

5M-04

Distance Measurement of a Peduncle with a Stereo Camera for Autonomous Tomato Harvesting

Yuki Ikeda[†] Takeshi Yoshida[‡] Takaomi Hasegawa Takanori Fukao

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University[†]

Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University[‡]

DENSO Corporation

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

1. はじめに

国内農業では労働者不足と高齢化が課題となり、負担軽減のためにスマート農業プロジェクトが農林水産省主導で展開されている。そのなかでオランダ式トマト栽培手法が導入され栽培手法が確立されていることなどから収穫対象としてトマトが注目されておりトマト自動収穫のための技術開発が進められている。

本稿では複数の果実を一房の状態で開催する房取りのために、収穫時に切断する果柄部位に対して距離情報を計算するアルゴリズムについて提案する。従来研究では RGB ステレオカメラ、赤外線パターン照射型ステレオカメラ、TOF カメラが計算する深度を用いることで収穫対象までの測距を試みている。しかしながら、直径約 5mm という果柄形状やオクルージョンが頻発する栽培環境、晴天時の太陽光外乱による赤外線パターンの無効化などから安定して果柄部分の深度情報を得ることが難しいという問題がある。そのため画像上で果柄領域を検出している深度画像の対応領域で深度情報が欠損していることがあり、その場合は欠損部周辺から距離情報を補完することで果柄までの距離を計算している。

本稿では認識した果柄領域を曲線に単純化した後、左右曲線で対応をとる事で、深度画像に依存しない安定的な果柄測距手法を提案する。

2. 使用機器

本稿では RGB ステレオカメラとして Stereolabs Inc. 製の ZED Mini を用い、撮影画像の解像度は 2208x1242 を選択する。本製品のベースラインは 63mm であり、焦点距離は 2.8mm、ピクセルサイズは 0.004mm である。

3. システム概要

1 枚の解像度が 2208x1242 である画像を左右 2 枚を入力とし、被写体であるトマトの果柄部分の 3 次元位置座標を出力するシステムの概要を図 1 に示す。システムは (1) 果柄認識 (2) 曲

線単純化 (3) ステレオマッチングの 3 つの機能で構成される。

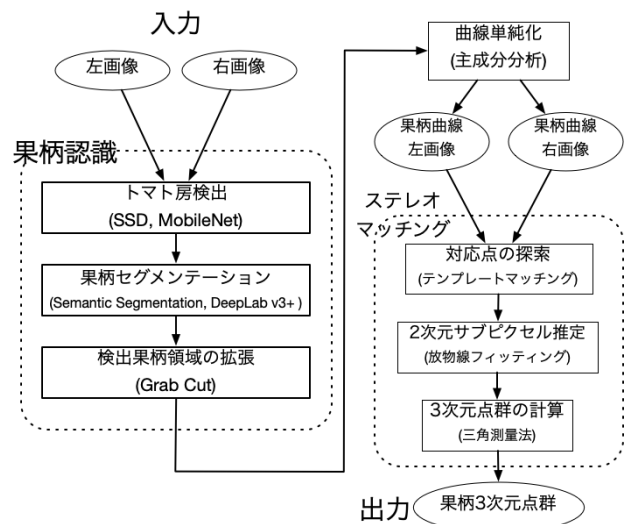


図1 システム概要

(1) 果柄認識

機械学習による画像認識を用いて果柄を検出したのちに Grab Cut により果柄領域を拡張する。MobileNet ベースの SSD によりトマト房を検出し、房を囲むバウンディングボックス情報を得る。その後、ボックス上部に果柄が存在すると仮定し、ボックス上辺の中点を対角線の交点とする辺の長さがボックスの幅と等しい正方形領域を定義する。この正方形領域に対して DeepLab v3+ を用いたセマンティックセグメンテーションを実行する。このとき、背景クラスと果柄クラスを定義し、出力された各クラスの連続値マスクについて背景クラス値よりも果柄クラス値が大きい画素を果柄画素と定義する。この果柄画素群が構成する果柄領域を果柄マスクとし、Grab Cut アルゴリズムを使用して果柄領域を拡大する。Grab Cut では以下の 4 つのクラスを定義する。

