

RGB-D カメラを用いた歩行可能な平面領域の検出

今井 健太[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] [‡] 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] s1211081@tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 視覚障がい者が単独で歩行する時は、白杖が安全確認に用いられる。しかし、白杖は検出範囲が 1m~2m と狭く、障害物を検知しても、とっさに止まれない可能性がある。そこで、本研究では、RGB-D カメラとそれを取り付けるタブレット PC 上の広域カメラを用いて、10m 先までの路面上の歩行可能な平面領域の検出を目指す。本研究はまず、RGB-D カメラで取得した距離情報をもつ Depth 画像で、視覚障がい者から 2m~3m 先までの平面領域を検出する。そして広域カメラと RGB-D カメラで取得した RGB 画像の重なっている領域に基づき、広域カメラで取得した RGB 画像を用いて、類似した色の路面上の平面領域を 10m 先まで検出する。

キーワード 視覚障がい者, 単独歩行支援, 平面領域, RGB-D カメラ

Walkable Plane Area Detection by RGB-D Camera

Kenta IMAI[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] [‡] University of Tsukuba 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†] s1211081@u.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract When visually impaired person walks alone, they usually use a white cane to detect plane area. However the cane can reach frontal area to only 1, 2 meters. This paper proposes the method that can detect walkable plane to about 10 meters by using RGB-D camera and wide area RGB camera that is set to see far. We detect walkable plane area to 2, 3 meters by using depth image taken by the RGB-D camera. We detect unique color region to about 10 meters by using far RGB image taken by wide area camera and treat the same color region as the plane area based on the attribute of the overlapped region on both RGB images.

Keywords visually impaired person, supporting to walk alone, plane area, RGB-D camera

1. はじめに

現在、日本の視覚障がい者数は 31 万人に達しており [1], その半数以上が週に 2 回~3 回以上外出する [2]. 視覚障がい者は単独で外出する際、人や障害物に接触する、あるいは排水溝などの穴に落下することなどを恐れる人が多い [2]. そのため、外出時には白杖や盲導犬を伴うことがふつうである。しかし、認識できる範囲は白杖の長さに依存するため、1m~2mにとどまり、障害物や段差を認識できたとしても、歩行中とっさに止まれない可能性がある。そのため、ゆっくりと歩く必要がある。盲導犬を伴う歩行では、盲導犬の育成には多くの費用と時間を必要とするため、日本には約 1000 頭しかいないのが現状であり、視覚障がい者数と比べると数が少ない。

以上の背景をふまえ、視覚障がい者の単独歩行の支援を目的とした研究開発がすすめられている。その 1 つとして、ステレオカメラや Microsoft 社の Kinect を用いた、白杖検出範囲の補間システムがある。ステレオカメラを用いた手法 [3] では、階段のみを対象としているため、階段と異なる形状を持つ障害物を検知する

ことは困難である。Kinect を用いた手法 [4] では、Kinect は直射日光下での使用はサポートされていないため、晴れた日での動作が困難である。我々は、上述した問題を解決するための 1 手段として、RGB-D カメラとそれを取り付けるタブレット端末上のもう 1 台のカメラの利用が有効であると考えている。RGB-D カメラは、RGB 画像と物体までの距離情報を持つ Depth 画像の両方を取得することが可能なカメラである。Depth 画像からはカメラから物体までの距離を求めることが可能であるため、物体の形状推定も同様に可能である。しかし、RGB-D カメラ 1 台のみの使用では距離情報取得範囲に制限がある。そのため、RGB-D カメラに加えて、もう 1 台、より遠くまで見渡す別の RGB カメラを用いる (以後広域カメラと呼ぶ)。広域カメラから取得される RGB 画像からは、カメラと物体の距離を判断することは困難であるが、画像取得範囲を広くとり、類似した色の領域の周辺への広がりを判断することが可能である。本研究では、視覚障がい者から 2m から 3m までの路面からはじまる歩行可能な平面領域は、同じ色合いをもって、その先まで広がっていると仮定する。

