

特定の移動経路を対象とした 行動イベント系列に基づく位置推定手法

渡辺 穂高¹ 渡邊 翔太¹ 梶 克彦¹ 河口 信夫¹

概要：

本研究では、特定の移動経路を対象とした行動イベント系列に基づく位置推定手法を提案する。本稿では行動イベント系列とは、右折・左折といったイベント行動によるノード情報と、歩行・階段昇降・エレベータといったイベントノード間の移動行動によるリンク情報からなる、ノード・リンク情報をさす。提案手法では、特定の移動経路において、経路移動中のユーザの行動イベント系列を抽出し、同じ経路を移動したユーザの行動イベント系列と比較することにより、ユーザの位置推定を行う。経路移動において、特に屋内では、ユーザがイベント行動を行う場所は限られているため、イベントノード地点での誤差修正が可能である。また、携帯端末から得られる加速度・角速度などの行動センシング情報のみを用いるため、使用場所の限定や設置コストが必要ない。本手法の研究・評価を行うにあたり、我々は特定の移動経路を対象とする行動センシング情報収集フレームワークを構築した。同一経路における 32 名のユーザの経路移動情報を収集し、このデータを用いて位置推定精度の評価実験を行った。

Location Estimation Based on Activity Event Sequence on Specific Routes

HODAKA WATANABE¹ SHOTA WATANABE¹ KATSUHIKO KAJI¹ NOBUO KAWAGUCHI¹

1. はじめに

GPS や地磁気センサなど多様なセンサを搭載した携帯端末の普及により、ナビゲーションシステムなどの歩行者向け位置情報サービスが広まりつつある。特定の経路を移動中のユーザの位置は、経路の案内や向かう先に関する情報の提供において重要な情報となる。

本研究では、特定の移動経路を対象とした行動イベント系列に基づく位置推定手法を提案する。本稿では行動イベント系列とは、右折・左折といったイベント行動によるノード情報と、歩行・階段昇降・エレベータといったイベントノード間の移動行動によるリンク情報からなる、ノード・リンク情報をさす。本手法では、特定の移動経路において、経路移動中のユーザの行動イベント系列を抽出し、同じ経路を移動したユーザの行動イベント系列と比較することにより、ユーザの位置推定を行う。経路移動におい

て、特に屋内では、ユーザがイベント行動を行う場所は限られているため、イベントノード地点での誤差修正が可能である。また、携帯端末から得られる加速度・角速度などの行動センシング情報のみを用いるため、屋内でも利用可能である。本手法の研究・評価を行うにあたり、我々は特定の移動経路を対象とする行動センシング情報収集フレームワークを構築し、同一経路における多数のユーザの移動情報を収集した。多様なユーザの実環境における行動データを用いるため、実用性の高い評価結果が得られると考えられる。

以下に、本稿の構成を述べる。まず 2 章では関連研究について述べる。3 章では、我々が構築した行動センシング情報コーパスのデータ収集方法と、収集したデータの概要について述べる。4 章では行動イベント系列の抽出方法とそれに基づいた位置推定手法について述べる。5 章で提案手法の推定精度の評価を行い、6 章でまとめと今後の課題を述べる。

¹ 名古屋大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

2. 関連研究

ユーザの位置推定を行う方法として、GPS や無線 LAN 基地局情報を用いた絶対位置推定のほか、デッドレコニングなど加速度センサや角速度センサ、地磁気センサ等の装着型センサから得られるユーザの行動情報を基にした手法が研究されている [1]. デッドレコニングなどの相対測位を用いた手法では、センサ誤差の累積により位置推定誤差が大きくなるため、これを修正する手段が必要になる. 誤差を補正する手法としては、GPS や RF タグを用いたものがある [2]. しかし、これらは屋内での使用が困難であったり、設置コストが必要となる.

また、行動認識結果のシーケンスを用いたマッチングにより移動経路を推定する研究がなされている [3]. これはユーザ行動種類の時系列データにより移動した経路の推定を行なっている、経路内における位置の推定はおこなっていない.

