

RGB-D カメラを用いた歩行安全領域の検出と提示方法の検討

今井 健太[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡]

[†]筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[‡]筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]s1620749@u.tsukuba.ac.jp, [‡]{kitahara, kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 視覚障がい者は歩行時に白杖を携帯することが義務付けられているが、白杖では歩行安全領域を検出できる範囲が狭い。本研究ではタブレット端末に装着した RGB-D カメラとタブレット端末内に内蔵されている、加速度センサとジャイロセンサを用いて、視覚障がい者の前方の平面な領域を白杖よりも広範囲に検出する。障害物や段差等を検出した際、音声による提示を行うことにより、視覚障がい者の安全な歩行を支援する。本論文では、歩行安全領域検出の検証実験、また障害物などを検出した際の音声フィードバックシステムについての検討をする。

キーワード 視覚障がい者、単独歩行支援、RGB-D カメラ、音声フィードバック

1. はじめに

現在、日本の視覚障がい者は約 31 万人に達している[1]。視覚障がい者は歩行時、白杖を携帯することを義務付けられているが、白杖で検出可能な歩行安全領域は 1, 2 歩先までと狭い。そのため、それより遠くの障害物や段差を見つけることができない。視覚障がい者のより安全な単独歩行を実現するために、より広範囲で歩行安全領域を検出し、それを視覚障がい者に提示する方法が望まれている。

こうした背景の下、白杖より高機能な単独歩行支援システムの研究開発が行われている。Microsoft 社の Kinect や超音波センサを用いて、前方の障害物や階段を検出し、振動や音で提示をしている。

我々は[1]で RGB-D カメラと加速度センサを用いた歩行安全領域の検出手法を提案した。図 1 に提案手法概要を示す。本手法では、タブレット端末に RGB-D カメラを装着し、進行方向のデプス画像を取得する。また同時にタブレット端末内の加速度センサでカメラの鉛直方向からの傾きを算出する。これら 2 つを組み合わせ、前方約 3.5m 先までの歩行安全領域を検出する。本研究における歩行安全領域とは、凹凸約 5cm 以内の緩い傾斜を含む水平面と定義している。また非歩行安全領域は、障害物や段差など、歩行安全領域以外の領域と定義する。

これまで傾き算出にタブレット端末内の加速度センサのみを用いていた。本論文では、加速度センサに加え、タブレット端末内に同じく内蔵されているジャイロセンサを併用することで、ロバスト性の高い検出手法を提案する。また検出手法の屋外における評価を報告すると共に、非安全歩行領域を検出した際の視覚障がい者への提示方法を検討する。視覚障がい者への提示方法は、音、振動、牽引力錯覚等複数存在する。本研究では、音を用いて視覚障がい者へ提示を行う。本研究で用いている RGB-D カメラは[1]と同じく、intel

社の R-200 であり、タブレット端末は Microsoft 社の surface4 を使用している。

2 節に視覚障がい者への情報伝達に関する関連研究、3 節にジャイロセンサの統合、4 節に屋外における実証実験、5 節に検出した非安全歩行領域についての音フィードバックシステムの検討を示す。

2. 関連研究

視覚障がい者の単独歩行支援として、音、振動、牽引力錯覚等を用いたシステムが提案されている。滝沢ら[3]は、白杖と Microsoft 社の Kinect を組み合わせたシステムを提案している。視覚障がい者がこのシステムで障害物を検出する際は、静止し、Kinect を垂直に立て、前方に向ける。前方に障害物がある場合は、白杖に取り付けられた振動デバイスの振動で提示する。またその際、障害物までの距離に応じて、振動を強弱させる。

また雨宮ら[4]は牽引式羅針盤を用いたシステムを提案している。手のひらに収まる牽引式羅針盤により、目的の方向に誘導されるような牽引力感覚を生じさせる。東西南北のそれぞれの方向への牽引力を組み合わせることで、8 方向への誘導を可能にしている。

越智ら[5]は Kinect を頭部に装着するシステムを提案している。取り付けた Kinect で前方に障害物を検出したら、音による提示を行う。提示には和音を使用し、視覚障がい者が歩行時に聴く環境音を阻害しないように、骨伝導イヤフォンを使用している。

