

(51) デプスカメラを用いた車椅子利用者のための 物理的バリアの可視化検証

高橋 里緒¹・檀 寛成²・安室 喜弘³

¹ 非会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)
E-mail:media.englab.tostemkuni15@gmail.com

² 非会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

³ 正会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)
E-mail:yasumuro@kansai-u.ac.jp

近年、我が国では、他の先進諸国に例を見ない程の急速な高齢化と同時に、身体的弱者の増加傾向にある。福祉政策により新しい公共建築物等でのバリアフリー化は進むものの、既設環境では、詳細な物理的バリアの検証や把握は容易ではないことが車椅子利用者に寄り添ったバリアフリー化を妨げている。また、実環境の物理的バリアを AR (Augmented Reality) で可視化する既往研究では、実環境及び車椅子の通行軌跡の 3 次元モデル作成に時間がかかり、迅速性を欠く。そこで本研究では、デプスカメラの入力を実時間処理することで効率よくバリアを検出し AR で可視化する手法を提案する。3 次元点群データから床面を認識し、車椅子の占める空間との干渉チェックにより、バリアとなり得る起伏や狭隘箇所を 2cm 単位程度で検出可能となった。

Key Words: Wheelchair, Barrier-free, Depth camera, 3D point cloud, Augmented reality, RANSAC

1. はじめに

日本社会では、加速的な少子高齢化により、国民人口における高齢者の割合が高まり続け、平成 28 年 10 月 1 日現在で、総人口 1 億 2,693 万人のうち 65 歳以上の高齢者人口は 3,459 万人であり、高齢者率は 27.3%である。また、高齢者の要介護者等数も増加が進んでおり、平成 25 年度末で 569.1 万人と報告されている¹⁾。要介護者の移動手段としてよく使用するものとして車椅子が挙げられるが、車椅子利用者は段差や設備品の出っ張りなどの物理的バリアを感じやすく、バリアの多い環境では身体的弱者の自立的移動が困難となるだけでなく、身の危険に繋がる可能性も高まる。平成 18 年にはバリアフリー新法が制定され、駅や公共建築物のトイレ、スロープなどの環境整備も進むようになり、バリアフリーマップの作成、また新設の建築物に関してはバリアフリー化の設計が普及している。しかし、対象範囲が限定的で、特に既存施設でのバリアフリー化は進みにくいという現状があり、車椅子利用者の生活環境をカバーするようなバリア情報も得難い。その原因には、物理的バリアが健常者にとっては気づきにくい場所に多いことや、バリアフ

リー化のための現場の検証に時間や費用がかかるということが挙げられる。したがって本研究では、車椅子利用者の動線における物理的バリアを可視化し、リアルタイムでバリアの存在を検証することが可能なシステムを提案する。バリアの気づきを容易にすることで施設管理者が現状の実態を把握・改善しやすくなり、今後増加する車椅子利用者と健常者双方にとって、過ごしやすい環境づくりに役立てることを目的とする。

2. 関連研究・技術

(1) 現在のバリア検証方法

現在、具体的な福祉住環境整備を検討するための実施手順は 4 段階ある。まず障害者の生活動作を把握するためのチェックシートの記入を行い、次に改修希望箇所を方眼紙やスケールなどを用いて計測し、さらに採寸したデータから見取り図の作成を行い、最後に見落としのないように現状写真の撮影を行う²⁾。この手順には多くの時間と費用が付きものであるため、バリアフリー推進のためバリア検証簡易化の需要があると考えられる。

(2) 3次元計測に基づくバリア検証

Yasumuro らは、デプスカメラにより実空間の3次元座標、距離画像、信頼画像、鮮度画像を取得することで対象空間の3次元モデルを作成し、車椅子と通路の仕様から導き出した車椅子の最小通行軌跡モデルを組み合わせ、3次元モデルと車椅子の軌跡との干渉がある箇所を検出して強調表示することでバリア検証を行っている³⁾。3次元計測カメラにより対象エリアを多視点で撮った複数のデータから3次元モデルを構成しているものの、モデル作成のためのデータの統合や、車椅子モデルとの干渉判定などの手順がオフラインで行われるため、現場での素早いバリア検証ができない。そのため、デプスカメラによりリアルタイムでのAR表示を行うことにより現状のバリア情報を即時に把握できるようなシステムが必要である。また、施設管理者や介護者などだけでなく車椅子利用者でもバリア検証が可能となるように、手軽なシステムツール開発の必要性も考えられる。

