

平成27年度卒業論文

平面で構成された実物体の3次元モデリングと整形

指導教員

古谷 博史 教授

棕木 雅之 教授

情報システム工学科

二宮 龍之介

目次

1	はじめに.....	3
2	実物体の3次元モデリング.....	4
2.1	3次元モデリング.....	4
2.2	整形.....	5
2.3	従来の3次元モデリング.....	6
2.4	平面で構成された実物体の3次元モデリングと整形.....	8
3	3次元モデリング処理.....	10
3.1	モデリング処理.....	10
3.2	点群の計測.....	10
3.3	点群を近似する平面の推定.....	10
3.4	平面グラフの作成.....	12
3.5	平面グラフの面の抽出.....	13
3.6	採用する面の決定.....	14
4	3次元モデルの整形.....	16
4.1	整形処理.....	16
4.2	長さの調整.....	16
4.3	角度の調整.....	17
5	実験.....	19
5.1	合成データでの3次元モデリングと整形.....	19
5.1.1	実験手順.....	19

5.1.2 実験結果.....	20
5.1.3 考察.....	21
5.2 実物体の3次元モデリングと整形.....	21
5.2.1 実験手順.....	21
5.2.2 実験結果.....	22
5.2.3 考察.....	23
5.3 三角柱の3次元モデリングと整.....	23
5.3.1 実験手順.....	23
5.3.2 実験結果.....	24
5.3.3 考察.....	25
6 終わりに.....	26
謝辞.....	27
参考文献.....	27

1 はじめに

近年、3次元形状を生成することができる3Dプリンターが市販されるようになっており、一部の企業では自社製品の3次元データを公開している。例えば、ある会社では、トイレの2次元・3次元CADデータを公開しており、だれでもダウンロードできるようになっている。また、無料の3次元モデル編集ソフトの登場や、パーソナルコンピュータの高性能化による3次元計算にかかる処理時間の大幅な削減により、一般の人が個人で3次元データを扱える環境が整ってきた。さらに、個人同士が3次元データを共有できるサービスや3DCADデータを作成するサービスも展開されてきている。

このような背景から、実在する物体（以下、実物体と表記）の3次元データが求められる場面が生じている。そのため、実物体の3次元モデリングを行う技術が必要とされている。

実物体の3次元モデリングでは、一昔前の工業製品や歴史的な建築物など3次元データのないものをデータ化することができる。ある製品が壊れた時、修理に必要な部品が生産中止になっておりその3次元データがない場合、実物体のモデリングができると新たに3次元データ作成することで、その工業製品を修理できる。あるいは、その製品ごと複製することもできる。これは、歴史的な建築物にも当てはまる。3次元データがあればどこかが破損したとき、その箇所を修繕することができる。このようなことから実物体の3次元モデリングは非常に重要な技術であるといえる。

2 実物体の3次元モデリング

2.1 3次元モデリング

本研究では、点群からサーフェイスモデルを作成することを3次元モデリングとする。3次元形状データの主な表現方法には、ワイヤーフレームモデル（図1）、サーフェイスモデル（図2）、ソリッドモデル（図3）がある。

ワイヤーフレームモデルは、頂点と頂点を結ぶ線で3次元モデルを表現し、物体の骨組みのみを描画する手法である。3次元モデルの裏側などを見通すために用いられる表現方法である。

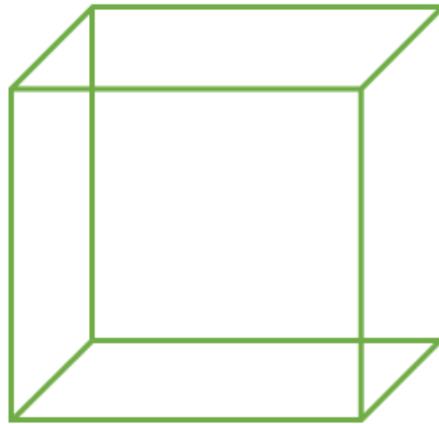


図1 ワイヤーフレームモデル

サーフェイスモデルとは、3次元グラフィックスで最も広く使われている3次元形状データの表現方法で、3次元空間内の頂点、頂点同士をつないだ線分、いくつかの線分からなる閉ループである面によって表現される。サーフェイスとはモデルを構成する面のことを指す。サーフェイスモデルの内部は空洞になっている。サーフェイスに画像を貼り付けたり、隠線の表示や非表示ができたりと、面の表示を色々と選択できることが特徴である。そのため、ワイヤーフレームモデルよりも実物に近いモデルを表現することができる。

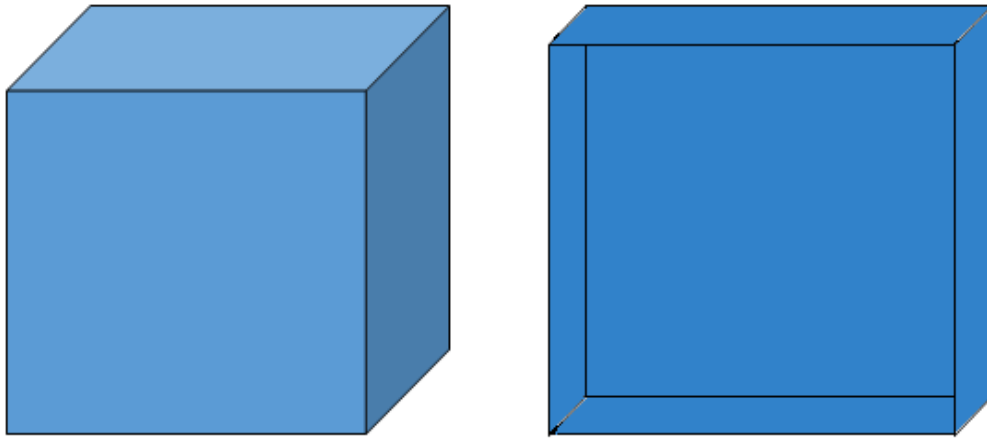


図2 サーフェイスモデル（右は断面図）

ソリッドモデルは、サーフェイスモデルと違い、3次元的な広がりを持つ部分空間、すなわち体積を持つ立体の集合として形状を表現する。そのため、物体の重さや重心を求めることができる。

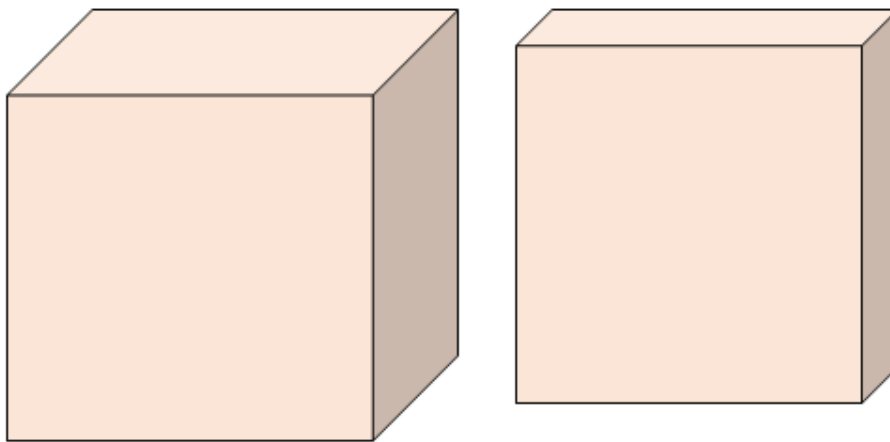


図3 ソリッドモデル（右は断面図）

本研究では、表示の幅が広く多面体の表現に適しており、物体の形状が分かりやすい、サーフェイスモデルを生成する。3次元モデリングの結果として、物体の角や稜線がはっきりとしたモデルを得ることを目標とする。

