

# オクルージョン問題を考慮した先方歩行者動作からの危険エリア推定 Estimating Dangerous Areas from Precedent Pedestrian Considering Occlusion Problem.

北村 浩貴<sup>†</sup>  
Hiroki Kitamura

植村 喜弘<sup>‡</sup>  
Yoshihiro Uemura

梶原 祐輔<sup>†</sup>  
Yusuke Kajiwara

島川 博光<sup>†</sup>  
Hiromitsu Shimakawa

## 1. はじめに

人間は周囲の情報の 8 割以上を視覚から得ている。視覚障害者は視覚を欠損又は消失しているため、得られる情報が限られる。そのため、視覚障害者が安全に外出するには、歩行支援が必要である。多くの視覚障害者は点字ブロックと白杖を利用している。点字ブロックは、目的地までの道標として用いられる。白杖は点字ブロックや路上の障害物を検知するために用いられる。点字ブロックは歩道の一部にしか敷設されていない。駅構内やショッピングモールでは、視覚障害者は晴眼者のように自由に歩行できない。また、視覚障害者は、健常者に比べて怪我の恐れが高い [1]。歩行支援に加え、視覚障害者の安全にも考慮する必要がある。視覚障害者は視覚情報が限られるため、路上の障害物や転倒しやすい場所を判断できない。障害物としては、路上の物体や柱、周囲の歩行者が考えられる。転倒しやすい場所としては、足場の悪い場所や段差、濡れた床面が考えられる。これらを推定する手段として、センサや画像処理を用いた手法が考えられる。しかし、歩行者の多い駅構内やショッピングモールでは、周囲の歩行者がこれらを遮蔽する問題、いわゆる、オクルージョン問題が生じる。現在、周囲の歩行者を考慮したこれらの推定はされていない。

本論文では、前方の歩行者の歩行動作に着目し、これらの位置を推定する。晴眼の歩行者は路上の状況に応じて歩行するため、その歩行動作には路上の状況が現れる。例えば、障害物のある場所では、歩行者は障害物を迂回する。足場の悪い場所では、ゆっくり歩いたりバランスを崩したりする。これらの変化に着目することで、障害物の位置や転倒しやすい場所を推定できる。本論文では、前方の歩行者の歩行動作から危険な場所を推定し、視覚障害者が安全な経路を選択できる手法を提案する。

## 2. 関連研究

視覚障害者の歩行支援として盲導犬、ガイドヘルパー、白杖が存在する。障害物検知として、Kinect や超音波センサ、単眼カメラを用いた手法があげられる。Hoang らは、Kinect を用いて検知する手法を提案した [2]。Menikdiwela らは、超音波センサを用いて取得した画像から障害物を検知し、視覚障害者に警告を伝える手法を提案した [3]。小谷らは、画像処理を用いて前方の障害物を検知し、視覚障害者の歩行ガイドロボットを提案した [4]。しかし、Kinect は電源と処理能力の高い計算機が必要なため、実環境への適応が難しい。また、行き交いの多い屋内では周囲に多数の歩行者が存在する。したがって、超音波センサは常に動的障害物を検知し続けるため、視覚

障害物を誘導できない。また、周囲の歩行者で障害物が隠れるため、画像処理で検知できない障害物が存在する。

## 3. 先方歩行者動作からの危険エリアの推定

2 章より、行きかいの多い屋内での視覚障害者の誘導が実用に耐えうる精度で実現されていない。それゆえ、本研究では、行きかいの多い屋内での視覚障害者が危険な場所を通らないよう誘導する手法を提案する。

### 3.1 対象とする問題

本研究では視覚障害者の誘導という、限られたユーザを対象とした、しかし、重要な問題を扱う。この問題の解決を論じることを容易にするために、本節では、提案手法が想定する環境と、提案手法の運用形態を明記する。

本手法の想定環境は駅構内やショッピングモールである。これらの想定環境下で、視覚障害者にとって想定される問題点を以下に示す。構造が複雑で、安全な歩行を妨げる物体が多い。階段などの段差で足を踏み外す可能性がある。建物の老朽化によるひび割れなどで、転倒する危険がある滑らかな床面が多く、濡れていると転倒する。周囲の歩行者との衝突の危険性が高い。

