熱画像を利用した細線化に基づくトマト果実認識システム

羽 藤 堅 治・橋 本 康

愛媛大学農薬部

Recognition System for Tomato Fruits Based on the Wire Size Reduction
Using Thermal Image

Kenji HATOU and Yasushi HASHIMOTO

Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama 790-8566, Japan

(Received May 8, 2001)

Image system recognizing the position of the fruit with the preparation of the manipulator is necessary for the development of the robot automating for the harvesting of the tomato. When there is only one fruit, it is easy work, because the red color may be searched. Actually, there are many mature and immature fruits together on the branch. The quality deteriorates, when immature fruit is injured. It is important to harvest only the matured fruit without injuring another fruit. It is necessary to harvest from the fruit in the front, when there is a fruit in multiple conditions. The thermal image was utilized in order to recognize the mature and immature fruit. And, it was developed and was utilized by the new wire size reduction method in order to separate multiple fruits. As the result, it succeeded in the separation of the fruit.

Keywords: fruit, image recognition, segmentation, thermal image, wire size reduction (thinning)

2001年5月8日受付

緒 言

果実の収穫時期を正確に診断し、収穫作業の自動化を進めるために、一つ一つの果実を正確に認識することは、重要である。果実の収穫ロボットの研究は、多くの研究者によって行われている (Kondo et al. 1995; Kobayashi et al., 1996; Nagata et al., 1996; Tanaka et al., 1996)。我々も、植物体の診断システム (Hatou et al., 1988, 1992) や果実収穫のための画像センサーの研究を行ってきた (Matsuura et al., 1997)。本研究は、果実の収穫時期の診断や収穫作業ロボットのための果実認識のために行った。

果実の認識を行う場合、最も注意すべき点は未成熟

の果実の扱いである。未成熟な果実を傷つけることがあれば、後の収量や品質に重大な影響を与える。従来の研究は、成熟果実のみを対象とした研究がほとんどであり、未成熟の果実を考慮したものは少ない。未成熟の果実の色は、成熟したものと異なり葉や茎に近い色をしていることが多い。そのため、可視光を利用した画像データを使って果実の位置の認識を行う場合、未成熟な果実の影響を受け成熟した果実の位置の認識に誤差を生じやすい。熱画像を利用した場合、ピーマンの果実は、葉や茎と温度の違いによって識別することが可能であるという報告がある (Nagata et al., 1996)。そこで、熱画像をトマトの成熟した果実と未成熟な果実の位置検出に応用した。

果実の中心位置を求めるための手法として、文字認

Corresponding author: Kenji Hatou, fax: +81-89-946-9892, e-mail: KenjiHATOU@agr.ehime-u.ac.jp

識などに広く応用されている細線化技術に着目した。従来の細線化のアルゴリズムは、文字認識を最終目標としているため、基本的には中心となる線を引き出すことを目標に作成されている。この従来のアルゴリズムを植物の果実の集合体のような物体に適用した場合、ヒゲ状のノイズが多数生成される。このノイズを取り、不均一な形状に対応した前野らの細線化プログラムがある (Maeno et al., 1995)。しかし、これらのアルゴリズムは、あくまでも中心となる線を引き出すためのもので、植物の葉などには適用できるが、重なった果実のような連続した球体の処理に適用した場合は、中心線は短くなる傾向がある。そのため、茎や葉の中心線を引き出す場合には使用できるが、単体の果実や重なった果実に使用した場合は、点となり必要な情報を得ることができない。2個の果実が、重なって枝になっていると仮定し、その2次元画像からそれぞれの果実の中心 O_1 , O_2 と果実の半径 o_1 , o_2 が求められれば、つまり、果実の位置と大きさを認識できれば、果実の位置関係を認識できることとなり、分離が可能となる。果実の半径と中心を求めることにより、複数個の果実にも応用できると考えられる。そこで、果実が重なっている場合、その中心と半径を求めることの可能な細線化のアルゴリズムを検討した。

材料および方法

1. 熱画像の利用による果実部分の抽出

熱画像の計測には、サーモグラフィ (日本電気三栄, TH3102) を使用した。植物材料は、一例として、愛媛大学農学部内にある太陽光利用型温室で水耕栽培によって育てたトマト (ハウス桃太郎, *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Hause-Momotaro) を計測した。

