

令和元年6月24日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K20026

研究課題名（和文）3次元空間センシングデータの高能率・高精度レジストレーションの試み

研究課題名（英文）An improvement challenge of efficiency and precision for 3D spacial data registration

研究代表者

田中 清（Tanaka, Kiyoshi）

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：20273071

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、既存の情報処理装置やソフトウェアライブラリを有効活用し、空間センシング画像群を用いたオルソ画像および3次元点群の生成、画像および3次元点群それぞれが持つオブジェクト抽出とマッチング手法、マッチングオブジェクトの画像と3次元点群間の対応付け、オブジェクト対応に基づくCoarse-to-fineアプローチによる空間レジストレーション、3次元点群の再投影画像と空間センシング画像群の比較結果の帰納法による高精度化に関する情報処理システムの開発に取り組んだ。特にその中核技術となる空間情報からの特徴抽出とレジストレーション、マッチングに関する情報処理アルゴリズムに関して重点的に研究を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、特に空間測量や自動運転車、防災などの実応用の分野に応用可能である。例えば、ドローンや車両など移動体にレーザスキャン装置や光学カメラなどの空間センサを搭載して収集した3次元点群や画像からリアルタイムに物体を抽出し、認識する物体認識アルゴリズムや高精度な3次元マップ生成の基礎技術として、本研究で開発した基本オブジェクトの認識や高能率マッチング、深層畳み込みニューラルネットワーク、画像認識などの各手法が応用できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed some fundamental techniques, by efficiently utilizing existing software libraries and information processing devices, on generation of 3D point clouds and orthoimages from spatial sensed images, object matching and extraction from images and 3D point clouds, object association between images and 3D point clouds, spatial registration with a coarse-to-fine approach based on object association, and an information processing system that improved the accuracy of 3D point clouds by induction for the comparative results between spatial sensing images and reprojection images of 3D point clouds. In particular, we intensively developed core information processing techniques on registration, feature extraction, and matching by using spatial information.

研究分野：画像処理、画像圧縮、3D点群処理、電子透かし、色覚、進化的計算、多目的最適化

キーワード：レジストレーション スム 自己位置推定 進化計算 キーポイントパッチ 特徴記述 オブジェクト認識 決定的アルゴリズム 深層畳み込みニューラルネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

空間情報を取得する画像センシング技術の進展に伴い、コンピュータビジョンや画像解析に関する応用分野が注目を集めている。なかでも、大規模空間情報を利用する地理情報システム (GIS: Geographic Information System) は、将来の高度情報化社会における最も重要な情報基盤の一つとして期待されている。

### 2. 研究の目的

本研究は、3次元の大規模空間情報を、高精度かつ高能率に構築するレジストレーション(位置合わせ)を実現する基礎技術の確立を目的としている。

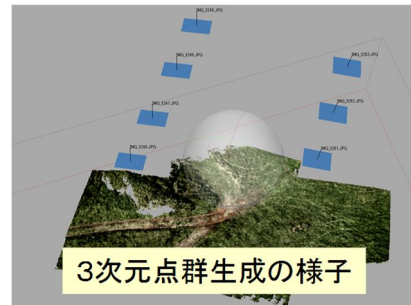
3次元空間情報のレジストレーションは、従来、3次元空間での再帰的近傍点(ICP: Iterative Closest Point)探索や特徴点マッチングなどにより実現されてきたが、本研究では、これらのアプローチとは異なり、空間センシング画像群とその歪みを補正したオルソ画像(真上から見たような傾きのない画像)ならびに3次元点群それぞれから空間オブジェクトを認識し、それらの相互対応を正確に求め、複合的に用いる空間レジストレーションの基礎技術を確立する。

### 3. 研究の方法

本研究では、空間センシング画像群を用いたオルソ画像および3次元点群の生成、画像および3次元点群それぞれが持つオブジェクト抽出とマッチング手法、マッチングオブジェクトの画像と3次元点群間の対応付け処理、オブジェクトの対応に基づく Coarse-to-fine アプローチによる空間レジストレーション、3次元点群の再投影画像と空間センシング画像群の比較結果の帰納法による高精度化に関する実験システムの開発に取り組んだ。

特に本研究期間では、既存の情報処理装置やソフトウェアライブラリを有効活用し、その中核技術である特徴抽出とレジストレーション、マッチングに関する情報処理アルゴリズムに関する研究を重点に実施した。

