

全方位型高精細カメラシステムを用いた建物の側面テクスチャ獲得の検討

小澤 史朗† 宮川 勲† 石川 裕治† 長井 茂‡ 有川 知彦†

† 日本電信電話株式会社
NTT サイバースペース研究所
メディア通信プロジェクト
神奈川県横須賀市光の丘 1-1
Tel: 0468-59-2974 Fax: 0468-59-2929
Email: sozawa@marsh.hil.ntt.co.jp

‡ 日本電信電話株式会社
知的財産センタ

ウォークスルー型の 3 次元都市空間を構築するために、全方位カメラの特徴に着目し、魚眼レンズを用いた全方位型高精細カメラシステムを試作した。

本稿では、ヘリコプターなどからの空中撮影や、レーザー測量などの上空系からのアプローチによって予め獲得されている都市空間モデルを、全方位画像に投影して得られるシルエット情報を使ったテクスチャマッピング手法について検討した。

全方位画像と上空系獲得モデルからテクスチャ画像を獲得するため、空間中の基準点(建物側面などの測量点)という概念を導入し、その基準点を、全方位画像上でレジストレーションすることにより、全方位カメラの光学中心のオフセットパラメータを解析した。また、上空系獲得モデルを利用するため、予め上空系獲得モデル獲得時の誤差を、全方位画像を利用して補正した。上空系獲得モデルを映像上に投影して得られるシルエット領域を、切り出して、矩形に変形することによって、建物モデルの側面テクスチャを獲得する手法を検討した。

Acquire side surface texture image of 3D models from Omni-directional Vision

Shiro Ozawa † Isao Miyagawa † Yuji Ishikawa † Shigeru Nagai ‡ Tomohiko Arikawa †

† Nippon Telegraph and Telephone Corporation
NTT Cyber Space Laboratories
Media Creation Project
1-1 Hikarino-oka Yokosuka-shi Kanagawa-ken, JAPAN
Tel: 0468-59-2974 Fax: 0468-59-2929
Email: sozawa@marsh.hil.ntt.co.jp

‡ Nippon Telegraph and Telephone Corporation
Intellectual Property Center

We got to the shore with Omni-directional Vision and manufactured "Omni-directional high-resolution camera system" for reconstructing 3D digital city by way of experiment.

In this paper, we introduced the concept of Spatial Control Point (SCP) and we use SCP for analyzing of the offset parameters. Moreover we developed the technique to acquire side surface texture images of 3D models from omni-directional images using projected 3D models that constructed by aerial techniques.

1 はじめに

都市空間中の建物の形状、位置、表面のテクスチャなどの情報を持つ 3 次元デジタル地図が、災害シミュレーション、伝搬シミュレーション、景観シミュレーション、ITS、GIS、ヴァーチャルリアリティなど様々な分野での利用が期待されている^{[1][2]}。

我々は、3 次元デジタル地図を構築するために、ヘリコプターなどを利用した上空系アプローチによるモデル獲得技術に関する研究を行ってきた^{[3][4][5][6]}。

上空系から獲得されるモデルは、都市空間中の建物の形状、位置および上面のテクスチャで構成される。ここで、景観シミュレーションやウォークスルーといったアプリケーションを考えると、側面のテクスチャを獲得することが大変重要となってくる。そこで、地上からのアプローチによって、建物モデルの側面テクスチャを自動で獲得する手法について検討した。

従来からもカメラから撮影された映像を用いた側面テクスチャの獲得技術は研究されているが^[7]、カメラの画角などによる制限から一度に撮影できる範囲が限られており、高い建物などの側面情報を一度に獲得することは困難であった。そこで、本稿では周囲 360°、仰角 180° の半球状の範囲を同時に映像化することが可能な全方位カメラを用いた。また、上空系からのアプローチによって獲得された既存の都市空間モデルの、全方位画像への投影を利用したテクスチャ獲得手法について検討し、これら、「全方位カメラ」と「上空系獲得モデル」といった二つの特徴を利用した側面テクスチャ獲得手法に関して述べる。

