

レーザ計測器を用いた三次元オブジェクトモデルの構築

西村 直久[†] 大石 浩徳 秋山 拓也 有澤 博[‡]

[†]横浜国立大学大学院環境情報学府 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

[‡]横浜国立大学環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: [†]nishimura@arislab.ynu.ac.jp, [‡]arisawa@ynu.ac.jp

あらまし 現在、レーザ計測器による3次元形状取得の研究が盛んに行われている。しかし、レーザ計測器によって実世界の形状を隈無く取得するには、複数視点からのレーザ計測器データを統合する必要があり、複雑な形状を取得する場合には死角が生じるなど問題がある。そこで本研究ではカメラとレーザ計測器によって、詳細な3次元形状を簡単に取得することができるシステムを提案する。

キーワード レーザ計測器、3次元オブジェクト、形状取得、旋回型カメラ

Construction of the Three Dimension Object Models with Laser Measuring System

Naohisa NISHIMURA[†] Hironori OHISHI Takuya AKIYAMA and Hiroshi ARISAWA[‡]

[†] Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National University

[‡] Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University
79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 Japan

E-mail: [†]nishimura@arislab.ynu.ac.jp, [‡]arisawa@ynu.ac.jp

Abstract Recently, three dimension shape acquisition by laser measuring system is actively researched. However, there is a problem. When it is necessary to integrate measuring system data from two or more aspects to acquire the shape of the real world by measuring system all over, and complex shape is acquired, the blind spot is caused. So, we propose the system that can easily acquire detailed three dimension shape by the remote camera and Laser measuring system.

Keyword Laser Measuring System, Three Dimension Object, Shape Acquisition, Remote Camera

1. はじめに

実世界の3次元オブジェクト、たとえば、人体や機械、さらには対象空間全体などをありのまま計算機に取り込み、再構築することによって、3次元空間でのイベントの発見や様々な評価、シミュレーションシステム、また、新たな情報伝達、コミュニケーションシステムを構築することは非常に広い応用範囲を持つと考えられる。実世界の3次元オブジェクト、特にその形状を、ありのままに取り込もうとする試みは、我々が研究開発しているリアルワールドデータベース(Real World Database)[1]をはじめ、CGの分野においても、実

世界のオブジェクトの形状または3次元空間を何らかの方法で計算機に取り込み、それを用いてモデリングを行おうという取り組みが盛んになっている。

実世界の3次元オブジェクトの形状を計算機に取り込む手段を考えると、センサが直接オブジェクトに触れて計測する接触型の3次元スキャナや、レーザなどの光をオブジェクトに照射してその光路のずれから、三角測量の原理等を利用して計測する非接触3次元スキャナ、また複数のカメラから得られる画像を利用した、ステレオマッチング法、視体積交差法などの手法が、研究開発または

実用化されている。

これらの形状取得法は、精度や詳細度についてさまざまな改善が図られている。しかし、取得対象、取得範囲について考えると、実世界の3次元オブジェクトや3次元空間は、様々な大きさ、複雑な凹凸、内部に入り組んでいる構造を持つものが多く、これらが、測定器の「死角」となって現れる。これらの条件に柔軟に対応でき、対象オブジェクトまたは対象空間の全体のデータを取得できるシステムは存在しない。

そこで我々は、取得対象や、取得範囲を限定せず、実世界のオブジェクトが持つ複雑な凹凸、構造まですべてを取得できる装置があれば非常に有用であると考え、実世界のオブジェクトを「真にありのまま」取得できるシステムを構築しようと考えた。

まず我々は、レーザ光を照射し、それがオブジェクトに反射され装置に戻るまでの時間(Time of Flight)を測定することで、装置からオブジェクトまでの距離が高速、高精度に計測できるレーザ計測器(レーザレンジファインダ)に注目した。しかし、これだけでは計測器の測定範囲が限られているため、対象すべてのデータを取得することはできない。そのためには、複数の方向からデータを取得し、それを統合する必要がある。データの統合方法についても様々な手法が提案されているが、我々は、旋回型カメラをレーザ計測器と組み合わせることにより、より自由な方向からのデータの取得を可能にした。さらに、ある規則に基づいたパターンで配置されたマーカを用いて撮影時のカメラパラメータを取得し、自動的にデータを統合する手法を開発した。

以降2章では三次元形状取得システムの既存手法と問題点について述べ、3章では提案システムの概要、4章ではその詳細について説明し、5章では実験と考察、6章でまとめを述べる。

