

LED光の反射を使用したピーマンの果実の識別方法

A Distinction Method for Fruit of Sweet Pepper Using Reflection of LED Light

○大崎 貴士 (高知工科大) 岡 宏一 (高知工科大)
北村 晋助 (高知工科大) 社家 佑一朗 (高知工科大)
立花 邦彦 (高知工科大) バッチェ シワジ ガンガ (高知工科大)
Takashi OSAKI, Kochi University of Technology, Kochi, Japan
Koichi OKA, Kochi University of Technology, Kochi, Japan
Shinsuke KITAMURA, Kochi University of Technology, Kochi, Japan
Yuichirou SYAKE, Kochi University of Technology, Kochi, Japan
Kunihiko TACHIBANA, Kochi University of Technology, Kochi, Japan
Bachche SHIVAJI GUNGA, Kochi University of Technology, Kochi, Japan

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 of a parallel stereovision which is installed in the robot. 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: Robotic and Automation System, Picking Robot, Image Processing, Recognition, Visual Feedback Control, Stereovision, Sweet Pepper, Greenhouse.

1. 諸言

温室栽培は多くの利点で優れている。温室は、ビニールシートで覆われていて、野菜を強風や悪天候、害虫などの自然災害から守る。温室栽培は、管理された状況下で栽培されるため、農産物がより効率的に、かつより高品質を保つことができる。近年、少子化と高齢化のため、農業労働人口不足の問題が深刻になってきている。この問題を解決するために、いくつかの自動温室栽培システムが提案された。例えば、自動温度制御システム、自動散水システムと自動摘み取りシステムである。自動温度制御システムと自動散水システムは、実際のハウスで採用されている。しかしながら、自動摘み取りシステムは、果実の認識システム、摘み取り機構、移動機構の技術不足により、技術の構築することは難題である。今までに、イチゴやトマトの摘み取りロボットは研究されてきた[1],[2]。これらの果実は、特別な環境下で栽培され、かつそれらの色で判別するのが容易であることから、今までに研究が行われてきた。

最終的な目標は、普通の温室で栽培されたピーマンの果実の自動摘み取りシステムを構成することである。ピーマンは温室栽培で主要な農産物ですが、果実と葉の色や形がほとんど同じであり、果実の認識が難しいため、未だ自動摘み取りロボットは開発されていない。私たちはすでにピーマンを自動で摘み取るロボットの試作機を開発した。しかしながら、成長に従って果実の色が変わるので、そのロボットの認識性能は不安定である。

この論文では、LED 光の反射を使用することで、ピ

ーマンの果実の認識する方法を提案した。私たちは、まず摘み取りロボットの試作機を紹介し、通常のイメージプロセッシングアルゴリズムを説明する。その後、LED ライトを追加した新しい画像処理アルゴリズムを提案する。その実験結果より、ロボットの認識性能が向上されていることが分かった。

2. 収穫ロボットの概要

農家の方は目でピーマンの果実を見つける。次に、サイズ、形などが規格に沿った果実を見つけ出し、それを手で掴む。そして最後に、掴んだ果実の茎を鋏で切り、かごの中に入れる。

このような農家の方の手順に沿うために、ピーマン摘み取りロボットは、Fig.1 に示されている機能を持つべきである。試作機のピーマン収穫ロボットは、Fig.1[3][4]のコンセプトに沿って制作された。構造をFig.2に示し、実際の写真をFig.3に示している。このロボットは、平行なステレオビジョンの画像処理システムを搭載しており、それによって視覚フィードバック制御を利用した果実の認識や位置情報の取得が可能となっている。

この画像処理システムでは、LED 照明装置を使用した場合のカラー画像を HSI 空間に分け、画像処理を行う。H、S および I は、それぞれ色相と、彩度と、明度である。HSI 空間は、RGB 空間と比べると、人間の感覚により近く、カラー画像を二値化処理する際にも扱いやすい特徴をもっている[5][6]。ピーマンの果実は、これら三つの値を二値化処理することで認識される。しかしながら、現行の画像処理アルゴリズムでは、果実の認識率は低い。

