

複合メディア情報の解析に基づく仮想実空間の生成

岡田 至弘† 正司 哲朗† 村山健二† 岩成 英一†
† 龍谷大学 理工学研究科電子情報学専攻

概要

ここでは、人間の五感により知覚される情報だけでなく、各種センサからのみ入力可能な複合的なメディア情報を用い、既に構造化された情報と統合して仮想実空間を構成する。利用者は、この仮想実空間を通して、本来知覚できない世界を操作できるようになる。ここでは、処理対象として、視覚情報に焦点を絞り、任意視点からの入力によって、単一の視点からは表現不可能な隠蔽部分等についても処理対象とした。また、対象とする実空間は、奥行き情報も包含した3次元の実空間とし、実際に京都西本願寺境内および特定の建造物と、建物内部の内陣を対象とした仮想実空間の生成・呈示実験を行い、寺社仏閣を対象としたデジタルアーカイブ方式の1例を示す。

キーワード: 仮想現実, 仮想実空間, カメラ視点, 3次元形状復元

Generation of Virtualized Real-World based on Analysis of Mixed Media

Yoshihiro Okada † Tetsuo Shoji† Kenji Murayama† Eiichi Iwanari†
†Faculty of Science and Technology
Ryukoku University

Abstract

The objective of this project is to generate and structure virtually real space in order to provide the information which are adjusted to the thought and sensitivity of human, and structure mixed information that are not always arranged. The feature of this study is to be adjusted both the thought and sensitivity between human and computer by structuring virtually real space integrated structured information and mixed information acquired from multi sensor, information perceived from the human senses. As a result, users are able to operate the world which are not perceived essentially, through the perception and the thought from the virtualized real-world.

Keywords: Virtual Reality, Virtualized Real-World, View Points, 3D Shape Reconstruction.

1 仮想実空間とは

仮想実空間に関連した研究として、バーチャルリアリティ(仮想現実, 人工現実感)があるが、実世界との統合をはかる分野の研究は、特に複合現

実感と呼ばれ、実空間と仮想空間を融合した複合環境の構築・描写技術として脚光を浴びている。従来から、現実空間に電子データを重畳して実空間の拡張を図るAR(Augmented Reality)の研究が

盛んに行われ、ARの対局に電子的な仮想世界を現実空間の情報で増強するAV (Augmented Virtuality) と併せた概念として、複合現実感(MR: Mixed Reality) [1] が提唱されている。MRにおいて、対象とする空間(世界)のモデル化は、AR、AVの制御を行う重要な要素となっている。すなわちモデル化の程度により仮想空間(Complete Modelled)から実空間(Un-modelled)に変化する。ここで述べる仮想実空間では、完全なモデルが形成できなくとも表現可能な仮想空間を生成することを目的とし、その1つの応用例として、京都西本願寺の建造物の室内および、建物内部の内陣を対象とした仮想実空間の生成を示す。

2 仮想実空間の表現

カメラから入力された複数の画像群から3次元空間を表現する手法として、Image-Based RenderingやModel-Based Rendering等が目目されている。

Image-Based Renderingとは、実写画像を用いて空間を表現する手法であり、Model-Based Renderingは、3次元モデルを用いて、空間を構築するものである。広視野な空間を構築する場合には、3次元形状モデルで表現するにはデータ量が膨大になるおそれがある。また、実写画像のみで表現した場合には、視点の移動に関して、違和感が生じ、また大量の画像データの管理が必要となる。ここでは、Image-Based RenderingとModel-Based Renderingを融合して仮想実空間の表現を試みる。

2.1 Image-Based Rendering

Image-Based Renderingとは、3次元情報を利用しないで、実写画像のみを用いて、写実性の高い空間を生成する手法である。具体的には、視点の位置ごとにあらかじめ用意した画像を切り替えて表示することにより、任意の視点位置に合わせた画像を提示することによって空間を表現するものや、画像間の対応づけが不必要な視線パラメータを用いて空間を表現する方法が提案されている。これは、シーンや対象物体の見え方を空間を伝搬する光線の形で記述し、それをもとにして、別の視点からの見え方を生成する手法である。

2.2 Model-Based Rendering

3次元形状モデルを用いるModel-Based Renderingにおいては、任意視点からの見え方を生成することが容易であるが、複雑な形状をもつ任意の対象については、3次元形状モデルを生成することは、一般的に困難である。

