

外観検査のための多視点画像解析技術の開発

飯島 俊匡, 岡崎 伸哉, 本間 稔規

Development of Multi-View Image Analysis Technology for Visual Inspection

Toshimasa IJIMA, Shinya OKAZAKI, Toshinori HONMA

抄 録

機械部品製造業や食品加工業では、不良品の排除や食品原材料の不用部を除去するため、欠陥の有無や位置を目視で確認しているが、生産工程の省力化や生産性向上のため目視による外観検査の自動化が求められている。既存のカメラ画像を利用した自動外観検査では、対象物の撮影は一方からのみであることが多く、死角が生じたり三次元空間上の位置を特定できないなどの課題がある。そこで、対象物を複数の方向から撮像することで全周囲の画像を取得可能な撮影装置と、テクスチャ解析により対象物の不用部を抽出し、異なる視点の画像間で対応付けを行うことでその位置を推定する多視点画像解析手法を開発したので報告する。

キーワード：外観検査，多視点画像，位置計測，特徴点マッチング

1. はじめに

生産工程の省力化や生産性向上のため、目視で行っている外観検査の自動化に対するニーズが道内の機械製造業や食品加工業から多く寄せられている。金属探知機やX線検査装置、色彩選別機などの自動検査装置は普及してきているが、現状ではまだ多くの工程で目視に依存している。例えば、機械製造業では製品の傷やバリなどによる不良品の排除、食品加工業では大きさ等にバラツキがある原材料の受入検査や品質評価、不用部や異物の除去などで多くの人手を必要としている(図1)。



図1 目視による外観検査と食品加工での不用部除去作業

従来の自動外観検査ではカメラ一台を用いたものが多く、対象物を一方向から見た画像しか得られないため死角が生じたり、三次元空間上の位置を特定できないなどの課題がある。また、対象物の三次元形状を取得するステレオビジョンセンサーやデプスカメラでは、対象表面の色やテクスチャなど形状以外の特徴を得ることは難しく、通常のカメラ同様に単体

での撮影では死角が生じる。この死角の問題を解消するため、対象物を転動させる搬送機構と組み合わせて全周囲の検査を行う手法が考えられ、当场でもジャガイモ全周の芽の位置を計測して除去するジャガイモの芽取り装置を開発した²⁾が、検査装置が大型となるため、設置場所の制約が大きくなる。

そこで本研究では、既存の食品加工工程などに導入可能な大きさであり、目視検査と同等以上の処理速度での自動外観検査を実現するため、多方向からの撮像により死角の少ない対象物の画像を取得し、欠陥等の特徴的な部位を抽出して多視点画像間の対応付けを行うことで抽出した部位の位置推定を行う多視点画像解析技術を開発したので報告する。

2. 多視点画像撮影装置の開発

機械製造業や食品加工業などの外観検査工程においてフィールド試験を実施するため、対象物を4方向から同時に撮影し、死角の少ない画像を取得する多視点画像撮影装置(図2)を試作した。撮影装置は持ち運びが可能な大きさ(横幅1,450mm, 奥行き550mm, 高さ720mm, 重さ約15kg)で、撮像範囲は搬送路面600mm×500mmとした。カメラは解像度3.2

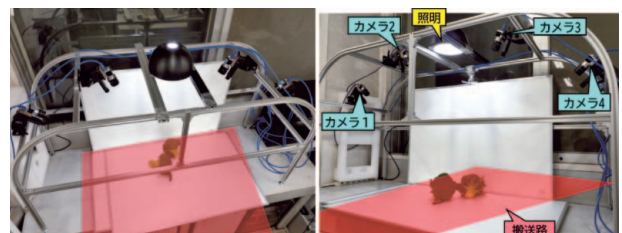


図2 開発した多視点画像撮影装置

事業名：経常研究

課題名：外観検査のための多視点画像解析技術の開発

Mピクセル（2048×1536画素）、フレームレート55fpsで撮像可能なグローバルシャッターのUSB3.0カラーカメラを4台使用し、撮影対象に応じてカメラ位置を変更可能とした。カメラレイアウトを変えて白菜を撮像した結果、接地面以外について死角のない画像が得られた（図3,4）。