そこで本研究では、タブレット端末の広域カメラで取得した RGB 画像を用いて、Depth 画像で取得した平面領域を拡大することにより、広範囲に歩行可能な平面領域を検出する。歩行可能な平面領域とは、歩行経路上の構造物、障害物および段差や凹凸がない平面な領域である。

提案手法の概要を図 1 に示す。まず、RGB-D カメラから RGB 画像と Depth 画像を取得する。それらの画像を用いて、視覚障がい者から 2m~3m までの歩行領域中の平面領域を検出する。RGB 画像中の平面領域のみを示している画像を近傍平面画像とする。近傍平面画像と広域カメラから取得した RGB 画像に対して画像処理を施すことで、歩行可能領域の検出範囲を広げ、広範囲な平面領域検出を実現する。提案システムは、視覚障がい者の単独歩行を目的としているため、タブレット端末に RGB-D カメラを取り付け、視覚障がい者が携帯しながら歩行することを想定する。このため、実時間処理が求められる。

2. 関連研究

2.1. 視覚障がい者単独歩行支援

視覚障がい者の単独歩行支援として、速水ら[3]は、ステレオカメラのそれぞれのカメラから取得した画像でマッチングを行い、階段を検知する手法を提案している。この手法は、ステレオ画像に対し、ハフ変換を用いた直線検出を行い、画像間で直線に対応付ける。対応した直線付近でマッチングを行うことで、階段の認識を実現している。しかし、階段のみを検出対象としており、路面上の障害物などへの対応が困難である。滝沢ら[4]は、白杖に Microsoft 社の Kinect を取り付け、取得した Depth 画像からエッジを抽出する。抽出したエッジから、床面や障害物、階段等を検出する手法を提案している。この手法では、障害物を検出した際の視覚障がい者へのフィードバックが白杖への振動である。音によるフィードバックでは、視覚障がい者周辺

の音がノイズとなってしまうが、白杖への振動ではフィードバック時に周囲からの影響を受けにくい。しかし、Kinect は直射日光下での使用はサポートされていないため、晴天時に屋外で使用することが困難である。

2.2. 平面領域の検出に関する研究

内藤ら[5]はステレオカメラを用いて、屋内の床平面推定を実現している。ステレオカメラから取得した視差画像を用いて、床面視差を示す直線と側面の壁を示す直線を検出することで床平面と壁の境界を求め、床平面を検出している。しかし、壁がない環境での利用は困難である。松本ら[6]は、RGB 画像、Depth 画像、法線マップを用いて、RGB-D カメラから得られた 3 次元点群を小平面に領域分割し、それらを統合したあとに、各領域に基づいた点群をフィッティングさせることで点群のノイズ低減と補間を実現している。実時間で高精度な平面検出が可能であり、本研究における RGB-D カメラを用いた平面領域の検出では、今後この手法を採用する予定である。また、関ら[7]は、自動車の走行中に車載のステレオカメラを用いて、道路上の平面推定を行い、障害物検出を行っている。ステレオカメラの映像から空間中の道路領域と道路面とカメラの姿勢を動的に推定し、道路領域と非道路領域を分割している。計測距離が広範囲であるが、ステレオカメラのカメラ間の距離が大きく、視覚障がい者が持つて歩くのに適していない。

3. 研究概要

3.1. 目標検出範囲

本研究における平面領域の検出範囲は 10m を目標とする。その理由を以下に述べる。視覚障害者用誘導警告ブロックに関する研究報告書[8]によると、歩行者と白杖を用いた視覚障がい者の平均歩行速度はそれぞれ 5.4km/h、2.8km/h である。10m 先に静的な障害があった場合は約 12 秒前に、動的な障害、つまり歩行者が

