

第12回

「運動と振動の制御」シンポジウム

講演論文集

メルパルク長野

2011年6月29日(水)～7月1日(金)



主催

一般社団法人 日本機械学会 機械力学・計測制御部門

〒160-0016 東京都新宿区信濃町 3 5 番地 信濃町煉瓦館 5 階

TEL : 03-5360-3500 FAX : 03-5360-3508 URL <http://www.jsme.or.jp/>

協賛

計測自動制御学会, システム制御情報学会, 人工知能学会, 精密工学会, 電気学会, 電子情報通信学会, 土木学会, 日本音響学会, 日本建築学会, 日本航空宇宙学会, 日本知能情報ファジィ学会, 日本フルードパワーシステム学会, 日本ロボット学会, バイオメカニズム学会, 農業機械学会

12thMOVIC

D203 ピーマン自動収穫のための果実認識方法の改善

Improvement of Recognition for Automatic Harvesting of Sweet Pepper by Machine Vision

○正 岡 宏一 (高知工大), 大崎 貴史 (高知工大), BACHCHE Shivaji (高知工大)
北村 晋助 (高知県教育委員会)

Koichi Oka, Kochi University of Technology, Miyanakuchi 185, Tosayamada-cho, Kami-city, Kochi 782-8502

Takashi Osaki, Kochi University of Technology

Saburo Seigyo, Kochi University of Technology

Shinsuke Kitamura, Board of Education, Kochi Prefecture, 1-7-52, Marunouchi, Kochi-city, 780-0850

Abstract: This paper describes a distinction method of fruits for sweet pepper picking robots, which work in greenhouses. The distinction of fruits of sweet pepper is done by image processing technique. As fruits and leaves of sweet pepper, however, have almost same color, it is very difficult to distinguish fruits using only color information. In this paper, we propose a new method using reflection of LED lights. Fruits of sweet pepper are more reflective than leaves. We can find fruits by assuming that the reflection parts are the fruits. We examined some experiments using the improved image processing algorithm in greenhouse. In consequence, it was possible to improve the distinction ability.

Key Words: Automatic harvesting, Machine vision, LED light, Reflection, Sweet pepper.

1. はじめに

1.1 研究の背景 高知県は、温暖で冬場の日照時間が長いという農業生産に恵まれた好条件を有しており、地形的にも、海岸部の平坦地域から四国山地に至る山間地域まで変化に富んだ自然条件を有している。しかし、県土の84%を森林が占め、耕地の比率が4.2%と低いため、農家一戸辺りの平均耕地面積85.3aは全国平均154.8aを大幅に下回っている。こうした条件のもとで、平場においては、冬春野菜を中心に収益率の高い園芸農業が発展しており、農業粗生産額に占める野菜の割合や耕地10aあたりの生産農業所得は、全国平均の2倍以上になっている。園芸用ハウス施設面積の目標値は現状(平成11年)1,985haから平成17年の目標2,090haとされており、今後更に施設園芸が重要となってくる⁽¹⁾。

この施設園芸において、労働力不足の解消や農作業の援助などのため機械化・自動化が期待されている。企業では大規模な農産物の自動化工場への取り組みが進められており、一般のビニールハウス施設においても、温度管理、水やり、窓の開閉などの自動化が進められている。また、収穫についてはナス、イチゴ、トマトなどの収穫ロボットの研究開発が行われている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。しかしながら、まだ実用化には至っていないのが現状である。

本研究では、果実の認識が難しく、また高知県の基幹産業であるハウス園芸野菜の一つであるピーマンを対象に適期を判定し収穫を行うロボットの開発に取り組む。

2. ピーマン生産の現状と研究目標

2-1. ピーマン生産の現状 施設ピーマンは、図1に示すようなビニールハウス内で、図2に示すように1.2m程度の間隔で作られた畝に栽培されている。一般に毎年7月から9月ごろに苗植えが行われ、10月ごろから翌年の7月ごろまで収穫されている。収穫する果実の大きさは、高知県園芸連の県共計協会の「高知ピーマン部会」で規格統一されている⁽⁵⁾。市場に出ている主要な大きさは等級A階級Mのもので、一袋4~5入りで150g、ピーマン1つの重さは28g~40gであり30gを中心としている。

農家ではおもにこのMサイズと呼ばれる大きさのものを収穫し、JAなどに出荷している。収穫者はピーマンの大きさを長年の経験で判断し、図3に示すように一つ一つ果柄部をハサミで切り、図4のようなコンテナに入れてJAなどに出荷する。JA

