

単眼全方位カメラを用いた環境復元における2視点からの見えの違いを利用した物体メッシュモデル最適化

Triangular Mesh Model Optimization by Using Multiple View-point Images on Environment Reconstruction by Single Omnidirectional Camera

川西 亮輔† 瀬瀬 理志† 山下 淳† 金子 透†

Ryosuke Kawanishi†, Tadashi Koketsu†, Atsushi Yamashita†, Toru Kaneko†

† 静岡大学 工学部 機械工学科

† Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

E-mail: f5945016@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract

我々の従来研究では、全方位カメラを用いた Structure from Motion による3次元環境モデル生成の手法を提案した。この手法の課題として、全方位画像を用いることによる生成モデルのテクスチャの歪みの低減や、より物体形状に適したメッシュモデルの構築が挙げられる。全方位画像の歪みに関しては、双曲面ミラーの焦点を投影中心とする透視投影変換によって解決できることをすでに示した。本論文では、生成モデルの歪みの原因となっているメッシュモデルの頂点（すなわち誤差の大きい計測データ）を edge collapse によって削除することで、メッシュモデルの最適化を行う。提案手法では、2視点からの見えの違いを評価に用い、2視点から生成した各メッシュのテクスチャの歪みが最小となるように edge collapse を繰り返し適用する。これにより、物体形状が未知である場合にも、メッシュモデルを最適化することが可能である。実験より、提案手法の有効性が示された。

1 序論

ロボットが自律的に活動するためには、周囲環境の地図と、環境中における自己位置推定を行う機能が重要である。地図生成と自己位置推定を行う手法として、カメラ画像を用いたアプローチがあり、多くの研究者が取り組んでいる [1] [2]。

我々は視野の広い全方位カメラを用いた、広範囲の環境計測と自己位置推定の手法を提案している [3]。全方位カメラは1枚の画像に周囲360度を撮像できるため、周囲環境の計測および自己位置推定に有効であることが示されている [4]。本研究で用いる全方位カメラを図1に示す。提案手法は Structure from Motion に基



図1 全方位カメラと取得画像

づいている。取得した動画画像中で特徴を追跡し、対応付けられた特徴の画像間の位置関係を用いることで自己位置推定と周囲環境計測を行う。計測結果から3角形メッシュモデルを生成し、各メッシュに全方位画像から作成したテクスチャを付与することで、環境の3次元モデルを構築する。

我々の従来研究 [3] の問題点として、生成モデルに付与するテクスチャ画像に歪みが存在することが挙げられる。本研究では双曲面ミラーを利用した全方位カメラを使用するため、取得画像は円形に歪んでいる。そのため、3角形メッシュに付与するテクスチャ画像を作成する際には、全方位画像の歪みを排除する必要がある。我々は双曲面ミラーの幾何学的特性を考慮した透視投影変換により、歪みのないテクスチャ画像を生成する手法を提案した [5]。

その他の問題点として、生成モデルの形状歪みが挙げられる。誤差の大きい計測点をモデルの頂点として用いた場合、実際の物体形状と矛盾する3角形メッシュが生成される。したがって、誤差の大きい計測点かどうかを判定し、モデルの頂点候補から除外する必要がある。生成モデルの頂点数を削減する手法の一つである edge collapse が従来から研究されているが [6]–[9]、ほとんどの従来手法では頂点の削減前のモデル形状が

正しいことを前提としている．本研究のように未知形状の物体かつ頂点データに誤差が含まれる状況において，従来手法をそのまま適用することはできない．

また，未知環境においては計測対象の形状が未知であるため，画像情報のみを用いた手法（画像間の特徴の類似度を評価する，など）のみで誤差の大きい計測点かどうかを判別することが困難な場合がある．そこで本研究では，誤差の大きい計測点を生成モデルの頂点とした場合に，その計測点を含む3角形メッシュのテクスチャ画像に実際の環境にはない歪みが生じることを利用することによって，誤差の大きい計測点を検出する手法を提案する．

