

ヒートマップを利用した バリア情報表現手法の検討

平成30年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

篠崎 涼太

概要

世の中には、障がい者や高齢者などの移動弱者が容易に通行することのできない、段差や階段、坂道などのバリアが多数存在する。移動弱者が円滑に外出を行うため、情報提供によるバリアフリーマップの作成や、バリアを通過する際の人間の動きからバリアを検出する研究などが多く行われている。しかし、現在のバリアフリーマップは、点としてバリア情報を地図上にプロットしているため、確率的なバリア情報をプロットするのに適していない上、バリアの密集度を直感的に把握することができないという問題がある。そこで本稿は、ヒートマップを利用して地図上に確率的なバリア情報を表現するバリアフリーマップを提案する。これは、バリア情報の表現にヒートマップを用いるアプローチである。これにより、確率的なバリア情報に含まれる推定結果が実際のバリア種別とは違っていた場合の影響と、計測した位置情報のズレの影響を軽減することができる。また、ヒートマップの色の強弱を俯瞰することで、ユーザはバリアの密集度を容易に把握することができる。提案方式を用いた検証実験を行った結果、提案方式のバリアフリーマップとしての一定の有効性を確認できた。

本稿の貢献は次の通りである。

- 確率的なバリア情報をヒートマップとして地図上にプロットするバリアフリーマップを提案したこと。
- 上記提案のバリアフリーマップを実装し、ユーザ実験を行い有効性を検証したこと。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	2
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	バリアフリーマップの作成に関する研究事例	4
2.1	バリア情報の収集に関する研究事例	5
2.1.1	人間が判断を行うアプローチ	5
2.1.2	センサデータから機械が自動で判定するアプローチ	5
2.2	位置関連情報の公開に関する研究事例	6
2.2.1	バリア情報の公開に関する事例	6
2.2.2	バリア情報以外の公開に関する事例	7
第3章	研究課題	9
3.1	問題の定義	10
3.2	研究課題の設定	10
第4章	ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の提案	11
4.1	アプローチ	12
4.2	ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の提案	12
第5章	ヒートマップを利用したバリアフリーマップの実装	13
5.1	システムの全体像	14
5.2	推定プロセスの実装	14
5.2.1	推定対象のバリア	14
5.2.2	データセット	15
5.2.3	人手による特徴量設計を用いた推定	17
5.3	データベースの実装	17
5.4	表示プロセスの実装	18
第6章	評価実験	19
6.1	実験の目的	20
6.2	実験の概要	20

6.3	実験の手順	22
6.4	実験結果	23
6.4.1	Q1, Q2 に対する被験者の回答結果	23
6.4.2	Q3, Q4 に対する被験者の回答結果	24
6.4.3	ルート構築にかかった時間とリストアップした危険箇所の数	24
6.5	考察	25
第 7 章	結論	27
	謝辞	24
	参考文献	26
	付録	28
	研究業績	30

目 次

4.1	提案方式の概念図	12
5.1	計測デバイス	16
5.2	教師なしデータ計測に使用したアプリケーションの画面	16
5.3	ヒートマップ形式のバリアフリーマップ	18
6.1	P1:確率的なバリア情報が点として地図上にプロットされたバリアフリー マップ	21
6.2	P2:確率的なバリア情報がヒートマップとして地図上にプロットされたバリ アフリーマップ	22
6.3	移動経路を簡単に決定できましたか?	24
6.4	特に注意すべき場所は簡単に見つけられましたか?	24
6.5	ルート構築にかかった時間	25
6.6	リストアップした危険箇所の数	25

表 目 次

5.1	推定対象のバリア	15
5.2	area_info テーブルに含まれている情報	17
5.3	barrier_info テーブルに含まれている情報	18

第1章 序論

1.1 研究の背景

世の中には、障がい者や高齢者などの移動弱者が容易に通行することのできない、段差や階段、坂道などのバリアが多数存在する。2016年の障害者差別解消法施行や、2020年のパラリンピック東京開催など、障がい者の社会参加を後押しする機運が高まっているが、屋内外にはバリアが依然として多数存在しているため、移動弱者・視覚障がい者の方々の自由な移動が妨げられている。しかし、屋内外に存在する全てのバリアを取り除くのは現実的ではない。そこで、移動弱者や視覚障がい者の方々が適切な移動計画を立て、円滑に目的地まで向かうことのできるルートを選択するためのバリアフリーマップが重要な役割を果たす。また、バリアフリーマップを作成するために、バリア情報を収集するための様々な取り組みが盛んに行われている。

1.2 研究の目的

1.1節で述べたバリアフリーマップは、現在、点としてバリア情報を地図上にプロットしている。人手によって収集したバリア情報ならば、バリア情報収集時にそこにバリアが存在するという保証が生まれるため問題はないが、計測した加速度などのセンサデータの値から推定した確率的なバリア情報はこの方法で地図上にプロットすると誤情報になってしまうという問題がある。また、十分なバリア情報収集を行えていても、それらを点として地図上にプロットするだけでは地図上が情報過多になるため、バリア情報の分布を直感的に提示できないという問題がある。本研究では、確率的なバリア情報をユーザに提供できるようにすること、バリアの密集度を直感的に把握できるように可視化することを目的とする。この目的を達成するために、ヒートマップを用いてバリア情報をプロットするアプローチをとる。本稿では、上記の要件を満たしたバリアフリーマップの実装、および評価実験から実装したバリアフリーマップの有効性を確認することを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

2章では、バリア情報の収集に関する研究事例と、位置関連情報の公開に関する研究事例について述べる。

3章では、地図上にバリア情報を点としてプロットするバリアフリーマップの抱える問題を定義し、それをふまえた上で本研究における課題を設定する。

4章では、地図上にバリア情報を点としてプロットするバリアフリーマップの抱える問題を解決するために、ヒートマップを用いてバリア情報を表現するアプローチを検討し、ヒートマップを利用して地図上に確率的なバリア情報を表現するバリアフリーマップを提案する。

5章では、ヒートマップを利用したバリアフリーマップの実装について述べる。
6章では、行った実験の目的や手順について述べ、実験結果の考察を行う。
最後に7章にて、本論文の結論を述べる。

