

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450366

研究課題名(和文) 屋外環境下の果樹等を対象とした非定常物体モデリングシステムの研究

研究課題名(英文) Study on a novel modeling system for non-stationary objects such as fruit trees in the outdoor environment

研究代表者

中村 恭之 (Nakamura, Takayuki)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：50291969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：屋外環境下において取得される複数の3次元データから不変な特徴量を検出するために、3種類の特性の異なるカメラを用いた実験を行った。特徴量を検出するために必要な各種条件に付いて調査した結果、従来から提案されている特徴量の生成パラメータを調整すれば有用な特徴量として使えることが判明した。

複数の3次元データを頑健につなぎ合わせる手法の準備として、2次元距離データの形状の特徴を表す尺度を提案し、その尺度を用いてある2次元距離データにその環境の形状特徴を含んでいるか否かをSVM識別器で判断して、つなぎ合わせに用いる2次元距離データの数を変化させて、複数の2次元距離データを頑健につなぎ合わせる事ができた。

研究成果の概要(英文)：In order to detect invariant features from multiple three dimensional data acquired under the outdoor environment, we conducted experiments using three kinds of cameras with different characteristics. As a result of investigating various conditions necessary for detecting the invariant feature, it was found that it can be used as a useful invariant feature by adjusting the generation parameters of such invariant feature which was previously proposed. As a preparation method of robustly stitching multiple three-dimensional data, we proposed a measure representing its shape of two-dimensional range data. We also proposed a method for robustly stitching multiple two-dimensional range data, which uses the measure to decide whether to include useful shape features of the environment in the two-dimensional range data and has our SVM classifier learn to conduct such judgement.

研究分野：機械学習

キーワード：スキャンマッチング CIF特徴量

1. 研究開始当初の背景

21世紀の安定した食料供給、環境保全を実現する農業生産技術として精密農業が脚光を浴び、世界中で研究が行われている。精密農業とは、生育の良不良を局所的に認識し、最適な資材投入を行うことで、生育のばらつきを是正することを目的とした農法である。精密農業を実現するための要素技術は、1) 計測・記録技術、2) 制御技術、3) 解析・計画技術の三つであり、これらの要素技術を組み合わせることにより、条件不利地における小規模な農家から大規模土地利用型の農家まで様々な農家に対して有効な農場管理を実現することが可能になる。

本研究課題では、この精密農業の基本「圃場のばらつき」を定量的に把握する計測技術に関する研究開発に取り組む。精密農業のための従来からの計測技術として、リモートセンシングがある。リモートセンシングでは、人工衛星や航空機などに搭載された赤外線センサによって地表にある植物の状態を直接触れずに二次元画像として計測する。人工衛星等を利用した広域リモートセンシングと、圃場内で人手によって計測装置を運んで使用する近接リモートセンシングに大別される。広域リモートセンシングでは、圃場内の個々の樹木についての計測ができないという問題があり、近接リモートセンシングにも取得される情報が二次元画像のみで一度に観測できる情報量が少ないという問題がある。そこで、本研究課題では、これらの問題点を解決し、より精密な生育管理に必要な果樹園内の個々の樹木について、その状態を計測し、3次元形状モデリングできるシステムを開発することを研究目的とする。

2. 研究の目的

本研究課題では、3次元距離画像カメラを用いて、複雑な光条件や気象条件によって、空間的・時間的に定常的な計測値の得ることの難しい観測対象の3次元形状モデルを構築することを、非定常物体モデリングと呼び、そのために必要となる、(1) 屋外環境下において3次元距離画像カメラにより連続的に取得される複数の3次元データから不変な特徴量を検出する方法、(2) 検出された不変な特徴量に基づいて複数の3次元データをつなぎ合わせて物体認識用のモデルを構築する手法を開発する。

3. 研究の方法

先述した研究目的を達成するために、以下にあげる二つの手法について明らかにする。
(A) 屋外環境下において3次元距離画像カメラにより連続的に取得される複数の3次元データから不変な特徴量を検出する手法

