

K-037

## Kinect 白杖システムによる下り階段の認識 Recognition of Downward Stairs Using Kinect White Cane

山口 翔太郎\* 滝沢 穂高\* 江崎 修央† 水野 慎士‡

Shotaro YAMAGUCHI\* Hotaka TAKIZAWA\* Nobuo EZAKI† Shinji MIZUNO‡

### 1. はじめに

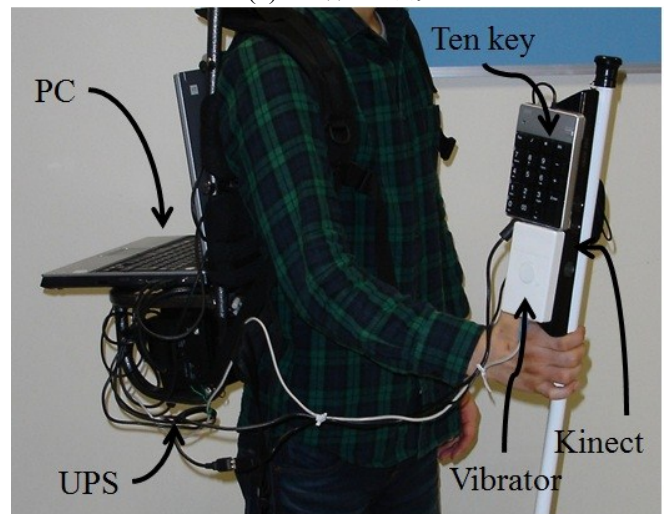
2012 年現在, 日本には約 31 万人の視覚障がい者がいると言われている[1]が, それに対して盲導犬の数は約 1000 頭と大きく不足している[2]. またその育成には 1 頭当たり 300 万円以上の費用がかかるとされ, 十分な数の盲導犬を供給することは難しい. そこでこのような状況を改善するための視覚障がい者支援システム[5][6][8][9]の開発が求められており, 一部のシステムが実用化されている. 森らは, 障害物を回避しながらユーザを目的地まで誘導する車いす型ロボット[3]を提案したが, システムが大型で高額であるという問題がある. 岡安らは, 白杖に搭載した超音波センサーによって障害物を検知し, その情報をグリップ部分と手首に装着したバイブレータによってユーザに提供するスマート電子白杖[4]を提案した. また, Zöllner らは, 頭部に設置した Kinect によって撮影した距離画像から障害物を検知するシステム[7]を提案した. これらのシステムは検知できる物体が障害物のみのもとなっている. また, システムがユーザに提示する情報が本当にユーザの求めているものかということに関わらず, 情報を一方的に提示してしまっているという問題がある. 我々はこのことを踏まえ, ユーザがシーンの状況にある程度把握していることを前提とし, ユーザが指示した物体だけを認識し, 必要最小限の情報のみを提示することによって, 情報提示過多によるユーザの混乱を回避するオンデマンドな支援システムの開発を目指している[11][12]. 本システムは Kinect を白杖に搭載し, 得られる距離情報から環境中の物体を認識する. ここでは, 日常生活をリアルタイムに支援することを目標とし, 計算時間のかかる複雑な物体や状況の認識は対象外としている. 本報告では Kinect で得た距離情報から, 視覚障がい者にとって転落の危険がある下り階段 (または床の凹み) [10]をリアルタイムに認識するための手法を提案する.

### 2. Kinect 白杖システム概要

本システムでは図 1 に示すように杖に平行になるように Kinect を装着する. Kinect と杖を鉛直に立てた状態で, 左から右に向かう方向を  $x$  軸正方向, 上から下に向かう方向を  $y$  軸正方向, 撮影方向を  $z$  軸正方向とした右手座標系に従うものとし座標系を定義する. ユーザは PC と Kinect の電源になる UPS を背負った状態でシステムを使用する. 物体認識を行う際にはテンキーによってシステムに指示を出し, その結果をバイブレータや音声によって提示する. 本システムではこれまでに, 人間が通過できる床面, 椅子の座面, 上り階段の認識を実現している[11][12].



