

多視点画像を用いたモデル統合処理に基づく空間モデリング

正司 哲朗† 田辺 ゆかり†† 安田 一樹† 岡田 至弘†

†龍谷大学 理工学研究科電子情報学専攻

††龍谷大学 理工学部電子情報学科

〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷1-5

Tel. 077-543-7418

E-mail: shoji@mail433.elec.ryukoku.ac.jp

あらまし 実世界のシーン情報から3次元モデルの自動的もしくは、効率的な構築手法の一例として、航空写真とステレオ画像を併用することにより、キャンパスを対象とした3次元モデルの生成手法を示す。具体的には、まず、航空写真を用いて上空からの粗な3次元情報を取得する。次に、複数のステレオ画像を用いて、地上からの密な3次元情報を取得する。最後に、上空と地上から得られた3次元情報を統合することにより、キャンパスの3次元モデルを生成する。これにより、広域な空間モデルの生成が可能である。

キーワード: 多視点画像, Image-Based Rendering, Model-Based Rendering

Scene Modeling Based on Model Integration using Multiple Images

Tetsuo Shoji† Yukari Tanabe†† Kazuki Yasuda† Yoshihiro Okada†

†Faculty of Science and Technology

School of Ryukoku University

††Department of Science and Technology

Ryukoku University

1-5 Yokotani, Seta, Otsu, Shiga, 520-2194, Japan

Tel. 077-543-7418

E-mail: shoji@mail433.elec.ryukoku.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method to generate scene model using multiple images. As multiple images, We use an aerial image and stereo images. Our approach consists of the following steps: First, we acquire coarse 3-D information based on analysis of an aerial image. Secondly, we generate stereo panoramic images from stereo images. Then, we acquire fine 3-D information by using stereo method from stereo panoramic images. Finally, we generate scene model by integrating the above 3-D information.

Keywords: Multiple Images, Image-Based Rendering, Model-Based Rendering

1 はじめに

最近、地理情報システム (Geographic Information System: GIS) の研究分野において、3次元空間データの有効的な利用が高まってきている。空間の3次元データ表示は、我々にとって、直感的に

理解しやすく、地下埋設物のデータ管理や観光案内等に利用されつつある。また、3次元空間データは、都市空間や地下街での震災避難シミュレーションや都市計画の景観シミュレーション等にも適用が可能である。

空間モデルを構築する従来手法は、大まかに分けて、Image-Based Rendering と Model-Based Rendering の2つがある。

Image-Based Rendering は、直接、3次元情報を獲得せずに実写画像を用いる方法である。この手法は、実写画像を利用するため、写実性の高い空間を表現することが可能である。Image-Based Rendering 手法を用いた広範囲な空間表現方法には、以下のようなものがある。

1. パノラマ表現 [1]
2. 多視点画像の蓄積と呈示 [2]
3. 画像変換に基づく画像の生成 [3]

Model-Based Rendering は、3次元形状モデル(幾何データ)を用いて、空間を表現する手法である。3次元形状モデルを用いるため、任意視点からの見え方を生成することが容易である。しかし、複雑な形状をもつ対象に関して、3次元形状モデルを生成することは難しい。

そこで、実写画像から3次元形状モデルを獲得する方法が、現在までに様々研究されている。画像から3次元形状モデルを獲得する手法には、人間の左右の眼のように2つの視点から得た左右の画像を用いることによって3次元形状を獲得するステレオ法 [4, 5] がある。しかし、様々な環境下で撮影された画像から、すべての対象物体に対して、常に安定した3次元情報を抽出することは困難である。

Image-Based Rendering と Model-Based Rendering を融合した手法も提案されている。文献 [6] では、動画画像からエピポーラ平面画像 (EPI: Epipolar Plane Image) 解析により、得られた3次元情報と数値地図の情報を利用して都市空間のモデル化を行うものである。

本研究では、多視点画像として、航空写真とステレオ画像を用いて、航空写真から得られる粗な3次元情報と、ステレオ画像から得られる密な3次元情報を統合することにより、空間モデルを生成することを目的とする。