2. 既存手法とその問題点

前述のように、我々は、レーザ計測器を用いて実世界の3次元オブジェクト、特にその形状を取得しようと考えた。このようなシステムは、現在まで、様々なところで研究開発、または実用化されているが、レーザ計測器を用いたシステムで問題となるのは、オブジェクト全体のデータを取得しようとしたとき、測定器の視野が限られているため、複数の方向からのデータ取得が必要となることである。複数の方向から取得されたデータは、それぞれの測定位置における異なった座標系で記述されている。そのため、異なった座標系のデータを、統一された座標系のデータに変換する「データの統合」が必要になる。これが、どのような対象、環境でも実現できなければ、実世界のオブジェクトをありのままに取得できるシステムとは言えない。本節では、このデータの統合手法に着目して、既存手法の問題点を整理する。

①ハードウェアを用いたデータの統合

レーザ計測器をレール等の上に設置し、その移動量などを専用のハードウェアを用いて計測し、そのデータから、各時点の計測器の位置、姿勢を算出し、データの統合を行う手法である[2]。

この手法では、レール内に物体が収まりきらない場合は測定できないなど、測定器の稼動範囲に非常に制約がある。自由な視点で、柔軟に物体の形状を取得したいという我々の要求に対してこの方法は適さない。

②GPSを用いたデータの統合

レーザ計測器の位置をGPSによって取得しデータの統合を行う手法である[3]。

この手法では、GPSの位置精度にデータ統合の精度が非常に影響される。GPSの精度は、現在では数mから数cmであるため、精度が不十分である。また、レーザ計測器の位置を測定することはできるが、姿勢を正確に測定することには適さない。

③基準物体によるデータの統合

まず、特長的な形状をした基準物体を取得したい範囲に複数個配置しておき、データ取得の際に、この基準物体がレーザ計測器に常に写りこむようにし、それを元に計測器の位置、姿勢を求め、データ統合を行うという手法である[4]。

基準物体を常に写し込ませなければならないため、基準物体が設置できない場合は形状取得できない、また、写りこんでいないデータは統合することができないため、①と同様、測定器の稼働範囲に制約がある。

④測定器のデータを用いた統合

この手法は、隣り合う位置で測定されたデータにおいて、相互に対応する部分を判断し、その部分が重なるように座標系を移動させてデータの統合を行う手法である[5][6]。

この手法では、隣のデータと十分な重なりを確保しながら取得しなければならない。測定器のデータの誤差や、重なり部分が少ないと統合の精度が悪くなる。また、相互に対応する部分の判断も、同じ形状が連続するような場合など、安定的に求められない場合がある。

このように、既存手法には様々な問題があり、我々の要求を満たすシステムは存在しない。そこで以下では、上記の問題を解決した3次元形状取得方法の提案を行う。

3. 提案手法

3.1. 提案システムの概要

前述のように、我々は、データの統合という問題に着目し、これがどのような対象、どのような環境でも実現できるシステムがあれば、本論の要求を満たすシステムが構築できると考えた。

前述のデータの統合手法の問題点を簡潔にまとめると、

- ・ 測定範囲の制約
- ・ 統合の精度、安定性

が問題になっているといえる。逆に、これらの問題が解決できるシステムを構築できれば、本論での要求を満たすシステムが構築できるのではないかと考えた。

そこで、我々は、空間中に任意に設定された世界座標系での3次元位置が分かっているマーカを配置し、それをレーザ測定器に固定された旋回型カメラで捉え、その後カメラ姿勢を変えても、カメラキャリブレーションの手法を応用して、計測時点の測定器の位置姿勢を求めようと考えた。

旋回型カメラは、パン、チルト、ズーム、フォーカスが制御可能でかつ、現在のパン、チルト、ズーム、フォーカスそれぞれの位置を高精度に取得することができる。また、パン方向に ± 170 度、チルト方向に $-30 \sim +90$ 度と広い視野を確保することが可能である。

また、カメラキャリブレーションの手法は、現在も様々な手法が考案されており、その精度はmm程度の誤差で求められ、かつ解も安定的に求められるように改善がなされている。

以上を考慮して、このシステムの利点は、以下の2つにまとめられる。

- ① いったん空間中のマーカが旋回型カメラで捉えられれば、旋回後も計測器の位置姿勢は、カメラキャリブレーションの手法を応用して、高精度かつ安定的に求められる。
- ② 旋回型カメラを用いることで、その視野は全空間を網羅しており、その視野の中にマーカが写りこむ確率は非常に高くなる。したがって、計測器の移動範囲の制約は非常に小さい。

さらに、カメラキャリブレーションの手法を用いるためには、世界座標系の3次元座標と、その点のカメラ画像上での2次元座標の対応データが必要である。本システムでは、これを空間中のマーカから求めるのだが、世界座標と画像座標の対応をとるのは非常に困難である。そのため我々は、

数個のマーカを一組として、そのマーカの配置にあるパターンを持たせ、それを識別することで自動的にカメラキャリブレーションに必要な対応データを求めようと考えた。また、マーカを画像処理により自動的に判別するため、高輝度のLEDを用いてこれを構成した。図1に実際に制作したマーカを示す。これにより、データ統合の自動化が図れる。

