

360 度カメラからの室内壁平面の推定 Estimation of Wall Planes in an Indoor Scene Captured by a 360-degree Camera

奥田 祐子[†]
Yuko Okuda

喜多 泰代[†]
Yasuyo Kita

松田 一郎[†]
Ichiro Matsuda

伊東 晋[†]
Susumu Itoh

1. はじめに

360 度カメラ画像は情報量の多さが魅力であるが、画像認識の観点からは特有の画像の歪みが難点となる。これに対し提案されているのが、図 1 のようにカメラ位置を始点とし、360 度カメラ画像を 3 次元空間上に適切に設定された投影平面に再投影する手法である [1]。これにより歪みが補正された画像を生成することが可能であるが、認識対象の位置に応じた適切な投影平面の設定を適宜行う必要がある。本研究ではこの設定の自動化を目指す。

室内のシーンでは、認識を行いたい対象物が壁際に多く存在すると仮定し、本研究における適切な投影平面を、壁に十分に近くかつ壁に対し概ね平行な平面であると位置付ける。これは図 2, 3 に示すように、投影面が壁に対し平行でない場合（投影平面 A）、再投影された画像に歪みが生じてしまい、投影平面が壁から離れている場合（投影平面 B）、対象物の解像度が不足してしまうためである。本稿では、適切な投影平面の位置及び姿勢を、単一の 360 度カメラ画像から自動的に推定する方法について検討する。

方針として、室内のシーンには壁の継ぎ目や棚、机など直線で構成された構造物が多く含まれており、より適切な投影平面を設定できた場合、生成される画像にはこれらの直線が水平・鉛直方向に投影される傾向があることに着目する。すなわち、投影平面を移動・回転させながら生成された画像に含まれる水平・鉛直直線を抽出し、それらの統計的性質を調べることで適切な投影平面を推定できると考えられる。なお、近年の 360 度カメラは電子コンパスを内蔵しており、撮影後に撮影時のカメラの天井方向の傾きを補正する機能を有している。また、360 度カメラ画像に含まれる水平直線を利用して天井方向の補正を行う手法[2]も提案されていることから、本研究では入力画像の天井方向が、実際の天井方向と概ね一致していることを前提とする。

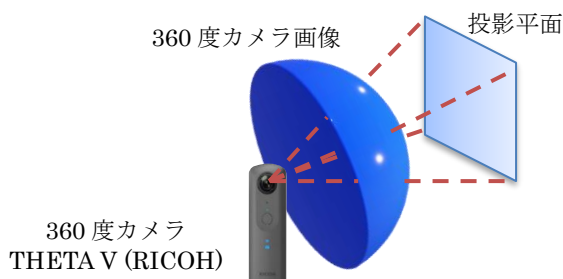


図 1 360 度カメラ画像の再投影

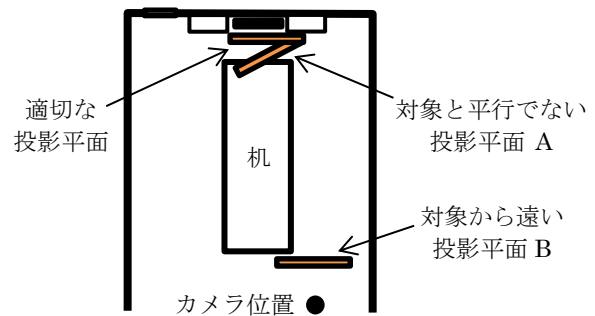


図 2 部屋の一例と投影平面の位置及び方向



a) 360 度カメラ画像
(入力画像)



b) 適切な投影平面への
投影画像



c) 平面 A への投影画像



d) 平面 B への投影画像

図 3 入力画像とそれぞれの投影平面への投影画像

2. 提案手法の概要

本章では提案手法の手順及び推定に用いる指標について述べる。

[†] 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and
Technology, Tokyo University of Science

