

形状及びテクスチャの適応型取得手法を用いた3次元オブジェクトモデルの構築

Construction of the Three Dimension Object Models Using Adaptive Capturing System of Shape and Texture

西村 直久[◆] 大石 浩徳[♥]
秋山 拓也[◆] 有澤 博[◆]

Naohisa NISHIMURA Hironori OHISHI
Takuya AKIYAMA Hiroshi ARISAWA

現在、3次元オブジェクト情報の取得とモデル化の研究が盛んに行われている。この際、オブジェクトの形状とテクスチャをくまなく取得する事が重要である。しかし、従来の取得手法では計測装置の分解能が一定であるため、最も詳細な部分を基準に取得しようとする、数多くの視点から計測する必要があるため時間がかかり、かつデータ量が膨大になるという問題がある。そこで本研究では、旋回型カメラとレーザー計測器を制御し、オブジェクトの詳細度にあわせて動的に計測の分解能を変化させ、オブジェクトの形状とテクスチャの取得を行うアダプティブキャプチャリングシステムを提案する。

Recently, three dimension shape acquisition by laser measuring system is actively researched. In this case, it is important to acquire shape and the texture of the object all over. However, there is a problem that it takes time to have to measure it from a lot of measurement points and volume of data becomes huge when trying to acquire it based on the most detailed part because the resolution of the measurement device is constant in a past acquisition technique. Then, remote camera and laser measuring system are controlled, the resolution of the measurement is changed to the details degree of object dynamically additionally, and it proposes adaptive capturing system that acquires shape and texture of object in this research.

1. はじめに

実世界の3次元オブジェクト、例えば、人体や機械、更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、

[◆]学生会員 横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士前期課程
nishimura@arislalab.ynu.ac.jp

[♥]横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士前期課程 thomyorke@arislalab.ynu.ac.jp

[◆]横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士後期課程 takuya@arislalab.ynu.ac.jp

[◆]正会員 横浜国立大学大学院環境情報学府教授
arisawa@ynu.ac.jp

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。

これらの取得法では、取得対象や取得範囲に制約があり、また、既存の取得手法は分解能を動的に変化させる事が出来ないため、取得対象の形状とテクスチャ情報をくまなく取得する事は非常に困難である。

そこで我々は、オブジェクトの詳細度に合わせて、測定器の分解能を動的に変化させる適応型の取得手法(アダプティブキャプチャリング)を提案し、実世界のオブジェクトが持つ複雑な凹凸、構造、テクスチャまで全てをくまなく取得でき、なおかつ取得対象や、取得範囲が限定されないシステム、つまり実世界の3次元オブジェクトを「真にありのまま」取得しモデル化できるシステムを構築しようと考えた。

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)を用いることにした。しかし、レーザ計測器の測定範囲は限られているため、1度の計測で対象全てのデータを取得することはできず、複数視点からデータを取得し、それを統合する必要がある。このデータの統合方法について、我々は、旋回型カメラをレーザ計測器と組み合わせた装置を用いる事で解決する。ある規則に基づいたパターンで配置されたマーカを利用して、カメラの位置・姿勢を取得する事により、より自由な方向からのデータの取得を実現し、自動でデータを統合する手法を開発した。また、オブジェクトの詳細度を自動で判断し、それに合わせてテクスチャや形状取得の分解能を動的に変化させたアダプティブキャプチャリングの手法を提案する。また、この際に重要になる複数視点の詳細度が異なるデータの統合は前述で提案したデータ統合手法を用いて解決する。

以降2章ではデータ統合手法における既存手法の問題点と解決手法について述べ、3章では過不足のないデータ取得における既存手法のアプローチとアダプティブキャプチャリングの提案、4章では開発したシステム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. 複数視点からのデータ統合手法

2.1 既存のデータ統合手法の問題点

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。レーザ計測器を用いた形状取得システムにおいては、オブジェクトの全体のデータを取得しようとした時、測定器の視野が限られているため、複数の方向からデータ取得が必要となる事が問題である。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、環境でも実現することが出来なければ、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。

測定範囲に制約があるデータの統合手法

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[2]が提案されている。また、特徴的な形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やカメラ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[4]も提案されている。しかし、これらのデータ統合手法は測定器の可動範囲に制約が有るという問題がある。