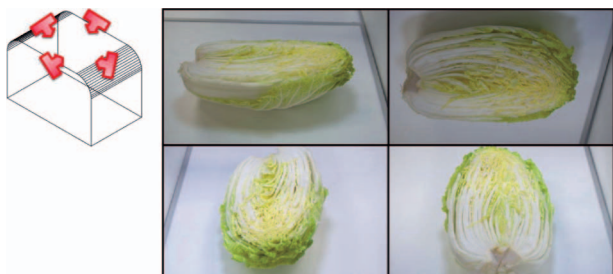


図3 カメラレイアウト：四方の撮像例



図4 カメラレイアウト：アーチ状の撮像例

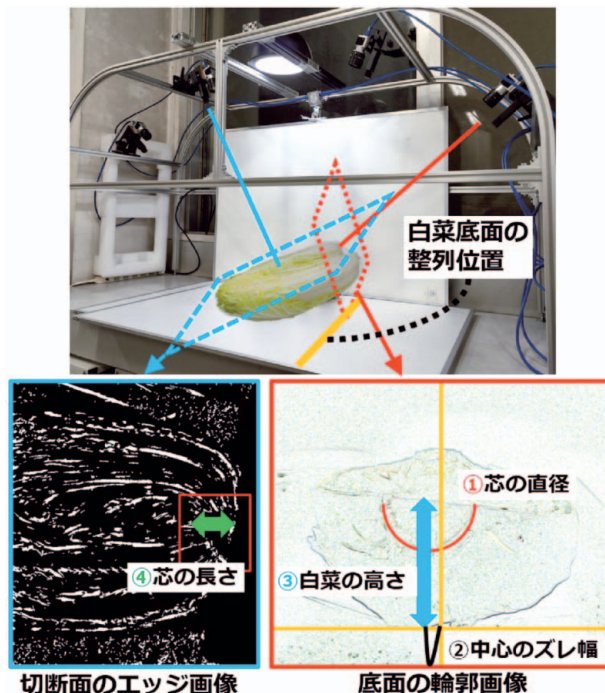


図6 多視点画像撮影装置を用いた不用部位置の推定

3. 不用部位置推定手法の開発

食品加工の対象物となる白菜は、産地や収穫時期による形状のバラツキが大きい。良い時期の白菜は芯が小さく葉の密度が高いが、悪い時期は芯が長くなり、葉の密度が低くなる（図5）。加工時は可食部ではない芯を目視と手作業で取り除く作業を行っていることからその作業を自動化するため、不用部となる芯の位置を推定する手法を開発した。



図5 白菜の産地、季節によるバラツキ

白菜の芯の切断面は均質でありテクスチャ（表面の質感や模様）が一様となっていることに対し、葉は積層していることから輪郭抽出とエッジ強度からテクスチャの境界を求めることで芯の位置を推定することが可能である。白菜の底面画像（図6右下）から芯の直径、中心とのズレ幅、白菜の高さが求められ、白菜の切断面画像から芯の長さが求められる。このとき、白菜の底面が既知のライン上に整列するよう配置すれば、多視点画像撮影装置のカメラ座標は既知であることから、三次元空間上における白菜の芯の位置と大きさを推定可能となる。

4. 実時間特徴点マッチング処理手法の開発

4.1 特徴点マッチングの既存手法SURF

前節にある白菜芯の検出のように画像解析を用いて対象物から欠陥などを検出する場合、用いる画像の状態により欠陥等の特徴の捉えやすさが異なる。多視点画像を用いた画像解析を行う場合も同様であり、対象物を捉えるカメラの向きによって欠陥を容易に検出できる場合とできない場合が生じる。このとき、複数のカメラから得られた対象物の画像において、対象物上の点群が各画像間で対応付け可能であれば、あるカメラで検出できなかった欠陥があったとしても、他のカメラで検出した欠陥からその位置が推定可能となる。