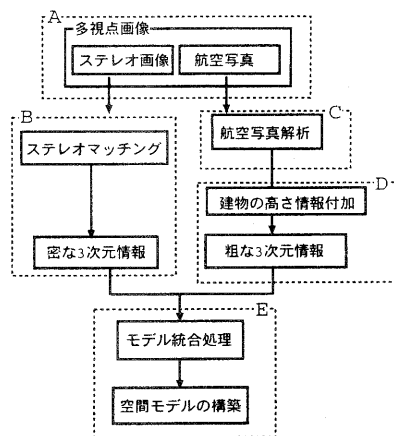


図 1: 空間モデル構築の処理手順

2 多視点画像を用いた空間モデリング

本研究における空間モデル構築方法の概要を図 1 に示す。空間モデルを構築するために、本研究では、航空写真とステレオ画像を利用する(図 1(A))。しかし、航空写真には、得られる情報と、得られない情報があり、またステレオ画像からも、得られる情報と得られない情報がある。

航空写真からは、以下のような情報を取得することができる。

- 上空からのテクスチャ
- 建築物の配置関係

しかし、次のような情報を取得することができない。

- 建築物の高さ情報
- 建築物の側面のテクスチャ情報

また、ステレオ画像からは、以下の情報を得ることができる。

- 撮影地点からの建築物や樹木などまでの距離情報

- 建築物の側面のテクスチャ情報

しかし、次のような情報を取得することができない。

- 安定した距離情報
- 上空からのテクスチャ情報

本研究では、航空写真やステレオ画像で取得できない情報を、それぞれの情報で補い、空間モデルを構築する。手順の概要を以下に述べる。

1. ステレオ画像からステレオマッチングにより、地上からの密な3次元情報を取得する。(図1(B))
2. 航空写真解析により建築物の配置情報を抽出する。(図1(C))
3. 上記で得られた配置情報および、実測による建築物の高さ情報をもとにして、上空からの粗な3次元情報を取得する。(図1(D))
4. 最後に、これらを統合することにより、空間モデルの構築を行う。(図1(E))

3 航空写真からの3次元モデリング

本研究では、多視点画像として、図2に示すような上空から撮影された航空写真を用いる。航空写真から3次元情報を得る方法として、ステレオ写真を用いたり、レーザー測量などがあるが、一般的に撮影するのが難しい。本研究では、1枚の航空写真を用いて解析を行い、高さ情報は、レーザー距離計 (Leika 製 DISTO classic) を用いて取得する。具体的な方法を以下に述べる。

3.1 航空写真の解析

前処理

航空写真から建築物の領域を抽出する必要がある。一般的に画像を領域分割する際には、ノイズや境界線のぼけの影響により、単純な方法では、領域を抽出することが難しい。そのため、領域分割

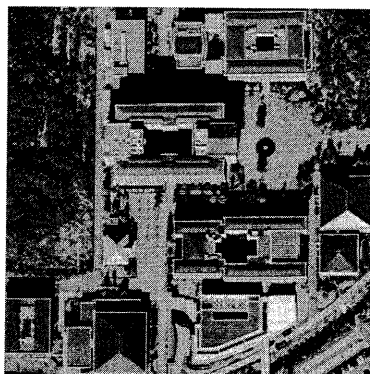


図2: 航空写真 (龍谷大学瀬田キャンパス)

の前に画像を平滑化し、ノイズを除去する必要がある。しかし、一般的なスムージング法では、ノイズの除去の際に、エッジもぼけてしまい、領域分割が難しくなってしまう。そこで、本研究では、エッジを保ったスムージング処理 [7] を行うことにより、領域分割の前処理を行う。

エッジ抽出

上記の前処理を行った後に、Canny オペレータ [8] を適用し、ノイズ除去を行う。次に、水平、垂直成分のエッジを抽出した後、手作業により補正する。図3に配置地図を生成した結果を示す。

