

## センサフュージョンに基づくロボット視覚センサによる認識 —距離データと二次元画像データの融合—

松浦英樹・羽藤堅治\*・山下 淳\*・橋本 康\*

(株)四国総合研究所 761-01 高松市屋島西町 2109-8

\*愛媛大学農学部 790 松山市樽味 3-5-7

Recognition by Robot Visual Sensor Based on Sensor Fusion

—Fuse Range Image and 2-dimentional Image—

Hideki MATSUURA, Kenji HATOU\*, Jun YAMASHITA\* and Yasushi HASHIMOTO\*

*Sikoku Research Institute Inc., Yashima-nishi 2109-8, Takamatsu, 761-01, Japan*

*\*Dept. of Biomechanical Systems, Ehime Univ., Tarumi 3-5-7, Matsuyama, 790, Japan*

### Abstract

When we think about automation in a plant growth factory, development of intelligent robots is expected. In this study, we aimed to automate and robotize strawberry harvesting. We carried out fundamental examination of recognition by robot visual sensors (fuse range image and 2-dimentional image) based on sensor fusion.

We made a new algorithm in order to obtain information that is necessary for the harvest of strawberries. This algorithm could find out a peduncle of a fruit in a suitable harvesting time out of many other peduncles. The CCD camera could satisfactorily discriminate and recognize fruits which were not hidden by obstacles. The range image was measured using a laser range finder. We consider that sensor system and this algorithm would be effective when two sensors were used in combination.

### 緒 言

近年、距離画像等の三次元形状データを人工現実感で利用し、ロボットなどの自動機械の遠隔操作を円滑に行うための研究が活発に行われている<sup>1)</sup>。植物工場においても、植物体の形状を距離画像データとして計測し、さらに三次元の形状モデルのデータベースを作成することが、コンピュータによる自動化を可能とするために必要と考えられている<sup>2~5)</sup>。また、収穫ロボットの開発に関しては、これまでキュウリ収穫ロボット<sup>6~8)</sup>、トマト収穫ロボット<sup>9,10)</sup>、ミカン収穫ロボット<sup>11)</sup>等多くの研究・開発がなされている。このように多くの研究者が自動化のためのセンサの開発を行っている。

我々はいちご収穫ロボットの開発に取り組んでいる。このロボットは畝を跨ぐようなガントリシステムを採用し、X-Y-Z 方向に動く直行座標系のマニピュレータを搭載している。上部

1996 年 12 月 16 日受付

1997 年 1 月 29 日受理

のカラー CCD カメラにより収穫物等の二次元画像を取得し、さらにレンジファインダーを用いて切断部位の三次元位置の認識を行う等、収穫のために必要な情報を得ている。

本研究においては、いちご収穫作業の自動化・ロボット化を目指し、センサフュージョン(距離データと二次元画像の融合)に基づくロボットの視覚装置による果実および果柄等の認識とロボットによる切断のための位置決め基礎試験を行ったので報告する。

### 対象としたいちごの栽培方法

栽培方法は、ロボットの動作とセンサによる認識の効率を高めるために、以下のような条件を設けた。

[条件 1] いちごの栽培方式は、内成り栽培法<sup>※1)</sup>とする。

[条件 2] 畝には黒色のマルチを敷き、比較的、画像処理が行いやすい条件とする。

### ロボット視覚装置

Fig. 1 に我々が開発中のいちご収穫ロボットの概念図を示す。Fig. 2 に、実験に用いたロボット視覚装置の構成を示す。二次元画像入力としては、41 万画素のカラー CCD カメラ(Canon UCVIHi)より S 画像出力されたものをビデオボードを介し、320×240 画素としてパソコン(PC/AT)に取り込んだ。計測の精度は 0.1mm である。距離画像入力としては、レンジファインダー(KYENCE LB01)と XY 軸に移動可能なロボット(YAMAHA SXY シリーズ)とコントロール用のパソコン(PC/AT)で構成した。計測装置の X-Y 軸方向の計測範囲は 200mm×300mm、精度は 0.1mm で、Z 軸方向の精度は 0.01mm とした。

### 果実の認識および切断位置の決定のアルゴリズム

本研究では、収穫時期のいちご果実の認識と、ロボットによる収穫作業における切断位置の決定のアルゴリズムの開発を行った。必要な作業は、1. 収穫適期のいちごの識別、2. 果実の中心