第2章 バリアフリーマップの作成に関する研究事例

2.1節では、バリア情報の収集に関する研究事例を紹介する。2.2節では、位置関連情報の公開に関する研究事例を紹介する。

2.1 バリア情報の収集に関する研究事例

バリア情報の収集に関する研究事例は、人間が判断を行うアプローチ(2.1.1項)と、計測した各種センサデータから機械が自動で判定するアプローチ(2.1.2項)に細分化できる。

2.1.1 人間が判断を行うアプローチ

[1]は、歩行空間ネットワークを作るための国土交通省が主体となって行っている試みであり、国内のあらゆる道や施設について、道の幅員や段差の有無、信号機やエレベータのバリアフリー対応の情報などを、現地に訪れた専門知識のある調査員が直接収集している。これによって、健常歩行者には最短ルートを、移動弱者には段差を避けた通行しやすいルートをそれぞれ提示することが可能になる。[2]は、駅や飲食店など様々な施設を訪れた人が、その施設のバリアの程度を車椅子利用者向けのマップに自由に投稿できるサービスである。[3]も同様の試みを行っているが、情報を共有する対象を車椅子利用者だけでなく視覚障害者まで広げている上、投稿されたバリア情報を別のユーザが評価できるという点で異なる。[4]は、調査すべき項目を明示した専用入力フォームを用意することで、バリアに関する専門知識を持たない調査員でも、一定の精度を保ったまま情報収集が行えるようになるという手法である。また、[4]を利用して路面バリアのクラウドセンシングを行うMaPiece[5]が提案されており、専門の計測会社への依頼と比較して1/10のコストで情報を収集できるツールとして、実際に新宿エリアにおけるバリアフリー情報調査に活用された事例がある。

2.1.2 センサデータから機械が自動で判定するアプローチ

計測したセンサデータから機械が人間の行動を判定するアプローチは数多い。まず、車両や車椅子など、車両移動時のセンサデータを利用して車道や歩道のバリア情報を発見する事例がある。[6]は、車両に搭載した専用モジュールによって計測した加速度データから特徴量を抽出し、機械学習を行うことで、車道に存在するくぼみや、道路の荒い表面を検出した事例である。同様の事例として[7]が存在するが、こちらは加速度の計測に車内に搭載したスマートフォンを利用している点で異なる。一方、車椅子で計測したセンサデータに基づいて歩道の路面状態を検出する試みとして、[8][9][10]が存在する。これらの手法を応用して、加速度・角速度センサを装着した車椅子で市街地を移動してセンサデータを計測し、それを利用することでバリアを発見する事例がある。[11]は、車椅子にiPod touchを搭載して計測した加速度ライフログデータを利用し、市街地における縁石、点字ブロック、段差、坂の検出を行った事例である。[12]は、計測した加速度の変

化から車椅子の角度を計算することで、段差・傾斜の有無とその大きさを推定した事例である。[13]では、車椅子に加えて上腕部にも装着した加速度センサで計測したデータを利用して、荒い路面や急な傾斜・緩い傾斜を推定している。[14]は、車椅子の移動の様子がユーザごとに異なることに着目し、ユーザごとに適切なモデルを選択した上で加速度データを Deep Learning で分析することで、段差・傾斜に加え、引き返しが生じる場所などの検出にも挑戦している。

次に、センサデータから人間の歩行の様子を推定しようとする事例が存在する。[15]は、足首に取り付けた装置で計測した加速度データから抽出した Time Domain(TD), Frequency Domain(FD) の特徴量を分析する決定木を作成し、ユーザが歩いているか、走っているかなどの状態を推定している。決定木に用いられるパラメータは固定的ではなく、各ユーザの直前のデータに基づいてオンラインで更新されるため、パーソナライズされた推定結果が得られるとしている。[16]は、ズボンの前ポケットに入れたスマートフォンで計測した加速度データから抽出した平均値、標準偏差、ピーク間距離などの TD 特徴量を、ロジスティック回帰などの機械学習手法で分析して、歩く、走る、階段を上る、階段を下りる、座る、直立するという6つの行動の識別を行っている。一方、[17]は、スマートフォンをズボンのポケットに入れた状態に加え、鞆に入れた状態、手に持った状態で計測した加速度データから、ユーザが歩いているか否か判定している。判定には HMM などの機械学習手法を用いており、利用する特徴量は TD・FD のものである。上記の行動推定技術の発展として、歩行時のセンサデータから路面の状態を推定することでバリアの検出を行う事例が現れ始めている。[18]は、靴に固定した加速度センサで計測したデータから抽出した特徴量を、ルールベースで分析することで、路面が平坦か凸凹かを推定している。[19]は、TD, FD の特徴量を分析する SVM の識別器を作成し、ユーザが歩いている路面が平坦か、階段か、坂か判定する試みを行っている。この研究ではスマートフォンの位置(例: ポケット, 鞆)が未知であるとし、推定対象の時間帯の前後時間帯も分析することで推定精度を向上させている。これらと同様の試みとして、健常者の歩行時加速度データを利用し機械学習を行うことで、広範囲に存在するバリアを高精度で検出することのできるバリア情報収集システムが提案されている [20][21][22]。

2.2 位置関連情報の公開に関する研究事例

位置関連情報の公開は、バリア情報の公開に関する事例と、バリア情報以外の公開に関する事例に分けて紹介する。これらは、2.2.1 項、2.2.2 項においてそれぞれ説明する。

2.2.1 バリア情報の公開に関する事例

内閣府が公開している、各都道府県のバリアフリーマップ関連の情報のリスト [23] にある通り、各自治体におけるバリアフリー関連の情報共有の試みが盛んに行われている。この中から一例を挙げると、港区のバリアフリーマップ [24] においては、施設における自

動ドアの設置、段差の有無や点字ブロック・音声誘導装置の有無、トイレの各種バリアフリー対応状況などのバリアフリー設備情報を掲載している。また、指定したバリアフリー設備を備えている施設の検索や、音声による道案内機能も存在し、高齢者、障害者、乳幼児をお連れの方等が安心して外出できるようスマートフォンや携帯電話にも対応している。[25]は、OpenStreetMapを利用して、学内のバリアフリーマップを作成した事例である。これは学内にあるトイレやエレベーター、スロープの位置に加えて、各教室においての車椅子の利用の可否について記録している。また、ダイクストラ法を用いて、車椅子利用者向けに最短経路案内を実装しており、学内における移動の助けとなることを目的としている。