テクスチャ画像の歪みを検出する手法として，中辻らの手法 [10] がある．この手法は，モデル形状に対するテクスチャ画像を複数視点の画像から生成し，それらのテクスチャ画像の差異を評価する．評価値が良くなるようにモデル頂点の結び方を変更することで，物体形状に矛盾しないモデルを生成する．中辻らの手法 [10] は3次元形状と作成されたテクスチャ画像を利用するため，画像ベースの手法では判別が困難な場合においてもモデル形状の評価が可能である．しかし，この手法は頂点の結び方を変更するのみで，物体形状と矛盾する頂点（すなわち誤差の大きい計測点）の削除は行っていない．

そこで本研究では，実際の物体形状と矛盾する誤差の大きい計測点を，2視点の画像から作成したテクスチャ画像の歪みを評価することで検出し，edge collapseにより削除することで，メッシュモデルの最適化を行う手法を提案する．

2 処理概要

本章では提案手法の処理概要について述べる．処理手順を図2に示す．まずカメラを移動させながら動画像を取得する．取得画像から特徴点を抽出し，画像間で追跡を行うことにより，画像間で対応した特徴点（対応点）を得る．次に対応点を用いてカメラ運動を推定し，推定されたカメラ運動から対応点の3次元計測を行う．この際，カメラ運動推定の誤差を最小化するためバンドル調整を適用する．次に対応点の3次元計測点群に対し3次元ドロネー分割を適用し，3角形メッシュからなる多角形モデルを構築する．ここで提案手法によりモデルの歪みの原因となっている頂点（すなわち誤差の大きい計測点）を除去し，3角形メッシュモデルを最適化する．最終的に，3角形メッシュに全方位画像列から取得したテクスチャを付与することで環境の3次元モデルを生成する．

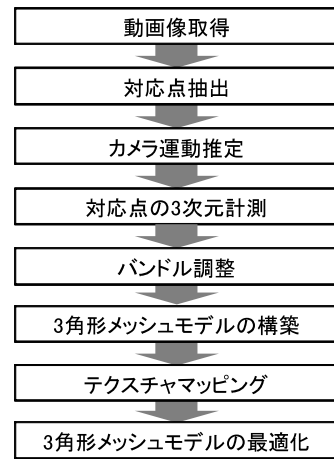


図2 処理の概要

3 環境計測

本章では環境の3次元計測手法について述べる．環境計測の手順は，対応点抽出，カメラ運動推定，対応点の3次元計測の3つに分けられる．実際の処理では対応点の3次元計測とカメラ運動推定は同時並行して行われる．それぞれの手法の詳細を以下に述べる．

3.1 対応点抽出

カメラ運動を推定するため，各画像間における対応点を取得する．取得画像から特徴点を抽出し，画像間で追跡することにより，対応点を取得する（図3）．本手法では，KLTトラッカ [11] により特徴点の追跡を行う．

3.2 カメラ運動推定

取得した対応点を用いてカメラ運動を推定する．提案手法では，カメラ運動の初期推定として8点法 [12] を用いる．8点法は線形演算により高速にカメラ運動を推定することができる．

カメラから3次元空間中の点に向かう光線を光線ベクトル $\mathbf{r} = [x, y, z]^T$ と定義する．本研究で用いる全方位カメラはカメラ前方に双曲面ミラーを装着したものであり，この光線ベクトル $\mathbf{r}$ は，双曲面のミラー側の焦点から3次元空間中の点へ向かう光線が双曲面上で反射する点へのベクトルで表せる（図4）．光線ベクトル $\mathbf{r}$ は，特徴点の画像座標 $[u, v]^T$ から式 (1), (2) により算出される．