2 高精細魚眼システムの試作

実験を行うために、全方位画像を獲得するシステムを試作した。システムは、全方位カメラの光学部、カメラ部と、映像記録用コンピュータ、位置情報センサ、方位角センサ、各センサ情報記録用コンピュータから構成され、記録用の各コンピュータは位置情報センサから出力される時間情報を記録し、撮影された映像、センシング情報はその時間情報を元に同期される。

光学部には、魚眼レンズのようにレンズ自体が全方位を獲得するための構造を持っているものと、HyperOmniVision^[8]のようにミラーに投影された全周囲の様子をカメラで捉えるミラー投影型のものがある。ミラー投影型のセンサでは、その特性上、カメラ自身が映像に映り込んでしまうという問題があり、完全な半球状の映像を獲得することができない。そのため、本研究では構造的に完全な半球状の映像を獲得可能な魚眼レンズを採用した。

魚眼レンズには主に「等立体角投影」「立体投影」「等距離投影」の 3 つの投影方法がある。それぞれの特性は図 2.1 のように全方位カメラの光軸を垂直上向きに設定して撮影を行った際、等立体角投影では対象物体の上部が映像上に大きく投影されるため、物体上部を高解像度で撮影可能になるが、その代わりに物体下部が低解像度となってしまう。立体投影では、等立体角投影とは逆に対象物体の下部を高解像度に撮影が可能であるが、物体上部が低解像度となる。等距離投影では等立体角投影と立体投影のちょうど中間の特性を持ち、最も空間解像度のバランスが取れている。本システムでは対象となる建物の高さを特に限定していないため、最もバランスのとれた「等距離投影」の魚眼レンズを採用した(図 2.2)。

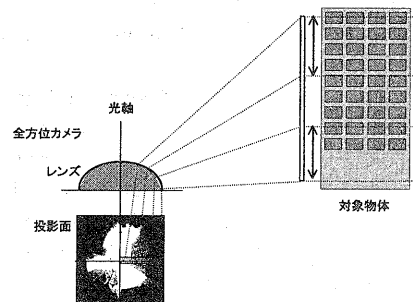


図 2.1 投影方法の種類

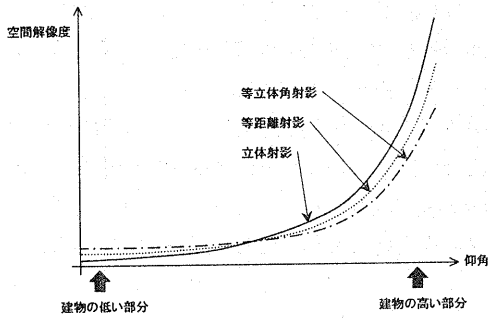


図 2.2 投影方法と空間解像度

全方位カメラには全周囲の映像を一度に獲得できるという大きな利点があるが、逆に一度に全周囲の情報が投影されるため空間解像度が低くなるという問題点が挙げられている。そこで本システムでは 2024×2044 画素の高精細カメラを用いることでその問題を回避した。

3 レジストレーション

3.1 SCP を用いたオフセット量の獲得

全方位カメラの光学中心の絶対座標値(ここでは国家座標値)を求めるために、本システムでは GPS を利用した位置情報センサと方位センサを用いている。ここで、位置情報センサのセンシング位置と、実際の光学中心の国家座標位置は完全には一致せず、オフセットパラメータを求める必要がある。また、位置だけではなく、方位角についても、方位センサによって獲得される角度と、実際の角度のオフセットパラメータを求める必要がある。ここで求めるオフセットパラメータは、水平方向位置(x, y)、高さ方向(z)、方位角(φ)となる。

本稿では、これらオフセットパラメータを求めるために空間中の基準点(SCP: Spatial Control Point)という概念を導入して利用した。SCP は、GCP とは異なり、空間中の基準点、標本点のことである。SCP が全方位センサの投影式によって投影される位置と、実際に SCP が投影されている位置との差を最小とするよ