2.1.1項で紹介した[2]では、各種施設について「全ての部屋で車椅子の利用が可能である」「車椅子の利用が一部の部屋で可能である」「車椅子の利用が不可能である」という段階に分けて評価した情報を公開している。一方で、バリアフリー設備の情報に限らず、バリアそのものの情報を含んだ情報共有の試みも存在する。[26]は、車椅子利用者同士がiPhoneを用いて収集したバリア情報や移動ルートを共有することができる地図である。iPhoneの加速度センサを用いて検出した傾斜や段差の情報と共に、車椅子によって通行したルートも共有されることで、ユーザは旅行先などで目的地まで確実に車椅子で移動できるルートを知ることができる。また、これは車椅子利用者のコミュニティサイトとしても利用が可能である。例えば、バリア情報が存在しない地域のユーザに対し、バリア情報をリクエストする「ここいける？」機能が実装されており、このマップの利用者における情報登録活動の活発化を促している。[27]は、東京大学のバリアフリー支援室が作成した、キャンパス内のバリアフリーマップである。各種バリアフリー設備の情報に加えて、段差・階段・坂道・悪路の情報がキャンパス全体について掲載されている。特に坂道については、記号の方向で坂の方向を、記号の密度でその程度を表現している。また、車椅子利用者向けに、建物に対する段差のない出入り口の情報や、門に対する車椅子の出入りの可否が掲載されている。

2.2.2 バリア情報以外の公開に関する事例

バリア情報以外の位置関連情報の公開に関する事例は数多い。第一にwebサイト・カーナビなどによる道路交通情報の公開が挙げられる。[28]では、高速道路の路線図上に、渋滞が発生している区間を赤色で塗って表示している。また、通行止めや交通規制が発生している区間は緑色で塗られ、マウスポインタを載せたときに規制理由などの詳細な情報が表示される。第二に、都市や施設における人の混雑情報を共有している事例が挙げられる。[29]は、地図上に混雑度をヒートマップ形式でマッピングして公開しているサービスである。混雑していない地域に関しては白色から緑色で塗られ、混雑度が増していくにつれて赤色に変化していく。また、指定した地点の推定人数も参照することができる。これは全国の携帯電話の位置情報を収集し、その分布を日本の総人口に当てはめることで地図上に重畳表示している。第三に、都市の騒音の程度をマッピングし可視化した事例が存在する。AAASの年次報告において、アメリカ全土の環境音をモニタリングし、ヒートマッ

形式でマッピングしたデータが公開された。騒音がない地域は寒色に塗られ、大きい地域になるほど暖色に輝くことで、騒音の大小とその位置を表現している。

第3章 研究課題

3.1 問題の定義

2016年の障害者差別解消法施行や、2020年のパラリンピック東京開催など、障がい者の社会参加を後押しする機運が高まっている。しかし、屋内外には、段差や階段などのバリアが依然として多数存在しているため、移動弱者・視覚障がい者の方々の自由な移動が妨げられている。しかし、屋内外にある全てのバリアを取り除くことは現実的ではない。そこで、屋内外におけるバリアフリーマップが重要な役割を果たす。移動弱者や視覚障がい者の方々は、このマップを参照することで、適切な移動計画を立て、円滑に目的地まで向かうことのできるルートを選択することができる。例として、人が直接バリアの存在を確認してバリア情報を集めることで作られたバリアフリーマップが存在する [27]。しかし、このアプローチによってバリア情報の収集を行う場合は専門の調査員が直接現地に向いて現地調査を行う必要があるため、膨大なコストが必要となり、広範囲の調査を行うことは困難である。そこで、計測した加速度などのセンサデータの値からバリアの存在を推定することでコストを軽減しつつ、確率的なバリア情報を収集するアプローチが提案されており、このアプローチによって収集した確率的なバリア情報を用いたバリアフリーマップも存在する [26]。ところが、[26][27]のような現在のバリアフリーマップはいくつかの問題を抱えている。

第1に、地図上にバリア情報を点としてプロットするアプローチの場合、確率的なバリア情報を提示するのに適していないという問題がある。このアプローチで作成したバリアフリーマップでは、ユーザと地図作成者の間にはその点の位置に特定の種類のバリアが確実に存在するという合意が生まれるため、100%正しいバリア情報しか掲載することができない。人手によって収集したバリア情報ならば、バリア情報収集時にそこにバリアが存在するという保証が生まれるため問題はないが、計測した加速度などのセンサデータの値から推定した確率的なバリア情報はこの方法で地図上にプロットすると誤情報になってしまう可能性がある。

第2に、地図上にバリア情報を点としてプロットするアプローチの場合、バリア情報の分布を直感的に提示できないという問題がある。つまり、十分なバリア情報収集が行えていても、それらを点として地図上にプロットするだけでは地図上が情報過多になる。そのため、バリアの密集度を直感的に把握することが難しくなってしまう。

3.2 研究課題の設定

3.1節で定義した問題をふまえ、本研究では、バリアフリーマップの作成によるバリア情報の可視化を行う上で、下記を達成することを研究課題として設定する。

課題1：確率的なバリア情報をユーザに提供できるようにする。

課題2：バリアの密集度を直感的に把握できるように可視化する。

第4章 ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の提案

4.1 アプローチ

3.2節で設定した課題を達成するために、ヒートマップを用いてバリア情報をプロットするアプローチをとる。ヒートマップとは、数値データを色の強弱によって表現することで、そのデータの持つ性質をユーザが直接数値を眺めるよりも直感的に把握することができる表現手法である。ヒートマップは地図上にプロットすることで、騒音や混雑度などの位置関連情報を表現する際に有効となる [29][30]。ヒートマップを用いて広範囲の確率的なバリア情報をまとめて地図上にプロットすることで、判定したバリアの種別が間違っていた場合の影響を軽減でき、かつ計測した位置情報のズレの影響も軽減することができるため、課題1の達成が期待できる。また、広範囲の確率的なバリア情報をヒートマップによってプロットし、色の分布を俯瞰することにより、点としてバリア情報を地図上にプロットした際に情報過多になることを軽減しつつ、ユーザがバリアの密集度を直感的に把握できるようになるため、課題2の達成が期待できる。

