

VF2M形ビジョンコントローラの開発

落合 誠 士*¹⁾ 大谷 薫*²⁾ 塩路 卓也*³⁾
紀伊 雅人*⁴⁾ 木谷 与一*⁵⁾ 中島 和幸*⁶⁾

1. まえがき

FMS,FAさらにCIMへと生産ラインの自動化が高度に進展する中、人間の感覚機能の機械化に対する期待が大きくなってきている。VF2M形ビジョンコントローラは、工場の生産工程や検査工程での製品外観検査・欠陥検査・異種混入検査・製品分類・刻印文字識別など、従来、人間の目に依存していた作業を自動化し、製品品質の安定化、生産性の向上に寄与することを願って開発された画像処理技術を用いた視覚センサである。

以下にVF2M形ビジョンコントローラの概要と開発時におけるポイントを述べる。

2. 開発の狙い

センサのニーズは点から線、線から面へと、また見方を変えると感覚から知覚、知覚から認識へと知的側面を伴う方向へと要求が拡大している。とくに、人間の五感である視覚、聴覚、触覚、味覚、臭覚にまつわるセンシングは空間的広がりを持った対象や、また感覚的な判断を伴う対象が多く、これらの機械化は期待に反して思うほど進んでいない。とくに知的機械の重要課題である視覚機能は、人間の目との対比で性能が評価されることが多く、先行する要求に画像処理技術が追従できていないのが現状である。生体の視覚系のメカニズムも次第に解明されつつあるが、工学的応用にはまだ暫く時間を必要としている。このことから、自動化の要求や期待と科学技術の発展とを鑑み、人間の目の弱点を補い、汎用性に富んだ視覚センサとしてVF2M形ビジョンコントローラを開発した。

この開発にあたっては以下に列挙するような点に留意し進めた。

1. 外観検査を目的とし、目視検査では得られない定量的

データを取得できること。

2. FA 現場でのラインのスピードに追従できるリアルタイム処理を実現する。
3. 多種多様な検査要求でも、現場サイドのプログラミングで可能とする。
4. 設定項目の多くをユーザフレンドリな操作環境で容易にする。
5. 変種変量生産に対応できるようシステムに柔軟性を持たせる。
6. 外部環境変化に対するロバスト性を考慮し、環境補正や画像改善機能を強化する。
7. ローコストであること。

3. 画像とは ^{(1),(2),(3)}

画像処理とは、画像に人為的な処理を施し有益な情報に変換する処理の総称であり、これに関する技術体系は広い分野に跨がっている。VF2Mでは画像変換、画像計測、画像認識が主体となって技術的構成がなされている。

画像変換：撮像系の補正、人間の視覚特性への画質改善処理。

画像計測：画像の持つ特徴的図形や濃度分布を数値表現する処理。

画像認識：画像の構造分析・特徴抽出・現象把握を行い、数値へ変換する処理。

以下に、画像処理のための画像の取扱いについて述べる。

一般的に、画像とは明るさという成分をもった個々の点が対象平面上に分布したものである。ここで明るさとは明度 (brightness), または濃度値 (gray level) と呼ばれ、二次元平面上のある座標を (i, j) とすると、その点の明るさは $f(i, j)$ として表現される。これを図1に示す。

この画像をコンピュータで処理するためには、まず、処理装置に画像を取込み、そしてその画像をデジタル化する必要がある。

通常、画像はTVカメラを用いて処理装置に取込む。標準のテレビジョン方式では、1/30秒間に525本の走査線で

*1) 研究部計測制御第一グループ担当部長
*2) 研究部計測制御第一グループ担当課長
*3) 研究部計測制御第一グループ
*4) 同上
*5) 同上
*6) 同上

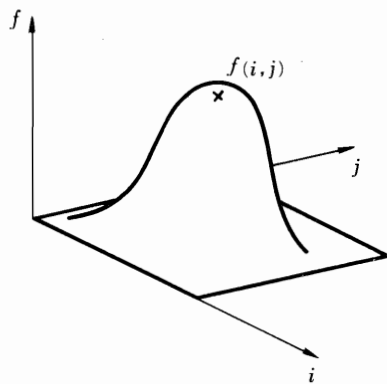


図1. 画像の概念

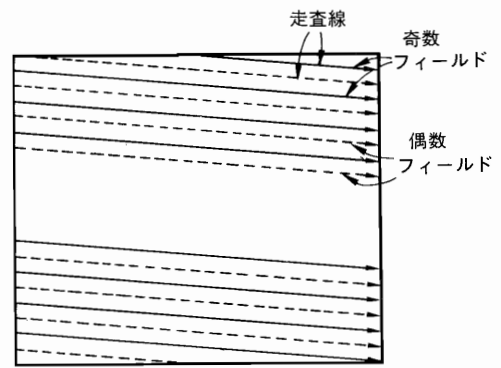


図2. 画面の走査

画面を走査することによって1画面(1フレーム)を構成する。(図2) また、1フレームは2つのフィールド(偶数と奇数)から成っており、それぞれのフィールドは互いの走査線の間を埋めるように、1/60秒間に262.5本の走査線で画面を走査する。このような走査を飛越し走査(インターレース)という。この走査によって、二次元の連結性を持った画像情報は一次元情報に変換される。

画像をデジタル化するには、画像面上に離散的に標本点を配置し、この標本点の濃度値を離散的な値に変換(量子化)することによって行う。標本点の配置には、正方形、三角形、六角形の格子状に配列する方法があるが、続く処理が容易な正方格子(図3)が最もよく用いられる。なお、この標本化により分割された小領域を画素(pixel)と呼ぶ。産業応用の画像処理装置では、画像配列(M×N)のMに256または512を用いることが多く、左上端を原点(0,0)として処理を行う。

量子化には、全標本点のとり得る濃度値範囲において、量子化間隔を一定にする方式や、濃度値や濃度値分布により量子化間隔を変える方式などがあり、その目的によって選択される。なお、この量子化時の濃度値の分解能を階調と呼び、階調が2である画像を2値画像(binary image)といい、それ以外を濃淡画像(gray image)という。産業応用では2値画像を用いて画像処理をする場合が多い。

一般に、標本化と量子化は、きめ細かいほど再生画像は良くなる。しかし、実際には標本化で64×64~1024×1024、量子化では32~256階調(2階調は特別の場合)の範囲で行われていることが多く、これをむやみに大きくすると、情報量が指数関数的に増加し、処理時間や記憶容量が増大する。

このようにして空間的、連続的であった画像はデジタル画像に変換され、この画像に対して様々な処理が施される。また、画像は濃度値を配列要素にしたM×Nの行列式(図4)として表すこともできる。