3.2 配置図からの3次元情報の取得

上記で生成した配置図をもとに、配置図上の仮想的な撮影位置 (撮影位置の決定方法は、第5章で述べる) からの3次元情報を取得する。これは、第4章で述べるステレオ画像から取得した3次元情報と統合するために必要である。

図4上の仮想的なカメラ位置を $P(x_p, z_p)$ とし、 (x_i, z_i) を図4上の建築物の座標値、 P から建築物までの距離を L_i とすると、 L_i は、式(1)のように表せる。

$$L_i = scale \times \sqrt{(x_i - x_p)^2 + (z_i - z_p)^2} \quad (1)$$

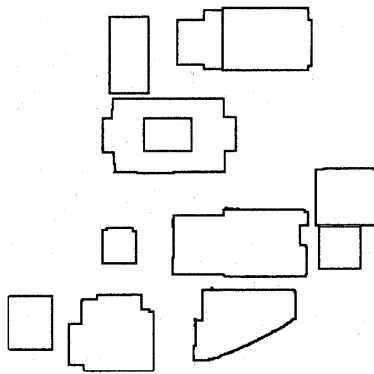


図 3: 配置地図の生成

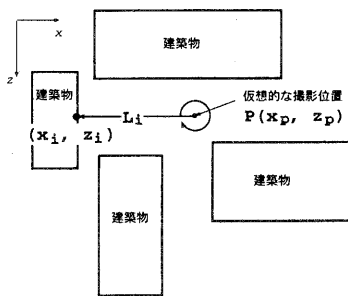


図 4: 配置図からの 3 次元情報の取得

ただし, $scale$ は, 1 ピクセルあたりの実際の距離である. したがって, 仮想的なカメラ位置から建築物までの全周の 3 次元座標 $[X_t, Y_t, Z_t]^t$ は, 式 (2) のようになる.

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_i \sin \theta \\ h_j \\ L_i \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで, $\theta (0 \leq \theta \leq 2\pi)$ は, 視線方向の角度であり, $h_j (j = 0 \dots height)$ は, 実測値による建築物の高さ $height$ である.

上述で得られる 3 次元情報と, 次に述べるステレオ画像から得られる 3 次元情報を統合することにより, 空間モデルを構築する.

4 ステレオ画像を用いた 3 次元モデリング

実シーンから 3 次元情報を得るために, 現在までに様々な手法が開発されている. 特に, 広域な空間 (例えば, 都市景観) の 3 次元情報を取得には, エピポーラ平面画像 (EPI) を用いた方法 [6] や, 対象が平面で構成されているなどを拘束条件とした因子分解法 [9] がある. しかし, 本研究では, 建築物以外 (例えば, 樹木等) も空間モデルの構築対象としているため, 平面の拘束条件の適用は難しい. そこで, 本研究では, ステレオ画像を用いた 3 次元情報の取得を行う.

4.1 ステレオ画像の対応点探索

本研究で扱う対象は, 建築物が多く, 撮影画像には, 直線エッジが多く含まれているのを考慮にいれ, 両方の画像からそれぞれ濃淡エッジを抽出し, 対応点探索を行う. 本研究における対応点探索処理を図 5 に示す. 具体的には, 撮影された 24bit カラーステレオ画像を RGB 各成分に分離し, R, G, B の画像に対して, 対応点探索を以下のようにして行う.

Step1: 分離された R, G, B の画像に対して, それぞれエッジ抽出を行う. (図 5 (A))

Step2: ステレオ画像の R 成分の画像, G 成分の画像, B 成分の画像において, それぞれ DP マッチング [5] を用いて, R, G, B 画像の対応点候補を求める. (図 5 (B))

Step3: 得られた対応点候補から, R, G, B 画像の 3 つの対応点が一致した場合のみ, ステレオ画像の対応点とする. 一致しなければ, 誤対応点として, 除去する. これにより, 視差画像が得られる. (図 5 (C))

Step4: 上記で, 求めた視差画像に対して, 誤対応点として除かれた部分を近傍の視差値で, 線形補間を行う.