そこで、実写画像から3次元形状モデルを得る様々な手法が、提案されている。対象の光反射率や幾何モデルを拘束条件として、1枚の画像から3次元形状を得る手法や、左右の視点から撮影されたステレオ画像を用いることによって3次元形状を得るステレオ法、実写画像をもとにプリミティブな形状を当てはめる方法などが代表的な手法として挙げられる。しかし、様々な環境下において撮影された画像から、常に安定した3次元形状を得ることは、極めて難しい。

3 平面図を用いた室内空間の生成

ここでは、Image-Based Rendering手法を用いて、高精細な画像を生成する。次に、Model-Based Rendering手法を用いて、平面図から3次元モデルを得る。最後に、高精細画像と3次元モデルを用いて、室内空間の生成方法について述べる。

3.1 平面図からの3次元モデル生成

復元対象は、西本願寺書院内の雁の間、菊の間の二間(国宝)である。この雁の間、菊の間は、それぞれの名にちなんだ絵や欄間(国宝)がある。雁の間には、欄間と襖に雁が群れ遊ぶ様子が表現されている。また、菊の間の天井下に描かれた月を雁の間から欄間を透かして見ると、雲間に飛びかう雁の向こうに月が見えるという趣向である。このような趣向を取り入れた仮想実空間の生成を以下のようにして行う。まず、実世界からの3次元モデルを生成するために、復元対象となる室内の平面図(図1参照)を用いる。次に、平面図から輪郭を抽出した後、あらかじめ実測した畳から天井までの高さ情報に基づいて、図2のような室内の3次元モデルを生成する[2]。



図 1: 平面図 (雁の間, 菊の間)

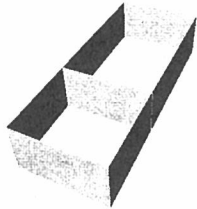


図 2: 平面図から 3 次元モデルの生成

3.2 欄間の 3 次元復元

図 3 に示す欄間は、空間を群れ飛ぶ雁を彫刻で表現したものであり、透かした空間が多いのが特徴である。このような欄間を一つの視点から撮影された画像のみを用いて、正確に 3 次元復元することは難しい。ここでは、以下のようにして、近似的な 3 次元復元を行う。

1. 図 3 を 2 値化し、ノイズ除去を行うことにより、背景と彫刻を分離し、彫刻のシルエット画像を得る。
2. シルエット画像を用いて、欄間をボクセルで近似する。
3. 図 3 の画像から色情報を取得し、ボクセルに色情報を付加することにより、図 4 のように欄間の 3 次元形状を復元した。

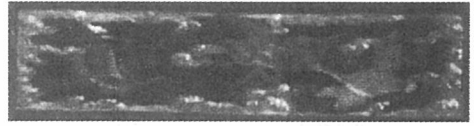


図 3: 欄間

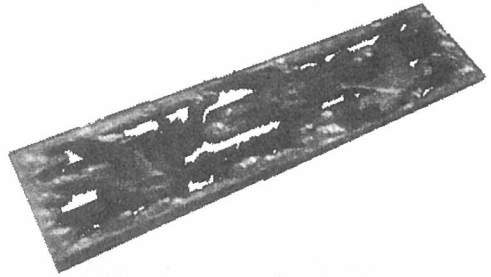


図 4: 欄間の 3 次元復元

3.3 実世界の趣向を取り入れた仮想実空間の生成

3.1 節で得られた 3 次元モデルに高精細画像をマッピングすることにより、室内の仮想実空間の生成を行う。具体的には、まず、復元対象となる室内において、カメラを三脚に固定し、水平移動しながら、襖を正面から一枚ずつ撮影し、室内全体を撮影する。最後に、得られた複数枚の画像を貼り合わせることにより、高精細なパノラマ画像を生成する。生成したパノラマ画像を平面図から得られた 3 次元モデルにマッピングする。最後に、上述で復元した欄間と、高精細画像をマッピングした 3 次元モデルを統合することにより、図 5 に示すような仮想実空間を生成し、菊の間の天井下に描かれた月を雁の間から欄間を通して見ることが可能となった。

4 任意視点からの 3 次元復元 [3]

ここでは、任意視点から撮影された画像から Model-Based Rendering 手法を用いて 3 次元形状モデルを取得する。次に、高精細な画像を 3 次元形状モデルにマッピングすることにより、3 次元