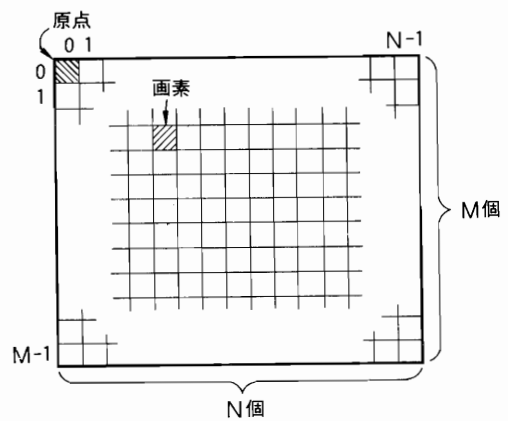


図3. 画像の配列

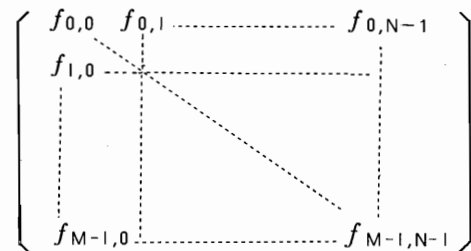


図4. 画像の行列式

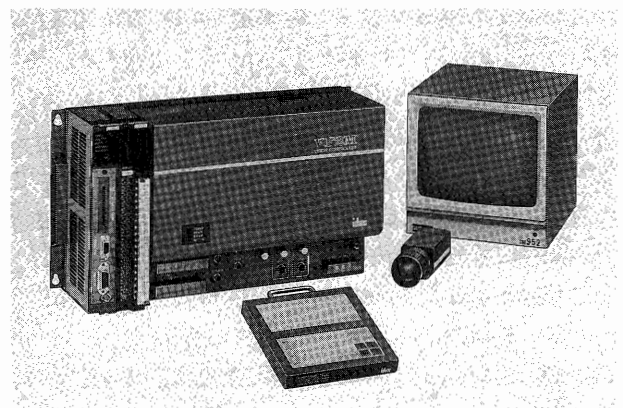


図5. VF2Mの外観

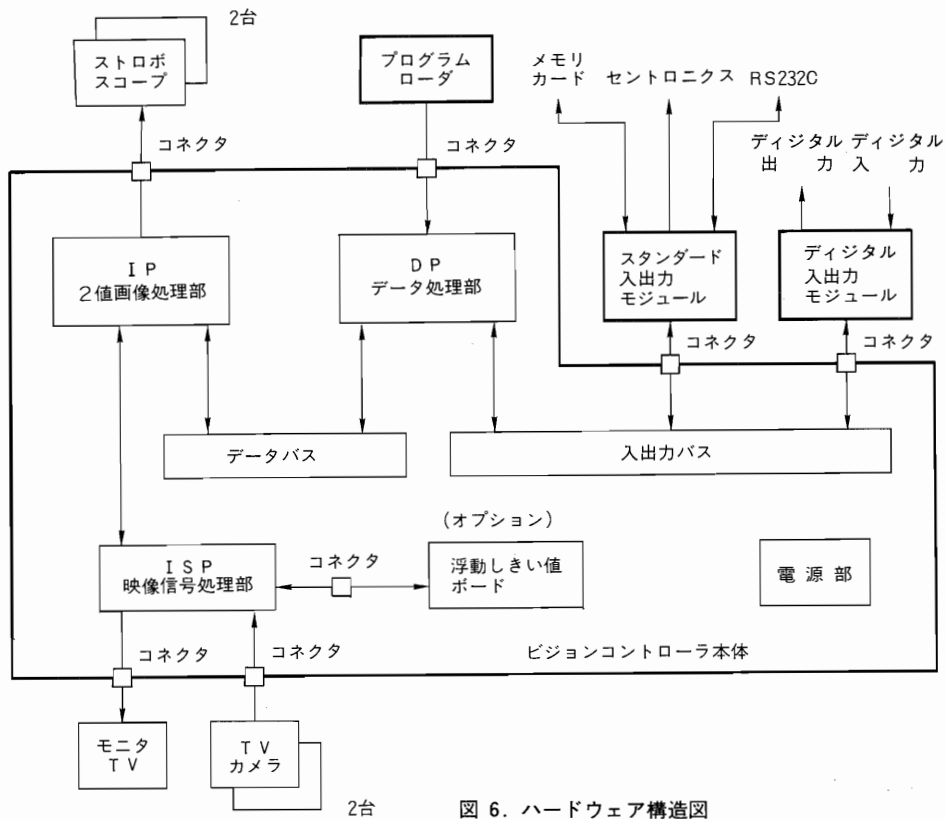


図 6. ハードウェア構造図

4. VF2M形ビジョンコントローラの実際

4.1 システム構成

VF2Mのシステム構成は、ビジョンコントローラ本体と入出力モジュールおよび周辺機器(プログラムローダ, TVカメラ, モニタTV, 照明設備等)群から成る。画像を処理し判定する中核となるのはビジョンコントローラ本体であり、その外観を図5に示す。そのハードウェア構造は図6に示すように映像信号処理部, 2値画像処理部, データ処理部, 電源部から成っており、以下にその機能の概要を述べる。

1) 映像信号処理部

映像信号処理部では、TVカメラからの映像信号(NTSC規格を使用: テレビジョン放送規格の映像信号でNTSC, PAL等がある)を信号処理した後、2値化処理を行うことによって対象物の2値画像を生成する。通常映像信号は明度信号と色信号とが合成されたものであるがVF2Mでは明度信号のみを対象としている。

2) 2値画像処理部

2値画像処理部では、映像信号処理部で2値化された画像に改善処理を施し、計測すべき領域を切出す。その後、対象とする画像の幾何学的特徴を抽出する。

元来、特徴抽出はソフトウェア的手法によって行われる例も少なくないが、高速判定を要求される産業目的のため、コストパフォーマンスの限界まで画像前処理回路としてハードウェア化し要求を満足させている。

この回路は画像演算(画像反転, 近傍演算, 論理演算), ランレンジス, 水平・垂直射影, イメージメモリ, 画素計数の機能回路で構成し、イメージメモリを中心としてサイクリックに動作させることができる。この動作をダイナミックにかつ最適に制御するため1個の16ビット汎用マイクロプロセッサを配置している。

3) データ処理部

データ処理部には、モニタ画面と対話方式でプログラムの作成を行うプログラミング機能、各種の映像やメッセージ画面を制御する画面制御機能、2値画像処理部で得られた画像の特徴値に基づいて判定を行う判定処理機能、判定の結果を外部機器に送り出す入出力機能を有している。これらの処理には1個の16ビット汎用マイクロプロセッサと1個の64ビット(倍精度)浮動小数点演算プロセッサを配置し処理の高速化を図っている。

4) 入出力モジュール

判定結果は入出力モジュールを介して外部機器やPLCへ送り出される。入出力モジュールは様々の外部機器とのインタフェースが容易なように多種類のものを用意し、着脱可能な構造とした。

それらは、直接アグチータを駆動するためのデジタル入出力、プリンタへの印刷を可能としたセントロニクスインタフェース、ホストコンピュータとの通信のためにRS232Cインタフェース、作成されたプログラムを保存したり、段取り換え時のプログラムローダ

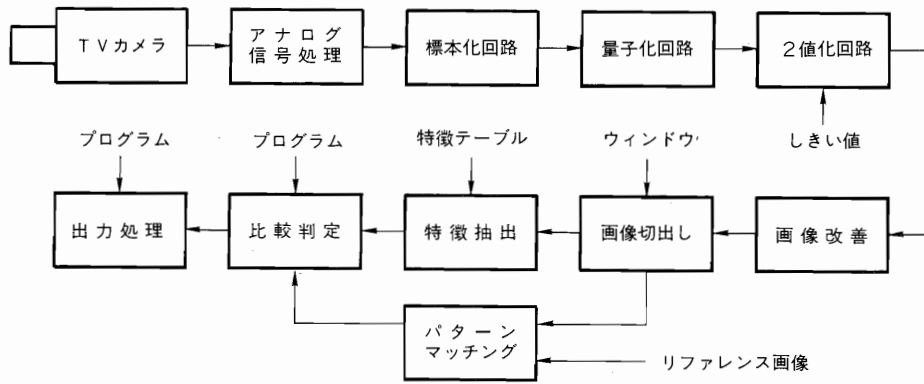


図7. 処理の流れ

イングのためのメモリカードインタフェースである。

4.2 性能仕様

VF2M形ビジョンコントローラの性能仕様を表1に示す。

4.3 基本動作

VF2Mが対象物をどのように画像化し、その画像をどのように処理するかを述べる。また、その流れを図7に示す。

- 1) 2次元TVカメラで捉えた対象物の映像信号は、映像信号処理部へ入力される。
- 2) 映像信号処理部ではフィルタ、クランプ等のアナログ的な信号処理を施した後、水平・垂直方向に標本化(サンプリング)し、256×220の正方格子に分割する。
- 3) 分割された映像信号を、高速A/D変換器で量子化し、64階調のデジタル画像(濃淡画像)に変換する。この標本化および量子化されて得られた単位画像は画素と呼ばれ、位置と明るさの情報を持つ。
- 4) このデジタル画像をあるしきい値で白と黒の画素に分離し、2値画像(白黒画像)を得る。これを2値化といい、白画素を論理"1"、黒画素を論理"0"に対応させる。
- 5) この2値画像を論理フィルタでノイズを除去したり、画像を膨張・収縮させるなど、2値画像の改善を行う。また、必要に応じて画像の白黒反転も行う。
- 6) この2値画像から対象物の計測対象部分を切出す。計測対象を切出すための図形をウィンドウといい、矩形と楕円によってあらかじめ作図しておく。
- 7) ウィンドウ内の対象画像について幾何学的特徴を算出する。幾何学的特徴には、面積、周囲長、穴、外接長方形、等価楕円、重心、個数など約50種類が用意されており、どの特徴値を用いるかはあらかじめ設定しておく。これらの特徴値の算出を高速化するため画像前処理回路として専用ハードウェアが搭載されている。また、画像処理による判定や分類は幾何学的な特徴を