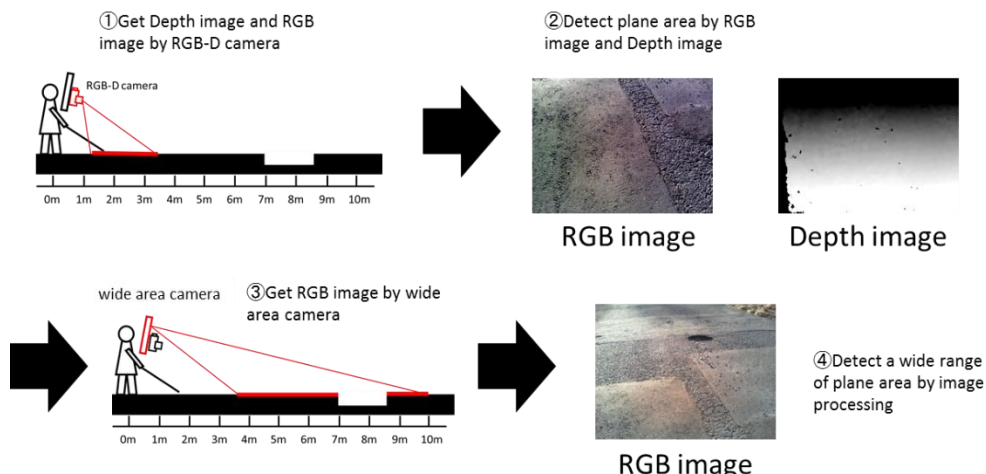


図 1 提案手法の流れ

向かってきた場合には約 5 秒前に検知できる．そのため，10m 先まで検知ができれば，余裕を持った歩行ができると考えられる．

3.2. 広域カメラによる検出範囲の拡大

1 章で述べたように，距離情報の取得範囲には限界がある．そのため RGB-D カメラは，路面を向くようにしてタブレット端末に取り付け，タブレット端末の広域カメラは RGB-D カメラよりやや上を向くようにする．これにより，RGB-D カメラで 2m~3m 先までの，広域カメラで 10m 先までの平面を撮影できるようにする．以降，RGB-D カメラで取得した RGB 画像を近 RGB 画像，広域カメラで取得した RGB 画像を遠 RGB 画像とする．このとき，図 2 に示すように，近 RGB 画像の上端付近と遠 RGB 画像の下端付近が重なるように取り付ける．重なっている領域を矩形で囲う．近 RGB 画像と重なっている領域で，近 RGB 画像上で平面領域と検出された領域と同位置の遠 RGB 画像上の領域は平面とする．遠 RGB 画像で平面とされた領域と遠 RGB 画像に対して Superpixels を適用する．本手法では，遠 RGB 画像上で平面とした領域と遠 RGB 画像を HSV 色空間に変換し，領域分割を行う．分割した小領域ごとに比較を行い，遠 RGB 画像上で類似した色合いの平面領域の検出を行う．本研究では，路面上の平面領域は，見かけの色分布が類似している場合に，その領域は一定の平面状の連続性があると仮定する．

4. RGB-D カメラを用いた平面検出

本研究では，視覚障がい者の歩行前に RGB-D カメラの位置姿勢を決定し，固定する．その位置から平面な路面を多く含む Depth 画像を取得し，取得した画像を平面 Depth 画像とする．視覚障がい者は RGB-D カメラの位置姿勢を固定したまま歩行をする．歩行を開始したら，歩行中に取得した近 RGB 画像を HSV 色空間に変換し，Superpixels を用いて領域分割を行う．分割した 1 つ 1 つの領域を小領域とする．また，歩行中

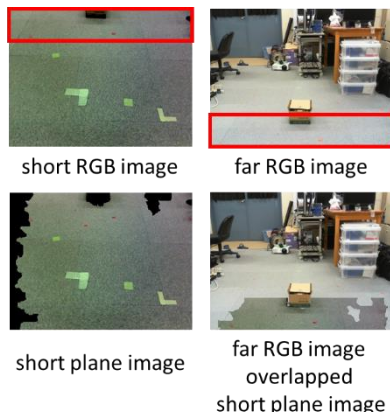


図 2 重なっている領域の投影

に取得した Depth 画像と平面 Depth 画像の各画素における距離情報の差を比較する．距離情報の差が閾値以下の画素と同位置の近 RGB 画像上の画素を平面画素とする．近 RGB 画像で領域分割した 1 つの小領域内の全画素に対して，その小領域内の平面画素が一定の割合以上であれば，その小領域は平面領域とする．全小領域に対して同様の処理を行い，生成した画像を近傍平面画像とする．

