

全方位画像を利用した簡易的な空間モデリングの検討

河合直樹[†] 近藤孝夫[†] 田中美苗[†]

大日本印刷株式会社[†]

1 はじめに

屋内外の光景を伝達するためにバーチャルリアリティ (VR) が活用されている。コンピュータグラフィックス (CG) で制作されたコンテンツは視点の移動に制約が無いが、制作コストや写実性に課題がある。実写した全方位画像を利用すれば手軽に写実的なシーンを見廻すことができるが、視点は撮影位置に限定される。全方位画像の代表的な活用分野として不動産物件の検索サービスがあるが、居住空間の内部は概ね直方体で通常室内には什器等が配置されていない。

実写画像に基づいて室内を直方体で近似してモデリングとテクスチャ生成をする研究が報告されている。前原ら[1]は室内で6枚の写真を撮影して各壁面に相当するテクスチャを生成する手法を提案したが、撮影時に部屋の高さを計測する必要があり、撮影後には画像中に24点を指定する必要がある。中村ら[2]は1枚の全方位画像から壁単位の領域を切り出して各壁に相当するテクスチャを生成する手法を提案した。点の指定は8点で済むものの、カメラの位置が既知である必要があり、撮影時に計測を要する。モデリングの手掛かりとして何らかの特徴点が必要であるが、位置計測が不要になれば、より手軽にCG表現が活用可能になる。

本研究では、部屋サイズやカメラ位置の情報を使わずに、全方位画像上で室内の四隅の稜線として指定した8点のみから各壁形状の比率を推定し、直方体のモデリングと各面に対応したテクスチャを生成する手法を提案する。一般的に、全方位画像は傾斜を含むが、提案手法では指定した稜線に基づいて天頂補正も行うため前処理も省略できる。提案手法により撮影時の実測と前処理の必要が無くなり、従来手法よりも手軽にフライスルー等のCG表現が可能になる。

2 提案手法

2.1 垂直稜線の指定

部屋の形状を直方体で近似する手がかりとして、鉛直方向の4稜線を画像上に指定する。図1左に示すように、部屋の4隅に位置する稜線をマウスを使って指定する。各稜線の両端点となる8点が直方体の8頂点に相当する。一般的に厳密に鉛直な姿勢でシーンを撮影することは困難であり、画像にはある程度の傾きが含まれるため、稜線も傾斜している。指定した稜線は直方体推定に先立って天頂補正にも用いられる。

2.2 天頂補正

指定した4稜線を用いて原画像の傾きを補正し、画像の垂直方向をシーンの天頂方向に一致させる。全方位画像内でカメラの傾斜による回転軸位置と回転角度がわかれば、3次元的な逆写像を施すことで傾斜をキャンセルできる。Kawai[3]は全方位画像中から概ね垂直なエッジ

を多数抽出して、最小二乗法により回転軸と回転角を推定して逆写像を施す手法を提案した。本研究では自動抽出したエッジの代わりに手作業で指定した4稜線から回転軸と回転角を推定して天頂補正する。図1右に4稜線に基づいた天頂補正結果を示す。



図1. 4垂線の設定と天頂補正結果

2.3 平面図の推定

天頂補正後の稜線位置に基づいて、平面図上の長方形形状を推定する。図2左に示すように、三次元での点の位置は直交座標系と球面座標系の双方で記述できる。撮影時のカメラ位置Cを原点として、稜線 $P_0 \sim P_3$ の方位角 $\varphi_0 \sim \varphi_3$ が画像中の各稜線の横軸方向位置により特定できるので、図2右に示すように各稜線への距離 $D_0 \sim D_3$ を推定できれば長方形が定まる。寸法を実寸で求める必要はないため D_0 を基準距離1として、 $D_1 \sim D_3$ を相対値で求める。これにより、四辺形の $X_W Z_W$ 平面内の各頂点位置は以下のように記述できる。

$$\begin{aligned} P_0: (x_0, z_0) &= (\sin \varphi_0, \cos \varphi_0) \\ P_1: (x_1, z_1) &= (D_1 \sin \varphi_1, D_1 \cos \varphi_1) \\ P_2: (x_2, z_2) &= (D_2 \sin \varphi_2, D_2 \cos \varphi_2) \\ P_3: (x_3, z_3) &= (D_3 \sin \varphi_3, D_3 \cos \varphi_3) \end{aligned}$$

