

## 赤外線映像法による農産物の品質判別に関する研究

### V. 画像処理のための簡易入力装置の試作

宮里 満・石黒悦爾・団野皓文・辻田正文

(農業物理学研究室)

昭和56年8月10日 受理

### Quality Evaluation of Agricultural Products by Infrared Imaging Method V. Design and Construction of Experimental Input Apparatus for Image Processing

Mitsuru MIYAZATO, Etsuji ISHIGURO, Akibumi DANNO and Masafumi TSUJITA  
(Laboratory of Agricultural Physics)

#### 緒 言

農産物の傷損や熟度等の等級選別について、筆者等はすでに種々の農産物について赤外線映像法により、その選別が可能なることを明らかにし、コンピュータ等を導入することにより等級選別の自動化が可能なることを示唆して来た<sup>1,2,3,5)</sup>。

しかし、現在の赤外線映像法は試料の表面温度を赤外線カメラで電気信号に変換し、再びこれらの表面温度分布像および温度曲線を白黒の濃淡、または、色の变化としてブラウン管上に表示される。そして、このようにして得られた表面温度分布画像を人間の目で解析してきた。この方法では解析に時間を要し、選別の自動化はとても困難である。

そこで、このようにして得られた温度パターンを直

接電子計算機に入力し、画像処理を行ない解析できれば、農産物の品質判定を自動化できるものと考えらる。

そこで、今回は赤外線映像の代わりに、カラー T.V. カメラで試料を撮影し、得られた映像信号を電子計算機に入力するために必要な種々の回路を設計、試作するとともに、若干の予備実験を行った。

試作した回路を用いて、画像処理の第1段階として大きさの異なる正方形、円、正三角形を撮影した画像に対して、しきい値処理を施すことにより面積を測定した。さらに、実用化の1例として、鶏卵のL, M, MS級を試料として、大きさによる階級選別を試みた。

#### 画像入力装置

映像信号を電子計算機に入力し、画像処理を行なうには、T.V. カメラの映像信号のうち、ただ1画面分

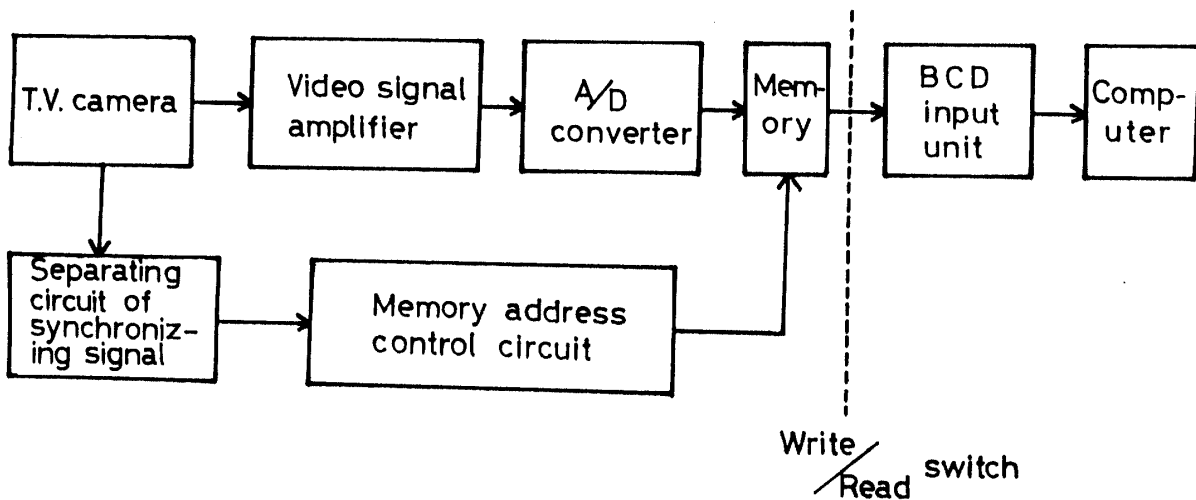


Fig. 1 Block diagram of the designed arrangement for image-processing.