2.1 処理手順

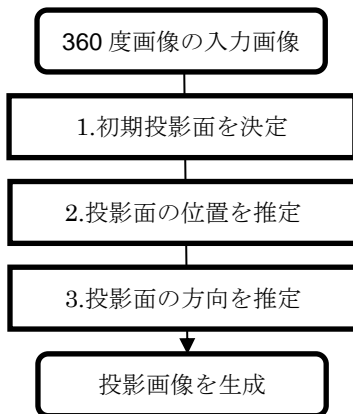


図4 提案手法

提案手法の処理の流れを図4に示す。手順1ではおおよその位置、及び方向を推定した初期投影平面を決定する。その後手順2では位置、手順3では方向のパラメータについて、より精度の高い推定を行う。詳しい手法については次節以降に記述する。

2.2 推定に用いる指標

本稿では投影平面のパラメータ推定に、投影画像上に存在する線分の傾きごとの長さの合計値を用いる。生成した投影画像に対しCanny法[3]によるエッジ抽出と確率的ハフ変換[4]を適用して線分を抽出し、抽出された線分をその角度から水平、鉛直、その他に分類する。このとき、同じ分類に属する線分の長さの合計をそれぞれ $Length_H$ 、 $Length_V$ 、 $Length_{Other}$ とする。

本稿では水平及び垂直方向に分類する角度の範囲をそれぞれ $\theta_1 = -10 \sim 10^\circ$ 、 $|\theta_1| = 80 \sim 100^\circ$ と設定した。具体例を図5に示す。ここでは水平線分を赤、鉛直線分を緑、その他の線分を青で表記している。

また線分の長さを合計する際、線分の誤検出の影響を緩和するため、より長い線分が優遇されるよう重み付けを行った。抽出された線分のうち最長の長さを Max_Length としたとき、 $Length_H$ 、 $Length_V$ 、 $Length_{Other}$ は次式で求められる。

$$Length_H = \sum \frac{Lengths_H(i)}{Max_Length} Lengths_H(i) \quad (1)$$

$$Length_V = \sum \frac{Lengths_V(i)}{Max_Length} Lengths_V(i) \quad (2)$$

$$Length_{Other} = \sum \frac{Lengths_{Other}(i)}{Max_Length} Lengths_{Other}(i) \quad (3)$$

ただし、 $Lengths_H(i)$ 、 $Lengths_V(i)$ 、 $Lengths_{Other}(i)$ はそれぞれの分類における*i*番目の線分の長さを示している。

3. 初期投影面の決定

3.1 同接円投影平面

初期投影面の決定には、同接円投影平面を用いる。同接円投影平面はカメラ位置を中心とした円に接する投影平面群を指す(図6)。角度 θ_2 及び半径 r をパラメータとし、これにより初期投影面のおおまかな位置と方向を同時に決定する。

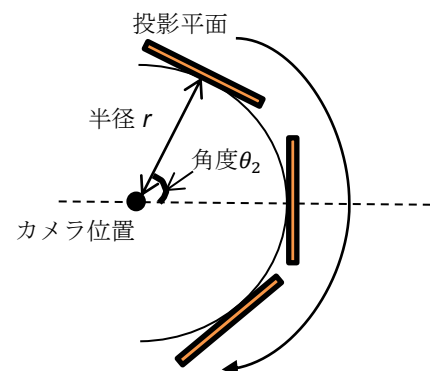


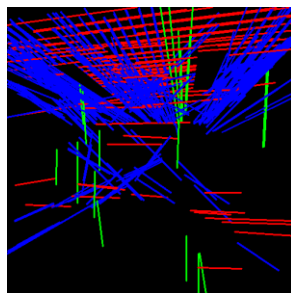
図6 同接円投影平面

3.2 初期投影平面の決定

壁と並行に設定した投影画像は歪みが少なく、水平線分を多く含む傾向があるため、 $Length_H$ を指標として用いる。まず半径 r を一定とし、角度 θ_2 を変化させてそれぞれの $Length_H$ を算出し、最大値を得た角度 θ_2 の投影平面を半径 r における角度推定結果とする。角度変化に対する $Length_H$ のグラフの例を図7に示す。本稿では半径 r を1000mmから1000mm刻みで20000mmまで変化させ、それぞれについて θ_2 と $Length_H$ の関係を表すグラフを取得する。さらに、極大値をただ一つのみ持つグラフのうち半径 r が一番小さいものを選択し、そのときのグラフの極大値を与える角度 θ_2 と半径 r の組み合わせを初期投影平面のパラメータとして採用する。極大値をただ一つのみ持つグラフが存在しない場合は、最大の極大値を $Peak1$ 、二番目に大きい極大値を $Peak2$ としたときの $\frac{Peak2}{Peak1}$ の比が最小となるグラフの半径 r と、そのグラフの極大値 $Peak1$ を与える角度 θ_2 の組み合わせを採用することとした。