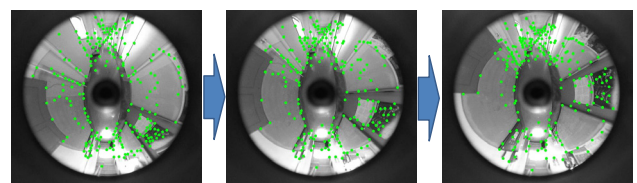


図3 特徴点追跡

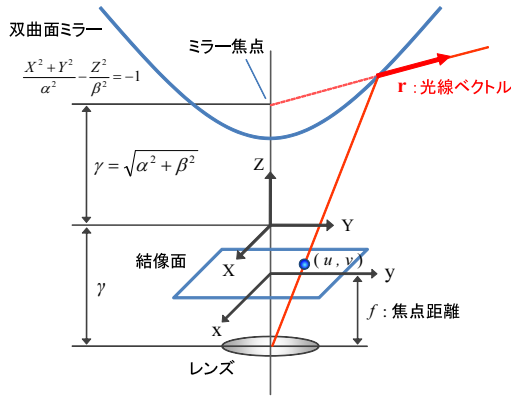


図4 光線ベクトルと全方位カメラ座標系

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} su \\ sv \\ sf - 2\gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$s = \frac{\alpha^2 \left(f\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + \beta\sqrt{u^2 + v^2 + f^2} \right)}{\alpha^2 f^2 - \beta^2(u^2 + v^2)} \quad (2)$$

ここで α , β , γ は双曲面のパラメータ, f は焦点距離である. 後の演算で特徴点ごとの偏差を生じさせないように $\mathbf{r}$ を単位ベクトルに変換し, 正規化する.

カメラ運動推定に用いる 2 画像間の対応点の光線ベクトル $\mathbf{r}_i = [x_i, y_i, z_i]^T$, $\mathbf{r}'_i = [x'_i, y'_i, z'_i]^T$ を用いて幾何関係によりカメラ間の位置・姿勢情報からなる行列を求める. この行列は基本行列 $\mathbf{E}$ と呼ばれ, 式 (3) で表される.

$$\mathbf{r}'_i{}^T \mathbf{E} \mathbf{r}_i = 0 \quad (3)$$

式 (3) を変形すると式 (4) が得られる.

$$\mathbf{u}_i{}^T \mathbf{e} = 0 \quad (4)$$

ただし,

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_i &= [x_i x'_i, y_i x'_i, z_i x'_i, x_i y'_i, y_i y'_i, z_i y'_i, x_i z'_i, y_i z'_i, z_i z'_i] \\ \mathbf{e} &= [e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{33}] \\ (e_{ab} \text{ は } \mathbf{E} \text{ の } a \text{ 行 } b \text{ 列成分}) \end{aligned}$$

である. 基本行列 $\mathbf{E}$ は 8 点以上の対応する光線ベクトル対に対する連立方程式として, 最小二乗法で求めることができる (式 (5)).

$$J = \|\mathbf{U}\mathbf{e}\|^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

ここで, $\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_n]^T$ の $9 \times n$ 行列, n は特徴点の数である. $\mathbf{e}$ は $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ の最小固有値に対応する固有ベクトルとして与えられ, 基本行列 $\mathbf{E}$ が求まる.

基本行列 $\mathbf{E}$ は回転行列 $\mathbf{R}$ と並進移動ベクトル $\mathbf{t} = [t_x, t_y, t_z]^T$ により式 (6), (7) で表される.

$$\mathbf{E} = \mathbf{R}\mathbf{T} \quad (6)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

基本行列 $\mathbf{E}$ を特異値分解することで, カメラ運動の回転行列 $\mathbf{R}$ と並進ベクトル $\mathbf{t}$ を算出することができる. ここで, 対応点には画像間における対応精度が悪いものが含まれることがある. 対応精度の悪い点はカメラ運動推定に悪影響を及ぼすことが考えられる. そこで提案手法では, RANSAC[14] を適用することによってカメラ運動推定に悪影響のある対応点をアウトライアとして除去する.