3. 画像処理アルゴリズム

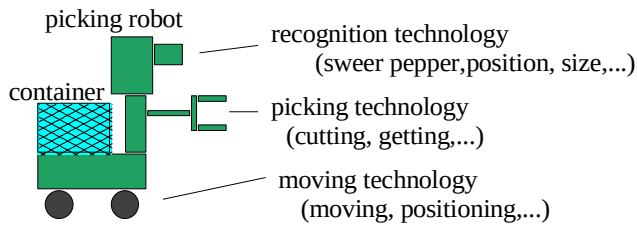


Fig.1 The concept of picking robot

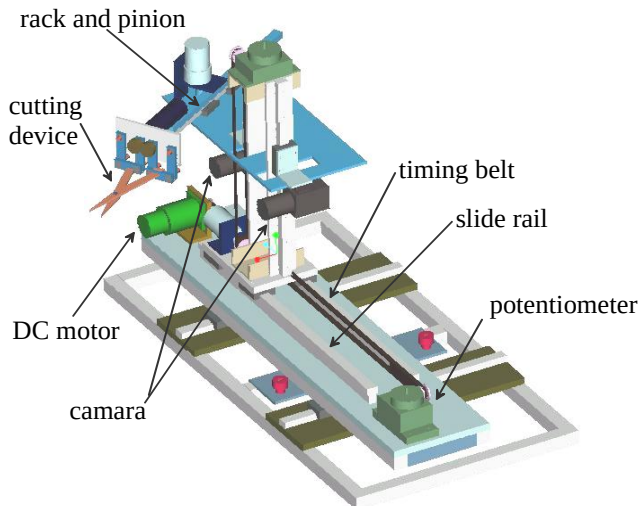


Fig.2 Structure of picking robot

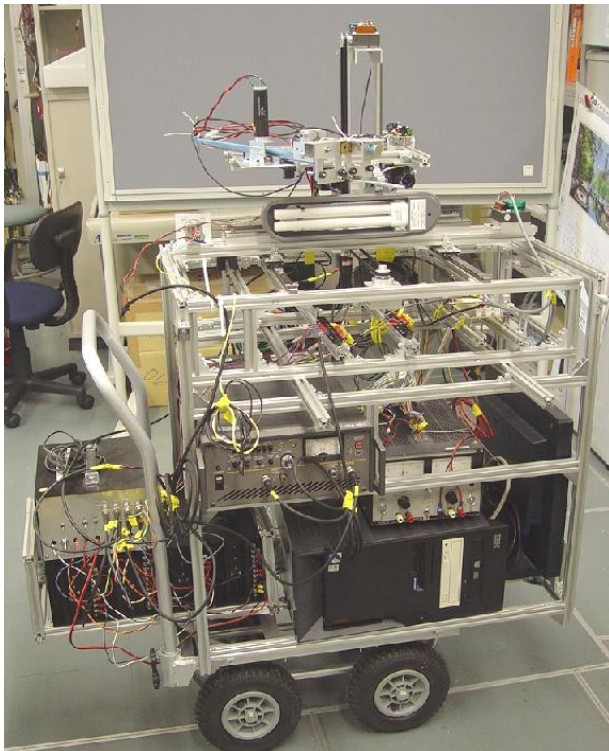


Fig.3 Prototype picking robot

画像処理システムは2つのカラーCCDカメラ (RF SYSTEM SG-55), 画像入力ボード (Leutron PicPort), および画像処理アプリケーション (MVTec HALCON) で構成されている Fig. 6. 2台のカメラは平行に置かれており, カメラと認識された果実の距離は, その二台のカメラを使って測定される. この画像処理システムで, 光は安定した画像を取り込むために重要な要素である. 私たちは, 図5に示されているようなLED照明装置を使用している. 図に示されているLED照明は, 左のカメラの周りを取り付けられており, そのLED照明は小さく, 照らす角度が狭いため, 照らす面積は小さくなる. 照明の範囲を制限することによって, 左のカメラで画像処理を行い認識される果実は, 結果として右のカメラで認識される果実に一致するのである [8]–[10].