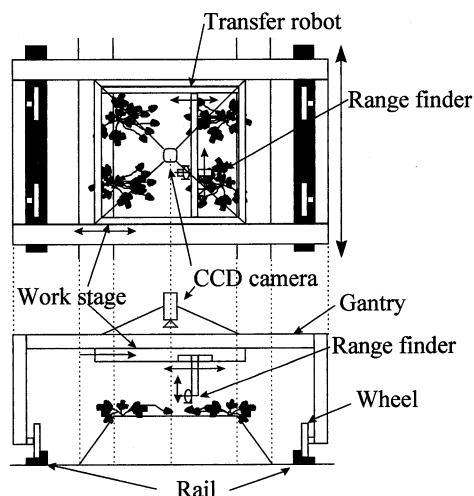


図 1 いちご収穫ロボットの概要

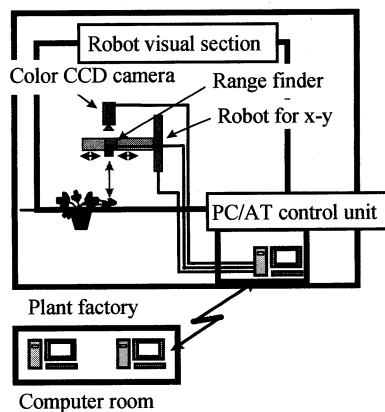


図 2 ロボット視覚装置図

Fig. 1 Outline of the strawberry harvesting robot Fig. 2 Schematic diagram of the robot visual apparatus

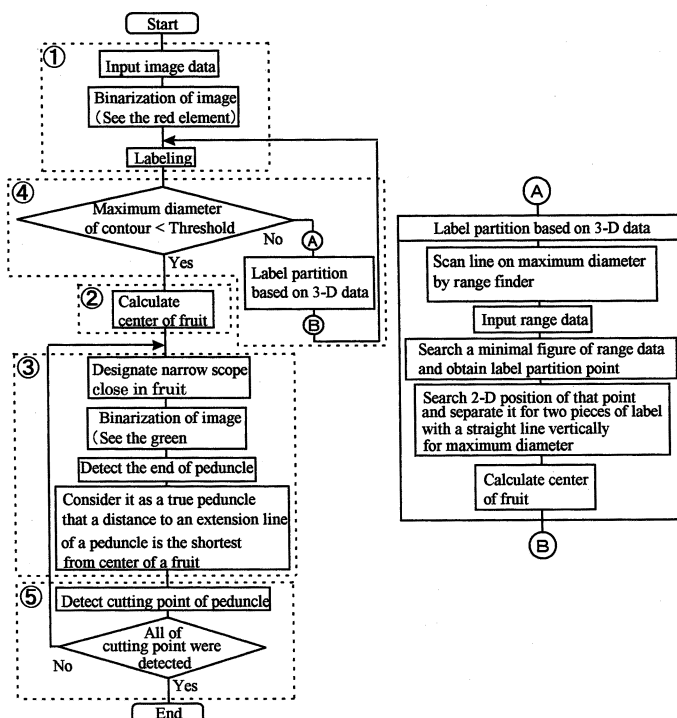


図3 果実の認識および切断位置の決定のためのフローチャート

Fig. 3 Flowchart of recognize fruit and detect cutting point

部の二次元位置の検出, 3. 果柄の切断部の二次元位置の検出, 4. 複数の重なっている果実の分離, 5. 距離画像による切断部位の三次元位置の検出の5つである。これらの作業を含むコンピュータプログラムのフローチャートを Fig. 3 に示す。

### 1. 収穫適期のいちごの識別

本作業を Fig. 3 の①の部分に示す。カラー CCD カメラにより画像を入力し、画素ごとの RGB の値をメモリに記憶させる。画素中の R 値に注目し、熟度を判定するための2値化処理を行い収穫適期果実と背景とを分離する。ここでは、濃淡のレベルのしきい値をモード法によって求めた。

### 2. 果実の中心部の二次元位置の検出

本作業を Fig. 3 の②の部分に示す。2値化した画像の輪郭を抽出し、果実ごとにラベリングを行う。Fig. 4 に示すように果実の中心は、果実輪郭の最大径の中点にあると仮定し、それを果実中心の二次元位置とした。

### 3. 果柄の切断部の二次元位置の検出

本作業を Fig. 3 の③の部分に示す。果実の処理範囲は、上項2で得られた果実の周辺の上部20ピクセル、下部10ピクセル、左右5ピクセル外側とした。果柄を見つけるための2値化処理は特に画素中の G 値に注目して行い、果柄と背景とを分離した。そして2値化した画像の輪郭抽出を行った。