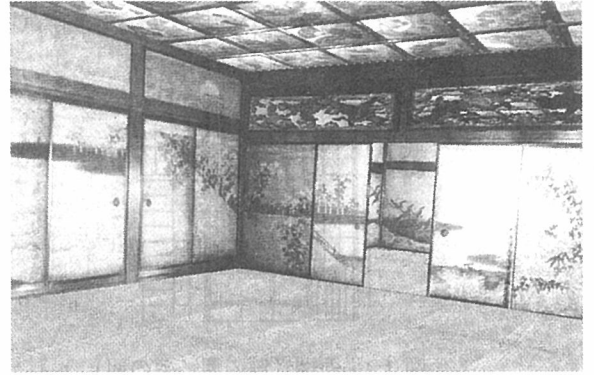
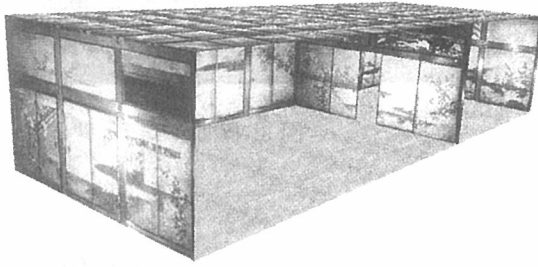


図 5: 西本願寺書院（雁の間，菊の間）の仮想実空間の生成結果

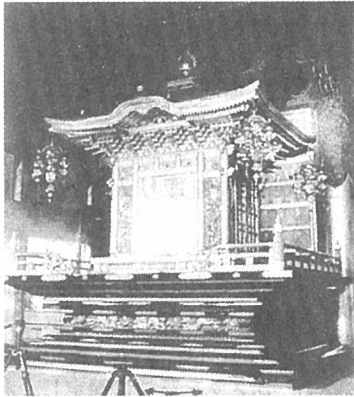


図 6: 御影堂の内陣の須弥壇と厨子

復元を行う。

4.1 本手法の特徴

復元対象は、西本願寺最大の仏堂である御影堂の内陣中央奥の間にある親鸞上人木像の御影を安置する図6のような須弥壇と厨子である。以下に、本手法の特徴を示す。

任意視点におけるカメラキャリブレーション

3次元空間上の特徴点とそれに対応する2次元画像上の点を1つの中心射影行列によって直接関係づけることで任意視点からの撮影を可能とする。これによってオクリュージョン

(隠蔽部分)の少ない、有効な視点からの撮影が可能となる。

カラー情報による物体領域の抽出

HSV色空間上での閾値処理により、物体領域の抽出を行う。これによって、照明光の輝度変化に影響されにくい、ロバストな抽出が可能となる。

octree 表現を用いた複雑な形状の復元

octree 表現により、複雑な形状の物体復元を目指す。ここから入力解像度に対応して、複雑な形状の復元を可能とする。

データ変換とテクスチャマッピング

復元された形状データは内部が詰まったポリウムデータであり、表示には不向きである。そこでデータ変換を行い、octree データを voxel データに変換し、さらにサーフェスデータへと変換する。変換されたサーフェスに対して、高精細な画像をマッピングする。

4.2 3次元形状復元の処理の流れ

3次元形状復元の処理は入力、前処理、形状復元、表現の各ステップからなる。入力、任意方向から撮影された複数の画像群である。また、入力時のカメラ位置を含めたカメラパラメータの推定のため図7に示す、キャリブレーションケージを用いる。キャリブレーションケージは、長さが

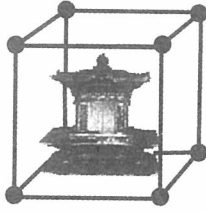


図 7: キャリブレーションケージ

既知のボールの先に着色された球を取り付けた物であり、あとに述べるカメラパラメータ推定のための特徴点を与える。

4.3 カメラパラメータの推定

3次元オブジェクトが、存在する世界座標と入力画像の座標を対応付けるため中心射影行列を算出する。中心射影行列は焦点距離やレンズ歪みなどの内部パラメータと、カメラの位置と向きをあらわす外部パラメータを合成した 3×4 の行列としてあらわすことができる。いま、この行列を

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1^T & p_{14} \\ P_2^T & p_{24} \\ P_3^T & p_{34} \end{bmatrix} \quad (1)$$

とし、3次元空間の特徴点 M と、それを2次元画像に投影した点の座標 m をそれぞれ、

$$m = [u, v, 1]^T, M = [X, Y, Z, 1]^T$$

とすると、次の関係が成り立つ。

$$sm = PM = A[R, T]M \quad (2)$$

このとき、 s はスカラーであり、 A はカメラの内部パラメータを表す行列であり、 R, t は外部パラメータを表す行列である。式(2)を展開して、 P の要素に関する2つの線形方程式

$$\begin{cases} p_1^T M - u_i p_3^T M + p_{14} - u_i p_{34} = 0 \\ p_2^T M - v_i p_3^T M + p_{24} - v_i p_{34} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