3.3 対応点の 3 次元計測

推定されたカメラ運動を用いて対応点の 3 次元計測を行う. 提案手法では対応点の 3 次元座標 $\mathbf{p}_i$ を, 画像中の対応点に向かう光線ベクトル $\mathbf{r}_{i,o}$ と各カメラ位置 o から対応点の 3 次元位置に向かうベクトル (以下, 再投影ベクトル) $\hat{\mathbf{r}}_{i,o}$ との角度誤差を最小化する 3 次元座標として算出する. 再投影ベクトル $\hat{\mathbf{r}}_{i,o}$ は式 (8) で算出される.

$$\hat{\mathbf{r}}_{i,o} = \mathbf{R}_o(\mathbf{p}_i - \mathbf{t}_o) \quad (8)$$

以降の計算では, 再投影ベクトル $\hat{\mathbf{r}}_{i,o}$ は単位ベクトルとして正規化されたものとする. 対応点の 3 次元座標 $\mathbf{p}_i$ は式 (9) で与えられる誤差 ϵ_i が最小となるときに 3 次元座標として与えられる. 提案手法ではレーベンバーグ・マーカート法によって誤差を最小化する $\mathbf{p}_i$ を探索する.

$$\epsilon_i = \sum_o (1 - \hat{\mathbf{r}}_{i,o}^T \mathbf{r}_{i,o})^2 \rightarrow \min \quad (9)$$

3.4 バンドル調整による誤差の最小化

8 点法により推定されたカメラ運動は, 線形近似による誤差を含んでいる. 提案手法ではその誤差をバンドル調整 [13] に基づいた手法によって最小化する. バンドル調整は再投影誤差を最小化することでカメラ運動を最適化する枠組みである. 実際の処理では対応点の 3 次元計測 (3.3 節) と本章のバンドル調整は同時並行して行われる.

一般に再投影誤差とは, 対応点の 3 次元位置を各カメラ位置におけるカメラの結像面に投影した際の画像座標と, 対応点の画像座標との誤差である. 本研究で用いる全方位画像で再投影誤差を最小化することは, 画像中の対応点に向かう光線ベクトル $\mathbf{r}_{i,o}$ と再投影ベクトル $\hat{\mathbf{r}}_{i,o}$ (3.3 節) との角度誤差を最小化することと同義である. そこで, 以下の式 (10) で表わされる誤差 ϵ

を最小化する．提案手法では，レーベンバーグ・マーカート法によって誤差を最小化するカメラ運動の回転行列 $\mathbf{R}_0$ と並進ベクトル $\mathbf{t}_0$ を探索する．

$$\epsilon = \sum_i \epsilon_i \rightarrow \min \quad (10)$$

バンドル調整においても RANSAC を適用し，再投影誤差の大きい対応点をアウトライアとして除去する．ここで再びアウトライアの判定を行うのは，8 点法では 2 枚の画像情報のみしか利用していないため拘束条件が弱く，除去できないアウトライアが存在するからである．

ここで，あらゆる視点からの画像を用いれば，バンドル調整と RANSAC の併用によって，理想的には全てのアウトライアを除去することが可能である．しかし，実際に取得できる画像列の視点は限られていること，ノイズなどの原因で画像間の特徴点に対応誤差が含まれることなどによって，理想的な条件で計測を行うことは困難である．したがって，対応点の計測には誤差が含まれる．誤差のある計測点をモデルの頂点として用いると，モデルに大きな歪みを生じることがある．そこで，提案手法では次章で述べるモデルベースの手法によってモデル生成に悪影響を及ぼす計測点の除去を行う．

4 3次元モデル生成

本章ではモデル生成手法について述べる．提案するモデリング手法は，3 角形メッシュモデルの構築，テクスチャマッピング，メッシュモデルの最適化の 3 つに分けられる．実際の処理では，テクスチャの生成とメッシュモデルの最適化は同時並行して行われる．それぞれの手法の詳細を以下に述べる．