2枚の画像間で特徴点を対応づけるマッチング手法は多くあり、当场でも局所画像特徴量SURF（Speeded Up Robust Features）を用いて領域合成を行う微細画像処理技術を開発した³⁾。SURFはその特徴点に平行移動、回転、拡大・縮小、明るさの変化があっても普遍的な固有値を特徴量とし、画像の変化に対して頑健さを持つため、まず多視点画像に対してSURFを用いた特徴点マッチングを試みた。ここでは半割の白菜を撮影対象とし、それを平行移動させて撮影する。検証には1つのカメラで撮影して得られた同じ視点の2枚の画像（図7左のペア）と、2つのカメラで撮影して得られた異なる視点の2枚の画像（図7右のペア）を用いた。

この2組の画像に対してSURFを用いて特徴点マッチングを行った結果を図8,9に示す。図8に示すとおり対象物

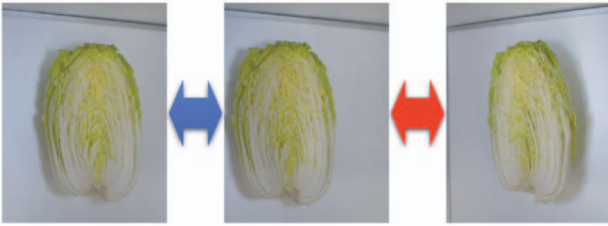


図7 左のペア：同じ視点画像，右のペア：異なる視点画像

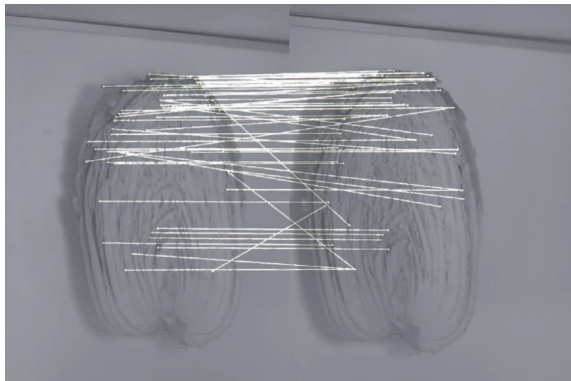


図8 SURF を用いた同じ視点の画像に対する対応付け

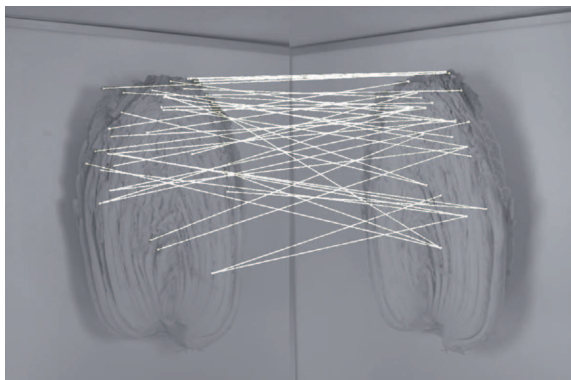


図9 SURF を用いた異なる視点の画像に対する対応付け

の姿勢が同じ場合，多くの特徴点について良好な対応付けが出来ている。しかし，図9に示すとおり対象物の姿勢が異なる場合，SURFは原理的に対応点の消失に対応していないため，対応付け出来る特徴点の数は減り，誤った対応付けも多くなってしまふ。多視点画像撮影装置で得られる画像は後者のケースが大半であることから，本検証によりさらに精度の良い特徴点マッチング手法が必要であることが分かった。

