

葡萄栽培圃場における下草刈ロボットにおける画像計測

○張 帆†, 松下昭彦†, 金子俊一†, 田中孝之†, 大村 功*, 多田達実*

† 北海道大学大学院情報科学研究科システム制御情報学研究室

* 北海道立工業試験場

要旨： 移動ロボットにカメラを取り付け、葡萄栽培圃場において葡萄木と下草の混在した状況をステレオ画像で3次元計測し、除草対象と葡萄木の判別技術についての研究。

1. 序論

葡萄園において、下草刈ロボットを作るために、画像処理手法で葡萄幹と雑草の計測アルゴリズムを開発することが本研究の目的である。葡萄木と下草の混在した状況では葡萄幹と雑草を見分けるのが非常に困難である。それに対して、風で揺れやすい雑草を検出するため、ブローイング静動分離法という手法を開発した [1]。この手法ではブロワにより雑草に風を吹き付けながら静動領域を判別する。2重差分法を用いることにより動画に静の領域と動の領域を判別することが可能になった (Fig.1)。それに続き、本論文では下草の上に出ている幹の位置・形状により葡萄木の根元3次元位置を推定するアルゴリズムを提案する。



Fig. 1: 2重差分法による雑草消去



Fig. 2: 片側コルドン仕立

2. 圃場環境の紹介

浦臼町鶴沼ワイナリは北海道で一番広く (総面積 470ha)、日本全国でもとても有名である。こんな広大な面積を、除草することは非常に大変な作業である。現在鶴沼ワイナリにおいては、タッチングセンサーによる除草機器を使って除草作業を行っている。しかし、この除草機器を使っても、理想的な除草効果が得られないだけでなく、およそ5%の葡萄木がセンシングの間違いにより切断されてしまった。鶴沼ワイナリでは毎年3~4回の除草作業を行うので、毎年除草による損失がとても多いと考えられる。鶴沼ワイナリにおいては、「垣根仕立」の一種の「片側コルドン仕立」(Fig.2)を採用している。傾斜角 (45度~60度) をもつ樹幹から木質化した主要枝を棚に沿わせ、主要枝から発芽する新芽及び新枝を3段階の棚によって、すべて上部に導く。要するに、果実が見やすく、機械化 (収穫、下草刈) を導入しやすいのが「片側コルドン仕立」手法の特徴である。

葡萄幹の様子および姿勢を調べるために、葡萄園にて30本の葡萄幹のステレオ画像をサンプルとして撮影した。葡萄幹の幹の基本データは (Table.1) のようにまとめることができる。

Table. 1: 葡萄幹の基本データ

太さ	20mm 以下	20mm~30mm	30mm 以上
本数	3	18	9
傾き	50° 以下	50° ~60°	60° 以上
本数	1	20	9

3. 根元位置推測手法

序論で述べたように、[1]において、2重差分法を利用した、静動分離による幹と雑草を見分ける手法を開発した。しかし、幹を切断しないために、除草ロボットを制御するとき、幹の根元3次元位置を計測しなければならない。季節によって、幹の根元が下草で隠れた場合もあるから、幹の根元位置を推測するアルゴリズムの開発が必要である。本論文提案する推定手法は下草の上に出ている幹の位置・形状から、直線フィティングで根元3次元位置を求める方法である。フィティングの対象点は三つの等高面から選ぶこととする (Fig.3)。まず、 $X_w - Z_w$ 平面と平行する三つの等高面を作る (以下は計測平面と呼ぶ)、 $y = 0$ の $X_w - Z_w$ 平面は地面を表すので基準底面と呼ぶ。実際には、幹の根元位置は幹と地面の交差している点だと考えられるから、根元位置推定するのは三つの計測平面にある幹の点を用いて基準平面において幹の点を推定することである。それで、三つの計測平面に対してステレオ計算を行う。そして、(Fig.3)にある点群は葡萄の幹と計測平面の交わる点を求めることができる。点群の重心を G とすると (1) のように書ける。

$$G = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{w1} & y_{w1} & z_{w1} \\ x_{w2} & y_{w2} & z_{w2} \\ x_{w3} & y_{w3} & z_{w3} \end{bmatrix} = [G_x \quad G_y \quad G_z] \quad (1)$$

$X_w - Y_w$ 平面においては近似直線が式 (2) のように計算する。

$$G_y = a + b \cdot G_x \quad (2)$$

同様に $Y_w - Z_w$ 平面においては、

$$G_z = a' + b' \cdot G_x \quad (3)$$

それから、求めた直線を基準底面と交差させると、基準底面との交差点は推定した根元の3次元位置になるはずである。この手法はステレオ計算するとき、三つの計測平面だけに対して計算すればよいから計算コストは大幅に下がった。計算量が少ないと言う利点がある。