の映像信号のみを A/D 変換し、直接計算機に入力できればよい。また、1画面走査の標本化数は多いほど正確な処理ができることになる。しかし、本実験に使用した電子計算機は、読み込み速度が遅く、記憶容量も 6 Kバイトと小さいために水平走査線は 262.5本のうち 8本毎に1本を取り出し、1水平走査線を32個に分割して $32 \times 32 = 1024$ 点を標本化した。また、標本化された映像信号を A/D 変換し、一度外部記憶装置に記憶させた。記憶された映像信号は電子計算機本体からの読み込み信号により順次電子計算機に読み込み、画像処理を行った。画像入力装置の全体ブロック図を Fig. 1 に示す。

1. 映像増幅回路<sup>4)</sup>

T.V. カメラの映像出力信号電圧は最大約  $1V_{p-p}$  で、A/D 変換回路の入力最大電圧 3.5V に増幅する必要がある。そのために増幅率約 11dB の前置映像増幅回路を作り、T.V. カメラと A/D 変換回路の間に挿入した。その回路図を Fig. 2 に示す。この増幅回路は特別のものではなく、普通の帯域幅 4MHz の映像増幅回路である。

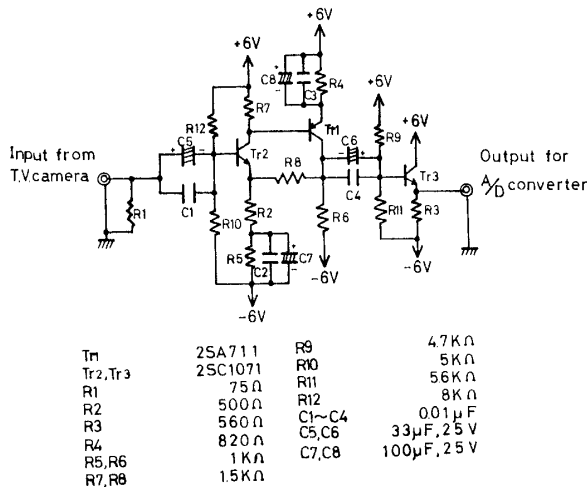


Fig. 2 Circuit diagram of the video amplifier.

2. A/D変換回路<sup>4,6)</sup>

A/D変換器は入力されるアナログ信号をデジタル量に変換し電子計算機に取り込む場合のインターフェイスとして最も重要なものの一つである。

A/D変換器を試作するについて最も重要な要素の一つに変換速度がある。今回取り扱う映像信号の水平走査線の周波数は 15.7kHz であり、水平走査線1本分で 63.5  $\mu$ s である。実際は帰線消去区間を含んでいるので、画面として目に見える時間は 52.7  $\mu$ s である。さらに水平走査線1本を32に分割してサンプリングするために、変換時間 1.6  $\mu$ s 以下で変換できる変換器

でなければならない。一般に農産物の階級、等級選別は5から8階級に分類されるものが多いために分解能は3ビットとした。以上の条件と部品の入手等を考慮して主な設計仕様は以下の通りとした。(1) 変換時間 50 nS 以下、(2) 分解能 3ビット、(3) 入力電圧レンジ 0~+3.5V 以下、(4) 精度  $\pm 1/2$  LSB (Least Significant Bit) 以下、(5) 入力インピーダンス 50 $\Omega$  以下、(6) デジタル出力バイナリ 3ビット、TTL (Transistor-Transistor-Logic) コンパチブル。これらの設計仕様のもとに試作した回路を Fig. 3 に示す。

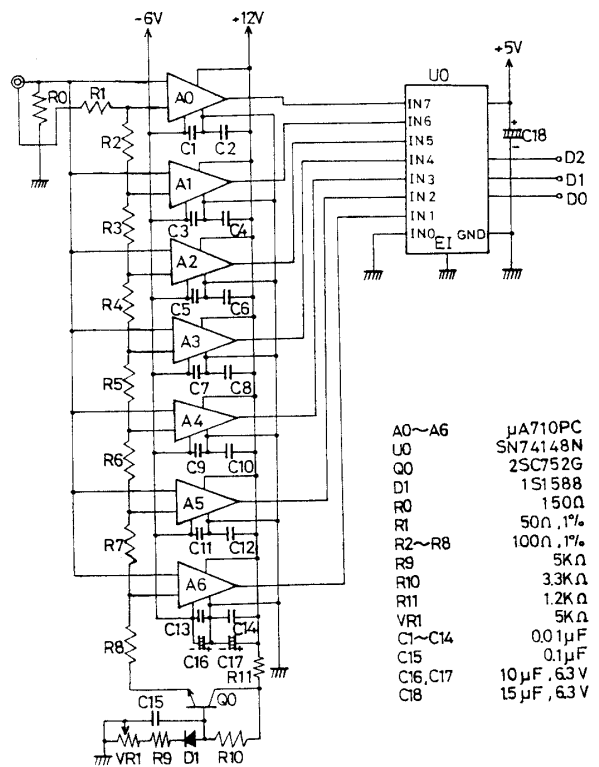


Fig. 3 Circuit diagram of the parallel connective type A/D converter with 3 bits.