4.1 3 角形メッシュモデルの構築

計測点群に対し，3 次元ドロネー分割を適用し，3 角形メッシュモデルを構築する．ドロネー分割によって得られたメッシュモデルは，基本的に近い計測点同士を連結した 3 角形メッシュであり，実際の物体形状を考慮していない．そのため，物体が存在しない位置にも 3 角形メッシュを生成してしまう問題がある．そこで，各計測点が特徴点として取得されたときのカメラ位置から，その計測点までの間には物体が存在しないという条件を利用し，この条件に反する 3 角形メッシュを削除する．

また，本研究で用いる全方位カメラの視野は，水平方向は 360 度すべての方向をカバーしているが，垂直方向に関しては仰角 25 度，俯角 65 度であり，死角が存在する．3 角形メッシュは全方位画像の死角となる位置にも生成されるため，そのような 3 角形メッシュも

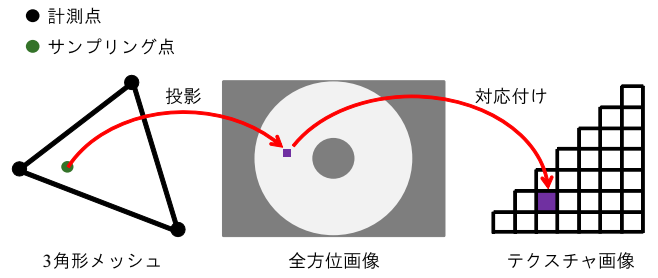


図 5 テクスチャ作成

削除すべきである．空間中の 3 角形メッシュを，推定された全てのカメラ位置における全方位画像に投影する．全てのカメラ位置において投影された 3 角形メッシュが画像中に収まらない場合，死角に存在する 3 角形メッシュであると判定して削除する．

4.2 テクスチャマッピング

3 角形メッシュに付与するテクスチャは解像度が高いものが望ましい．そこで，各カメラ位置における全方位画像に 3 角形メッシュを投影し，投影された 3 角形の面積が最も大きくなる画像をテクスチャ作成に用いる．ただし，3 角形の一部（あるいは全部）が全方位カメラの視野外となる画像は選択枝から除外する．

全方位画像は特有の歪みを有しているため，3 角形内部の色情報を取得する際に，3 角形メッシュ頂点が投影された画像座標から線形補完することによって対応画素を探索する方法を用いると，テクスチャ画像に実際の物体と異なる歪みが生じる問題がある．そこで提案手法では，空間中の 3 角形メッシュ上の点をサンプリングし，選択された画像に投影する．投影された画素の色情報を，3 角形メッシュに付与するテクスチャ画像の対応する位置に与える（図 5）．これを 3 角形メッシュ全体で行うことにより，テクスチャ画像を作成する．3 角形メッシュ上の点のサンプリング間隔は，作成されるテクスチャの解像度が，選択された画像に投影された 3 角形の解像度と同じになるように決定する．3 次元点を画像に投影して色情報を取得することで，全方位画像特有の歪みによるテクスチャ画像の歪みを低減することができる [5]．

テクスチャ画像の歪みの例を図 6 に示す．3 角形内部の色情報を線形補完によって取得したテクスチャ画像（図 6(b)）は不自然な歪みが生じているが，提案手法によるテクスチャ画像（図 6(c)）には歪みがないことが分かる．

4.3 モデルの最適化

誤差を含んだ計測点を頂点として用いると，実際の物体と異なる形状のメッシュモデルが生成されるという問題がある．しかし，対応点の計測の段階で誤差を含んだ計測点を全て除去することは困難である．そこ