2.2 整形

本研究において、最終的な形として求められる3次元モデルは、物体の角や稜線がはっきりしており、見た目にも整っている3次元モデルである。「整

う」とは“きちんとそろう。調和がとれる”の意[1]である。即ち、整った形というのは、きちんとそろった形である。本研究では、整った形を実現するために3次元モデルの線分の長さや線分のなす角がそろうように調整をすることを整形とする（図4）。

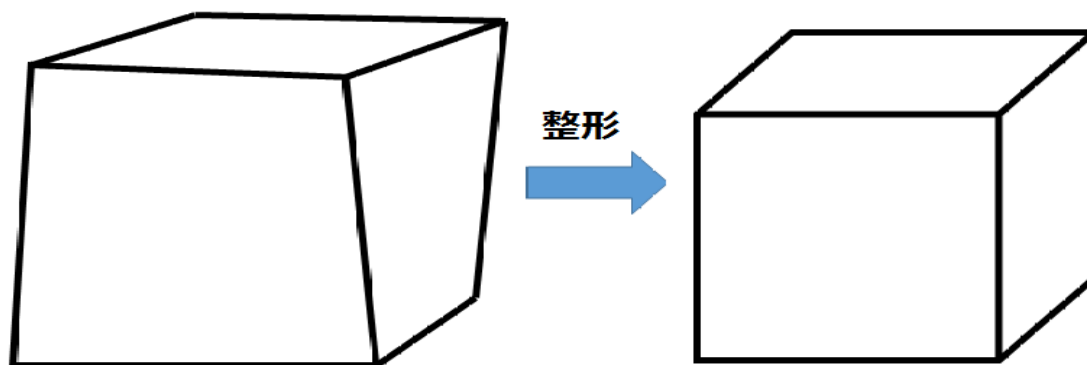


図4 整形

2.3 従来の3次元モデリング

実物体の3次元モデリングの一手法として、点群計測を行い、その点群に対して、サーフェイスを作成する手法がある。

例えば[2][3]の手法による3次元モデリングでは、Delaunay法を使って、計測されたすべての点群を三角形の網状につないで3次元モデルを作成している。

Delaunay法とは、一般にドロネー三角形分割法と呼ばれており、本研究では省略のためDelaunay法とする。三角形分割とは、平面上の点集合について、どの辺も交差しないようにすべての点を三角形の形に結んで、結ばれていない2点を結んで辺を作るとその辺が交差してしまうように平面を分割することである。Delaunay法は、2次元平面上の点集合を頂点とし、三角形で結ぶとき、その各三角形の最小角が最大に、つまりなるべくふっくらした三角形群となるように三角形分割を行うアルゴリズムである。Delaunay法によって生成される各三角形は三角形の外接円内部にその三角形を構成する頂点以外の頂点が存在しないという性質を持つ。実際に2次元上の点群（図5）に対してDelaunay法を用いて三角形群を生成すると図6のような三角形群が生成される。

[3]では円柱座標系画像（図7）に点群を投影しDelaunay法を適用して、生成した三角形を元の3次元点群に当てはめることで3次元モデルのサーフェイスを作成している。



図5 2次元点群

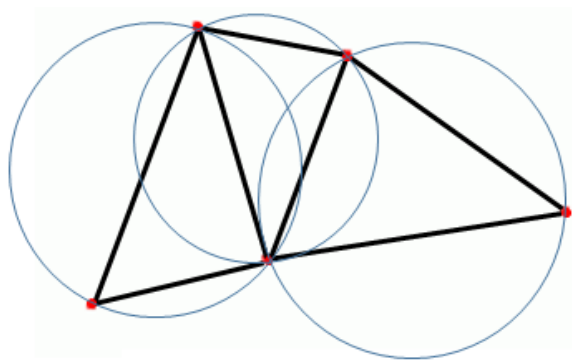


図6 ドロネー法による結果

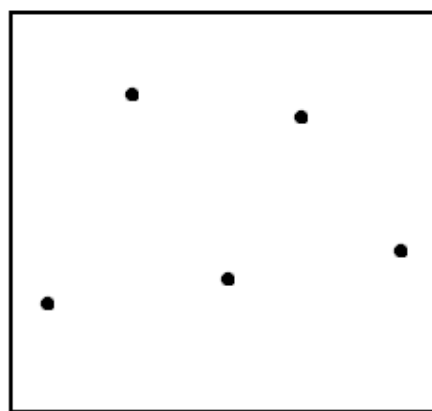
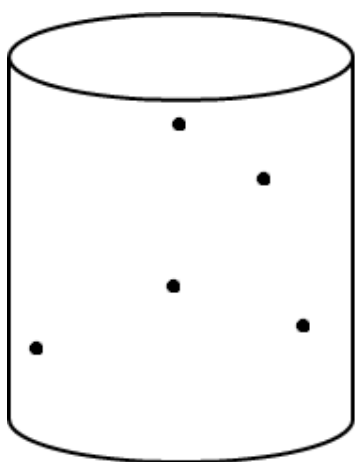


図7 円柱座標画像例 (左:3次元 右:画像面)

[4]の手法による3次元モデリングでは、**Marching Cubes** 法を使って点群を格子状に区切り、点の密度の等値面をつないで3次元モデルを作成している。

Marching Cubes 法は3次元濃淡画像を可視化するための手法で、コンピュータグラフィックス (CG) の分野でよく使われる。**Marching Cubes** 法は、3次元濃淡画像の各画素を3次元格子空間の格子点とみなし、ある濃淡値より大きい濃淡値を持つ格子点を黒点、小さい濃淡値を持つ格子点を白点とする。そして、黒点と白点の間を通る面を補間することにより、3次元空間に等値面を生成する。このとき、等値面の生成パターンはあらかじめ決まっており、8頂点の立方体から生成される等値面のパターンは**256通り**である。そして、位相的に同じものを整理すると図8に示す**15通り**になる ([5]より引用)。