電圧比較器としては、応答時間 40nS の高速電圧比較器  $\mu$ A710PC、比較器から出力される7個の出力をバイナリ3ビットに変換する符号変換器には、伝達遅延時間が標準で 13nS の TTL-IC、SN7418N を使用した。また抵抗器類は入力バイアス電流による誤差の発生を極力抑えるために誤差  $\pm 1\%$  以下のなるべく特性の揃ったものにした。

3. メモリおよびメモリアドレス制御回路

前述のごとく、使用した電子計算機の読み込み速度が遅いため、A/D 変換された映像信号を電子計算機に入力する前に一度外部メモリに記憶させ、その後電子計算機からの信号により順次電子計算機に読み込む必要がある。それに必要な回路構成図を Fig. 4 に示

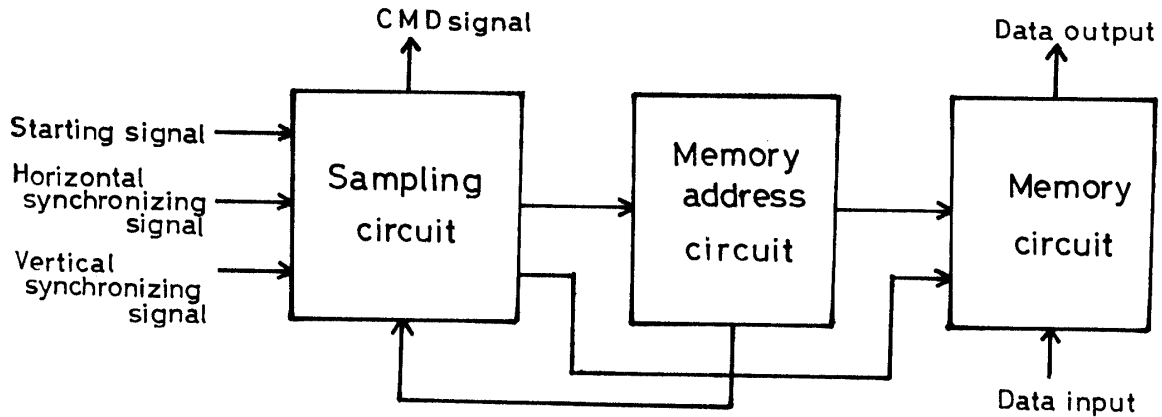


Fig. 4 Block diagram of the memory and the address control circuit.

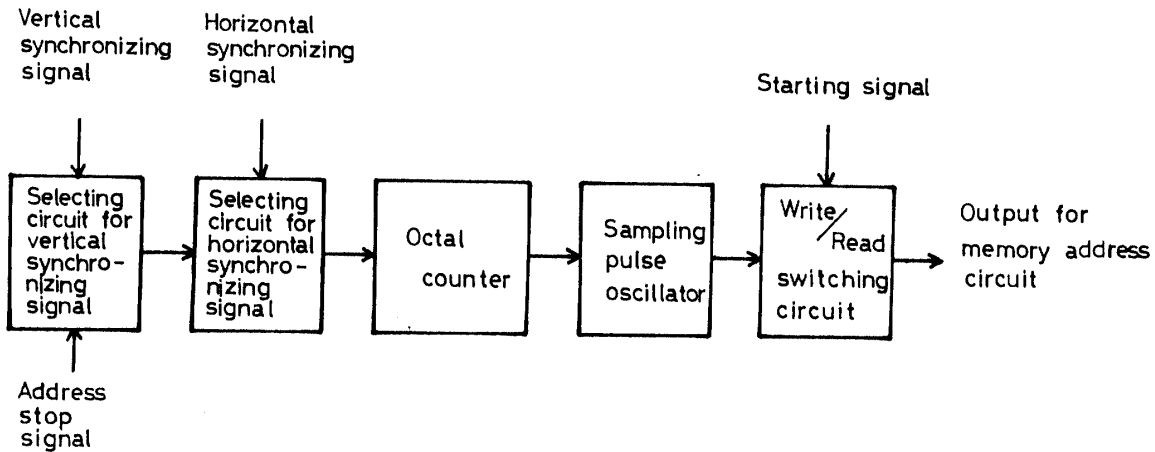


Fig. 5 Block diagram of the sampling circuit.