4.2 ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の提案

4.1節に基づき、ヒートマップを利用して地図上に確率的なバリア情報を表現するバリアアフリーマップを提案する。提案方式の概念図を図4.1に示す。提案方式で用いる確率的なバリア情報は、健常歩行者の加速度時系列データを用いた機械学習 [20][21][22] によって得る。ヒートマップ形式でのバリア情報のプロットは、Googleの公開している Maps JavaScript API に含まれているヒートマップ作成機能を利用する。

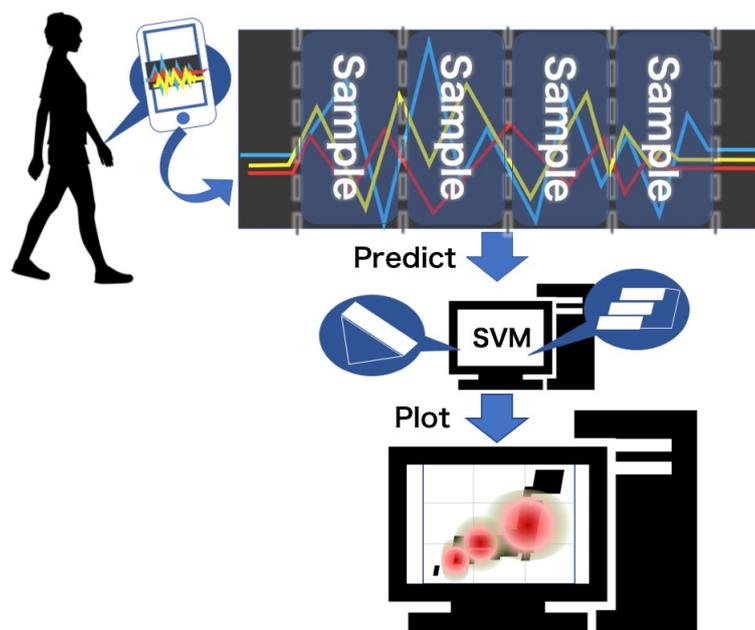


図 4.1: 提案方式の概念図

第5章 ヒートマップを利用したバリアフリーマップの実装

5.1 システムの全体像

バリアフリーマップの概念図を図XXXに示す。本バリアフリーマップは、機械学習によってバリアを推定して確率的なバリア情報を得る推定プロセスと、推定プロセスで得た確率的なバリア情報を地図上にプロットする表示プロセスに別れており、2つのプロセスはデータベースによって繋がっている。推定プロセスにはPython(バージョン3.6.3)、表示プロセスにはJavaScriptとPython(バージョン3.6.3)とGoogle Maps、データベースにはSQLite3を利用する。

5.2 推定プロセスの実装

推定プロセスには、[20][21][22]において用いられている機械学習手法の一部を調整して利用する。この手法は、健常者の歩行時加速度データを機械学習することで、広範囲に存在するバリアを高精度に推定することができる手法である。5.2.1項では、推定の対象とするバリアについて述べる。5.2.2項では、推定に利用するデータセットの作成過程について述べる。5.2.3項では、人手で設計した特徴量 (Hand Crafted Features, 以下 HCF) を用いたバリア推定について述べる。

5.2.1 推定対象のバリア

推定の対象とする屋内外のバリアを表5.1に示す。表5.1に示したバリアのうち、PLD/PSDは屋内のみで推定対象とするバリアである。また、STNとUHS/DHSは屋外のみで推定対象とするバリアである。USR/DSRの計測に用いた階段は、1段の高さが15cm程度である。USP/DSPの計測に用いた段差は、高さが15cm程度である。ULS/DLSの計測に用いた坂の勾配は3度程度であり、UHS/DHSの計測に用いた坂の勾配は10度程度である。

表 5.1: 推定対象のバリア

略称	内容
FLT (FLaT)	平地
STN (SToNe)	石畳
USP (Up SteP)	段差 (上り)
DSP (Down SteP)	段差 (下り)
USR (Up StaiRs)	階段 (上り)
DSR (Down StaiRs)	階段 (下り)
PLD (PuLl Door)	ドア (引き開け)
PSD (PuSh Door)	ドア (押し開け)
ULS (Up Low Slope)	緩い坂 (上り)
DLS (Down Low Slope)	緩い坂 (下り)
UHS (Up High Slope)	急な坂 (上り)
DHS (Down High Slope)	急な坂 (下り)

5.2.2 データセット

推定プロセスには、教師ありデータセット、教師なしデータセットの2種類を作成し利用する。教師ありデータセットは、教師あり学習を行ってSVMによって分類器を作成する際に学習用データセットとして使用し、教師なしデータセットは、分類器を用いてバリアの推定を行うテストデータセットとして使用する。また、これらのデータセットから特徴量を抽出する際は人手による特徴量設計を用いる。はじめに、教師ありデータセットの作成過程について述べる。以降、データセットに使用する加速度時系列データを計測した健常歩行者を計測者と呼ぶ。計測者が表 5.1 に示したそれぞれのバリアを歩行している際の加速度データを計測し、収集した。

計測の際には、小型のコンピュータに市販の加速度センサ等の部品を組み合わせで製作したスマートフォンサイズの専用のデバイスを使用した (図 5.1)。また、ソフトウェアも専用のものを作成し、使用した。ソフトウェアは、 $\pm 2g$ の範囲の $[x,y,z]$ 軸の加速度をサンプリングレート 20Hz で計測できるように上記デバイスを制御した。計測者は、ソフトウェアを起動したデバイスをズボンの左前ポケットに入れた状態で各バリアの上を歩行した。そして、バリアの上を歩行している最中の加速度センサデータを計測した。教師あり学習で使用する教師ありデータセットを作成する際は、どのバリアの計測を行っているか判別するためのラベルを計測時にデータに付与する必要があるため、計測時にその都度バリアに対応したラベルを手動で付与した。以上の手順で計測した加速度センサデータを、全て 3 秒間分の固定長になるように切り出してサンプルを作成した。計測は、20 代の健常歩行者 19 名 (男性 18 名, 女性 1 名) が行った。表 1 の各バリアに対し、計測者 1 人につき屋内・屋外それぞれ 10~20 サンプル程度の計測を行った。

次に、教師なしデータセットの作成過程について述べる。教師なしデータセットの作成

には、教師ありデータセットの作成に使用した専用デバイスと同条件で記録できるスマートフォン用のアプリケーションを使用した。使用したアプリケーションの画面を図XXXに示す。計測者には、日常生活における通勤/通学や散策などの移動の際に、スマートフォンをズボンの左前ポケットに入れた状態で計測を行ってもらった。計測は20～30代の男性健常歩行者14名が行った。