Yang ら[6]は我々と同じ、Intel 社の R-200 を用いたシステムを提案している。Yang らは R-200 から得られたデプス画像から RANSAC アルゴリズムと姿勢センサを用いて、歩行安全領域のみを検出している。骨伝導イヤフォンを用いたインターフェイスまで開発しているが、1 フレームあたりの処理時間が 610ms であり、実際に歩行時に用いるのに適しているとは言えない。

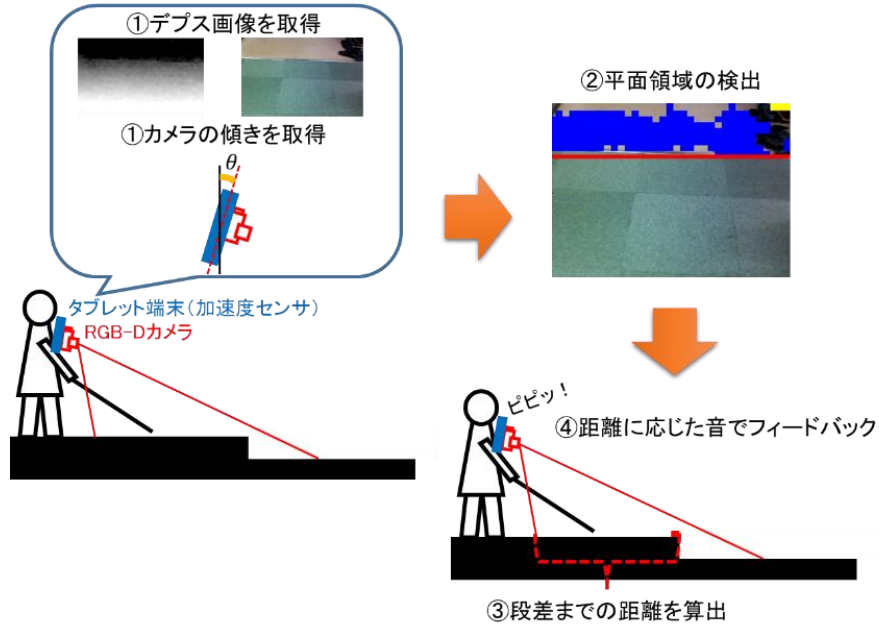


図 1 提案手法概要

本研究では、R-200 を用いて、実時間処理を実現し、視覚障がい者に対して、骨伝導イヤフォンを通じた音による提示を目標とする。

3. ジャイロセンサの統合

これまで[1]はタブレット端末内の加速度センサのみを用いて RGB-D カメラの鉛直方向からの傾きを算出していた。傾きを算出する際、加速度センサの 3 軸の値から計算して算出するが、この時の条件は重力方向のみに加速度がかかっていることである。歩行中は進行方向にも加速度がかかるため正しく傾きが算出できない。そこで本研究では、加速度センサに加え、同じタブレット端末内に内蔵されているジャイロセンサを用いて補間を行う。算出する傾きの角度を θ 、ジャイロセンサで算出された傾きの角度を θ_g 、加速度センサで算出された傾きの角度を θ_a 、加速度センサの 3 軸の加速度の合計を a とすると、式(1)のように加速度セ

ンサによる傾きに対して、式(2)の k で重みづけをする。式(2)の $c=20$ におけるグラフを図 2 に示す。

$$\theta = (1 - k) * \theta_g + k * \theta_a \quad (1)$$

$$k = \frac{0.05}{1 + (c - c * a)^2} \quad (c = 20) \quad (2)$$

ジャイロセンサは時間の経過で誤差が蓄積してしまうため定期的に初期化する必要がある。フレーム t における加速度センサの 3 軸の加速度の合計を a_t としたとき、

$$\left(\sum_{t=k-10}^k a_t \right) < 0.08 \text{ (G)} \quad (3)$$

式(3)であれば、 $\theta = \theta_a$ 、 $\theta_g = 0$ で初期化する。

4. 事前実験と実証実験

我々は[1]で RGB-D カメラと加速度センサを用いた歩行安全領域の検出手法を提案した。本章では、加速度センサとジャイロセンサの統合における有効性の確認のための事前実験と提案手法の有効性を検証するために、屋外において実証実験を行う。

