

デジタル写真からの 3D 室内モデル再構築支援システムの検討 - ユーザとのインタラクションを介して -

高嶋 順也* 黒岩 丈介* 小倉 久和* 小高 知宏† 白井 治彦**

The Examination of Reconstruct Support System

Based on Digital Picture of Interior - Through the Interaction with User -

Junya TAKASHIMA* , Jousuke KUROIWA* ,
Hisakazu OGURA* , Tomohiro ODAKA† and Haruhiko SHIRAI**

(Received February 16, 2009)

In this paper, we investigate the supporting system which restructure the 3D-interior-model through the interaction with user to employ the digital picture. Recently, we have a method that is making 3D-interior-model based on an digital picture of room. However, this method have difficult thing, since we must determine the position and direction of camera to employ the special equipment. Thearfore, in this paper, we examine the supporting system that determine the position and direction of camera through the interaction with user taking camera-model. In addition, when we determine the position and direction of camera, we relate the 3D-base-room-model based on the size of interior room and digital picture.

Thus, we can determine the position and the direction easily.

Key words : 3D-Interior-Model, Camera-Model, 3D-Base-Room-Model

1. はじめに

現在, 3D CAD を用いた 3D モデリングは, 建物を設計する際に有用な手法となっている. 顧客に対し設計案を提示したり, 顧客とインタラクティブに設計案を作成する際には, 実際の建物の外観や室内の様子の 3D モデルを直接提示することが可能となり, 顧客は視覚的に室内の様子を得ることができるため有用である.

3D CAD を用いた室内の 3D モデリングでは, 新築の際は図面をもとに室内の構造を計測し, 3D CAD を

用い 3D 室内モデルを作成していた. 一方改装・改築の際は, 現在の室内の様子(部屋の広さや高さ, 柱や梁の位置や幅, 窓の位置や大きさ等)を詳細に計測することで, 3D 室内モデルが作成された. しかし, 計測する項目が多岐にわたるため, 前もって業者が家まで訪れて計測する必要があり, これには手間と時間を要してしまうといった問題が生じる. また, レーザ等を用いた 3D 計測手法も用いられるが, 装置が高価であり, カメラ位置や向きなどの設定も容易ではない.

そこで, 本研究では, 部屋の内部を様々な位置と角度から撮影した複数の写真を用いて 3D 室内モデルを作成するという手法に注目した. 具体的には, 前もって部屋の広さ及び高さのみを計測してもらい, そのデータをもとに直方体の 3D 基本部屋モデルを作成する. その 3D 基本部屋モデルに対し部屋内部の写真を張り付ける(以後, テクスチャマッピングと呼ぶ)ことで, 3D

*工学研究科知能システム工学専攻

†工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

**工学部技術部

*Department of Human and Artificial Intelligent System

†Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course

**Department of Engineering

の室内モデルが与えられる。この場合、計測する項目は、おおまかな部屋の広さ及び高さのみであり、一般の人でも容易に計測可能である。

このような方法で3Dの室内モデルを作成するには、適切にテクスチャマッピングを実現することが必要である。しかし、テクスチャマッピングを適切に実現するためには、撮影者が室内のどの位置でどのような角度から撮影したのかを知る必要がある。このような情報を、撮影者に前もって計測してもらうことは、労力を要する作業を要求することとなるため望ましくない。そこで本研究では、上記の問題を解決する支援システムの作成を検討する

2. 支援システム

2.1 システムの作成方針

本研究では、デジタル写真から撮影時のカメラの位置・向きを推定するため各種モデルを用いる手法を提案する。まず室内の縦・横・高さを測定し、それを元に基本となる部屋のモデルである3D基本部屋モデルを作成する。そして3D基本部屋モデルの中に、カメラモデルを作成し、カメラモデルから見た3D基本部屋モデルをワイヤフレーム状で表示する。またこのワイヤフレームはカメラモデルのパラメータに依存しているため、カメラモデルの動きに合わせてワイヤフレームの形状は変化する。そして、ワイヤフレームとデジタル写真を重ねて表示し、デジタル写真における室内の壁と壁との境界線と一致するようにユーザとインタラクションを介してカメラモデルを動かす。この境界線を本研究では抽出直線と呼ぶ。ワイヤフレームと抽出直線が完全に一致した時のカメラモデルのパラメータが、撮影時のカメラモデルの位置・向きであると言える。このようなユーザとインタラクションを介す手法を用いることにより、複雑な幾何学方程式を用いることなく、カメラモデルのパラメータを求めることが可能である。