以上より、障害物の位置や路上の状態を把握する必要がある。本システムを利用する視覚障害者をユーザ、ユーザの前方の歩行者を前方歩行者と定義する。また、障害物のおかれた床面、及び階段、足場の悪い場所を危険エリアとする。想定環境において、本システムを用いた目的地までの誘導の流れを以下に示す。(1) ユーザが目的地を入力。(2) ユーザの現在位置と想定環境の地図から、ユーザの目的地に応じた経路を算出。(3) 算出された経路にユーザを音声誘導。(4) 本システムを用いて誘導中に前方歩行者の歩行動作から危険エリアを算出。(5) 危険エリア以外を歩行するようにユーザを誘導。これにより、ユーザは安全に目的地まで到達することができる。

図 1 に、危険エリア推定手法図を示す。以下の手順で危険エリアを推定する。(1)RFID と Android 端末を用いてユーザの位置や向きを把握する。(2) ユーザが装着した Android 端末で前方の動画を撮影し、前方歩行者を検知する。(3) 前方歩行者の位置、歩行動作を画像処理で取得する。(4) 前方歩行者の頭と腰の回転角から、歩行動作を識別する。(5) 前方歩行者の位置と識別した歩行動作から、危険エリアを推定する。

### 3.2 視覚障害者の状態把握

ユーザの状況として、誘導に必要な位置と向きを考える。ユーザの位置は、正確な位置情報が取得可能な RFID を用いる [5]。RFID とはリーダと固有 ID を持つタグによる近距離無線通信技術である。本手法では、植村らの敷設方法を参考にし、縦横 5cm 毎に 4.5m 四方のタグを敷き詰めたタグシートを床面に敷設する [5]。ユーザは

<sup>†</sup>立命館大学情報理工学部

<sup>‡</sup>立命館大学大学院情報理工学研究科

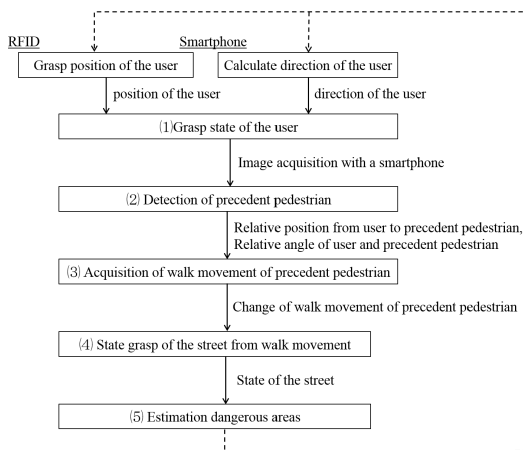


図 1: 危険エリア推定手法図

リーダの先端がつま先の位置と一致するようにリーダを装着し、検知した固有 ID からユーザの現在位置を取得する。また、ユーザの向きは Android 端末をユーザの胸部に装着し、取得する。

Android 端末はユーザの進行方向を  $z$  軸の負方向、それを半時計回りに床面上で 90 度回転させた方向が  $x$  軸の正方向、床から天井の方向を  $y$  軸の正方向とする姿勢でユーザの胸部に装着される。Android 端末のカメラの位置を原点  $O(0, 0, 0)$  とする。ユーザの向きは Android 端末の  $x, y, z$  軸の回転角と一致する。Android 端末の向きは、端末の加速度センサ値と地磁気センサ値から算出される。ある  $t$  秒での東を 0 度とした  $x$  軸方向の向きを  $\alpha_t$ 、地面に対して垂直な  $y$  軸方向の向きを  $\beta_t$ 、南を 0 度とした  $z$  軸方向の向きを  $\gamma_t$  とする。

### 3.3 前方歩行者の絶対位置

前節で示したユーザの向きを利用して前方歩行者の位置を算出する。ユーザが装着した Android 端末のカメラから前方歩行者の位置を算出する。カメラは、ユーザの前方の画像を 100ms 毎に取得する。取得された画像に画像処理を施し、前方歩行者の相対位置  $P_{it}(x_{it}, y_{it}, z_{it})$  ( $i$ : 検知した前方歩行者の識別番号) を算出する。RFID システムから取得した、 $t$  秒のユーザの位置を  $P_{ut}(x_t, 0, z_t)$  とする。また、Android 端末から取得した  $t$  秒のユーザの向きを  $D_{ut}(\alpha_t, \beta_t, \gamma_t)$  とする (3.3 節)。ユーザを基準とし、検知した前方歩行者の相対位置を  $P_{it}(x_{it}, y_{it}, z_{it})$  とする。前方歩行者の相対位置は、ユーザの向きに応じて軸が回転する。そこで、ユーザの向きに応じた回転  $R_x, R_y, R_z$  を施し、軸を一意に決定する。

