

大規模環境の3次元計測とモデリング研究の現状と課題

東京大学 増田宏

Current Status and Problems of Cyber Field Reconstruction Technology

The University of Tokyo: Hiroshi Masuda

In recent years, research on cyber field reconstruction has been significantly improved. A major goal of this research is to construct digital 3D as-is models of activity places, in which people live and work. Such models can be used to analyze current conditions and to predict the validity of possible modification of real worlds. We explain recent advances in this research area and also discuss problems to be solved.

1. 3次元計測とモデリングの研究の傾向

オーガナイズドセッション (OS) 「サーバーフィールド構築技術」は、2010 年秋季以来、今回で6 回目となる。本稿では、これまでの研究を振り返り、研究の現状と今後の課題について述べる。

サーバーフィールド構築技術は、当初、人が経済活動や日常生活を行う「フィールド」をモデル化した3次元仮想環境を構築し、様々な作業を効率化するための技術の研究を目的として設立された。その後、スコープがフィールド以外にも拡張され、「3次元計測とモデリング」を主要課題として扱う研究分野として今日に至っている。

本稿では、特に、研究が進展してきた大規模環境の計測・モデリングに焦点を当てることにする。

大規模環境を計測するためのレーザスキャナには、地面に固定して計測するものと、計測装置が移動しながら計測する Mobile Mapping System (MMS) や航空測量がある。これらの装置で得られた点群は、データ量が非常に大きく、計測誤差も比較的大きいことが特徴である。

本 OS では、大規模環境を計測した大規模点群処理の研究が多く発表されてきた。表1は、これまでの講演の件数を集計し、それらがどのような計測データを扱ったものか、どのような手法を提案しているかを分類したものである。なお、ここでは大雑把な傾向を見ることが目的なので、概要から分類が判断できないものは割愛することにした。

この表から、レーザ計測装置としては、固定レーザと車載移動計測 (MMS) が全体の85%を占めて多く、次いで、顕微計測 (10%)、航空測量 (6%) となった。初年度はMMS データの入手が難しいという問題があっ

たが、3 回目以降は、固定レーザ計測とMMS の比率は概ね、3 : 2 である。また、固定レーザの場合には、工場やプラントが計測対象であり、MMS では道路と道路周辺の地物を対象にしている。

また、表1 では、提案手法の分類も示した。この分類では、点群データを入力として、どのような形式のデータを出力するかによって集計した。最も多い研究は、点群から面モデルを生成する研究であり、次いで、点群がどのような物体なのかを同定する手法が多かった。また、ノイズ処理、レジストレーション、表示といった点群処理の基礎的な手法についての研究も行われてきた。

応用研究はまだ多くはないが、次章で述べるように、基盤研究が進展し、処理手法がかなり充実してきているので、今後は応用研究も重要である。これまで、多くのシミュレーションは、CAD やCG ツールで作成された面モデルが主流であったが、作成に手間がかかるのが難点であった。現在では、高密度の点群が非常に簡単に取得出来ることを考えれば、様々なシミュレーションを点群ベースに置き換えていくことには、経済合理性がある。社会的ニーズに応えるために、基盤研究に加えて、点群処理技術の工学的な有用性を追求する研究を積極的に行っていくことが必要であると考ええる。

2. 研究の現状と課題

これまで、この OS において主たる研究課題として扱われてきたものとして、以下のものが挙げられる。これらについて、研究の現状と課題を整理する。

- (1) 大規模データ処理
- (2) 曲面抽出
- (3) 形状再構成
- (4) レジストレーション
- (5) 点群からの物体認識

2.1 大規模データ処理

大規模データ処理は本 OS の本質的な課題である。我々の経験では、5000 万点程度の点群データであれば 8GB 程度のメモリの PC で処理できる。しかし、多数のスキャンデータを同時に処理することは通常の PC では困難なので、その場合には、ストリーミング処理がアウトオブコア法が必要であり、それに関する研究が行われてきた。

時系列的な大規模データにおいては、固定レーザと MMS のいずれの場合も、ストリーミング処理によるメッシュ生成法が提案されており、効率的な処理ができています。また、ストリーミングで処理できない場合には、データを分割してハードディスク (HD) に保持し、必要な部分のみをメモリに展開するアウトオブコア法が有効である。

Tab. 1: 講演件数と内訳

		2010	2011	2011	2012	2012	2013	計
		秋	春	秋	春	秋	春	
発表件数		17	15	18	18	14	19	101
計測手段	固定レーザ	9	8	7	6	8	9	57%
	移動計測	1	2	5	4	5	6	28%
	航空測量	2	1	1	1	0	0	6%
	顕微計測	1	2	2	1	1	1	10%
提案手法	面モデル生成	4	4	5	5	6	8	43%
	物体認識	2	1	3	3	2	3	19%
	精度検証	1		1	3	2		9%
	ノイズ処理	2	3	2				9%
	レジストレーション	1	1				3	7%
	表示	1				2	1	5%
	応用システム			1		2	2	7%

この方法は、近傍のデータができるだけ同じグループになるようにデータを分割し、グループごとにHDに格納する。グループ分けには、単一のスキャンデータの場合には、レーザ照射方向でグループ分けする方法が効率的であり、複合データの場合には、フィールドを2次元的な区画によって分割してグループ化する方法が有効である。また、MMS データの場合には、走行軌跡と関連づけて、データを HD から呼び出す方法も提案されている。

また、大規模点群では、近傍探索に工夫が必要である。オクトツリーやkd ツリーでは、点の個数が多くなると処理時間が急速に増大する問題がある。しかし、点群が計測順序順に並んでいれば、近傍探索の高速化が可能である。固定レーザでは、一回のスキャンデータはメルカトル画像上で格子状に並ぶ。また、MMS では、レーザが直線または螺旋状に並び、周波数に応じて周期的に近傍に点が現れる。こうした性質がわかっているときには、近傍点を高速に得られるので、オーダNで点群からメッシュモデルを生成できる。