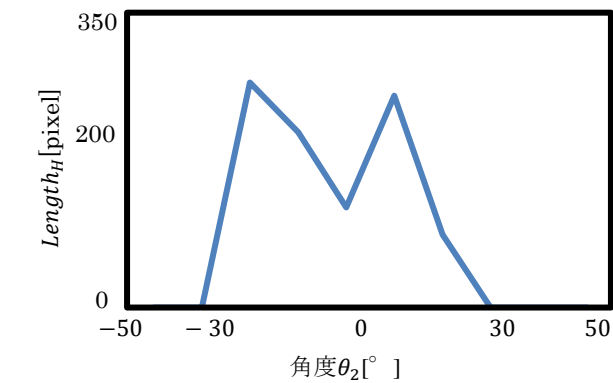
a) 投影画像



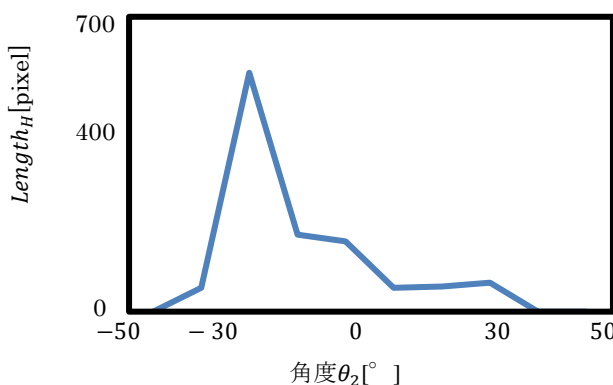
b) 線分の分類

図5 線分の抽出及び分類

(赤：水平、緑：鉛直、青：その他)



a) 最大角度が不明瞭な例 ($r = 1000mm$)



b) 最大角度が明確な例 ($r = 3000mm$)

図7 θ_2 と $Length_H$ の関係を示すグラフの例

4. 投影平面の位置推定

前章で決定した初期投影平面からさらに図8のように投影平面を平行移動させ、投影画像を得る。投影平面の位置が壁に近付くにつれ、投影画像から壁の接合部に対応した斜めの直線(図9a)においてえんじ色で示した線)が見切れていくと考えられる。そこで、投影画像に含まれる水平・鉛直以外の線分の合計長さの全体に対する割合 R_{notHV} を指標とする。

$$R_{notHV} = \frac{Length_{other}}{Length_{other} + Length_H + Length_V} \quad (4)$$

この R_{notHV} は、図9b)のように投影平面が壁に近付くにつれ減少し、ある一定の値に落ち着くと考えられる。このように R_{notHV} が下げ止まったときの距離 r を採用する。本稿では、距離 r が初期投影平面の半径 $r + 20000mm$ となるまで $1000mm$ 刻みで投影平面を平行移動させ、それぞれの距離 r において R_{notHV} を算出し、そのグラフにおいて R_{notHV} の最大値を与える距離 r より右の部分に着目する。

位置推定は最初に R_{notHV} が0となったときの距離 r を採用する。そのような距離 r が存在しない場合は、実際の R_{notHV} のグラフを図9b)に示すような2直線でフィッティングし、その2直線の交点となる距離 r を採用する。この時、実際のグラフの各値と2直線のうち近い方との距離の和が最も小さくなるように2直線を決定する。