表1. 仕様

●一般仕様

電源電圧	AC100V +10%、-15% 50/60Hz
使用温度	0~45℃
相対湿度	45~85%(結露なきこと)
耐電圧	電源端子および入出力端子とケース間: AC1500V 1分間
絶縁抵抗	電源端子および入出力端子とケース間: 10MΩ以上(DC500Vメガ)
耐ノイズ性	電源および入出力、±1000V以上(50ns、1μs)、パルス発生器による
耐振動	JIS C 0911に準拠、10~55Hz、0.075mm、掃引回数10
耐衝撃	JIS C 0912に準拠、10G、XYZ3方向
寸法・重量	本体: 454W×250H×146D mm、約8.5kg プログラムローダ: 148W×148H×20D mm、約500g
消費電力	約100VA

●性能仕様

画像入力	カメラ	2次元固体モノクロカメラ、レンズマウントC
	画像取込時間	1/60秒(16.7msec)
	同期方式	外部同期
	カメラ接続台数	2台(カメラ切換えモード: 5種類)
	処理分解能	256×220画素
判定処理方式	特徴抽出およびパターンマッチング	
シーン数	最大4(外部信号によるシーン切換え可能)	
実行モード	連続モード(連続処理)、同期モード(トリガ入力に同期)	
処理時間	最小16.7msec(プログラム内容による)	
環境補正	濃度変換、シェーディング補正、明度補正	
2値化	固定しきい値、浮動しきい値(オプションボードによる)	
2値前処理	画像反転、平滑フィルタ、画像膨張、画像収縮	
位置補正	平行移動	
切領出域し	ウィンドウ数	最大16個(サブウィンドウ最大16個/1ウィンドウ)
	ウィンドウ形状	矩形、楕円、および矩形・楕円を組合せた任意図形
	計測ライン数	最大16本
特徴コマンド	重心間距離、面積、周囲長、形状係数、楕円、穴、円、外接長方形、重心、投影長、重心-周囲間距離、個数、弦、線、端点、座標値など56種類	
プログラミングコマンド	ユーザ定義式、デジタル出力式、データ出力式、BCDデータ出力式、バイナリデータ出力式、表示出力式、通信出力式、印刷出力式、制御文(条件判断文、分岐文、繰返し文)	
キャリブレーション	スケール設定、原点座標設定	
テスト運転	特徴値の最大・最小・平均・標準偏差をテーブル表示	
外部制御	入力	カメラ切換え、トリガ、スタート、ストップ、リセット
	出力	エラー、フォールト

数値などに置き換え比較判断する方法のほか、基準となる画像と図形的に重ね合わせて不一致度を比較する方法がある。前者は特徴抽出法、後者はパターンマッチング法と呼ばれている。VF2Mではパターンマッチング法にも対応できるように、リファレンス画像採取機能やパターンマッチング用特徴コマンドを用意している。

- 8) 求められた特徴値(またはその加工された値)と基準値との類似度を比較判定する。この比較判定はユーザ定義の算術式や判定式によって行う。
- 9) 比較判定の結果に従ってデジタル出力をON/OFFさせる。また、この結果はデータ出力, シリアル通信出力, 印刷出力へも送り出すことができる。

5. 開発のポイント

5.1 高速画像処理回路の実現

FA用画像処理装置を構成する場合, 高信頼性や高機能は勿論のこと, ラインを流れる被対象物を非接触で見逃すことなく捉えるためにリアルタイムな応答特性が要求される。

VF2Mでは以下に述べるような高速手法を用いこれに対処した。

5.1.1 マルチマイクロプロセッサ⁽⁴⁾

VF2Mでは2値画像処理部とデータ処理部にそれぞれ1個の汎用マイクロプロセッサを配置し, これらを密に結合したマルチマイクロプロセッサとして構成した。マルチプロセッサは多くの方式が考案され使用されており, VF2Mで用いたマルチプロセッサは一方のプロセッサのメモリ空間を他方のプロセッサのメモリ空間へ写像する方式で, 写像がメモリ空間に配置されたウィンドウ(窓)と呼ばれる領域を介して行われるところからバスウィンドウ形と呼ばれている。具体的には, データ処理部のプロセッサ(以下DPと呼ぶ)が, 2値画像処理部のプロセッサ(以下IPと呼ぶ)のメモリ空間内に配置された共有領域やまたはデータ領域へアクセス要求する場合, DP内に設定されたバスウィンドウ領域へアクセス要求を起こす。この要求はダイレクトメモリアクセス(DMA)と同じプロトコルでIPのメモリ空間へのアクセス要求として変換され, IPのバス使用权を得ることができる。

つまり, DPはあたかも自身のメモリ空間内へアクセスするが如くIPと情報交換を行うことができる。本来, プロセッサ間では双方向への写像が可能であるが, VF2Mではその必要性からIPのメモリ空間をDPのメモリ空間へ写像するのみの単方向写像とした。また, この写像はIPのメモリ空間全域に渡って可能である。これを図8に示す。

このバスウィンドウ形マルチプロセッサを構成することにより, ソフトウェアのオーバーヘッドを最小限に止めることができ, しかも最も密な結合形態であることからプロセッサ間通信が高速化され, 両プロセッサは通信時の負荷を感じることも無く並行して独立に処理を行うことができる。とくに, 画像処理の実行時にはこれが顕著となる。IPはTVカメラから取込んだ映像を処理し, 幾何学

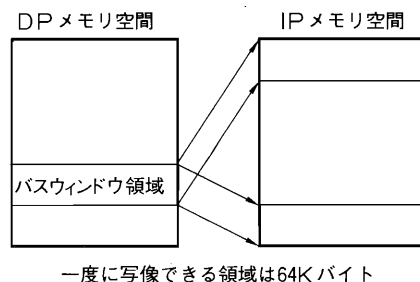


図8. バスウィンドウによる写像

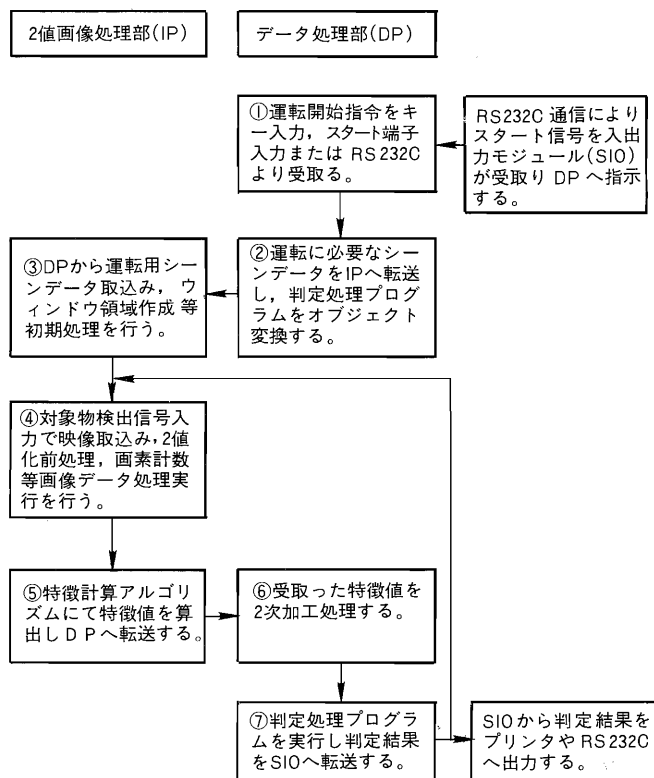


図9. 運転時の各プロセッサの処理

的特徴を抽出し, その値を先のバスウィンドウを経由してDPへ転送する。転送直後, IPは再びTVカメラから映像の取込みに移る。一方, 特徴値を受取ったDPはユーザの作成したプログラムに基づいて解析, 判定の処理を行い結果を出力する。出力が完了すると続いて次の特徴値が送られて来るといった具合に2つのプロセッサは協調的に並行動作を繰返し所要のアプリケーションを遂行して行く。