うな(x, y, z, φ)の値を、位置情報センサ、方位センサの値を初期値として最適化アルゴリズム^[9]で解析し、オフセットパラメータを求める。

SCP の座標値を(X_p, Y_p, Z_p)、最適化する全方位カメラの光学中心を(X_f, Y_f, Z_f)とすると、全方位画像上での SCP の投影点 P の画像中心からの距離 L は

$$L = f \left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{|Z_p - Z_f|}{\sqrt{(X_p - X_f)^2 + (Y_p - Y_f)^2}} \right) \right) \quad \dots (1)$$

となる。

さらに、画像中の 1[pix]の大きさを Q[m]、画像中心の座標を(I_c, J_c)、最適化する方位角を ϕ_f とすると、点 P の座標(I_p, J_p)は

$$\begin{cases} I_p = L \cdot \frac{\cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{Y_p - Y_f}{X_p - X_f} \right) - \phi_f \right)}{Q} + I_c \quad \dots (2) \\ J_p = L \cdot \frac{\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{Y_p - Y_f}{X_p - X_f} \right) - \phi_f \right)}{Q} + J_c \end{cases}$$

となる。この点 P の座標と、実際に SCP が投影されている点 S(I_s, J_s)の差の二乗和が最小となるように (X_f, Y_f, Z_f, ϕ_f)を最適化し、得られた値と、初期値に用いた各センサのセンシング位置、方位角情報との差をオフセットパラメータとして決定する(図 3.1)。

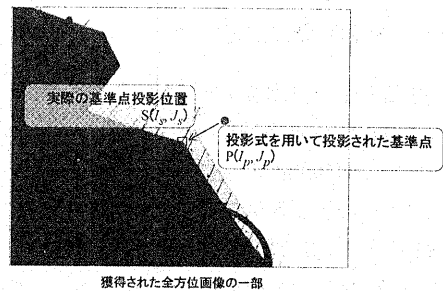


図 3.1 SCP による最適化

3.2 上空系獲得モデルの補正

本稿の特徴のひとつである上空系からのアプローチによって獲得されたモデルを利用するために、決定されたオフセットパラメータによって求まる全方位センサの光学中心と、全方位センサの投影式を用いて、上空系獲得モデルを全方位画像上に投影する。このとき、上空系獲得モデル獲得時の誤差などによって、実際に上空系獲得モデルと対応する建物が投影されている位置とに差が生じる。そのため、そのままでは上空系獲得モデルを利用することができない。そこで、上空系獲得モデルの位置補正が必要となる。

補正する対象モデルを構成する点を式(1)、(2)と同様にして全方位画像上に投影する。モデルを構成する各点に対応する、実際に全方位画像上に投影されている点との位置の差の二乗和が最小となるように補正パラメータ (x, y, z) を求め、補正を行った。

4 側面テクスチャの獲得

補正された上空系獲得モデルを全方位画像上に投影して、得られた輪郭領域(以下、シルエット領域)を切り出し、変形を行うことで側面テクスチャを獲得することができる。ここで、全方位画像は複数枚撮影されているため、シルエット領域を設定する画像をその中から選択する必要がある。

以下では複数ある全方位画像の中からテクスチャを獲得するのに最適な対象画像を決定する手法について述べ、その後で投影されたシルエット領域から側面テクスチャを獲得する手法について述べる。

4.1 対象画像の決定

複数の全方位画像から側面テクスチャを獲得するのに最適な対象画像を決定する際に、上空系獲得モデルの対象側面の位置や方向と、全方位カメラの光学中心などの条件によって、獲得されるテクスチャの解像度や歪みがどうなるかを考えると、全方位カメラと対象側面の位置が最も近づいた時に、最も高い空間解像度でテクスチャの獲得される。また、対象側

面の重心からのばした法線と全方位カメラの光学中心の距離が最小の時、最も歪みのないテクスチャが獲得される。これらの特徴を利用して、以下のように最適な対象画像を決定する。