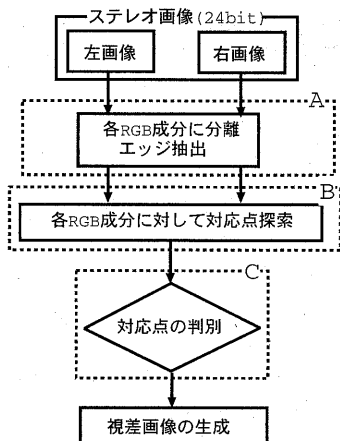


図 5: 対応点探索処理

4.2 3次元モデリング

上記で得られた視差画像から3次元座標を式(3)により算出する。

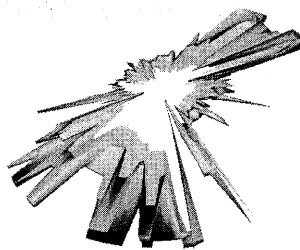
$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{ub}{d} \\ \frac{vb}{d} \\ \frac{fb}{d} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 (X_s, Y_s, Z_s) はカメラ座標系、 (u, v) は、ステレオ画像における左画像の座標、 b は、基線長、 f はカメラの焦点距離、 d は視差値である。

4.3 ステレオパノラマ画像を用いた3次元モデリング

広域な空間の3次元モデルを生成するために、本研究では、パノラマ画像を生成し、上述の方法により、ステレオパノラマ画像から3次元情報を取得する。まず、ステレオパノラマ画像の撮影方法を以下に示す。

Step1: 撮影地点において、15度ずつカメラを回転させながら、2台のカメラを用いてステレオ画像を撮影する。



(a) サーフェスモデル



(b) テクスチャマッピング

図 7: ステレオ画像からの3次元モデル

Step2: 得られた画像群の貼り合わせを行い、ステレオパノラマ画像を生成する。

Step2 の画像群の貼り合わせを行うには、画像間の対応づけが必要である。この画像間の対応づけには、Lucas-Kande法[10]を用いる。この手法の特徴として、処理が高速で、画像間の対応づけの結果が信頼性を持つことである。パノラマ画像を生成結果を図6に示す。

5 3次元モデルの統合処理

航空写真から得られた3次元情報とステレオ画像から得られた3次元情報を統合して、1つのモデルにする必要がある。モデルの統合処理方法については、従来から様々な手法が提案されている。レンジデータを用いた統合処理方法については、



図 6: パノラマ画像生成結果

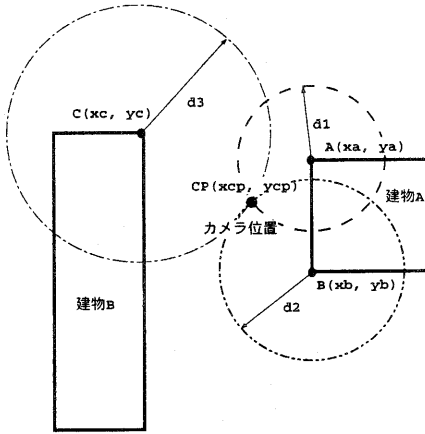


図 8: カメラの位置合わせ

レンジデータから特徴（法線，曲率など）を抽出し，マッチングを行うものがある [11].

また，最近傍点对を対応関係として，その距離が最小となる変換行列を求める Color Iterative Closet Point (Color ICP) アルゴリズム [13] が提案されている．これは，対応関係の探索に位置情報と色情報を用いている．

しかしながら，本研究での 3 次元モデルの統合処理には適用できない．なぜなら，航空写真から得られる 3 次元情報には，建築物の側面の色情報を持たないため，ステレオ画像から得られる側面の色情報とのマッチングができないからである．

そこで，本研究では，次のようにしてモデルの統合を行う．

5.1 カメラの位置合わせ

航空写真から得られた 3 次元情報とステレオ画像から得られた 3 次元情報を統合するためには，

まず，航空写真上でのカメラ位置と実際に撮影したカメラ位置を一致させる必要がある．以下に，カメラの位置合わせ方法について述べる．

Step1: ステレオパノラマ画像を撮影したカメラ位置から実際の建築物の境界（図 8 中の点 A , B , C ）までの距離 D_1 , D_2 , D_3 を求め，式 (4) を用いて，配置図上の距離 d_1 , d_2 , d_3 を求める．

