

デプスカメラと加速度センサ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[‡]

[†] [‡] 筑波大学 〒305-8573 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 視覚障がい者が単独で歩行する際、視覚以外での安全確認を行う必要がある。本研究では、デプスカメラとデプスカメラを取り付けるタブレット端末に内蔵されている加速度センサを用いて、路面上の歩行可能な平面領域の検出の方法を提案する。まず、デプスカメラから3次元点群を作成し、各点の法線ベクトルを求める。また加速度センサと併用することで、鉛直方向のみの法線ベクトルを選出し、それを用いて、水平面領域を検出し、路面上の歩行可能な平面領域の検出とする。

キーワード 視覚障がい者、単独歩行支援、デプスカメラ、加速度センサ

1. はじめに

現在、日本の視覚障がい者の数は約 31 万人に達しており[1]、単独で外出する際、白杖の携帯が義務付けられている。白杖は、直接路面に触れることで、障害物や段差の有無を判断することができる。しかし、白杖は、検出範囲が白杖の長さに依存するため 1m~2m と狭く、前方に下りの段差が存在すると、段差後の路面に白杖が届かなければ、段差後の路面状況を把握できない。また、進行方向の路面上の状況を把握するには時間がかかるため、晴眼者よりもゆっくり歩く必要がある。

以上の背景をふまえ、視覚障がい者の安心、安全な単独歩行の実現をするために、白杖の補填、代用となるようなシステムの開発が行われている。その一つとして、LRF(レーザレンジファインダ)や Microsoft 社の Kinect を用いるシステムがある。LRF を用いたシステム[2]では、路面全体の状況を把握するのに、時間がかかる。また Kinect を用いたシステム[3]では、Kinect が直射日光下での使用がサポートされていないため、屋外での使用が困難である。

上述した問題を解決するために、本研究では、屋内外での中における進行方向の路面上の歩行可能な平面領域を検出する。路面上の障害物や段差などの平面でない領域を実時間で視覚障がい者に知らせることで、白杖よりも早く、広範囲で視覚障がい者が路面状況の把握を行うことが望ましい。

本研究では、デプスカメラと加速度センサを用いて、歩行可能な平面領域を検出する。本研究の目標を達成するため、デプスカメラとそれを取り付けるタブレット端末に搭載されている加速度センサの利用が有効であると考えている。本研究で使用しているデプスカメラは屋外での使用もサポートされている intel 社の 3D カメラの R200 である。このカメラは、小型であるため、視覚障がい者が歩行する際に携帯していても負担が少ない。デプスカメラは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、デプスカメラのみを用いた平面領域の検出では、壁などの路面上ではない平面領域も検出してしまう。本研究の目的は、路面上の歩行可能な平面領域の検出である。そのため、デプスカメラに加え、タブレット端末の加速度センサを用いることで、水平面領域のみを検出する。

2 章に関連研究、3 章にデプスカメラと加速度センサを用いた路面上の平面領域の検出の概要、4 章に 3 次元点群を用いた法線ベクトルの算出、5 章に法線ベクトルを用いた平面領域の検出、6 章は評価実験を記す。

2. 関連研究

2.1. 視覚障がい者単独歩行支援

視覚障がい者が単独で歩行する際、白杖を携帯する他に、盲導犬を伴うことがある。しかし、盲導犬の育成には多くの時間と費用を要する。そのため、日本には約 1000 頭しかおらず、視覚障がい者に比べ、数が圧倒的に少ない。

センサ等を用いた視覚障がい者の単独歩行支援として、後藤ら[2]は、LRF を用いた歩行支援システムを提案している。2, 3 歩先の地面に向けてレーザを照射しているため、階段などの段差の検知は可能である。しかし、1 直線方向のみの検知となり、進行方向の路面上全体での検知は白杖同様、方向の切り替えを行う必要があり、時間がかかる。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。白杖に Kinect を取り付け、取得したデプスデータ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。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。速水ら[4]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、階段を検出

