

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24780252

研究課題名(和文) 撮影位置・姿勢・条件が異なる複数の画像から目的の作物詳細画像を再構築する処理手法

研究課題名(英文) Ensemble Image Analysis for Mobile Robotic Field Server to Extract Detailed Target Information with Collected Image Data

研究代表者

深津 時広 (FUKATSU, Tokihiro)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業技術革新工学研究センター高度作業支援システム研究領域・上級研究員

研究者番号：40355483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では移動型の圃場計測システムを対象とし、これが取得する圃場内での大量の画像データを解析・変換・融合することで、対象圃場や作物などの詳細情報を抽出できる処理手法を構築する。具体的には、実際に取得される画像データは常に撮影条件や環境条件などが変化するため、時空間的に近い画像の情報を参照して補正しつつ関連する画像に対して特徴点を結びつけながら、圃場内の様子をGoogle StreetViewのように表示する「Crop-Field-View」や対象果実を3次元再構築表示するアプリケーションなどを実現した。

研究成果の概要(英文)：Field monitoring system with movable function becomes important for smart agriculture. I proposed a mobile robotic Field Server that collects a large amount of image data by walking around agricultural fields. To extract useful information from collected image data, I developed an ensemble image analysis system. To demonstrate the system, I also developed some applications to provide panoramic view of target fields and 3D reconstruction data of target fruits by combining related image data based on feature points.

研究分野：圃場モニタリング

キーワード：移動ロボット 圃場モニタリング 画像処理 センサネットワーク フィールドサーバ

### 1. 研究開始当初の背景

詳細な環境情報や作物の生育情報を取得することは、農業生産の高度化・効率化を実現するうえで必要不可欠である。これを実現する一つの手法として、申請者はこれまでに農業現場の情報を効果的に取得・提供できる農業用センサネットワーク「フィールドサーバ」の研究に携わってきた(図1)。フィールドサーバは圃場周辺の環境情報だけでなく、内蔵のカメラによって画像情報も取得できるため、作物や圃場の様子といった有用な情報を簡単に得ることができる。

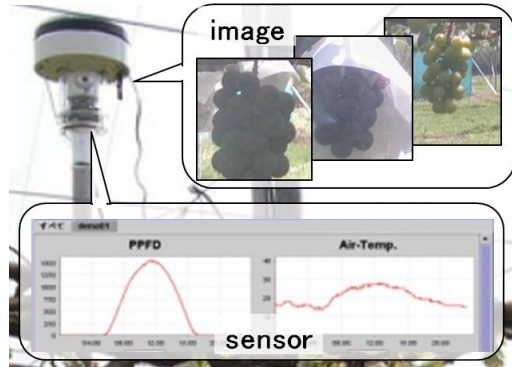


図1. フィールドサーバ

また、画像解析によって作物の生育量や水ストレス計測、熟度判定、病害虫検出などを行う研究が、近年盛んに進められている。これに実際の圃場で取得した画像が利用できれば、生産者の意思決定に重要な情報を提供することができる。そこで申請者はこれまでに、圃場で詳細な画像を取得するための方法や、取得した画像を用いて植被率の推定や飛来害虫数の計測などを行う研究を進め、その問題解決を行ってきた。

画像を利用した農業研究が進み、より効率的な圃場管理が期待されるにつれ、今後は圃場各地の詳細な作物画像をくまなく取得することが望まれていく。しかしながら計測地点を単純に増やすのはコスト・作業性などの点から難しい。そこで移動計測システムによって定期的に圃場内を移動しながら詳細なデータを取得する方法が考えられる。既存の研究では、トラクターなどを自動化して計測・作業を行うものもあるが、圃場のような不整地の安定走行にはコスト面や技術面の課題が多い。また、作物群落内の画像を取得しようとするには移動体のサイズが制限されるという問題もある。

そこで申請者は移動可能なフィールドサーバを試作し、実際に不整地である作物間を移動しながら外乱の多い環境条件下で画像を取得する予備実験を行った。その結果、個々の作物の近接画像は大量に取得が可能であったものの、目的の撮影位置/同じ場所への移動は困難、各画像に写る対象の大きさや向きは様々、自然環境下では取得した画像データの撮影条件は個々に異なる、などの課題が明らかになった。そこで申請者は、移動作

業型フィールドサーバの実現を検討するにあたり、これを圃場計測システムとして効果的に利用できるようにするための様々な課題について、特に取得される画像データを中心として検討を行うこととした。