5. 見かけの類似した歩行可能領域の検出範囲の拡大

5.1. 広域カメラを用いた検出範囲の拡大

3.2 節で述べたように，近 RGB 画像と遠 RGB 画像が重なるように (図 3)，RGB-D カメラをタブレット端末に取り付ける．遠 RGB 画像上の近傍平面画像と重なっている領域で，近傍平面画像上の平面領域は，遠 RGB 画像の同位置においても平面とする．遠 RGB 画像上で平面とした領域の拡大については 5.2 節で述べる．

RGB-D カメラと広域カメラの重なっている領域を算出する．ここで，近 RGB 画像と Depth 画像は撮影範囲が同一とし，RGB-D カメラと広域カメラの取り付け位置は 2 画像間の横方向のずれがないようにする．図 3 に示すように，視覚障がい者はタブレット端末とカメラの高さが h となるように機器を装着し，カメラの方向を，歩行進行方向とする．RGB-D カメラの垂直方向からの角度を θ とし，広域カメラは RGB-D カメラから水平方向に ϕ ずらして固定する． R_{max}, B_{min} はそれぞれ視覚障がい者から RGB-D カメラで撮影する画像の上端，広域カメラで撮影する画像の下端までの水平距離である (図 3 右)．RGB-D カメラと広域カメラの鉛直方向の画角をあらかじめ取得しておき，それぞれのカメラの画角の半分を α, β とする．下式(1)~(2)を用いて， R_{max}, B_{min} は $\theta, \phi, \alpha, \beta$ で表すことができる．

$$R_{max} = h \tan(\theta + \alpha) \quad (1)$$

$$B_{min} = h \tan(\theta + \phi - \beta) \quad (2)$$

RGB-D カメラから画像中心の路面までの距離を R_{depth} とすると，下式(3)を変形した(4)を用いて，Depth 画像から θ を取得することができる．

$$R_{depth} \cos \theta = h \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{h}{R_{depth}}\right) \quad (4)$$

以上により， R_{max}, B_{min} を算出できる． R_{max} と B_{min} の差分を用いると，重なっている領域の大きさが取得でき，領域の算出が可能になる．このとき，近 RGB 画像

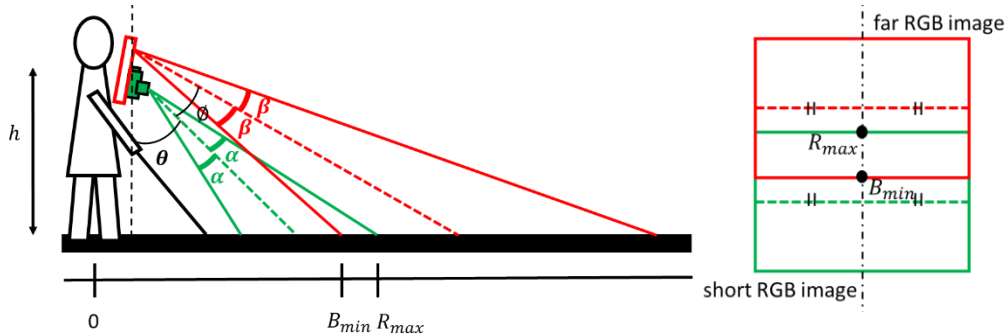


図 3 RGB-D カメラと広域カメラの位置関係

と遠 RGB 画像が 2 つのカメラの向きの違いにより、両端が数 cm ずれて重なることがあるが、本手法では問題にいたらないずれである。

5.2. 領域分割および小領域比較

近傍平面画像と遠 RGB 画像の色空間を RGB から HSV へと変換する。遠 RGB 画像の重なっている領域の平面領域と遠 RGB 画像に対して Superpixels を適用することで領域分割を行う。今回は HSV 色空間での領域分割を RGB 色空間上に投影している。分割した小領域ごとに HSV の各成分の平均値を求める。遠 RGB 画像の小領域 1 つを対象として、HSV の 1 成分において、対象とした小領域の平均値と、遠 RGB 画像の重なっている領域の平面領域の各小領域の平均値との差を求める。その差が閾値以下である平面部分の小領域の数を求める。HSV の全成分で、その数が遠 RGB 画像の重なっている領域の平面領域の全小領域数に対して 30%以上存在すれば、対象とした遠 RGB 画像の 1 つの小領域は平面領域とする。この処理を遠 RGB 画像の全小領域に対して行い、平面領域の検出範囲を拡大する。処理後の画像を広域平面画像とする