す。図示のように、メモリおよびメモリアドレス制御回路はサンプリング回路、メモリアドレス回路、メモリ回路からなっている。

サンプリング回路の構成図を Fig. 5 に示した。図示のようにサンプリング回路は、垂直同期選択回路、水平同期選択回路、カウンタ回路、サンプリングパルス発振回路、Write/Read 切換回路からなっている。

#### (1) 垂直同期信号選択回路

垂直同期信号選択回路は、測定しようとする 1 画面分だけをサンプリングするために水平同期信号選択回路を制御するものである。この回路は 2 個のゲート、2 個の R-S-FF (Reset-Set-Flip-Flop)、2 個のワンショットマルチバイブレータ回路から構成されている。すなわち、垂直同期信号選択回路は、測定開始パルスを入れると Fig. 1 に示した同期分離回路からの最初の垂直同期信号が入力される。垂直同期信号が入力されると水平同期選択回路およびサンプリングパルス発振回路に信号を出力し、以後の回路によって映像信号を 1 画面分だけサンプリングする。2 回目以降の垂直同期信号が入力されても、測定開始パルスを入れな

り垂直同期信号選択回路は閉じたままであるので、1 画面分しかサンプリングすることはない。

#### (2) 水平同期信号選択回路

水平同期信号選択回路は、前段の垂直同期信号選択回路からの信号によって、水平同期信号を次段のカウンタ回路に出力するものである。回路は 1 個のゲート回路だけである。すなわち、垂直同期選択回路からの信号によりゲート回路は開の状態となる。Fig. 1 の同期分離回路で分離された水平同期信号は、ゲートを通り次のカウンタ回路にそのまま出力される。垂直同期選択回路が閉じるとゲートは閉となり、以後の水平同期信号は受け付けない。

#### (3) カウンタ回路

このカウンタ回路は前述のごとく、電子計算機の記憶容量が少ないために、水平走査線の 8 本ごとにパルスを発振しサンプリングパルス発振回路を制御するものである。

故に、この回路は普通の 8 進カウンタで、4 個の T-FF (Trigger-Flip-Flop) からなっている。すなわち、2 進カウンタ 3 個を直列に接続し 8 進カウンタとして

用い、最後の1個は次段のサンプリングパルス発振回路を制御するための信号パルスを出力すると同時に、この8進カウンタ回路をクリアし、次の8本の水平同期信号をカウントするように作製した。

#### (4) サンプリングパルス発振回路

この回路は、水平走査線を8本ごとに、1本の水平走査線を32分割してサンプリングするためのパルスを発生させるもので、水晶発振子、無安定マルチバイブレータ、10進および32進カウンタ、ならびに3個のゲートからなる。

周波数 6.14MHz の水晶発振子と無安定マルチバイブレータはクロックパルスを得るためのもので、垂直同期信号選択回路からの信号により、水平同期信号が入力されている間だけクロックパルスを出力させる。このクロックパルスは10進カウンタに出力される。10進カウンタにより 614kHz に変換されたパルスは、ゲート、および Write-Read 切換回路を経て、メモリアドレス回路に出力される。また、このパルスは、(3) の8進カウンタからの信号により出力を制御され、結局水平走査線の8本ごとにサンプリングされることになる。しかし、このままでは1本の水平走査線を614kHz/15.75kHz $\approx$ 39個に分割することになる。39個のパルスを32個に制御するために、32進カウンタとゲート回路により、各水平走査の最初のパルスから32個目のパルスまでをカウントさせ、後の約7個のパルスはカットした。このようにサンプリングパルス発振回路により、水平走査線を8本ごとに1本ずつ、また1本の走査線を初めから32個サンプリングするパルスを出力するようにした。

#### (5) Write/Read 切換回路

この回路は、メモリにデータを書き込む時と、書き込まれたデータを電子計算機に読み出すための切換回路であり、R-S-FF 1個、ワンショットマルチバイブレータ2個、および6個のゲート回路からなる。