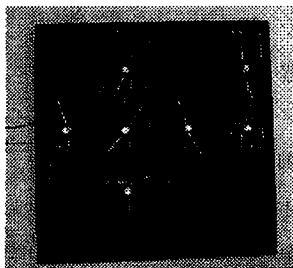


図1 制作したマーカ

4. システムの詳細

4.1. システム構成

実際に構築したシステムを図2、3に示す。

本システムでは、精度と計測時間を考慮し平面スキャン型のレーザ計測器を用いた。そのため、レーザ計測器をチルト方向に回転できる電動架台を独自に製作し、その測定視野を広くした。電動架台も回転型カメラと同様にチルトを制御かつ、現在の位置を高精度に取得することができる。

また、レーザ計測器と回転型カメラは、台車付アームの先端に取り付けられており、より自由で簡易な移動が可能となっている。

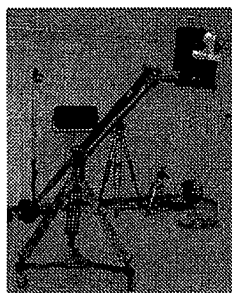


図2 全体図

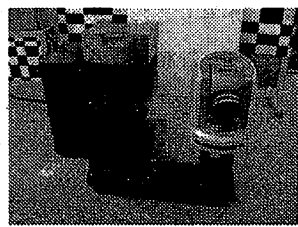


図3 先端部

4.2. データ取得の流れ

このシステムでデータを取得する流れは次の通りである。

準備

マーカを空間中に配置する。また、それぞれのマーカの3次元座標を計測し、それをマーカのパターンと対応付けて計算機に蓄積しておく。

また、回転型カメラとレーザ計測器の相対的な位置関係を求めておく。カメラにおいては、カメラキャリブレーションで一般的に用いられる Tsai の手法[7]によって世界座標系での位置姿勢を求める。レーザ計測器においては、世界座標とレーザ計測器座標での対応する点のデータを基準物体を用いて複数取得し、その全てのデータに対して、最適なレーザ計測器の位置姿勢を最小二乗法を用いた最適化によって求める。こうして求められたデータに基づいて相対位置姿勢を求める

計測の流れ

①対象に向けてシステムを設置する

はじめに、データを取得したい対象に向けてシステムを移動し、設置する。

②回転型カメラで測定器の位置姿勢の取得

回転型カメラの、パン、チルトを制御し、空間中に設置されたマーカをカメラで撮影する。その画像を処理し、マーカ抽出を行い、事前に計測しておいたマーカパターンと照合し、世界座標と画像座標の対応データを求める。そのデータと撮影した時点のパン、チルトの位置を用い、カメラキャリブレーションの手法を応用して、世界座標系に対するカメラの位置と姿勢(平行移動行列と回転行列)を求める。これを、事前に計測されたレーザ計測器と回転型カメラの位置関係を用いて、計測器の位置姿勢へ変換する。

③レーザ計測器によって対象の形状データを取得

レーザ計測器で対象のデータを取得する。

前述のように、今回用いたレーザ計測器は、平

面スキャン型のため、電動架台を用いて、測定平面を上下方向に回転させ、1つの位置で計測できる範囲を広くした。

取得したデータは、その時点での計測器の位置、姿勢データと対応付けて、計算機へ蓄積する。

以上①から③までの操作を繰り返し、対象全体のデータを取得する。

すべて取得し終わると、前述のデータ統合処理を行い、データを出力する。

5. 実験と考察

ここでは我々が構築した3次元形状取得システムで、部屋を対象に取得実験した結果を述べ、その精度について考察する。

5.1. 実験環境

本システムの有用性を示すために、縦6m、横6m、高さ6m程度の部屋の3次元形状を取得した。

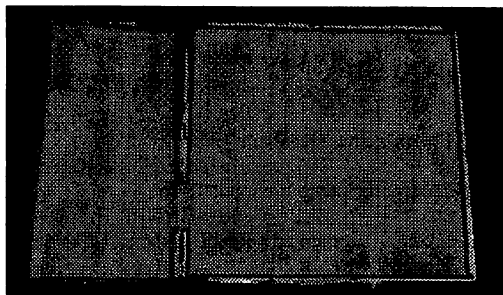


図4 実験対象とした部屋

5.2. 装置の仕様

取得精度検証のため、実際に構築したシステムそれぞれの仕様を示す。

- ・レーザ計測器
 - スキャン角度 180度
 - 角度分解能 0.5度
 - 測定分解能 10mm
 - システム誤差 ±15mm
 - 統計的誤差 5mm

