

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19380146

研究課題名(和文) 視体積交差法による植物体のオンライン三次元形状測定

研究課題名(英文) Online Three-Dimensional Shape Measurement of Plants
by Volume Intersection Method

研究代表者

芋生 憲司 (IMOU KENJI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：40184832

研究成果の概要(和文)：デジタルカメラと複数の鏡による三次元形状測定装置を開発し、視体積交差法によりキャベツ苗の二次元画像から三次元形状を構成した。苗の葉は薄く、高い測定精度が要求される。このため立方体のガイドを用いるキャリブレーション法を提案し、その有効性を確認した。また視体積交差法における三次元形状測定において R ハードポイントの利用が有効であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A 3D shape measurement system employing a digital camera and multiple mirrors was developed, and the 3D shape of cabbage seedlings was successfully reconstructed from 2D images using the volume intersection method. The seedlings had thin leaves, which required high measurement precision. The calibration method using a cubic calibration guide proposed in this study was found to be effective and the R hard points seemed to be effective for volume intersection for obtaining the 3D shape of the leaves.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：画像処理, 画像認識, 三次元形状

1. 研究開始当初の背景

農業分野において、苗など対象物の三次元形状を迅速に測定できれば、個体別の葉面積や受光量が把握できメリットが大きい。また植物体を対象とするロボットや流通の分野でも、対象物の三次元形状を測定したいというニーズがある。非接触で三次元形状を測定する方法としては、ステレオ視やレーザスキャナによる方法があるが、レーザスキャナで

は測定時間やコストがかかるという欠点がある。またステレオ視では画像間の対応付けが必要であり、ロバスト性が低い。これら表面ベースの測定法の他に、体積ベースの方法がある、その一つである視体積交差法では、対象物を複数の視点から撮影して得られたシルエットを、もとの三次元空間に逆投影して錐体を構成し、錐体の交差部分を求めることで、物体の存在可能領域を特定する。しか

し実用に供された例はあまりない。その主な理由は、装置が大がかりなことと、キャリブレーションに手間がかかることである。本研究ではコンパクトな装置と省力的なキャリブレーション方法を開発する。

2. 研究の目的

本研究の目的は視体積交差法により、植物の苗や果実などの三次元形状を迅速かつ低コストに測定できる装置を開発することである。このため、複数のカメラに代えて、一台のカメラと反射鏡による装置を構成する。またモデル化と推定を取り入れた三次元形状復元のアルゴリズムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 視体積交差法

視体積交差法では異なる複数の点から対象物を撮影し、その画像を二値化して対象物のシルエットを抽出する。空間内で撮影点とシルエットが構成する錐体を延長し、全ての錐体が変わる空間を求めることで、内部に対象物を含む領域が求められる。視点の数を増やして、適切な位置に設定することで、この領域は対象物の形状に近くなる。このようにして二次元画像から対象物の三次元形状をコンピュータ内のデータとして構成する。この測定原理から明らかのように、物体内の凹みは検出できず、また葉のように薄い対象物の場合は、非常に高精度の測定を行わなければ、大きい欠落が生じる。

(2) R ハードポイント

視体積交差法によって得られる3次元形状は、曖昧さを含む近似ではあるが、計算の過程で正しい3次元形状を推測する手掛かりとなる情報を得ることができる。それがハードポイントとソフトポイントである。ハードポイントとは視体積交差法によって得られた領域に含まれる点の内、測定対象物に必ず属すると言える点のことであり、ソフトポイントとはそうでない点、つまり視点の数を増やしたより良い近似によって取り除かれる可能性のある点、あるいはシルエットに反映されない凹みに存在する可能性のある点のことである。R ハードポイントとは視体積交差法の過程でハードポイントであることが判明した点のことである。R ハードポイントは通常、測定対象物のエッジ上の点である。そのため、例えば植物体を撮影してR ハードポイントを計算すると、葉の輪郭部分の曲線が強く抽出されることになる。葉の輪郭を表す曲線が判れば、数学モデルによって視体積交差法によって得られた3次元形状からより実物に近い形状を推定できる可能性がある。