を得る。いま、対応づけされた n 個の点について、式(3)より $2n$ 個の方程式が得られる。これを整理すると、

$$Bp = 0 \quad (4)$$

を得る。ここで、

$$p = [p_1^T, p_{14}, p_2^T, p_{24}, p_3^T, p_{34}]^T$$

は P の要素を並べたもので、

$$B = \begin{bmatrix} X_1 Y_1 Z_1 1 0 0 0 -u_1 X_1 -u_1 Y_1 -u_1 Z_1 -u_1 \\ 0 0 0 0 X_1 Y_1 Z_1 1 -v_1 X_1 -v_1 Y_1 -v_1 Z_1 -v_1 \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \\ X_n Y_n Z_n 1 0 0 0 -u_n X_n -u_n Y_n -u_n Z_n -u_n \\ 0 0 0 0 X_n Y_n Z_n 1 -v_n X_n -v_n Y_n -v_n Z_n -v_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

は、対応する n 点の3次元座標と2次元座標から式(3)を求めて定義される $2n \times 12$ の行列である。本研究では、キャリブレーションケージによる特徴点の3次元座標 M と、その点を2次元画像に投影した点の座標 m を求める。このような特徴点を6つ以上用いて、式(1)から射影行列 P を算出している[4]。

4.4 色空間閾値処理による物体領域の抽出

物体領域の抽出は、より高精度な形状を復元するために、対象物体の背景を青いシートで覆い、シルエット情報により形状を復元する。

複数の画像から物体領域を抽出し、そのシルエット情報から3次元形状を復元する手法を、一般にShape from Silhouette法と呼ぶ。ただし、この方法では凹面の部分ではシルエットが正しく抽出できない。正確に物体領域と背景領域とを分離するために、RGB色空間からHSV色空間へ変換し、強度(V)色相値(H)から閾値処理を行う。HSV色空間で閾値処理を施すことで、照明光の強度による影響の少ない、図9に示すようなシルエット抽出が可能となる。

then return

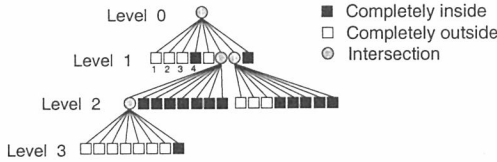
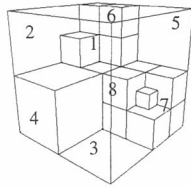


図 8: octree 表現

func_交差判定

```

For 立方体の頂点:V = 1 to 8 do
SUB-CUBE の頂点から
多角形シルエットを生成
if 物体シルエット内に
多角形シルエット
then BLACK
if 物体シルエット外に
多角形シルエット
then WHITE
if 物体シルエットと
多角形シルエットが交差
then GRAY

```

図 10: 復元アルゴリズム

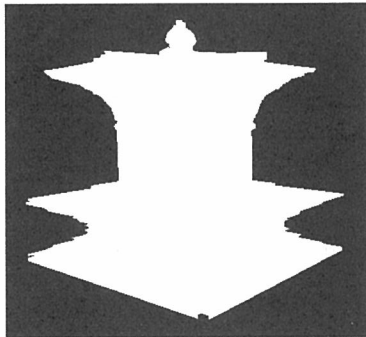


図 9: シルエット抽出

4.5 Octree 表現による形状復元

octree 表現では、対象とする物体より大きい立方体を定義し、これを ROOT-CUBE とする。この ROOT-CUBE を x, y, z の各方向に 2 等分すると、体積が $1/8$ となる立方体が 8 つできる。このような分割を任意のレベルまで再帰的に繰り返すことによって、8 分木のデータとなり、任意の複雑な形状を表現可能となる。

この octree 表現を用い 3 次元形状を復元する。ここで、 n 枚の入力画像のうち j 番目の画像から求めた中心射影行列を P_j 、シルエット画像を S_j とする。

Step1: 立方体をシルエット画像へ投影

図 8 中に示すように 1 つの立方体をシルエット画像 S_j に投影する。投影には中心射影行列 P_j を用いる。投影した領域は、たかだか 6 つの頂点で囲まれた多角形となる。

Step2: 交差判定

交差判定は、立方体を投影したシルエットと、対象物体のシルエットとの交差状態を判定する。立方体のシルエットが物体のシルエットに完全に含まれているならば"BLACK"、全く含まれていないならば"WHITE"、一部が