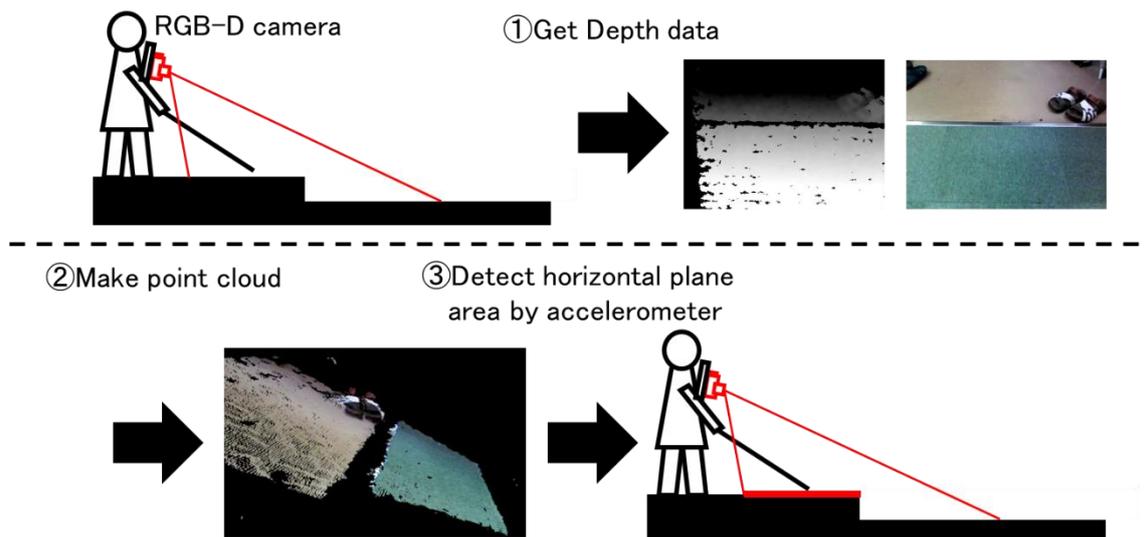


図 1 提案手法概要

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、画像間で直線を対応づける。対応した直線付近でマッチングを行うことで、階段の検出を実現している。階段の検出は、視覚障がい者の安全な単独歩行を可能にする。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。

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、屋内の床平面の検出手法を提案している。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、床平面領域を検出している。しかし、壁がない屋外などでの利用は困難である。関ら[6]は、自動車の走行中に車載のステレオカメラを用いて、道路上の平面領域の検出を行う、障害物検出手法を提案している。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。また、A.Trevorら[7]は、3次元空間上に点群を作成し、作成した点群の各点の法線ベクトルを算出し、その法線ベクトルから平面領域を検出する手法を提案している。本研究では、平面領域検出の際、この手法を用いている。

3. デプスカメラと加速度センサを用いた路面上の平面領域の検出

本研究では、デプスカメラを用いて作成した3次元点群と加速度センサを用いて、歩行可能な平面領域を

検出する。本手法の提案手法の概要を図1に示す。

本研究の手法は2段階で構成される。1段階目は、鉛直方向の法線ベクトルの算出である。まずデプスカメラから取得したデプスデータから3次元点群を作成する。作成した3次元点群の各点の法線ベクトルを算出する。水平面は法線ベクトルが鉛直方向である。そのため、デプスカメラを取り付けるタブレット端末の加速度センサを用いる。デプスカメラをタブレット端末に固定して取り付けることにより、加速度センサで取得した傾きをデプスカメラの傾きとできる。取得した傾きから鉛直方向以外の法線ベクトルを取り除く。

2段階目は、取得した3次元点群の法線ベクトルから、平面領域の検出である。検出した平面の方程式を用いてデプスカメラからの距離を算出する。算出した距離から路面上のみの平面領域のみを検出する。

4. 3次元空間上の点群と加速度センサを用いた鉛直方向の法線ベクトルの算出

4.1. フィルタリングしたデプスデータを用いた点群の作成

本手法は、デプスカメラで取得したデプスデータを用いて3次元点群を作成する。

取得したデプスデータには小さな欠損が生じていることがあり、そのデプスデータを用いて3次元点群を作成すると、同じく欠損が生じてしまう。

そのため、本手法では、3次元点群を作成する前に、デプスデータにフィルタリングを行い、欠損を減らす。今回用いるフィルタは、メディアンフィルタである。図2にフィルタ適用前と後のデプスデータと、R200でデプスデータと同時に取得可能なカラーデータを示す。

図2を見ると、フィルタ適用前に対し、適用後のほ



図 2 フィルタの適用

うが、欠損が減っていることがわかる。フィルタを適用したデプスデータを用いて 3 次元点群を作成する。

4.2. 法線ベクトルの算出

作成した 3 次元点群の各点における法線ベクトルを S.Holzor ら[8]の手法を用いて算出する。この手法は、3 次元点群に対し、積分画像を作成し、各点の前後間の点のベクトルと左右間の点のベクトルとの外積をその点に対する法線ベクトルとする。