以前の画像処理アルゴリズムは, Fig. 6 に示されている. このアルゴリズムで, 私たちはRGB空間からHSI空間へ変換した画像を使用した. また, 色相, 彩度および明度のこれら3つの値が, それぞれ256の階級で表現される. CCDカメラで撮影された画像とHSIカラースペースのサンプルデータをFig. 7とFig. 8に示している. 果実と葉のHSI値を比較したとき, それらの色相値では大きな違いがある. それゆえに, このアルゴリズムで, 色相, 彩度, 明度の二値化処理により果実を認識することが可能である. しかしながら, ピーマンのHSI値は, ハウスの中で一定ではない. 苗の成長に応じて果実の色は変化する. その認識システムを利用すれば, いつも閾値を変更しなければならない. こうした理由から, 私たちは, LEDの反射光を利用した, ピーマンの果実の新しい認識方法を提案した.

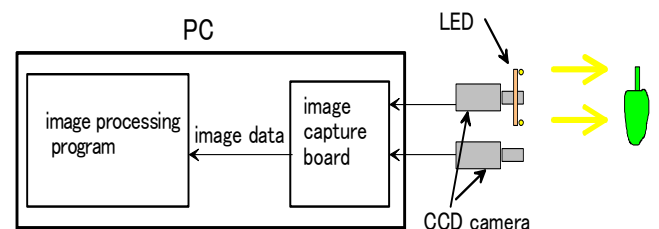


Fig.4 Image processing system

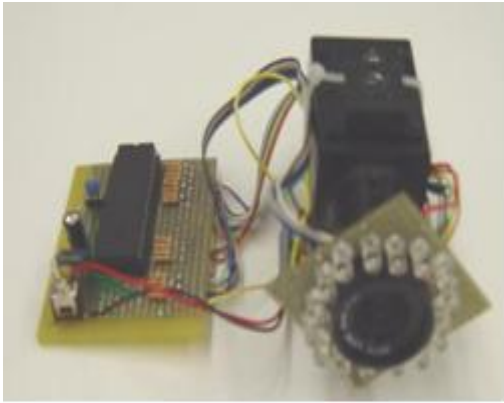


Fig.5 The LED light installed around the CCD camera

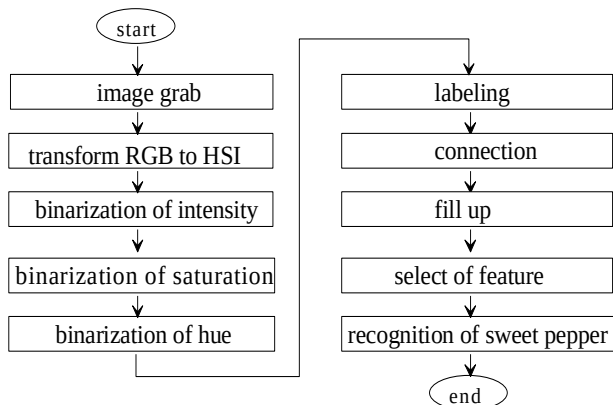


Fig.6 The previous image processing algorithm



Fig.7 Captured image using white LED

4. 改良した画像処理アルゴリズム

果実の認識方法を改良するために、3つの新しい方法を提案する。

一つ目は、果実を判別するために反射部を利用することである。

ピーマンの果実と葉の主な違いは、葉より果実の方が、より光を反射することである。ピーマンの苗が照らされると、果実の表面には光の反射が表れるが、葉の表面にはそれがない。それゆえに、反射部を観測す