側面テクスチャを獲得する上空系獲得モデルの重心点 (X_g, Y_g, Z_g) の全方位画像上での投影点 $G(I_g, J_g)$ を式(1)(2)と同様にして求める。このとき、全方位画像の中心 (I_c, J_c) を中心とした点Gの位相 θ は

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{J_g - J_c}{I_g - I_c} \right) \dots (3)$$

となる。ここで、全方位カメラの進行方向軸が対象となる側面と平行な場合は、 $\theta = \pi/2$ の時に最も全方位カメラと対象側面の位置が近く、また、対象面の重心からのばした法線と全方位カメラの中心の距離が近くなる(図 4.1.1)。

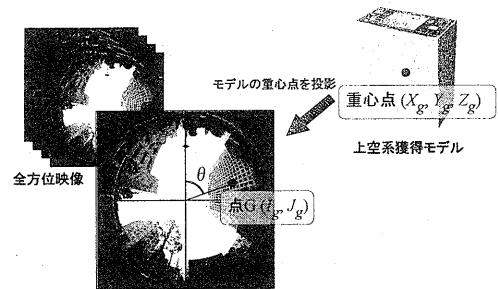


図 4.1.1 投影された重心点の位相

以上のようにして、投影された対象となる上空系獲得モデルの重心点の位相を全画像に関して求め、その位相を用いて最も側面テクスチャ獲得に適した対象画像を決定する。

4.2 シルエット領域の切り出しと変形

決定された対象画像に上空系獲得モデルを投影し、モデルの輪郭をシルエット領域として切り出し、全方位カメラの外部パラメータと、投影式などの内部

パラメータを元に矩形に変形する(図 4.2.1)。

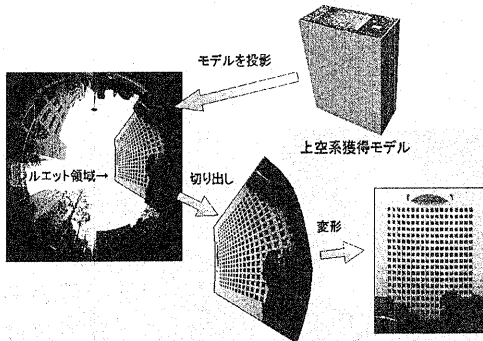


図 4.2.1 シルエット領域の切り出しと変形

側面テクスチャを獲得する対象となる、上空系獲得モデルの側面を格子状に分割し、その各格子点が全方位画像上に投影される点の位置を式(1)、(2)と同様に求める。この時、投影される点群が切り出すシルエット領域となる。次に、投影された点の位置にある全方位画像上の点を、側面を分割した格子数と同じ数の画素数を持つ矩形領域にマッピングする。これによってシルエット領域が矩形に変形される。

ここで、投影されたシルエット領域が図 4.2.2 の様に点 $A(I_a, J_a)$, $B(I_b, J_b)$, $C(I_c, J_c)$, $D(I_d, J_d)$ で構成される時、線分 AB、弧 BC、線分 CD、弧 DA の画像上での長さをそれぞれ L_{ab} , L_{bc} , L_{cd} , L_{da} [pix]、実空間上での長さ M_{ab} , M_{bc} , M_{cd} , M_{da} [m]とした時、各辺に於ける空間解像度はそれぞれ M_{ab}/L_{ab} , M_{bc}/L_{bc} , M_{cd}/L_{cd} , M_{da}/L_{da} [m]となる。この空間解像度の最小値、最大値をそれぞれ S_{min} , S_{max} [m]とすると、設定する格子の間隔 S [m]は $S_{min} < S < S_{max}$ の範囲で設定することができる。