## 4. 実験

### 4.1 目的と実験環境

算出された回転角  $D_{it}$  から危険エリアが判別可能を検証するために実験した。図 2 に実験環境を示す。前方歩行者の歩行経路上に以下の危険エリア V から Z を設置した。図中 V に段ボール箱を 2 個、台車の上に設置した (以下、危険エリア V とする)。図中 X の高さ 164.5cm の位置に段ボール箱を設置した (以下、危険エリア X と

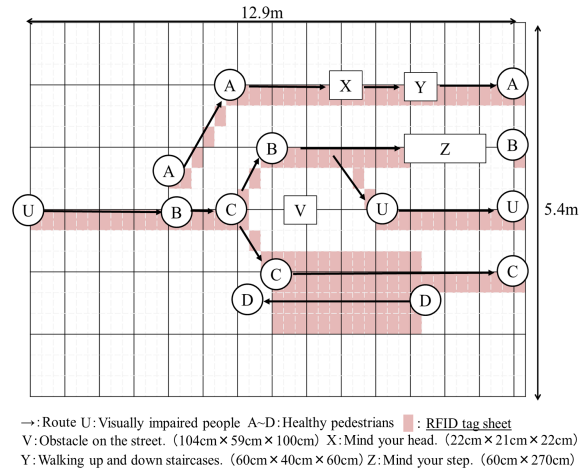


図 2: 実験環境図

する)。図中 Y に 2 段の段差を反対向きに 2 個設置した (以下、危険エリア Y とする)。図中 Z に袋に入れた砂利を設置した (以下、危険エリア Z とする)。

前方歩行者 A は危険エリア X, Y を通過する。前方歩行者 B は危険エリア V を左に回避し、危険エリア Z を通過する。前方歩行者 C は危険エリア V を右に回避し、前方歩行者 D と衝突しないよう歩行する。視覚障害者 U は危険エリア V を左に回避し、危険エリア Z を右に回避するよう歩行する。被験者は USB ケーブルで計算機に接続したリーダを右足のつま先に装着し、被験者の歩行経路を取得するため、縦 12.9m 横 5.4m の実験環境内に敷設した RFID を敷き詰めたタグシート上を歩行した。事前実験より、設置したタグシートを踏んでいるかを被験者が確認する動作が見られた。この動作により  $D_{it}$  が変化するため、正しい  $D_{it}$  が算出されない。したがって、各タグシート周囲にタグシートと外見の同じダミーシートを設置した。本実験では、アートファイネックス社製の USB 型 RFID リーダ、ASI4000USB を使用した。周波数 13.56MHz の HF 帯で、通信距離は 3.0cm から 5.0cm である。被験者は 20 代の男性晴眼者 5 名である。被験者には通常歩行速度である 1.2m/s で歩行するよう指示した [5]。今回は、視覚障害者 U がタグシート上を歩行できるように、目隠しをせずに実験した。前方歩行者を検知するため、視覚障害者 U の胸部に装着した Android 端末で 100ms ごとに画像を取得した。各被験者は、視覚障害者 U 及び前方歩行者 A から D として、各経路を 6 回ずつ歩行した。ARtoolkit [6] (以下 AR) を用いて前方歩行者の歩行動作を取得する。AR は無償のオープンソフトウェア・ライブラリである。本研究ではマーカ型 AR を用いる。マーカ型 AR は、事前に登録したマーカをパターンマッチングするため、安定性・計算量・精度の面において優れる。前方歩行者 A から D について、縦横 20cm のマーカの中心が床から身長分の 5 分の 3 の位置及び頭頂部となるように装着した。前方歩行者はリーダを片足にのみ装着するため、算出された前方歩行者の位置は 1 歩程度の誤差が生じる。通常歩行時の歩幅の平均値は 0.8m 程度のため、判別された危険エ

リアの周囲 0.8m の範囲を危険エリアに含める。提案手法により危険エリアが判別可能か検証する。

#### 4.2 結果

危険エリア内において、有意差が現れる各回転角  $D_{it}$  を検証する。判別された危険エリア内外における前方歩行者の各回転角  $D_{it}$  を検定する。今回は、マン・ホイットニーの U 検定を用いる。危険エリア内の前方歩行者に歩行特徴が現れたか検証するため、前方歩行者のうち危険エリアを通過する A,B に着目する。前方歩行者 A,B において、危険エリア内外の回転角  $D_{it}$  から 30 回の平均値  $\overline{D_{it}}$  を算出した。本検定の帰無仮説は、「各危険エリアの  $\overline{D_{it}}$  とそれ以外の  $\overline{D_{it}}$  の母集団が同一である。」である。表 1,2 に、検定結果を示す。