(a) 全体の外観



(b) システム詳細

図1 Kinect 白杖システム

#### 2.1 Kinect による距離情報の取得

本システムで用いる Kinect は 2010 年に Microsoft 社が発売したゲーム用のデバイスで, 赤外線を利用した距離画像センサー, RGB カメラ, 加速度センサー, 人間のトラッキング機能などが装備されている. 本品は, 距離画像センサーとして低価格で, しかも高精度であることから, 世界中の研究者から注目され, 物体認識等の研究に用いられている[7][13]. 図 2, 図 3 に Kinect によって撮影されたシーン画像と距離画像の例を示す. 距離画像では各エッジの Kinect からの距離が色もしくは濃淡値で表現されている.

\* 筑波大学大学院 University of Tsukuba

† 国立鳥羽商船高等専門学校 Toba National College of Maritime Technology

‡ 愛知工業大学 Aichi Institute of Technology

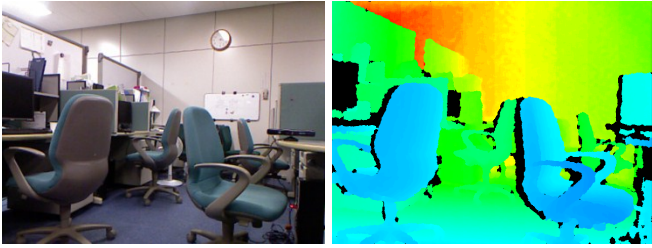


図2 シーン画像

図3 距離画像

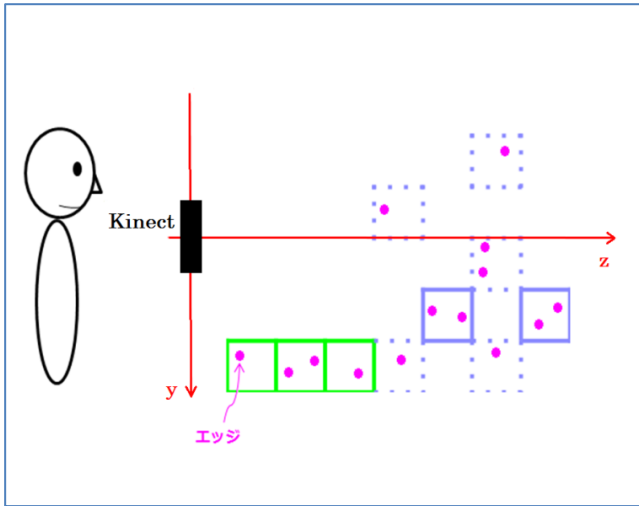


図4 セルによる分割

## 2.2 加速度センサーによる距離情報の補正

前述したように座標系は Kinect 白杖を鉛直に立てた状態で定義するが、ユーザが本システムを使用する際、必ずしも鉛直に立てて使用するとは限らない。そこで、Kinect に内蔵されている加速度センサーの測定値を使って距離情報の補正を行う。加速度センサー値は Kinect のローカル座標系のもとに定義されており、 $x, y, z$  軸方向の加速度をそれぞれ  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  とすると、グローバル座標系の  $x$  軸周りの回転角  $\theta_x$  と  $z$  軸周りの回転角  $\theta_z$  は

$$\theta_x = \sin^{-1} \frac{-\alpha_z}{g} \quad (1)$$

$$\theta_z = \sin^{-1} \frac{\alpha_x}{g} \quad (2)$$

となる。ただし、 $g$  は重力加速度とする。エッジ座標を  $\mathbf{e}$ 、補正後のエッジ座標を  $\mathbf{e}'$  とすると

$$\mathbf{e}' = \mathbf{R}_1 \mathbf{R}_2 \mathbf{e}. \quad (3)$$

ただし、

$$\mathbf{R}_1 = \begin{pmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{R}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x \end{pmatrix} \quad (5)$$