4.2 特徴点マッチングの新技术SuperGlue

近年，画像認識分野では機械学習やディープラーニングなどいわゆるAI手法を用いた成果が多く出ており，画像処理分野においても活用がなされている。特徴点マッチング手法においても，入力データと出力データの関連度スコア(Attention)を計算し，入力から出力に変換するモデルを構築する手法を組み込むことで，画像間の特徴点の対応付けを

高精度に実現する手法が提案されている。本研究では，特徴点マッチングにおける先端的手法の一つであるSuperGlue⁴⁾に着目し，多視点画像間の対応付けに適用した。

SuperGlueは，SURFと同様に普遍的な固有値を持つ局所特徴量から特徴点を抽出する。従来手法ではその局所特徴量をマッチングする2枚の画像間で直接比較することで対応点を探索していたが，SuperGlueでは特徴点の相対位置や顕著性，隣接している特徴など，画像内の特徴同士の関係性を関連度スコアとしてパラメータ化する。そしてマッチングする2枚の画像に対して，それぞれの画像内部における関連度スコア，2枚の画像間における関連度スコアをグラフニューラルネットワークに入力し，2枚の画像間における特徴点の対応付けの良好さを評価値として最大化問題を解く(図10)。このとき，2枚の画像の片方にしか現れない特徴点による影響を抑えるため，対応先が存在しない特徴点を棄却する仕組みを組み込む。それにより対象物の姿勢が変わったり，視点の異なる画像において特徴点が消滅しても精度良くマッチングを行うことが可能となる。

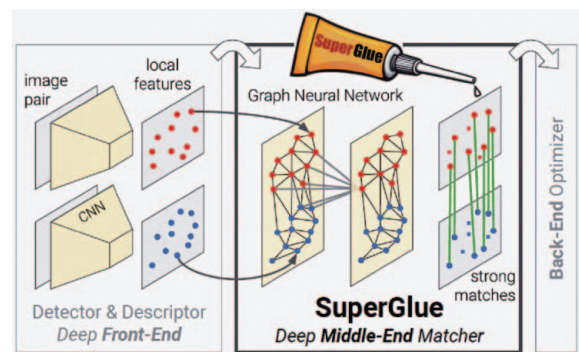


図10 SuperGlueによる画像マッチングの概念

図7に示した白菜の同じ視点の画像ペアと，異なる視点の画像ペアに対して，SuperGlueを用いたマッチング結果を図11，12に示す。どちらの画像ペアに対しても従来手法に比べ大幅に対応点が増え，誤った対応付けが少なくなっており，マッチングの精度が向上していることが分かる。

また，より複雑な形状であるブロッコリーを対象とした場合について評価した結果，図13に示すとおり誤った対応付けが少なく，多くの特徴点で良好な対応付けが出来ており，軸の位置や姿勢が大きく違う視点の異なる画像間においても精度良くマッチングが可能であることを確認した。

また，表1の仕様の計算機を用いてSuperGlueによる特徴点マッチングの処理速度を評価した結果，入力画像の解像度が800×600画素のとき，毎秒約14組の画像に対して対応付けが可能であることを確認した。

この処理速度は，人の目による不用部追跡と同等以上の処理速度であることから，目視による外観検査等の自動化に活用できる見通しが得られた。

表 1 特徴点マッチングに用いた計算機仕様

CPU	INTEL Core i9-9900K (コア数:8個, 動作クロック:3.6GHz)
Memory	16GB
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti (CUDAコア:3,584個)
OS	Windows10 Pro 64bit