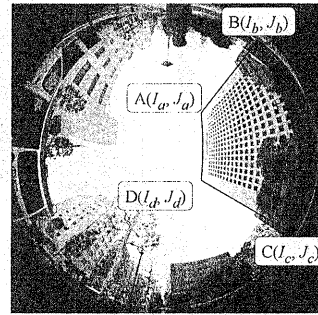


図 4.2.2 シルエット領域

5 実験

本システムを用いて、実際に都市空間中で撮影した全方位画像を元の実験を行った。以下にその結果を示す。

5.1 上空系獲得モデルの補正結果

図 5.1.1 は補正される前の上空系獲得モデルを全方位画像上に投影した図である。投影された輪郭と実際の建物輪郭とに位置の差があるのがわかる。

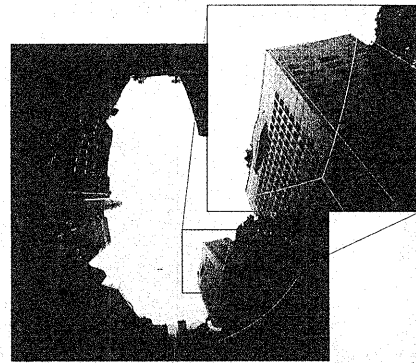


図 5.1.1 補正前の上空系獲得モデル

一方、図 5.1.2 は補正された上空系獲得モデルを同様に投影した図である。3.2 節によって補正された結果、実際の建物輪郭と一致している。

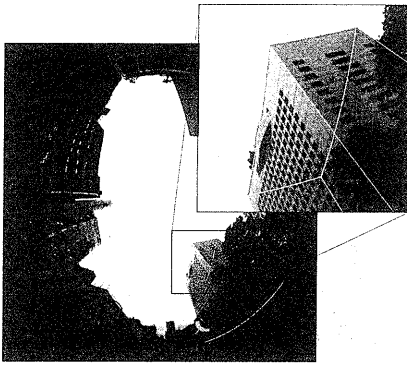


図 5.1.2 補正後の上空系獲得モデル

なお、このモデルに関する補正パラメータ(x, y, z)はそれぞれ(1.4, -2.4, 3.9)[m]であった。補正前のこのモデルの高さは 91.48[m]であり、補正パラメータによって高さは 95.38[m]となる。この値をレーザー計測器によってヘリコプターから測量された高さと比較すると、測量値は 94.80~95.50[m]の範囲であった。

5.2 テクスチャ画像の比較

図 5.2.1 は側面テクスチャを獲得する上空系獲得モデルの投影された重心点の位相が $\pi/2$ から離れている時の全方位画像とそれに投影したシルエット領域から獲得された側面テクスチャ画像である。