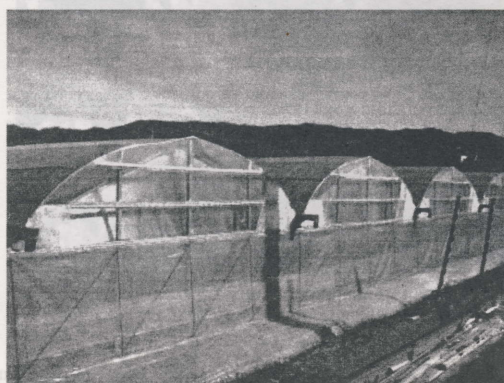


Fig. 1 Photograph of greenhouse



Fig. 2 Photograph in greenhouse of sweet pepper

などで、1袋4~5入りで150gに袋詰されて市場に出荷される。各農家の労働力の状況により一日で収穫できる量にはかぎりがあり、生産期になると高齢者経営、少人数経営の農家では適期に収穫できないなどの労働力不足の問題がある。

2-2. 研究の内容と目的および最終目標 本研究は、労働力不足の解消・援助をめざし、現状のビニールハウス施設でのピーマンの収穫において、畝間を走行し、自動で収穫可能なピーマンを認識し、摘み取りを行うロボットの開発を最終目的とする。開発する収穫ロボットのイメージを図5に示す。このロボット



Fig. 3 Picking sweet paper



Fig. 4 Container of carrying sweet pepper

には以下のような機能が必要であると考えられる。

- (1) 果実を画像などにより識別し、大きさ、形状、位置を把握する自動認識機能。これは、果実の自動認識を行うもので、人間の目と同様に2つのカメラを用いて画像処理することにより色や形などから果実を認識する。
- (2) 収穫に適する果実の自動摘み取り機能。これは、果実を把持する機構と切断する機構を併せ持ったものである。摘み取り時には、果柄部を把持したことを確認した上で切り取り動作を行う。
- (3) 不安定な畝間を収穫しながら自走するハウス内移動機能。ハウス内は畝間が非常に狭く、悪路となっている。このような厳しい環境下で移動するための機構として、新しい移動機構を用いる。

本提案のロボットは、農作業労働者が労働を行っていない夜間に活動し、収穫作業を行うものである。これは、本ロボットの果実認識がカメラによる画像処理を用いており、安定した果実認識には日光による外乱を避ける必要ためであるが、昼間に行われる農作業の障害にならないためとも言える。以下では、前に示した(1)~(3)に従って今回開発した技術などを説明し、最後に今後のロボットの課題について述べる。

3. ピーマン認識のための画像処理

本章では画像処理によるピーマン果実の認識についての有効性を述べる。画像処理を行うために HSI 空間表色系を用いることとする。

3-1. 画像処理システム 本研究で使した画像処理システムは、有効画素数 640 × 482 のカラー CCD カメラ (RF SYSTEM 製 SG-55)、カラー画像入力ボード (Leutron Vision 製 Pic-Port)、画像処理アプリケーション (HALCON) で構成される。カメラは奥行を把握できるように2台設置し左右のカメラで目

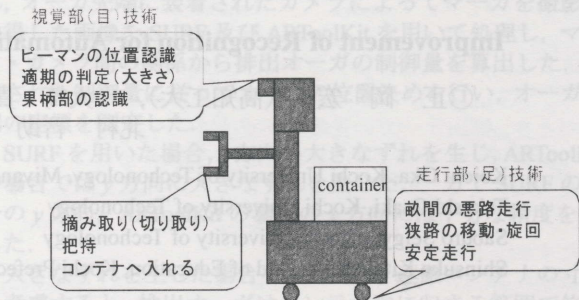


Fig. 5 Functions of automatic harvesting robot for sweet pepper

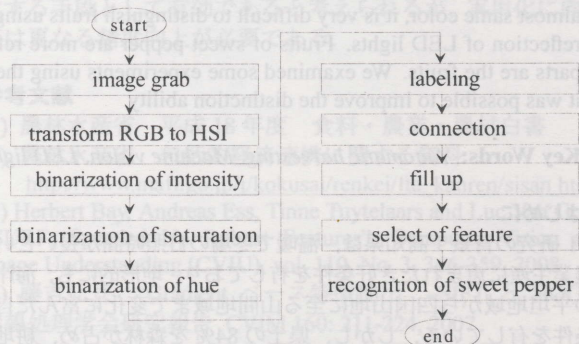


Fig. 6 Algorithm of machine vision for recognition of sweet pepper

標物を認識するようにした。画像入力ボードはカメラからのアナログ信号をデジタル信号に変換してパソコンのメインメモリに取り込むもので、カラー対応で入力ポートを複数個持っているものを使用した。画像の取り込みから、目標物の認識までの一連の画像処理は、汎用の画像処理開発アプリケーションを利用し、プログラムを開発した。