上記の様な方法で、デジタル写真からの3D室内モデル再構築を支援する。また本研究では、このように各種モデルを用いたカメラの位置・向きの計算を、カメラキャリブレーションと呼ぶ(図1参照)。

2.2 システムの作成方法

本項では、支援システムを作成する上で用いる座標系やモデルの定義、及び原理を説明する。

2.2.1 座標系の定義

1. モデリング座標系(オブジェクト座標系)

モデリングの形を定義している座標系である。オブジェクト座標系とも言う。本研究では3D基本部屋モデルを定義する際に使用する。

2. 世界座標系

モデルを設置する空間の座標系である。モデリング座標系で定義したモデルを、それぞれ世界座標系の中へ配置する。この作業をモデリング変換と言う。

3. カメラ座標系(視野座標系)^[1]

カメラを設置した位置を中心とする座標系である。一般にカメラ座標系では、スクリーンを xy 平面に、カメラの向き(奥行き方向)を z 軸にとる。視野面内にウィンドウをとり、視点とウィンドウなどから、ビューボリューム(表示される空間)を定める。

4. 正規化投影座標系

出力装置の画面上の座標 (x, y) と、その法線方向の座標からなる座標系で、大きさが、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$ となるように正規化したもの。この座標系内にビューポートをとる。

5. 装置座標系

出力装置の画面の座標系である。

2.2.2 モデル系の定義

3D基本部屋モデル

3D基本部屋モデルは簡易表現とするため、形状データを直方体のみとする。また、形状データの初期のサイズは縦・横・高さともに1とする。これらはモデリ

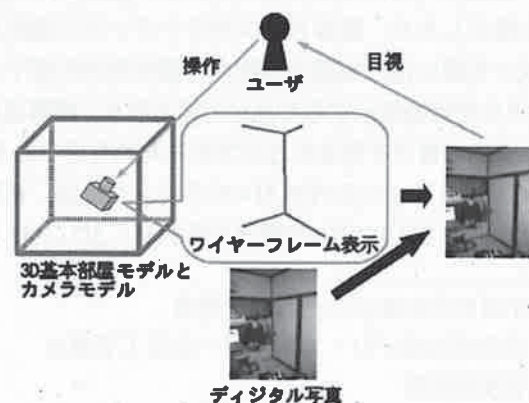


図1: カメラキャリブレーション

ング座標系で定義しており、実測値を入力することにより、初期の形状データのサイズから実際の部屋のサイズに変更となり、世界座標系に定義される。また3D基本部屋モデルのある一点を、世界座標の原点であるように定義する。

カメラモデル^[2]

3D基本部屋モデル中に定義するカメラのモデルである。カメラモデルはカメラ座標系を有しており、 x, y, z 軸方向への平行移動3自由度、 x, y, z 軸での回転移動3自由度の計6自由度のパラメータから成る。なおカメラモデルの回転にはロール・ピッチ・ヨーを用いる^[3]。カメラモデルの初期位置は部屋の中心とし、向きは Z 軸方向とする。

2.3 ワイヤフレームの表示

カメラモデルの平行・回転移動のパラメータを元に、3D基本部屋モデルをカメラ座標系上で定義する。そして投影変換、クリッピング処理を行ないシステム上にワイヤフレームで表示をする。ワイヤフレームで表示することにより、再表示時も容易に計算できリアルタイムで表示することが可能なため、ユーザとインタラクションを介すことにより直感的な位置合わせが可能となる。