表 1: 危険エリア内における頭の回転角の検定結果

		頭		
		$\alpha_{it}$	$\beta_{it}$	$\gamma_{it}$
危険エリア V	z 値	2.29	1.49	2.43
	p 値	0.022	0.137	0.015
危険エリア X	z 値	1.43	2.11	3.21
	p 値	0.171	0.038	0.001
危険エリア Y	z 値	0.800	0.449	3.65
	p 値	0.424	0.653	0
危険エリア Z	z 値	1.49	0.859	2.84
	p 値	0.132	0.387	0.006

表 2: 危険エリア内における胴の回転角の検定結果

		胴		
		$\alpha_{it}$	$\beta_{it}$	$\gamma_{it}$
危険エリア V	z 値	1.39	3.44	0.194
	p 値	0.165	0.006	0.846
危険エリア X	z 値	0.003	2.02	1.81
	p 値	0.988	0.041	0.075
危険エリア Y	z 値	1.77	2.45	1.70
	p 値	0.076	0.014	0.090
危険エリア Z	z 値	2.57	1.92	1.23
	p 値	0.008	0.058	0.212

有意水準を 5% としたとき、表 1,2 の網掛けの部分の帰無仮説が棄却される。表 1,2 より、危険エリアにおいては、頭、もしくは、胴の部分の回転角  $\overline{D_{it}}$  を構成する要素の一部に有意差が現れていることがわかる。すなわち、有意差が現れている要素は、危険エリアとそうでないエリアで同一でないことが示された。表 1,2 において、頭と胴の部位の回転角  $\overline{D_{it}}$  の要素に注目されたい。有意差が現れる要素は各危険エリアで異なる。したがって、 $\overline{D_{it}}$  どの要素に有意差が出ているかで危険エリアが判別可能である。

#### 5. 実験結果の考察

検定の結果、危険エリア内外で回転角  $\overline{D_{it}}$  を構成する要素の一部に有意差が現れた。本稿では、有意差が現れた  $\overline{D_{it}}$  について、どのような特徴が現れたかを考察する。また、視覚障害者を安全に誘導するため、現れた特徴から、各危険エリアが推定できるかを考察する。各危険エリアを z 軸方向に 10 等分し、 $\overline{D_{it}}$  にどのような特徴が表れたかを考える。分割した危険エリアの各地点を、n とする

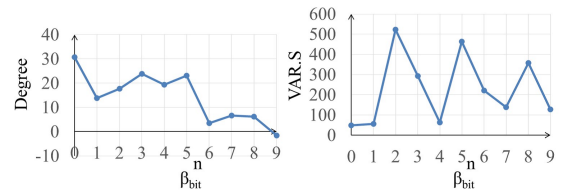


図 3: 危険エリア V 内の  $\beta_{bit}$  の差分及び分散

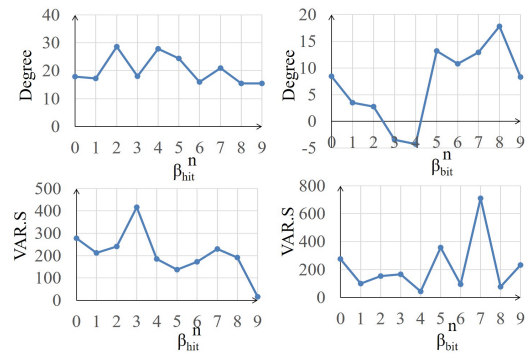


図 4: 危険エリア X 内の各回転角の差分及び分散

( $0 \leq n \leq 9$ )。また、危険エリア外の  $\overline{D_{it}}$  を通常歩行時の  $\overline{D_{it}}$  とする。通常歩行時の  $\overline{D_{it}}$  と、危険エリア内で有意差が現れた  $\overline{D_{it}}$  の差分から、通常歩行時との差異を考える。通常歩行時の  $\overline{D_{it}}$  は、危険エリア外の  $\overline{D_{it}}$  からランダムに取得する。以下、頭の回転角  $\overline{D_{it}}$  を  $\overline{D_{it}}(\alpha_{hit}, \beta_{hit}, \gamma_{hit})$ 、胴の回転角  $\overline{D_{it}}$  を  $\overline{D_{it}}(\alpha_{bit}, \beta_{bit}, \gamma_{bit})$  とする。

