

3次元計測に基づく設備メンテナンスシミュレーションのための3Dモデリングプラットフォーム

正員 増田 宏*
非会員 矢作 徹***

学生員 宮川 俊樹**

Development of A 3D Modeling Platform for Model-Based Plant Maintenance
by Hiroshi Masuda, Member
Toru Yahagi, Nonmember
Toshiki Miyagawa, Student Member

Key Words: maintenance simulation, point-cloud, laser scanner, 3D CAD, reverse engineering

1. はじめに

船舶の長いライフサイクルにおいては、経年劣化や市場ニーズの変化、法規の変更などによって、船舶設備の改修が必要となることがしばしばある。このことは造船設備やプラント設備についても同様である。現状の改修では、図面検討や現場での手測りなどによって、改修手順や搬入経路の計画を立てることが多いが、配管が複雑に入り組んだ箇所では改修作業時に現場合わせが行われることも多く、図面だけを頼りに正確な計画を立てることが難しい。そうした事情のため、メンテナンス作業においては、コストや工期の過大な見積もりや作業内容の変更が生じることが少なくない。

そこで、事前に3Dモデルを用いて、作業の工程、干渉の有無、搬入経路、改修部品の種類などを計算機シミュレーションによって検証しておけば、短期間で確実かつ低コストで実作業が行えることが期待できる。現在では、商用ソフトウェアを用いて、こうしたメンテナンス・シミュレーションを行うことが可能になっている。

ここで問題となるのは、高精度のシミュレーションには設備の正確な3Dデータが必要となることである。しかし現実には、ほとんどの場合、メンテナンス時に設備の3Dモデルが存在しない。そのような状況において、メンテナンス・シミュレーション活用の鍵となるのは、現物計測に基づく3Dモデル作成技術である。

近年では、レーザスキャナによる現物計測法が注目されている。レーザスキャナは、計測対象にレーザを照射して、照射地点の3次元座標を取得する装置である。最近では、地形の測量などにも利用され始めている。ただし、大規模設備計測のためのレーザスキャナは、精密測定用の点群計測装置とは計測原理が異なるため、短時間で約100倍(数億点)のデータが取得できる一方、計測誤差が約100倍大きいという特徴を持つ。そのため、比較的小型の部品計測で用いられる点群処理アルゴリズムの多くは、そのままでは適用が困難である。

本稿では、大規模設備を計測して得られるノイズの大きい数億点規模の点群を処理するための3Dモデリングプラットフォームについて述べる。

2. システム構成

2.1 計測装置

今回は、計測にZ+F社のImager5003を利用した。この装置は連続Waveレーザ方式を用いており、連続sin波を照射し、送信波と受信波のピークの時間差から距離を計測する。10m先を3.1mmピッチで計測でき、2億点の計測を約6分で行うことができる。

2.2 システム構成

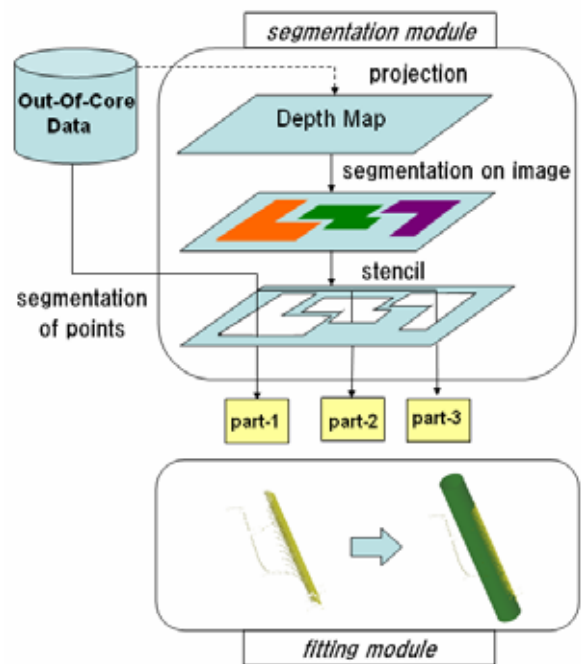


Fig.1. Point-based Modeling System

取得された点群から3Dモデルを作成する過程では、二つの難しい問題が存在する。一つ目は扱う点群が大量であるため、点群データがメモリに乗らず、また利用できるアルゴリズムが計算コストの小さいものに限定されることである。二つ目はデータに多数の異常値が含まれることである。これらの問題に対処するために Fig.1 に示すシステム構成を考える。

まず、大量の点群を部品に切り分けるために、画像空

* 東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻
** 東京大学工学部システム創成学科
*** (株) 辰星技研

間上でのセグメンテーションを行う．そのために，計測中心を原点とする球面上に点群を投影し，2次元画像を生成する．次に画像の領域分割を行い，各領域をステンシルとして利用して，点群を切り分ける．

次に，領域に切り分けられた点群に対して，曲面当てはめを行う．当てはめに際しては，サンプリングとフィッティングを繰り返し行う方法を取ることで異常値の影響を除去する．Fig.1の例のように，円筒上に乗らない点が多く含まれていても，後で説明する方法を用いることで，安定して曲面当てはめができる．

