

視覚障がい者支援のための Kinect を用いた障害物検出の基礎的検討 Basic Study of Obstacle Detection with Kinect Cane for Support of Visually Impaired

織田 和典[†] 滝沢 穂高[†] 青柳 まゆみ[‡] 江崎 修央[§] 水野 慎士[¶]
Kazunori ORITA Hotaka TAKIZAWA Mayumi AOYAGI Nobuo EZAKI Sinji MIZUNO

1. はじめに

2013 年現在, 日本の視覚障がい者の数は約 31 万人と言われている [1]. それに対して視覚障がい者を補助する盲導犬の数は約 1000 頭と不足しており, その育成は高額な費用が掛かると言われている [2]. また視覚障がい者が歩行する際に使用する白杖は, 離れたところにある障害物を検知できないという問題がある. これらのことから視覚障がい者を支援するシステムの開発が求められており, 一部のシステムは実用化されている. 森らは, 障害物を回避しながら目的地までユーザーを誘導する車椅子型ロボットを提案している [3]. しかしこのシステムは大型でかつ高額という問題がある. また, 岡安らは超音波センサーを利用して障害物を検知するスマート白杖を提案している [4]. さらに, Kinect を歩行者の頭部に取り付け障害物を避けながらガイドするシステムも提案されている [5]. これらのシステムは大きな障害物しか検知できないという問題点がある. そこで本研究では Kinect やインターフェースデバイスを白杖に搭載した Kinect 白杖 [6][7] による障害物検出システムを提案する. また目隠し晴眼者による使用者実験を行い, その有効性を検証する.

2. Kinect 白杖システム

2.1 システムの構成

図 2.1 に示すように白杖に Kinect と入力用のテンキー, 出力用の振動デバイスを装着し, ノートパソコンと Kinect に電力を供給する UPS を背負子に搭載する.

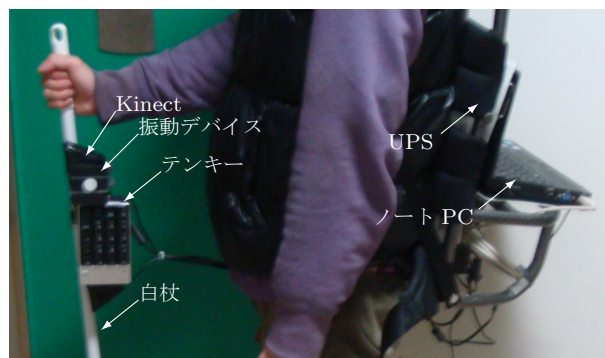


図 2.1 Kinect 白杖システムの構成

2.2 操作方法

障害物検出を行う際は, Kinect を垂直に立て, 入力用テンキーを押下することによってシステムに指示を出し, 目的の物体を検知した場合は振動デバイスによってその物体があることを知らせる. また対象物体までの距離を振動の強弱で提示する.

3. 障害物検知システム

本システムはユーザーの前方に障害物がない時, その方向に進めるということを提示するために振動デバイスによって振動を出力する. 下記の手法 1 によって小さめの物体を, 手法 2 によって大きめの物体を検出する. 但し, このシステムは Kinect の赤外線を利用するため, 赤外線が反射してしまう床面がある環境や, 直射日光下では検出を誤る可能性がある.

3.1 検出手法 1

(1) 距離画像の中心線上 (図 3.1 の a で示したグレーの線領域) の距離値から床面のエッジを検出する. 図 3.2 に示すように, 原点を Kinect の位置, y 軸を重力方向, z 軸を視線方向とする. 黒い点はその床面のエ

[†] 筑波大学大学院 システム情報工学研究科

[‡] 筑波大学 障害学生支援室

[§] 国立鳥羽商船高等専門学校 制御情報工学科

[¶] 愛知工業大学 情報科学部情報科学科

ジを示しており、この検出したエッジを Kinect の加速度センサーの測定値を使ってなるべく水平に補正する。センサーの取り付け方向の加速度を a 、重力加速度を g とすると、 zy 平面での Kinect の回転角 θ は、

$$\theta = \sin^{-1} \frac{-a}{g} \quad (1)$$

となる (図 3.3)。エッジ座標を $e(z_i, y_i)$ 、補正後のエッジ座標を $e'(z_i, y_i)$ とすると、

$$e' = Re \quad (2)$$

但し、

$$R = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (3)$$

となる。なお、今回は誤検出への影響の大きい zy 平面での補正を行い、 z 軸周りの補正は行わなかった。

(2) 最小二乗法により、床面のエッジに直線

$$y = az + b \quad (4)$$

をあてはめる。エッジと直線との距離の 2 乗和は

$$S = \sum_{i=0}^n (az_i + b - y_i)^2 \quad (5)$$

となり、この S が最小となる様な a, b を求める。式 (5) より a, b は、

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum z_i^2 & \sum z_i \\ \sum z_i & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum z_i y_i \\ \sum y_i \end{pmatrix} \quad (6)$$