### 2. 研究の目的

圃場を広域に渡り精細にモニタリングすることを考えた場合、図2に示すような移動型計測システムが有効となる。移動型計測システムとしてはドローンのように上空から計測するものや、トラクターなどで作業時に計測するものがあるが、本研究では圃場群落内を走行可能な小型のものとして、移動作業型フィールドサーバを対象とし、これを実現するための手法の提案やそのための技術要素の開発、今後の課題などを明らかにすることを目的とした。具体的には移動作業型フィールドサーバとして、車輪型のもので歩行型のもの2種類を対象とし、それぞれが計測機器としてカメラを搭載し、周囲の固定型フィールドサーバの画像情報も利用しながら圃場の様子や対象作物の詳細情報、移動作業型フィールドサーバを運用するための支援情報などを抽出できるようにすることが目的となる。

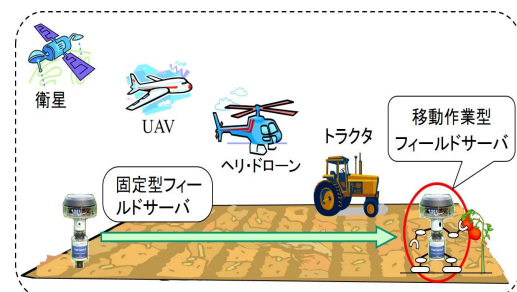


図2. 移動計測システム

歩行型は一般に他の移動機構と比べると移動効率が低くコストも高くなるが、移動する際の圃場へのダメージが少なく不整地の走破性が高い。また車輪の滑りなどがいないためフィードバックなしでも装置の位置情報を推定するのが容易であるといった特徴を備える。一方車輪型は玩具などの市販品を改良することで安価で容易に作成ことができ、歩行型とほぼ正反対の特性を備える。また、これら2種類の移動作業型フィールドサーバから得られる画像情報に対し、次のような解析処理を行うことを検討する。まず屋外で取得される画像データは日射条件やカメラの姿勢など、さまざまな外乱の影響を受けるため、全てが有効に使えるわけではない。そのため時間的・空間的に近い画像データと比較を行いながら、使えないものは削除し、補正処理を行うことで使えるものは補正画像データに変換するという、1次処理の手法について検討する。また有効画像データは単体で利用するよりも複数の有効画像データを組み合わせて処理することでより詳細な情報を引き出すことができる。そこで関連す

る複数の有効画像データを組み合わせるためのアルゴリズムの検討やアプリケーションの開発を行っていく。またRTK-GPSなどの高価な位置推定装置を持たない移動作業型フィールドサーバでは、自己の位置情報をいかに詳細に把握するかが重要な課題となる。一方で圃場内では通常同じ品種の作物が大量に作付けされているため位置情報を示す目印となるものが取得画像単体からは得られにくい。移動作業型フィールドサーバでは、通常周囲に設置されている複数の固定型フィールドサーバと連携して動作するため、その画像情報なども利用することで自己位置推定を実現するアルゴリズムについても検討を行っていく。

### 3. 研究の方法

研究の方法としては、大きく分けて次の4つに分かれる。まず研究の基本目的でもある移動計測を実現するため、実際に移動作業型フィールドサーバの開発を行っていく。移動作業型フィールドサーバは本研究の前段階としてプロトタイプを幾つか作成しているため、具体的にはこれをベースに本研究実験用に車輪型および歩行型の移動作業型フィールドサーバを開発する。車輪型は市販のラジコンをベースとするため積載量は少ない。そのため圃場計測および遠隔操作作用としてPTZネットワークカメラを搭載する。走破性などの問題から圃場群落周囲の比較的安定した場所を移動しながら計測を行い、画像データを収集できるシステムを構築する。歩行型は不整地や斜面でも計測機器を搭載する面を水平に保つことができ、かつ十分な搭載量をそなえる歩行システムとして、2群3脚式ツインフレーム方式の歩行ユニットをベースに開発を行う。また搭載面には軽量の3軸マニピュレータを搭載し、先端にカメラを取り付けることで群落内や対象物への近接・全方向撮影が可能となるよう設計を行った。なお、それぞれの移動作業型フィールドサーバを運用およびデータ収集するためのシステムは共通なものを利用できるようにするとともに、次の画像処理やアプリケーションとそのまま連動できるよう設計する。

次に、取得した画像データから使えないデータをフィルタリングおよび使えるデータを利用しやすい形に補正する方法として、各種画像データや関連数値データを管理するデータベースシステムおよび画像を解析・補正処理するための前処理アルゴリズムを作成する。まず各画像は時間的・空間的に近い画像リストを備えると共に、画像内のスペクトルや代表特徴量といった情報を保存する。これらのデータをもとにアフィン変換や色調変換、外乱除去といった一般的な補正手法を行い、利用可能な画像領域のみを抽出して有効画像データの作成を行うアルゴリズムを開発する。画像処理や解析手法などは一連