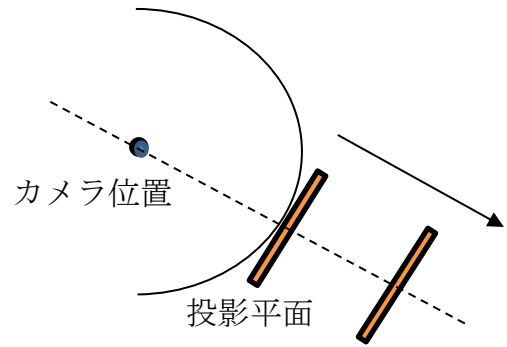
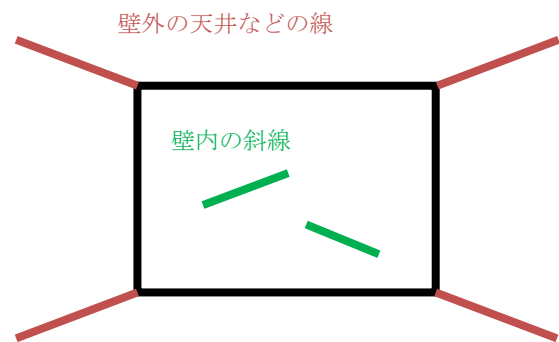
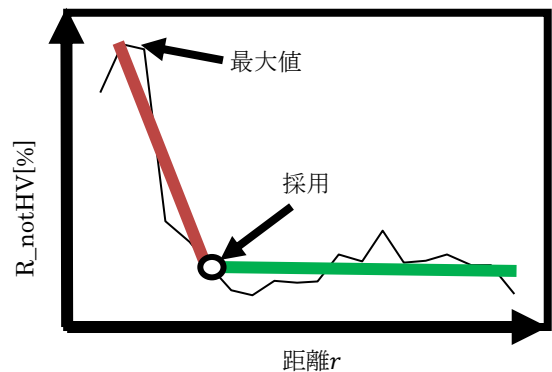


図8 位置推定における投影平面の動き



a) 壁のモデル



b) R_{notHV} グラフの2直線フィッティング

図9 R_{notHV} の二直線特性

5. 投影平面の方向推定

前章で推定された投影平面について、その中心位置を通る天頂方向の軸周りに回転させながら投影画像を得る。ここで $Length_H$ を指標とし、その最大値を与える回転角 θ_3 を採用する。

6. 実験及びその結果

独自に用意した様々なタイプの4部屋、計10枚の360度カメラ画像を入力画像とし、提案手法を適用させた。成功例を図10に示す。図10a)の入力画像に対し初期投影平面の決定を行った結果が図10b)であり、そのパラメータは図7b)のグラフから導出されたものである。

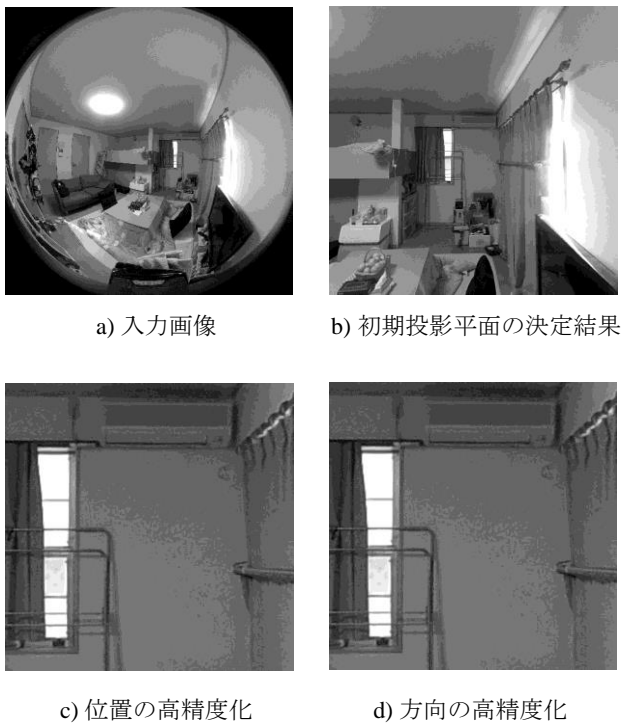


図 10 成功例

この図 10 b) に対し投影平面の位置推定を行って得られた R_{notHV} のグラフを図 11 に示す. 最大値を得た $r = 3000\text{mm}$ 以降で最初に 0 となる距離 $r = 11000\text{mm}$ を採用した結果が図 10 c) である. さらに投影平面の方向推定を行い, 最大値を得た角度 $\theta_3 = -25^\circ$ を採用した結果が同図 d) である.