- (1) 果柄
- (2) 果柄らしい

(3) 背景らしい

(4) 背景

Grab Cut は入力として初期マスクを必要とし、その画素値が上記 4 クラスと対応している。

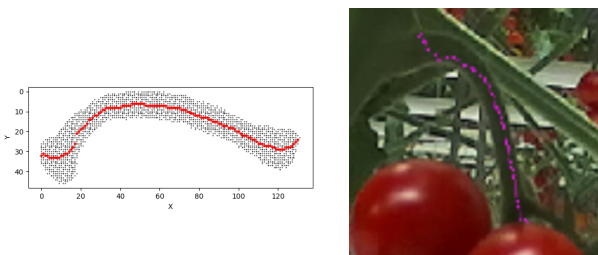
(1) 果柄画素はセマンティックセグメンテーションで果柄と定義した画素である。(2) 果柄らしい画素はセマンティックセグメンテーションで得た果柄クラス値マスクを大津の 2 値化により 2 値化し、真に分類された画素である。その他の画素は (4) 背景に属するようにマスクの値を設定する。また、Grab Cut に入力する RGB 画像で (4) 背景に対応する領域にカーネルサイズ 9x9、標準偏差 3 のガウシアンフィルタを適用した画像を用いた。Grab Cut により果柄領域が拡張された画像を図 2 に示す。図 2 でピンク色の領域が (1) 果柄であり、黄緑色の領域が (2) 果柄らしい、青色の領域が (3) 背景らしいである。拡張後では (1) 果柄かつ (2) 果柄らしい領域を最終的な果柄領域として定義しており、拡張前と比較して実際の果柄領域を捉えている。



(a) 拡張前 (b) 拡張後
図2 Grab Cut による果柄領域の拡張

(2) 曲線単純化

得られた果柄マスク画像に対し、果柄部分を曲線に単純化する処理を行う。果柄 2 値画像内で最も広い領域を果柄と仮定して抽出する。その領域に対して主成分分析を行い、果柄が伸びている向きの情報を反映した軸を得る。その軸と垂線な方向で果柄領域の中心をとる処理を軸方向に走査することで果柄の中心を並べた曲線を得る。得られた曲線を図 3 に示す。



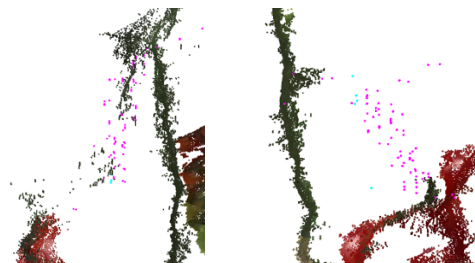
(a) PCA を用いた曲線化 (b) 元画像との比較
図3 果柄の曲線単純化

(3) ステレオマッチング

以上の処理を左右画像について実行し、画像上の位置情報を持つ曲線を構成する 2 次元点群を得る。ZED Mini が撮影するステレオ画像は平行化されており画像間の y 座標が一致するが、冗長性を持たせて y 軸方向±2 画素の範囲で左点群を基準に右点群とステレオ対応をとる。左 1 点に対し右の複数点に対応し得るが、y 座標の大きさを整理して中央の点を対応点とする。次に右の点を中心とした 5x5 領域内の 25 画素について左画像との 5x5 テンプレートマッチングを行う。このときの評価関数は輝度差の二乗和 (Sum of Squared Difference 以下 SSD) を用いる。そして、5x5 カーネルの SSD 放物線近似を用いた 2 次元サブピクセル推定を行い、最終的な対応座標を得る。左右 2 次元点群の対応結果から三角測量法を用いて果柄の 3 次元位置情報を得る。

4. 実験結果

果柄補完結果を図 4 に示す。本手法と ZED Mini が計算する果柄周辺の点群情報を比較した結果を図 4 (a) に、ZED Mini で果柄周辺の点群情報が欠損している場合の本手法の果柄補完結果を図 4 (b) に示す。



(a) 補完精度の比較 (b) 果柄欠損の補完
図4 果柄補完結果

5. まとめと今後の課題

本稿では果柄領域の検出結果から直接視差を計算することで深度画像を必要としない果柄測距手法を提案した。深度画像の欠損により従来手法で測距が難しいケースでも果柄部分の測距が可能であるため、従来手法と比較して安定的な果柄測距手法になり得ると考える。しかしながら、果柄点群の距離誤差を評価する必要があり、今後の課題とする。

文献

- [1] 矢口裕明, 長谷川貴巨, 長濱虎太郎, 稲葉雅幸: 収穫装置と視覚認識に着目したトマト自動収穫ロボットの構成法, 日本ロボット学会誌 Vol. 36 No. 10, pp.693~702, 2018.
- [2] 石川博: コンピュータビジョン最先端ガイド1, pp. 39-71, 2016.