4.1. 事前実験

ジャイロセンサ統合の有効性を検証するために、事前実験を行った。実験は、RGB-D カメラを取り付けたタブレット端末を台車に乗せ、直線の廊下を歩行した。歩行中、停止と歩行を繰り返した。タブレット端末は台車上に固定されているため、歩行中も傾きは変化しない。傾きの算出は加速度センサのみ、ジャイロセンサのみ、提案手法の 3 つの方法で行う。算出結果を図 3 に示す。グラフの縦軸は算出角度を示し、横軸はフ

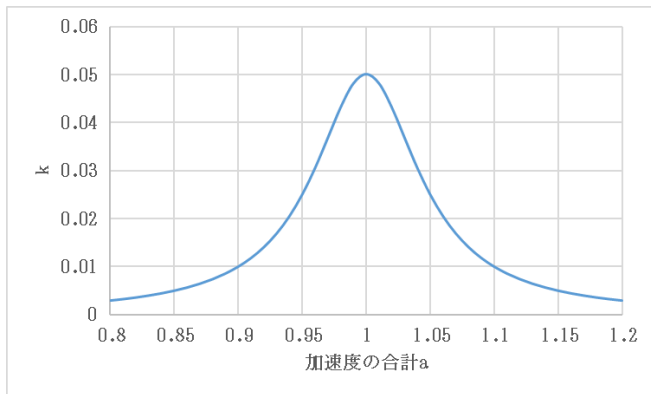


図 2 式(2)のグラフ

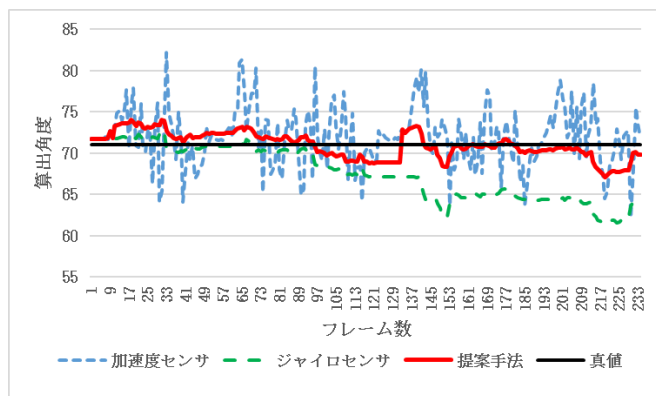


図 3 算出角度の比較



図 4 実験場所の一部

(左上：障害物、右上：上り階段、左下：下り階段)

フレーム数を示す．タブレット端末の傾きの真値は，静止状態の加速度センサにより取得された値とする．結果を見ると，加速度センサにより算出された値は，大きく変動していることが分かる．またジャイロセンサにより得られた値は，スタート直後数フレームは真値に近い値であるが，徐々に誤差が増加していることが分かる．提案手法では，静止時に初期化されるため，常に真値に近い値をとることが分かる．この提案手法を実際に実証実験にて適用する．

4.2. 実証実験概要

実証実験は，筑波大学学内の図 4 の障害物，上り階段，下り階段を含む約 30m の経路で行った．RGB-D カメラを取り付けたタブレット端末を胸部の高さにおいて手で持ち，経路を歩行した．歩行中，ジャイロセンサの初期化のため，5 歩進むことに 3 秒間静止した．評価は処理されたフレーム毎に行う．各フレームで取得した RGB 画像上で分割した小矩形領域に対して，歩行安全領域か非歩行安全領域のラベルを付ける．1 つの小矩形領域内に歩行安全領域と非歩行安全領域が混在している場合，小矩形領域内の割合の多い領域を採