と表される。これにより算出された直線が図 3.2 の A である。この直線から、さらに正確な方程式を得るためロバスト推定 [8] を利用する。 $e(z_i, y_i)$ と式 (4) とのずれを

$$d = y_i - (az_i + b) \quad (7)$$

とする。このずれが大きいほど最小二乗に与える重みが小さくなるように、重み関数を

$$w(d) = \frac{d}{1 + \frac{1}{2}d^2} \quad (8)$$

と表し、これを用いて w_i を付加した推定を行うと、

$$\begin{pmatrix} a' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum w_i z_i^2 & \sum w_i z_i \\ \sum w_i z_i & \sum w_i \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum w_i z_i y_i \\ \sum w_i y_i \end{pmatrix} \quad (9)$$

となり、床面の方程式 (図 3.2 の B)

$$y = a'z + b' \quad (10)$$

を得る。図 3.2 を見ると、直線 A よりも床面に近い直線 B が得られていることがわかる。

(3) 床面の方程式と抽出されたエッジとのずれを計算し、障害物のエッジを特定する。エッジと式 (7) で表される床面の方程式とのずれを

$$d' = |y_i - (a'z_i + b')| \quad (11)$$

と表す。其々のエッジに対してずれを算出し、一定の値を超えたエッジがあればそれを障害物とみなす。

(4) 振動デバイスで障害物までの距離を提示する。

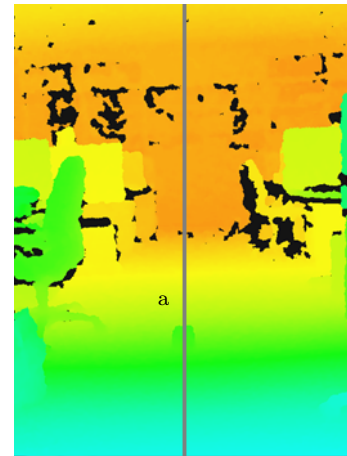


図 3.1 手法 1 の検知領域

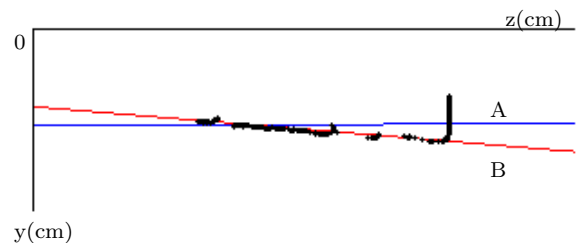


図 3.2 床面の方程式

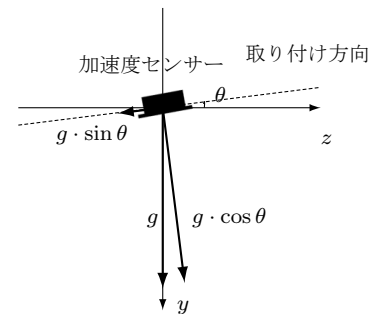


図 3.3 加速度センサー

3.2 検出手法 2

- (1) 距離画像上の中央に円領域を3つ(図3.4のb)と下部に1つ(同図c)を設定する。
- (2) bの3つの円領域内の平均距離をそれぞれ算出し、最も近い物体までの距離を得る。この平均距離は、

$$\text{平均距離} = \frac{\text{円領域内の測定可能な距離の総和}}{\text{円領域内の測定可能なピクセル数}} \quad (12)$$

で表される。3つの円領域を設定し領域を広くとることで、ユーザの肩や腕が障害物に接触することを防ぐ。

- (3) cの円領域は Kinect の検出距離範囲外の物体を半別するために用いる。Kinect の検出可能距離は40cmから600cmの間であり、その範囲外では距離値は-1となる。そのため40cm未満の場所にある障害物と、600cm以上離れた場所にある障害物を判別することができない(図3.5)。そこで図3.4のbで得られる距離を $d1(\text{cm})$ 、cで得られる距離を $d2(\text{cm})$ とし、障害物までの距離 $d(\text{cm})$ を、

$$d = \begin{cases} 40 & (d2 < 0) \\ d1 & (d1 > 40 \text{ かつ } d2 > 40) \\ 600 & (d1 < 0 \text{ かつ } d2 > 40) \end{cases} \quad (13)$$