Fig. 4 の右の円内に示すように、果柄の輪郭に沿って5ピクセルごとに直線で結び、その傾き

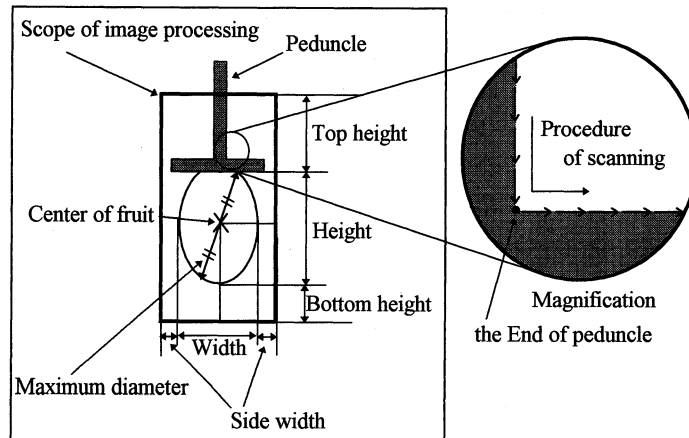


図4 アルゴリズムの説明図

Fig. 4 Explanatory figure of algorithm

が急変する部分を果柄の端部とした。果柄は端部から5ピクセル前までの輪郭線を直線として順次記憶した。ここで、求めるべき果柄は各果実に対して1本である。そこで、果実中心からの距離が最小となるものをその果実に対応する求めるべき果柄として識別し、その位置を認識した。

#### 4. 複数の重なっている果実の分離

本作業を Fig. 3 の④の部分に示す。特に詳細を Fig. 3 の右側 A-B 間に示す。果実輪郭の最大径が距離レベルのしきい値より大きい場合、果実が重なり合っていると見なす。次に、レンジファインダーにて輪郭の最大径上を直線的にスキャンする。レンジファインダーで得た距離データにより断面形状を調べ、その断面の凹部分を最大径方向と垂直な直線を引くことにより2個の果実に分離する。さらに、どちらの果実が三次元的に上部に位置するかを調べる。

三次元の距離データを二次元の画像と同一平面上に写像し、像が重なった場合、これらのデータを融合し処理を行うことが可能となる。このデータを用いて重なり合った果実の分離を容易に行うことができる<sup>12)</sup>。そこでレンジファインダーのZ方向成分(奥行き方向)と、二次元画像情報(X-Y方向)とを融合することとした。

#### 5. 距離画像による果柄の切断部位の三次元位置の検出

本作業を Fig. 3 の⑤の部分に示す。求められた各果柄の二次元位置にレンジファインダーを移動させ、果柄上の2点の計測を行い、切断部位の果柄の三次元的位置を認識する。切断部位の果柄の立体的特性から収穫に必要な情報を得た。

### 評価用モデルを使った実験例

評価用モデルは、対象としたいちごの栽培方法に従って、自然の状態に近い物を作成した。Fig. 5 に果柄の二次元位置(生体からの切断部位)の検出を評価モデルを用いて行った場合の、画像処理の認識の過程と結果を示す。Fig. 5(a)に示すように、入力ビデオ画像で6個あった果実は、熟度を判定するための2値化処理を行い収穫適期の果実と背景とを分離した結果、収穫適期に達した4個の果実が識別された。それらの果実の中心を求め、Fig. 5(b)に示すように、各果実の中心位置から前節の3の条件に従って果柄を見つけるための2値化処理を行った。Fig. 5