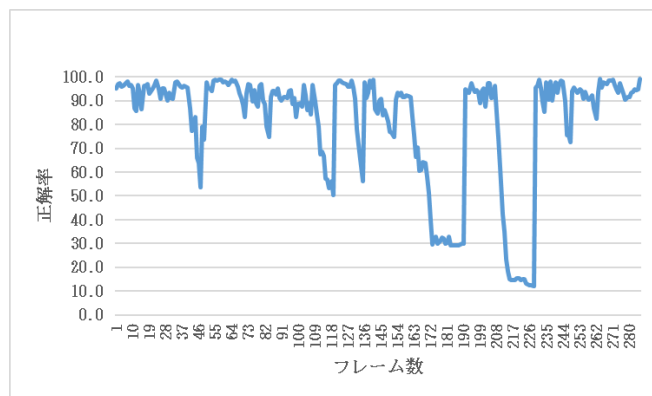


図 5 実験結果

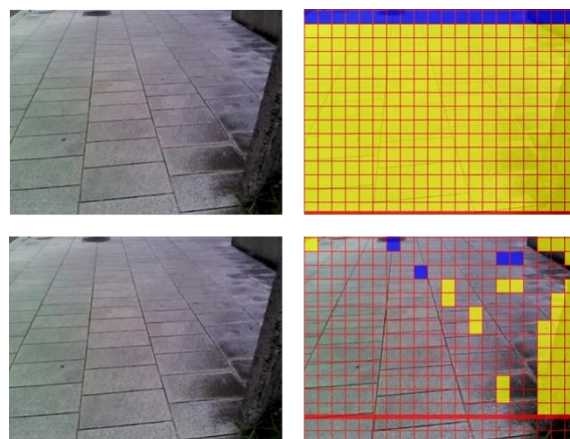


図 6 フレーム番号 228 (上) と 229 (下) の結果画像

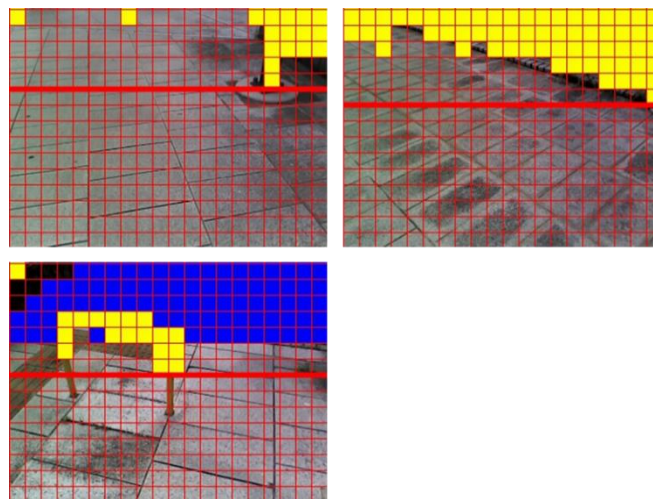


図 7 実験結果の一部

(左上：障害物，右上：上り階段，左下：下り階段)

用している．処理後の画像における各小矩形領域の歩行安全領域と非歩行安全領域を真値と比較し，各フレームにおける全小矩形領域における正解率を算出する．本実験における画像サイズは(320*240)であり，小矩形領域のサイズは(16*16)とした．

4.3. 実験結果

図 5 に実験結果を示す．横軸がフレーム番号，縦軸が正解率である．この結果中で大きく正答率が低下しているフレームが存在する．この原因は，ジャイロセンサによるカメラの鉛直方向からの角度の誤差の累積である．フレーム番号 228 は正解率が低く，229 は初期化のため，急激に正解率が上昇している．これら 2 フレームの結果を図 6 に示す．この結果を見ると，フレーム番号 228 は画像全体が非歩行安全領域とされている．また静止しているときにジャイロセンサの誤差が初期化されるため，誤差がなくなり，229 の結果に変化する．このような検出結果の急激な変化は視覚障がい者の混乱につながるため，今後ジャイロセンサの統合方法を再検討する必要がある．