と定義する。物体までの距離が40cm以下の場合には d は40、600cm以上の時は600の値をとる(図3.6参照)。

- (4) 振動デバイスで障害物までの距離を提示する。

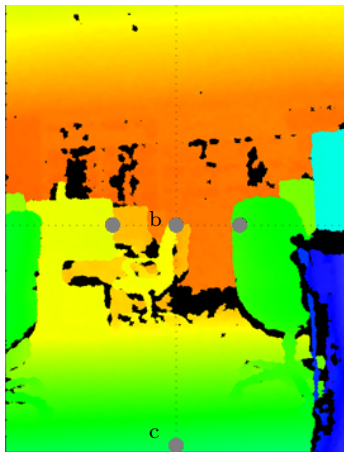


図 3.4 手法 2 の検知領域

4. 検出手法 1 の評価実験

4.1 実験条件

床面に小さい障害物を1つ設置し、Kinect からどの程度離れた場所まで検出できるかを計測する。これを1cmから30cmまで高さを1cmずつ増やした物体30個に対して行う。

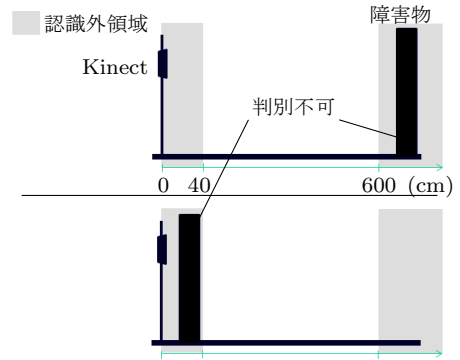


図 3.5 Kinect が検出できない領域

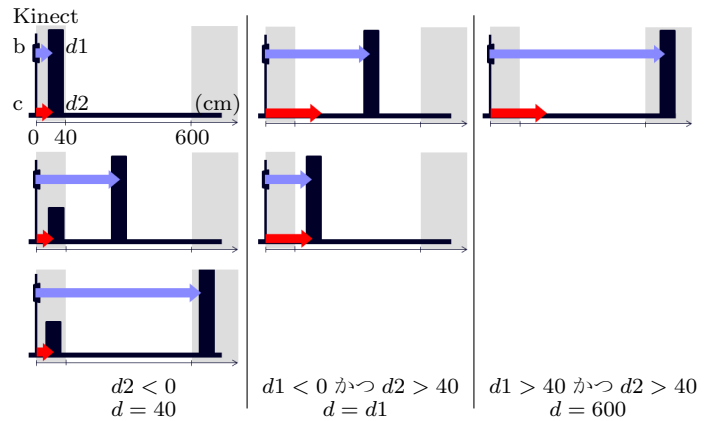


図 3.6 判別方法

4.2 実験結果

図4.1に実験結果を示す。横軸は物体の高さ、縦軸はその物体の検出限界距離を示す。グラフを見ると7cm以上のものは550cmまで検出することができていることがわかる。しかし6cmから小さくなるにつれ検出限界距離は低下し、3cm以下になると誤検出のため物体を認識することができなかった。よって、この検出手法では約7cmまでの物体を離れた所まで検出できることがわかった。

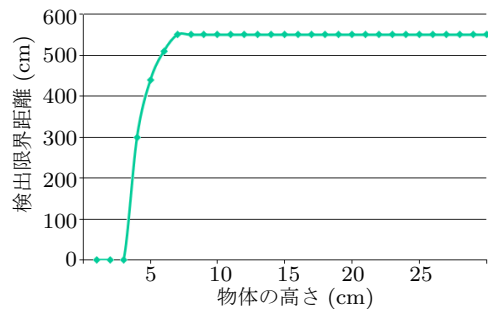


図 4.1 物体の高さと検出限界距離との関係

5. 使用者実験

5.1 実験条件

20代男性の目隠し晴眼者2名を対象とし、Kinect 白杖を使った歩行実験を行った。実験は、壁際のランダムな位

置に複数の障害物を設置した廊下環境(図5.1)で行う。被験者は障害物以外の状況は既知であり、実験開始前に約10分間 Kinect 白杖で別の廊下をテスト歩行している。図5.1のSをスタート地点とし、まず Kinect 白杖を使って障害物を回避しながらGの目的地へ移動する。観察者は被験者が目的地に辿り着くまでの歩行時間、停止回数を記録する。次に通常の白杖を使って同様の実験を行う。これを6回繰り返す。