(3) 回転ステージを用いた実験装置

視体積交差法による3次元形状復元精度に、視点の数と位置がどれだけ影響を及ぼすかを調べるために、図1に示すように自由な視点から測定対象物を撮影できる装置を製作した。この装置には2つの回転ステージを設置した。一方は測定対象物を鉛直軸まわりに回転させ、他方は鏡の傾斜を変更する。双方とも高い位置決め精度を持っており、2軸を制御することで容易に任意の方向から撮影を行える。

(4) 鏡を用いた実験装置

回転ステージを用いた実験装置による研究結果に基づいて、複数の鏡による実験装置を作成した。図2に概要を示す。55×75 mm

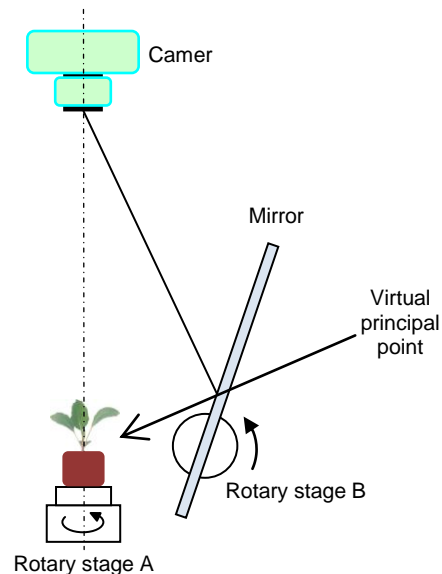


図1 回転ステージを用いた実験装置

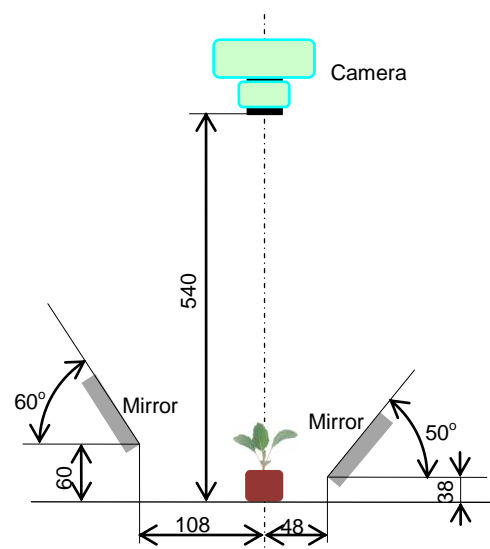


図2 鏡を用いた実験装置

のサイズの平面鏡を内側と外側に 5 枚ずつ、対象物を囲むように円周上に配置した。撮影は広角レンズ (EF 20mm f/2.8 USM, Canon, Inc.) を装着したデジタルカメラ (EOS Kiss Digital X, Canon, Inc.) で行った。照明には色温度 5900 K の 500W 電球を 2 個用いた。これにより測定対象物の上面画像 1 枚と側面画像 10 枚が同時に撮影される。

(5) キャリブレーション

視体積交差法では一般に複数のカメラを用いるのでキャリブレーションが重要かつ困難である。本研究では、一枚の画像による省力的なキャリブレーション手法を開発した。カメラのパラメータは回転ステージを用いた実験装置により事前を取得した。鏡の位置と向きに関するキャリブレーションは、作成したゲージにより行った。ゲージは一辺が 50mm の立方体に市松模様の平面パターンを貼り付けたものである。これを図 3 のように測定対象物の位置に置いて撮影し、取得される画像によりキャリブレーションを行った。



図 3 キャリブレーション画像

(6) 実験方法

キャリブレーションを済ませた装置で、図 4 のようにキャベツの苗を撮影した。この画像を二値化して図 5 のように対象物を抽出した。これよりキャリブレーションに基づくひずみを補正し、視体積交差法により三次元形状を求めた。