となる。

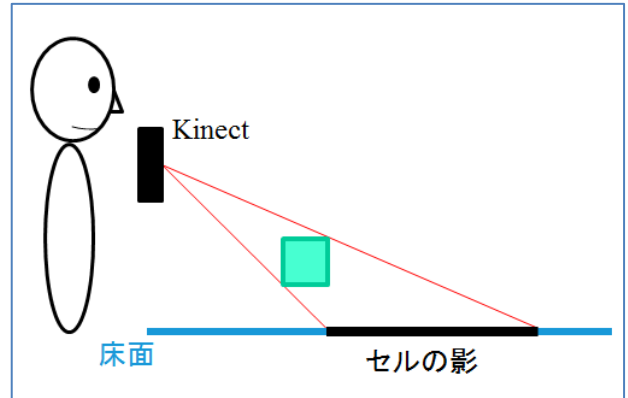


図5 セルの影領域

## 3. 距離画像からの物体認識

本システムは、大きさが数十 cm 以上の物体を認識対象とする。シーン全体を囲む仮想的な直方体領域を設定し、さらにそれを一辺が 10cm 前後の小直方体領域（セルと呼ぶ）に分割し、このセルを用いて認識する。

### 3.1 床面の認識

下り階段（床の凹み）の認識を行う際に床面の認識によって得た平面の方程式を用いる必要があるためまず床面を認識する。

まず、距離画像の各エッジを加速度センサーで補正し、図 4 に示すように空間に投影し、その空間を 10cm 立方のセルに分割する。次に、エッジを内包しないセルを消去し、残りのセルの中、 $x, z$  座標値が等しいセルの集合を求め、その中で最も下に位置する ( $y$  座標値が最も大きい) セルを求める。その上方 2m にセルが存在しない場合は人間が通過できるとし、そのセルを床面候補セルとする（図 4 における実線の枠のセルが床面候補セルを表す）。各  $x, z$  座標ごとに床面候補セルを求め、互いに隣接しているセル（26 近傍で考える）を併合し（図 4 における緑色の枠のセル）、十分な大きさの併合セル群の中のエッジに、最小二乗法を適用して平面を当てはめる。平面の方程式を

$$z = ax + by + c \quad (6)$$

とし、併合セル群の中のエッジの座標を  $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)$  とすると、全てのエッジと平面との距離の二乗和は

$$Q = \sum_{i=0}^n (ax_i + by_i + c - z_i)^2 \quad (7)$$

となり、 $Q$  が最小となるような  $a, b, c$  を求める。導出された平面との距離が近いエッジを床面とし、それ以外のエッジは人間の通行を妨げる障害物として認識する。

### 3.2 下り階段（床の凹み）の認識手法

まず、3.1 節で述べられている床面認識手法により床面の認識を行う。この際に導出された最小二乗法による平面が  $xz$  平面に対して平行になるように全体のエッジを回転し補正する。 $x$  軸周りの回転角  $\phi_x$  を、 $z$  軸周りの回転角  $\phi_z$  をとすると