(B) 検出された不変な特徴量に基づいて複数の3次元データをつなぎ合わせて物体認識用のモデルを構築する手法

Aについては、3次元距離画像カメラから連

続的に取得される3次元データから、まず、時間的に不変な特徴点(以下では、時間的不変特徴点と呼ぶ)を検出する方法について明らかにする。その時間的不変特徴点を基準として、その周辺の形状データを忠実に表す特徴量を生成する方法について明らかにする。Bについては、Aの処理後に生成された特徴量を手掛かりにして、連続的に取得されている3次元データを、高速かつロバストに複数の3次元データをつなぎ合わせる具体的な方法について明らかにする。

4. 研究成果

H26年度は、手法(A)に関して、この手法を開発するための前準備として、複数の2次元距離データ内で同一のデータを頑健に発見する手法を開発した。2つの2次元距離データ間で、頑健に対応点を探索するために、CIF特徴量と2次元距離データ内の特徴的な点(キーポイント)の幾何学的拘束を用いたスキャンマッチング法を提案した。CIF特徴量に加え、キーポイントの幾何学的拘束を考慮すると、2次元距離データの一部に新たなデータが加えられるような状況や、オクルージョンによって2次元距離データの一部が隠されているような状況においても、対応点探索に成功することを確認した。考案した手法は、H26年度に査読付き国際会議にて研究発表を行った。また、H27年度に国内会議においても発表を行った。

手法(B)に関して、3次元モデル構築手法を開発するための前準備として、カラーカメラを2台利用したステレオカメラを使用して、みかんの木の果実、枝幹、葉のそれぞれの領域を抽出する手法を開発した。ステレオカメラを用いて視差画像を推定して視差情報(x,y,d)を生成し、さらにステレオペア画像(図1参照)の基準となるカラー画像におけるRGB色情報をHSV色情報(HS)に変換し、これらH,S,x,y,dの5次元のデータをk-means法によりクラスタリングすることで、みかんの木を模した人工観葉樹の画像中に映されている果実、枝部、葉の領域を検出した(図2参照)。k-means法では、kの値を適切に設定しなければならない。ここで使用したステレオカメラのビット深度が大きくなかったため、領域毎のH,S情報のデータの差異が少なかったためクラスタリング結果が良好でなかった。超高感度カメラを用いることにより葉の影により見えにくくなっている枝幹を鮮明に観測できるようになり、枝幹の構造を復元することが容易になると考えられる。



図1 ステレオペア画像

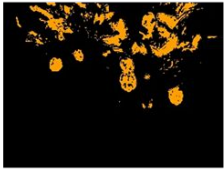
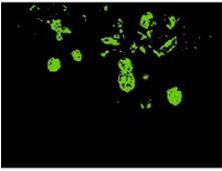
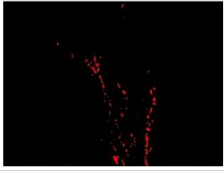
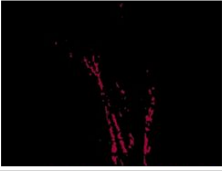


| | K=10 | K=15 |
|---|---|---|
| 実 |  |  |
| 枝 |  |  |
| 葉 |  |  |

図2 実、枝、葉のクラスタリング結果

手法(B)に関しては、対外的な研究発表は行っていないが、H26年度の学部学生による卒業研究テーマの1つとして、研究成果をまとめた。

H27年度は、手法(B)に関して、3次元モデル構築手法を開発するための前準備として、ハイパースペクトルカメラを用いてハイパースペクトル画像を取得し、その画像をk-means法およびDBscan法による領域分割することで、屋外で撮影された桑の木の画像から果実、枝部、葉それぞれの領域を抽出する手法を提案し、その評価を行った。k-means法によって領域分割のクラス数にも依存するが、通常のカメラで取得した画像データから領域分割を行うより、ハイパースペクトルカメラで取得した画像データを用いてクラスタリングする方がより確実に樹木の領域分割を行うことができた(図4参照)。