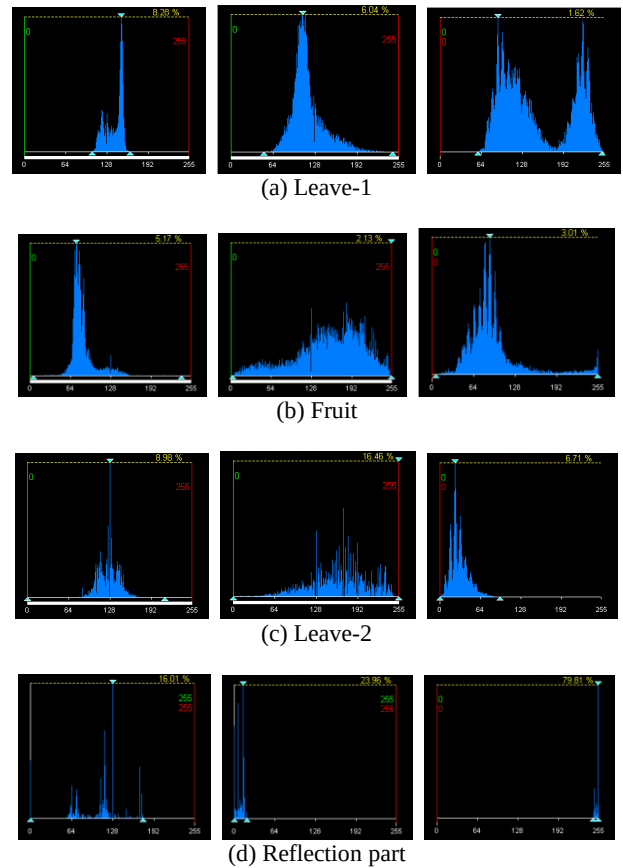


Fig.8 HSI color space histogram (left Hue, center: Saturation, right: Intensity)

れば、それは果実を示していると考えられる。反射部は、高い明度と低い彩度を持った領域として定義される。具体的に、そのような領域は、Fig.8(d)で示しているように、0 から 50 間の彩度の範囲と 250 から 255 間の明度の範囲を持っていると想定した。これら両方の値の範囲に含まれる領域を反射部としてみなし、明度と彩度の二値化によって反射部を認識することが可能である。

二つ目は、反射部を基準として、画像処理領域を、反射部の周りの小さい領域に縮小することである。画像処理領域を、反射部の中心周りに、 400×200 画素の長方形に設定する。範囲を縮小することで、認識速度を向上させることができる。

最後に、果実を認識するための、色の閾値を自動で設定することである。この方法では、第一に挙げた方法の結果を使用することができる。反射部の周辺は、果実と想定されるので、この部分の HSI 値が、果実の値として設定することが可能である。この方法により、果実の色の個体差に対応できる。

実験では、反射部の周りの 12.5 画素以内の範囲が果実であると想定した。この範囲で、明度と彩度の最大値と最小値、そして、色相の中間値と最小値を測定する。これらの値を、果実を認識するための下方と上方の閾値として設定した。果実は、反射部の周囲の限定された小さい領域内の値を二値化処理することで認識することができると考えられる。

改良された画像処理アルゴリズムを、Fig.9 に示す。

Fig.6 の手順と比較し、反射部を測定し結果として得た閾値を使用する手順に変更している。

以上の一連の提案を図 10(a)の画像に対して行った結果を説明する。この画像では、反射部は、Fig.10(b)に示されているように、低い彩度と高い明度の二値化によって認識される。反射部を基準に、HSI の閾値が反射部の周囲の領域から得るとともに、画像処理領域を、Fig.10(c)で示されている小さい長方形に制限している。この制限されたエリアにおいて、Fig.10(d),(e),(f)で示されるように、明度、彩度、色相の二値化を繰り返すことにより、領域を小さくしていく。その後、領域の画素は、Fig.10(g)で示されるように、近傍処理によって連結される。その上、連結された領域は、ラベリング処理によって特徴づけられ、空いた穴が埋められる。最後に、Fig.10(i),(j)で示されているように、面積の範囲設定を行うことにより、果実が認識される。