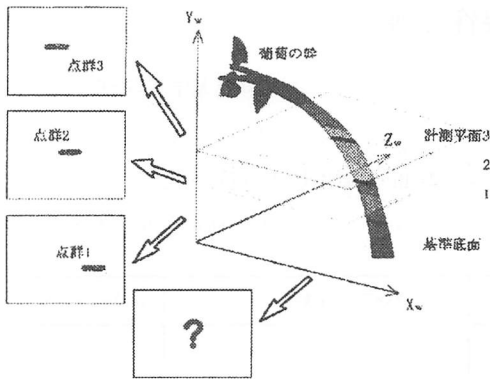


Fig. 3: 根元位置推測アルゴリズムのイメージ

4. 根元位置推測実験

4.1. 実験装置

本実験では、Point Grey Research 社の Bumblebee2 ステレオカメラを使用して、ステレオ計算を行った。

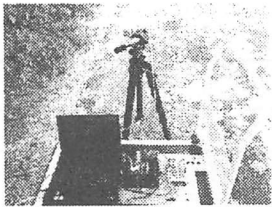


Fig. 4: 実験装置

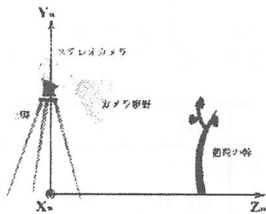


Fig. 5: 実験イメージと座標系

4.2. 実験手順

- STEP1: 実験装置を対象物（葡萄の幹）の正面に設置する。座標系の定義は（Fig.5）のようにする。幹を写せるようにカメラを調整する。
- STEP2: Bumblebee カメラでステレオ写真を撮る。ステレオ計算も同時に行う。
- STEP3: 幹の太さ、傾き、根元 3 次元位置などのデータを測定する。（STEP1～STEP3 は屋外での実験）
- STEP4: 世界座標系の Z 方向距離によって、幹部分を抽出する。しかし、雑草の一部も抽出しまった。
- STEP5: 計測平面を設定し、葡萄幹と交差する点群を求める。
- STEP6: 各計測平面の点群の重心を計算し、近似直線を求める。（Fig.6）
- STEP7: 近似直線と基準底面の交点座標を計算し、計算した結果をプロットして、誤差を調べる。（STEP4～STEP7 はデータ解析）

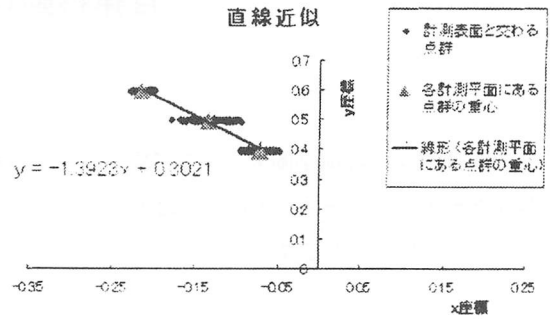


Fig. 6: 直線フィティング

5. 結果とまとめ

以上の実験手順に従って、30 本のサンプルデータに対してデータ解析を行った。（Fig.7）に示した結果が得られた。横軸はサンプルの番号で、縦軸は根元の世界座標系における X_w の値である。この図を見ると、推定誤差が大体 0.15m 以内に収めることが分かる。誤差が生じる原因については、実際測っていたデータ自体でも誤差がある。それから、Bumblebee のステレオ計算の誤差も存在する。幹部分が忠実に照合されない場合もあるから誤差が生じる。それに対して、将来にはロバスト的に照合できるような OCM[2] 法の導入も考えている。

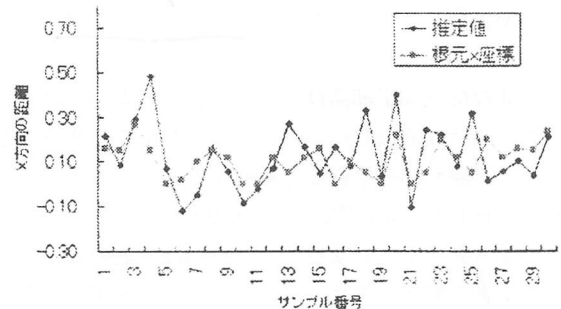


Fig. 7: 推定値と測定値の比較

本論文では、直線フィティングを用いて葡萄の根元位置推測するアルゴリズムを提案したが、曲線状の幹を直線に近似するため誤差が大きいと考えられる。それで、今後の課題として、直線だけではなくて曲線フィティング方法も適用する予定である。

参考文献

- [1] 張帆, 田中孝之, 金子俊一, "フローイング静動分離法による幹草判別", 日本機械学ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集
- [2] F.Ullah, S.Kaneko and S.Igarashi, "Orientation code matching for robust object search", IEICE Trans. of Inf. and Sys, E84-D(8), pp.999-1006, 2001.