6. 評価実験

6.1. 実験概要

本実験では、RGB-D カメラに Intel 社の 3D カメラ R200 を使用する。R200 の距離情報有効取得範囲は 0.5m~4.0m であり、屋外での使用もサポートされている。タブレット端末上の広域カメラとして Microsoft Web カメラの LifeCamHD3000 を用いる。この 2 つのカメラをノートパソコンに接続し実験を行う。今回は事前実験と検証実験、実証実験を行う。事前実験として、屋内外における Depth 画像の比較を行う。検証実験では、提案手法の有効性を検証するために、屋内外で複数の路面環境を対象として撮影を行う。このとき、検出範囲は考慮しない。実証実験では、実際に目標距離の 10m 先まで平面領域の検出を行う。提案システムの実行環境は CPU: Intel Core i7 2.90GHz で、画像の解

像度はすべて 320 画素×240 画素で行う。

6.2. 事前実験

本研究では、提案システムの利用シーンを屋内外としている。そこで、屋内と屋外の曇天時と晴天時において、路面の材質の違いにおける精度を検証する。路面の材質には、検証実験時に撮影を行う箇所を選んだ。屋内では、絨毯と鏡面性の強い廊下、屋外ではアスファルトとタイル状である。各場所において、同じ高さから Depth 画像を取得し、距離情報を取得できていない画素数を求めた。この処理を 5 回行い、その平均値を算出した。実験結果を表 1 に示す。また、図 4 の上段左に絨毯、上段右に廊下、中段左にアスファルト(晴天時)、中段右にタイル状(晴天時)、下段左にアスファルト(曇天時)、下段右にアスファルト(曇天時)の各路面とその Depth 画像を示す。

表 1 距離情報取得失敗画素数の比率

材質	取得失敗画素数の比率
絨毯	8.9%
廊下	29.9%
アスファルト(晴天時)	2.7%
タイル状(晴天時)	8.8%
アスファルト(曇天時)	18.0%
タイル状(曇天時)	57.8%

R200 は、赤外線を照射し、ステレオ計測により、距離を算出している。このため鏡面性の強い廊下や細かい凹凸の多いタイル状の路面では、赤外線が他の方向に反射してしまい、距離情報の取得に失敗することが多い。また屋外では、曇天時に比べて、晴天時の方が、距離情報の取得失敗数が少ない。本実験で用いた、Intel 社の 3D カメラ R200 は、晴天時は赤外線の照射を止め、太陽からの赤外線を利用する。太陽による赤外線の量は RGB-D カメラの照明からの照射量より多いため、取得可能な距離情報が安定したと考えられる。