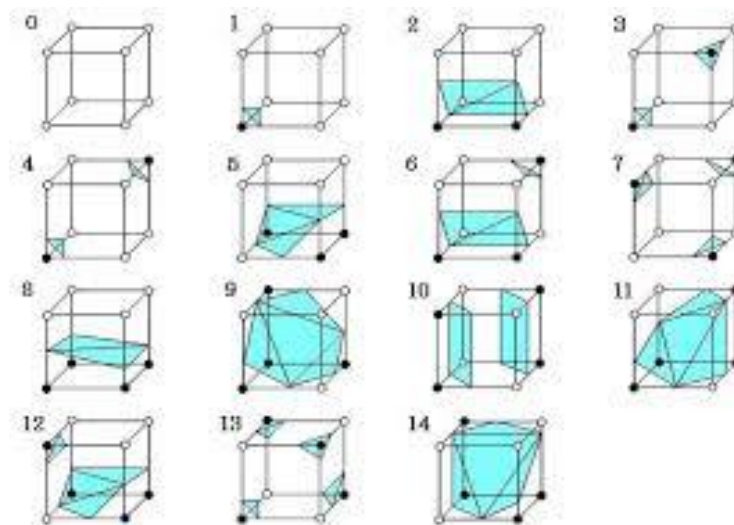


図8 等値面の生成パターン[5]

これらの手法により、任意の形状の実物体について計測した点群から3次元モデルを作成できるが、整った形の3次元モデリングが行えるとは限らない。

[2][3]の手法による3次元モデリングでは、計測点をそのまま利用するので、点群に誤差があるとノイズを含んだ3次元モデルになってしまう。[4]の手法による3次元モデリングでは、[2][3]の手法よりは滑らかな3次元モデルが得られるが、角や稜線のある3次元モデルは得られない。[6]の手法による3次元モデリングでは、密な点群データを使って、ユーザに物体の範囲や角、稜線を直接指定させてインタラクティブに3次元モデリングを行うことで[2][3][4]の手法での問題を改善しているが、数千万点規模の密な点群を対象にしているため疎な点群には対応できない可能性がある。

2.4 平面で構成された実物体の3次元モデリングと整形

本研究では、平面で構成された実物体（図9）を対象とする。従来の方法では、実物体の計測データから3次元モデリングを行う場合、物体の角や稜線部分に計測点がないと、角や稜線がはっきりした3次元モデルを作成できない問題があった。一般に、角や稜線部分にちょうど点が計測できることはまれである。本研究では、平面で構成された物体を対象に、点群が多く存在する平面から近似平面を推定して、平面同士の交線や交点から角や稜線がはっきりした3次元モデリングを行う。

作成された3次元モデルを、線分の長さおよび線分のなす角による2つの条件をもとに整形する。本研究では、近い長さの線分を同じ長さにそろえ、90度に近い角度を90度にそろえることで、整った形の3次元モデルを実現する。そろ

える角度を90度に限定した理由は、平面で構成される物体には人工物のような90度の部分を多く持つ物体が多いためである。



図9 平面で構成された実物体の例

3 3次元モデリング処理

3.1 モデリング処理

3次元モデリング処理は以下の手順で行う。

1. 点群の計測
2. 点群を近似する平面の推定
3. 平面グラフの作成
4. 平面グラフの面の抽出
5. 採用する面の決定

3.2 点群の計測

実物体を3次元点群として計測する。計測には画像列からの形状復元手法 (Structure from Motion) に基づく VSFM[7] というツールを用いた。実物体の全方位からの写真を撮り、VSFM に入力として与えることで3次元データを出力することができる。

3.3 点群を近似する平面の推定

取得した点群から、物体を構成するすべての平面を取得するため、RANSAC 法[8]を用いて近似平面を推定する。

RANSAC 法とは Random Sample Consensus のことであり、そのロバスト性だけでなく、その構成の単純さから、コンピュータビジョンの基本技術として汎用的に活用されている。自然界に存在するデータにはノイズが含まれていることがほとんどである。データの中にノイズが含まれていると、そのデータの規則性や法則性が見つけられないことがある。データに含まれるノイズの内、想定される誤差内のものをインライア、その外にある明らかに誤りであることをアウトライアまたは、外れ値と呼ぶ。この外れ値が及ぼす悪影響を少なくする手法としてロバスト推定があり、RANSAC 法はその一種である。

RANSAC 法の手順は以下の通りである。

1. 計測されたすべてのデータからランダムに少ない個数のデータを抽出し、パラメータを求める。
2. 求めたパラメータをすべてのデータを用いて、式に当てはめ誤差を計算する。誤差が許容範囲内となるデータ数をカウントする。

3. 1, 2の作業を一定回数繰り返しカウントしたデータ数が最大の時のパラメータを仮のパラメータとして、誤差が許容範囲内となるデータを抽出する。
4. 抽出したデータをもとに最小二乗法などを使って、最終的なパラメータを決定する。

本手法では、複数平面を順次推定する。ある平面を推定するとき、ほかの平面上の点はずれ値とみなせる。本手法での平面推定法の流れを図10に示す。

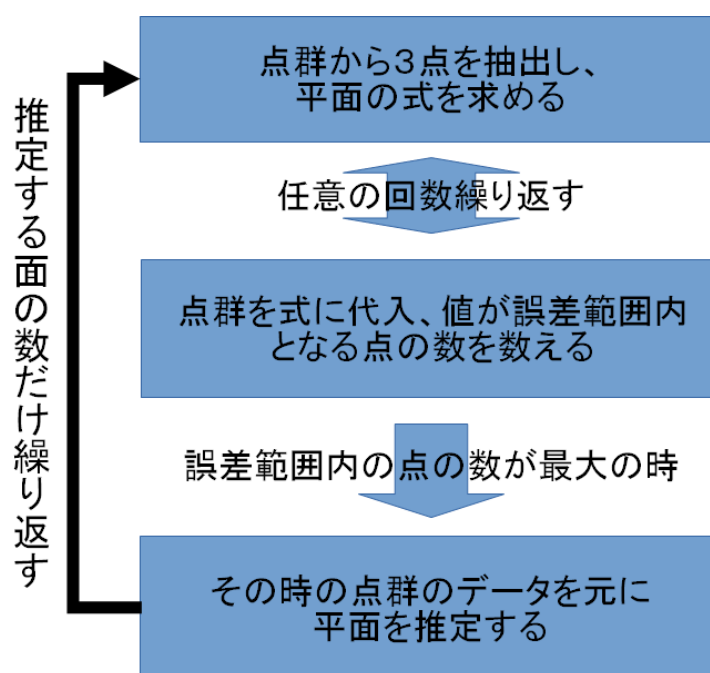


図10 本手法での平面推定法の処理

まず、3次元点群 $P = \{(x_i, y_i, z_i) | i = 1 \dots N_p\}$ から3点の座標をランダムに抽出し、3点をそれぞれ、 $A(a_x, a_y, a_z), B(b_x, b_y, b_z), C(c_x, c_y, c_z) \in P$ とする。次に、 \vec{AB} と \vec{AC} に垂直な法線ベクトル \vec{n} をベクトルの外積を用いて、

$$\vec{n} = \frac{\vec{AB} \times \vec{AC}}{|\vec{AB} \times \vec{AC}|} = (\alpha, \beta, \gamma)$$