表 1,2 より、危険エリア V において、 $\alpha_{hit}$ ,  $\gamma_{hit}$  及び  $\beta_{bit}$  に有意差が現れた。危険エリア V 内の  $\beta_{bit}$  と通常歩行時の  $\beta_{bit}$  の差分に着目し、どのような特徴が現れたかを考察する。図 3 に、危険エリア V 内の  $\beta_{bit}$  と通常歩行時の  $\beta_{bit}$  の差分及び分散を示す。図 3 より、差分は  $n=0$  から  $n=5$  の範囲で 20 度程度の正の値をとり、 $n=6$  から  $n=8$  の範囲で 5 度程度の正の値をとる。つまり、胴は前半部で左を向き、後半部でほぼ正面を向いたことがわかる。障害物を回避し始めるさい、前方歩行者は障害物を迂回する。したがって、前方歩行者が路上に置かれた障害物を回避するさい、回避行動の前半部で胴の向きが変化すると考えられる。また、図 3 より、 $n=1$ ,  $n=2$  及び  $n=4$ ,  $n=5$  の範囲の分散において、分散の変化が周囲の変化より大きいことがわかる。 $\beta_{bit}$  の差分より、前方歩行者はこれらの範囲で障害物の回避を開始又は終了していることがわかる。したがって、前方歩行者が障害物の回避を開始又は終了する地点が異なると考えられる。

表 1,2 より、危険エリア X では、 $\beta_{hit}$ ,  $\gamma_{hit}$  及び  $\beta_{bit}$  に有意差が現れた。危険エリア X 内の  $\beta_{hit}$  と通常歩行時の  $\beta_{hit}$  の差分、危険エリア X 内の  $\beta_{bit}$  と通常歩行時の  $\beta_{bit}$  の差分に着目し、どのような特徴が現れたかを考察する。図 4 に、危険エリア X 内の  $\beta_{hit}$  と通常歩行時の  $\beta_{hit}$  の差分及び分散、危険エリア X 内の  $\beta_{bit}$  と通常歩行時の  $\beta_{bit}$  の差分及び分散を示す。図 4 より、 $\beta_{hit}$  において、差分は  $n=0$  から  $n=6$  の範囲で負の値をとり、 $n=8$

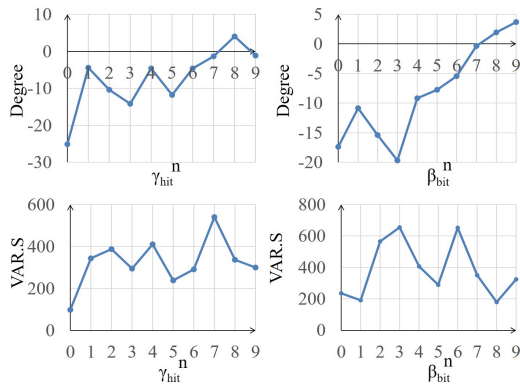


図 5: 危険エリア Y 内の各回転角の差分及び分散

の地点で正の値をとる。また、 $\beta_{bit}$  は、 $\beta_{hit}$  と同様の変化をする。 $\beta_{bit}$  より、前方歩行者は  $n=0$  から  $n=6$  の範囲で胴が右を向いていることがわかる。つまり、前方歩行者はこの範囲で頭上の障害物を回避していると考えられる。また、 $n=8$  の地点で正の値をとるため、前方歩行者の胴が左を向き、この地点では回避を終了していると考えられる。 $\beta_{hit}$  より、頭が胴と同様の方向を向くと考えられる。したがって、前方歩行者が頭上の障害物を回避するさい、頭と胴が右を向き、回避を終了するさい、頭と胴は左を向くことが考えられる。障害物を迂回して回避したため、胴の向きが変化したと考えられる。また、障害物が頭上にあるため、頭の向きを変化させ、前方歩行者が障害物との衝突を避けたと考えられる。 $n=7$  における  $\beta_{hit}$  の分散と  $n=3$  と  $n=6$  における  $\beta_{bit}$  の分散が最大となるため、前方歩行者が頭上の障害物を回避開始と終了する地点は異なると考えられる。頭の向きの変化は危険エリア X のみに現れたため、頭の向きの変化から危険エリア V 及び X の判別が可能であると考えられる。