図 5.1: 計測デバイス

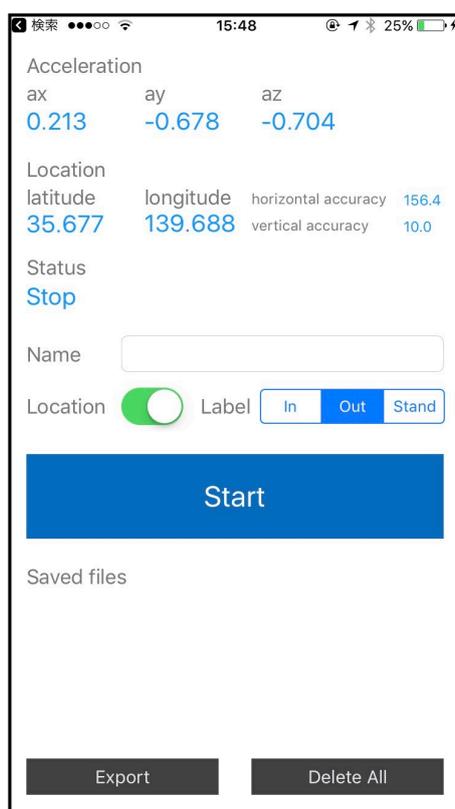


図 5.2: 教師なしデータ計測に使用したアプリケーションの画面

5.2.3 人手による特徴量設計を用いた推定

使用する特徴量は次に並べる4種類である。各特徴量の先頭の記号はTime Domain(TD)/Frequency Domain(FD)種別と次元数を示しており、4つの特徴量は合計33次元である。

- [TD, 3] 平均値：推定対象期間における $[x,y,z]$ 軸の加速度値の平均値。
- [TD, 3] 標準偏差：推定対象期間における $[x,y,z]$ 軸の加速度値の標準偏差。
- [TD, 3] 相関係数：推定対象期間における $[x-y,y-z,z-x]$ 軸間の加速度値の相関係数。
- [FD, 24] スペクトル強度：推定対象期間における $[x,y,z]$ 軸の加速度値をフーリエ変換して得る各周波数帯 (0~10Hz を 1.25Hz ずつ等分した8周波数帯) の平均スペクトル強度。

教師ありデータセットを学習用サンプルとして学習用データセットを作成し、上記4種類の特徴量を用いてSVMで分類器を作成する。そして、作成した分類器を用い、教師なしデータセットの各サンプルのラベルを推定する。教師なしデータセットの1サンプルの推定を行うごとに、その推定結果のラベル、サンプルの計測場所の緯度経度、計測された時刻、計測者の5種類のメタデータをデータベースに格納する。

5.3 データベースの実装

データベースにはSQLite3を利用しており、`area_info` と `barrier_info` の2種類のテーブルが実装されている。`area_info` テーブルは、地図上を一定の広さの区画(エリア)に分け、各エリアに含まれるバリアを管理するためのテーブルである。`barrier_info` テーブルは、確率的なバリア情報と、そのバリアがどのエリアに属しているかを保存するテーブルである。具体的な各テーブルの内容を表5.2、表5.3に示す。推定プロセスにおいて、確率的なバリア情報を `barrier_info` テーブルに登録する際、バリアがどのエリアに属しているかを `area_info` テーブルを参照して決定し、メタデータと共に保存する。

表 5.2: `area_info` テーブルに含まれている情報

カラム名	内容
<code>id_area_info</code>	エリアの固有 ID
<code>lat_south</code>	エリアの南端の緯度
<code>lng_west</code>	エリアの西端の経度
<code>num_barrier</code>	エリアが包含しているバリアの個数

表 5.3: barrier_info テーブルに含まれている情報

カラム名	内容
id_barrier_info	バリアの固有 ID
id_area_info	バリアが所属しているエリア
lat	緯度
lng	経度
barrier_type	バリアの種類 (名称, USP 等)
id_register	登録者の名前
time_register	登録日時

5.4 表示プロセスの実装

表示プロセスは、ユーザにバリアフリーマップを表示するプロセスである。バリアフリーマップの表示には、Google Maps を利用する。データベースを参照し、表示するマップの中心地点が属するエリアが包含しているバリアの一覧を .JSON 形式で取り出し、Google の提供する Maps JavaScript API (バージョン 3.35) に含まれているヒートマップ作成機能を利用して、Google Maps 上にプロットする。プロットした際にユーザに表示される画面を図 5.3 に示す。



図 5.3: ヒートマップ形式のバリアフリーマップ

第6章 評価実験

6.1 実験の目的

本実験では，提案方式が，既存方式に比べてユーザがバリアの分布傾向を直感的に把握できるよう可視化できているかどうかを検証することを目的とする。

6.2 実験の概要

被験者は20代男性6名である。被験者は全員が健常歩行者であり，普段バリアフリーマップを利用していない。被験者には，文理学部を初めて訪れる移動弱者の友人のために，翌日通行してもらおう学内のルートを決めるシーンを設定した。ルートの決定は，確率的なバリア情報をプロットした学内のバリアフリーマップを見て行う。被験者が見るバリアフリーマップは下記に示すP1，P2の2パターンである。

- P1:確率的なバリア情報が点として地図上にプロットされたバリアフリーマップ
- P2:確率的なバリア情報がヒートマップとして地図上にプロットされたバリアフリーマップ

実際に被験者が参照する各バリアフリーマップを図6.1，6.2に示す。被験者には，決定したルートと危険箇所を，別途用意したマップに書き込んでもらう。また，バリア情報の可視化方法の有効性に関する評価を行うためのアンケートに答えてもらう。ルートを決めるまでの時間，リストアップできた危険箇所の数，アンケートの結果を用いて，提案手法と既存手法を比較する。



図 6.1: P1:確率的なバリア情報が点として地図上にプロットされたバリアフリーマップ



図 6.2: P2:確率的なバリア情報がヒートマップとして地図上にプロットされたバリアフリーマップ

6.3 実験の手順

被験者には、6.2項で述べた各パターンについて、1回ずつ参照してもらう。実験者は、被験者に各パターンを参照してもらう前に、確率的なバリア情報と確率的でないバリア情報の違いについて説明する。被験者が各パターンを参照する時間は最大3分間とし、被験者は任意のタイミングで参照を終了した。被験者は1パターンを参照するたびに、アンケートに回答した。順序効果を相殺するために、各パターンを参照する順番と決定するルートはランダムに選択した。下記に実験手順の詳細を記す。