図 7 に障害物，上り階段，下り階段それぞれにおける本手法適用結果を示す．この結果画像では，障害物，上り階段，下り階段ともに非歩行安全領域としている．しかし，下り階段の画像における，バー状の障害物の一部を歩行安全領域とみなしている．これは，障害物のバーの大きさよりも小矩形領域の大きさが大きいためである．小矩形領域を小さくしすぎると，デプス画像によるノイズを受けやすくなってしまうため，経路に応じた調整が必要になってくる．本実験では小矩形領域の大きさは(16*16)である．画像上の小矩形領域とその小矩形領域に対応する歩行安全領域の実際の大きさを計測した．今回計測したのは，画像最下端とカメラからの水平距離が 3m の位置に対応する小矩形領域である．最下端における実際の大きさは，横 15cm 縦 7cm であり，3m 地点における実際の大きさは，横 20cm 縦 15cm となった．

5. 音フィードバックシステムの検討

我々の提案手法では，歩行安全領域の広がり，つまり画像の範囲内における非歩行安全領域までの水平距離を算出する．本研究では，算出した水平距離に応じたビーブ音を視覚障がい者に提示する．本研究で使用する R200 のデプス画像有効取得範囲は 3.5m である．本システムは胸部付近で保持するため，高さは約 1.1m となる．この時，算出可能な有効水平距離は，約 3.3m となる．そこで本システムでは，3.3m までの非安全歩行領域を 0.5m 間隔でビーブ音の周波数を変化させる．今回設定した周波数を表 1 に示す．距離が遠くなるにつれて音が高くなるように設定した．

表 1 算出距離に応じたビーブ音の周波数

算出水平距離(m)	ビーブ音周波数(Hz)
0~0.5	500
0.5~1.0	2000

1.0~1.5	4000
1.5~2.0	8000
2.0~2.5	10000
2.5~3.0	12000
3.0~3.3	14000

ビーブ音を提示するタイミングとして，フレーム毎に行うと，本システムは約 15fps で動作するため，ビーブ音の間隔が約 7ms と短くなりすぎてしまう．そこで，本システムでは，5 フレーム分の算出距離の平均値の表 1 に対応する周波数のビーブ音を提示する．

今後被験者実験を通して，白杖のみを使用して歩行した場合と，本システムを使用した場合における比較を行う．

6. おわりに

本研究では，これまでの手法に加え，タブレット端末内に存在するジャイロセンサを併用することで，ロバスト性の高い視覚障がい者の単独歩行支援システムを開発した．また検出手法の屋外における評価および，非安全歩行領域を検出した際の視覚障がい者への提示方法を検討した．

今後の課題として，ジャイロセンサの統合方法，被験者実験の方法の検討が挙げられる．1 つ目に関しては，ジャイロセンサの初期化において，大きな角度の変動が起こらない方法を研究する．2 つ目に関しては，まずは晴眼者に目隠しをしてもらい，本システムと白杖を比較してもらう予定である．

本研究の一部は JST-RISTEX と科研費 17H01773 の助成を受けた．ここに謝意を表する．

文 献

- [1] 厚生労働省，“平成 18 年度身体障害児・者実態調査結果”，厚生労働省，2008.
- [2] K. Imai, I. Kitahara, Y. Kameda, “Detecting Walkable Plane Areas by Using RGB-D Camera and Accelerometer for Visually Impaired People” 3DTV Conference 2017, 4 pages, 2017.
- [3] H. Takizawa, S. Yamaguchi, M. Aoyagi, N. Esaki, and S. Mizuno, “Kinect Cane: An Assistive System for the Visually Impaired Based on the Concept of Object Recognition Aid,” Personal and Ubiquitous Computing, vol.19, no.5, pp.995-965, 2011.
- [4] T. Amemiya, H. Sugiyama, “Orienting Kinesthetically: A Haptic Handheld Wayfinder for People with Visual Impairments,” ACM Transactions on Accessible Computing, vol. 3, no. 2, article 6, pp. 1-23, Nov. 2010.
- [5] 越智徹，高先修平，中西通雄，“距離センサによる障害物認識と音声による視覚障害者向け歩行支援システム”，FIT, vol.14, no.3, pp.535-536, Aug. 2015.
- [6] K. Yang, K. Wang, W. Hu, and J. Bai, “Expanding

The Detection of Traversable Area with RealSense
for the Visually Impaired,” Sensors, 16, Nov. 2016.