



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ロバスト特徴抽出と点群・画像の融合処理による三次元計測・モデリングとその遺跡、ビル建築物への応用 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	高地, 伸夫
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11044号
Issue Date	2013-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53206
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Nobuo_Kochi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 高地 伸夫

学 位 論 文 題 名

ロバスト特徴抽出と点群・画像の融合処理による三次元計測・モデリングとその遺跡、ビル建築物への応用
(3D Measuring and Model Integration of Point Cloud and 2D Images through Robust Feature Detection, and
Their Application of Architecture and Archeological Ruins)

近年の急進的なデジタル化及びコンピューターパワーの飛躍的増大により、遺跡調査、土木における自動化施工、建築における BIM、そして工業計測など、様々な分野のデータを比較的短時間で三次元化し処理することが可能となってきた。これらから、対象物を三次元化し計測、認識、処理する研究開発が活発化され、新たな方式による新市場が模索検討されている。対象物を三次元データ化することの利点は、実物データの記録だけでなく、三次元データを計算機上で再構築し可視化することによる設計や施工、修復、劣化診断、経時変化等への対応の具体的検討、シミュレーション、疑似体験、進捗状況の把握、見積もりなど多岐にわたる。例えば、遺跡調査では、考古学や建築学の研究だけでなく、図面化や三次元データ再構築を行い修復、改修、縮小モデル作成や、デジタル博物館や VR、MR、AR における仮想体験などと新たな分野が構築されつつある。その一方、BIM では、新築や既存あるいは建築中、改修中の建物においてビルの企画/計画、設計、施工、改修、維持管理まで建物のライフサイクル全体にその三次元データの活用が期待されており、様々な検討、試行が始まっている。このような背景にあって、筆者らの研究開発の目的は、画像計測（デジタル写真測量）技術やレーザー点群処理技術の研究開発を推し進めることにより、誰もが扱える高精度かつ高速でロバストな三次元計測処理技術を構築、提案し新市場を創出することである。そのために、本研究では、特に建造物をターゲットとして、それら技術の長短を検討しその融合を図ることで、新しい計測法を開発することを目指す。この際の両手法の重要な共通課題は、この技術の普及の妨げとなっている煩雑なマニュアル操作を自動化することと、応用分野による計測精度の確保適合である。

一般に地上据え置き型レーザースキャナ (TLS) は、大量高密度な点群データの自動取得に向いており、計測された点群データに対応した画像が取得できる。建築物の側面など画像的 (テクスチャ) 特徴のない箇所の計測も可能であり、スキャン密度を高く設定すれば、複雑な形状の詳細な三次元モデルの作成が可能である。しかしながら、点群データ取得に時間がかかるのが問題となっている。さらに建築物など対象となるものの三次元計測に際して、通行人や車、木々の揺れなどがノイズやオクルージョンとなり、対象となる部分の点群データに欠測部分が生じる、といった問題がある。一方、デジタルカメラによる三次元計測は、カメラを持って撮影すれば画像データの取得が容易であり、車や通行人などの影響をうけない計測が可能である。また、小スペースの箇所や入りくんだ箇所も、いちいち機器の設置をすることなく撮影し計測できる効果も大きい。ステレオ画像計測の短所は、画像的 (テクスチャ) 特徴の少ない部分の計測が困難であり、更に標定 (カメラの外部パラメータ: カメラの三次元位置と三軸の傾きを求める処理) を行わなければ三次元モデルを作成できないことである。加えて実寸計測には三次元基準点もしくは基準となる長さの情報が必要である。これら両手法の短所を補い長所を組合せ建築物の三次元モデルを作成することを検討する。すなわち、TLS により高密度な点群データを取得し、そのオクルージョンとなる部分や、機動性を容易とする部分をデジタルカメラによる三次元計測で補い、双方の計測データを位置合せして統合し、基準となる長さを TLS から得ることで実寸の三次元モデルを構築するというアプローチである。この際に、工程の自動化と両モデル間の位置合せ精度が課題となるため、それらを考慮した方法の開発を目指すことにした。

画像計測では、まず照明変動やオクルージョンに加えて幾何学的変形にもロバストである拡張 TIN-LSM 法を開発し高精度化を図り、遺跡を対象物とした実用性能を評価する。次ステップとしてそれらをベースにした画像エッジを用いたマッチング法を新たに開発することで、エッジ抽出による標定の自動化、模様のない対象

物の表現を可能にする 3D モデル作成を目指した。レーザー点群データ処理技術は、既開発の稜線抽出処理を利用し、レーザー点群モデルと画像計測モデルから抽出した 3D エッジによる位置合せ手法を開発し、両モデルを統合してオクルージョン部を補間した全体の 3D モデルを作成する。

詳細には、画像計測におけるステレオマッチング法には、照明、オクルージョンにロバストである方向符号照合法 (OCM) を導入し、粗密探索過程で最小二乗相関法 (LSM) の結果と OCM の結果から TIN(不整形三角網) を構築し、順次変形を予測してステレオマッチングすることで、高速かつ形状変化にもロバストな拡張 TIN-LSM 法を開発した。そしてデジタルカメラ 1 台と PC にて計測するシステムとして、この性能評価を実在する遺跡に適用して行い、従来の図面化方法と比較してその差は 10mm 以内であり作業時間も半分以下と計測の可搬性及び手軽さ、コスト等大幅な省力化、自動化を達成し新たな領域ベースのステレオマッチング手法を実用化した。

さらに、次ステップとして、ビルなどの建造物の三次元モデリングに対し、対象物は様々な直線成分 (エッジ) から構成されるため、画像全体からノイズの少ないロバストで確実な直線エッジ抽出を行う方法を開発した。これをベースに計測対象に対して偏りのない特徴点を抽出した自動標定点推定法を開発した。そして、特徴点の少ない建築物から直線情報を抽出することで形状の表現を可能とするエッジマッチング法の検討を行い、これを高密度形状再構成が可能な拡張 TIN-LSM 法に組み込むことにより三次元モデルを構築した。これらにより、撮影から三次元モデル構築までの短時間による自動計測を達成し、画像的特徴 (テクスチャ) のない建物形状をエッジにより表現可能とした。

TLS により取得された点群データと画像データとの位置合せに関しては、三次元エッジを画像データ、点群データ双方から抽出し、建築物は、隣接した直交する 3 つのベクトルで構成されるとするマンハッタン仮説に基づき、位置合せを行って移動量を X-Y 方向シフトのみとさせ、シフト後スケール調整を含めた自動位置合せを行った。さらに詳細な位置合せには上記結果を初期値として ICP 法を適用する。ある程度精度のよい初期値がないと処理コストの点から実用的でないため、上記アプローチの後採用する方法とした。位置合せ結果は 16~20mm で、さらに詳細位置合せを行いスキャン密度 10mm に対し標準偏差で 4.0~4.4mm と機器の計測分解能と同等の精度を得、本提案手法は従来法と比較して高精度であることを示すことができた。

本提案手法の利点は、両データから不確かなエッジ点の厳密な対応を最初から求めずに、各モデルの精度を保ちつつ対応するエッジがどのエッジであるかを探索し位置合せすることである。このことによりオクルージョンによるエッジ点の隠れや、スキャン密度によるエッジ点の消失、精度劣化などの少ない高精度 (計測機器分解能と同等) な TLS 点群データと画像データの位置合せを可能とした。