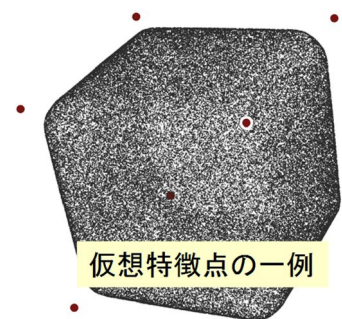
空間センシング画像群を用いたオルソ画像および3次元点群の生成に関する研究では、オーバーラップを有する連続撮影画像群の中からキーポイント抽出とその特徴記述を行い、画像間でのマッチング処理により得られた対応点の位置関係から透視投影モデルに基づく3次元位置推定を行い距離画像および3次元点群を生成するシステムを構築した。本システム構築には、市販のソフトウェアやオープンソースのプログラムライブラリ、電子計算機を用いた。



画像および3次元点群からのオブジェクト抽出とマッチング処理に関しては、画像や3次元点群に含まれるエッジや平面などの幾何学的特徴を抽出する手法について検討した。まず、画像からのオブジェクト抽出に関しては、スケール空間での特徴抽出手法について提案を行い、それを遺跡に関する描画に活かす手法を検討した。その際、画像と距離画像それぞれに対して提案手法を適用し、その関連性から最適なエッジ成分を抽出する方法について実験的に評価し、考察を行った。3次元点群からのオブジェクト抽出に関しては、まず最も基本となる構造物として平面に着目し、その領域を高速かつ高精度に取り出すセグメンテーションと関数推定に関する手法を提案した。提案手法では、従来の確率的な手法ではなく、決定的なアプローチを採用しており、適合度の高い平面に限定して抽出することに成功した。また、本手法を球体の抽出にも応用することについて現在も検討を進めている。



オブジェクト対応による空間レジストレーションでは、平面オブジェクトの組み合わせから決定される幾何学的な特徴点を仮想的に空間中に配置し、それを用いた特徴点マッチングを提案することで、従来の実在する点を用いた特徴点マッチングに基づくレジストレーションよりも高精度な位置合わせを実現した。その結果、大まかな位置合わせから細かい位置合わせに段階的に処理を進める Coarse-to-fine アプローチによる空間レジストレーションと同等の精度を初期段階で実現できるようになった。本研究では、平面オブジェクトを含まない点群同士のレジストレーションに対応するために、従来の ICP アルゴリズムに進化計算の探索アルゴリズムを取り込む手法についても開



発を行い、一定の成果を出すことができた。

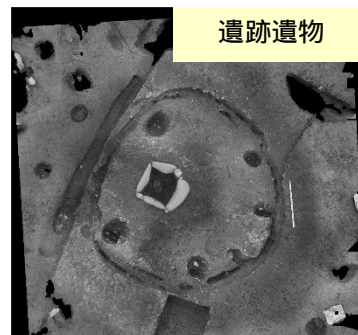
3次元点群の再投影画像と空間センシング画像群の比較結果の帰納法による高精度化に関する実験システムの開発については、これまでに開発されてきた3次元復元アルゴリズムの処理についての調査を行い、それを実装したソフトウェアの一つを用いた評価用システムを構築した。その評価システムを用いた数値実験により、その3次元復元の能力や特性に関する基礎的な評価を行った。先に示した平面オブジェクトにより定まる仮想特徴点の位置合わせ精度を利用した評価結果によると、数ミリ以下の精度での3次元点群の位置合わせやモデル化が可能であることを確認した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 空間センシング画像群を用いたオルソ画像および3次元点群の生成

本研究では、大規模空間に関する情報源として連続的に取得した空間センシング画像群を使用して大規模空間全体の3次元情報を生成し、その3次元情報の生成に用いた画像群の関係から、空間的歪みを補正したオルソ画像を取得する実験システムを構築した。

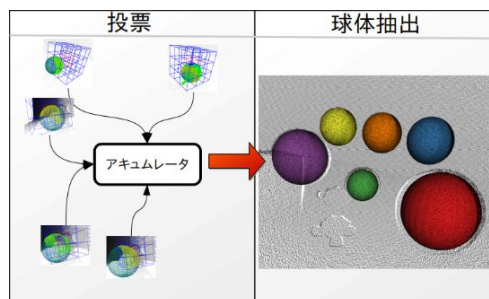
構築した実験システムを用いることにより、遺跡や遺物に関する多視点の画像群から各撮像対象ごとに数百万点の3次元点群（色付き）およびオルソ画像を生成した。生成した画像や3次元点群データは、本研究に用いるデータセットの一つとした。



##### (2) 画像および3次元点群それぞれが持つオブジェクト抽出とマッチング手法

3次元点群が持つ空間情報を効果的に活用するためのキー情報として、各データから特徴のある空間的オブジェクトを抽出することにより、注目領域を明らかにする手法を開発し、それを応用したキーポイント生成やオブジェクト抽出、オブジェクトマッチングの手法を開発した。