表 1,2 より、危険エリア Y では、 $\gamma_{hit}$  及び  $\beta_{bit}$  に有意差が現れた。危険エリア Y 内の  $\gamma_{hit}$  と通常歩行時の  $\gamma_{hit}$  の差分、危険エリア Y 内の  $\beta_{bit}$  と通常歩行時の  $\beta_{bit}$  の差分に着目し、どのような特徴が現れたかを考察する。図 5 に、危険エリア Y 内の  $\gamma_{hit}$  と通常歩行時の  $\gamma_{hit}$  の差分及び分散、危険エリア Y 内の  $\beta_{bit}$  と通常歩行時の  $\beta_{bit}$  の差分及び分散を示す。図 5 より、 $\gamma_{hit}$  において、差分は  $n=0$  から  $n=9$  の範囲で正の値をとる。また、 $\beta_{bit}$  は  $n=0$  から  $n=4$  で負の変化をし、 $n=5$  から  $n=9$  で正の値をとる。 $\gamma_{hit}$  より、前方歩行者が階段を昇り降りするさい、頭が左に倒れることがわかる。 $\beta_{bit}$  の変化が前半部と後半部に分かれたため、階段の登りと降りて前方歩行者の胴の向きが変化すると考えられる。したがって、前方歩行者が階段を昇り降りするさい、頭は左に倒れると考えられる。階段を昇るさい、胴は右から左に向きを変化すると考えられる。階段を降りるさい、胴は右を向くと考えられる。また、階段を昇るさい  $\gamma_{hit}$  の分散が最大をとり、降りるさい  $\beta_{bit}$  の分散が最大をとる。したがって、階段を昇りさい頭が不安定になり、降りでは胴が不安定になると考えられる。胴の向きが右から左に変化するの、危険エリア Y にのみ現れた。したがって、胴の左右の変化に着目することで、危険エリア Y と危険エリ

ア V, X の識別が可能であると考えられる。

表 1,2 より、危険エリア Z では、 $\gamma_{hit}$  及び  $\alpha_{bit}$  に有意差が現れた。本実験では、視覚障害者 U の歩行経路の影響で、危険エリア Z 内の一部の前方歩行者 B の  $\bar{D}_{it}$  が取得できなかった。

以上より、危険エリア V, X, Y において、前方歩行者に現れる特徴は異なる。各危険エリア固有の特徴から、危険エリア V, X, Y が推定できると考えられる。

## 6. おわりに

本論文では、視覚障害者が自由かつ歩行するために、前方の歩行者の歩行動作から危険エリアを推定し、視覚障害者を安全な場所に誘導する手法を提案した。実験では、ARtoolkit で取得した前方の歩行者の頭と胴の回転角から、危険エリアを判別可能か検証した。検証の結果、危険エリアにおいては、これらの回転角を構成する一部の成分に有意差が現れた。有意差が現れる要素は各危険エリアで異なる。したがって、有意差が現れた要素に着目し、危険エリアが判別できる。

今後は、推定した危険エリアの判別精度及び危険エリアの位置が妥当か検証する。危険エリアは実験した以外にも存在するため、想定される他の危険エリアも同様に判別可能か検証する。また、本手法を用いて、危険エリア外に視覚障害者を誘導できるか確認する。実環境では、視覚障害者が前方からやってくる歩行者と衝突することが想定される。したがって、この歩行者との衝突を考慮した危険エリアの推定を考察する必要がある。

## 参考文献

- [1] Covington DL Maxwell JG Clancy TV . Hospital resources used to treat the injured elderly at North Carolina trauma centers. J Am Geriatr Soc. 1993;41:847852.
- [2] Hoang, Van-Nam, et al. "Obstacle detection and warning for visually impaired people based on electrode matrix and mobile Kinect." Information and Computer Science (NICS), 2015 2nd National Foundation for Science and Technology Development Conference on. IEEE, 2015. 4)
- [3] Menikdiwela, M. P., and K. M. I. S. Dharmasena. "Haptic based walking stick for visually impaired people." Circuits, Controls and Communications (CCUBE), 2013 International conference on. IEEE, 2013.5)
- [4] 小谷信司, 清弘智昭, and 森英雄. "福祉のための画像応用 視覚障害者のための歩行ガイドロボットの開発." 映像情報メディア学会誌 51.6 (1997): 878-885.
- [5] 植村喜弘, 梶原祐輔, and 島川博光. "足取り取得によるパーソナリティを考慮したユーザ状態の推定." 情報処理学会論文誌 56.12 (2015): 2358-2369.
- [6] Kato, Hirokazu, et al. "A registration method based on texture tracking using artoolkit." Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003. IEEE International. IEEE, 2003.