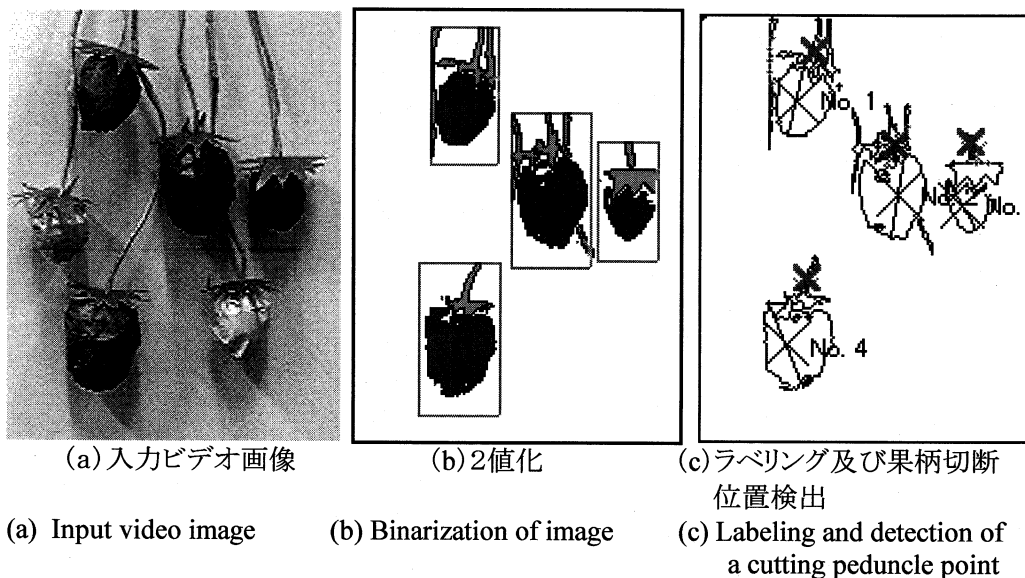


図5 画像処理結果(離れた果実)  
Fig. 5 Result of image processing (separated fruits)

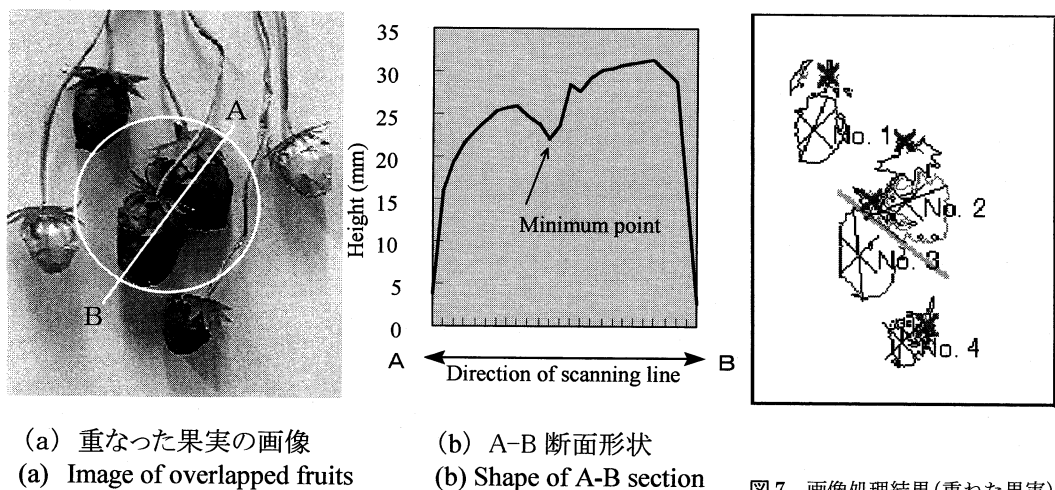


図6 ラベル分割  
Fig. 6 Label partition

図7 画像処理結果(重ねた果実)  
Fig. 7 Result of image processing (overlapped fruits)

(c)にラベリングおよび果柄切断位置検出を行った結果を示す。この方法は果実周辺の小範囲をスキャンするため、それに要する時間も短縮でき、さらに多くの果柄の中からある果実に対応する果柄を見つけ出すために有効な新しいアルゴリズムであると考える。

また、Fig. 6(a)の白丸で囲まれた部分で示すような果実が重なり合っている場合においては、Fig. 6(b)に示すようにA-B断面形状を直接調べ、果実ラベルの分離を行っている。

Fig. 7には果柄を認識した画像処理結果を示す。果実No. 1, No. 4に対しては、輪郭の最大径が小さく1個の果実と認識された。果実No. 2, No. 3に対しては輪郭の最大径が距離レベル

表 1 処理時間  
Table 1 Processing time

| Number of pixel | Time to acquire for image(sec) | Number of detected strawberry | Time to recognize fruit(sec) | Time to recognize peduncle(sec) |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 6,534           | 23                             | 1                             | 16                           | 3                               |
| 10,752          | 38                             | 3                             | 37                           | 38                              |

※ Notes Use to Optiplex XMT 590 (pentium90)