の実験では同じものを使用するものの、実験場所や対象といった環境条件によって有効なもの異なるため、それぞれの処理をモジュール化し必要に応じて組み合わせられるようシステムを設計する。

また圃場および対象物の詳細情報を取得するため、複数の有効画像データを組み合わせるアルゴリズムおよびアプリケーションを開発する。特に今回は、それぞれの画像データで同じ特徴点の抽出や重なり合う部分を検出し、圃場全体の様子を取得画像データで繋ぎ合わせることを考える。また目的とした対象物に対し様々な方向・倍率で取得した画像データから、特徴点の抽出・画像間のマッチング・撮影位置・姿勢の推定・3次元データ生成も試みる。またそれぞれのアルゴリズムによって実際に屋外で取得したデータを処理し、その結果を提示するアプリケーションの開発を行う。

最後に、移動作業型フィールドサーバの位置情報を画像データから推定するアルゴリズムを検討する。圃場内を移動する移動作業型フィールドサーバは本体可動アクチュエータの状態や連続して撮影される画像情報の推移によって大まかな位置を把握することは容易である。しかし回線トラブルによるデータロスやアクシデントなどで予測位置がずれると、スナップショットの情報からでは同じような圃場・作物風景の映像が多く特徴量が抽出しにくいいためそのままでは位置推定が困難となる。そこで別アプローチとして周囲の固定型フィールドサーバの画像情報と移動作業型フィールドサーバから得られた画像情報を組み合わせることで位置推定を行うアルゴリズムを検討する。この場合、複数の固定型フィールドサーバからの画像による3角測量アルゴリズムだけでなく、同期して推定精度が高くなる方向・ズームで撮影するという運用アルゴリズムについても重要となり、その点についても検討する。また大まかに位置推定が行われることで条件が絞り込まれるため、その状態で移動作業型フィールドサーバより取得された画像情報を解析し特徴量を抽出し、精度良く位置推定が行えるかを検討する。

### 4. 研究成果

移動作業型フィールドサーバとして、図3に示すような車輪型および歩行型のシステムを開発した。それぞれのシステムは共通の管理プログラムによって制御が可能であるほか、同プログラムによって画像データの収集、画像解析・データ処理の管理、詳細情報の抽出といった一連の作業を取りまとめて扱えるようにした。本システムを利用し、車輪型および歩行型ともに複数の圃場内で稼働させ、目的とする画像データを安定して取得することができた。



図3. 移動作業型フィールドサーバ

また取得した画像データは屋外での撮影のため、一部で天候の急激な変化の影響を受けたものや植物の葉などが干渉して撮影されたもの、振動などの影響で画像がぶれたものなどが含まれていたが、前処理アルゴリズムによって適切に処理することができた。特に車輪型では不整地の影響を受けて撮影方向がずれるものが多かったが、空、地面、作物群落などの境界領域を時空間的に近い画像データの情報をもとに補正することで目的とする画像を得ることができた。

複数の画像情報を利用して詳細な情報を抽出するアルゴリズム・アプリケーションとして、次の2点を開発した。まず車輪型より得られた圃場画像に対し、OpenCVをベースに各画像の重なりを検出してそれぞれの画像の関連付け情報を取得し、XMLをベースとした画像管理データベースに出力する一連の処理を開発した。またこのデータをもとに、圃場内で取得した時空間的に大量な情報を Google StreetView のように圃場内の様子を3次元表示したうえで、さらに時間変化も提示するアプリケーション「Crop-Field-View」の開発を行った(図4)。



図4. Crop Field View

また歩行型の移動作業型フィールドサーバでは、アームの手先カメラによって幾つかの対象果実の近接詳細画像やさまざまな視点から撮影された大量の画像の取得を行った。そこで標準画像と近接詳細画像とを特徴量抽出によって関連付けを行うとともにそれぞれの画像データを利用して補間しながら Google Map のようにシームレスに表示す

るようした。また近接詳細画像を利用し、3次元再構築を行うことで詳細な情報を提示できるようにした(図5)。3次元再構築に関しては、研究当初は適切な市販ソフトも存在しなかったため独自に研究開発を進めてきたため解析処理にはこれらを利用することとし、屋外環境下で精度良く3次元再構築を行うための撮影条件や解析処理に利用する画像データの選別手法などに重きを置いたシステムを構築したことで、適切な画像を取得することができた。