すなわち、Write 側に切換えるとサンプリングパルス発振回路からの信号は、この回路を経てメモリアドレス回路へ出力される。さらに、メモリ回路へデータを書き込む旨の命令信号パルスを出力する。一方 Read 側にすると、電子計算機からの呼び出し信号によりこの回路を経てメモリ内に書き込まれているデータを電子計算機に読み込む。

#### 4. メモリアドレス回路

メモリアドレス回路は、サンプリングパルス発振回路から出力されたパルスにより、入力されるべきデータのアドレスを決定する回路である。

メモリアドレス回路は1種のカウンタ回路で、2個の16進カウンタと2個の2進カウンタ、および10個のバッファで構成した。またデータの数が $32 \times 32 = 1024 = 2^{10}$ であるので10ビットの出力端子によって表わした。

すなわち本回路はサンプリングパルス発振回路からの出力パルスをカウントするとともに、メモリ回路にアドレス信号を出力する。さらに1024個のデータを記憶したら垂直同期信号選択回路に停止信号を出力し、サンプリングを終了する。なお、メモリ IC の論理レベルは C-MOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) レベルであり、メモリアドレス回路の IC は TTL レベルであるので、各出力は抵抗を通じて +5V に接続し、その間にバッファを置いて出力電圧を調整した。

#### 5. メモリ回路

メモリ回路は、メモリアドレス回路から出力されたアドレス信号によって、メモリ内の指定された番地に、A/D 変換器から出力されたデータを記憶し、電子計算機からの読み出し命令によりデータを出力する回路である。この回路は3個のメモリ IC と3個のバッファから成る。

メモリ IC はサンプリング数 1024、A/D 変換器の出力が3ビットであるために容量が1024ビットの nMOS (n hannel Metal Oxide Semiconductor) Static RAM (Random Access Memory) MB 8115H を3個使用した。特にこのメモリ IC を選定した理由は将来画像をリアルタイムで処理できるように、アクセス時間のできるだけ短い (この IC のアクセス時間は 70ns) ことと、部品の入手が容易なためである。

その他、電子計算機のインタフェースとして、BCD (Binary Coded Decimal) 入力ユニットを用いた。そのために試作メモリと BCD 入力ユニットの間にエンコーダを入れる必要が生ずる。しかし今回の設計では、データは3ビットにしか量子化していないためにエンコーダは省略した。

以上、設計、試作した画像処理用 A/D 変換器、メモリ、その他その周辺装置を用いて簡単な画像解析を行なった。実験装置のブロック図を Fig. 6 に示す。なお実験に用いた主な使用器材は次の通りである。

(1) 試作 A/D 変換装置およびメモリ、(2) 計算機：キャノン BX-1、(3) BCD 入力ユニット X-7801、(4) シリアルデータインターフェイス X-7500、(5) ファンクションパック I/O コントローラ X-7101 B、(6) TV カメラ：ソニー SL-J7、その他定電圧電源、シンクロ

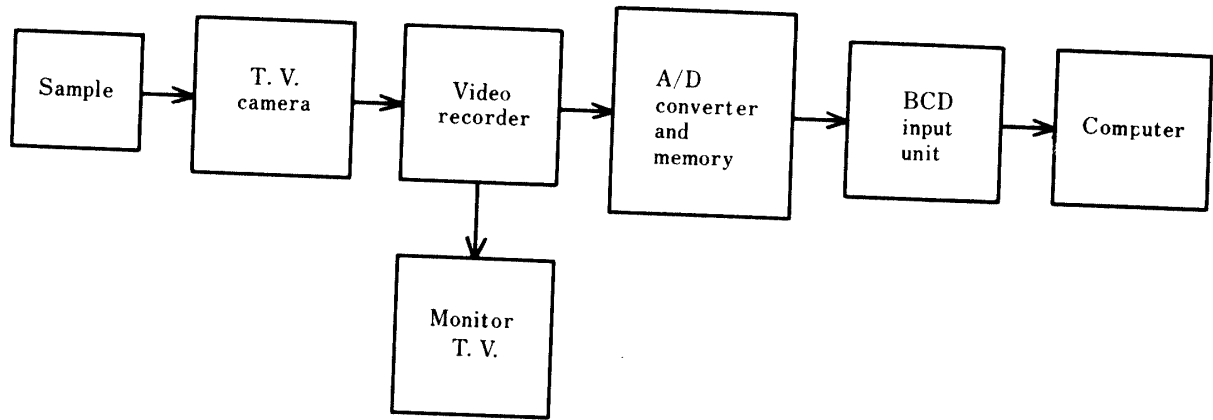


Fig. 6 Block diagram of the experimental arrangement for image processing.