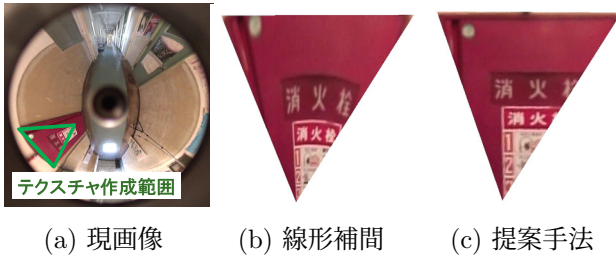


図 6 テクスチャ画像の歪みの比較

で提案手法では、メッシュモデルと実際の物体の形状の整合性を評価し、edge collapse によって誤差を含んだ計測点をモデルの頂点候補から除外することで、メッシュモデルを最適化する。

edge collapse は、メッシュモデルを構成する 1 つの線分を消去し、その両端の頂点を 1 つの頂点に結合する操作である (図 7)。文献 [6]–[9] では、基準となる 3 角形メッシュの形状を可能な限り保つように edge collapse を行う線分を決め、点数を削減している。しかし、これらの従来研究は、モデリング対象の正確な計測データが得られることを前提としているため、誤差を含んだ頂点だけを削除することはできない。そこで、誤差の大きい頂点によって構成される 3 角形メッシュを検出し、モデリングに悪影響のある頂点だけを edge collapse によって削除することを考える。

実際の物体と矛盾した形状であるモデルは、テクスチャに不自然な歪みが生じる。複数視点の画像から作成したテクスチャ画像を比較することで、実際の物体とメッシュモデルとの形状の整合性を判定する手法として中辻らの手法 [10] がある。この手法では、3 角形メッシュのテクスチャ画像を複数の視点の画像から作成し、それぞれのテクスチャ画像を 2 辺の長さが等しい直角三角形に変形させ、比較する。実際の物体と矛盾しない形状のメッシュモデルの場合、どの視点の取得画像を用いても同じテクスチャ画像が作成される (図 8(a))。逆に実際の物体と矛盾した形状のメッシュモデルの場合、視点によって異なるテクスチャ画像が作成される (図 8(b))。これを利用し、メッシュモデルの形状の矛盾が少なくなるように、頂点の結び方を変更す