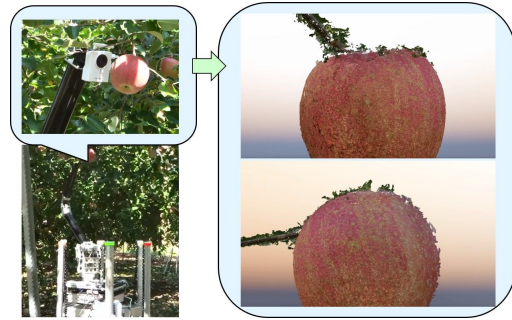


図5. 対象果実の3次元詳細データ

また移動作業型フィールドサーバの位置推定を行うにあたり、前段階として周囲にある複数の固定型フィールドサーバの画像からの位置情報推定は、これまでの単純な特徴点抽出および幾何学解析によって行えることが確認できた(図6)。次に可動式のカメラを備えた固定型フィールドサーバを利用し、カメラ方向およびズームを直前の推定位置および現時点の移動指令値に応じて制御を行うことで、推定可能範囲の拡大や推定誤差の軽減を行うことができた。併せてこれらの情報をもとに存在範囲内を限定したうえで移動作業型フィールドサーバからの画像データから自己位置推定を行ったところ、同じような植物群落風景であっても画像情報から特徴量を抽出し、精密な位置情報の推定を行うことがサンプル数は少ないものの確認された。このアルゴリズムに関しては、今後他の研究予算の枠内で深く掘り下げて行う予定である。

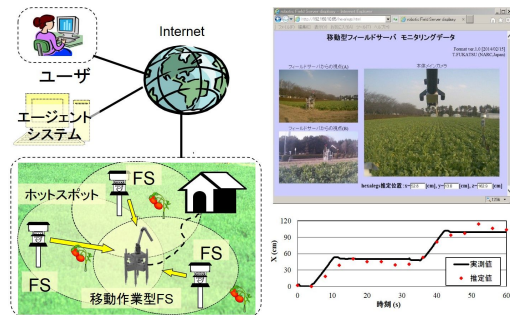


図6. 位置情報推定

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

深津 時広、遠藤 玄、伊藤 祐太、小林 一樹、斉藤 保典、広域・精細モニタリングのための移動作業型フィールドサーバの開発、農業情報研究、査読有、23巻4号、2014、140-153

T.Fukatsu, M.Hirafuji, “Web-based sensor network system “Field Servers” for practical agricultural applications”, Proc. Of the 2014 International Workshop on Web Intelligence and Smart Sensing, 査読有, 2014, 1-8, doi>10.1145/2637064.2637090.

〔学会発表〕(計8件)

T.Fukatsu, M.Hirafuji, “Development and Promotion of Open Field Servers for Practical Field Monitoring”, SICE Annual Conference 2015, 2015/7/28, Hangzhou (China).

深津 時広、遠藤 玄、小林 一樹、移動作業型フィールドサーバによる果樹園生育モニタリングについて、農業×計測×情報通信ワークショップ2014、2014/11/6、機械振興会館(東京都港区)。

深津 時広、遠藤 玄、伊藤 祐太、小林 一樹、斉藤 保典、移動作業型フィールドサーバによる作物の広域・詳細情報取得を目指した圃場モニタリングシステムの開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014、2014/5/26、富山国際会議場(富山県富山市)。

深津 時広、画像情報を利用したフィールドサーバによるモニタリング運用事例、農業情報学会 2014 年度年次大会、2014/5/14、東京大学(東京都文京区)。

深津 時広、平藤雅之、木浦卓治、圃場スマートセンシングを実現するオープン・フィールドサーバ(Open-FS)、第30回センシングフォーラム計測部門大会、2013/8/29、信州大学(長野県上田市)。

T.Fukatsu, “Case studies of customized Field Server system for practical use”, TIP2013/APAN35, 2013/1/13, Honolulu (USA).

T.Fukatsu, M.Hirafuji, T.Kiura, “Monitoring System with Flexibility and Movability Function for Collecting Target Images in detail”, AFITA/WCCA2012, 2012/9/4, Taipei (Taiwan).

T.Fukatsu, M.Hirafuji, T.Kiura, “Effectiveness and Potential of a Web-based Sensor Network System for Agricultural Applications Using Image Data”, CIGR-Ageng2012, 2012/7/9, Valencia (Spain).

深津 時広 (FUKATSU, Tokihiro)

農業・食品産業技術総合研究機構・農業技術革新工学研究センター高度作業支援システム研究領域・上級研究員

研究者番号：40355483