運転処理実行時におけるこれらのプロセッサの処理内容と相互の関連を図9に示す。

5.1.2 画像前処理回路

映像信号処理部で得られた2値画像は, 以下に述べる2値画像処理部の画像前処理回路で加工処理され, ソフトウェアによる特徴抽出処理の効率化, 高速化を図っている。

1) 画像演算

画像演算は画像反転、近傍演算、論理演算の回路から構成される。VF2Mでは白画像の計測が基本であり、画像反転機能を用いて計測画像をこれに合わせる必要がある。近傍演算は論理フィルタ、膨張、収縮、微分などの機能を持ち、 3×3 近傍演算器を用いて構成されている。これは後段の画像処理に不要なノイズを除去することなどに有用である。論理演算は入力画像と既にイメージメモリに保存されている画像間の論理積、論理和または排他的論理和を行う機能を持ち、2画像間の差異を見つけだすのに有用である。

2) ランレングス

2値画像は白画素と黒画素から成っており、何らかの意味を持つ画像は互いに分散することなく白画素は白画素で、黒画素は黒画素で塊を形成していることが多い。このような塊の水平方向に連続する白画素(または黒画素)をランといい、連続する画素数とその先頭画素の水平位置および属性をランレングスコードとしてハードウェアで生成している。このコードを用いることによって連結性解析、とくにラベリング処理に効果を発揮し、画像の個数計数、穴数計数などの特徴を高速に、しかも効率的に抽出できる。

3) 射影

射影とはある画像をX軸またはY軸に投影させた場合に得られる図形で、それぞれの軸に対応させ水平射影、垂直射影という。この様子を図10に示す。この値は重心計算のほか重心間距離、投影長、外接長方形、楕円、端点座標値の計算を高速化するために用いられる。水平射影回路は1つの水平位置における各垂直ライン毎の有効画素の積算値を、1画素時間内で読み書きできるように高速メモリを採用した。垂直射影回路はソフトウェア処理との併用で1水平期間内の有効画素の計数を行う方式とした。

4) イメージメモリ

イメージメモリは画素演算を行った画像を保存するための記憶回路である。複数の幾何学的特徴の抽出を必要とする場合は、このメモリから再呼出しを行って再び異なる画像演算機能をサイクリックに行わせることができる。なお、イメージメモリは2面用意されており、一方は汎用目的として、他方はパターンマッチング時の基準画像用や論理演算のような2項演算におけるデスティネーション用として用いることができる構造である。

5) 画素計数

図形の幾何学的特徴は面積で代表されるように画素計数が処理の大部分を占める。このためVF2Mにおいては、画素計数器をウィンドウに対応した数だけ配置し処理の高速化を図っている。つまり、画素計数を必

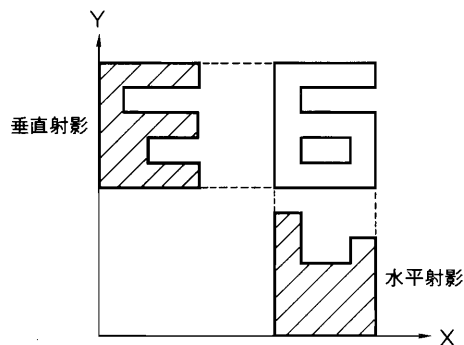


図10. 射影

要とする幾何学的特徴は異なる16箇所の計数をビデオレートの1サイクルで完了させることができる。

5.1.3 パイプライン制御⁽⁵⁾

VF2Mは、前節で述べた画像前処理回路の結果から総合的に演算を行い1つの特徴値を与える構造となっている。ところでVF2Mでは1水平期間(NTSC規格で約63.5 μ sec、ただしこれには水平帰線期間も含まれている)の走査によって画像の水平成分を256画素に分割し、この水平走査を垂直方向に220回走査することによって、1つの画像を得ている。この水平期間の制約、また画素が正方形であることの制約から、1画素あたり約160nsecで処理を終えなければならない。ところが前述のように画像前処理回路は多くの機能回路を包含しており、これらの同時処理は時間的に不可能である。これを解決するために各機能回路を直列に接続し順送りに処理を加える方式であるパイプライン制御を取入れた。これによりパイプラインの出口から約160nsec毎に加工処理された画素が得られることになり、見掛け上機能回路全体が1画素あたり約160nsecで動作していることになる。

5.2 高速特徴抽出アルゴリズム^{(2),(3),(6),(7),(8)}

VF2Mでは、約50種類の幾何学的特徴を抽出でき、これは前項に述べた画像前処理回路によって得られた特徴値を基に行われる。特徴抽出するためのアルゴリズムには、次のような2つの種類が存在する。

- 1) 画像前処理回路で得た特徴値がそのまま(又は、僅かなソフト処理により)特徴値となるもの(穴を含まない面積など)。
- 2) ソフト処理に工夫を必要とするもの。

ここでは2)の中の重要と思われるアルゴリズムについて述べるが、これらのアルゴリズムは測定精度は勿論、処理速度についても重視されたものとなっている。

5.2.1 個数・穴のアルゴリズム

個数・穴に関する特徴量を求めるには2値化された画像の連結成分ごとにラベリング(同じ塊に属するすべての

画素に同じラベル(番号)を割当てる処理)を行う必要がある。ラベリングのアルゴリズムには、様々な方法があり、本装置ではランレングスデータを用いて以下のアルゴリズムで行っている。(図11)

- 1) K(K=0)行目についてランレングスデータを調べ、白のデータ r_i ごとにラベル L_i を付ける。
- 2) $K=K+1$ とする。
- 3) K行目についてランレングスデータを調べ、白のデータ r_j があれば(K-1)行目を調べ r_j と連結するデータをすべて探し出し、その中の最小ラベルを r_j のラベル L_j とする。さらに0行目から(K-1)目の中で r_j と連結しているもののラベルを L_j に変更する。(K-1)行目にランレングスデータが無ければ新しいラベルを r_j に付ける。この操作をK行目のランレングスデータが終わるまで繰り返す。
- 4) K行目が画面の最終行となるまで2)3)の操作を繰り返す。

以上が、個数におけるラベリングのアルゴリズムである。なお、連結性解析は8近傍で行っている。

穴の場合もほぼ同様であるが、連結性解析は4近傍で行われる。

5.2.2 重心のアルゴリズム

画像の重心はモーメント計算を行うことにより求めることができる。

2次元画像を $f(i,j)$ と表すと、モーメントは一般に次式で定義される。

$$M_{pq} = \sum_{ij} i^p \cdot j^q \cdot f(i, j) \quad \dots\dots\dots(1)$$

この式を用いると重心のX座標GX及びY座標GYは次のように表される。

$$GX = M_{10}/M_{00} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$GY = M_{01}/M_{00} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここでは M_{00} は面積を表しており、本装置では、画素カウンタにより得ることができる。 M_{10} については、水平射影データとそのX座標値の積を加算することで、また M_{01} については垂直射影データとそのY座標値の積を加算することで得ている。

5.2.3 等価楕円の傾斜角 (図12)