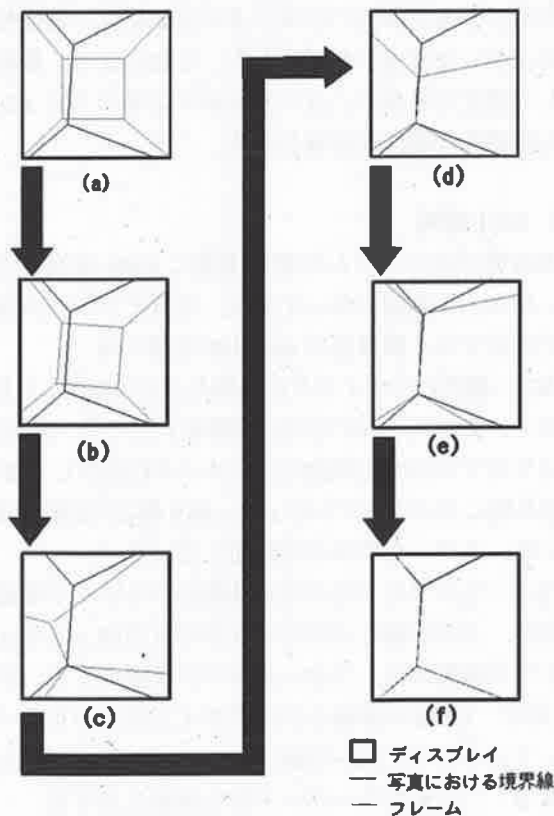


図 2: 位置合わせ既定動作

2.3.1 位置合わせ

ユーザとインタラクションを介してカメラキャリブレーションを行なうが、完全にユーザに依存するのは望ましくない。単純なカメラモデルの平行・回転移動を用いての位置合わせは非常に労力を要してしまう。そこで本研究では、カメラモデルの動作を既定とすることによりユーザの負担を軽減させる。まず画像を入力し、部屋のサイズとカメラの焦点距離を入力することによりワイヤフレームを生成する(図2(a)参照)。その後、以下の動作を行なう。

- (1): 定直線の向き合わせ(図2(b)参照)。
- (2): 定点の位置合わせ(図2(c)参照)。
- (3): 定直線の方向合わせ(図2(d)参照)。
- (4): 二つの定点の位置合わせ(図2(e)参照)。

なお(2)と(3)の順番は固定としない。上記のように動作を既定にしても、(図2(f)のようにワイヤフレームと抽出直線を完全に一致させるのは困難である。そこで本研究では、特殊な拘束条件を用いた位置合わせの提案を行なう。

2.3.2 円を用いた位置合わせ

(図2(e))の段階までは、ワイヤフレームと抽出直線との一致は見た目上でのものなので、単純な平行・回転移動で位置合わせは可能である。しかし(f)の段階に

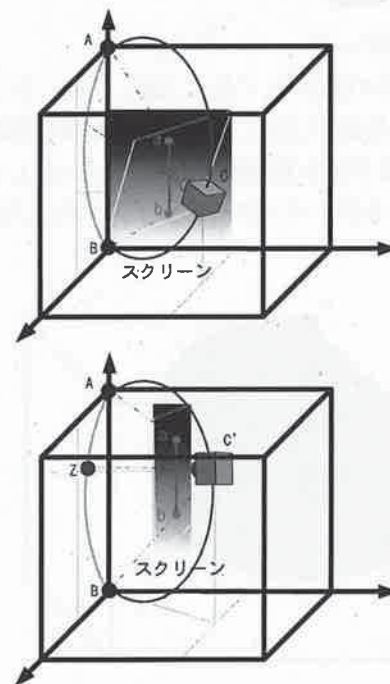


図 3: 拘束曲線を用いた位置合わせ

するためには、奥行きを含めた一致が必要となるため単純な移動では困難となる。やみくもに、カメラモデルを平行・回転移動させると一致させた直線が動いてしまい、結果として完全なる一致が困難となる。つまり、一致させた直線を動かさずにカメラモデルを移動させることができれば、画像の位置合わせが容易になると言える。