ピーマン認識のアルゴリズムを図6に示す。カメラから取り込んだカラー画像を HSI 空間で表現した画像に変換し、閾値により果実の色の領域に絞り込む。絞り込んだ色の領域を連続した固まり毎に一つのものとして認識させ (ラベリング)、この個体の特徴量から果実を認識するものである。

図7にピーマンの取得画像を示す。これを HSI 空間により表示したものが図8である。この図の値に従って2値化することによりピーマンを認識する。実際の認識過程を図9に示す。輝度 (Intensity)、彩度 (Saturation)、色相 (Hue) の順に画像を2値化処理しできるだけピーマンの果実のみを含む画像にする。まず、図9(a)で示されるように輝度画像で非常に暗い部分を除く。彩度の2値化で図(b)に示されるように葉の大部分が果実と区別される。最後に色相でできるだけノイズを取り除くと、図(c)に示されるようにピーマンの果実が認識される。照明のない画像データでは、葉と果実の彩度や色相の差がなくこのような2値化処理でピーマンの抽出は困難である。この段階では絞り込んだ領域には果実以外のノイズが、まだ多く含まれている。最後に特長量を抽出することにより、図10に示すようにピーマンの果実を認識することができる。

しかし、果実と葉を区別するためには、照明が不可欠で、今回の実験でも照明がない場合には果実と葉を区別できないことがわかった。

3-2. ピーマン認識アルゴリズムの検証 ほ場で栽培されているハウス内のピーマンの画像データを収集し、今回作成した画像処理アルゴリズムの検証を行った。実験装置は図11に示すような、110mmの間隔で取り付けられた有効画素数 640 × 480 のカラー CCD カメラ (Logcool 製 QcamPro4000) 2台をノートバ



Fig. 7 Color image of sweet pepper



Fig. 8 HSI color space image of captured image



Fig. 9 Series binarization by I, S, and H



Fig. 10 Result image after recognition algorithm



Fig. 11 Set up for verification of recognition algorithm

ソコンに接続して画像データの収集を行った。また、照明として市販の蛍光灯 27W を用いた。更に、周囲の明るさの影響を確認するために夜間のデータも収集した。

収集した画像データによる画像処理結果の一部を図 12、および図 13 に示す。図 12 は昼間に得られた画像を処理したものの、図 13 は夜間に得られた画像を処理したものである。処理された画像において線で囲まれている部分が画像処理によって認識されたピーマンである。図 12(a) では、人の目では左右 2 個ずつのピーマンが確認できる。一方画像処理では、左右 1 個のピーマンを認識している。左カメラでは前方と後方のピーマンの区別ができていない。右カメラでは前方と後方のカメラでピーマ



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 12 Recognition results in day time image



(a)



(b)

Fig. 13 Recognition results in night time with fluorescent light

ンの区別はしているが後方の認識された領域が小さいため本アルゴリズムではノイズと判断されている。図 (b) では、1 個ずつピーマンと認識され右カメラの後方に見えるピーマンはノイズと判断された。図 (c) は、一部に隠れている状態であるが、左右とも 1 個ずつピーマンを認識している。図 (d) では、葉をピーマンと誤認しており、ノイズが集まって大きくなった部分ではピーマンと認識される。図 (e) では、ピーマンが葉の奥にあり照明が十分にあたらず、1 個も認識されていない。

これらの画像処理結果をもとに、人の目で確認した場合のピーマンの個数と画像処理による認識数を比較した。結果を表 1 に示す。表よりわかるように、認識率は昼間では 47.5%、夜間では 75.5% であり、葉と果実の区別は可能であると判断できる。また、夜間に認識率が高いのは、周囲の明るさの影響を受けにくく安定して認識できたためと考えられる。この結果により、本アルゴリズムはピーマン認識が可能であると考えられるが、十分