3. 行動センシング情報コーパスの構築

信号処理分野においては、大規模なデータに基づく学習やモデル構築がシステムの性能向上のために重要であることは広く知られている. 行動情報を用いた位置・経路推定の研究においても大規模なデータを用いた認識や評価を行うために、特定の経路に対する様々なユーザの移動行動情報を収集する必要があると考える. 経路移動に関する行動データの収集では、収集したデータに対するラベルの付与や被験者の誘導、経路情報のタグ付けが必要であり、大規模な収集は容易ではない. 我々は、経路移動に関する行動センシング情報の収集を誰もが簡単に行えるよう、音声ナビゲーションを用いた行動センシング情報収集フレームワークを構築した [4]. また、このフレームワークを用いたクライアントをスマートフォンアプリケーションとして実装し、DICOMO2012 デモセッションにおける実演により多数のユーザの経路移動情報の収集を行った. 本章では、収集に用いたクライアントの概要と収集したデータの構成について述べる.

クライアントは、Android 上で動作するアプリケーションとして実装した. ユーザは図 1 に示すように端末を腰に装着し、イヤホンと外部ボタンを利用する. クライアントは加速度・角速度・地磁気センサから得られる情報を収集して、HASC Challenge の規定に準拠した形式で記録する [5], [6]. 本クライアントでは、事前に設定した経路に従い、図 2 に示すようなランドマークに基づいた音声案内によりユーザの誘導を行い、目標物に到達するごとに外部ボタンを押すことにより、次の案内音声流れるようになっている [7]. ボタン押下のタイミングを他のセンシング情報と同様に記録し、ユーザの正解位置の基準とする.

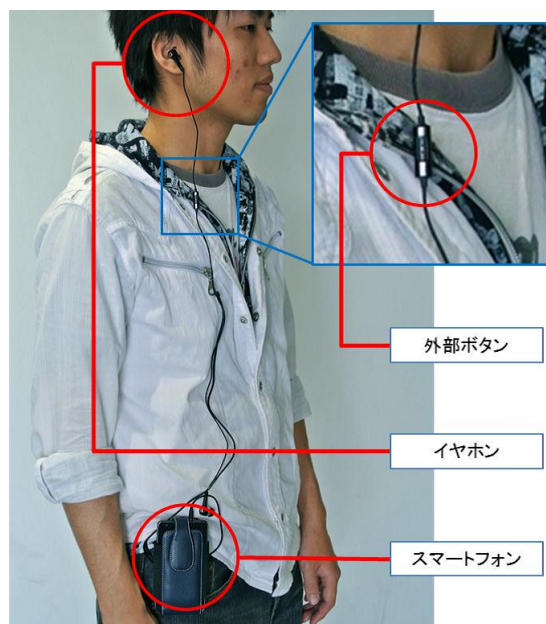


図 1 センシング時の装着図



図 2 ナビゲーションの経路選択画面 (左) 及び生成された案内文 (右)

収集したデータの一例を図 3 に示す. DICOMO2012 会場ホテル内のデモセッション会場から別のセッション会場までの往路を移動したユーザのセンシング情報となっている. ボタン押下タイミングを基準として用いて、ユーザの移動区間にラベリングを行い、センシング情報と共に可視化している. デモセッションでは、45 名のユーザにデータ収集に参加して頂いた. そのうち、道を間違えずに目的会場まで到達したユーザのデータは 32 名分であった.