Step 1: 被験者は、"P1", "P2"と書かれた2枚の紙から、文字の書いてある面を見ずに

1枚選ぶ。

Step 2: 被験者は, "P1", "P2"と書かれた2枚の紙から, 文字の書いてある面を見ずに1枚選ぶ。

Step 3: 実験者は, Step1で被験者が選んだパターンがどのような方式でバリア情報を地図上にプロットしたバリアフリーマップであるかを説明する。

Step 4: 被験者は, Step1で選んだパターンのバリアフリーマップを参照し, Step2で選んだルートについて移動経路の決定と危険箇所のリストアップを行う。

Step 5: 実験者は, 移動経路の決定と危険箇所のリストアップにかかった時間を計測する。

Step 6: 被験者はアンケートに回答する。

Step 7: 実験者は, Step1で被験者が選ばなかったパターンがどのような方式でバリア情報を地図上にプロットしたバリアフリーマップであるかを説明する。

Step 8: 被験者は, Step1で選ばなかったパターンのバリアフリーマップを参照し, Step2で選ばなかったルートについて移動経路の決定と危険箇所のリストアップを行う。

Step 9: 被験者はアンケートに回答する。

被験者がStep 6, Step 9で回答するアンケートの質問内容はQ1:「移動経路を簡単に決定できましたか?」, Q2:「特に注意すべき場所は簡単に見つけられましたか?」, Q3:「分かりやすいと感じた情報は何でしたか?」, Q4:「分かりにくいと感じた情報は何でしたか?」の4つである。被験者は, これらのアンケートについて, Q1,Q2は5段階のリッカート尺度(1:全くそう思わない, 5:とてもそう思う)で回答し, Q3,Q4は無回答を除く自由記述で回答した。

6.4 実験結果

6.4.1 Q1, Q2に対する被験者の回答結果

Q1:「移動経路を簡単に決定できましたか?」に対する被験者の回答分布を図6.3に示す。Q1に対し4または5の回答をした割合は, P1の既存手法は33%, P2の提案手法は83%であった。Q2:「特に注意すべき場所は簡単に見つけられましたか?」に対する被験者の回答分布を図6.4に示す。Q2に対し4または5の回答をした割合は, P1の既存手法は66%, P2の提案手法は100%であった。

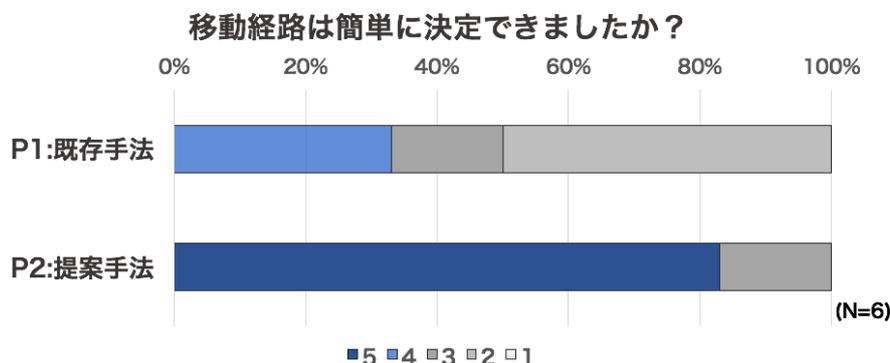


図 6.3: 移動経路を簡単に決定できましたか？

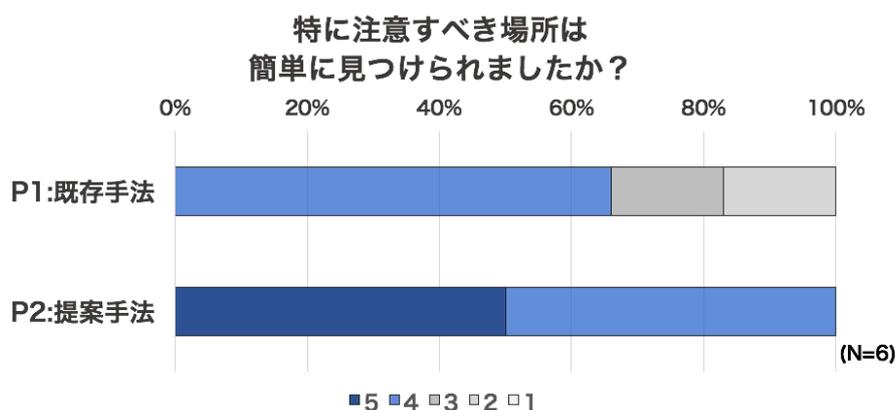


図 6.4: 特に注意すべき場所は簡単に見つけられましたか？

6.4.2 Q3, Q4 に対する被験者の回答結果

Q3:「分かりやすいと感じた情報は何か?」, Q4:「分かりにくいと感じた情報は何か?」に対する被験者の回答結果をまとめた。Q3で、被験者が分かりやすいと感じた情報について、P1の既存手法では「バリアの多さ」「危険そうな箇所」などの回答がみられた。また、P2の提案手法では「バリアが密集している位置」「危険そうな範囲」などの回答がみられた。Q4で、被験者が分かりにくいと感じた情報について、P1の既存手法では「範囲の広い坂道などのバリア」「地図自体が見辛い」「バリアの種別」などの回答がみられた。また、P2の提案手法では「危険そうな範囲内でもっとも危険な箇所」「通行可能な場所」「色の強弱が指す意味」「バリアの種別」などの回答がみられた。

6.4.3 ルート構築にかかった時間とリストアップした危険箇所の数

各被験者がルート構築にかかった時間を図 6.5 に示す。P1の既存手法では平均が2分45秒、最短が1分33秒、最長が3分00秒であった。P2の提案手法では平均が2分23秒、

最短が1分16秒，最長が3分00秒であった。

各被験者がリストアップした危険箇所の数を図6.6に示す。P1の既存手法では平均が3個，最多が4個，最少が2個であった。P2の提案手法では平均が4個，最多が7個，最少が2個であった。

