

光電センサによる農作物の形状認識

藤浦 建史*・並河 清**

Pattern Recognition of Agricultural Crop
by Photoelectric Sensor

Tateshi FUJURA and Kiyoshi NAMIKAWA

Synopsis

A photoelectric sensor which detected the solid shape of agricultural crop was made by trial for the sensor of the agricultural robot and fundamental experiment was done. The location of the crop was detected by means of an active range-finder. The light from the projector was deflected by the mirrors which were attached to the shafts of scanning motors. The reflected light from the crop surface returned to the photo-detector after reflecting at the deflecting mirrors. The location of the crop was calculated by the rotating angles of the scanning motors. A red light (wavelength: 660 nm) and a near-infrared light (wavelength: 935 nm) were emitted from two light emitting diodes. The detecting experiment of Mandarin Orange was done. The shape of the fruit and the leaves could be detected and the fruit could be distinguished from leaves by the difference of the reflecting characteristics between these lights.

I. はじめに

果実収穫などの作業を行う農業用ロボットのセンサとして、農作物の三次元形状を認識する光電センサを試作し、基礎実験を行った。従来、果実収穫ロボットの研究を行ってきたが、^{1,2)}果実の三次元位置はステレオ画像法によって得ていた。しかしこの方法では、果実の三次元位置は求まるものの、葉などのように多数の同系色のものが画像内に存在する場合、各葉の認識及び2画像間での各葉の対応付けが難しく、葉などの位置を検出することが困難であった。

今回試作実験を行った光電センサは、比較的近くにある農作物を対象とするもので、投光器から光を発し、作物表面で反射した光を受光器で受けるアクティブレンジファインダ方式の光電センサである。投光角と受光角は、ステップモータにより変えるようにし、投光角と受光角

から作物の位置を計算した。投光器からは波長の異なる2種類の光を発射し、対象物の反射分光特性の違いを利用して、対象物が果実か茎葉かを判断するようになっている。

II. 光電センサ

図1に試作した光電センサの概要を示す。投光角と受光角を、図のステップモータと鏡(表面反射鏡)を用いることにより変え、投光軸と受光軸の交点に作物表面があれば反射光が受光器に感じられ、そのときの投光角と受光角より作物の表面位置を計算するようにした。投光角と受光角は、図のように丸い鏡2枚と長方形の鏡1枚の角度を変えることにより変えられ、両軸の交点位置を三次元空間に走査できるようになっている。使用したステップモータは、1ステップ当たり0.45°回転するもので、したがって光軸は1ステップ当たり0.9°偏向される。ステップモータは、軽い慣性負荷の場合、毎秒1000ステップ程度の応答性をもつものを使用した。

* 農林システム学講座、

** 京都大学農学部

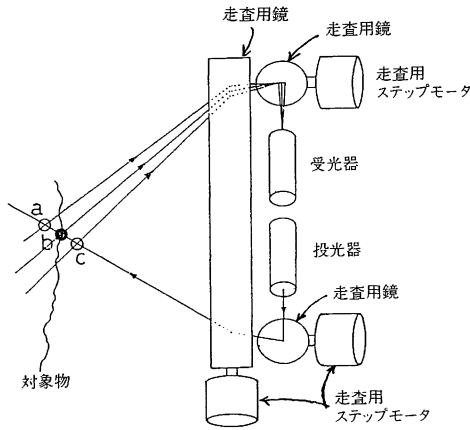


図1 光電センサの概要

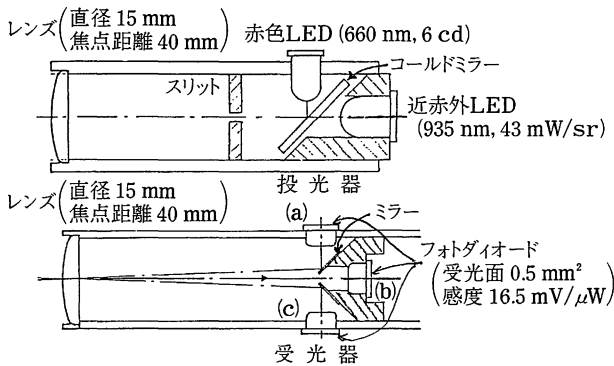


図2 投光器と受光器

図2に投、受光器を示す。投光器からは赤色と近赤外の発光ダイオード(LED)を用いて、波長の異なる光を交互に投光し、赤色投光時と近赤外投光時の受光器出力電圧の違いにより、対象物が果実か茎葉かを判断した。赤色光と近赤外線と同軸上に投光するため、赤色光(可視光)を反射し、近赤外線を透過するコールドミラーを図のように取り付けた。また光軸が広がりにすぎないように、レンズの前とLEDの前に、幅1.5mmのスリットを用いた。これらのLEDは、太陽光などの外乱光の影響を避けるため、周期約6μs、デューティサイクル40%の変調光方式で発光させた。赤色LEDと近赤