等価楕円の傾斜角(慣性主軸とX軸のなす角)は、次式の

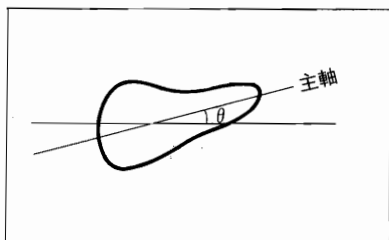


図12. 等価楕円の傾斜角

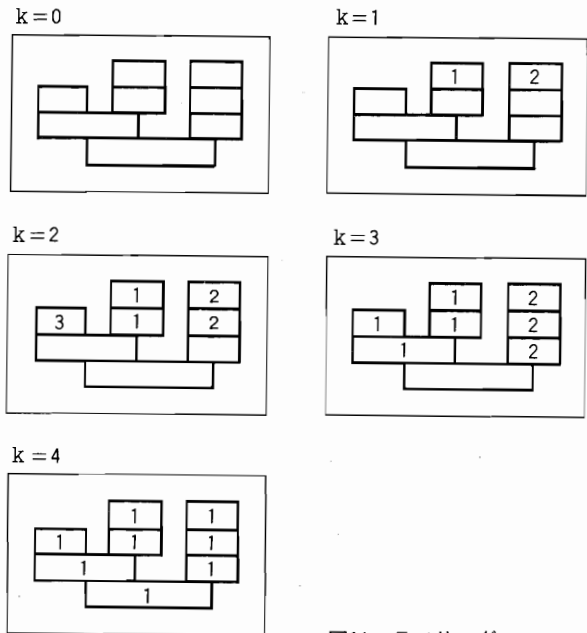


図11. ラベリング

θ で表される。

$$\tan 2\theta = 2 m_{11} / (m_{20} - m_{02}) \quad \dots\dots(4)$$

ここで、 m_{11} , m_{20} , m_{02} は、重心を原点とするモーメントで以下の計算式から得られる。

$$m_{11} = \sum_{ij} (i - GX)(j - GY) f(i, j) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$m_{20} = \sum_{ij} (i - GX)^2 f(i, j) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$m_{02} = \sum_{ij} (j - GY)^2 f(i, j) \quad \dots\dots\dots(7)$$

なお、 θ は(4)式の右辺の計算を行った後、ROM上の $\tan X$ のルックアップテーブル(以下LUTと呼ぶ)より求められる。しかしながらここで得られる θ は $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ の範囲であるため、以下の方法により $-90^\circ < \theta \leq 90^\circ$ まで拡張される。

m_{11} , m_{20} , m_{02} は次のような図形的意味をもつと考えられる。

$m_{11} > 0$: (主軸の傾き) > 0

$m_{11} = 0$: (主軸の傾き) $= 0$

$m_{11} < 0$: (主軸の傾き) < 0

$m_{20} - m_{02} > 0$: 水平方向に分散した図形

$m_{20} - m_{02} = 0$: 水平方向、垂直方向とも均一な分散の図形

$m_{20} - m_{02} < 0$: 垂直方向に分散した図形

以上の図形的意味より次のように場合分けできる。

(a) $m_{11} = 0$, $m_{20} - m_{02} \geq 0$ のとき

$$\theta = 0^\circ$$

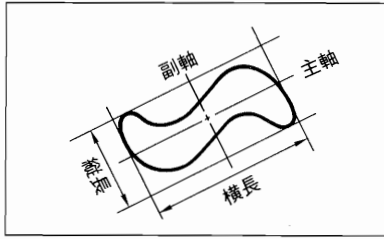


図13. 外接長方形の縦長, 横長

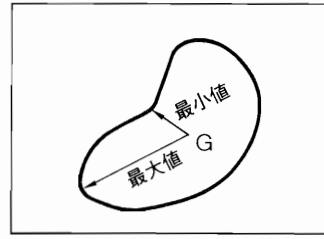


図15. 重心一周囲間距離の最大値, 最小値

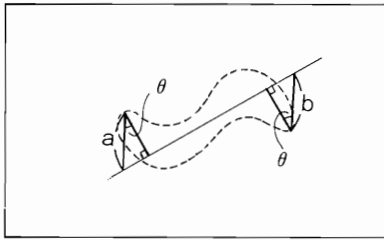


図14. $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ の縦長

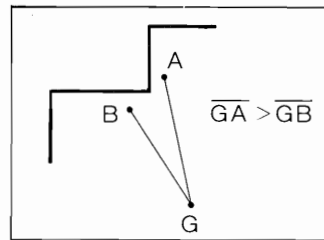


図16. 中間点が最小値となる場合

- (b) $m_{11} = 0, m_{20} - m_{02} < 0$ のとき
 $\theta = 90^\circ$
- (c) $m_{11} > 0, m_{20} - m_{02} > 0$ のとき
 $0^\circ < \theta < 45^\circ$
- (d) $m_{11} > 0, m_{20} - m_{02} = 0$ のとき
 $\theta = 45^\circ$
- (e) $m_{11} > 0, m_{20} - m_{02} < 0$ のとき
 $45^\circ < \theta < 90^\circ$
- (f) $m_{11} < 0, m_{20} - m_{02} > 0$ のとき
 $-45^\circ < \theta < 0^\circ$
- (g) $m_{11} < 0, m_{20} - m_{02} = 0$ のとき
 $0^\circ = -45^\circ$
- (h) $m_{11} < 0, m_{20} - m_{02} < 0$ のとき
 $-90^\circ < \theta < -45^\circ$

5.2.4 外接長方形のアルゴリズム

外接長方形の縦長および横長を図13に示す。

外接長方形の縦長は、以下のアルゴリズムで求められる。

- 1) 重心座標を求める。
- 2) 等価楕円の傾斜角を求める。
- 3) 重心座標と傾斜角から主軸上の点の座標データを作成する。
- 4) 主軸の上側と下側で、周上の点と主軸との距離を求めその最大値をとる。なお、この処理は、測定誤差をできるだけ抑えるため、傾斜角 θ の値により次の4つの場合に分けて行われる。
 - (a) $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ の場合 (図14)

ランレングスデータの白データの開始点で、主軸より上にある点と主軸とのY方向距離の最大値a及び白データの終了点で、主軸より下にある点と主軸とのY方向距離の最大値bを求める。

$(a+b)\cos\theta$ が求める縦長となる。

- (b) $45^\circ < \theta < 90^\circ$ の場合
(a)のa,bの測定をX方向について行う。
 $(a+b)\sin\theta$ が求める縦長となる。
- (c) $-45^\circ \leq \theta < 0^\circ$ の場合
(a)の白データの開始点、終了点と主軸との関係を逆にして行う。
- (d) $-90^\circ < \theta < -45^\circ$ の場合
(b)の白データの開始点、終了点と主軸との関係を逆にして行う。

外接長方形の横長は、上記の主軸を副軸に置き換えることで求められる。

なお、 $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ の場合は水平射影データ及び垂直射影データより簡単に求めることができる。

5.2.5 重心一周囲間距離のアルゴリズム

・重心一周囲間距離の最大値 (図15)

- 1) $K = 0, L = 0$ とする。
 - 2) K行目のランレングスデータを調べ、その行中の最初の白点と最後の白点を探し、重心との距離 L_s, L_e を求める。 L_s, L_e, L の大きさを比較し、最大値をLに入れる。
 - 3) Kが最終行になるまで $K = K + 1$ として2)に戻る。
- 以上の操作が終了するとLに重心一周囲間距離の最大値が得られる。

・重心一周囲間距離の最小値 (図16)