3. 提案手法

(1) 概要

本研究では精度の高いバリア情報をリアルタイムで視覚的に分かりやすく提供するために、カメラ位置と実空間の距離関係及び車椅子の形状を考慮した、ARでのバリアの可視化を提案する。環境の3次元モデルを構築する代わりに、デプスカメラで得られる3次元点群データをそのまま環境情報として利用し、車椅子の軌跡モデルを作成する代わりに、3次元点群中に車椅子が占める領域を表示し、利用者が仮想的に現場で車椅子を置いて動かすことで、干渉の有無を確認できるようにする。

(2) バリア可視化システム

デプスカメラによる3次元距離計測で得られる3次元点群データから床面を検出し、車椅子の寸実法で作成した車椅子モデルの存在範囲との重なりを判定する。デプ

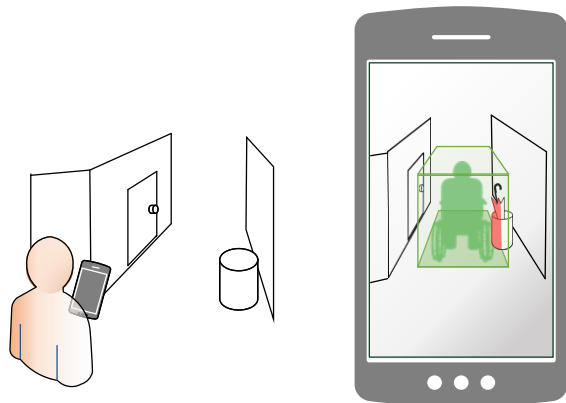


図-1 将来システムイメージ図

スカメラの座標系において、対象空間の3次元点群データを取得し、図-1に示すように、カメラ視野の中心付近において推定した床平面上に車椅子モデルを配置する。このような表示を見ながらユーザがカメラを持って歩くことで、常にカメラの中心に表示された車椅子を、後ろから押して動かしているような感覚を与えることができる。システムの処理手順は図-2のとおりである。まず、車椅子の仕様から回転範囲を基にして車椅子のボリュームモデルを作成する。実環境においては、デプスカメラを用いて3次元点群を取得する。カメラ視野の中心にサンプル範囲を設定し、サンプルされた点群データを平面近似することで、床平面の推定を行う。推定された床の平面に垂直な法線ベクトルを基準に、車椅子のモデルを配置して存在領域を設定し、実空間の3次元点群との干渉箇所のチェックを行う。これにより検出されたバリア部分の3次元点群が強調され可視化できる。