ROOT-CUBE を定義

LEVEL = 0

func_復元

LEVEL = LEVEL + 1

For SUB-CUBE = 1 to 8 do

For 視点: $j = 1$ to n do

call func_交差判定

if BLACK then 属性値 1 に決定

if WHITE then 属性値 0 に決定

if GRAY then call func_復元

if 8 つの SUB-CUBE が全て

BLACK または WHITE

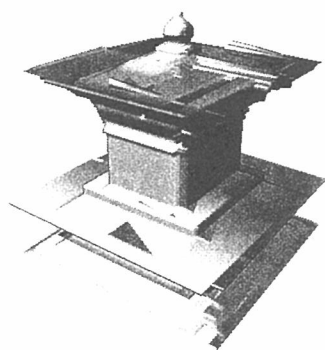


図 11: サーフェースデータへの変換結果

含まれているならば“GRAY”とする。すべての立方体が BLACK または WHITE になるか、あるいは、任意のレベルに達したときに処理を終了する。以上の復元アルゴリズムを図 10 に示す。このように、octree による記述と判定を同時に実行することにより、投影する CUBE は細くなり、数は増加するが、一度 BLACK または、WHITE と判定された CUBE はそれ以上分割されないため、すべての voxel に対して判定を行う手法に比べて、大幅な時間短縮が可能となった。

4.6 3次元形状復元結果の表示

図 10 の復元アルゴリズムによって、詳細な形状の復元が可能となったが、表面の色や材質といった情報はまだ復元されていない。テクスチャマッピングを行うために、上述で得られた voxel データをサーフェースデータに変換する必要がある。復元した 3次元形状の voxel データから図 11 のようなサーフェースデータへの変換には、MarchingCube 法を用いた [5][6]。変換したサーフェースデータに対して、図 12 のような高精細画像をテクスチャとして用いることにより、3次元復元した結果を図 13 に示す。

5 おわりに

本研究では、寺社仏閣を対象としたデジタルアーカイブ方式の 1 例として、仮想実空間の生成・

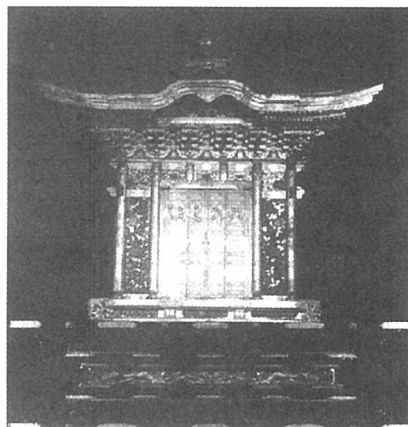


図 12: 高精細画像

呈示について述べてきた。ここでの報告は、3次元形状復元に関わる研究の導入部であり、実空間の解析を人間の知覚・認識しうる情報源だけから行うのではなく、他のセンシングデータ、既知モデル・知識を統合することで、通常的手段では表現が困難な情報空間へのアクセスが可能となることを示した。

参考文献

- [1] P.Milgram and F.Kishino, “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Display”, IEICE Trans. Inf. And Sys.,E77-D,12,pp.1231-1329,(1994)
- [2] 正司, 岡田, “平面図とステレオ法を併用した奥行き情報の獲得”, 画像電子学会誌, 第 29 巻, 第 4 号,pp.312-319, 2000.
- [3] 岩成, 坂本, 阪井, 岡田, “Octree 表現による任意視点からの 3次元形状復元”, 画像の認識理解シンポジウム MIRU2000,pp.I161-166,Jul.2000.
- [4] 徐 剛, 辻 三郎, “3次元ビジョン”, 共立出版, 東京, 1998.
- [5] H.Hoppe,T.DeRose,T.Duchamp,J.McDonald,W.Stuetzle, “Surface reconstruction from unorganized points”, Phd Thesis, Department

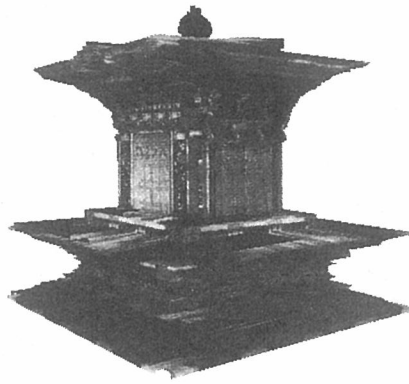


図 13: 御影堂内陣（須弥壇と厨子）の 3 次元復元結果

of Computer Science and Engineering University of Washington, 1994.

- [6] H.Hoppe, "Progressive Meshes", SIGGRAPH96, pp.99-108, 1996.