最大値の場合には、上述のように比較的簡単なアルゴ

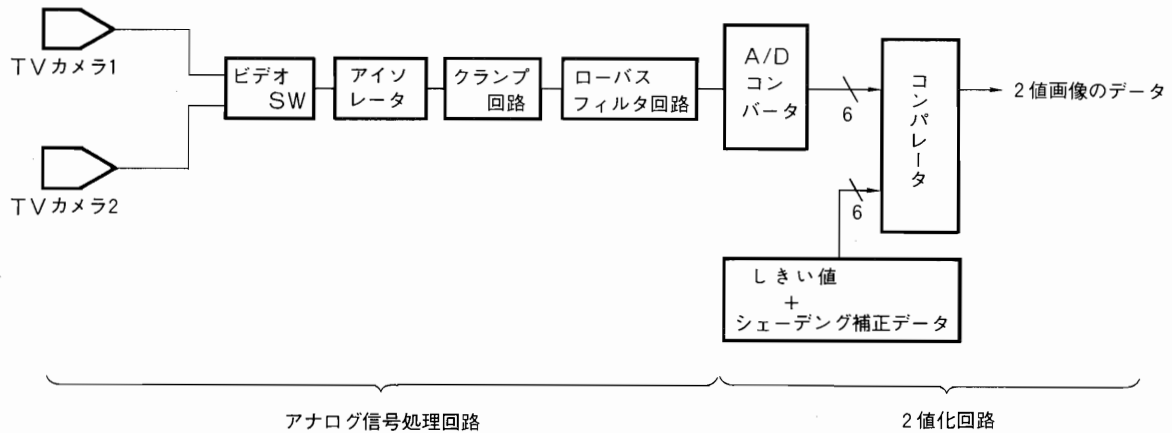


図17. 映像信号処理部

リズムで抽出できるが、最小値の場合には、その候補点がランレングスデータの端点以外に中間点にも存在するため、やや複雑なアルゴリズムとなる。

- 1) 重心の存在する列を縦に見ていき、その列における辺縁と重心との距離の小さい方をNとする。これはイメージメモリのデータにより行う。
- 2) $(i_c - N)$ 行目から i_c 行目までを以下のルールに従ってランレングスデータを調べることにより最小値の候補を得る。ここで i_c は重心の存在する行である。

ルール

$(i-1)$ 行目において、 $x_R \leq x_G \leq x_L$ なる2点 (x_R, y_{i-1})
 (x_L, y_{i-1}) がその行中の最小値であるとき、 i 行目では
 (x_R-1, y_i) 、 (x_L+1, y_i) と白ランレングスデータの端点の4点が最小値候補となり、この中から最小値候補を1つ選ぶ。

ここで x_G は重心のX座標である。

- 3) $(i_c + N)$ 行目から i_c 行目までを2)と同様の方法で、ランレングスデータを調べることにより最小値を得る。
- 4) 2)と3)で求めた2つの最小値候補を比較することにより、最小値が得られる。

5.3 良質な2値画像生成

2値画像はTVカメラで捉えた映像にアナログ的な信号処理を施し、標本化、量子化を行いデジタル画像に変換後、適切なしきい値で白画素、黒画素を分離することによって得られる。以下に2値画像生成の過程を述べる。

5.3.1 アナログ信号処理回路

図17に映像信号処理部(アナログ信号処理回路と2値化回路)のブロック図を示す。

TVカメラから入力された映像信号は、TVカメラ2台を切替えるために設けられたビデオSWを経て、ビデオアイソレータに入力される。これはフォトカプラを用いてアイソレーションを行っているが、ここで問題となるの

が周波数特性である。周波数特性の上限値は水平方向の分解能により決定され、VF2Mの場合は約6.3MHzのサンプリングレートであることから、必要とされる周波数特性の上限値は1/2の約3.15MHz以上となる。これを実現するためフォトカプラに周波数特性補正用の回路を付加し、3.3MHz(-3dB)以上の特性を得ている。

アイソレータから出力された映像信号はクランプ回路に入力される。この回路は映像信号のDCレベルの復調のためのもので、とくに仕様上、TVカメラ2台が瞬時に切替わる可能性があるため応答の高速性が要求される。このため水平同期信号ごとに毎回クランプすることにより高速性を実現した。続いてノイズ除去用のローパスフィルタ回路へ入る。このフィルタの特性は本来なら傾斜特性のよいフィルタが望まれるが、前述したようにアイソレータでの周波数がおよそ3.3MHz(-3dB)であるため、アイソレータを含めて周波数特性と遅延特性を得られるようにした。フィルタの遮断特性は遅延特性の有利なベッセル形とした。

5.3.2 2値化回路としきい値処理

2値化とは映像信号の持つ明るさ情報があるレベルで明るい部分と暗い部分に切分ける処理で、それぞれを白画素と黒画素に対応させて以降の処理を行う。なお、その切分けたレベルをしきい値といい、このために構成された回路を2値化回路という。VF2Mでは映像信号をデジタル画像に変換後デジタルコンパレータを用いて2値化を行うため、しきい値も0~63のデジタル量として指定可能である。

VF2Mでは固定しきい値法と浮動しきい値法の2つの方式を選択可能とした。

- ・固定しきい値法：画面の全体または部分に対して固定的にしきい値を与える方式。
- ・浮動しきい値法：映像の濃淡に応じてしきい値を自動

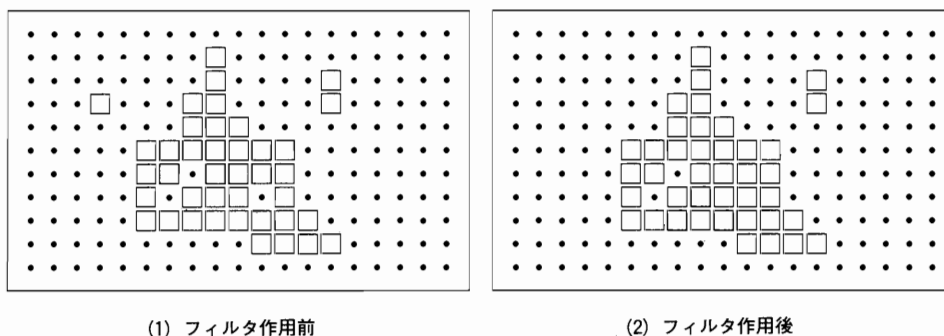


図18. 孤立点除去フィルタ使用例

的に変化させる方式で、傷の検出などに有効。

ここでは一般によく用いられる固定しきい値方式について述べる。

VF2Mの固定しきい値方式の大きな特長は、「しきい値の設定領域とウィンドウの設定領域がまったく独立している」ことにある。つまりしきい値はウィンドウで切出された領域に対して設定するのではなく、ウィンドウとは無関係に画面に対して設定する。このような方法にすると、「ウィンドウごとにしきい値を設定する」方法と比較した場合、次のような利点がある。

- 1) 複数のウィンドウの全体または一部を重ねて使用したとき、その重なった領域のしきい値が重複することなく、使用者の意図に反した2値画像になる恐れがない。
- 2) ウィンドウ領域の中に照明むらなどによる明るさの変化がある場合、ウィンドウ内のしきい値を部分的に変更して補正することにより、より良好な2値画像を得ることが可能になる。

ただし、画面を「横16×縦13」に分割した1つをしきい値設定領域の最小単位としており、あまりきめの細かいしきい値設定や、ウィンドウ形状と全く同一のしきい値領域の設定は困難である。

5.4 環境の補正

照明変化、照明むらなどの環境変化に対しコントラストのよい安定な画像を得るため以下のような補正機能を強化した。

5.4.1 濃度変換

濃度変換は明るさに偏りのある原画像を偏りの少ない画像に変換する機能である。つまり、TVカメラの視野が全体的に薄暗い時、また明る過ぎる時など画面を適切な明るさに変え、続く2値化回路でのデジタル画像変換を安定に行えるようにしたものである。

これは予め8種類の入力と出力濃度の線形変換表をROM化しておき、映像信号の取込み時にリアルタイムで

入力濃度に対応した出力濃度を読出すLUT方式で行っている。

5.4.2 シェーディング補正

シェーディングとは、光学系(レンズの球面収差など)や撮像系などの影響によって、画像の周辺部分が暗くなるような不均一なひずみを生じる現象である。この現象は2値画像を劣化させ、誤判定の要因となる。

VF2Mでは、運転前に実際の運転環境下でシェーディング補正用データの採取を行い、これを係数としてしきい値に乘じることによって、補正を含めた最終的なしきい値を決定している。この係数は全画素に対応して算出されきめ細かい補正を実現している。