2. 果実分離のための細線化

細線化の実験は、Fig. 1 に示す実験室でのテスト用の二値化画像のモデルを作成した。二つの円の中心を O_1 , O_2 とし、その距離を C 、それぞれの半径を o_1 , o_2 とした。また、実際の果実を利用した実用テストでは、熱画像の場合と同じトマトを利用した。

3. 果実の中心と半径を求めるアルゴリズム

Fig. 2 に細線化アルゴリズムのフローチャートを示す。Fig. 3 に示すように、まず、対象領域の存在する矩形領域を走査して、最初に対象領域に接触した点から領域の輪郭追跡を行う。その輪郭追跡を行うときに、保存条件を満たすかどうかを判定し、条件を満たす点は保存し、それ以外の点は1画素ずつ削っていき、芯

Fig. 1 An overlapped object model.

Fig. 2 Flowchart of thinning algorithm.

Fig. 3 Scanning line for finding out starting point o.

線を得る。

具体的な処理は、以下に述べるように行う。Fig. 4 に示すマトリクスを定義する。領域を走査していき、最初に対象に接触した点を o とする。次に、領域の輪郭追跡を行い注目点を移動する方向を決定する。次に、輪郭追跡時の注目点 o の 8 近傍点を含むマトリクスを点 o の移動方向によって選択する。それぞれの点は、領域に含まれるとき値 1, 含まれないとき値 0 を取るものとする。

3.1 条件 1

式 (1) が成り立つとき点 o を保存する。

$$\sum_{i=0}^7 P_i = 1 \quad (1)$$

3.2 条件 2

次に、点 o の移動方向を、2 グループに分類する。グループ 1 (上, 下, 左, 右) とグループ 2 (左上, 左下, 右上, 右下) である。

点 o がグループ 1 の方向に移動した場合 ($P_0=1, P_1, P_2=0$), 式 (2) が成立する場合に保存する。

$$\sum_{i=3}^5 P_i \geq 1, \quad P_6=0 \quad (2)$$

3.3 条件 3

点 o がグループ 2 の方向に移動した場合 ($P_0=0, P_7=1$), 式 (3) が, $n=1, 2, 3$ のいずれかで成立する場合に保存する。

$$\sum_{i=1}^{2n} P_i \geq 1, \quad P_{2n+1}=0 \quad (3)$$

ここまでは、前野ら (Maeno et al., 1995) の報告にある式であるが、これに 4 番目の条件を加えることにより、半円の中心線が求められることになる。

3.4 条件 4

条件 2 と同様の条件化で式 (2) が成り立たない場合でも、式 (4) が成り立つ場合は保存することにする。

$$P_3=1, \quad P_4=0 \quad (4)$$

この保存条件を満たした場合は境界線を保存し、満たさない場合は境界線を順次削り、領域の細線化を行った。

P_3	P_2	P_1	P_1	P_0	P_7	P_7	P_6	P_5	P_5	P_4	P_3
P_4	o	P_0	P_2	o	P_6	P_0	o	P_4	P_6	o	P_2
P_5	P_6	P_7	P_3	P_4	P_5	P_1	P_2	P_3	P_7	P_0	P_1
Group 1 Right			Up			Left			Down		
Group 2 Lower right			Upper right			Upper left			Lower left		

Fig. 4 Matrix patterns for moving directions.

(a)

(b)

Fig. 5 Input images of mature and immature fruits.

(a) Color image. (b) Thermal image.

(a)

(b)

Fig. 6 The temperature differential between fruits and leaves.

(a) Thermal image of fruits and leaves.
(b) Temperature of fruits and leaves.

結 果

1. 熱画像による果実の抽出

Fig. 5 に、トマト果実の可視光線による CCD カメラの画像と、熱画像の計測結果の一例を示す。Fig. 6 に熱画像とその温度の分布を示す。Fig. 6(b) に示すように果実とその他の部位との温度の差がみられる。晴れの日の場合、平均で 3°C 以上の差があり、温度の高い部分を果実として取り出した。

2. 細線化によるモデルの識別

Fig. 7 に、細線化による果実の中心線と半径を求めるアルゴリズムを、Fig. 1 のモデルに適用した結果を示す。果実の大きさがそろっているほど、二つの果実

Fig. 7 The actual length of a center axis, O_1 to O_2 , and the estimated length obtained by thinning processing.