3. セグメンテーション

本手法では，3次元の点群を部品に切り分ける問題を2次元の画像分割問題に帰着させる．そのために，各点の緯度と経度を画像上の(1, J)座標に対応させ，計測中心から最も近い距離をその画素の明度とする．

その上で，明るさの類似した画素が同一グループになるように，画像を複数の領域に分割する．Fig.2に元の画像と領域分割を施した画像を示す．この方法により，短時間で大まかな部品への切り分けが可能となる．

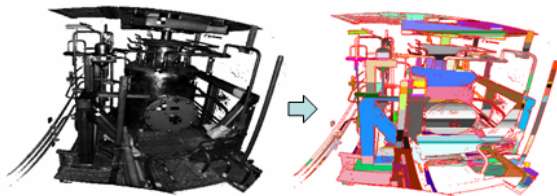


Fig.2. Segmentation in Image Space

4. 曲面フィッティング

機装部品や生産設備は円筒や平面などの単純な曲面で構成されていることが多い．そこで，本稿では，2次元曲面に対するフィッティングのアルゴリズムについて述べる．

2次元曲面へのフィッティングは古典的な問題であるが，ここで扱う点群は多くの異常値(outlier)を含むため，そのまま最小二乗当てはめを行うと正しい値が得られない．ノイズが大きくても正しく当てはめができるロバストな手法が必要である．

4.1 最小二乗当てはめの限界

点群を通る曲面式が陰関数 $S(x, y, z) = 0$ の形に表されるとき，最小二乗当てはめは以下ようになる．

$$\min \left(\sum_i |S(x_i, y_i, z_i)|^2 \right) \dots (1)$$

しかし，最小二乗当てはめが最尤推定に一致するのは，誤差の分布が正規分布に従うときに限られる．今回用いたデータでは，正規分布に従う誤差モデルでは確率的にありえない水準の異常値を多数含むため，単純な最小二乗当てはめを用いることはできない．

4.2 ロバストな当てはめ手法

そこで，異常値の影響を抑えるために，新しいフィッティング手法を導入する．まず，点群からランダムに少数の点を選び，最小二乗当てはめを行う．その上で，他の点群に対して，以下の誤差評価関数を計算する．

$$\max \left(\sum_i \frac{1}{1+k|S(x_i, y_i, z_i)|^2} \right) \dots (2)$$

ここで， k は測定機器のノイズの大きさによって決まる定数を表す．点と曲面の距離が大ききとき，最小二乗法ではその誤差は大きくなるが，(2)式では誤差は逆に小さくなる．すなわち，大きなノイズほど影響を受けにくくなる．この評価式が最小となる曲面をサンプリングを繰り返して算出する．

4.3 手法の検証

実際にプログラムを実装して最小二乗法と比較を行った．例として円筒で行った例を挙げる．

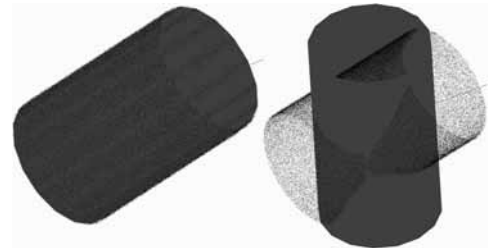


Fig.3. 最小二乗法と新アルゴリズムの比較

Fig.3は，点群に円筒を当てはめた図である．左は本手法，右は最小二乗法を用いた．最小二乗法では異常値の影響を大きく受けるために結果が大きくずれるが，本稿で提案するフィッティング手法では正しく点群に沿ってフィッティングが行われている．

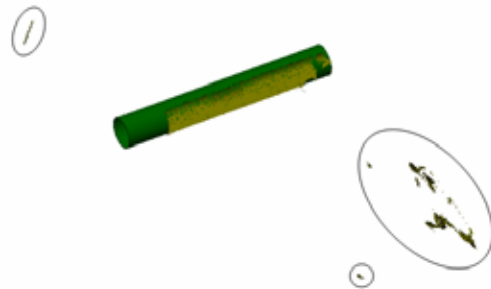


Fig.4. 異常値を含む点群への当てはめ

Fig.4は，円で囲んだ部分に明らかに大きく外れたノイズが発生した例である．このような大ききずれは，円筒の母線上にレーザが照射され，スポット光が分断されたときによく生じる．本手法では，このような異常値が存在しても，正しく円筒を検出することができていることがわかる．

5. まとめ

本研究では，大型設備の計測によって得られた大規模点群から3Dモデルを作成する方法について基本的な考え方を示し，それに基づいた要素技術とプラットフォームの整備を行った．今後はこの考え方を発展させ，より広範な対象物に適用できるようにシステムを作りこんでいく予定である．

参考文献

- 1) Fleishman, S., Cohen-Or, D., and Silva, C. T. Robust Moving Least-Squares Fitting with Sharp Features
- 2) Lukacs, G., Martin R., and Marshall, A. D. Faithful Least-Squares Fitting of Spheres, Cylinders, Cones and Tori for Reliable Segmentation