4. 行動イベント系列に基づいた位置推定手法

4.1 行動イベント系列の抽出

本研究では、ユーザの経路移動に関する情報として、行動イベント系列の抽出を行う. 行動イベント系列は、右折・左折といったイベント行動によるノード情報と、歩行・階

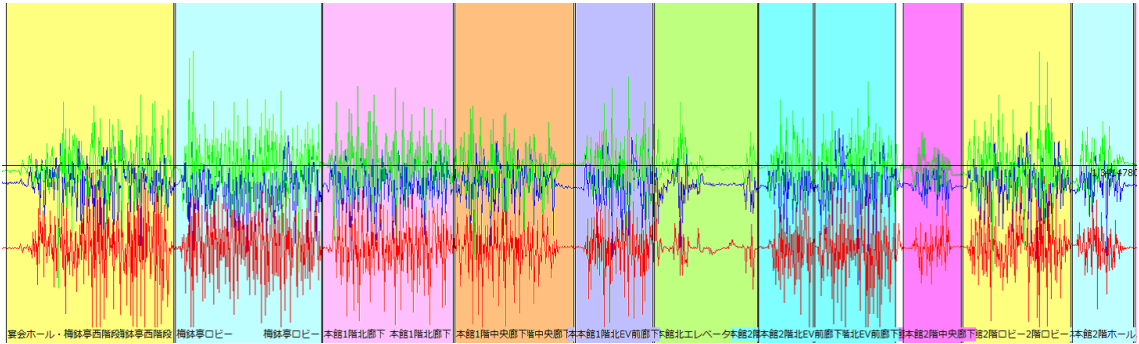


図 3 3 軸加速度情報と生成された移動区間ラベル

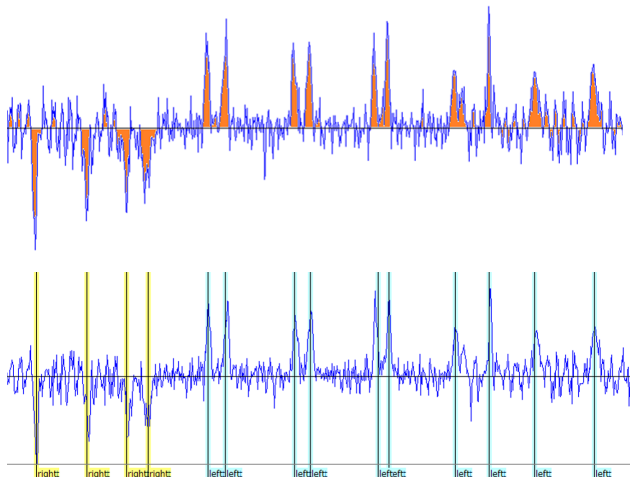


図 4 右左折イベントの検出. (上) 角速度のゼロ交叉点ごとの積分 (下) 検出した右左折イベントノード

段昇降・エレベータといったイベントノード間の移動行動によるリンク情報からなる、ノード・リンク情報であり、屋内などにおけるユーザの経路移動に関する情報は、概ねこの行動イベント系列で表現できると考える。また、特定の経路におけるユーザの行動イベント系列の比較により、経路内におけるユーザの位置推定ができると考える。以下に、行動センシング情報から行動イベント系列を抽出する手法について述べる。

4.1.1 右左折イベントノードの検出

本稿では右左折地点をイベントノードと定める。右左折は以下のように推定する。まず、3 軸角速度の y 軸方向成分をゼロ交叉点ごとに区切り、区間ごとに積分する (図 4 上)。積分値が 70 度以上の場合を右折、-70 度以下の場合を左折と判定し、積分区間の中心を右左折ノードとする。積分値が 150 度以上、-150 度以下の場合は 2 回分の右左折と判定し、積分区間の前から 1/4、3/4 の 2 箇所をイベントノードとする (図 4 下)。

4.1.2 移動リンクの行動識別

移動リンクの行動識別は以下のように行う。まず、加速度センサを用いたエレベータ区間検出と移動距離推定を行う [8]。3 軸加速度信号のノルムを用い、1 秒以上の連続的な加速と減速の区間をエレベータ区間として検出する。次

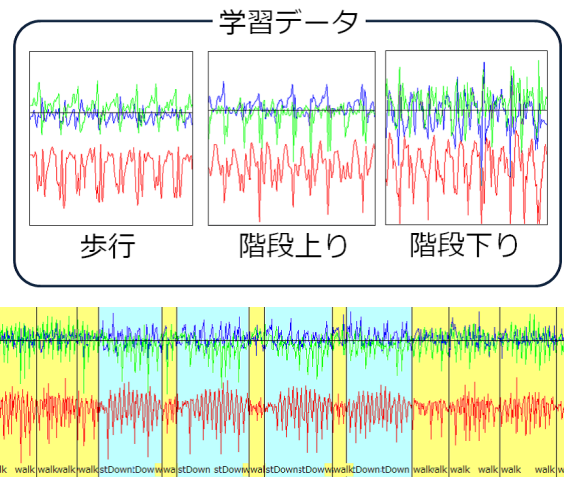


図 5 行動識別

に、エレベータ以外の移動行動の推定を行う。静止、歩行、階段上り、階段下りの 4 種類の基本行動データの 3 軸加速度情報を利用し、特徴量を用いた機械学習により一定時間ごとに行動の種類を推定する。一つの移動リンク内では単一の行動をしているものとみなし、リンク内の各行動の合計時間を算出し、最も時間の長いものをその移動リンクの行動と推定する (図 5)。

4.1.3 移動距離の推定

移動距離の推定は、以下の 2 つの方法で行う。エレベータによる移動の場合、3 軸加速度信号のノルムから静止状態における重力加速度成分を除去した後、エレベータ区間の加速度を 2 回積分し、移動距離を算出する。歩行移動の場合は、一般的に使われる身長から算出される歩幅に、歩数を掛けたものを用いる。歩数の推定には係数 0.1 の IIR フィルタを適用した 3 軸加速度のノルムを用い、加速度の大きさが 0.9G 以下になった時点から 1 秒以内に 1.1G 以上になったら一歩とカウントし、移動リンクの歩数を求める。歩幅は被験者の身長*0.37 とし、歩幅*歩数で移動距離を算出する。