とする。ここで、法線ベクトル \vec{n} は3点を通る平面 S の法線ベクトルでもあるので、求める平面の式は、

$$\alpha(x - a_x) + \beta(y - a_y) + \gamma(z - a_z) = 0$$

$$\alpha x + \beta y + \gamma z - (\alpha a_x + \beta a_y + \gamma a_z) = 0$$

となる。ここで、 $\delta = \alpha a_x + \beta a_y + \gamma a_z$ とおき、求める平面の式を

$$\alpha x + \beta y + \gamma z - \delta = 0$$

とする。

求めた平面 S の式にすべての点群の点 $P_i(x_i, y_i, z_i) \in P$ を代入し、

$$E_i = \alpha x_i + \beta y_i + \gamma z_i - \delta$$

を計算する。このときの誤差 E_i の大きさは、代入した点 P_i と求めた平面 S との距離である。求めた平面との距離 $|E_i|$ が閾値 ε_p 以内となれば、 P_i は平面 S 上の点とみなす。

上記を一定回数繰り返し、求めた平面との距離 $|E_i|$ が閾値 ε_p 以内となる点の数が最大となる平面を見つける。

求めた平面との距離 $|E_i|$ が閾値 ε_p 以内となる点を用いて、最小二乗法によりパラメータの誤差を最小にする平面の式を求め、それを最終的な平面の式とする。この作業をあらかじめ与えておいた平面の数だけ繰り返すことにより、すべての近似平面を得る。

3.4 平面グラフの作成

角や稜線がはっきりした3次元モデルを取得するため、面同士の交線と交点を用いてサーフェイスの候補を作成する。まず、近似した平面から3つの平面の組すべてを選択し、交点の3次元座標を求める。次に、2つの平面の組すべてを選択し、求めた交点のうちその2平面の交線上にある点で隣り合う点同士を結ぶ。結果として、交点をノード、交点を結ぶ線をエッジとする、それぞれの面ごとのグラフが作成される。このグラフは平面上に存在し、どのエッジも交差しない平面グラフになっている (図11)。

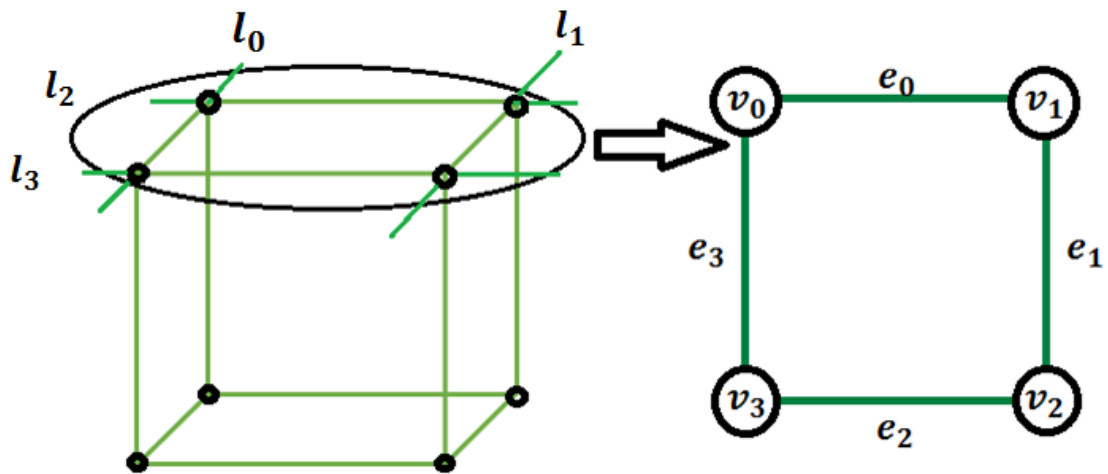


図11 平面グラフの作成

3.5 平面グラフの面の抽出

次に、[9]の方法で平面グラフの面を抽出する。平面グラフの面とは平面グラフを構成する最小ループのことである。平面グラフの面が物体の3次元モデルを構成するサーフェイスの候補となる。

まず、平面グラフから1つのエッジを選択する（図12 a）。平面グラフを有向グラフと考え、エッジの一方のノードを始点、他方を終点とする。終点のノードについて、そのエッジから反時計回りに最初に見つかる接続エッジを選択する（図12 b）。選択したエッジについて、同様に処理を行う（図12 c）。この処理を最初に選択した始点に戻るまで繰り返すことで、平面グラフの1つの面を抽出する（図12 d）。面を抽出したら、平面グラフからそのエッジを取り除く（図12 e）。この処理を残りのエッジがなくなるまで繰り返すことで平面グラフの面をすべて抽出する。

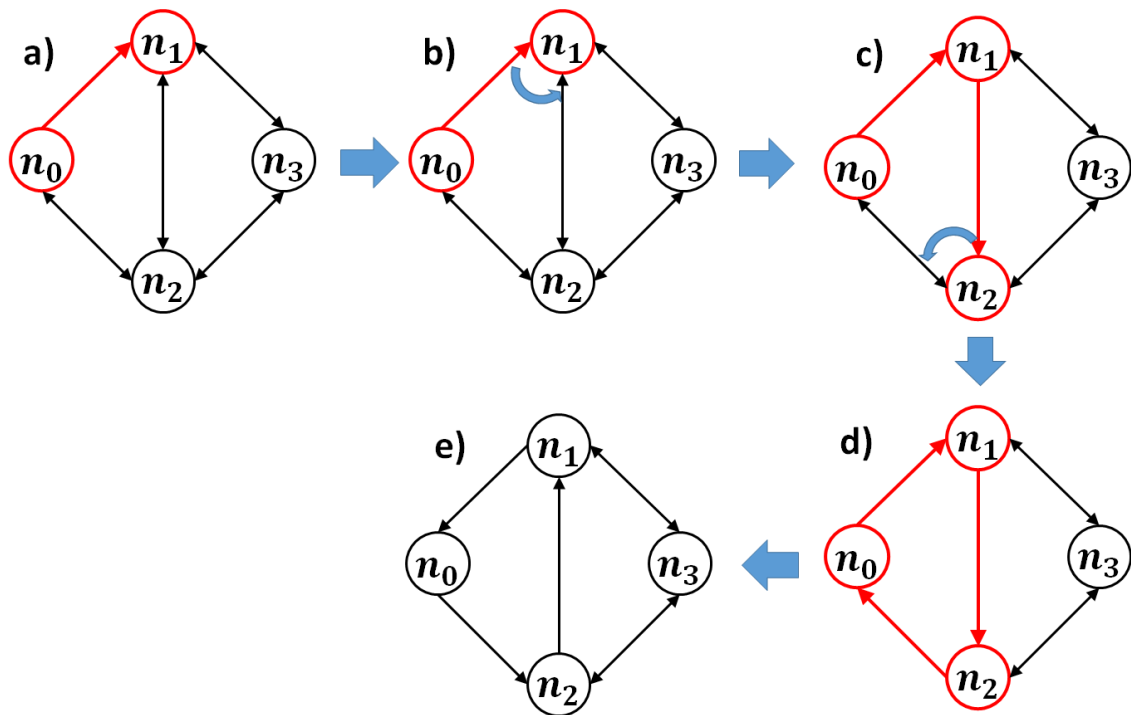


図12 平面グラフの面の抽出

3.6 採用する面の決定

平面グラフの面の中には対象物体には存在しない面も含まれている。あらかじめ設定した閾値 N 以上の数の点が抽出した平面グラフの面上に存在したとき、その平面グラフの面を物体の3次元モデルを構成するサーフェイスとして採用する（図13）。