4.3. 加速度センサを用いた鉛直方向の法線ベクトルの算出

水平面の法線ベクトルは鉛直方向である。鉛直方向の法線ベクトルを算出するために、加速度センサからの傾き情報を利用する。今回デプスカメラは、タブレット端末に固定するため、タブレット端末の傾きとデプスカメラの傾きは同期している。そのため、タブレット端末の傾きから、3 次元点群の鉛直方向がわかる。3 次元点群の鉛直方向から閾値の角度以内の法線ベクトルの点以外は 3 次元点群から取り除く。

5. 鉛直方向の法線ベクトルを用いた路面上の平面領域の検出

5.1. 法線ベクトルを用いた平面領域の検出

取得した法線ベクトルを用いて、平面領域を検出する。本手法では A.Trevor[7]の手法を用いる。この手法は、3 次元点群の各点の法線ベクトルを順にスキャンする。注目している法線ベクトルの左側と上側で隣接している法線ベクトルとの距離の差と方向の差が閾値以下であれば、同じ平面上の点とし、同じラベルを付ける。3 次元点群中の全点群に対し、ラベルを付け、同じラベルの集合を平面とする。図 3 に、加速度セン

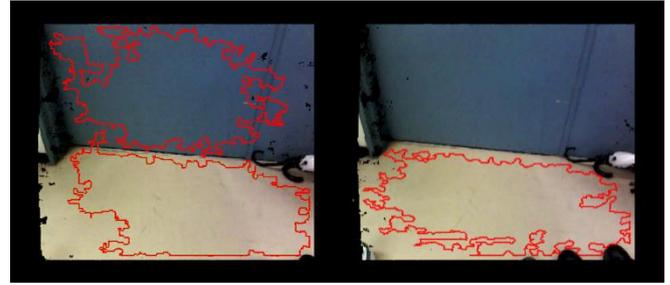


図 3 床面だけの平面領域の検出

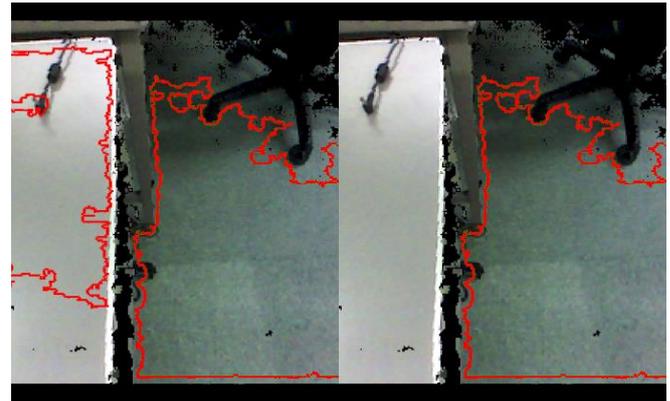


図 4 路面上だけの平面領域の検出

サを用いない場合（図 3 左）と用いた場合（図 3 右）の床と扉に対する検出結果を示す。今回は、法線ベクトルの方向が 45 度以内の法線ベクトルのみを用いて平面領域を検出した。検出した平面領域を赤線で囲む。結果を見ると、加速度センサを用いない場合では、床と扉両方を検出してしまっているが、加速度センサを用いることで、床面のみを検出できていることが分かる。

5.2. 路面上の平面領域の検出

5.1 で水平面領域の検出を行ったが、水平方向だけでは、路面上だけでなく、机や車のフロントなども検出する可能性がある。そのため、路面上の水平面領域のみを検出するため、一度検出した平面の方程式を用いて、点群の座標系の原点である、デプスカメラから平面までの距離を算出する。またデプスカメラはタブレット端末に固定されているため、デプスカメラの高さはタブレット端末の高さと同じである。そのため、その高さを基準とし、その高さから閾値以内の距離にある平面のみを検出することで、路面上の水平面のみを検出する。図 4 に、机と床を含む場合の平面領域の検出結果を示す。検出された平面領域は、赤線で囲む。図 4 左では、机と床の 2 箇所を平面領域として検出しているが、平面からの距離に対し、閾値処理することで、図 4 右のように、床のみを平面領域として検出していることが分かる。

6. 評価実験

6.1. 実験概要

本実験では、1章でも述べたように、デプスカメラとして、Intel社の3DカメラR200を使用する。R200のデプスデータ取得範囲は0.5m~4.0mであり、屋外での使用もサポートされている。R200は赤外線を照射し、ステレオ計測により、デプスデータを取得している。また屋外では、赤外線の照射を止め、太陽からの赤外線を利用する。今回の評価実験では、R200をタブレット端末に固定し、屋内外の複数の路面環境において本手法を適用する。本手法を適用し、白杖が届く範囲より広範囲に平面領域を検出できているか、また実際は平面でないが、平面領域と検出される原因について考察を行う。今回適用する箇所は、屋内外それぞれにおいて、白杖での検出が困難である下り段差、上り段差、障害物が前方に存在する箇所である。今回、階段についての検証は、段差と同じ扱いとした。また実行環境はCPU: Intel Core i7 2.20GHzで、システム実行時のfpsは1.5である。