そこで本研究では、拘束条件を用いた位置合わせの提案を行なう。まず3D基本部屋モデルの、ある上部の角をAとし、その下部の角をBとする。またワイヤフレームで表示した同角をa, bとする。そしてカメラモデルをCとするとA, B, Cの三点を通る曲線が出来る(図3上図参照)。これが一つ目の拘束条件で、本研究では拘束曲線と呼ぶ。もう一つの拘束条件としてカメラモデルの光軸の目標を固定する事を挙げる。この二つの拘束条件を用いてカメラモデルのパラメータを変化させることにより、直線abを等しく同じに見ながら、他の直線のみ変化させる事ができる(図3下図参照)。

また、上記で定義した拘束条件は唯一存在する訳ではなく、直線ABの周囲全てに存在するため林檎型のような拘束曲線の集合となる(図4参照)。

本研究ではこれを拘束曲面と呼ぶ。しかし実装には至っていない。

3. システムの実装

3.1 データ構造

三次元形状データ

部屋モデルの形状を、「点」、「線」、「面」として分け、それぞれに名前をつけて位置情報や関係性を定義する。また、部屋モデルの初期値は $(x, y, z) = (1, 1, 1)$ の立方体としてあるが、インターフェイスへの入力により変

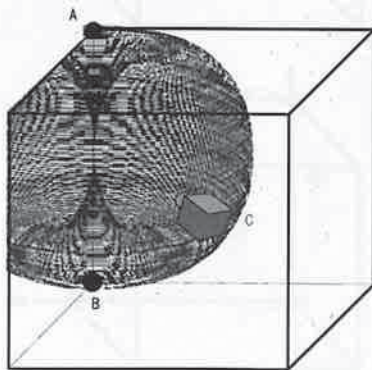


図4: 拘束曲面

更することが出来る。

カメラパラメータ

カメラモデルの位置 x, y, z , カメラモデルの向き ψ θ ϕ , スクリーン距離の変数を設定する。カメラパラメータの初期値はすべて0であるが、インターフェイスへの入力で変更することが出来る。

座標計算

平行移動, 回転移動, 投影変換, クリッピング処理などの各種変換式を関数として定義する。

平行移動・回転移動の値はインターフェイスで入力する。

ディスプレイ表示

カメラパラメータより計算したフレーム画像のデータ, 部屋モデル, カメラモデルの位置関係データから画面への表示を行なう。また, カメラパラメータや部屋サイズを変更するたび適時計算を行ない, その結果をリアルタイムに表示する。

Tcl/Tk 自体の仕様により装置座標系が, 画面の左上を原点として下に y 座標, 右に x 座標を取る。

GUI

ユーザとインタラクションを介して操作するため, GUI を実装する。一度しか入力しない部屋のサイズや焦点距離は, キーボードにより直接入力できるようにする。またカメラモデルのパラメータの入力には, 利便性を考えスケールボタンを使用した。これにより, 値が連続して変化するため, ユーザとのインタラクションを介し直感的な操作が容易となる。

3.2 GUI 説明

本研究ではシステムの開発環境に tcl/tk を用いている。図5(1): 画面となっており, 写真とフレームを重ねて表示する。解像度は 640x480 を用いる。

図5(2): 撮影したデジタル画像を(1)の画面に入力するボタンであり, GIF形式の画像を入力する。図5(3): カメラモデルの回転移動のパラメータを表わしており, 上から順にカメラモデルの x 軸 y 軸 z 軸での回転となっている。スケールボタンを採用している。

図5(4): カメラモデルの平行移動のパラメータを表わしており, 上から順にカメラモデルの x 方向 y 方向 z 方向に平行移動する。スケールボタンを採用している。

図5(5): 3D基本部屋モデルのサイズを入力するインターフェイスで, 上から順に XYZ 方向のサイズを入力できる。この値はキーボードから直接入力する。

3.3 動作例

基本的な動作手順を実際にシステムを動かして説明する。

1：起動(図 6(1) 参照)。

システムを起動する。この状態では 3D 基本部屋モデルのサイズは 1 となっているが、仕様によりワイヤフレームは非表示状態にしている。

2：室内の写真を取り込む(図 6 参照)