・電動架台

- 動作範囲 -45度～+90度
- 制御分解能 153600pulse/360度
- 絶対位置精度 ±10pulse

5.3. 実験結果

実験によって得られた3次元モデルの一部の画像を以下に示す。

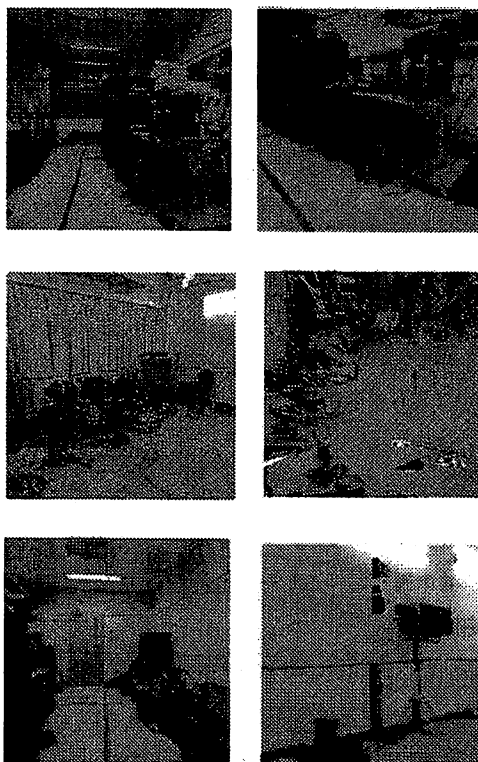


図5 実験結果

次に、複数視点から得られた形状データのそれぞれの精度を検証した結果を以下の表に示す。

視点a	視点b	視点c	視点d	視点e	平均f
55.16	16.36	32.40	18.67	42.58	33.03

単位 [mm]

表1 形状精度

この結果は、ある世界座標位置が既知の物体を五つの視点から形状取得し、それぞれによって取得された形状の位置を求め、実際の物体の位置とどれだけずれているかを計測したものである。

5.4. 考察

複数視点のデータの統合精度について考察する。カメラキャリブレーション誤差は、10~20mm程度であった。カメラの焦点距離3.5mm程度、キャリブレーション物体までの平均的な距離を約3000mmとすると、1ピクセルが約10mm程度となるため、このキャリブレーション精度は妥当であると言える。

また、事前準備でのレーザ計測器の位置、姿勢推定誤差については、約10mm程度であった。これは複数取得した位置、姿勢のためのデータをそのまま精度検証用のデータとして算出した値である。そして、この値はレーザ計測器自身の計測精度の5mmから考えると、妥当な値であると言え、多少の向上の余地があるとはいえ、ほぼ限界の精度であるといえる。

表1に示すとおり実験から得られた誤差は30mm程度であった。

- ①事前準備におけるレーザ計測器の位置、姿勢推定誤差
- ②事前準備におけるカメラキャリブレーションの誤差
- ③形状取得時におけるカメラキャリブレーション誤差

この検証結果に含まれる上記三つの誤差の要因、これらの値をすべて考慮に入れると、約20~30mm程度の誤差が生じると考えられる。それに対して、表7に示すとおり実験から得られた誤差は30mm程度であり、予想通りの結果が得られたといえる。

また、今回撮影した視点のすべてにおいて十分な数のキャリブレーション物体を写しこむ事ができ、対象空間全体の形状を取得することができた。

6. まとめ

我々は、取得対象や、取得範囲を限定せず、実世界のオブジェクトが持つ複雑な凹凸、構造までを全て取得する事が可能な3次元形状取得システムを目指した。本稿では、旋回型カメラとレーザ計測器を用いて、その様なシステムの構築が可能である事を示した。さらに、システムを実際に構築し、実験として部屋の3次元形状を取得した。

今後、同一対象が複数視点から取得された場合の処理、ポリゴン化、テクスチャデータの情報取得、現実世界の3次元形状情報の表現方法などの深い考察を行なうことで、更に高精度で且つ柔軟なシステムを構築できると考えている。

文献

- [1] 有澤 博:"リアルワールドデータベースとその実現技術",bit, 共立出版, 1996.9/1996.10/1996.11, Vol.28.29.30, No.9.10.11
- [2] <http://www.cyberware.com/>
- [3] <http://www.ramse3d.com/>
- [4] <http://www.leica-geosystems.com/jp/products/cyrax/index.htm>
- [5] 大石岳史, 佐川立昌, 中澤篤志, 倉爪亮, 池内克史: "PC クラスタによる複数距離画像の並列同時位置合わせ", 「画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2004)」, 2004
- [6] T. Asai, M. Kanbara, and N. Yokoya: "3D modeling of wide area outdoor environments by integrating omnidirectional range and color images", Proc. IEEE and ACM Int. Sympo. on Mixed Augmented Reality(ISMAR 04), pp. 264-265, Nov. 2004.
- [7] Roger Y. Tsai : "A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3DMetrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. RA-3, No.4, pp.323-344, 1987 Machine Vision Journal of Robo