点が面上にあることの判定は以下のように行う。まず、面が三角形であるとする。三角形の1頂点から他の2頂点へのベクトルを \vec{v}_1, \vec{v}_2 、法線ベクトルを \vec{v}_3 とする。点群の任意の点 p はこの3つのベクトルを用いて、

$$p = s\vec{v}_1 + t\vec{v}_2 + u\vec{v}_3$$

で表せる。 u は、点 p と面との距離である。点 p が面上にあると判定する距離の誤差を ε_s とすると、

$$|u| < \varepsilon_s, s > 0, t > 0, s + t < 1$$

を満たすとき、点 p が面上にあると判定する。面が四角形以上の場合は三角形に分割し、同様に処理する。面上にある点の総和が閾値 N 以上のとき、そ

の平面グラフの面を物体の3次元モデルを構成するサーフェイスとして採用する。

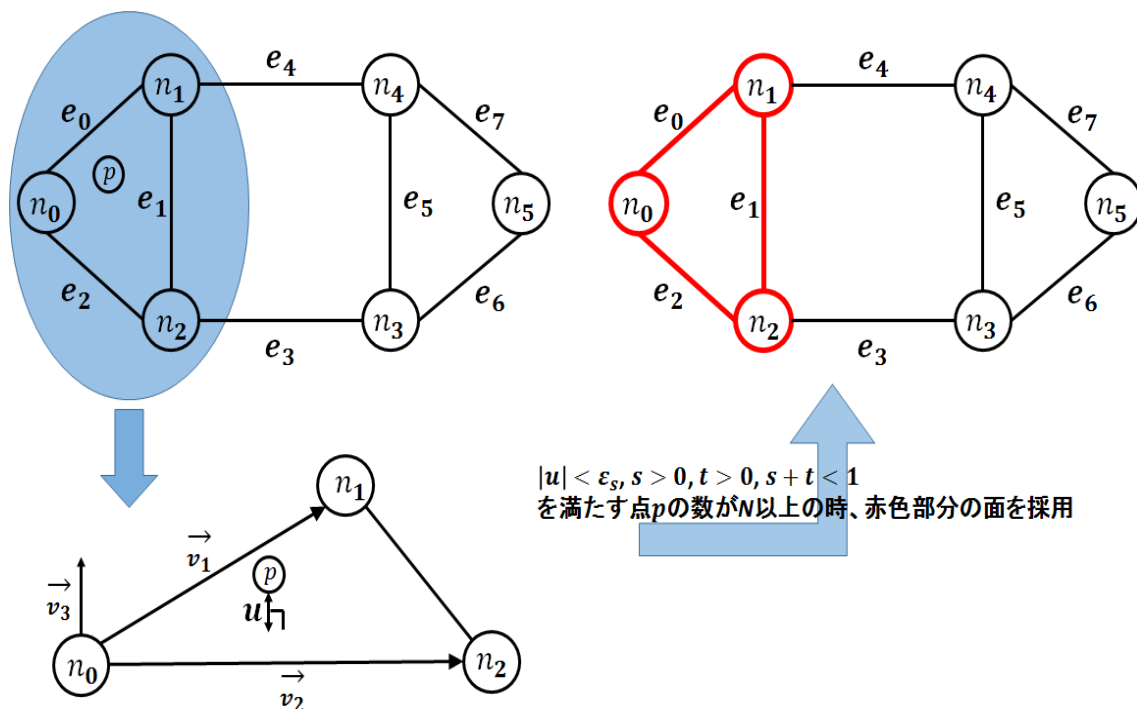


図13 面を採用するまでの流れ

4 3次元モデルの整形

4.1 整形処理

整形処理は以下の手順で行う

1. 線分の長さの調整
2. 線分のなす角の調整

4.2 長さの調整

3次元モデルの長さをそろえるため、近い長さを持つ2つの線分の組の端点の3次元座標を調整する（図14）。

まず、任意の2線分を選択する。それぞれの線分を l_1, l_2 とし、端点をそれぞれ A, B, C, D とする。また、その長さを L_1, L_2 とし、その平均を L とする。線分の長さの差 $|L_1 - L_2|$ が、

$$\varepsilon_l \leq |L_1 - L_2|/L < \Delta L/L$$

である場合、線分の長さが L となるよう端点の座標を調整する。ここで、 ε_l は線分の長さの差がこれ以下のとき線分の長さがそろったとみなす閾値、 $\Delta L/L$ は線分の長さの差がこれ以下のとき近い長さであるとみなす閾値である。

端点 A を更新するとき、更新前の3次元座標を $A(x, y, z)$ 、更新後の3次元座標を $A'(x', y', z')$ とすると、次式により更新する。

$$(x', y', z')^T = (x, y, z)^T + \frac{L_1 - L_2}{4} \times \left(\frac{\overline{AB}}{L_1} \right)$$

端点 B, C, D についても同様に更新する。

上記の作業を、条件を満たす線分の組がなくなるまで繰り返すことで、3次元モデルの線分の長さをそろえる。

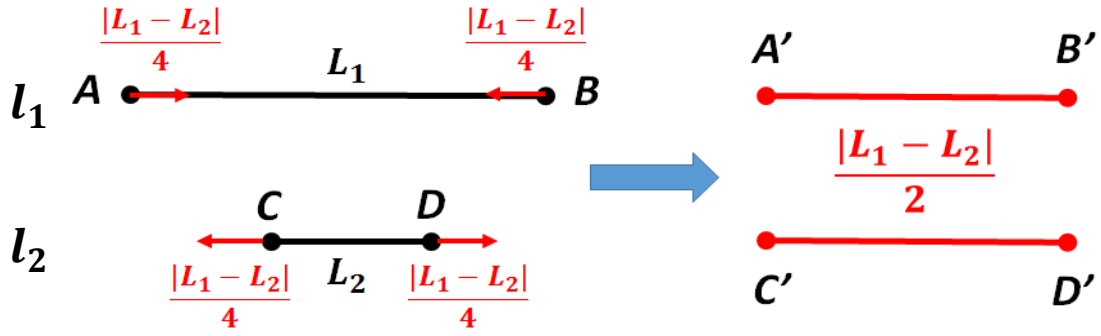


図14 長さの調整

4.3 角度の調整

3次元モデルの角度をそろえるため、なす角が90度に近い線分の組に対し、なす角が90度になるように端点の3次元座標を調整する（図15）。

まず、任意の2線分 l_1, l_2 を選択する。 l_1, l_2 の線分のなす角を α とし、その端点をそれぞれ A, B, C, D とする。 α と90度との差 $|90 - \alpha|$ が、

$$\varepsilon_t \leq |90 - \alpha| < \Delta T$$

である場合、それぞれの線分の1つの端点が原点にくるように線分を平行移動し、なす角が90度になるよう、原点でない方の端点の3次元座標を原点周りに $(|90 - \alpha|/2)^\circ$ だけ回転させる。ここで、 ε_t は線分のなす角と90度との差がこれ以下のとき、線分のなす角が90度になったとみなす閾値、 ΔT は線分のなす角と90度との差がこれ以下のとき、なす角が90度に近い線分の組とみなす閾値である。