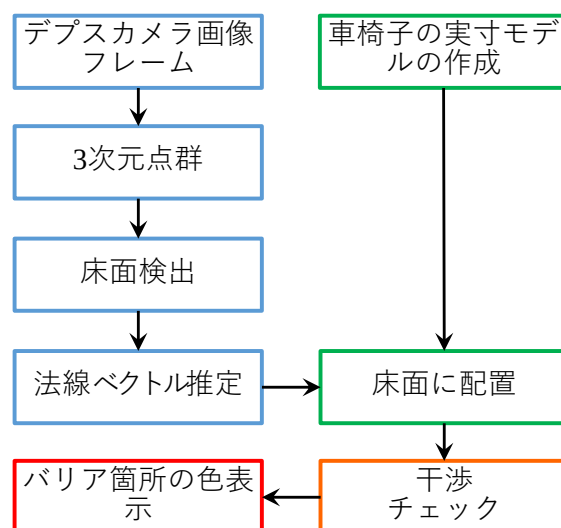


図-2 提案手法による処理手順

(3) RANSACによる平面近似

平面近似に使用するデータは、デプス画像の中心座標から設定された半径で決まるサンプル範囲内に存在する点群の座標である。サンプル範囲内に外れ値があった場合、最小二乗法の結果に大きく影響するため、RANSAC(Random sample consensus)を導入する⁵⁾。手順を図-3に示す。まず、指定したサンプル範囲内の点群に対し最小二乗法を用いて平面近似を行い、法線を算出する。次に、サンプル範囲内の各点群に対しランダムに、n%の確率で inlier、その他を outlier に分類する。次に、inlier の点群に対して最小二乗法を用いて平面近似を行い法線を作成する。二乗誤差を比較し、改善されていれば inlier の点群を採用して更新する。この処理 N 回繰り返すことで、算出に使った点と使われなかった点をランダムに入れ替え、なるべく外れ値を含まない inlier を選択

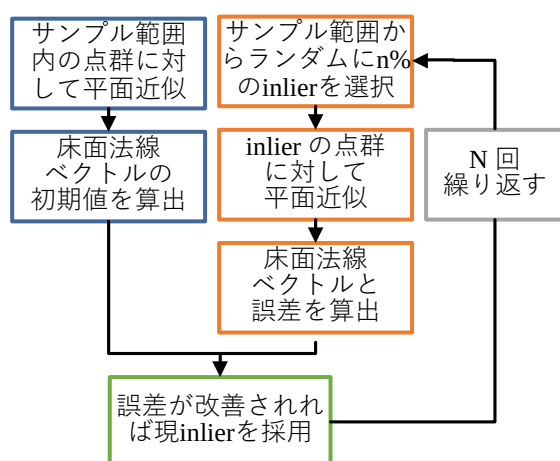


図-3 RANSACの手順

し、平面近似の誤差を改善するものを採用することで、平面近似の最適化を図っている。今回は $n=50$, $N=1000$ として実装した。

(4) カメラ位置によるサンプル範囲設定

サンプル範囲はデプスカメラの画像中心からの半径で設定しているが、カメラの画角は一定であるため、図-4 (左) のようにカメラ位置が遠ければ検証範囲も広く取られてしまい、検証範囲内にはずれ値が入り込みやすくなり誤差が生じる可能性が高まる。そこで、図-4 (右) のようにカメラと床面の距離に応じた一定数の点をサンプルし直すようプログラムすることで、同じ条件下でもうまく床面推定することが可能となる。具体的には、距離に応じて半径のサイズを5段階に分け、検証の際に動的に変動させることにより、カメラ位置に依存しない正確な床面推定を可能とする。

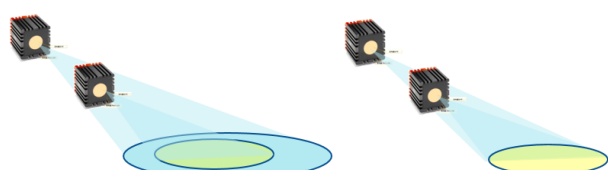


図-4 サンプル範囲の調整なし (左) と調整あり (右)

4. 実装実験

本研究では、車椅子利用者の日常生活での動線におけるバリア検証を想定し室内を対象空間として実験を行った。近赤外線 TOF (Time of Flight) 方式 3 次元距離計測カメラ SwissRanger SR4000 (Mesa 社製) ⁹⁾ を用いた実測により、 176×144 画素のデプス画像を実時間 (60 fps) で取得した。開発環境には Visual Studio 2010 (Microsoft 社) を使い、画像処理には OpenCV, AR 表示には OpenGL を