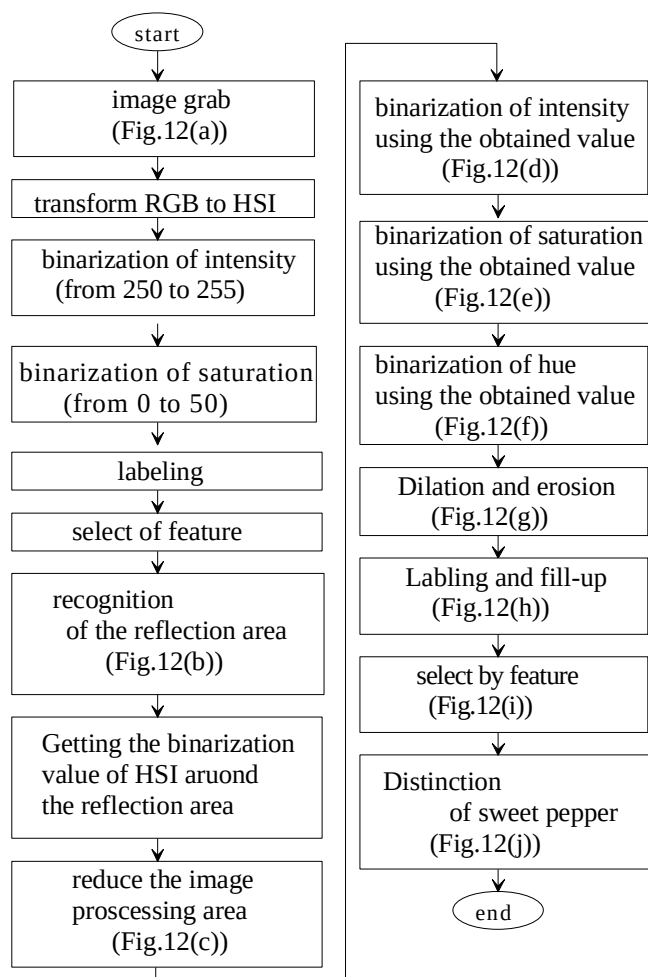


Fig.9 Improved image processing algorithm

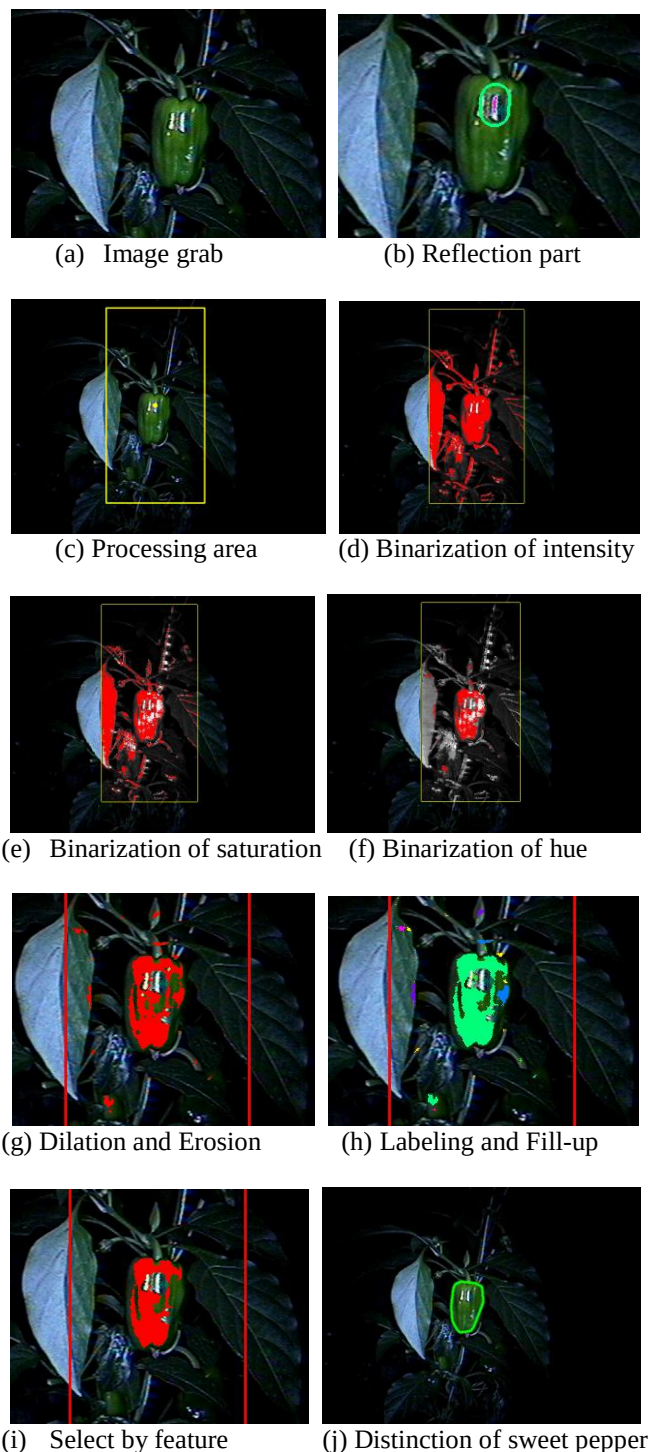


Fig.10 Example of improved image processing method



Fig.11 Experiment in greenhouse

5. 実験と結果

改良した画像処理アルゴリズムをテストするために実験を行った。夜のハウス内で、24枚のランダム画像を撮影した。実験の様子を Fig.11 に示す。農家の方が眠っている時間を有効活用し、かつ実験のための画像は太陽光を必要としないことから、このロボットは夜間に働くことが適していると考えられる。

画像認識を行った結果の一部を Fig.12 に示している。その内の、(a)から(g)で認識に成功し、(h)から(l)で失敗している。(h)の画像では、一個の果実が二個の果実として認識されている。この果実は小さくぼみを持っており、このくぼんだところが、陰により黒で見えた。くぼんだ部分の HSI 値は、設定された閾値を超えており、一つの果実を二つの果実と認識した原因となっている。(i)の実験画像では、果実が不規則な形をしており、反射部の周囲の適切な閾値が得られなかったため認識に失敗している。