端点 A, C が原点になるよう線分 l_1, l_2 を平行移動する。端点 B を更新するとき、更新前の3次元座標を $B(x, y, z)$ 、更新後の3次元座標を $B'(x', y', z')$ とすると、次式により更新する。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} n_x^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta & n_x n_y(1 - \cos \theta) - n_z \sin \theta & n_z n_x(1 - \cos \theta) + n_y \sin \theta \\ n_x n_y(1 - \cos \theta) + n_z \sin \theta & n_y^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta & n_y n_z(1 - \cos \theta) - n_x \sin \theta \\ n_z n_x(1 - \cos \theta) - n_y \sin \theta & n_y n_z(1 - \cos \theta) + n_x \sin \theta & n_z^2(1 - \cos \theta) + \cos \theta \end{pmatrix}$$

$\vec{n}(n_x, n_y, n_z)$ は \overrightarrow{AB} , \overrightarrow{CD} に垂直な法線ベクトル、 R はある座標を $\vec{n}(n_x, n_y, n_z)$ を中心として右周りに θ 回転させる回転行列である。端点 D も同様に更新する。その後、線分 l_1, l_2 の端点 A, C が元の位置に戻るよう平行移動する。

上記の作業を、条件を満たす線分の組がなくなるまで繰り返すことで、3次元モデルの線分のなす角をそろえる。

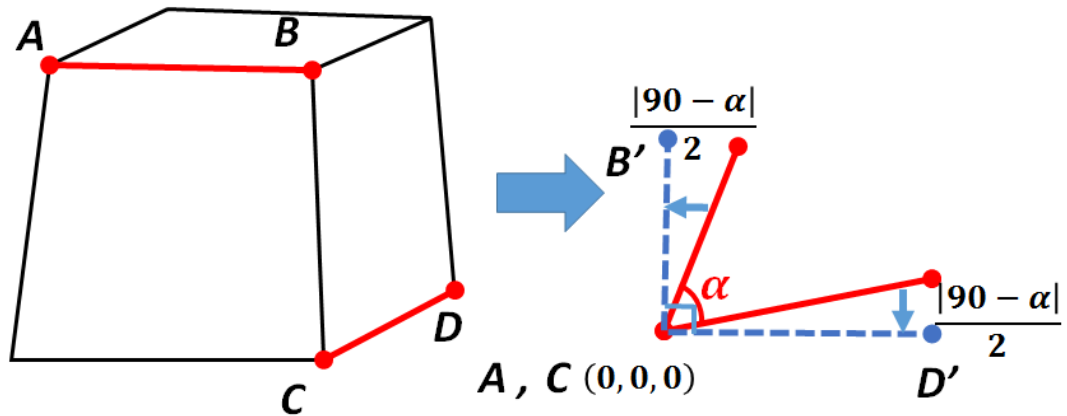


図15 角度の調整

5 実験

5.1 合成データでの3次元モデリングと整形

5.1.1 実験手順

提案手法による3次元モデリングにより、目標とした角や稜線のあるモデルが作成できるかを確認する。また整形の効果を確認する。

あらかじめ正解となるサーフェイモデル（図16）を作成し、対象物体とした。対象物体はすべての辺の長さや角度が同じ立方体とした。正解のサーフェイモデルにノイズを含む点を1つの平面ごとに200点ずつ作成し、合計1200点のモデリングに用いる点群データ（図17）を作成した。ノイズは分散0.1の正規分布ノイズとした。

作成した点群データから提案手法により3次元モデリングを行った。また、比較のため Delaunay 法[2]と Marching Cubes 法[4]による3次元モデル作成も行った。それぞれの結果を図18に示す。

近似する平面数を6とし、実験に用いたパラメータを表1に示す。

表1 合成データ実験でのパラメータ

ε_p	N	ε_s	ε_t	$\Delta L/L$	ε_t	ΔT
0.05	50	0.05	1.0×10^{-4}	0.60	1.0×10^{-4}	5.00

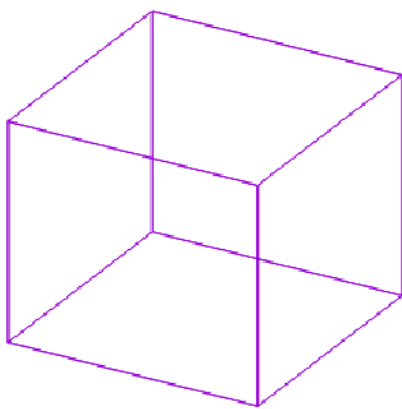


図16 正解モデル

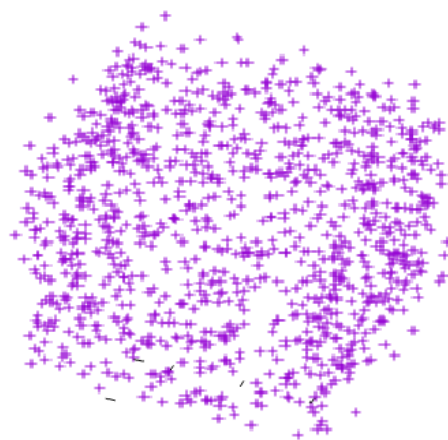
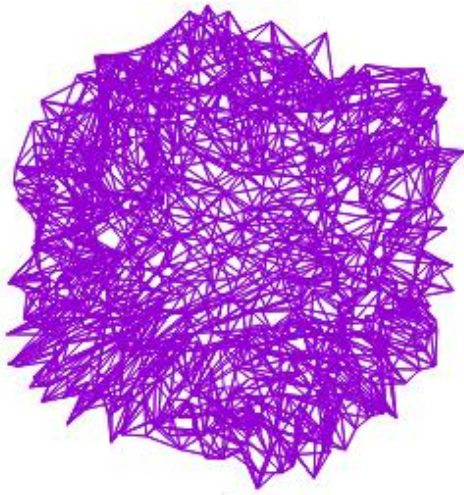
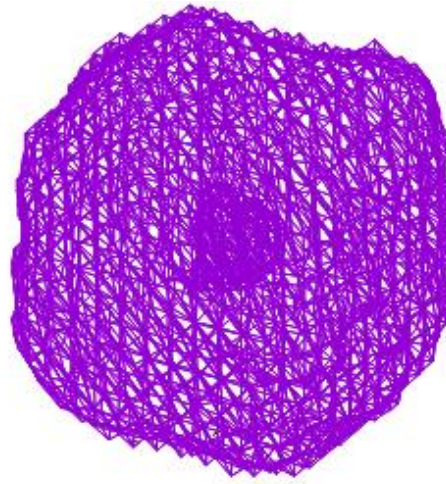