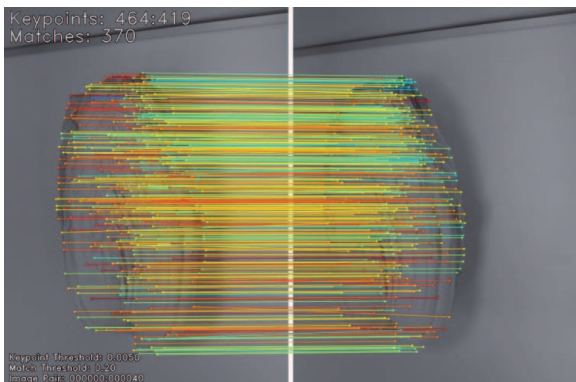


図 11 SuperGlueを用いた同じ視点の画像に対する対応付け

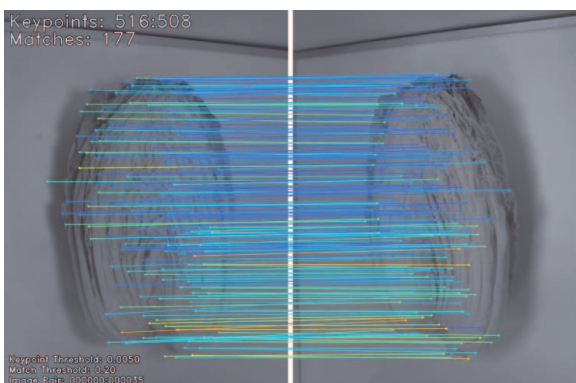


図 12 SuperGlueを用いた異なる視点の画像に対する対応付け

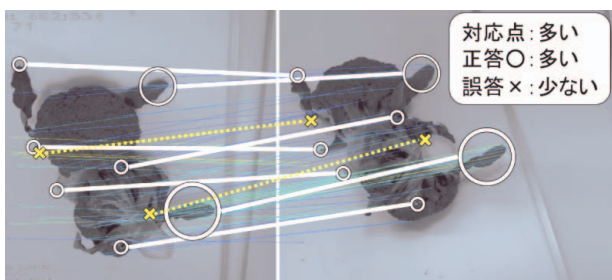


図 13 異なる視点のブロッコリーのマッチング例

5. おわりに

本研究では、対象物を4方向から同時に撮影して全周囲の画像を取得する、持ち運びが可能な大きさの多視点画像撮影装置を試作した。また、開発した撮影装置を用いて半割の白菜の底面および切断面の画像を取得し、輪郭抽出とエッジ強度、テクスチャ解析を行うことで、不用部(白菜の芯)の位置を計測する画像解析手法を開発した。そして異なる視点から得られた対象物の画像に対して、特徴マッチング手法 SuperGlue を用いて画像間の対応付けを行うことで、抽出した不用部の三次元空間上の位置を推定する多視点画像解析手法を開発し、従来手法よりも高精度かつ毎秒14組の処理速度で画像の対応付けが可能であることを確認し、目視による外観検査等の自動化に活用する見通しを得た。

食品加工の主な原材料である農水産物は、形状や品質が一樣ではないなど特有の困難さがあり、自動検査装置の実用化、普及のためには、本研究で開発した実時間特徴点マッチング処理手法に加えて、対象物の画像から形状や色などの特徴を抽出して不良部位や異物などを判別する画像解析手法の開発が必要である。引き続き技術開発を行い、道内機械製造業へ技術移転して食品加工業の生産工程への導入を目指す。

引用文献

- 1) 大村 功・三田村智行・堤 大祐, 「FPGAを用いたリアルタイムステレオビジョンセンサの開発」, 北海道立総合研究機構工業試験場報告 No.311, 2012
- 2) 井川 久・中西洋介・他, 「じゃがいもの不用部除去システムの開発」, 北海道立総合研究機構工業試験場報告 No.317, 2018
- 3) 飯島俊匡・岡崎伸哉・他, 「画像計測・検査装置のための微細画像処理技術の開発」, 北海道立総合研究機構工業試験場報告 No.313, 2014
- 4) P.E. Sarlin, D. DeTone, T. Malisiewicz, A. Rabinovich, “SuperGlue: Learning Feature Matching with Graph Neural Networks”, CVPR, 2020.