外LEDは時分割して発光させ、赤色LEDからの受光電圧をA-D変換したあと、近赤外LEDを発光させ、この電圧もA-D変換してから走査用鏡の角度を変えらるようにした。使用した赤色LEDは、GaAlAs赤色発光ダイオードで、中心波長660nm、半値幅26nm、軸上光度6cd(電流63mAのとき)、指向性±4°(50%幅)である。近赤外発光にはGaAs近赤外発光ダイオードを用いた。中心波長935nm、半値幅42nm、光出力43mW/sr(電流70mAのとき)、指向性±9°(50%幅)である。

受光器には3個のフォトダイオードを取り付け、中央のフォトダイオードにより、投光軸と受光軸の交点上の対象物表面からの反射光を受け、他の2つのフォトダイオードは、それよりわずかに遠方及び近方の表面からの反射光を受けようとした。これら3つのフォトダイオードの出力は、増幅復調後、コンピュータに入力され、対象物表面が投、受光軸交点の近傍にある場合には、3つの出力を比べることにより、角度をどの方向に制御すれば交点を表面に近づけられるかを判断することが可能な構造となっている。3つのフォトダイオードは、受光部を近づけるような配置とし、うち2つは鏡で反射された光を受けようとした。フォトダイオードは弱い光でもできるだけ感度よく受光できるように、またフォトダイオードから増幅器までの間にノイズが入るのを防ぐように、ブリアンプ内蔵のPINシリコンフォトダイオードを用いた。受光面積は0.5mm²(φ0.8mm)、感度16.5mV/μW(波長820nmの光を受けたとき)、カットオフ周波数15MHzである。

赤色、近赤外のLEDの波長特性、フォトダイオードの分光感度特性及び実験に使用した温州ミカンの果実と葉部の反射分光特性を図3に示す。ミカンの果実部では赤色と近赤外のLEDの発光波長の光はかなり反射するが、葉部では赤色LEDの光はほとんど反射せず、近赤外LEDからの近赤外線はよく反射する。そこで、赤色発光時のフォトダイオードの出力に対する近赤外発光時のフォトダイオードの出力の比により、走査点に存在する対象物が果実であるか葉であるかを判断させた。すなわち比が大きければ葉、小さければ果実と判断させた。

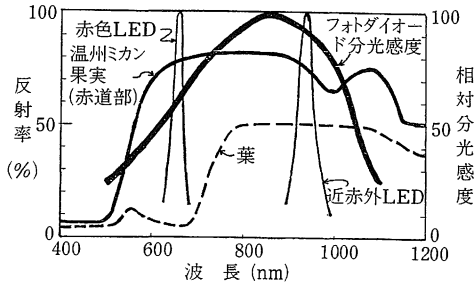


図3 赤色, 近赤外 LED の波長特性, フォトダイオードの分光感度特性, 供試ミカンの反射分光特性

図4に受光回路と走査用ステップモータ制御回路の信号の流れを示す。3個のフォトダイオードの出力は、増幅器、ハイパスフィルタ、LC 同調回路を通し、太陽光のような定常光や蛍光灯のような周波数の低い光信号は除去した。このあとロックイン増幅器で発光パルスに同期して変化する成分のみを通過させ復調した。そのあとローパスフィルタで平滑化し、直流増幅器で増幅後、アナログマルチプレクサに入力した。アナログマルチプレクサのチャンネル選択は、コンピュータの I/O ポートを用いてプログラムで行い、選択した入力を8ビットのA-D変換器でデジタル量に変換しコンピュータに入力した。

走査用鏡は、図のようにコンピュータからの出力によ

り制御されるステップモータにより角度を制御した。また赤色 LED と近赤外 LED の切り替えも I/O ポートからの指令により行った。使用したコンピュータは8088 CPU をもつ基板コンピュータで、クロック周波数は 5 MHz である。プログラムはアセンブラを用いて、パソコンで作成した。