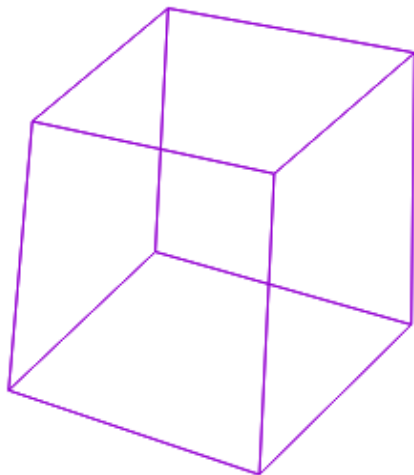
図17 対象とした点群



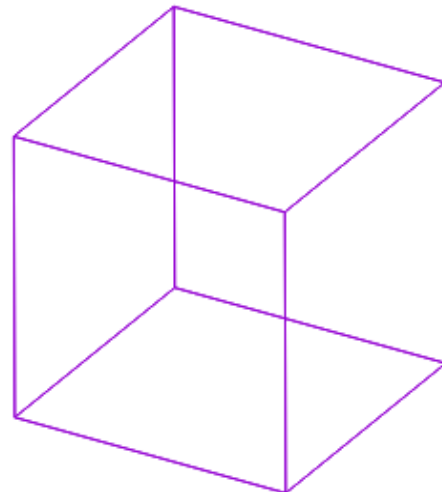
a) Delaunay 法



b) Marching Cubes 法



c) 提案手法(モデリング)



d) 提案手法(整形結果)

図18 3次元モデリングと整形の結果

5.1.2 実験結果

図18の a)は Delaunay 法によるモデリング結果、b)は Marching Cubes 法によるモデリング結果、c)は提案手法によるモデリング結果、d)は c)のモデルを整形した結果である。

整形前、整形後の線分の長さや角度についてそれぞれの誤差平均を表2に示す。

表2 線分の長さの比較

線分の長さ(線分の長さとの誤差の比率)		
	整形前	整形後
誤差平均	1.8625%	0.0000%
線分のなす角(度数法で表記)		
	整形前	整形後
誤差平均	1.2257°	0.0000°

5.1.3 考察

図18の a)は、計測されたすべての点をつないで3次元モデルを作成したため、ガタガタな3次元モデルであった。b)は等値面をつないで3次元モデルを作成したため、丸みを帯びた3次元モデルであった。a),b)はどちらも実物体の面よりも多くの面を作成していた。一方、提案手法による c)は、角や稜線がはっきりとしており、面の数が実物体と同じ数の3次元モデルを作成できた。しかし、整形後のモデルと見比べて、線分の長さや角度がそろっていないことから、提案手法によるモデリングでは点群の誤差の影響を多少受けることがわかった。このことから、対象とする点群データに誤差が大量に存在すると、提案手法による3次元モデリングでは、目標とする形の3次元モデルが作成できない可能性がある。

整形を行った結果、整形後の誤差平均の値が線分の長さや角度ともに0となり、目視でも歪みが解消されていることから、整った形を作成できることがわかった。

5.2 実物体の3次元モデリングと整形

5.2.1 実験手順

実物体の点群データから、3次元モデリングと整形を行い、整った形のモデルが作成できるかを確認した。

対象とする実物体は、図19の立方体を2つ対角線上に並べたものである。8つの平面で構成されており、すべての辺の長さがほとんど同じで、すべての角が直角に近い物体である。

この実物体の3次元点群を取得した結果、点群の数が43万点(図20)を越えていた。疎な点群でも3次元モデリングができるかを確認するため、実験に使用

したデータは、その約1000分の1の436点にランダムに減らしたもの(図21)を使用した。近似する平面数を8とし、実験に用いたパラメータを表3に示す。

表3 実物体実験でのパラメータ

ε_p	N	ε_s	ε_t	$\Delta L/L$	ε_t	ΔT
0.01	20	0.05	1.0×10^{-4}	0.60	1.0×10^{-4}	10.0



図19 対象とした実物体

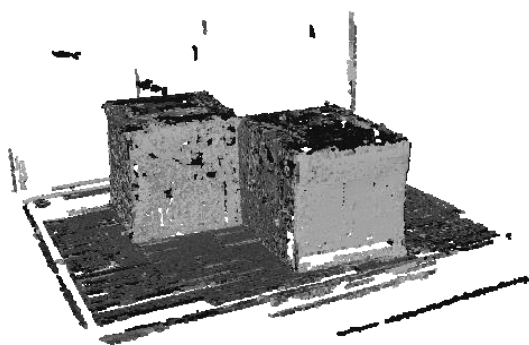


図20 元の点群

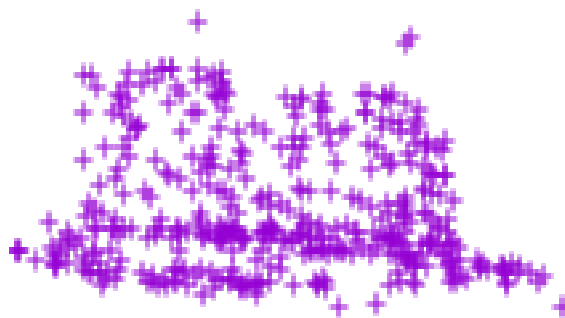


図21 対象とした点群

5.2.2 実験結果

図21の点群データに提案手法による3次元モデリングと整形を行った結果をそれぞれ図22と図23に示す。

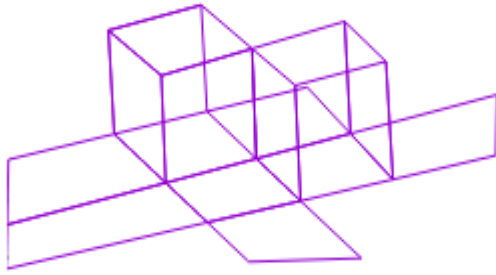


図22 3次元モデリング結果

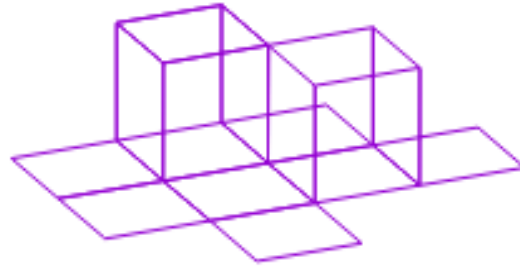


図23 整形結果

5.2.3 考察

図21の点群は、はずれ値や誤差を含んだ疎な点群だった。図22から、提案手法では、立方体のようなすべての辺が等しく、すべての角が直角な物体では、点群中のはずれ値や誤差の影響を多少受けたが、目標としていた角や稜線のある3次元モデルが得られた。だが、今回対象とした点群には、物体を置いた床部分にたくさんの点群が含まれていたため本来必要でない床部分の面が作成された。

整形処理では、90度とみなす角度の誤差を10度まで許容したため、床部分の面も90度に整形した。その結果、床部分の面の頂点の座標が移動し、床部分の面の辺が同じ長さであるとみなされ、図23のように実際の物体の部分の長さと接地面の長さが等しく、角度が90度である3次元モデルが作成された。このことから、ある程度歪みを持った3次元モデルでも整形処理を行うことで整った形の3次元モデルが作成できることが分かった。

5.3 三角柱の3次元モデルと整形

5.3.1 実験手順

すべての角が直角な実物体を対象とした実験では、提案手法により整った形の3次元モデルが作成できることが分かったが、直角でない角を持った実物体を対象とした時、提案手法による3次元モデリングと整形により整った形の3次元モデルが作成できるか確認した。