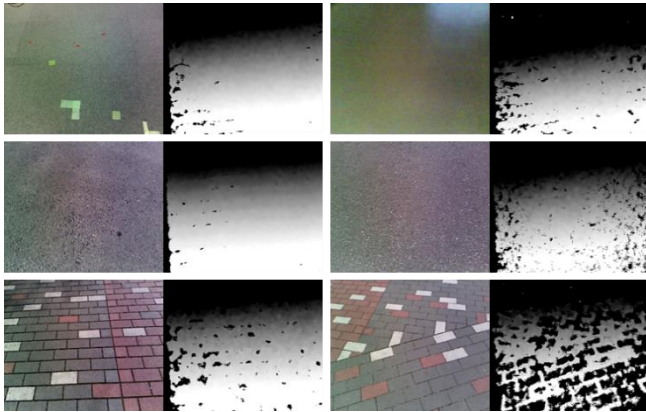


図 4 各路面における Depth 画像

6.3. 検証実験

本手法の有用性を検証するために、屋内外の複数の路面環境において撮影を行う。そして、近 RGB 画像、Depth 画像のそれぞれで、平面に見える領域とそうでない領域について検討し、近傍平面画像と広域平面画像と比較する。本実験は平面領域検出の精度検証のため、目標とする 10m 先までは考慮しない。検証した場所を以降で述べ、各場所の画像を図 5 に示す。各ブロックの上段左が近 RGB 画像、上段右が Depth 画像、下段左が近傍平面画像、下段右が広域平面画像である。屋外での実験時、天候は晴天である。

<屋外>

- 前方にくぼみがある路面 (図 5 上段左)
- 類似した色の階段がある路面 (図 5 上段右)

<屋内>

- 異なる色の床面 (図 5 下段左)
- 前方に壁がある床面 (図 5 下段右)

以降、各箇所について検証する。

- 前方にくぼみがある路面 (図 5 上段左)

近 RGB 画像では、画面上部、つまり前方にくぼみがあるのが確認できる。Depth 画像では前方が黒くなっているため、確認はできない。近傍平面画像を見ると、くぼみは平面扱いされていないので、成功といえる。

また広域平面画像では、中心に存在するくぼみの色が路面の周辺の色と類似しているため、くぼみの一部を平面と誤って認識しており、一部失敗している。

- 類似した色の階段のある路面 (図 5 上段右)

近 RGB 画像には、図 12 と同様のタイル状の路面が確認できる。Depth 画像では、距離情報を取得できていない画素が多いが、近傍平面画像を見ると同様に補間できており、成功といえる。

広域平面画像では、前方に存在する路面の色と類似した階段に対して、平面ではないと認識しているため

成功といえる。

- 異なる色の床面 (図 5 下段左)

近 RGB 画像では、床面の色が異なることが確認できる。しかし Depth 画像では、2 色の床面間において変化はなく、近傍平面画像においても、2 色の床ともに連続した平面と認識しており、成功といえる。

広域平面画像では、2 色の床に対して近傍平面画像で 2 色とも平面と認識できているため、どちらも平面領域と認識できている。また、前方に存在する障害物に関しては概ね除外できているが、障害物の一部を連続した平面として認識してしまっており失敗している。これは Superpixels による領域分割の際、小領域の大きさが障害物より大きいため、障害物と床面を 1 つの小領域に含んでしまったことが原因と考えられる。そのため、小領域の大きさの調節が必要があるが、小さくしすぎると、処理時間も増加するため、適当な大きさにする必要がある。

- 前方に壁がある床面 (図 5 下段右)

RGB 画像では、2 色の平面を確認できるが、壁、床のどちらであるか判断できない。しかし、Depth 画像では、それら二つの平面が連続していないことが分かる。近傍平面画像中においても、床のみを平面として認識しているため成功である。

広域平面画像では、近傍平面画像で床のみを平面として認識しているため、検出範囲を拡大した際も床のみを平面として認識しており、前方に存在する壁は認識していないため成功といえる。