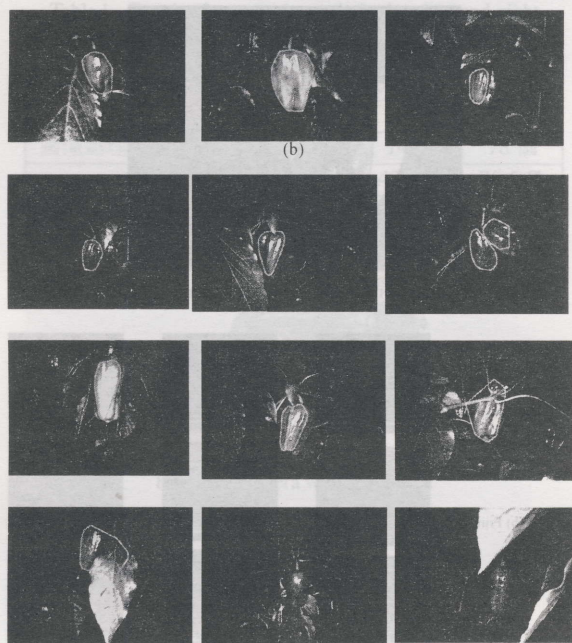


Fig. 23 Experimental results using reflecting recognition method for sweet pepper

の上で認識実験を行った。実験では 24 枚の画像における認識実験を行った。ピーマン果実と認識された部分にピーマンの果実だけが含まれている場合を、実験成功とし、それ以外を失敗とした。

結果を図 23 に示す。24 枚の画像のうち 19 枚の画像においてピーマンの認識に成功した。このうちの 7 枚の画像を図 23(a)～(g) に示す。認識に失敗した 5 枚の画像は、そのすべてを図 23(h)～(l) に示す。

認識に失敗した 5 枚の画像に関して、まず (h) では実際は一つのピーマンの認識であるが、2つのピーマンと認識されている。このピーマンにはおおきなへこみがありその部分が暗くなっている。暗い部分をピーマンと認識しておらず結果として左右2つのピーマンとして認識されている。画像 (i) の場合は、まずピーマンがいびつな形をしており、その上に枝がピーマンの前にある。このために反射部の周囲の色の認識に多くの誤差が含まれたためピーマンの果実の形の認識に失敗している。画像 (j) では反射部の横に葉があるためこの葉の色をピーマン果実の色として参照したものと考えられる。画像 (k) では反射部の領域がはっきりしていないため、周囲の色の認識に失敗しており、これがピーマンの果実を認識できない原因となっている。最後の画像 (l) では、ピーマンより葉の方がずっとカメラ側に近いため、反射部が葉の上になっている。このためピーマンの果実が認識出ない状況となっている。

このように、いまだピーマンの認識に失敗することはあるが、成功率は 79.2% であり、しかも設定は自動であることを考えると満足できる結果であると考えることができる。今後より認識率をあげるために、ハンドに取り付けたカメラを用いて、カメラを移動させながら認識を行うことにより精度を高めていくことを考えている。

6. おわりに

画像処理を用いたピーマン果実の認識について、LED を用いた新しい方法などを提案しながらその有効性および実用性について実験を行った。特に LED の反射を用いて果実を認識する方

法は実用を考えると非常に有用な方法であると考えられる。しかし、種々の条件で認識が困難な場合があり、この後も検討が必要と考えられる。以下に画像認識のまとめである。

- (1) 同色の緑色である葉と果実から、照明を用いた画像処理によって果実のみを識別できる画像処理プログラムを作成した。また、葉に隠れているピーマンの認識についても検討が必要である。
- (2) カメラの画像処理によって得たピーマンのそれぞれの図心からカメラを認識ピーマンとの距離の把握が可能であることが確認された。
- (3) LED 照明を用いた画像認識の改善を提案し、ピーマン果実の重なりやピーマンの距離計測誤差をなくすために効果があることが確認された。
- (4) LED 照明の反射を用いてピーマン果実を認識する新しい方法を提案しその有効性を確認した。この方法は色の設定が自動でできることが大きな特長となっており実用化に役立つものと考えられる。
- (5) 今回大きさ判定や果柄部の認識については十分検討ができなかった。しかしピーマン認識と同様に収穫作業のためには重要な画像処理技術であるため、今後早急に検討していく必要がある。

参考文献

- (1) 高知県農林水産部，“こうち農業・農村振興指針”，平成 13 年 3 月
- (2) 林ら，“果菜類の選択収穫方法及び装置”，2002。
- (3) 有馬誠一ら，“イチゴ収穫ロボットの開発研究”，日本機械学会 [No.03-4] ロボメカ講演会' 03 講演論文集
- (4) 門田ら，“テレロボテスク農業”，日本機械学会 [No.03-4] ロボメカ講演会講演論文集
- (5) 高知県園芸連・県共計委員会「高知ピーマン部会」，“県共計「高知ピーマン」等階級規格表，平成 16 年