図3 屋外で撮影した桑の木の画像

H27年度は、手法(B)に関して、対外的な研究発表は行っていないが、H27年度の学部学生による卒業研究テーマの1つとして、研究成果をまとめた。

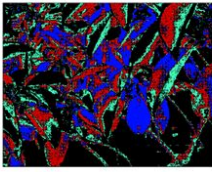
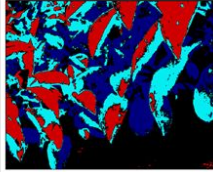
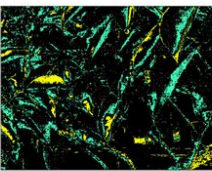

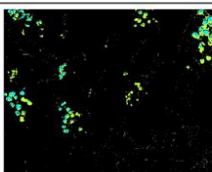
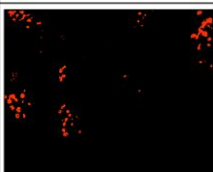
| | 通常カメラ | ハイパースペクトルカメラ |
|---|--|---|
| 葉 |  |  |
| 枝 |  |  |
| 実 |  |  |

図4 通常カメラとハイパースペクトルカメラ画像のクラスタリング結果の比較

H28年度は、手法(A)に関して、屋外環境で使用可能な現存する共振ミラー方式3次元測域センサによって取得された3次元データから不変特徴量を検出する手法について検討した。共振ミラー方式3次元測域センサは、疎な3次元点群データしか得られないため(図5参照)、その取得データは、本研究課題で想定している「定常的な計測値の得ることの難しい観測対象」のデータと同一の性質を持つと考えた。そこで、このセンサから得られるデータに対して不変特徴量を検出する手法について、従来から考案されているいくつかの不変特徴量について、その特徴量生成のための調整パラメータを様々に変化させて、複数の3次元データをつなぎ合わせる際の精度が向上するか調査した。3次元のスキャンデータに対する不変特徴量として、

Tombari, Salti, StefanoらはSignature of Histograms of Orientations(SHOT), Drost, Ulrich, Navab, IlicらはPoint Pair Feature(PPF), Rusu, Blodow, Marton, BeetzらはPoint Feature Histogram(PFH)を提案している。これらの特徴量記述方法の中で、点群についてすべての2点の組に対し点の距離や角度などの4次元の特徴量についてヒストグラム化したものを特徴量として用いるPFHが、本研究課題には有効であると考えた。その調査結果から、PFH特徴量を用いて疎な点群に対するマッチングの成功率を向上させるためには、点群に応じて探索半径を決定する方法が有効で、走査分解能の大きな3次元測域センサを用いて取得した疎な点群のマッチングに対して用いる新たな特徴量についても、同様な方針により特徴量を記述する方法が有効であると考えられる。

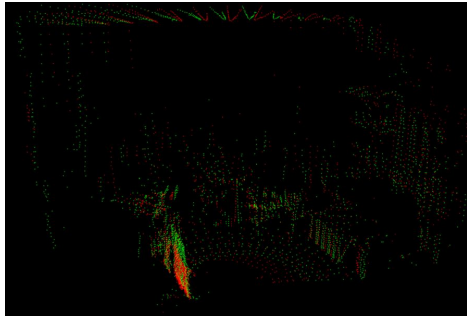
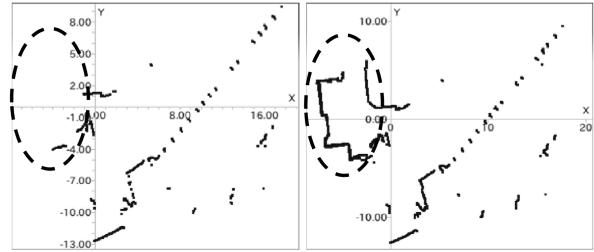