ここで四辺形 $P_0 P_1 P_2 P_3$ は長方形であり、対向する辺が平行で等しい。従って対向する辺 L_{01} と L_{23} のベクトル $\vec{P_0 P_1}$ と $\vec{P_2 P_3}$ が一致するため以下が成立する。

$$-x_0 + x_1 - x_2 + x_3 = 0 \quad (1)$$

$$-z_0 + z_1 - z_2 + z_3 = 0 \quad (2)$$

また、四辺形の内角はすべて直角となる。従って隣接する L_{01} と L_{30} が直交することから $\vec{P_0 P_1}$ と $\vec{P_0 P_3}$ の内積は0になり、以下が成立する。

$$(x_3 - x_0)(x_1 - x_0) + (z_3 - z_0)(z_1 - z_0) = 0 \quad (3)$$

いま未知数が3 ($D_1 \sim D_3$) で関係式が(1)～(3)の3式あるので、解析的に解を求めることができる。

ここまでの解析で、長方形の比率と同時にカメラの相対位置が原点として推定できた。

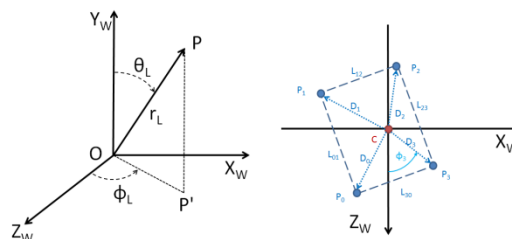


図2. 座標系と平面図の推定

A Simplified Method for Modeling Space Using a Single Ominidirectional Image

[†] Naoki Kawai, Takao Kondo and Mina Tanaka · Dai Nippon Printing Co., Ltd.

2.4 天井と床の高度推定

得られた平面図に対して天井と床の高度を得ることで、直方体形状を確定する。正距円筒図法では球面座標系の方角に応じて画素が配列しているため、各稜線の端点での天頂角 θ が端点画素の縦軸方向位置から直接得られる。一方で、直交座標系における稜線位置 (x および z) は既に得られていることから、天井/床の高度 y が(4)式により求められる。

$$y = \frac{\sqrt{x^2+z^2}}{\tan \theta} \quad (4)$$

天井/床の高度は4稜線のそれぞれから独立に得られ各々にばらつきが含まれるため、平均値をとって確定する。

2.5 テクスチャ生成

直方体内部を室内空間としてCGで描画する際には、各面にマッピングするテクスチャが必要になる。テクスチャマッピングは平面のテクスチャを平面のポリゴンに線形に投影するため、像に歪みが含まれる正距円筒図法のままでは正しくマッピングできない。そのため全方位画像から直方体の各面に対応する領域を抽出し、平面に再投影することで6面分のテクスチャを得る。

まず、テクスチャ領域として任意のサイズで6面分の2次元配列を用意する。各面の4頂点位置は既知であり、面内の各画素の3次元位置は直交座標系で4頂点の座標値を内挿することで特定できる。次に画素位置を直交座標系から球面座標系に変換し、全方位画像からその方角に位置する画素値を取得して当該画素の画素値とする。正距円筒図法では、横軸を方位角 ϕ 、縦軸を天頂角 θ として画素が配列しているため、球面座標値から直接画素値を参照することができる。このとき、原画像上の画素は離散的な位置に定義されているため、補間によりジャギーの発生を抑制する。

図3にテクスチャの生成例を示す。ここでは各面のテクスチャを正方形で作成しているが、テクスチャの縦横比は任意で良く、レンダリング時には各ポリゴンの縦横比に伸縮してマッピングされる。