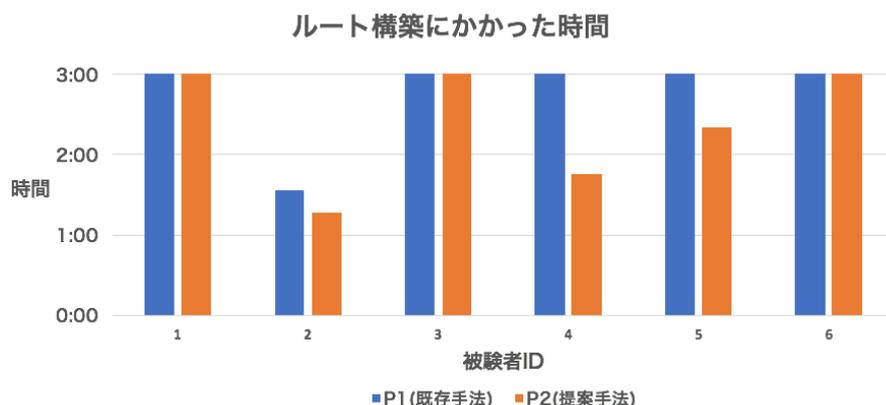


図 6.5: ルート構築にかかった時間

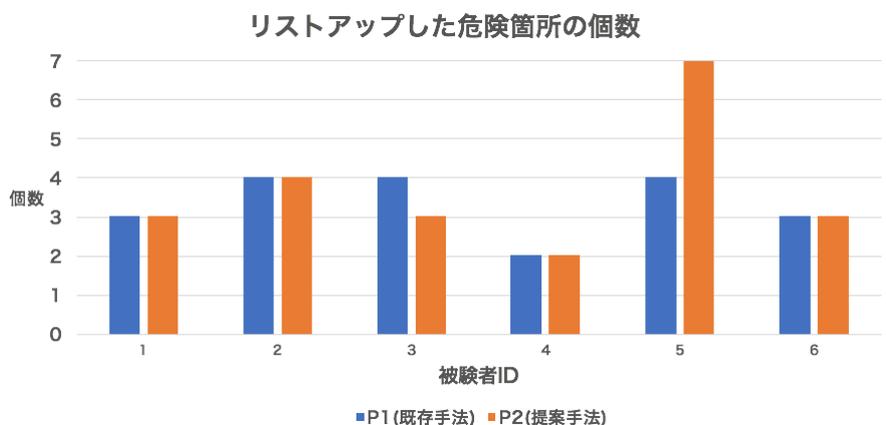


図 6.6: リストアップした危険箇所の数

6.5 考察

Q1, Q2の回答結果において，共に提案手法が既存手法を上回った。しかし，今回の実験においては被験者数の不足により検定を行っていないため，今後被験者数を増やした実験を行い，この結果を確かなものにする必要がある。既存手法に対するQ3, Q4の回答結果がこのようになった理由として，既存方式は詳細な情報の確認が容易である反面，広範囲の俯瞰が情報過多により難しいためだと考えられる。また，提案手法に対するQ3, Q4の回答結果がこのようになった理由として，提案方式は広範囲の情報の俯瞰が容易で

ある反面，詳細情報の確認が難しいためだと考えられる．ルート構築にかかった時間とリストアップした危険箇所の数については，既存手法と提案手法の間に大きな差はみられなかった．全ての実験結果から，大まかな移動経路の決定を行う際は提案手法を利用し，特に気になる場所の詳細を確認する際に既存方式を利用するのが好ましいと考えられる．以上より，提案方式のバリアフリーマップとしての一定の有効性が確認できた．

第7章 結論

本研究は、地図上にバリア情報を点としてプロットするバリアフリーマップが、確率的なバリア情報をユーザに提示するのに適していない上、バリア情報の密集度を直感的に提示できないという問題の解消を狙ったものである。この問題を踏まえ、本研究では、ヒートマップを利用して地図上に確率的なバリア情報を表現するバリアフリーマップを提案した。ヒートマップを用いて確率的なバリア情報を地図上にプロットすることで、推定結果が実際のバリア種別とは違っていた場合の影響と、計測した位置情報のズレの影響を軽減することができる。また、ユーザはヒートマップの色の強弱を俯瞰することで、点としてバリア情報を地図上にプロットした場合に情報過多になることを軽減しつつ、ユーザがバリアの密集度を直感的に把握することができる。実装したバリアフリーマップを用いた実験を行った結果、提案手法のバリアフリーマップとしての一定の有効性を確認することができた。

今後は、バリアフリーマップの機能追加によって、より有用なバリアフリーマップを作成していく予定である。具体的には、本バリアフリーマップをサーバー・クライアント型アプリケーションにすることで、ユーザが計測した加速度データからバリアをリアルタイムに推定し、マップ上にプロットする実装を行う予定である。また、本バリアフリーマップの推定プロセスで使われているデータセットの増強や、推定プログラムの調整によって、推定精度を上昇させる方法についても検討を行っていく。

参考文献

- [1] 歩行空間ネットワークデータ等整備仕様案 (2018).
- [2] Sozialhelden E.V. Wheelmap, available from <http://wheelmap.org>(last visited 2018/11/24).
- [3] T. Miura, K. Yabu, S. Ikematsu, A. Kano, M. Ueda, J. Suzuki, M. Sakajiri, and T. Ifukube. Barrier-free walk:a social sharing platform of barrier-free infomation for sensory/physically-impaired and aged people. Proc. SMC ' 12, pp. 2927–2932, 2012.
- [4] 山本千尋, 船越要, 小長井俊介, 小西宏志, 川野辺彰久. 歩行者移動支援のためのバリアフリー関連情報収集手法の提案. 信学技報, 第 116 巻, pp. 39–44, 2016.
- [5] 山本千尋, 船越要, 小長井俊介, 小西宏志, 川野辺彰久. バリアフリーマップをソーシャルにつくる技術の開発. NTT 技術ジャーナル 2016 年 5 月号, pp. 21–24, 2016.
- [6] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan. The pothole patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring. In *Proc. MobiSys'08*, pp. 29–39, 2008.
- [7] P. Mohan, V.N. Padmanabhan, and R. Ramjee. Nericell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones. Proc. SenSys ' 08, pp. 323–336, 2008.
- [8] 牧恒雄, 竹内康, 松田誠. 歩道の凹凸評価方法に関する研究. 第 1 回舗装工学講演会論文集, pp. 151–158, 1996.
- [9] 石田眞二, 亀山修一, 岳本秀人, 姫野賢治, 鹿島茂. 車椅子の走行負荷に基づいた歩道の路面凹凸評価方法. 土木学会論文集 E, 第 62 巻, pp. 295–305, 2006.
- [10] 岡村美好. 車いすの乗り心地に着目した歩行者系舗装の性能指標に関する一考察. 土木学会舗装工学論文集, 第 14 巻, pp. 189–194, 2009.
- [11] 岩澤有祐, 矢入郁子. 多次元時系列データ解析によるアクセシビリティ可視化システムの開発. JSAI ' 14, 2014.