今回、動作例のために福井大学文京キャンパス総合研究棟 I の 8 階にある知能処理演習室を撮影し使用する。また写真はデジタルカメラを使い JPEG 形式で撮影し、パソコンを用い GIF 形式に変換している。また撮影時に、障害物を排除するなど撮影環境を意図的に変化させた。

3：部屋のサイズ、焦点距離の入力(図 6 参照)。

部屋のサイズ、焦点距離をキーボードを用いて入力する。部屋のサイズは、実際に部屋の横・縦・奥行きを計測しておく必要があり、 $(x, y, z) = (700, 250, 800)$ である。焦点距離はデジタルカメラに依存する。撮影に使用したデジタルカメラは Canon 製 IXY DIGITAL 920IS であり、焦点距離は 112 mm である。

4：定直線の向き合わせ(図 6 参照)。

カメラモデルの回転により、ワイヤフレームと、画像における壁と壁との境界線(今後、定直線と呼ぶ)の向きを合わせる。なお撮影状況により定直線の傾いて

いる場合もあるため、これも回転により調整する。

この作業により、全 6 自由度中 2 自由度が決定し、4 自由度は不明である。

5：定点の位置合わせ(図 6 参照)。

カメラモデルを回転させて、ワイヤフレームの角と、画像における定直線の境界線(今後、定点と呼ぶ)の位置を合わせる。

この作業により、全 6 自由度中 3 自由度が決定し、3 自由度は不明である。

6：二つの定点の位置合わせ(図 6 参照)。

5 で一致したワイヤフレームと定直線をずらさないように、カメラモデルの平行移動等を用いて、二つの定点を一致させる。

この作業により、全 6 自由度中 4 自由度が決定し、2 自由度は不明である。

残り 2 自由度を決定するために本研究では、前述した拘束条件を用いた方法を提案する。

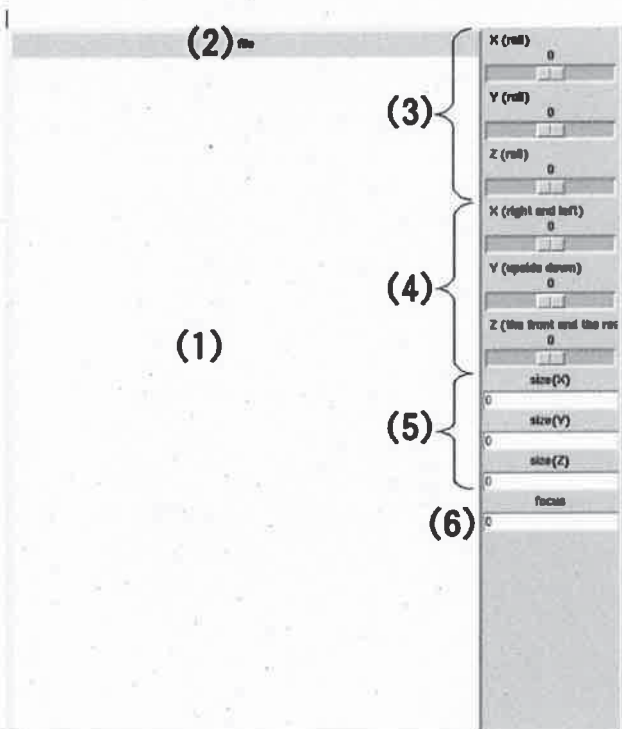


図 5: GUI 説明

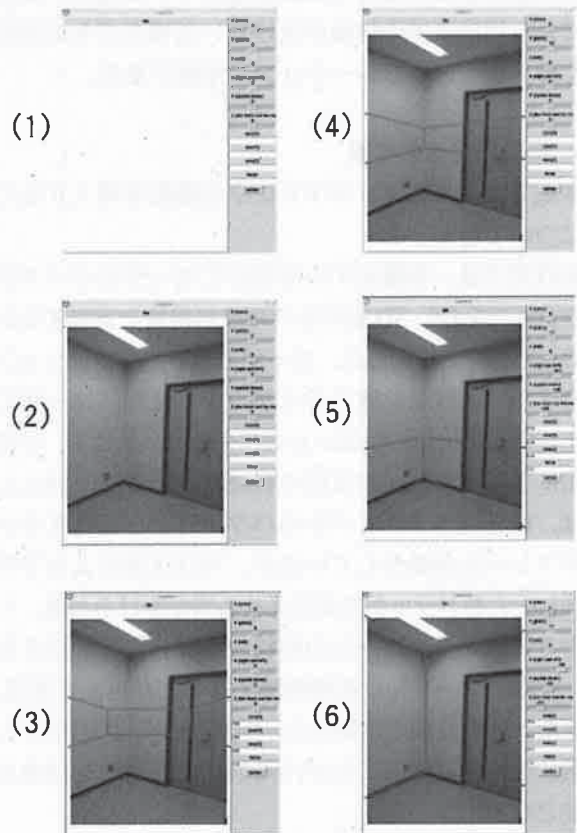


図 6: 動作例

4. 考察

4.1 支援システムへの考察

本項では、本支援システムを用いることによる意義を考察する。本研究の手法を用いた支援システムを用いることにより、写真から撮影時のカメラの位置・向きの推定が可能となる。これにより写真を元に3D室内モデルを再構築する際の手間が軽減できる。また、システムを使用する際に室内の広さ・高さといった部屋のサイズ情報が必要となるが、これらの測定は素人でも可能である。つまり、改装・改築を依頼する顧客自身が、デジタルカメラ等を用いて室内を撮影し、部屋の広さと高さを測定して業者にこれらのデータを持って行くだけで、3D室内モデルが作成できる。これにより軽い気持ちで3D室内モデルを作成し、室内の改装・改築に前向きな気持ちを持つなどのビジネスチャンスに繋がる。