特に、本研究では従来のRANSACアルゴリズムを用いたCoarse-to-fineアプローチによる平面推定法ではなく、推定パラメータの投票による決定的アルゴリズムの開発を行った。提案手法では、膨大な量の3次元点群データをそのまま使用せずに、平面推定に適するデータに前処理するフィルタの導入を行い、それを有効活用することに成功した。その結果、従来手法よりも高速かつ高精度に平面オブジェクトを抽出できるようになった。本研究の成果は、平面以外のオブジェクトである球体にも適用しており、基礎的な段階であるが、RANSACに基づく従来手法よりも高い精度で3次元点群から球体オブジェクトを抽出できるようになった。



##### (3) マッチングオブジェクトの画像と3次元点群間の対応付け処理

大規模空間に関するオルソモザイク画像とそれに含まれる各オブジェクトに関する3次元点群の対応関係を利用して、その局所領域に関する3次元モデルを生成する実験システムを構築し、その性能について評価した。

本研究では、敵対的生成構造を持つ深層畳み込みニューラルネットワークの開発を行い、広域に関するオルソ画像を連結したオルソモザイク画像からその深度画像を生成することに成功した。本提案手法に関しては、推定表層情報の精度に課題が残されているものの、その実現可能性について実験的に確認でき、画像と3次元点群間の対応付けとそれを用いた3次元復元処理できることがわかった。

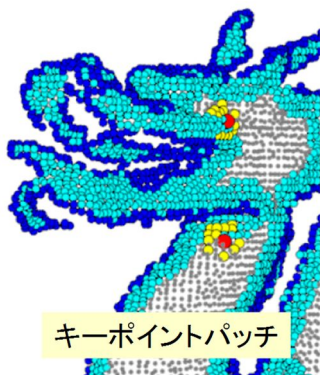


##### (4) オブジェクトの対応に基づくCoarse-to-fineアプローチによる空間レジストレーション

本研究では、3次元点群内の空間的オブジェクトの位置を推定するための空間レジストレーションに関する基礎技術を確立した。提案手法では、点群マッチング処理の過程で、進化型計算などの最適化アルゴリズムやロバストな特徴抽出、特徴記述に基づく階層的な特徴ベクトル空間マッチング手法を適用することにより、各処理の効率化と高精度化を実現した。

特に今回は、3次元の大規模空間情報を、高精度かつ高能率に構築するレジストレーション手法の開発を目的として、2018年度は、大規模空間に関する階層的かつ帰納的な画

像処理技術と3次元点群処理に関し、主に2017年度に提案した各手法の改善と評価、応用分野の検討に取り組んだ。局所点群を用いた高効率レジストレーション手法に関しては、2017年度に提案した進化計算とキーポイントパッチを用いる手法の最適化と精度評価を実施し、その基礎概念の拡張によりオーバーラップ領域の少ない点群間のレジストレーション技術の開発に取り組んだ。



キーポイントパッチ

3次元点群からの空間オブジェクト認識手法として平面構造体を高速かつ高精度に認識するためのフィルタ処理や関数パラメータの決定的アルゴリズムに関する提案を行い、その過程で得られた評価値を尤度として活用する特徴点検出法と特徴記述法を提案した。平面構造体の認識法に関しては、その概念を一般化して球体の階層的な認識や導出解の帰納的収束法に応用し、その基本性能を実験的に評価した。

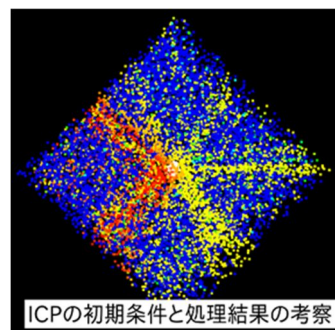
また、最も基礎的であり様々な分野で利用されているICPレジストレーションに関して、その初期条件が収束速度と精度に及ぼす影響を実験的に確かめ、その最適化に向けて初歩的な考察を行った。さらに、ICPレジストレーションと3次元点群マップを応用した自己位置推定機能を実現し、それを搭載した車輪走行ロボットを開発し、その試験走行と性能評価を行った。



平面検出

(5) 3次元点群の再投影画像と空間センシング画像群の比較結果の帰納法により高精度化

本研究では、推定3次元モデルに基づく再投影画像と、空間センシングにより収集した実画像群の整合性を数値的に評価することにより、幾何学的な内部パラメータを補正し、3次元点群の生成精度を向上するための実験システムを構築した。