5.5 画像の改善

画像改善は2値画像に変換後、さらに良質の画像を得るため論理フィルタや膨張・収縮の手法を用いて後段の画像処理に不要ノイズなどを除去する機能である。

この機能は論理フィルタ(4種)、膨張(2種)、収縮(2種)、微分(3種)など多目的用途に設計された3×3近傍演算器を用いて実現している。3×3近傍演算器は、水平ラインの3世代分の画素情報を記憶するラインメモリとLUTで構成し、リアルタイム演算を可能にしている。近傍演算器とは正方格子(256×220)に配列された画素から、任意の注目画素を中心とする周囲画素を取出し、その論理的な関連から注目画素の状態を決定する処理を行う。注目画素の全周囲の画素を対象として演算を施す場合を8近傍演算といい、上下左右の画素を対象として行う場合を4近傍演算という。例えば8近傍演算を用いた孤立点(ごま塩雑音などと呼ばれる)除去を行うフィルタが、ある2値画像に作用する前と後を図18に示す。この論理は全ての周辺画素が論理“1”(または“0”)であれば注目画素を論理“1”(または“0”)にするものである。

5.6 計測領域の自在設定

5.6.1 ウィンドウ

VF2Mが2値画像の特徴値を算出する際の計測対象領

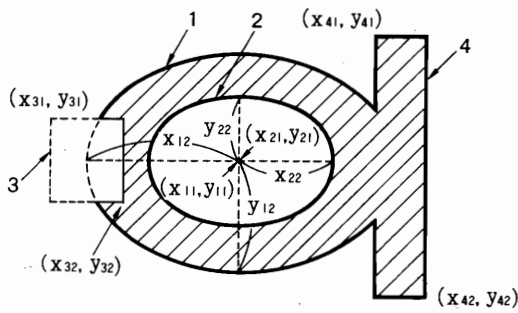


図19. 4図形の合成により作成された、1個のウィンドウ

域をウィンドウという。

このウィンドウは運転に先立って設定しなければならないが、この領域形状の指定にできるだけ自由度を持たせていることがVF2Mの特長の1つであり、矩形と円(または楕円)を最大16個まで用いて、それらを図形加算または減算することで1つのウィンドウとすることができる。ウィンドウは最大16個までが設定が可能である。つまり16種類の計測領域を設定することができ、また、それぞれのウィンドウは画面全体を対象とすることもできるし、画面のごく一部のみ限定することもできる。

ウィンドウの設定は、2組の十字のカーソルを用い、これらの4本のラインで囲まれた矩形または内接(楕)円を組み合わせることにより行う。図19は、楕円1を加算、楕円2を減算、矩形3を減算、および矩形4を加算の順序で加減算することによって得た図形で、斜線部分がウィンドウ図形となる。また、この時のウィンドウ指定データの構造を図20に示す。なお、処理の実行時には、ウィンドウ指定データを計測領域であるか否かを示すON/OFF情報としてウィンドウメモリ上に展開し、入力された2値画像が計測領域内にあればゲートを開にして次段の処理回路へ画像を通過させるよう回路は構成されている。

5.6.2 位置補正

FA現場での実使用時には搬送ラインなどの原因により、計測対象の画像がウィンドウ領域から逸脱し、正常な計測が行われないう事態が発生する。このため計測対象の画像位置と切り出し領域であるウィンドウとの相対位置を常に一定になるようにするための位置補正機能が備わっている。VF2Mでは重心位置とエッジ位置による2つの位置補正方式を用いており、いずれか一方を選択し使用することが可能である。

重心位置補正方式は、位置補正用ウィンドウ内の2値画像の重心位置を算出し、それをあらかじめ設定してある基準重心位置と同じ位置になるように、画面全体をX、Y両方向に平行移動するものである。

加算形状数：2 (0~16)	(1バイト)
減算形状数：2 (0~16)	
カウント色：0 (白カウント)	
カメラNo. : 0 (カメラ1)	
運転時表示指定：0 (表示有)	
加減算：加算 形状指定：楕円	サブウィンドウ ・データ1 (加算楕円)
楕円中心 Y座標：y ₁₁	
楕円中心 X座標：x ₁₁	
楕円半径 Y方向：y ₁₂	
楕円半径 X方向：x ₁₂	
加減算：減算 形状指定：楕円	サブウィンドウ ・データ2 (減算楕円)
楕円中心 Y座標：y ₂₁	
楕円中心 X座標：x ₂₁	
楕円半径 Y方向：y ₂₂	
楕円半径 X方向：x ₂₂	
加減算：加算 形状指定：矩形	サブウィンドウ ・データ3 (減算矩形)
矩形端点1 Y座標：y ₃₁	
矩形端点1 X座標：x ₃₁	
矩形端点2 Y座標：y ₃₂	
矩形端点2 X座標：x ₃₂	
加減算：加算 形状指定：矩形	サブウィンドウ ・データ4 (加算矩形)
矩形端点1 Y座標：y ₄₁	
矩形端点1 X座標：x ₄₁	
矩形端点2 Y座標：y ₄₂	
矩形端点2 X座標：x ₄₂	
.....	

図20. 1個のウィンドウに関するデータ例

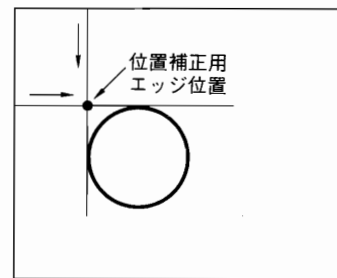


図21. 位置補正用エッジ位置

エッジ位置補正方式は、図21に示すように、位置補正用ウィンドウ内において画面の左上端から見てX方向およびY方向に最初に出会う点を位置補正用のエッジ位置と称し、この位置が予め設定してある基準位置と同じになるように画面全体をX、Y両方向に平行移動するものである。

これらの方式はそれぞれ長所と短所があり、それを表2に示す。

表2. 2つの位置補正方式の長・短所

方式	長所	短所
(1)重心位置補正方式	・ノイズに対して強く常に安定した位置補正が可能である。	・補正処理に時間がかかる。 ・VF2Mは位置補正に33msecを要する。
(2)エッジ位置補正方式	・補正処理時間が短い。 ・VF2Mでは位置補正を16.7msecで実施する。	・ノイズに対して弱い。

5.7 ユーザフレンドリな操作環境

VF2Mの電源を投入すると、本体ハードウェアの診断後初期メニュー画面が表示される。VF2Mの主な機能が11に分けられており、この初期メニューが起点となって機能別の11個の画面に展開される。対話をしながら画面メニューに順序よく答えていくと1つの処理プログラムを完成させることができる。

VF2Mでは初期メニュー(親画面)から始まり、11の子画面へと展開される。これらの子画面はさらに孫画面へと、全体で3～4層に展開する構造になっている。図22に初期メニュー画面から11の機能別画面及びそれらの詳細機能画面へと展開されるツリー構造のメニュー画面系統図を示す。操作上、画面移動はかなり頻繁に行われるので、これらの使い勝手が大切なポイントとなる。そこで次のような配慮を行って操作性を良くしている。

- 1) シーンデータ初期化時に、最も可能性の高い使用値をデフォルト値として自動設定する。
- 2) 各画面ごとにメニューNoを独立して持たせてあり、これは一度設定すると次に更新されない限り記憶される。一通り設定したあと、再度同じルートを辿って確認・再設定することが容易となる。
- 3) 一層深いメニュー画面、または一層手前の画面への移動を1回のキー操作で可能とする。
- 4) メニュー画面をまったく異なる画面へ直接移動させるには、メニュー番号を入力することにより行う。

5.8 適用範囲の拡大⁽⁹⁾

VF2MはFA分野での外観検査や形状認識を目的として50種類に及ぶ特徴コマンドと、BASICライクな言語で判定式を作成できるプログラミングコマンドを開発し広範囲の用途に適用可能とした。例えば、外観検査(位置ずれ、曲がり、割れ、欠け、抜け、文字品質)、判別・分類(形状、方向、異種混入、等級分類、状態監視)、計測(寸法、位置、個数、レベル、動体追跡)等に用いることができる。

特徴コマンドは、計測対象として切出された画像の幾何学的な特徴を数値として取出するためのコマンドである。VF2Mでは表3に示すような特徴コマンド群が用意されている。プログラミングコマンドは、画像処理によ