また業者側も、完成した3D室内モデルから室内の間取りを把握することにより、実際に部屋を訪れなくても様々な提案が可能となる。

またユーザとインタラクションを介すことにより、著しく光源が少ない場合や画質が乱れている場合、障害物により抽出直線の情報が欠けている場合でも応用の利くカメラキャリブレーションが可能である。

4.2 半自動化への考察

本項では、本支援システムに半自動化を導入することについて考察する。

本研究では、各種モデルを用いてユーザとのインタラクションを介し3D室内モデルの再構築を支援するシステムについて検討した。ユーザとのインタラクションを介すため曖昧な位置合わせが可能な反面、ユーザに対する負担は決して少ないとは言えない。そこで、半自動化によるユーザへの負担の軽減を提案する。例としては、現在はカメラモデルのパラメータを変化させワイヤフレームを動かしているが、マウス等によりワイヤフレームをドラッグで変化させる等が挙げられる。このようにワイヤフレームの形状から逆計算を行なえば、大幅にユーザの負担を軽減することが可能である。

また、抽出直線の情報をユーザの操作により得たり、画素値等により得ることが出来れば、網羅的な検索も可能となる。

5. まとめ

本研究では、デジタル写真から3D室内モデルを再構築する際に必要となる撮影時のカメラの位置・向

きをデジタル写真から求める手法を提案した。各種モデルを用いユーザとのインタラクションを介すことにより、複雑な方程式を解いてカメラの位置・向きを求める必要がなく、曖昧性を含ませた柔軟な位置合わせが可能である。

しかし単純に手動による位置合わせを行なうだけでは、カメラキャリブレーションは困難である。そこで特殊な拘束条件を用いて問題を解決する方法を提案した。実装には至っていないものの、この拘束条件を利用することによりユーザへの負担を減らすことができる。また半自動化を導入したり、網羅的な検索を導入することによりさらに負担を減らす方法も考える必要がある。

参考文献

- [1] 岡本 清明: 長方形を利用した正面画像生成, 情報処理学会研究報告, Vol.2004-No.40(20040506), pp. 273-278 (2004).
- [2] 廣瀬 直子: 詳細な形状モデルを用いたオブジェクトの3次元位置・姿勢推定, 第17回データ工学ワークショップ論文集, DEWS2006-4B-i10(2006).
- [3] 徐 剛, 辻 三郎: 3次元ビジョン, 共立出版(1998).