4. 研究成果

10 枚の鏡を用いた実験装置でキャベツ苗を撮影し、視体積交差法によってキャベツ苗の 3 次元形状を復元したところ図 6 のようになった。二枚の図は同一のボクセルデータを異なる視点から観察したものである。その過程で得たキャベツ苗の R ハードポイントを図 7 に示す。高い精度が必要である薄い葉を含むキャベツ苗の形状がよく復元されている。本実験で用いた立方体ガイドを利用したキャリブレーション手法は効果的であった



図 4 キャベツ苗の撮影例

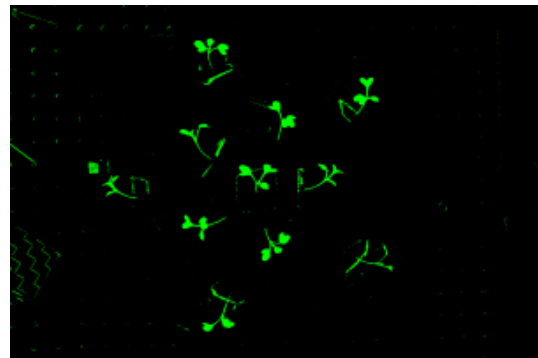


図 5 二値化画像

といえる。葉の欠損もほとんど無く、復元された 3 次元形状から、葉の面積、葉の傾き、葉の枚数などの情報が取得可能であると思われる。本研究で用いた実験装置を雛形として、実用的な撮影装置の製作が可能であると考えられる。今後の課題としては、測定対象や撮影環境を特定しての実用試験を行い、本研究成果の実用可能性について、現実的な検討を行う必要がある。その際、3 次元データから葉の枚数や葉面積など、測定者が必要とする量を計算する数学モデルの作成が必要である。また、そのような数学モデルで測定対象の特徴を表す量を計算することによって、本手法による 3 次元形状復元精度をある程度定量的に評価することが出来る。数学モデル作成の際は視体積交差法の過程で得られる R ハードポイントを利用するのが効果的であると思われる。R ハードポイントは測定対象物に必ず属する点であるとともにエッジ上の点である可能性が高い。特に葉の輪郭部分には R ハードポイントとして検出される点が集中するので、葉の形状を得る目的で用いると高い効果を発揮すると思われる。



図6 キャベツ苗の3次元形状測定例



図7 キャベツ苗のRハードポイント

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Li, M., Imou, K., Wakabayashi, K., Tani, S., Yokoyama, S.: Position Estimation Method Using Artificial Landmarks and Omnidirectional Vision, Transactions of the ASABE, 査読有, 53(1), 2010, 297-303
- ② Li, M., Imou, K., Wakabayashi, K., Yokoyama, S.: Artificial Landmark Self-localization for Agricultural Vehicle Field Road Navigation Using Omnidirectional Vision, Intelligent Automation & Soft Computing, 査読有, 16(6), 2010, 1033-1042

[学会発表] (計3件)

- ① K. Wakabayashi, M. Li, K.Imou, S. Yokoyama: Localization System Based on Artificial Landmark and Omnidirectional Vision, 5th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering, 2010年4月6日, 九州大学 (福岡県)
- ② M. Li, K. Imou, K. Wakabayashi, S. Yokoyama: Localization System Based on Artificial Landmark and Omnidirectional Vision, International Conference on Information Engineering and Computer Science, 2009年12月19日, Wuhan, China
- ③ 福西章人, 芋生憲司, 横山伸也: 視体積交差法による形状計測・画像の位置補正について-, 農業環境工学関連学会2007年合同大会, 2007年9月14日, 府中市 (東京都)

6. 研究組織

(1)研究代表者

芋生 憲司 (IMOU KENJI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号: 40184832