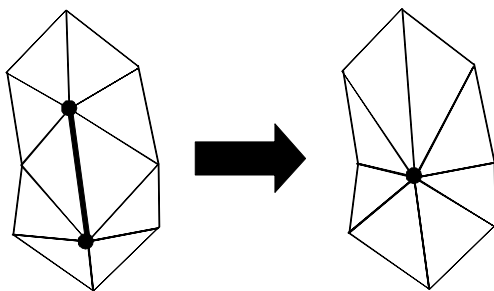


図 7 edge collapse

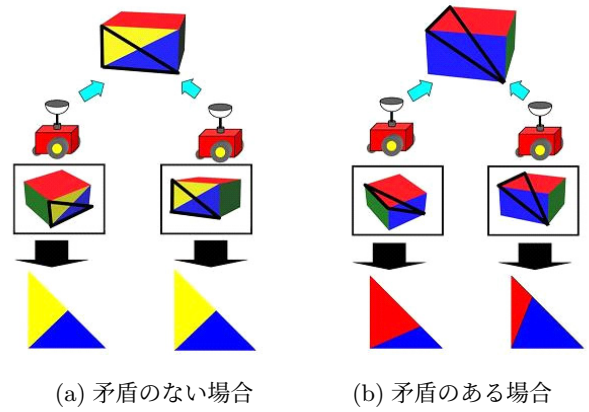


図 8 モデル形状の矛盾の有無と複数視点画像からのテクスチャ画像の作成

るものである。

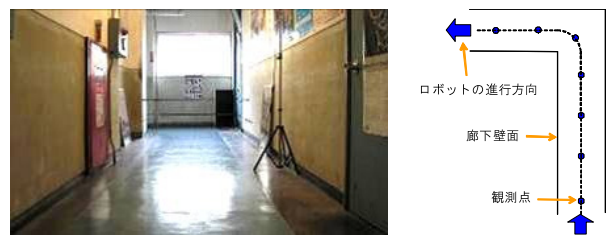
提案手法では、中辻らの手法 [10] を、edge collapse で削除する頂点の検出に応用する。ある頂点を削除した場合と削除しない場合とで、それぞれ 2 視点の画像から作成された 2 枚のテクスチャ画像を比較する。頂点を削除した場合の方が 2 視点間のテクスチャ画像の相違度が低いとき、その頂点をモデルから削除する edge collapse を適用する。これを全てのモデル頂点に対し繰り返し適用することで、モデル形状の歪みの原因となっている頂点（すなわち誤差の大きい計測点）を削除する。

提案手法は、常にモデル形状の歪みが小さくなるように edge collapse を適用する。したがって、頂点の削除によってモデル形状の歪みが拡大する可能性を低減しつつメッシュモデルを最適化することができる。

5 実験

環境計測およびモデリングの実験を行った。実験条件を図 9 に示す。屋内環境（廊下：図 9 (a)）で全方位カメラを搭載したロボットを走行させ（図 9 (b)）、動画像を取得した。

計測結果（上視点）を図 10 に示す。廊下の形状が実際の物体形状に近く計測されているが、誤差を含んだ



(a) 環境環境

(b) 概略図

図 9 実験条件

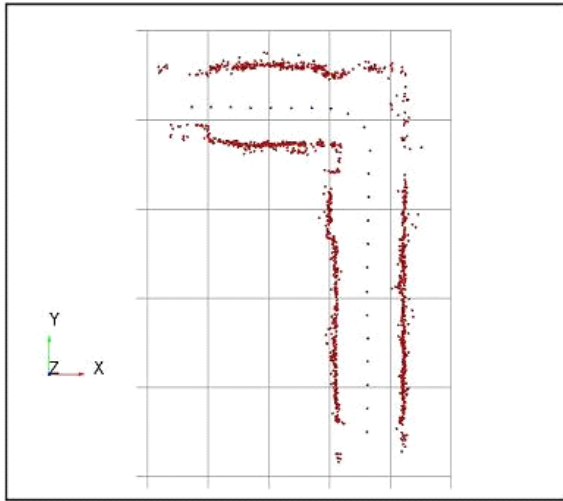


図 10 計測結果（上視点）

計測点が含まれているのが分かる。

廊下の計測結果から構築された 3 角形メッシュモデルを図 11 に示す。計測誤差によって実際の環境にない凹凸を含んだモデル形状になっている。この 3 角形メッシュに対してテクスチャを貼り付けた環境モデルが図 12 である。実際の環境にない凹凸によってテクスチャの歪みが生じている。

生成されたメッシュモデルにそのままテクスチャを付与した場合と、提案手法による最適化を行った場合との比較を行った。モデルの一部を拡大し、図 13 に示す。最適化前の 3 角形の数約 1600 個、最適化後の 3 角形の数約 1200 個である。モデル形状の歪みの原因となっていた頂点が削除され、より実際の環境に近いモデルが構築されたことが分かる。

図 13 のモデルの一部を拡大し、別視点から見た画像を図 14 に示す。提案手法による最適化を行っていない場合のメッシュモデル（図 14(a)）は、壁に設置されたパネルの一部が壁に埋もれた不自然な形状になっている。これは誤差の大きな計測点がモデルの頂点として

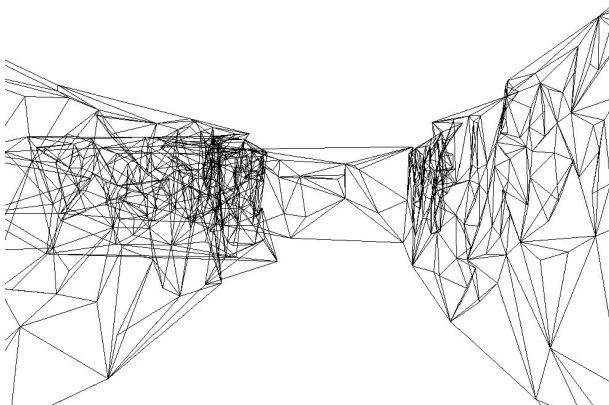


図 11 3 角形メッシュモデル



図 12 3 次元環境モデル

選択されたことによる影響である。最適化後のメッシュモデル（図 14(b)）では、モデルの歪みの原因となっていた頂点が削除されたことにより、実際の形状により近いモデルが構築された。