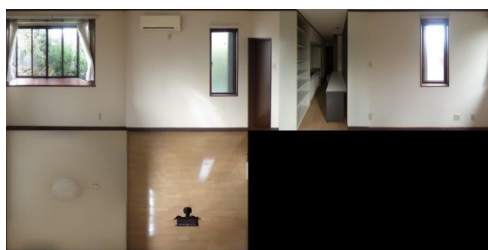


図3. 生成した6面分のテクスチャ

3 実験結果

RICOH社製 THETA S で撮影した正距円筒図法の全方位画像 (解像度: 5376×2688 画素) を用いて提案手法を検証した。OpenGL で実装した入力ツールを使って、マウス操作により図1左に示す4稜線を指定した後、前述した手順で、天頂補正、直方体推定、テクスチャ生成を行った。指定作業は概ね1分以内で完了し、その後の演算処理はDELL社製 Precision T1700 (Intel Xeon 3.2GHz) を用いて全体で10秒程度で完了した。天頂補正の処理時間は最小二乗法の判定ステップ数に依存するが、本実験では回転軸 (方位角) を 0.1° 刻みで3600ステップ、回

転角を 0.1° 刻みで300ステップとして実施した。

生成した直方体を、Javascript と WebGL で実装したビューワで視点移動しながらレンダリングした結果を図4に示す。大きな違和感なくフライスルーが実現できていることが確認でき、4稜線情報だけから直方体の推定とテクスチャ生成が適切に行われたことがわかる。一方、撮影時にカメラから遠い領域に近づいたりズームすると、図5左に示すようにテクスチャの解像度が粗くなりジャギーが目立つ。また、什器等を含む空間では物体が床面や壁面のテクスチャとして扱われるために、図5右に示すように視点位置に応じた歪みが生じている。



図4. フライスルーの様子

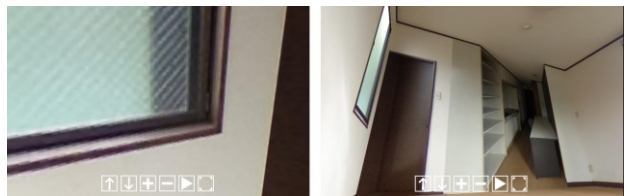


図5. ジャギーと歪み

4 むすび

本研究では、室内を撮影した全方位画像に対して、部屋の4稜線 (8頂点) を指定することで直方体に近似したモデルとテクスチャを生成する手法を提案した。提案手法では部屋のサイズや撮影時のカメラ位置などの事前情報が不要で、また指定した稜線を利用して傾き補正も行うため、従来手法と比較してより小さな負荷でモデル生成が可能である。

実験からは、傾斜した全方位画像から短時間の操作で意図に沿ったモデル生成とテクスチャ生成ができ、専門的な制作作業をすることなく誰もが手軽にフライスルーを表示する可能性を示せた。一方で、部屋を直方体で近似する従来手法と同様に、直方体形状からの乖離や原画像の解像度に起因するクオリティの限界が確認された。

今後の課題として、4稜線 (8頂点) の自動抽出による処理の全自動化があげられる。提案手法では天頂補正も実行されるので、全方位画像を撮影した直後にフライスルーを再生できるようになり、実用分野だけでなくエンタテインメント分野などにも利用が広がると期待できる。

参考文献

- [1] 前原秀明; 中村亘; 田中聡. 実写静止画を利用したリアルタイム CG のための仮想室内空間の簡易制作. 電気学会論文誌. C, 2000, 120.7: 977-985.
- [2] 中村暢達; 國枝和雄; 根本啓次. パノラマ画像を利用した三次元シーンデータの生成. 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, 1999, 99.183: 9-14.
- [3] Naoki Kawai. 2019. A method for rectifying inclination of panoramic images. In ACM SIGGRAPH 2019 Posters (SIGGRAPH '19). ACM, Article 23, 2 pages.