を得られたことにより、提案手法が有効であることを確認した。

また、こうした誤差を減らすために、物理的制約や平滑化を合わせた実験も行った。直前の位置を考慮して明らかな外れ値を外すことや、その時点までのデータで平滑化を行うことでノイズへの対処を行った (図 6)。様々な条件を試すために、この手法はシミュレータとして実装した。

---

**Algorithm 1** PythaPosi

---

```

Loc ← BCN(1) ∩ BCN(2) ∩ BCN(3) ∩ ⋯ ∩ BCN(n)
if Loc − Prev_Loc ≥ vt then
  CPhs_Loc ← Prev_Loc + vt(Loc)
else
  CPhs_Loc ← Loc
end if
PythaPosi_Loc ← (Loc + k(Prev_Loc)) / (1 + k)

```

---

図 6：精度向上のためのアルゴリズム

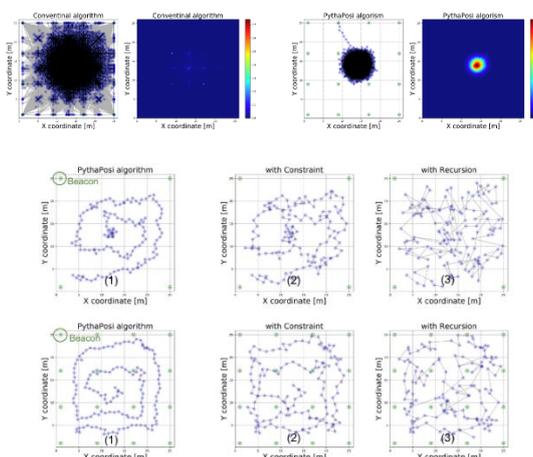


図 7：アルゴリズム検証

物理的制約がある場合とない場合での比較実験を行い、物理的制約を考慮した場合の方がより安定して位置推定ができることが分かった (図 7)。一連のアルゴリズムをシミュレータとして実装し、様々な条件で位置推定の精度がどのように変化するかの実験を併せて行い、提案手法の有効性を確認した。

最後に、指モデルのフィジカルなフィードバック、位置情報の推定手法及び、スマートフォンのアプリケーションの 3 つの手法を、再利用可能なモジュールとしてまとめた。

#### 4) 研究成果発表

本研究の成果として、国際学会で 6 本の査読付き論文の発表を行った。

指モデルとスマートフォンを連携した誘導システムに関する論文を ACM MUM '17 で発表するとともに、指モデルの数や機能により拡張に関する論文を IEEE IRC '18 で発表した。避難誘導に関する論文を IEEE ICT-DM '18 で発表した。また、直感的な誘導を拡張したシステムを IEEE ISMAR '19 で発表した。

また、屋内位置測位に関する内容で、物理的な制約に関する内容を Springer IHSED '18 で発表をした。位置測位に関する評価は IEEE ICT-DM '19 で発表した

特に、18 年度と 19 年度の 2 年連続で参加した国際会議 IEEE ICT-DM は、防災・減災に関する発表が数多くあり、研究発表を通じて今後の研究の発展に関する有益な議論が行えた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Tobita  |
| 2. 発表標題<br>SitusCall: Location-Based Mobile Communication for Group Calls and Human Augmentation                               |
| 3. 学会等名<br>2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Tobita  |
| 2. 発表標題<br>Tie-Brake: Tie-Based Wearable Device for Navigation with Brake Function                         |
| 3. 学会等名<br>2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Tobata  |
| 2. 発表標題<br>Intuitive-Evacuation: Intuitive Navigation in both Indoor and Outdoor Environments for Evacuation |
| 3. 学会等名<br>IEEE ICT-DM 2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masaaki Ano, Hiroaki Tobata  |
| 2. 発表標題<br>PytaPosi: Indoor Location Estimation with Physics Constraint and Recursive Filtering |
| 3. 学会等名<br>Springer IHSED 2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Tobata  |
| 2. 発表標題<br>Finger-navi: mobile navigation integrated smartphone with physical finger |
| 3. 学会等名<br>ACM MUM (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Tobita, Hirotaka Saitoh                                      |
| 2. 発表標題<br>Open-Finger: Mobile Application Platform Enhanced by Physical Finger |
| 3. 学会等名<br>IEEE IRC (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Tobita         |
| 2. 発表標題<br>Human Augmented Design |
| 3. 学会等名<br>CICCAT (招待講演)          |
| 4. 発表年<br>2017年                   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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