6 結論

本研究では、全方位カメラ 1 台のみによる環境計測およびモデル生成において、誤差のある計測点を自動的に判定し削除することにより、メッシュモデルの最適化を行う手法を提案した。実験結果より、提案手法の有用性が示された。

現在は 2 視点のみの画像を用いて最適化を行っているが、今後の課題として、3 視点以上の複数の画像を用いてメッシュモデルの最適化を行うことで誤差を含む計測点の検出精度を向上させることが挙げられる。また、エッジ情報を用いて密な計測結果を取得し、より実際の環境に即したモデルを生成する手法を構築する必要がある。

参考文献

- [1] A. J. Davison: “Real-Time Simultaneous Localisation and Mapping with a Single Camera”, *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision*, Vol. 2, pp. 1403-1410, 2003.
- [2] M. Tomono: “3D Object Mapping by Integrating Stereo SLAM and Object Segmentation Using Edge Points”, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5875, pp. 690-699, 2009.
- [3] R. Kawanishi, A. Yamashita and T. Kaneko: “Three-Dimensional Environment Model Construction from an Omnidirectional Image Se-



(a) 最適化なし



(b) 最適化あり

図 13 廊下のモデリング結果



(a) 最適化なし



(b) 最適化あり

図 14 拡大図 2

quence”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 21, No. 5, pp. 574-582, 2009.

- [4] C. Geyer and K. Daniilidis: “Omnidirectional Video”, *The Visual Computer*, Vol. 19, No. 6, pp. 405-416, 2003.
- [5] 瀬瀬 理志, 川西 亮輔, 山下 淳, 金子 透: “3次元環境モデル構築のための全方位画像からのモデル形状に適したテクスチャ生成”, ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集 (ViEW2009), pp. 146-151, 2009.
- [6] M. Garland and P. S. Heckbart: “Surface Simplification Using Quadratic Error Metrics”, *Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH1997)*, pp. 209-216, 1997.
- [7] 早野 勝之, 松岡 司, 植田 健治: “特徴抽出と稜線操作によるポリゴンメッシュの簡単化”, 情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告, Vol. 98, pp. 37-42, 1998.
- [8] 佐藤 研一, 今野 晃市, 徳山 喜政, 曾根 順治: “QEMを利用した3次元地形データの軽量化”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 56, No. 12, pp. 2006-2009, 2002.
- [9] 伊達 宏昭, 金井 理, 岸浪 建史, 西垣 一郎: “細分化と簡略化に基づく三角形メッシュの品質改善”,

精密工学会誌, Vol. 72, No. 2, pp. 223-227, 2005.

- [10] A. Nakatsuji, Y. Sugaya, and K. Kanatani: “Optimizing a triangular mesh for shape reconstruction from images”, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E88-D, No. 10, pp. 2269-2276, 2005.
- [11] J. Shi and C. Tomasi: “Good Features to Track”, *Proceedings of the 1994 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 593-600, 1994.
- [12] R. Hartley: “In defense of the eight-point algorithm”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 6, pp. 580-593, 1997.
- [13] B. Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley and A. Fitzgibbon: “Bundle Adjustment -A Modern Synthesis”, *Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms: Theory and Practice*, Springer-Verlag LNCS 1883, pp.298-372, 1999.
- [14] M. A. Fischler and R. C. Bolles: “Random Sample Con-sensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Carto-graphy”, *Communications of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395, 1981.