利用した。図-5 (左) に示すように PC とカメラを接続した状態で、図-5 (右) のように機材を持ちカメラを床面に向けて空間内を歩き進むことでバリア箇所を確認する。今回、図-6 (左) に示す通路を検証空間としてカメラを進めていき、①, ②, ③の3箇所 (図-6 (右)) においてバリア検証を行った結果を示す。図-7 のように国交省と JIS (Japanese Industrial Standard) の規格を参考にし、高さ 130cm 回転半径 90cm の車椅子回転モデルを作成した。デプス画像に対してカメラからの距離に応じて色情報 (遠いほど寒色) を付け加えて表示した画像が図-8 (左) であり、車椅子モデルと実空間との干渉箇所の点群をバリアと判定し赤くハイライト表示したものが図-8 (右) である。また、動的に得られる AR での検証結果であり、検証開始時はカメラの視点方向での表示であるがマウスで視点と拡大小を変更して干渉箇所を確認することもできる。

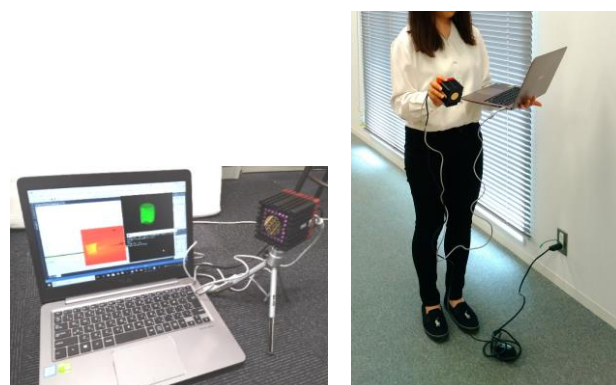


図-5 検証機材 (左) と検証風景 (右)

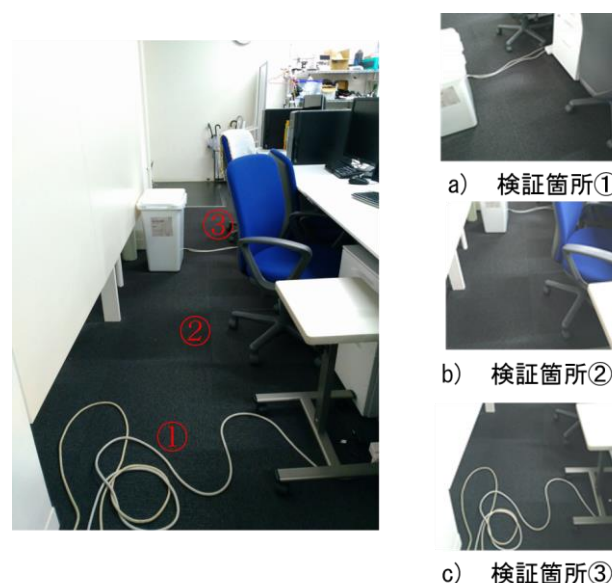


図-6 検証空間全体 (左) と本稿で示す検証箇所 (右)

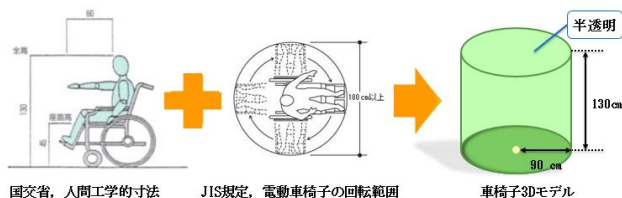


図-7 車椅子モデルの作成

どれほどあるのか、検出されたバリアの奥ゆき・幅・高さの寸法はどれほどあるのかなどの詳細な情報を表示する方法については検討中である。今後は、検出されたバリアに関する数値または色などの細かな情報を抽出し提示していく必要があると考える。また、取得したバリア情報を再利用できるように蓄積する機能も必要である。