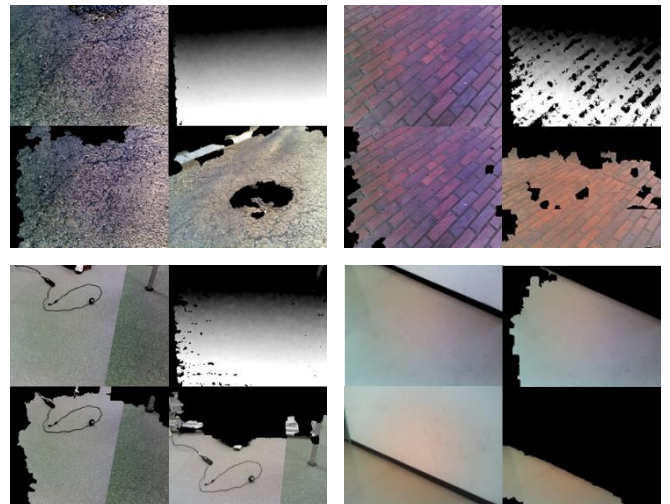


図 5 検証実験結果

実験を行った場所は、本学周辺である。3.2 節において、見かけの類似した平面領域はある程度の広がりを持つとした。検証実験を行った場所では、前提条件を

満たす場所が多く、本学以外の場所においても、前提条件を満たす場所が多いことが期待できる。

遠 RGB 画像において、検出範囲の拡大について路面の色と同じ色の障害物があった場合、平面領域として検出してしまうことがある。そのため、今後は色情報以外の画像特徴量を用いることでそれらを取り除くことを目指す。また、歩行前に決定した RGB-D カメラの位置姿勢と、歩行中の RGB-D カメラの位置姿勢がずれてしまうと、平面領域の検出が困難であった。そのため、歩行中に RGB-D カメラの位置姿勢がずれても、平面領域の検出ができるような、ロバスト性のある手法の検討が今後必要となる。

6.4. 実証実験

最後に、本研究の目標検出範囲である 10m 先までの平面領域の検出を行う。図 6 の左に示す遠 RGB 画像中のコーンが、撮影している場所から 10m の位置である。図 6 の右に平面領域の検証の結果を示す。

図 6 右の広域平面画像では、障害物である車を平面と認識しておらず、また 10m 先までにおける平面領域の検出ができていないことが確認できる。



図 6 10m 先までの平面領域の検出

7. おわりに

本研究では、RGB-D カメラと広域カメラを用いて、視覚障がい者の単独歩行支援のシステムを提案した。RGB-D カメラにより、視覚障がい者付近の平面領域を検出し、広域カメラと組み合わせることで、10m 先までの平面領域を検出した。RGB 画像と Depth 画像を組み合わせた相互補間で平面領域の検出により、広範囲の平面検出を実現した。本システムを屋内外の複数の路面環境において、検証実験を行い、本手法の有効性を示した。最後に実証実験にて目標である 10m 先までの平面領域検出を行った。

今後の課題として、Depth 画像を用いた別の平面検出手法の検討、検出した平面領域の精度の向上と、視覚障がい者へのフィードバックの方法が挙げられる。1 つ目に関しては、松本らの手法[6]の適用を試みる。2 つ目に関しては、遠 RGB 画像における平面領域拡大の際に、色情報に加えて、別の画像特徴量を統合することで精度の向上が期待できる。また 3 つ目に関しては、進行方向が平面でなければ、音による注意喚起を

行う予定である。

参考文献

- [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] 永松義博，“視覚障害者の外出行動における歩行行動特性に関する研究”，造園雑誌，Vol.46, No.5, pp77-80, 1983
- [3] 速水正樹，MichaelHild，“視覚障害者の安全歩行を目的とするステレオ画像を用いた階段の検知”，平成 22 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集，VoL2010, 2010
- [4] Hotaka Takizawa , Shotaro Yamaguchi , Mayumi Aoyagi, Nobuo Ezaki, Shinji Mizuno, “Kinect cane: an assistive system for the visually impaired based on the concept of object recognition aid”, Personal and Ubiquitous Computing, VoL19, No.5, pp955-965, 2015
- [5] 内藤康太，鈴木寿，“ステレオカメラを用いた視差情報による屋内床面抽出の研究”，研究報告知能システム，Vol.163, No.5, pp1-6, 2011
- [6] 松本一紀，フランソワドゥソルビエ，斎藤英雄，“RGB-D カメラから取得した 3 次元点群の平面フィッティングを用いた実時間ノイズ低減と補間”，映像情報メディア学会誌 Vol.69, No.3, pp113-120, 2015
- [7] 関晃仁，奥富正敏，“道路面情報に基づくステレオ動画画像を用いた車両の前方環境認識”，情報処理学会，VoL.1, No.1, pp1-19, 2008
- [8] 交通エコロジー・モビリティ財団，“視覚障害者用誘導警告ブロックに関する研究報告書”，交通エコロジー・モビリティ財団，2010