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{s} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ただし， $s [m/pixel]$ は，1 ピクセルあたりの実際の距離 (m) を示す．

Step2: 上記で求めた距離 d_1, d_2, d_3 を使って，配置図上の点 $A(x_a, y_a)$ ，点 $B(x_b, y_b)$ ，点 $C(x_c, y_c)$ を中心とし，半径がそれぞれ， d_1, d_2, d_3 の 3 円 C_a, C_b, C_c を描く．

Step3: 3 円が交わる点，配置図上のカメラ位置となる．しかし，実シーンを対象とした場合，距離測定の見誤差等により，交点が求まらない場合がある．ここでは，以下のようにして，交点を求める．

1. 円 C_a, C_b から，2 つ交点 $C_1(x_{c1}, y_{c1})$, $C_2(x_{c2}, y_{c2})$ が求まる．
2. 交点 C_1, C_2 から，点 $C(x_c, y_c)$ までの距離をそれぞれ d_{c1}, d_{c2} とすると，配置図上のカメラ位置 $cp(x_{cp}, y_{cp})$ は，式 (5) のようになる．

$$cp(x_{cp}, y_{cp}) = \begin{cases} (x_{c1}, y_{c1}) & |d_{c1} - d_3| < |d_{c2} - d_3| \\ (x_{c2}, y_{c2}) & |d_{c1} - d_3| > |d_{c2} - d_3| \end{cases} \quad (5)$$

上記で得られたカメラ位置 $cp(x_{cp}, y_{cp})$ をもとに、航空写真から得られた3次元情報と、ステレオ画像から得られた3次元情報の統合方法について、次に述べる。

5.2 モデルの統合

配置図から得られる3次元情報とステレオ画像から得られる3次元情報を統合する。

ステレオ画像から得られた3次元座標を $[X_s, Y_s, Z_s]^t$ 、配置図をもとにして、式(2)から得られる建築物の3次元座標を $[X_t, Y_t, Z_t]^t$ 、カメラの座標を $[X_c, Y_c, Z_c]^t$ (ただし、カメラ位置の高さ Y_c は既知とする) とする。また、カメラ位置から $[X_s, Y_s, Z_s]^t$ までの距離を d_s 、カメラ位置から $[X_t, Y_t, Z_t]^t$ までの距離を d_t とすると、統合される3次元モデルの座標値 $[X, Y, Z]^t$ は、式(6)のようになる。

$$[X, Y, Z]^t = \begin{cases} [X_s, Y_s, Z_s]^t & d_s < d_t \\ [X_t, Y_t, Z_t]^t & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

図9にステレオ画像から得られた3次元座標と、配置図から得られた3次元座標を統合した3次元モデルを示す。最後に、図10に、航空写真から得られる上空からのテクスチャ情報と、図9の3次元モデルを合成し、生成した空間モデルの構築結果を示す。

6 おわりに

本研究では、多視点画像として、航空写真とステレオ画像を用いた空間モデルの構築方法について述べた。航空写真からは、上空のテクスチャおよび、建築物の3次元情報を取得した。また、ステレオ画像からは、地上からの3次元情報を取得した。これらを統合することにより、空間モデルの構築を行った。

しかしながら、航空写真から得られる3次元情報とステレオ画像から得られる3次元情報を統合した場合には、ステレオ画像で撮影できない部分や、オクルージョンの関係から、構築した空間モデル内に不連続な部分が存在する(図10の黒領域)。