データ統合の精度や安定性に問題がある手法

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[3]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、統合精度が不十分であり、計測器の姿勢を正確に測定する事には適していない。測定器で計測して得られたデータを利用した統合手法では、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 [5][6]。しかしこの方法では、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、既存の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。

2.2 提案手法

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。これらの問題が解決できれば、本論での要求の1つである取得対象、取得範囲に制約が無いシステムが構築できると考えた。

そこで、我々は、空間中に任意に設定された世界座標系において、3次元位置が既知のマーカを配置し、それをレーザ計測器に固定された巡回型カメラで捉え、その時の計測器の位置を求め、その後、カメラの姿勢を変えても、カメラキャリブレーションの手法を応用して、各計測時点の測定器の位置姿勢を求めようと考えた。

巡回型カメラは、パン、チルト、ズーム、フォーカスが制御可能で且つ、現在のパン、チルト、ズーム、フォーカスそれぞれ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。

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、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。

このシステムの利点は、以下の2つにまとめられる。

- ・空間中のマーカを巡回型カメラで捉られれば、巡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。

・巡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る手法を用いた。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 パターンマーカ
Fig.1 Pattern marker

3. 詳細な形状、テクスチャの取得

3.1 既存アプローチの問題点

既存の3次元オブジェクトの形状とテクスチャを取得する手法では、測定器の分解能を動的に変化させる事は出来ない。そのため、オブジェクトの詳細な形状、テクスチャを漏らさず取得するためには、形状やテクスチャの最も詳細な部分に合わせて分解能を設定しなければならない。そうすると、オブジェクトのデータを取得する時、取得に時間がかかる、又は、冗長なデータまで取得してしまい、データ量が膨大になる、という問題がある。既存の手法には、このような問題があり、これらを解決する手法は提案されていない。そこで以下では、これらの問題点を解決した手法の提案を行う。

3.2 アダプティブキャプチャリングの提案

前述の問題を解決するために、3次元オブジェクトの形状とテクスチャの詳細度を自動で判断し、詳細度に合わせて測定器の分解能を動的に変化させる適応型取得手法(アダプティブキャプチャリング)を提案する。この手法を用いると、例えば人体を取得する時は、顔の部分だけ形状を詳細に取得したり、ある物体を取得する時は、表面に文字が書いてある部分の画像を詳細に取得したり出来る。また、形状が単なる平面の時は荒く取得したりする事ができ非常に有用である。

このアダプティブキャプチャリングには次の2つの要素が必要である。

オブジェクトの詳細度の判断

オブジェクトのテクスチャの詳細度を自動で判断するために、一旦広角の画像を取得し、画像処理により複雑な部分を判断。その後、複雑と判断された所を、分解能を上げて、より詳細に取得する。今回、テクスチャ取得において、画像の輝度に微分フィルタをかけ輝度の変化が大きい部分を複雑と判断する手法を用いて実装を行った。また、今回は実装を行っていないが、形状も、形が複雑な所はレーザ計測器の分解能を上げるために、レーザ計測器から得られる距離情報に微分フィルタをかける事により形状の複雑さを判断するといった手法を考え、実装を目指している。

詳細度が異なる複数視点からのデータ統合

アダプティブキャプチャリングを用いて、オブジェクトの形状とテクスチャを取得した際、詳細度の異なる複数視点からのカメラ画像と距離データ群が得られ、これらのデータを統合する必要がある。このとき前述した提案データ統合手法を用いれば即座にロバストに統合することができる。

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水平スキャン型のレーザ計測器を用いた。さらに、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、より自由に簡易な移動が可能となっている。



図2 全体図



図3 先端部

Fig.2 Overall view

Fig.3 Acral part

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

パターンマーカを空間中に配置する。それぞれのマーカの3次元座標を計測し、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。まずカメラにおいて、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、最小二乗法を用いた最適化によって、レーザ計測器の世界座標系での位置姿勢を求める。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

対象に向けてシステムを設置する

取得したい対象に向けてシステムを移動し、設置する。

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、事前に計測しておいたパターンマーカと照合し、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、チルトの値を用い、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。最後に、事前に計測しておいたレーザ計測器と回転型カメラの相対位置関係を用いて、計測器の位置姿勢へ変換する。

カメラ、レーザ計測器によって対象の形状、テクスチャデータを取得

レーザ計測器とカメラ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、水平スキャン型のため、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。また、このときカメラは