ICPの初期条件と処理結果の考察

本実験システムは、市販のソフトウェアやオープンソースライブラリを用いて開発しており、これまでに開発したレジストレーション手法などを活用して実空間から収集した画像群や3次元点群を用いた機能確認や精度評価を行っているところである。現時点では、その性能を向上するための内部パラメータの補正などによる3次元点群の生成精度向上は今後の課題である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

植西一馬、サンドバルハイメ、岩切宗利、田中 清、キーポイントパッチ抽出法を用いた高効率な進化計算による3次元点群レジストレーション、画像電子学会誌、Vol.47、No.2、154-166、2018、査読有

J. Sandoval, K. Uenishi, M. Iwakiri, K. Tanaka, Robust 3D Planes Detection under Noisy Conditions Using Scaled Difference of Normals、IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing、Vol. 5、No. 2、2017、60-73、査読有

植西一馬、サンドバルハイメ、岩切宗利、田中清、VKOP:3次元幾何構造に適した仮想特徴点検出器及びその特徴記述子、画像電子学会誌、Vol. 46、No. 2、2017、283-297、査読有

[学会発表](計13件)

Luis Peralta, Jaime Sandoval, Munetoshi Iwakiri, Kiyoshi Tanaka, A Preliminary Study on Low Overlapping Unorganized Point Clouds Registration Using Hough Voting、画像電子学会第288回研究会、2019

千國隼矢、植西一馬、岩切宗利、田中清、ICPによる3次元点群レジストレーションの初期配置に関する検討、画像電子学会第288回研究会、2019

藤井大樹、宮崎裕輔、富沢哲雄、岩切宗利、地理情報付き三次元地図による自己位置推定、2018年つくばチャレンジシンポジウム、2019

宮崎裕輔、藤井大樹、富沢哲雄、岩切宗利、自律走行のための3D LIDARを用いた自己位置推定精度に関する評価、第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2018)、2018

植西一馬、サンドバルハイメ、岩切宗利、田中清、尤度付きVKOP抽出法の性能に関する一

考察、映像情報メディア学会映像表現 & コンピュータグラフィックス研究会、2018  
Jaime Sandoval, Kazuma Uenishi, Munetoshi Iwakiri, Kiyoshi Tanaka, A study on spherical surfaces detection in point clouds using sliding voxels and Kd-trees、映像情報メディア学会映像表現 & コンピュータグラフィックス研究会、2018  
Jaime Sandoval, Kazuma Uenishi, Munetoshi Iwakiri, Kiyoshi Tanaka, A Preliminary Study on Spherical Surfaces Detection in 3D Point Clouds using Sliding Voxels and Hough Voting、第 46 回画像電子学会年次大会、2018  
國武千人、岩切宗利、榊原庸貴、望月貫一郎、CNN を用いた広域空撮画像からの高密度表層高情報推定、第 24 回画像センシングシンポジウム、2018  
岩切宗利、3次元点群からの特徴抽出とその応用、精密工学会大規模環境の3次元計測と認識・モデル化技術専門委員会第 30 回定例研究会、2018  
J. Sandoval, K. Uenishi, M. Iwakiri, K. Tanaka, Multiscale Sliding Voxel for 3D Planes Detection and Segmentation、画像電子学会第 284 回研究会、2018  
植西一馬、サンドバルハイメ、岩切宗利、田中清、平面の面積を活用した尤度付き VKOP 抽出法、画像電子学会第 284 回研究会、2018  
J. Sandoval, K. Uenishi, M. Iwakiri, K. Tanaka, A Fast Sliding Voxel Approach to Detect 3D Planes in Unorganized Point Clouds、第 45 回画像電子学会年次大会、2017  
植西一馬、サンドバルハイメ、岩切宗利、田中清、平面形状の安定性を活用した尤度付き VKOP、第 45 回画像電子学会年次大会、2017

〔図書〕(計 1 件)

岩切宗利、技術情報協会、センサフュージョン技術の開発と応用事例、2019、pp.96-104

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：岩切 宗利

ローマ字氏名：(IWAKIRI, Munetoshi)

所属研究機関名：防衛大学校

部局名：電気情報学群

職名：准教授

研究者番号(8桁)：00535362

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：植西 一馬

ローマ字氏名：(UENISHI, Kazuma)

研究協力者氏名：Jaime Sandoval

ローマ字氏名：(Jaime Sandoval)

研究協力者氏名：Luis Peralta

ローマ字氏名：(Luis Peralta)

研究協力者氏名：千國 隼矢

ローマ字氏名：(CHIKUNI, Shunya)

研究協力者氏名：井村 篤

ローマ字氏名：(IMURA, Atsushi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。