III. 形状認識基礎実験

果実や葉部の形状認識に関する基礎実験として、投光器の前方と受光器の前方にある走査用丸鏡を回転させて光軸を変え、受光・増幅・復調後の出力をA-D変換し

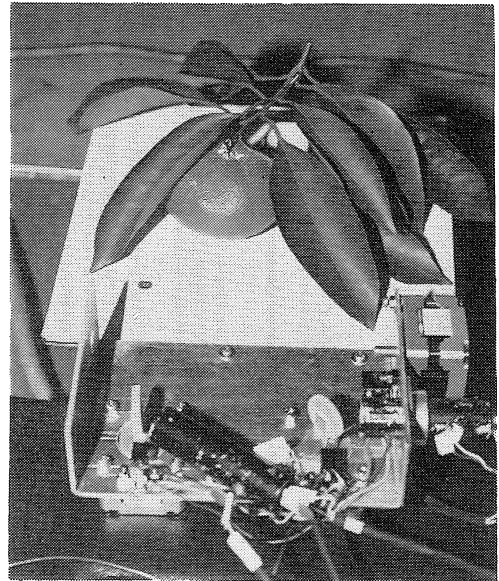


図5 温州ミカンの計測

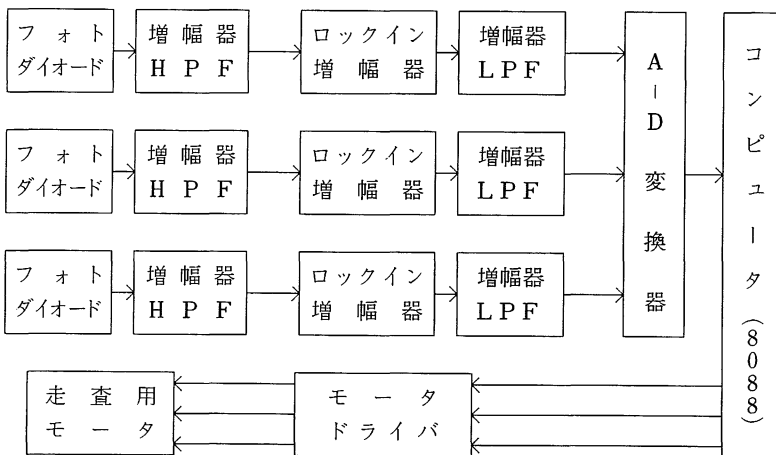


図4 受光回路とモータ制御回路のブロック図

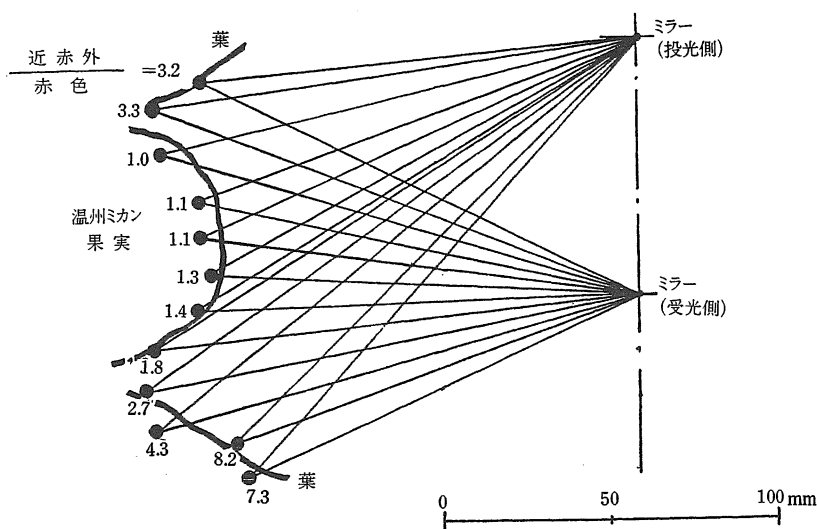


図6 温州ミカンを走査した結果

てコンピュータに入力した。図5は温州ミカンの果実と葉を用いて行った室内実験の結果で、中央のフォトダイオード(図2(b))の出力が最大になる走査点を黒丸で、定規で測定した果実と葉の表面位置を実線で記入してある。実際には鏡を 0.45° (光軸を 0.9°)ずつ動かしたが、この図では受光器の光軸が 4.5° ずつ動くごとにプロットし、他の点は略した。なお、この実験は、投、受光器と対象物との相対位置を定規で測定しやすくするため、長方形の鏡を外して行った。このため二次元の走査結果であるが、三次元の走査を行うためには、長方形の鏡を用いばよい。

図に示す数字は赤色発光時の受光器出力に対する近赤外発光時の受光器出力の比を示す。果実部ではこの比は小さく、葉部では大きい値となり、この比により果実部と葉部を識別することが可能と考えられた。また各点(黒丸)は、実線で示した実際の対象物の表面に近いところであり、この実験のようにセンサから比較的近いところにある作物は、比較的正確に形状を認識できることがわかった。

IV. 結 言

この光電センサは、ステレオ画像法のように、複数の画像間の像の対応付けなどの画像処理を必要としないため、作物の葉のように似た色のものが多数ある場合の形状認識に適していると考えられる。今回の実験では、比較的近いところにある対象物の形状は、ほぼ満足できる

精度で認識でき、また温州ミカンの果実部と葉部を見分けることができた。この実験は基礎実験であったので、認識結果をプリンタに出力しながら、比較的低速で行った。農業用ロボットに用いるためには、高速認識が必要となるが、立体的な走査を行うと走査点数が大きくなり、時間を要すると考えられる。高速化のためには3つのフォトダイオードの出力から大体の表面形状を推定し、対象物の表面のみを走査できるようプログラムし、全部を走査するのではなく、人間の目のように対象物を認識するための最適な走査点を選ぶようなアルゴリズムを作成し、視覚装置としてのインテリジェント化を計る必要があると考えられる。検出精度と速度を向上させることにより、農業用ロボットのいろいろな作業に使えるセンサになり得ると考えられる。

参 考 文 献

1. 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦 元信：農業機械学会誌 47(2)：177-182, 1985.
2. 藤浦建史・浦 元信・川村 登・並河 清：農業機械学会誌 52(2)：66-73, 1990