図5 共振ミラー方式3次元測域センサで取得した3次元点群データ

H28年度は、手法(A)に関して、対外的な研究発表は行っていないが、H28年度の学部学生による卒業研究テーマの1つとして、研究成果をまとめた。

手法(B)に関する3次元モデル構築手法としては、移動ロボットのための環境地図生成の際に頻りに利用される手法として、データ取得が容易な環境で3次元データを取得した後、複数の3次元データをつなぎ合わせた。それぞれのデータ内につなぎ合わせるために有用な特徴を含んでいるか否かを識別した後、複数のデータをつなぎ合わせることができれば、頑健に3次元モデルが構築できると考え、このアイデアに基づいてその基本的な手法を実装してその性能を評価した。

この手法では、3次元データとして、2次元距離データを扱うこととした。2次元距離データの形状の特徴を表す尺度として“地形複雑度”を提案し、その尺度を用いて、ある2次元距離データにその環境の形状特徴が十分に含まれているか否かを判断して、局所的に2次元距離データをつなぎ合わせる際に用いる2次元距離データの数を変化させる方法を提案した。地形複雑度に基づいて2次元距離データに含まれる形状特徴が十分か否かをRBFカーネルを用いたSVMに基づく識別器により判断できること、この識別器を用いることで、局所的につなぎ合わせるために用いる2次元距離データの数を限定せずに、2次元距離データをつなぎ合わせることができると検証できた。図6(b)では、この手法で8個の2次元距離データをつなぎ合わせてできた2次元距離データを表している。図6(a)は、その8個の2次元距離データのうちの1時刻分のデータを表している。図6(a)では点線で囲んだ部分に2次元距離データが存在しない部分(オクルージョン)がある。それに対して、(b)では8個の2次元距離データをつなぎ合わせた結果、データが存在していることが分かる。このように、提案手法により、2次元距離データをつなぎ合わせる際にデータの取捨選択が自動的に行えることが実験的に示せた。



(a) A scan at location B (b) A merged scan made by 8 scans

図6 SVM 識別器を用いてつなぎ合わせた2次元距離データ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

中村恭之, 脇田翔平:

スキャンデータの順序保存統合と統合処理判断機能を持つCIFベーススキャンマッチング法, 第21回ロボティクスシンポジウム, 3A1, 2016.

脇田翔平, 中村恭之:

スキャンデータの順序保存統合を用いたCIFベーススキャンマッチング法, ロボティクス・メカトロニクス講演会'15, 2A2-M09, 2015.

T. Nakamura and S. Wakita,

Robust global scan matching method using congruence transformation invariant feature descriptors and a geometric constraint between keypoints, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), pp.3103-3108, 5-8 Oct. 2014.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

渡邊 茂樹, ステレオカメラ画像に基づくみかんの木の領域分割, 和歌山大学システム工学部情報通信システム学科 2014年度卒業論文.

山内 優貴, ハイパースペクトルカメラ画像に基づく樹木の領域分割, 和歌山大学システム工学部情報通信システム学科 2015年

度卒業論文 .

布袋 樹：共振ミラー方式 3 次元測域センサのスキャンデータのための特徴量に関する検討，和歌山大学システム工学部情報通信システム学科 2016 年度卒業論文 .

脇田翔平，中村恭之：
選択的統合処理に基づく CIF ベース大域的
自己位置推定，日本ロボット学会，学会誌，
2017（条件付き採録後の査読中）.

ホームページ等

大域的 2D スキャンマッチングのための特徴
記述子の提案に関する URL：

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~ntakayuk/cif-j.htm>

果樹等を対象とした非定常物体モデリング
の研究に関する URL：

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~ntakayuk/non-stat-obj-j.htm>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中村 恭之 (NAKAMURA, Takayuki)
和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：50291969