(k)では、反射部の周囲のエリアが、黒ずんでおり、そのために、適切な閾値が得られなかったことが原因となっている。また、(l)は、果実を見分けることができなかった。その原因が、果実がとても丸いため、果実の反射部とその周囲では、HSI 値にとっても大きな違いが生じてしまうためであった。(m)では、反射部が、葉の表面にあり、葉が果実であると誤認識された。これは、カメラが葉にとっても近すぎたためである。

結果的に、提案したアルゴリズムにより 24 枚の画像の内、19 枚で認識に成功した。認識率は 79.2%である。以前の方法と比べて、この改良された方法では、閾値が自動的に設定されることが特長である。認識性能は、以前の閾値をあらかじめ設定した方法と同等であった。この認識率であれば、果実を自動で摘み取ることが十分可能であると考えられる。さらに、奥行の認識性能をより向上させることで、誤認識を減らすことができると思われる。

6. 結論

この論文では、LED の反射光を利用した果実の新しい認識方法を提案した。この方法は、反射部を確認、測定範囲の縮小、HSI の二値化範囲の設定といった三つの技術から成り立っている。改良した画像処理アルゴリズムを使用してハウス内で実験を行った。その自動認識率は、79.2%で、認識性能を向上することができた。今後、私たちは、ハウス内でより多くの実験を行い、LED の反射光を使用することで、左のカメラで確認した果実が、右のカメラで確認した果実に確実に対応する方法を開発していく予定である。