図6 実験 1 シーン画像



図9 実験 2 シーン画像

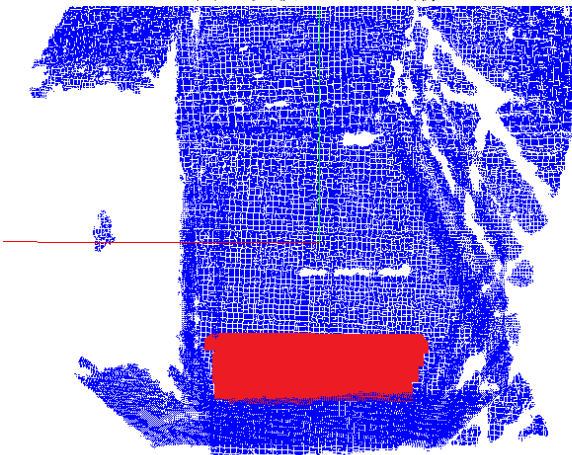


図7 実験 1 結果正面

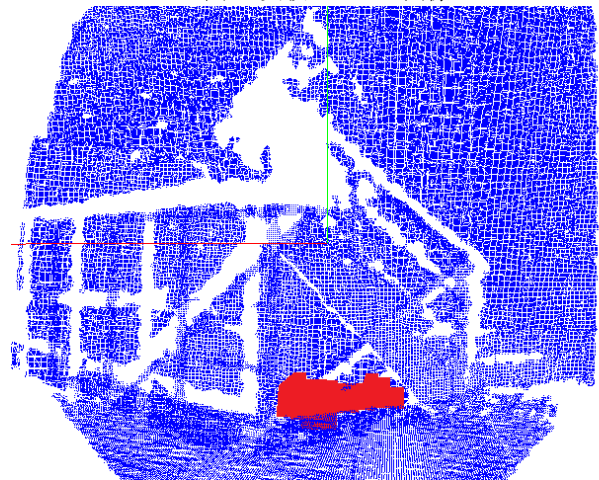


図10 実験 2 結果正面

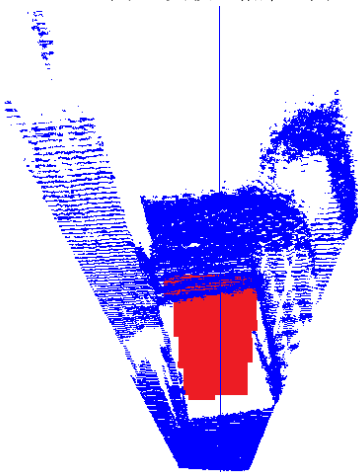


図8 実験 1 結果鳥瞰

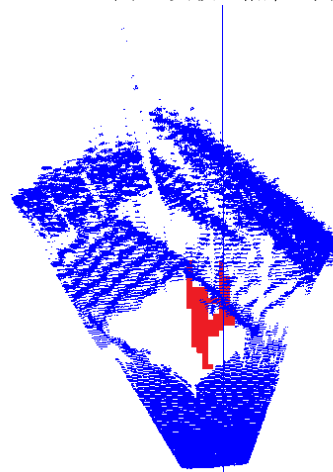


図11 実験 2 結果鳥瞰

$$\varphi_x = \tan^{-1} \frac{1}{b} \quad (8)$$

$$\varphi_z = \tan^{-1} -\frac{a}{b} \quad (9)$$

となりエッジの座標は

$$\mathbf{e}' = \mathbf{R}_3 \mathbf{R}_4 \mathbf{e}. \quad (10)$$

ただし,

$$\mathbf{R}_3 = \begin{pmatrix} \cos \varphi_z & -\sin \varphi_z & 0 \\ \sin \varphi_z & \cos \varphi_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{R}_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_x & -\sin \varphi_x \\ 0 & \sin \varphi_x & \cos \varphi_x \end{pmatrix} \quad (12)$$

となる. 次に再びエッジを投影した空間を 10cm 立方のセルに分割する. そして, 求めた床面を表す平面が通過していて, 中にエッジを含んでいないセル (空のセル) の集合を求める. この空のセルの集合の中には, 物体に遮られ影となっているため, 空になっているセルも含まれている. そこで, このような部分を取り除くために障害物の影を考慮した次の処理を適用する. まず図 5 に示すように, Kinect のカメラと各障害物セルを結ぶ接線を探し, その接線と床面を表す平面との交点から床面上に射影された影の領域を求める. 空のセルがこの領域に含まれていた場合は消去する. 残った空セルで互いに隣接しているものを併合し, 十分に大きい併合セル群を構成する時, そのセル群を下り階段 (または床の凹み) と認識する.

#### 4. 実験

3.2 節の手法によって Kinect で撮影した距離画像から, 下り階段の認識実験を行った. 実験で用いたセルのサイズは 10cm × 10cm × 10cm とした.