のしきい値より大きい。三次元データに基づく果実の分離アルゴリズムにより、重なった果実を分離し、果柄を認識した場合が示されている。

Table 1 に処理時間の 1 例を示す。Table 1 の上段には、画像入力時に 1 個の果実と果柄のみを取り込み、他に障害物がない基本的な場合を示した。収穫適期の果実の識別および果実の中心位置の検出には 16 秒かかり、その果実に対応する果柄部の認識は 3 秒かかっている。また、Table 1 の下段には、画像入力時に収穫適期の果実が 3 個のうち 2 個は重なっている場合を示す。1 個あたりの果柄認識時間は 12 秒と上段の 4 倍長かかっている。これは、果柄を識別する際、果実中心位置からある範囲内をスキャンするが、その範囲内に他の果柄もあり、対応する果柄を識別するのに若干時間がかかっているためである。

## 考 察

重なった果実の分離については、田中ら<sup>13)</sup>がラベル分離法により分離できるとしている。この方法は、ラベルの最大径が基準直径よりある程度大きい場合には、2 個以上の果実が重なっていると考え、ラベルを最大径で 2 分し、各々をヒストグラムとみなして、判別分析法によりヒストグラムの谷を求め、谷となる輪郭線上の 2 点を結ぶ直線でラベルを切断し、2 個の新たなラベルとする方法である。

本報で示した分離方法は、レンジファインダーにて輪郭の最大径方向の断面形状を直接得るため、二次元の画像のみの方法よりも分離は簡単で確実であると思われる。また、三次元データの場合と比較すると処理時間が格段に早くなることは明らかである。

## 結 び

センサフュージョンに基づくロボット視覚センサにより、収穫適期のいちご果実の識別ならびに収穫時に切断すべき果柄位置認識は可能であった。さらにアルゴリズムを改良し、高速認識を可能とするとともに、より収穫作業等に適したロボット視覚システムを構築したい。

## 補 足

\*注 1；内成り栽培法……福岡県の八女地方で行われており、畝の両肩に株を植え、果房を畝の内側よりに成らせる栽培方式である。

## 文 献

- 1) Tachi, S.: Tale-Existence and/or Virtual Reality, Proc. International Conference on VSMM, pp. 9~16(1995)
- 2) Hatou, K., Matsumura, H., Sugiyama, T. and Hashimoto, Y.: Range Image Analysis for the

- Greenhouse Automation in Intelligent Plant Factory, Preprints of the 13th IFAC World Congress(B), pp. 459~464(1996)
- 3) 羽藤堅治・杉山聡教・青柳光昭・橋本 康：三次元データベースに基づく植物工場のシステム設計(第1報)データベースを構築するためのレーザー計測, 植物工場学会誌, 7(2)：103~109(1995)
  - 4) 羽藤堅治・杉山聡教・橋本 康：三次元データベースに基づく植物工場のシステム設計(第3報)仮想植物工場のための距離画像の三次元画像処理, 植物工場学会誌, 8(1)：43~48(1996)
  - 5) 羽藤堅治・杉山聡教・橋本 康：三次元データベースに基づく植物工場のシステム設計(第4報)ニューラルネットを利用した三次元の形状認識, 植物工場学会誌, 8(1)：49~53(1996)
  - 6) 有馬誠一・近藤 直・芝野保徳・山下 淳・藤浦建史・秋好広明：キュウリ収穫ロボットの研究(第1報), 農業機械学会誌, 56(1)：55~64(1994)
  - 7) 有馬誠一・近藤 直・芝野保徳・藤浦建史・山下 淳・中村 博：キュウリ収穫ロボットの研究(第2報), 農業機械学会誌, 56(6)：69~76(1994)
  - 8) 有馬誠一・藤浦建史・近藤 直・芝野保徳・山下 淳：キュウリ収穫ロボットの研究(第3報), 農業機械学会誌, 57(1)：51~58(1995)
  - 9) 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦元 信：農業用ロボットの研究(第1報), 農業機械学会誌, 46(3)：353~358(1984)
  - 10) 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦元 信：農業用ロボットの研究(第2報), 農業機械学会誌, 47(2)：177~182(1985)
  - 11) 湯川典明・並河 清・藤浦建史：果実収穫用ロボットの視覚フィードバック制御(第1報), 農業機械学会誌, 52(3)：53~59(1990)
  - 12) 井口征士：3次元形状計測の最近の動向；計測と制御, 34(6)：429~434(1995)
  - 13) 田中逸夫・井上清一・小林孝浩・原山美知子・小鹿丈夫：VR支援による果実収穫ロボットの開発(第1報), 植物工場学会誌, 8(1)：1~11(1996)