Symbols : diameter of O_2 at 40 (●), 60 (○), 80 (▲) and 100 (□) mm. Length of o_1 was fixed at 100 mm.

の位置が近くても識別の可能性が高かったが、小さい方の果実の半径より中心間の距離が短くなると、誤差が大きくなる傾向があった。

3. トマト果実への応用

Fig. 8 に 2 個のトマト果実への応用例を示す。熱画像からトマトの果実を取り出すことができた。その結果を Fig. 8(b) に示す。中心の座標と半径を求めることができた。Fig. 8(c) に計算によって求められた果実の中心と半径を示す。Fig. 8(d) に計算によって求められた果実を示す。

Fig. 9 に、3 個と 4 個の場合の処理結果を示す。3 個では中心座標と半径は識別可能なものの、4 個の場合は、困難であることが判った。

考 察

従来手法において、CCD カメラのみを用いた画像処理では、周辺の茎や葉の影響を受け困難であった未成熟の果実の識別を、熱画像を利用することによって容易に行うことができた。これによって、未成熟の果実を傷つけることなく、成熟果実を収穫するためのロボットアームのルート検索に着手することができる。

細線化処理による果実の認識では、重なった状態の果実が 3 個までの場合は、果実の中心および半径を求めることができた。このことによって、他の果実を傷めることなく成熟果実を収穫することが可能となっ

Fig. 8 Recognition process of overlapping fruits.
 (a) Thermal image.
 (b) Thinning image.
 (c) Detect center points and radiuses of fruits.
 (d) Result of recognition of overlapping fruits.

Fig. 9 The result of the wire size reduction by the new and old algorithm.
 (a) Base image.
 (b) Conventional algorithm.
 (c) New algorithm.

た。しかし、4個以上の場合は、果実の中心を求めるための中心線において変曲点が多く存在し、中心を見つけることは困難であった。実際の栽培の場では、4個以上の果実が同時に着果していることが多い。この問題を解決する方法として、ステレオ画像や距離センサーによる3次元的な補助装置を使用することが考えられる(Matsuura et al., 1997)。補助装置とは、全体の3次元データを計測するのではなく、必要な箇所の距離データを計測する装置である。その場合も、果実全体をスキャンするのでは時間がかかるので、今回作成した細線化のアルゴリズムを用いて、効率よく処理するなどの処理時間の短縮化が今後の課題である。

本研究は、科学研究費を中心に行った。熱画像装置を利用させていただいた愛媛大学地域共同開発センターに感謝の意を表す。

文 献

- Hatou, K., Nishina, H., Chikaizumi, S., Hashimoto, Y. 1988. An expert system for diagnosis of disease and insect damage of satsuma mandarin. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **26**: 185-186.
- Hatou, K., Sakamoto, H., Fukuyama, T., Nonami, H., Hashimoto, Y. 1992. Supporting expert system for tomato cultivation based on inference using fact data base. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **30**: 185-191.
- Kobayashi, T., Kijima, R., Ojika, T., Tanaka, I. 1996. Development of fruits harvesting robot system aided by virtual reality techniques (Part 2). *J. SHITA* **8**: 264-270.
- Kondo, N., Nakamura, H., Shibano, Y., Arima, S. 1995. Studies on visual sensor for cucumber fruit detection (2). *Environ. Control in Biol.* **33**: 237-244.
- Maeno, K., Tsuruoka, S., Minamide, N., Miyake, Y. 1995. New connected region segmentation algorithm for color face figure. *Rep. ICIEC* **94**: 1-6.
- Matsuura, H., Hatou, K., Yamashita, J., Hashimoto, Y. 1997. Recognition by robot visual sensor based on sensor fusion —Fuse range image and 2-dimentional image—. (Japanese text with English abstract) *J. SHITA* **9**: 132-138.
- Nagata, M., Cao, Q., Bato, P., Hiyoshi, K., Kinoshita, O. 1996. Position recognition of the fruit by the thermal image. 1996 SHITA Congress, 7, Hokkaido. (Japanese text) *Proc. of SHITA*, p 67-68.
- Tanaka, I., Inoue, S., Kobayashi, T. 1996. Development of fruits harvesting robot system aided by virtual reality techniques (Part 1). (Japanese text with English abstract) *J. SHITA* **8**: 1-11.