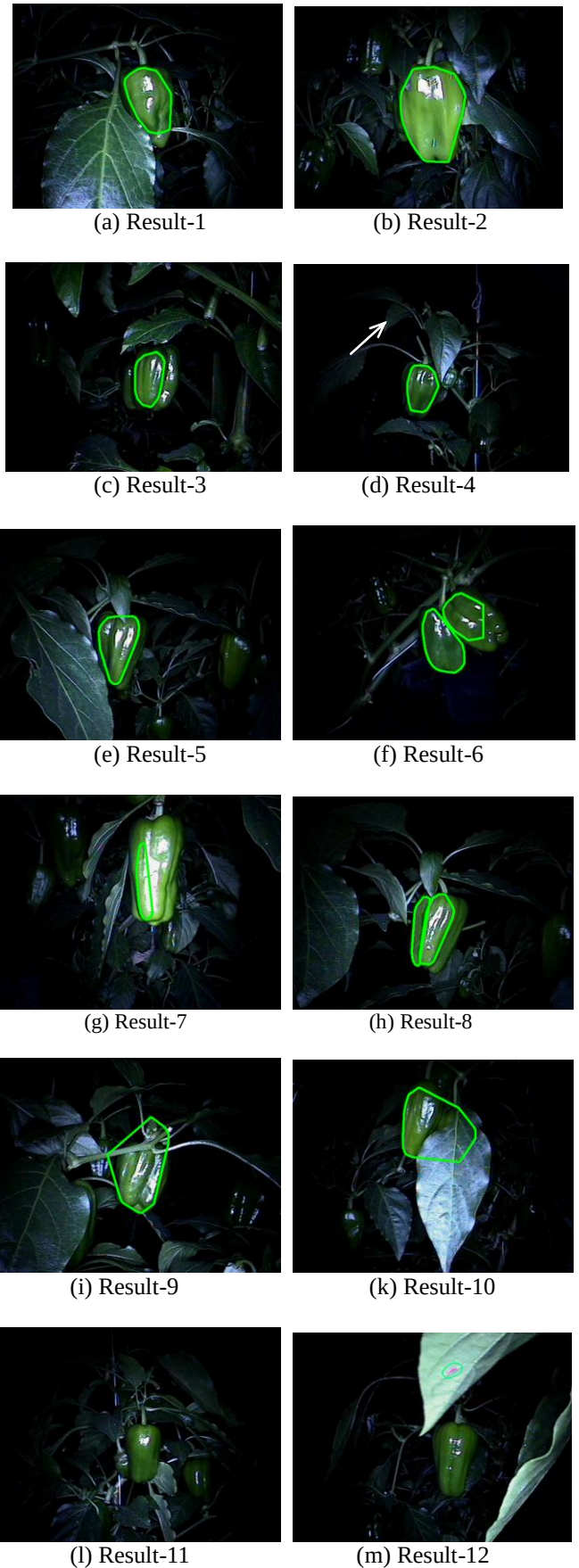


Fig.12 Example of experiment results

References

- [1] S. Arima, S. Yuki, J. Yamashita, T. Katou, K. Marumi, Studies on Harvesting Robot for Strawberry Grown on Annual Hill Top: Development of peduncle detection algorism and hook type end-effector, *JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, No.3-4, p.43, 2003.
- [2] M. Morita, K. Nanba, T. Nishi, Teleperating Robotics in Agriculture: Experiment of tomato harvesting, *JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, No.3-4, p.43, 2003.
- [3] S. Kitamura, K. Oka, Recognition and Cutting System of Sweet Pepper for Picking Robot in Greenhouse Horticulture, Proceeding of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation Niagara Falls, PP.1802-1812, 2005.
- [4] S. Kitamura, K. Oka, F. Takeda, Development of Picking Robot in Greenhouse Horticulture, SICE Annual Conference 2005 in Okayama, pp.3176-3179, 2005.
- [5] M. Takagi, H. Shimoda, Handbook of image analysis, University of Tokyo Press, pp.485-491, 1991.
- [6] FEST Project Editorial Committee, Image Processing with HALCON, Linx Corporation, pp.107-112, 2001.
- [7] S. Kitamura, K. Oka, Improvement of Recognition System for Picking Robot of Sweet Pepper, 48th Proceeding of the Japan Joint Automatic Control Conference, pp.945-950, 2005.
- [8] S. Kitamura, K. Oka, Improvement of the Ability to pick Sweet Peppers for Picking Robot by stereovision using LED lighting system, Dynamics & Design Conference 2006, No.06-7, pp.289, 2006.
- [9] S. Kitamura, K. Oka, Improvement of the Ability to Recognize Sweet Pepper for Picking Robot in Greenhouse Horticulture, SICE-ICASE International Joint Conference 2006, p353-356, 2006.
- [10] S. Kitamura, K. Oka, K. Ikutomo, Y. Kimura, Improvement of Picking Ability for Sweet Pepper Picking Robot in Greenhouse Horticulture, Mechanical Engineering Congress 2007, 2007.