4.2 特定経路内の位置推定手法

経路内のある区間を移動する際に抽出できる行動イベン

ト系列は、ユーザによらずその区間の経路形状の特徴によるものになると考えられる。同一経路を移動したユーザの行動イベント系列が存在すれば、区間ごとの行動イベント系列とのマッチングにより、類似度を用いたユーザの位置の推定が可能である。

本稿では、抽出した行動イベント系列情報のうち、イベントノード情報と、移動リンクの歩数情報を用いてマッチングを行う。ユーザの直近の行動イベント系列と移動経路の区間ごとに分割された行動イベント系列について、ノードを基準とした DP マッチングによりコストを計算する。コストの計算には、

- ノードのイベント不一致コスト
- リストの歩数不一致コスト
- ノード数の不一致コスト

を用いる。

不一致コストから一致度を用いて類似度を求め、最も類似度の高い区間をユーザの現在位置として推定する。

5. 評価実験

行動イベント系列の利用による位置推定精度の評価を目的とし、行動センシング情報コーパスを用いた評価実験を行った。以下に、実験環境と評価結果について述べる。

5.1 実験環境

評価用データとして、2章で述べた収集データのうち、道を間違えずに目的会場まで到達した32名分の経路移動データを用いた。

評価実験は以下のように行う。往復経路のうち、目的会場までの往路について先に述べたボタンを押した地点ごとにデータを分割し、それぞれのボタンノードまでの行動イベント系列を抽出する。32名分のデータを8名ずつの4グループに分割し、3つのグループを学習用データ、残り1つのグループをテストデータとし、すべての学習用データとの間でマッチングを行い、不一致コストを計算する。

マッチングを行う際のコストについては、ノードの右左折不一致コストを10、歩数不一致コストを歩数の差分、一致しない余分なノードについては5の不一致コストを与えた。また、経路中にエレベータが1箇所のみのため、エレベータリンクが一致した場合は不一致コストを0とした。以上の条件でマッチングを行い、各区間を都の間の不一致コストを計算した。行動イベント系列の利用による推定精度の、以下の方法で評価実験を行った。

- 方法1 歩数のみを利用する
歩数を比較し、その差をコストとする。
- 方法2 歩数とエレベータ情報を利用する
方法1に加え、エレベータが検出された場合はそれまでのコストを0にする。
- 方法3 歩数と右左折の回数を利用する

方法1に加え、右折・左折の回数の差をコストとして用いる。

- 方法4 歩数と右左折の系列を利用する

方法1に加え、右左折系列のマッチングをコストとして用いる。

それぞれの方法について、被験者がボタンを押した地点でマッチングを行う。最もコストの低い地点を現在位置とみなし、地点が一致した場合正解とする。

5.2 実験結果

表1 方法1の評価結果

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}
N_1	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_2	0	0.86	0	0.14	0	0	0	0	0	0
N_3	0	0.43	0.43	0	0	0.14	0	0	0	0
N_4	0	0	0	0.20	0.60	0	0.20	0	0	0
N_5	0	0	0	0.17	0.17	0.33	0.33	0	0	0
N_6	0	0	0	0	0.29	0.29	0.42	0	0	0
N_7	0	0	0	0	0.14	0.29	0.29	0.14	0.14	0
N_8	0	0	0	0	0	0	0	0.86	0.14	0
N_9	0	0	0.14	0	0	0	0	0	0.57	0.29
N_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.86

表2 方法2(歩数+エレベータ)の評価結果

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}
N_1	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_2	0	0.86	0	0.14	0	0	0	0	0	0
N_3	0	0.43	0.43	0.14	0	0	0	0	0	0
N_4	0	0	0	0.57	0.43	0	0	0	0	0
N_5	0	0	0.14	0.14	0.71	0	0	0	0	0
N_6	0	0	0	0	0	1.00	0	0	0	0
N_7	0	0	0	0	0	0	0.86	0.14	0	0
N_8	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0.29	0
N_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.86	0.14
N_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.86