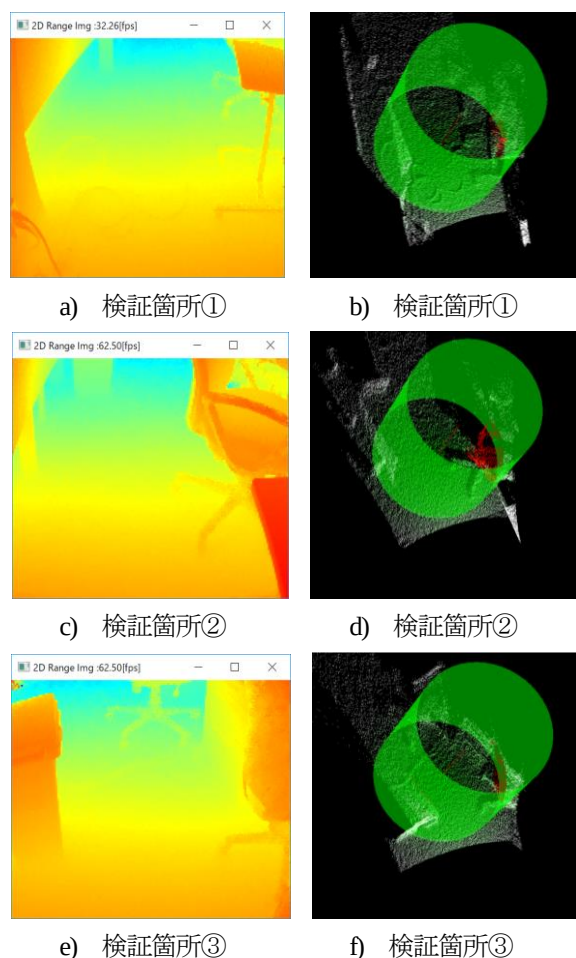


図-7 各箇所のデプスマップ (左) とその検証結果 (右)

5. 考察

本研究では、任意の経路・撮影視点・方向からバリアの有無をリアルタイムで検証し可視化することができている。また、車椅子の回転幅・高さも検証中に変更可能であり、車椅子の通行時に周囲に必要とされるスペースに合わせてバリアを検証し可視化することができる。SR4000 で取得できる空間情報に色情報はないものの、どの程度のバリアが存在するのかが多角度から把握でき、その場で実空間と比較しながら確認できる。検証に使っているデプス画像の3次元点群については、120～130cm程度の高さから約45度程度の角度でカメラを床に向けた場合に、1～2cm程度の起伏を物理的バリアとして検出できる。しかし、障害物と車椅子モデルの間の余裕が

6. おわりに

本研究では、デプスカメラにより検証空間の点群を取得し、RANSACによる床面検出から物理的検証を仮想的に行うことができる実時間のARにより、車椅子モデルを設置し実空間と照合することでバリアの有無を確認でき、対象空間にカメラを向けるだけで検証を可能とする手法を提案した。これにより車椅子を実際に持ち出さなくともバリアの確認が可能となり、車椅子利用者のためのバリア検証にかかる時間の短縮や作業を簡便化することで、バリアの確認を容易にするというニーズに対し寄与することができると考えられる。

今後は、デプスカメラから取り得た点群からバリアと判定された箇所の詳細なバリア情報を取得することが課題である。また、Googleにより開発されたTango[®]のように、赤外線を利用したデプスカメラや広角カメラ、ジャイロなどの異種センサを併せもち、画像認識技術を融合したプラットフォームにおいて本手法を活用することを検討する予定である。これにより、ユーザの動きのトラッキングやバリア情報のマップ化をスマートデバイス単体で動作するアプリケーションとして実現することで、より簡便なバリア検証の提供に寄与すると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：平成29年版高齢社会白書，pp.2-6，2017.
- 2) 佐橋道弘：バリアフリー改修の実践ノウハウ，pp.22-23，株式会社オーム社，2011.
- 3) Y. Yasumuro and H. Dan：Web-based 3D Barrier-Free Verification for Wheelchair Access, ICCBEI2015, p.46 (ID:70), 2015.
- 4) M. A. Fischler, R.C.Bolles：Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, 1981.
- 5) R.Lange, P. Seitz：Solid State Time-Of-Flight Range Camera, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 37, Issue 3, pp. 390-397, 2001.
- 6) D. Keralia, K.K.Vyas, and K. Deulkar, Google Project Tango – A Convenient 3D Modeling Device, International Journal of Current Engineering and Technology, Vol. 4, No. 5, pp. 3139-3142, 2014.