最も広角の画像を取得する。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、計算機へ蓄積する。

広角画像から複雑なテクスチャを持った部分を認識

広域画像に前述の微分フィルタを用いて複雑な部分を認識する。

複雑な部分に向けてズームした画像を取得

カメラをズーム制御し、複雑と判断された部分の詳細な画像を取得する。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 から までの操作を繰り返し、対象全体のデータを取得する。すべて取得した後、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次元形状とテクスチャを取得しモデル化した。

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。

表1 レーザ計測器と電動チルト架台の仕様

Table.1 Specification of laser measuring system and Electric tilt mount

レーザ計測器		電動架台	
スキャン角度	180°	動作範囲	-45° ~ +90°
角度分解能	0.5°	制御分解能	153600pulse/360°
測定分解能	10mm	絶対位置精度	±10pulse
システム誤差	±15mm		
統計的誤差	5mm		

5.3 実験結果

実験によって得られた部屋の三次元モデルの一部の画像を以下に示す。



図4 実験結果

Fig.4 Experimental result

次に、複数視点から得られた形状データの精度を検証した結果を以下の表に示す。

表2 取得精度

Table.2 Acquisition accuracy

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]

実際にテクスチャの複雑さを認識した結果を図6に示す。赤く網が掛かっている部分が複雑であると評価された部分である。

また、カメラのフィードバック制御によって取得された画像枚数を図5に示す。

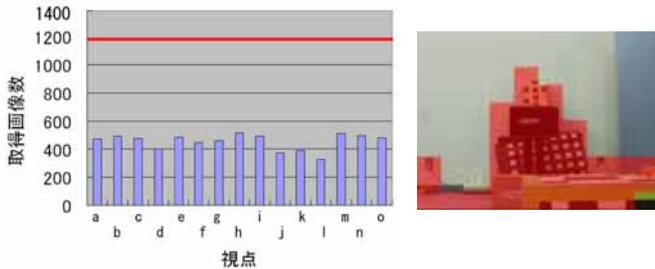


図5 テクスチャ取得枚数

図6 認識結果

Fig.5 The number of sheets of texture acquisition

Fig.6 Recognition result

5.4 考察

表2について考察する。

事前準備におけるレーザ計測器の位置、姿勢推定誤差
事前準備におけるカメラキャリブレーションの誤差
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3つの誤差は、計測器の精度から5mm程度の誤差、とカメラキャリブレーションはそれぞれ10mm程度の誤差であり、これらを全て考慮に入れると約20~30mmの誤差が生じると考えられる。それに対して、表2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。

次にテクスチャの複雑さを判断した結果である表3を考える。すべての画像を最大望遠の状態を取得した場合、1200枚の画像を取得しなければならないが、テクスチャの複雑さを判断しカメラのフィードバック制御することにより、毎回の撮影において約半分の取得で済んでいる。つまりデータ量取得時間ともに半分に短縮されたことがわかる。

6. まとめ

オブジェクトの詳細度に合わせて、測定器の分解能を動的に変化させる適応型の取得手法(アダプティブキャプチャリング)を提案し、実世界のオブジェクトが持つ複雑な凹凸、構造、テクスチャまですべてを取得でき、なおかつ取得対象や、取得範囲が限定されない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、形状の複雑さの認識、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、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。

[謝辞]

本研究は平成18年度文部科学省「魅力ある大学院教育イニシアティブ医学画像処理エキスパート育成拠点の形成」による、学生主導型ソフトウェア製品作成プロジェクトの一環として実施されたものである。

[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

西村 直久 Naohisa NISHIMURA

横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士前期課程在学中。2005 横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。コンピュータビジョン、医学情報処理の研究・開発に従事。日本データベース学会学生会員。

大石 浩徳 Hironori OHISHI

横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士前期課程在学中。2005 横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。コンピュータビジョン、医学情報処理の研究・開発に従事。

秋山 拓也 Takuya AKIYAMA

横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士後期課程在学中。2006 横浜国立大学環境情報学府情報メディア環境学専攻情報メディア学コース博士前期課程修了。コンピュータビジョン、医学情報処理の研究・開発に従事。

有澤 博 Hiroshi ARISAWA

1973年、東・理・物理卒業。富士通(株)を経て、1975年、横浜国立大学工学部に奉職。現在、同大学大学院環境情報学府教授。1991年、アメリカ・オレゴン州立大学計算機学科客員教授。データベース理論、マルチメディアデータベースシステムを研究している。工学博士。日本データベース学会正会員。