表3 方法3(歩数+右左折回数)の評価結果

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}
N_1	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_2	0.14	0.71	0.14	0	0	0	0	0	0	0
N_3	0	0	1.00	0	0	0	0	0	0	0
N_4	0	0	0	0.57	0.29	0.14	0	0	0	0
N_5	0	0	0	0	0.71	0.14	0.14	0	0	0
N_6	0	0.14	0	0	0.29	0.29	0.29	0	0	0
N_7	0	0	0	0	0	0.29	0.43	0.29	0	0
N_8	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0.29	0
N_9	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0.43	0.43
N_{10}	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0.14	0.71

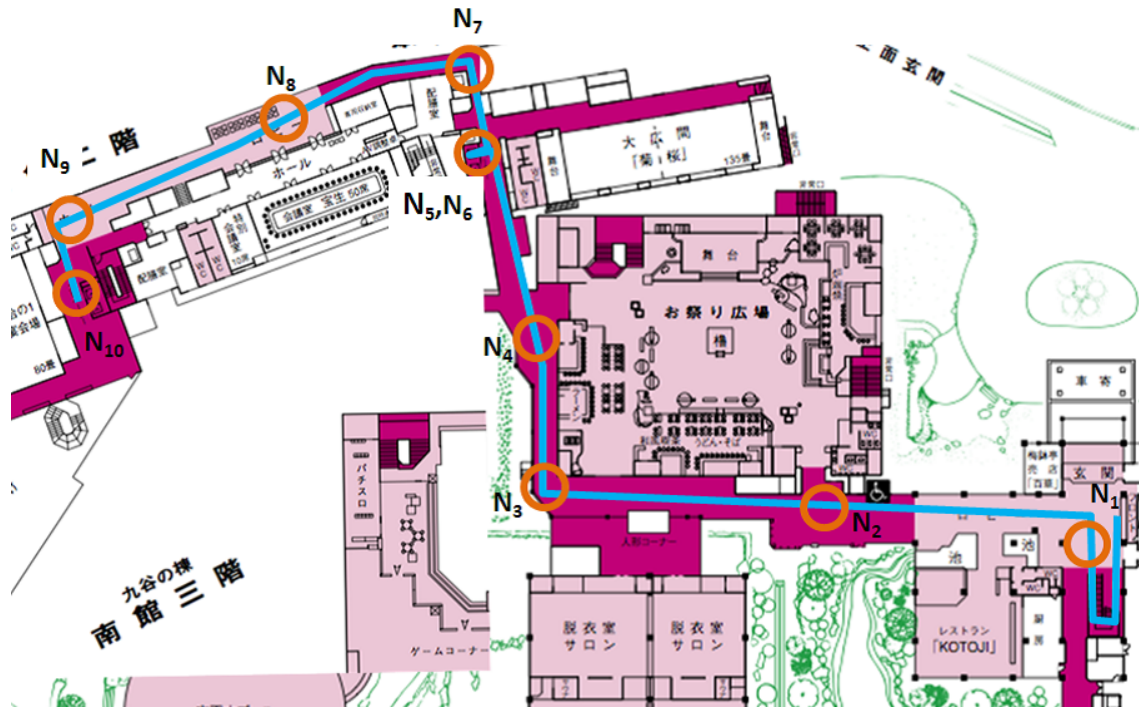


図 6 移動経路 (青線) とボタンノード (橙枠)

表 4 方法 4(歩数+右左折系列) の評価結果

	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}
N_1	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_2	0	0.86	0.14	0	0	0	0	0	0	0
N_3	0	0.14	0.71	0.14	0	0	0	0	0	0
N_4	0	0	0	0.86	0.14	0	0	0	0	0
N_5	0	0.14	0	0	0.71	0	0.14	0	0	0
N_6	0	0	0	0	0	0.86	0.14	0	0	0
N_7	0	0	0	0	0	0.14	0.57	0.29	0	0
N_8	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0.14	0.14
N_9	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.43	0.43
N_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.86

表 5 各方法の全体推定精度

	完全一致	隣接一致
方法 1	0.55	0.88
方法 2	0.79	0.97
方法 3	0.66	0.93
方法 4	0.76	0.96

実験結果を表 1～表 4 に示す。また、完全一致、および隣接地点を含めた一致に関し、各手法毎の全体の推定精度を表 5 に示す。結果として、歩数とエレベータ情報を利用した推定が最も高い推定率であった。これは、エレベータが経路の中央に 1 か所のみ存在したことにより、推定誤りを中央部分で修正することになったことが理由であろう。一方、歩数のみ、右左折の回数のみと比較して、右左折等のイベント系列を利用した場合は、高い推定精度が得られた。これは、イベント系列の有効性を示しているといえる。コスト計算については、まだ最適化の余地が大きくある。適切なコストの付与により、高い推定精度の獲得が期待できる。