Table 1. The measured value and the calculated value for 'square', 'equilateral triangle' and 'circle'

		(cm)	Area S(cm <sup>2</sup> )	The number of picture elements(X)	Area per one element(S/X(cm <sup>2</sup> ))			The measured area(cm <sup>2</sup> )	Error(%)
					Each sample	Each average	Whole average		
Square	Length of the side	8.0	64	126	0.51			61.7	3.59
		8.0	64	124	0.52			60.8	5.00
		6.0	36	69	0.52	0.51		33.8	6.11
		6.0	36	77	0.47			37.7	4.72
Circle	Diameter	5.0	78.5	159	0.49			77.9	0.76
		5.0	78.5	161	0.49			78.9	0.51
		4.5	63.6	133	0.48			65.2	2.52
		4.5	63.6	133	0.48			65.2	2.52
		4.0	50.3	98	0.51			48.0	4.57
		4.0	50.3	106	0.47	0.48		51.9	3.18
		3.5	38.5	79	0.49			38.7	0.52
		3.5	38.5	81	0.48		0.49	39.7	3.12
		3.0	28.3	61	0.46			29.9	5.65
		3.0	28.3	63	0.45			30.2	6.71
Triangle	Length of the side	15.0	97.4	197	0.49			96.5	0.92
		15.0	97.4	196	0.50			96.0	1.44
		14.0	84.9	168	0.51			82.3	3.06
		14.0	84.9	167	0.51			81.8	3.65
		13.0	73.2	140	0.52	0.50		68.6	6.28
		13.0	73.2	141	0.52			69.1	5.60
		12.0	62.4	131	0.48			64.2	2.88
		12.0	62.4	130	0.48			63.7	2.08

スコープ等である。

実験結果および考察

Fig. 6 に示した実験装置のブロック図に従って、種々の大きさの正方形、正三角形、円および鶏卵の大

きさを測定した。

1. 正方形、正三角形、円の大きさの測定

実験に用いた正方形、正三角形、円の形状は Table 1. に示した。これらの試料は、いずれも背景には明度 (マンセル表色系による) 1.0 の黒色画用紙を使用し、

試料には明度 9.5 の白色画用紙を切り抜いて用いた。照明には 15W, および, 20W の蛍光灯 2 本を使用し, T.V. カメラから試料までの距離は 80cm に固定した。なお, 今回の実験では白黒画像をデータとして扱ったので色相, 彩度には無関係である。

実験にあたっては, まず, Fig. 6 に示すように, T.V. カメラからの映像信号を, 試作した A/D 変換装置でデジタル量に変換した値を外部メモリに記憶させ, 電子計算機からの指令により, 順次電子計算機に読み込むと同時にフロッピーディスクにも記録した。また同時に  $32 \times 32$  個のマトリックスにデータをプリントさせた。プリントされたデータからヒストグラムを作り, モード法により, しきい値を決定した。決定されたしきい値を用いて 2 値化処理を行い, 対象に対応

するパターンをプリントすると同時にその画素数を数え, 図形の面積を算出させた。2 値化処理のためのプログラムのフローチャートを Fig. 7 に示す。

試作した装置を用いて, 種々の大きさの正方形, 正三角形, 円の面積を測定した時の実験結果を Table 1 に示した。なおしきい値はヒストグラムから 2 として計算した<sup>7,8)</sup>。

今回の実験で数値化して得られた図形は, たとえば, 1 辺が 8cm の正方形の場合, 縦13横10の画素からなる縦長の長方形として表われた。正三角形, 円の場合も同様の傾向が認められた。これは, 水平方向と垂直方向とのサンプル間隔の違いにより生じたものであり, サンプル間隔を調整することにより解決できるものである。また, 正三角形, および円においては周辺部が欠落して凹凸が見られた。これも, サンプル数をより多くすることにより解決できるものと考えられる。Table 1. に示したように, 形状別の 1 画素あたりの面積は, 正方形で  $0.51\text{cm}^2$ , 円で  $0.48\text{cm}^2$ , 正三角形で  $0.50\text{cm}^2$  であった。また, 形状に関係なく, 1 画素あたりの面積は平均  $0.49\text{cm}^2$  であった。この値を用いて計算した各試料の面積の誤差は 0.5% から 7% の間にあり平均 3.54% であった。また, 有意水準 0.05 で相関係数を求めると 0.995 となった。