- [12] 隅田康明, 松永勝也, 合志和晃, 志堂寺和則. 車いす利用者向け経路探索のための路面の傾斜及び段差測定システムの開発. 信学技報, 第114巻 of *WIT2014-64*, pp. 63–68, 2014.
- [13] N. Kuwahara, M. Nishiura, Y. Shiomi, K. Morimoto, Y. Iwawaki, and N. Nishida. A study on a ubiquitous system for collecting barrier-free information of evacuation centers for wheelchair users. *Proc. CASEMANS '10*, pp. 36–39, 2010.
- [14] 宮田章裕, 伊勢崎隆司, 中野将尚, 石原達也, 有賀玲子, 望月崇由, 渡部智樹, 水野理. 直近移動能力を考慮した車椅子操作推定モデル. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 10, pp. 2316–2326, 2016.
- [15] J. Parkka, L. Cluitmans, and M. Ermes. Personalization algorithm for real-time activity recognition using pda, wireless motion bands, and binary decision tree. In *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 14, 2010.
- [16] J.R. Kwapisz, G.M. Weiss, and S.A. Moore. Activity recognition using cell phone accelerometers. In *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, Vol. 12, pp. 74–82, 2010.
- [17] A. Brajdic and R. Harle. Walk detection and step counting on unconstrained smartphones. In *Proc. UBi-Comp'13*, pp. 225–234, 2013.
- [18] 佐藤匠, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫. スマートフォンと靴センサを活用した災害時通行路の状況推定. マルチメディア、分散協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, pp. 258–265, 2014.
- [19] 藤井海斗, 羽田野真由美, 西田京介, 戸田浩之, 澤田宏, 鹿島久嗣. 歩行者クラウドセンシングによる路面状態の推定. In *DEIM'16*, 2016.
- [20] 宮田章裕, 荒木伊織, 王統順, 鈴木天詩. 【受賞:特選論文】健常歩行者センサデータを用いたバリア検出の基礎検討. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 22–32, 2018.
- [21] 宮田章裕, 王統順, 荒木伊織, 篠崎涼太. 健常歩行者センサデータからのバリア検出のための屋内外別機械学習方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 9, pp. 1774–1782, 2018.
- [22] Akihiro Miyata, Iori Araki, and Tongshun Wang. Barrier detection using sensor data from unimpaired pedestrians. In *Proc. HCII'18*, pp. 308–319, 2018.
- [23] 都道府県・指定都市バリアフリーマップ等ホームページ一覧 - 内閣府, available from <http://www8.cao.go.jp/souki/barrier-free/link/bfmapken.html>(last visited 2018/11/24).

- [24] 港区バリアフリーマップ, available from <http://www.city.minato.tokyo.jp/hofuku-kanri/kenko/fukushi/shogaisha/hibakusha/bf-townmap.html>(last visited 2018/11/24).
- [25] 森本萌心, 松崎良美, 吉村麻奈美, 滝澤友里, 松岡淳子, 村山優子. Openstreetmap を用いた最短経路案内付きアクセシビリティマップの開発. 第 80 回全国大会講演論文集, 第 1 巻, pp. 519–520, 2018.
- [26] 井上道哉, 古山宗亮, 金房雄一, 長澤可也. iphone を利用したバリア情報記録・公開システムの構築と運用. 第 74 回全国大会講演論文集, pp. 93–94, 3 2012.
- [27] 東京大学バリアフリー支援室, available from <http://ds.adm.u-tokyo.ac.jp/contact/campusmap.html>(last visited 2018/11/24).
- [28] 日本道路交通情報センター, available from <http://www.jartic.or.jp/>(last visited 2018/11/24).
- [29] いつも navi ラボ:混雑度マップ, available from <https://lab.its-mo.com/densitymap/>(last visited 2018/11/24).
- [30] New map shows america’s quietest places — science — aaas, available from <http://www.sciencemag.org/news/2015/02/new-map-shows-americas-quietest-places>(last visited 2018/11/24).

研究業績

査読付き論文誌

- (1) 宮田章裕, 王統順, 荒木伊織, 篠崎涼太: 健常歩行者センサデータからのバリア検出のための屋内外別機械学習方式, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.9 (2018年9月).
-

研究会・シンポジウム

- (1) 富永詩音, 呉健朗, 篠崎涼太, 多賀諒平, 宮田章裕: ジェスチャを真似て電子情報を楽しく受け取る手法の実装と評価, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018), Vol.2018, pp.1341–1348 (2018年7月).
 - (2) 篠崎涼太, 呉健朗, 樋口恭佑, 宇野広伸, 宮田章裕: 健常者歩行時加速度データからのバリア検出における最適サンプル長の基礎検討, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018), Vol.2018, pp.432–436 (2018年7月).
 - (3) 宇野広伸, 呉健朗, 樋口恭佑, 篠崎涼太, 宮田章裕: 電動車椅子を用いたバリアシミュレーションシステムの基礎検討, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018), Vol.2018, pp.421–426 (2018年7月).
 - (4) 富永詩音, 呉健朗, 篠崎涼太, 多賀諒平, 宮田章裕: Transmimic: ジェスチャを真似て情報を受け取る手法の基礎検討, 情報処理学会インタラクシオン2018予稿集, pp.978–981 (2018年3月).
-

受賞

- (1) 呉健朗, 宇野広伸, 富永詩音, 長岡大二, 小林舞子, 大和佑輝, 篠崎涼太, 多賀諒平: ちぎることで電子情報を手渡すインタラクシオン方式の実用性検証, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム ナイトテクニカルセッション賞 (2018年7月)
-