6. まとめと課題

本稿では、特定の経路を対象とした多数のユーザの行動センシング情報を収集し、行動イベント系列の抽出とその比較によりユーザの位置推定を行う手法を提案した。本手法は携帯端末から得られる行動センシング情報のみを用い、評価実験の結果、イベント行動系列の利用による推定精度の大きな向上はみられず、現時点では実環境での利用は難しい。しかし、実験結果から位置を限定するイベント行動による精度の向上が示されており、イベントノードを用いた推定誤差の補正が可能であると考えられる。誤差の補正を行うためには、限りなく高い精度で、より多くのイベントノードを検出する必要があり、右左折ノードをより高精度に推定する手法や、ドアの開閉などより多種のイベントを推定する手法の検討が必要である。

参考文献

- [1] 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, 横山浩之. 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 558-570, 2011.
 - [2] 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志. 屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/gps/rfid を統合した組み込み型パーソナルポジショニングシステム. 信学技報, Vol. 106, No. 234, p. 109?114, 2006.
 - [3] 小川延宏, 岩崎陽平, 梶克彦, 河口信夫. 装着型センサを活用した行動情報によるユーザ移動経路推定. 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012.
 - [4] 渡辺穂高, 渡邊翔太, 梶克彦, 河口信夫. 特定の移動経路を対象とする行動センシング情報収集フレームワーク. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2012), 2012.
 - [5] HASC - Human Activity Sensing Consortium. <http://hasc.jp/>.
 - [6] Nobuo Kawaguchi, Hodaka Watanabe, Tianhui Yang, Nobuhiro Ogawa, Yohei Iwasaki, Katsuhiko Kaji, Tsutomu Terada, Kazuya Murao, Hisakazu Hada, Sozo Inoue, Yasuyuki Sumi, Yoshihiro Kawahara, Nobuhiko Nishio. Hasc2012corpus: Large scale human activity corpus and its application. *Proceedings of the Second International Workshop of Mobile Sensing: From Smartphones and Wearables to Big Data*, 2012.
 - [7] 渡邊翔太, 梶克彦, 河口信夫. ランドマークの視認性に基づく歩行者向け音声ナビゲーションの提案. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2012), 2012.
 - [8] 楊天輝, 梶克彦, 河口信夫. 加速度センサを用いたエレベータ区間検出と移動距離推定. 情報処理学会第 74 回全国大会, 2012.
- 進みます. 2 階に到着したらボタンを押して下さい.
- (7) エレベータを降りたら, 左手に見える突き当りの角まで進んで下さい. その後突き当りを左に曲がります. 突き当りに到着したらボタンを押して下さい
 - (8) 突き当りを左に曲がったら道なりに進んでください. しばらく進むと左手にホールの扉が見えます. ホールの扉付近に到着したらボタンを押して下さい
 - (9) そのまま道なりに進んでください. しばらく進むと, 突き当りに置物が見えます. 置物付近に到着したらボタンを押して下さい.
 - (10) 突き当たりにある置物の前を左に曲がって下さい. その後, すぐに右手に見えるのが目的地の黒百合 1 です. 黒百合 1 に到着したら, ボタンを押して下さい.

付 録

A.1 案内文

- (1) 案内を開始します. 会場を出たら右手に見える階段を 1 階降りて下さい. その後, 階段を降りるとすぐに進行方向に見える花瓶の方に進みます. 階段を降りたらボタンを押して下さい.
- (2) 花瓶の前を左に曲がってください. その後, 右手にソファと机のある通路を進んで下さい. しばらく進むと, 右手にお祭り広場が見えます. お祭り広場付近に到着したらボタンを押して下さい.
- (3) そのまま道なりに進んでください. 少し進むと, 左手に人形の展示が見えます. その後, 人形の展示を通過するとすぐに見える突き当りの角を右に曲がります. 突き当りに到着したらボタンを押して下さい.
- (4) 突き当りを右に曲がったら道なりに進んでください. 少し進むと左上にミナミ館客室, 本館客室と書いた看板が見えます. その後, 看板を通過しまっすぐ進みます. 案内板付近に到着したらボタンを押して下さい.
- (5) 案内板を通過しまっすぐ進んで下さい. 少し進むと左手にエレベータが見えます. その後, エレベータで 2 階へ上がります. エレベータに到着したらボタンを押して下さい.
- (6) エレベータで 2 階へ上がってください. その後, 左へ