ただし、こうした高速な近傍処理は、データに全順序関係が存在する場合に限られるので、複数のスキャンデータを統合した複合データには適用できない。その場合、データをある程度間引いた上で点群を空間分割し、区画ごとにオクトツリーやkd ツリーを用いて近傍探索を行うのが現実的な手法である。

2.2 曲面計算

点群からの曲面計算も研究が進んでおり、特に固定レーザにおいては手法がほぼ確立してきた。中・長距離の計測では多くの異常値が発生するので、最小2乗法よりも、RANSAC 法やロバスト推定が有効である。また、平面や円柱などの検出は、領域成長法またはRANSAC 法が共通の手法である。RANSAC 法では、高速化のために探索領域を限定することが必要である。これまでの研究では、法線を用いたグループ化や、連結性による領域分割の手法が報告されている。

ただし、曲面検出で問題となるのは、精度や検出率である。工場などでは、レーザが照射可能な表側の点群しかないことが多い。そのため、曲面計算は誤差を生じやすく、また計算された曲面パラメータにバイアスがかかることも報告されている。断片的な点群からの高精度な曲面計算法についてはまだ十分に解明されているとはいえず、今後の研究が必要である。

一方で、MMS では計測誤差が大きいので、平面以外の曲面計算は不安定である。成功している方法は、対象物をスイープ形状や平面図形の単位に分割し、2次元図形の計算問題に帰着させる方法である。たとえば、円柱であれば、通常は地面に垂直に立っているの、垂直に投影すれば円弧検出問題になる。この方法は、柱状物体やガードレールのビーム面の計算に有効であることがわかってきた。

ただし、この手法では、点群を基本形状に分割することが前提であり、そのための手法の信頼性を向上させることが必要である。また、柱状物体以外については、まだ十分定式化されているとはいえず、今後の研究が必要である。

また、計測装置としては、室内の移動計測装置や、Kinect などの簡易計測装置も開発されており、低品質データからの曲面計算が必要となる場面は増えていくと思われる。MMS で開発した曲面計算手法がどこまで汎用的に使えるのかを検討することも重要である。

2.3 形状再構成

大規模点群からの抽出された曲面を組み合わせ、元の対象物の3D モデルを再構成する研究はまだ途中である。リバースエンジニアリングとは異なり、断片的な一部の面からの全体形状の再構成が課題となる。計測データだけから元の形状を作成することはできないので、人工物の規則性を用いる方法や、形状のテンプレートを用い

る方法などを考える必要がある。

これまでは、配管に関しては、規格表の寸法値を用いて部材を再構成する方法、配管の接続のパターンを分類して接続部材を同定する方法、配管が水平・垂直に配置されやすいといった前提知識を用いる方法などが提案されている。ただし、配管以外では、まだ研究は進んでおらず、平面で構成されている対象物などについては、まだ途中である。さらに、今後、こうした手法をオフィスや組立工場などに展開しようとするならば、より汎用的な形状再構成手法の開発が必要となる。

一方、MMS においては、粗い点群しか得られないので、点群の分類の問題に帰着させ、テンプレートをフィッティングする問題として解くことが必要となる。研究は進展してきたが、まだ途中である。

2.4 レジストレーション

レジストレーションは、大規模点群処理において重要なテーマであるが、本OSでは比較的手薄である。実用上は、マーカを用いた方法がよく用いられるが、位置合わせのずれが大きく、精度が重視される曲面計算では十分ではない。また、ICP など典型的な手法では計算時間が膨大になるという問題があり、大規模点群には向いていない。大規模点群においては、特徴量を用いて、計算効率を向上させる方法が有力と思われるが、十分な精度が得られるかはまだ検証されていない。平面を特徴として用いる手法も提案されたが、精度的に不安定であることがわかっている。どのような特徴量が最も適しているかはまだ解明されておらず、今後の研究が必要である。

また、レジストレーションのずれは、MMS データの場合にはさらに顕著である。MMS では複数のスキャナで同時に計測を行い、それらの点群を重ね合わせるが、スキャナごとに系統的なずれが生じることが多い。MMS では点の密度が大きくなり、誤差も大きいので、ICP の適用も簡単ではない。局所的なずれを効率的に補正する手法の開発が必要である。

2.5 点群からの物体認識

フィールドデータには、多数の物体が混在して存在しており、対象物の種類を同定することも重要である。本OSでは、特にMMS において、点群からの物体認識の問題が多く扱われている。手法としては、点群を柱や平面などの基本形状に分割して、それらの個数や位置関係によって行う手法、点群を特徴量ベクトルで記述して機械学習の手法を用いる方法が提案されている。

しかし、認識率についてはまだ十分高いとはいえず、さらなる研究が必要である。パターン認識や機械学習の分野では多くの手法が開発されているので、今後、点群処理を効果的に組み合わせた認識手法の研究が進むと思われる。また、様々な手法を比較検討するためには、専門委員会などで標準データを用意することも必要である。

3. さいごに

近年の研究により、フィールドを計測した大規模点群処理の研究が進展してきた。しかし、まだ解決できていない課題も多く、さらなる研究が必要である。また、工学的に有用な応用分野を確立するためのより実用的な観点に立った研究や、様々なシーンを扱えるようにするための研究も必要である。

参考文献

- [1] 小野里雅彦, サイバーフィールド:情報強化された実環境の実現にむけて, 精密工学会秋季大会学術講演会, (2010).
- [2] 増田宏, サイバーフィールド構築技術の構成, 精密工学会秋季大会学術講演会, (2011).