実験に使用した 10 枚の入力画像のうち 9 枚については, 目視ではあるが壁際の物体の認識に利用できると考えられる精度で投影平面の推定を行うことができた. 精度が不十分と判断された唯一の例を図 12 に示す. 同図 b) の出力結果には天井や床, 机など壁以外の部分が多く映り込んでしまっており, 投影平面の距離 r はより大きく推定されるべきであることが分かる. また特に上部の天井と壁との境目が斜めとなっていることから, 方向推定も十分でないことが分かる.

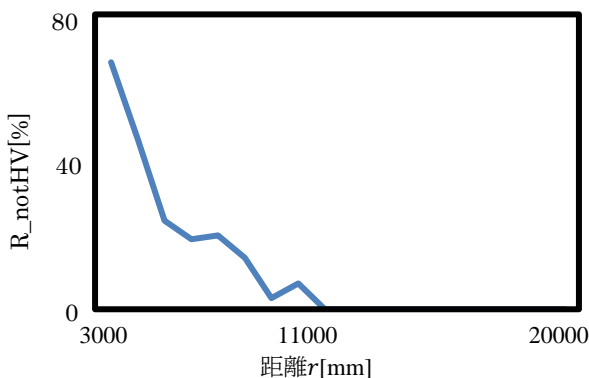
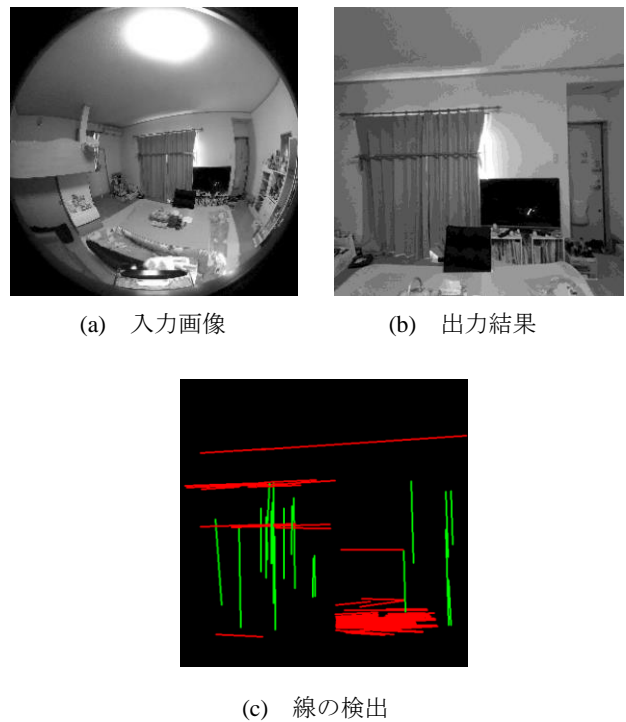
図 11 成功例における R_{notHV} のグラフ

図 12 位置・方向の高精度化が不十分と判断された例

図 12 c) は出力結果から線分を抽出したものである. この画像の右下の部分にエッジが集中しており, 水平線分の誤検出が多く発生していることが分かる. これにより, 方向推定においても十分な精度を出せなかったと考えられる.

今回の実験では, 正方形の投影平面を用いたが, 一般的な壁は, 横長の長方形であるので, 投影平面の形状の最適化も加えることによって, より望ましい壁面推定が行えると考えられる.

7. 結論

本稿では, 3次元空間上に設定した投影平面に室内の 360度画像を再投影して得られる投影画像の水平線や垂直線の割合を手掛かりに, 壁際の物体認識に適する投影平面の推定する手法を提案した. 実験に使用した 10 枚の 360度画像のほとんどで十分な精度で推定を行うことができ, 提案手法の有望性が示された一方, 投影平面の形状の最適化や線分の誤検出の低減が今後の課題である.

参考文献

- [1] Yasuyo Kita, et al., "Detection and localization of pallets on shelves using a wide-angle camera", Proc of 19th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2019), pp. 785-792, Dec. 2019.
- [2] Jinwoong Jung, et al., "Robust upright adjustment of 360 spherical panoramas", The Visual Computer, vol.33, pp.737-747, June 2017.
- [3] J. Canny, "A computational approach to edge detection", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.PAMI-8, no.6, pp.679-698, Nov. 1986.
- [4] J. Matas, et al., "Progressive probabilistic Hough transform", Proc. of British Machine Vision Conference (BMVC 1998), pp.256-265, Sep. 1998.