6.2. 実験結果

実験結果を図5に示す。1つの箇所について4枚の画像で構成しており、左上が、カラーデータ、右上がデプスデータ、左下が、作成した3次元点群、右下が、3次元点群で検出した平面領域を赤線で囲んだ画像である。屋外での実験時、天候は快晴、また全箇所において、カメラの位置は路面から約100cmの高さから撮影した。以降、各箇所における結果の検証を行う。

・下り段差（屋外）（図5左上）

本箇所では、前方約2mに約10cmの下りの段差が存在するが、本手法を適用したとき、段差前の路面と奥の路面を別の平面領域として検出している。これは、白杖よりも広範囲に平面領域を検出できているといえる。また、取得したデプスデータについて、屋内で取得したデプスデータよりも、欠損が少ない。これは、太陽による赤外線の量が、R200の照射よりも多いため、安定するためだと考えられる。

・上り段差（屋外）（図5左中）

本箇所では、前方約2mに約7cmの上り段差が存在するが、本手法を適用したとき、段差手前の平面領域のみを検出している。段差奥の平面領域が検出されていないのは、段差奥の路面が、タイル状となっており、赤外線が他の方向に反射してしまい、デプスデータの欠損が多くなってしまったためである。

・障害物（屋外）（図5右下）

本箇所では、前方約1.5mに障害物が存在する。本手法を適用したとき、障害物を避けて、路面上の平面領域を検出している。また今回、約3mと白杖よりも広範囲に平面領域を検出できている。

障害物の影となっている部分は、赤外線が、障害物に遮られてしまうため、デプスデータが取得できず、欠損が生じてしまう。そのため、平面領域としても検出されていない。

・下り段差（屋内）（図5右上）

本箇所では、前方約2mに約6cmの下りの段差が存在するが、本手法を適用したとき、段差前の床面の平面領域のみを検出している。段差後の床面では、材質の鏡面性が強く、3次元点群の欠損が多いことが確認できる。そのため、こうした床面に対して、色情報を用いて補間し、床面後の平面領域の検出を目指す。

・上り段差（屋内）（図5右中）

本箇所では、前方約2mに約15cmの上りの段差が存在するが、本手法を適用したとき、段差前の床面の平面領域のみを検出している。段差部分の鉛直方向の平面領域は、加速度センサを用いた手法において、検出されていない。

・障害物（屋内）（図5右下）

本箇所では、前方に2つの障害物が存在する。左の障害物は前方約2.5mで高さが約15cm。右の障害物は前方約2mで高さが約5cmである。本手法を適用したとき、左の障害物付近まで平面領域の検出できており、白杖よりも広範囲に平面領域を検出できているといえる。

左の障害物は平面として認識していないが、右の障害物は床面と同じ平面として認識してしまっている。これは、障害物の高さが低いためである。3次元点群の法線ベクトルから平面を検出する際の、閾値を調整することで、この障害物も避けることができる。しかし、それにより、平面である床面も平面として検出されなくなる可能性もあるため、どれほどの大きさの障害物までを取り除く必要があるか、検討する必要がある。

7. おわりに

本研究では、デプスカメラと加速度センサを用いて、視覚障がい者の安心、安全な単独歩行支援のシステムを提案した。デプスカメラで作成した3次元点群と加速度センサと組み合わせることで、路面上の平面領域のみの検出を実現した。本システムを屋内外の複数の

路面環境で実証実験を行い、本手法の有効性を確認した。

今後の課題として、システムの高速度化、検出した平面領域の精度の向上、そして視覚障がい者へのフィードバックの方法の検討が挙げられる。1 つ目に関しては、別の平面領域の検出手法の検討し、実時間処理を目指す。2 つ目に関しては、デプスカメラで取得したデプスデータにかけるフィルタの大きさおよび種類の変更などを試みる。3 つ目に関しては、視覚障がい者の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。

本研究は JST-RISTEX の助成を受けた。

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] 後藤伸也, 渡邊謙太郎, 戸田英樹, チャビ・ゲンツイ, “視覚障害者のための LRF を用いた障害物段差検出機能を持った歩行支援システム”, 信学技報, Vol.111, No.57, pp35-38, 2011
- [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*, Vol19, No.5, pp995-965, 2011.
- [4] 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.
- [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] 関晃仁, 奥富正敏, “道路面情報に基づくステレオ動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.
- [7] A.Trevor, S.Gedikli, R.Rusu, and H.Christensen. “Efficient Organized Point Cloud Segmentation with Connected Components”, In 3rd Workshop on Semantic Perception Mapping and Exploration (SPME),2013.
- [8] S.Holzer, RB.Rusu, M.Dixon, S.Gedikli, and N.Navab. “Adaptive neighborhood selection for real-time surface normal estimation from organized point cloud data using integral images”, In *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp 2684–2689, 2012.