対象とした実物体は、図24の上面と底面が正三角形の三角柱とした。正三角形部の辺の長さと、柱の高さは異なっており、上面と底面はほぼ直角である。

この実物体の3次元点群を取得した結果、点群の数が約30万点(図25)となった。ここでも、疎な点群で3次元モデリングができるかを確認するため、実験に使用したデータは、その約500分の1の583点にランダムに減らしたもの(図

26)を使用した。近似する平面数を4とし、実験に用いたパラメータを表4に示す。

表4 実物体実験でのパラメータ

ε_p	N	ε_s	ε_t	$\Delta L/L$	ε_t	ΔT
0.01	100	0.05	1.0×10^{-4}	0.10	1.0×10^{-4}	10.0

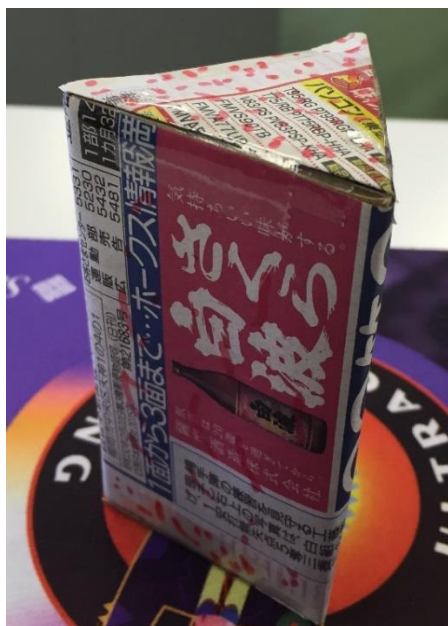


図24 対象とした実物体



図25 元の点群



図26 対象とした点群

5.3.2 実験結果

図26の点群データに提案手法による3次元モデリングと整形を行った結果をそれぞれ、図27と図28に示す。

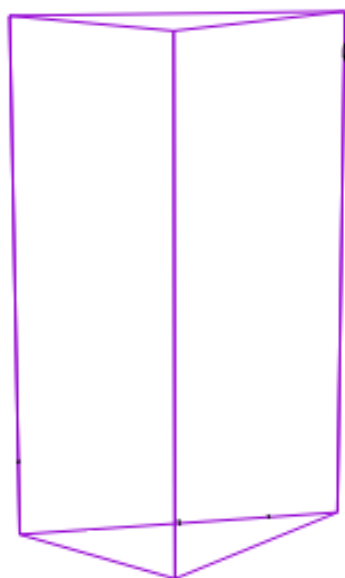


図27 3次元モデリング結果

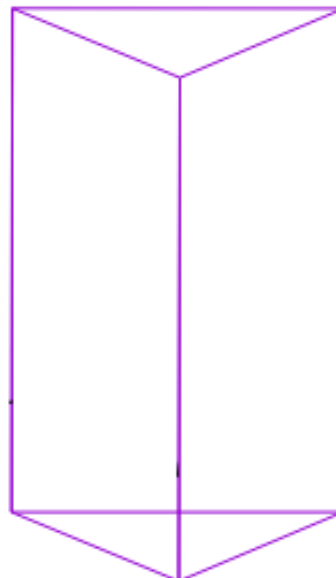


図28 整形結果

5.3.3 考察

図27から、平面で構成される実物体に関して、三角柱のような物体でも角や稜線のある3次元モデルが作成されることが分かった。今回の実験で対象とした点群は、床部分に計測された点が少なかったため、床部分の面は作成されなかった。このことから、実物体部分の点の数が多く、床部分の点の数が少ない点群データでは、物体だけの3次元モデルを作成できることが分かった。

図28から、直角でない角を持つ実物体も目視により整った形の3次元モデルが作成できることが分かった。

6 おわりに

本研究では、実物体の3次元モデリングと整形を行った。対象を平面で構成されたものに限定すれば、3次元モデリングと整形は良い結果が得られることがわかった。だが、3次元モデリングを行ったときに計測した点群の結果に少なからず影響を受けることがわかった。これに関しては、VSFMに入力として与える全方位を撮影した写真を工夫することで床部分をモデリングしないようにできるため解決できる。具体的な工夫の方法としては、写真の大部分が3次元モデリングを行いたい実物体で占められているように写真を撮ること、床や背景が多く写らないようにすること、または、写真に床や背景が多く写りこんだ場合には、写真を画像編集ソフトなどでトリミングし、床や背景部分を削るという工夫ができる。

本研究では、実験を行ったすべての対象実物体について3次元モデリングと整形がうまくできたが、実験数が3つと少なかったので他の平面で構成された実物体に対しても、本研究手法による、3次元モデリングと整形がうまくできるかどうかを確認する必要がある。

今後の課題として、本研究では平面で構成される実物体のみを扱ったが、曲面で構成される実物体に関してもモデリングと整形ができるような方法を考える必要がある。また、整形処理において、平面で構成される物体には直角部が多く含まれるという前提で、角度の調整を90度のみ限定したが、そうではなく線分の調整と同じように、近い角を持つ線分の組の端点を同じ角度に調整すれば面を多く持つ実物体にも対応できるのではないかと考える。逆に線分の調整では、長さを同じにできたとしてもその数値が小数の桁を多く含んだ場合、実物体の計測や測定など線分の長さをデータとして見たときに扱いにくいので、線分の調整は端数のないきりのいい数値に合わせることで、3次元モデルを作成した後の3次元モデルの編集などの操作にうまくつながるのではないかと考える。

謝辞

最後に、本研究にあたりご指導いただいた古谷博史教授、椋木雅之教授のほか古谷研究室をはじめとする多くの方々にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] “大辞林, 三省堂”, <http://www.weblio.jp/content/> (2016/02参照)
- [2] E. L. Bras-Mehlman, M. Schmitt, O. D. Faugeras, J. D. Boissonnat, “How the Delaunay triangulation can be used for representing stereo Data”, Proc. ICCV, pp. 54-63 (1988)
- [3] 山本裕之, 内山晋二, 田村秀行, “3次元形状モデリングのためのドロネー網生成法”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J78-D-II, No.5, pp.745-753 (1995)
- [4] W. E. Lorensen, H. E. Cline, “Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm”, Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, pp.163-169 (1992)
- [5] 高波健太郎, 藤野勝, 長坂学, 菊川孝明, 緒方正人, “内部ボクセル情報を用いたマーチンキューブ法における等値面分解能の向上”, 情報処理学会 研究報告, CG-134, pp.7-12 (2009)
- [6] 藤井智, 増田宏, “密な点群からの平面抽出を利用したインタラクティブなモデリングシステム” NICOGRAPH 2009 秋季大会 (2009)
- [7] “VisualSFM: A Visual Structure from Motion System”, <http://www.cs.washington.edu/homes/ccwu/vsfm> (2016/02参照)
- [8] M. A. Fischler, R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", Comm. ACM, Vol.24, No.6, pp.346-359 (1981)
- [9] 山田武夫, “平面グラフのすべての面を認識するアルゴリズム”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集 2001, pp.198-199 (2001)