図 6 に実験 1 で使用したシーンの画像を示し, 結果の 3 次元シーンの正面からの画像を図 7 に, 真上からの画像を図 8 にそれぞれ示す. 結果画像では距離画像のエッジを青色で, 下り階段部分を赤色で示す. シーン画像中の下り階段部分が結果画像に正しく赤色で表示されていることがわかる. また, 図 9 に実験 2 で使用したシーンの画像を示し, その結果画像を図 10, 図 11 にそれぞれ示す. シーン画像中の下り階段部分が結果画像に正しく赤色で表示されており, また階段手前の手すりによって遮られている部分は結果画像中に表示されておらず, 正しい認識ができていくことがわかる.

#### 5. まとめ

本報告では, Kinect を白杖に搭載した視覚障がい者支援システムによる下り階段の認識手法を提案した. 空間をセルで分割した上で物体の影を考慮する手法により, 下り階段を正確に認識することができ, 提案手法の有効性を確認できた. また, 1 枚の距離画像からの認識に要した時間は約 1 秒程度となり, 短時間で処理を実現することができた. 今後の課題として, より高精度な認識の実現, 他の物体の認識を可能にすること, 視覚障がい者へのシステムの使用実験の実施などが挙げられる.

#### 参考文献

- [1] 厚生労働省社会・援護局 障害保健福祉部 企画課統計調査係 “平成 18 年身体障害児・者実態調査結果” (2008).
- [2] NPO 法人全国盲導犬施設連合会 “盲導犬情報 第 6 号”, (2011).
- [3] Hideo Mori, Shinji Kotani, and Noriaki Kiyohiro, “HITOMI: Design and Development of a Robotic Travel Aid”, *Assistive Technology and Artificial Intelligence*, Volume 1458, pp. 221-234 (1998).
- [4] Mitsuhiro Okayasu “Newly developed walking apparatus for identification of obstructions by visually impaired people”, *Journal of Mechanical Science and Technology* 24 (6), p.1261-1264, (2010).
- [5] 五十嵐亮, 横手啓紀, 滝沢穂高, 山本眞司 “視覚障害者のためのステレオ視情報を用いた歩行補助システム”, 電子情報通信学会, 2000 年総合大会講演論文集, 情報・システム(2), p.337,(2000).
- [6] 齊藤隆, 滝沢穂高, 山本眞司 “視覚障害者のための障害物位置提示システム”, 電子情報通信学会総合大会, 講演論文集, p.316, (2002).
- [7] Michael Zöllner, Stephan Huber, Hans-Christian Jetter, and Harald Reiterer: “NAVI – A Proof-of-Concept of a Mobile Navigational Aid for Visually Impaired Based on the Microsoft Kinect” *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 6949, (2011).
- [8] 池上嘉和, 伊藤圭太, 泉谷聡, 青砥哲朗, 大倉典子: “触角を用いた視覚障害者のためのインタラクティブシステムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学 109(358), p.25-28,(2010).
- [9] 渡辺哲也, 南谷和範: “視覚障害者支援技術研究のレビューと将来への展望”, 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学 109(358), p.57-64,(2010).
- [10] 竹上健, 榊健二: “ステレオ視を利用した視覚障害者のための不連続床面認知の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告 111(174), p.1-6,(2011).
- [11] 山口翔太郎, 滝沢穂高, 江崎修央, 水野慎士: “Kinect 白杖による視覚障害者支援システムの基礎的検討”, 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, (2011).
- [12] 山口翔太郎, 滝沢穂高, 江崎修央, 水野慎士: “Kinect 白杖による視覚障害者支援システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告, p.19-23, (2012).
- [13] Matthias Greuter, Michael Rosenfelder, Michael Blaich and Oliver Bittel, “Obstacle and Game Element Detection with the 3D-Sensor Kinect”, *Communications in Computer and Information Science*, Volume 161, p.130-143, (2011).