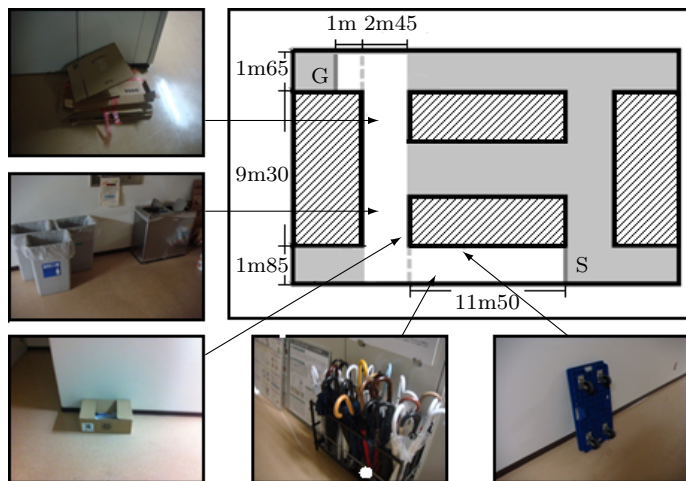


図 5.1 歩行経路

5.2 実験結果

表 4.1 に実験結果を示す。この結果から、2名の歩行速度に差異はあるが、Kinect 白杖の方が停止回数が少なく、歩行時間は短いことがわかる。被験者の停止箇所を観測してみると、Kinect 白杖の場合は主にコースの分岐点で停止しているだけだが、通常の白杖の場合は主に障害物が設置されている地点で停止していることから、歩行時間の差が生じたと考えられる。また通常の白杖を使用した実験では、立てかけられた障害物を倒してしまうこともあった。

5.3 まとめ

本研究では Kinect による障害物検知システムを提案した。使用者実験による検証によって、通常の白杖より Kinect 白杖のほうが歩行に有効であることを示した。今後の課題は、小型軽量化や使いやすい UI の開発、検知機能の信頼性の向上、視覚障がい者の方を含めた利用者実験によるデータ収集がある。

5.4 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 25560278 および 大川情報通信基金 の助成を受けたものです。

表 5.1 実験結果

| | | 1 人目 | | 2 人目 | |
|-----|--------|------|---------|------|----------|
| | | 停止回数 | 歩行時間 | 停止回数 | 歩行時間 |
| 1 回 | Kinect | 2 | 48 秒 | 3 | 1 分 38 秒 |
| | 通常 | 7 | 1 分 5 秒 | 8 | 3 分 43 秒 |
| 2 回 | Kinect | 4 | 51 秒 | 2 | 1 分 40 秒 |
| | 通常 | 5 | 1 分 8 秒 | 5 | 2 分 42 秒 |
| 3 回 | Kinect | 3 | 46 秒 | 3 | 1 分 35 秒 |
| | 通常 | 6 | 53 秒 | 6 | 3 分 24 秒 |
| 4 回 | Kinect | 2 | 45 秒 | 2 | 1 分 38 秒 |
| | 通常 | 4 | 49 秒 | 7 | 3 分 9 秒 |
| 5 回 | Kinect | 3 | 46 秒 | 2 | 1 分 43 秒 |
| | 通常 | 4 | 48 秒 | 7 | 3 分 5 秒 |
| 6 回 | Kinect | 3 | 46 秒 | 3 | 1 分 33 秒 |
| | 通常 | 6 | 54 秒 | 6 | 2 分 52 秒 |
| 平均 | Kinect | 2.8 | 47 秒 | 2.5 | 1 分 35 秒 |
| | 通常 | 5.3 | 56 秒 | 6.5 | 3 分 9 秒 |

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”(March 2008)
- [2] NPO 法人全国盲導犬施設連合会：“盲導犬情報第 6 号”，(March 2011)
- [3] Hideo Mori, Shinji Kotani, and Noriaki Kiyohiro：“HIT-OMI: Design and Development of a Robotic Travel Aid”, Assistive Technology and Artificial Intelligence, Volume1458, 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, pp1261-1264(2010)
- [5] Michael Zoller, Stephan Huber, Hans-Christian Jetter, and Harald Reiterer：“NAVI-A Proof-of-Concept of a Mobile Navigation Aid for Visually Impaired Based on the Microsoft Kinect”, (2011)
- [6] Hotaka Takizawa, Shotaro Yamaguchi, Mayumi Aoyagi, Nobuo Ezaki, Shinji Mizuno, Kinect Cane: An Assistive System for the Visually Impaired Based on Three-Dimensional Object Recognition, The Proceedings of the 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Vol.1, No.1, pp.740-745, (2012)
- [7] Hotaka Takizawa, Shotaro Yamaguchi, Mayumi Aoyagi, Nobuo Ezaki, Shinji Mizuno, "Kinect Cane: Object Recognition Aids for the Visually Impaired", The proceedings of the 6th IEEE International Conference on Human System Interaction (HSI2013), 6 pages (CDROM proceedings), (2013)
- [8] W.H.Press, S.A.Teukolsky, W.T.Vetterling, B.P.Flannery: Numerical Recipes in C, Cambridge Univ. Press 1988. 丹慶勝市, 奥村晴彦, 佐藤俊郎, 小林誠 訳, Numerical Recipes in C, 技術評論社 (1993)