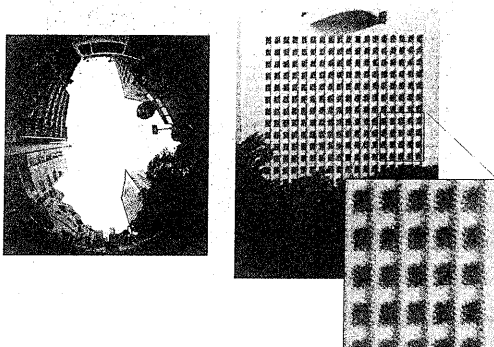


図 5.2.1 側面テクスチャ画像例①

一方、図 5.2.2 は投影された重心点の位相が $\pi/2$ に最も近かった時の側面テクスチャ画像である。側面

テクスチャ獲得の対象画像による違いで、獲得される側面テクスチャ画像の品質に大きな違いがあることがわかる。

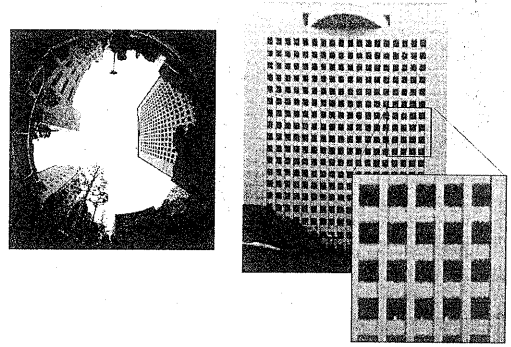


図 5.2.2 側面テクスチャ画像例②

5.3 テクスチャマッピング結果

図 5.3.1、5.3.2 は本手法によって、上空系獲得モデルに対して側面テクスチャをマッピングして表示した例である。

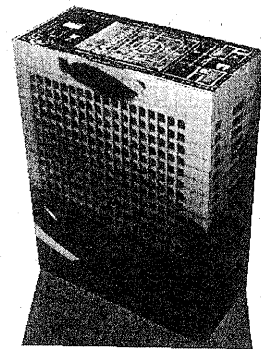


図 5.3.1 テクスチャマッピング例①

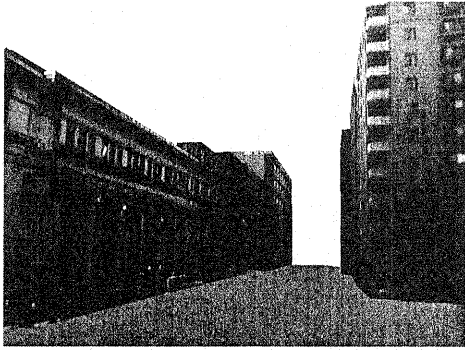


図 5.3.2 テクスチャマッピング例②

6 まとめ

本稿では、3次元都市景観情報獲得技術において、既上空系からのアプローチによって獲得された建物モデルの側面にテクスチャをマッピングする手法について述べた。

本手法の特徴は、魚眼レンズを用いた全方位カメラを利用することで、都市部における高い建物でも映像化し、効率的にテクスチャを獲得することが可能な全方位画像を用いる点と、上空系獲得モデルを全方位画像上に投影して得られるシルエット領域を利用して側面テクスチャ画像を獲得する点である。

実際に獲得を行うにあたって SCP による全方位カメラの光学中心のオフセットパラメータを解析し、上空系獲得モデルの補正を行った。

本手法によって、高品質な側面テクスチャをマッピングした建物モデルを構築することができた。

7 今後の課題

本稿によって獲得されたテクスチャ画像上には、手前の樹木や通行人などといった遮蔽物がそのまま投影されてしまっている。今後は、さらなるテクスチャ品質の向上を目指すために、これらの遮蔽物を、建物表面上の特徴点の奥行き情報や、複数の全方位画像の組み合わせなどによって取り除く手法を検討していく。

参考文献

- [1] デジタルシティ京都・実験フォーラム,
“<http://www.digitalcity.gr.jp/>”.
- [2] Virtual Helsinki,
“<http://www.arenanet.fi/virtuaalihelsinki/>”.
- [3] Isao Miyagawa, Shigeru Nagai, Kazuhiro Sugiyama, “Recovery of Building Shape from Aerial Images using Factorization Method with Sensor Information”, Proceedings of UM3’99, pp.157-163, 1999.
- [4] Isao Miyagawa, Shigeru Nagai, Kazuhiro Sugiyama, “Shape Recovery from Aerial Image using Factorization Method with Sensor Information”, ACCV2000, 2000.
- [5] Shoichi Horiguchi, Shigeru Nagai, Kazuhiro Sugiyama, “Recovering 3D urban model using Range data and Sequential Aerial Images”, Proceedings of UM3’99, pp.79-84, 1999.
- [6] Shiro Ozawa, Isao Miyagawa, Shigeru Nagai, Tomohiko Arikawa, Shoichi Horiguchi, Kimiaki Shoji, Tetsuya Uzawa, “Constructing Wide Area 3D Digital City”, Proceedings of UM3’2000, 2000.
- [7] 納富 幹人, 小澤 史朗, 全 炳東, “移動体観測による都市モデルの構築”, 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.5, pp.872-879, May 1998.
- [8] 山沢 一誠, 八木 康史, 谷内田 正彦, “移動ロボットのナビゲーションのための全方位センサ HyperOmni Vision の提案”, 信学論 (D-II), J97-D-II, pp.698-707, 1996.
- [9] R.Fletcher, M.J.D.Powell, “A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization”, Computer Journal, Vol.6, pp.163-168, 1963.