(a) サーフェスモデル



(b) テクスチャマッピング

図9: 3次元モデル統合結果

今後は、この不連続部分の補間方法や、航空写真からの配置図の自動生成について、更に検討をすすめていく。

参考文献

- [1] 千葉直樹, 蚊野浩, 美濃導彦, “画像特徴に基づくイメージモザイク”, 信学論(D-II), vol.J82-DII, no.10, pp.1581-1589, 1999.
- [2] 亀井克之, 丸山稔, “画像に基づく仮想空間の生成”, 信学技法, MVE96-16, pp.25-34, 1996.
- [3] Steven M.Seitz, Charles R. Dyer, “View Morphing”, SIGGRAPH'96, pp.21-30, 1996.
- [4] 奥富正敏, 金出武雄, “複数の基線長を利用したステレオマッチング”, 信学論(D-II), vol.J75, no.8, pp.1317-1327, 1992.
- [5] Stan Birchfield, Carlo Tomasi, “Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo”, Pro-

cessing of the IEEE International Conference of Computer Vision, 1998.

- [6] 上原 将文, 塩崎 剛志, 全 炳東, “数値地図と動画像解析による都市空間モデリング”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2000) 講演論文集 II, pp.373-378, 2000.
- [7] Nagao M, Matsuyama, T, “Edge Preserving Smoothing”, Computer Graphics and Image Processing, Vol.9, No.4, pp.394-407, 1979.
- [8] J.F.Canny, “A computational approach to edge detection”, IEEE trans. PAMI, 8(6), pp.679-698, 1986.
- [9] C.Thomasi, T.Kanade, “Shape and motion from image stream under orthography: A factorization method”, Int. J. Computer Vision, vol.9, pp.137-189,1992.
- [10] B. Lucas and T. Kanade, “An iterative image registration technique with an application to stereo vision,” In Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI-81), pp.674-679, 1981.
- [11] K.Higuchi, M.Hebert, K.Ikeuchi, “Building 3-D Models from Unregistered Ranges Images”, CVGIP-GMIP, vol.57, No.4, pp.315-333, 1995.
- [12] 宇都宮 光平, 趙 艶紅, 岩本 康, 西野 浩明, 宇津宮 考一, “多視点レンジデータの自動合成法”, 信学技報IE2000-85, pp.1-6, 2000年11月
- [13] A.E.Johnson, S.B.Kang, “Registration and Integration of Textured 3-D Data”, International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling, pp.234-241, 1997.

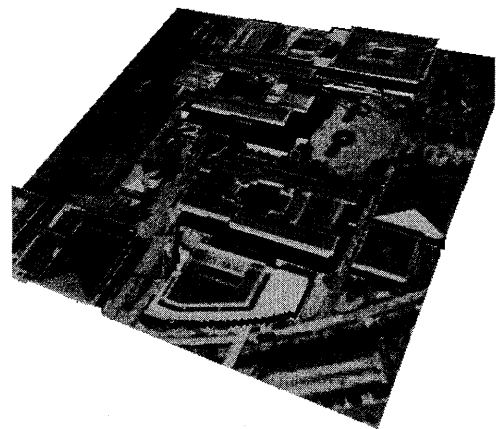
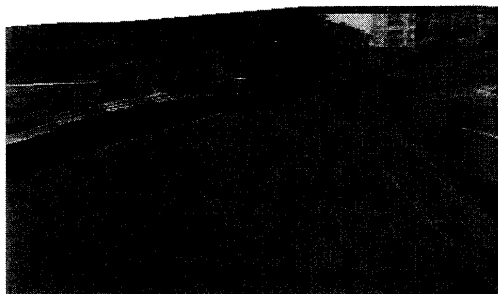
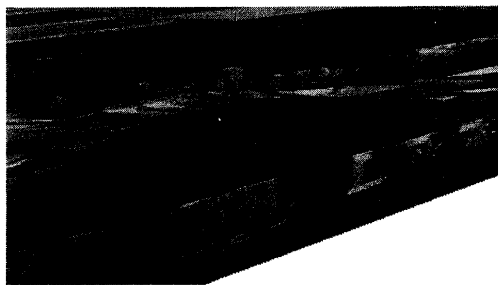


図 10: 空間モデリング結果 (龍谷大学瀬田学舎)