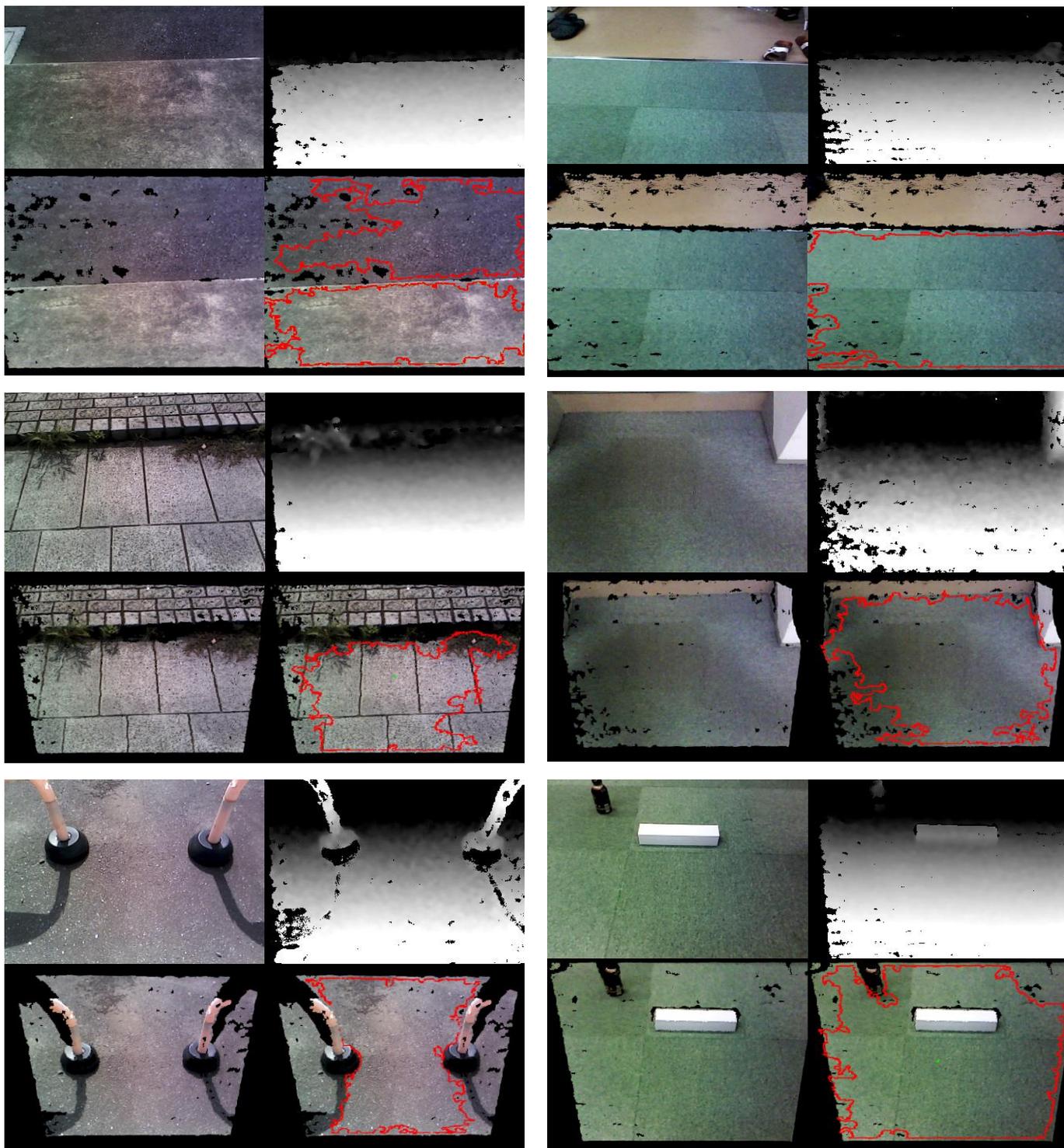


图 5 实验结果