## 2. 鶏卵の階級選別

前節では平面的モデルについて実験を行なったが, 立体的モデルの 1 つとして鶏卵を試料として 2 値化処理を行ない, 階級選別を試みた。

試料としては, 農林水産省標準規格 (卵産) により選別された鹿児島県経済連合会出荷の白色鶏卵 (品種不明) の L 級 10 個, M 級 9 個, MS 級 10 個を購入して

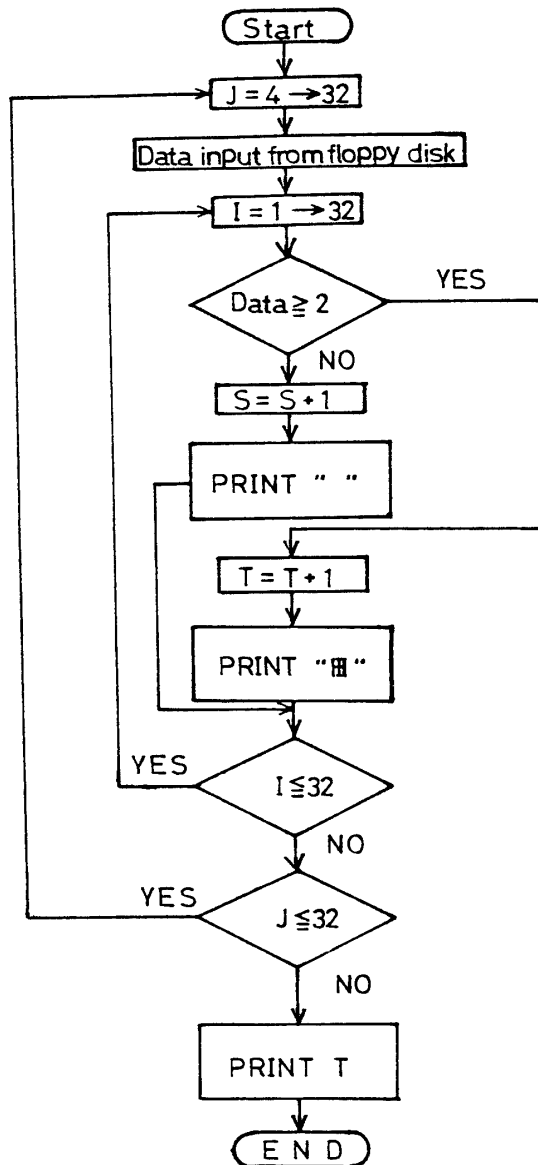


Fig. 7 Flow chart for thresholding.

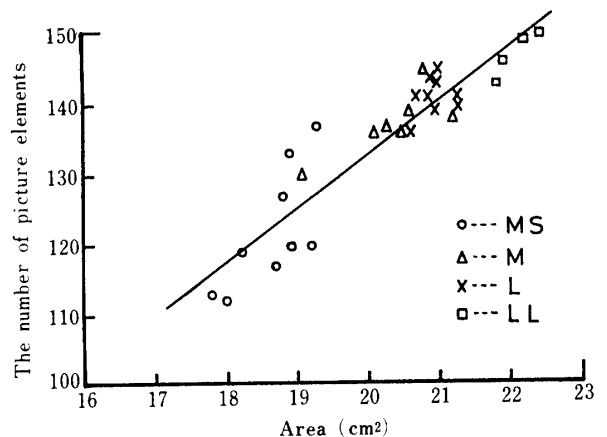


Fig. 8 Relationship between the area of projective cross-section and the number of picture elements in digital image of eggs.

試料とした。しかし、これらの形状を測定した結果、実際は LL 級 4 個、L 級 9 個、M 級 7 個、MS 級 9 個であった。

実験は前節 1 と同じ方法で行ない、T.V. カメラから試料までの距離は 70cm に固定した。その結果を Fig. 8 に示す。

鶏卵の場合も前節と同様にまずヒストグラムから、しきい値を 2 として面積を計算した。また、鶏卵の投影断面積は  $(\pi \times \text{長径} \times \text{短径} \div 4)$  として求めた。このようにして求めた平均画素数は LL 級で 147.0、L 級で 141.0、M 級で 137.3、MS 級で 122.0 となり、平均 1 画素あたりの面積は  $0.15\text{cm}^2$  となった。図からもわかるように、面積と画素数は正の相関を示す。有意水準 0.05 で相関係数は 0.923 となった。また、画素数 145 以上を LL、144 以下 140 までを L、139 以下 135 までを M、134 を以下を MS 級とすると、範囲外のもの LL に 1 個、L に 2 個、M に 2 個、MS に 1 個となる。このように鶏卵の場合は多少の誤差はあるが、大きさによる階級選別も可能であった。これは 1 画面のサンプリング数が少ないためであり、サンプリング数を増やすことにより、より高精度の選別が可能になるものと考えられる。

以上、電子計算機による画像処理のための入力装置を試作し、試作した装置を用いて、正方形、正三角形、円および鶏卵を試料として簡単な画像処理を行なった。その結果、いずれも多少の誤差はあったが階級選別が可能になった。多少の誤差の出たのは、1 画面のサンプリング数が少ないためであり、これを増やす事により、より正確な選別が可能であると考えられる。また DMA (Direct Memory Access) 制御の行なえる電子計算機を使用すれば、外部メモリは不要となり、さらにリアルタイムでデータの入力、処理が可能であると思われる。

## 要 約

赤外線映像法で得られた農産物の表面温度パターンを電子計算機に入力し、農産物の品質判定の自動化をはかるための第 1 段階として、T.V. カメラで撮影した画像を電子計算機に入力するための簡単な入力装置を試作した。また、試作した装置を用いて電子計

算機による簡単な画像処理を行った。

入力装置は映像増幅回路、同期信号分離回路、A/D 変換回路、メモリ制御回路、および、メモリ回路等から構成されている。

1 画面のサンプリング数は  $32 \times 32 = 1024$  個とし、1 サンプリングの変換時間は  $1.6\mu\text{s}$  以下とした。また分解能は 3 ビットとした。

種々の大きさの正方形、正三角形、円および鶏卵を試料とし、試作した入力装置を用いて画像処理した結果

(1) 正方形、正三角形、円は平均誤差 3.5% 以下で判別が可能であった。

(2) 鶏卵の場合も、その大きさは実際の計測値とよく一致し、測定は充分可能であった。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、実験に協力していただいた当研究室の萩原 耕、榎田耕治の両氏に謝意を表します。

## 文 献

- 1) Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E.: Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. I. Grading of fruits for bruise and other surface defects. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.* 14, 123-138 (1978)
- 2) Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E.: Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. II. Discrimination of fertilized and unfertilized eggs during the incubation period. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, 15, 123-138, (1979)
- 3) Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E.: Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. III. Maturity evaluation of fruits vegetables. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, 16, 157-164, (1980)
- 4) 小町祐史: 簡易高速 A/D 変換器の製作. *エレクトロニクス*, 22(13), 57-63 (1977)
- 5) 宮里 満・石黒悦爾・団野皓文: 赤外線映像法による農産物の品質判別に関する研究 IV. 果物およびいも類の傷の判別について. *鹿大農学術報告*, 31, 149-156 (1981)
- 6) 長橋芳行: A-D/D-A 変換回路の設計, p. 121-124, CQ 出版社, 東京 (1980)
- 7) 長尾真監訳: デジタル画像処理, p. 256-283, 近代科学社, 東京 (1977)
- 8) 中田和男: パターン認識とその応用, p. 187-200, コロナ社, 東京 (1977)

## Summary

An infrared imaging method has been adopted for the purpose of the quality evaluation of agricultural products. The differences between the normal and the damaged agricultural products can

be recognized by an image-processing of the thermal image.

An experimental input-apparatus for the microcomputer was designed and was constructed. The apparatus was composed of the following items: a video amplifier, a synchronizing-signal separator, an analog/digital converter, an address controller and a memory. Its specifications were as follows: number of sampling per frame is  $32 \times 32 = 1024$  elements, time-conversion is less than  $1.6 \mu\text{s}$ , resolution is 3 bits.

Test-pieces used for the preliminary experiment were 'square', 'equilateral triangle' and 'circle' in various dimensions. Samples used for the experiment were eggs in three grades obtained from the market.

From these experimental results, the possibility was ascertained, of recognizing simple pictures obtained by the image-processing of the thermal image.

(1) In case of test pieces, such as 'square', 'triangle' and 'circle', the shapes can be recognized within the mean error less than 3.5%.

(2) In case of eggs, the shapes were recognized in good agreement with practical grade.