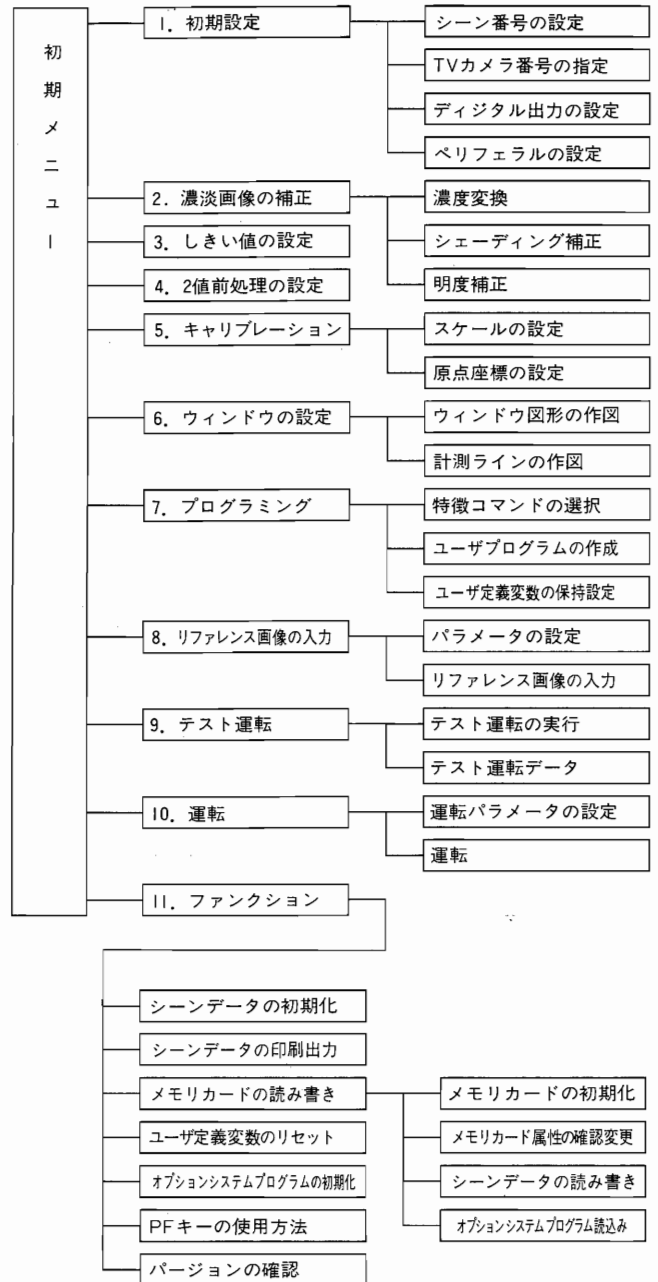


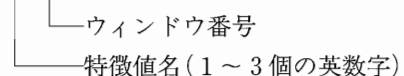
図 22. メニュー画面系統図

り得られた特徴値を用いて、判定処理、分類処理、出力処理などをプログラムするためのコマンドで、表4に示すようなコマンドが用意されている。

5.8.1 プログラミングコマンドの入力

コマンド式において特徴コマンド(幾何学的特徴値)を用いる場合、1～3文字から成る特徴値名にウィンドウ番号を続けて使用する。

例) AR1…ウィンドウ1内図形の実面積値



なお、プログラミングコマンドの入力は、VF2Mに組

表 3. 特徴コマンド一覧表

分類	コマンド	処 理 概 要	備 考
面積	AR	実面積 (穴を含まない面積)	AR=a1
	AA	全面積 (穴を含んだ面積)	AA=a1+a2
	AO	入力画像とワイルド画像との論理和面積	
	AX	入力画像とワイルド画像との排他的論理和面積	
	AN	入力画像とワイルド画像との論理積面積	
線	L	計測ライン-辺線の交点数	L=4
	LL	計測ライン-辺線の交点間距離	
重心間距離	BX	重心間距離の最大値	
	BN	重心間距離の最小値	
	BH	重心間距離の平均値	
周囲長	PA1	実周囲長1(穴周を含み、√2を考慮しない)	
	PA2	実周囲長2(穴周を含み、√2を考慮する)	
	PG1	外周長1(穴周を含まず、√2を考慮しない)	
	PG2	外周長2(穴周を含まず、√2を考慮する)	
形状係数	FC1	形状係数1(円形度) $(4\pi \times AA)/(PG2)^2$	
	FC2	形状係数2(凸凹度) $(PG2)^2/(4\pi \times AA)$	
	FC3	形状係数3(周囲長/面積) $(PA1)^2/AR$	
	FC4	形状係数4(周囲長/面積) $PA1/AR$	
重心-周囲間距離	VX	重心-周囲間距離の最大値	
	VN	重心-周囲間距離の最小値	
	VT	最大径と最小径のなす角度	
	VS	最小径と最大径の比 VN/VX	
穴	H	穴数	
	HA	穴全面積	
	HX	最大穴面積	
	HN	最小穴面積	
	HH	平均穴面積 HA/H	
	HR	穴面積比 HA/AA	
投影長	WH	水平投影長	
	WV	垂直投影長	
	WT	投影長の縦横比 WV/WH	
	WR	面積比 $AR/(WH \times WV)$	
外接長方形	RL	外接長方形の横長	
	RW	外接長方形の縦長	
	RA	外接長方形の面積 $RL \times RW$	
	RS	外接長方形の縦横比 RW/RL	
	RR	外接長方形の面積比 $AR/(RL \times RW)$	
円	ND	等価円の直径	
	NV	球体の体積 $(\pi/6) \times (ND)^3$	
楕円	KL	等価楕円の主軸長	M ₀₀ : 0次モーメント M ₁₀ : 1次モーメント(X軸) M ₀₁ : 1次モーメント(Y軸) m ₀₂ : 2次モーメント (重心を原点としたX軸) m ₂₀ : 2次モーメント (重心を原点としたY軸) m ₁₁ : 慣性相乗モーメント
	KW	等価楕円の副軸長	
	KT	等価楕円の傾斜角 $(1/2)\tan^{-1} \{2m_{11}/(m_{20}-m_{02})\}$	
	KV	等価楕円体の体積 $(\pi/6) \times KL \times (KW)^2$	
	KR	等価楕円の主軸副軸比 KW/KL	
重心	GX	重心位置のX座標 M_{10}/M_{00}	
	GY	重心位置のY座標 M_{01}/M_{00}	
弦	MH	水平方向の最大弦長	
	MV	垂直方向の最大弦長	
個数	Z	個数	
	ZX	最大面積	
	ZN	最小面積	
	ZH	平均面積 AR/Z	
端点座標値	XX	X方向の最大座標値 (カメラ座標系時)	
	XN	X方向の最小座標値 (カメラ座標系時)	
	YX	Y方向の最大座標値 (カメラ座標系時)	
	YN	Y方向の最小座標値 (カメラ座標系時)	

表 4. プログラミングコマンド一覧表

No.	コマンド式名称	形 式
1	ユーザ定義式	Un =計算式または判定式 Un: ユーザ定義変数 (n=1~64)
2	デジタル出力式	On =判定式または論理式 On: デジタル出力 (n=0~47)
3	データ出力式	POn =計算式 POn: データ出力 (n=1~2)
4	BCDデータ出力式	BDn =計算式 BDn: BCD データ出力 (n=1, 2, 12)
5	バイナリデータ出力式	BOn =計算式 BOn: バイナリデータ出力 (n=1, 2, 12)
6	表示出力式	D =変数名, 変数名……, 変数名
7	通信出力式	JC =/文字列/, 変数名, :16進コード: コンマ(,) 区切ってランダムに並記
8	印刷出力式	JP =/文字列/, 変数名, :16進コード: コンマ(,) 区切ってランダムに並記
9	条件判断文	IF 論理式 THEN 計算式, 判定式, 論理式 分岐先相対文番号
10	分岐文	GOTO 分岐先相対文番号
11	繰返し文	FOR Un=初期値 TO 終値 STEP 増分 ↓ NEXT
12	END文	END
13	コメント文	:文字列

込まれているスクリーンエディタを用いてプログラムメモリに書込みを行う。以下に分類処理プログラムの例を示す。

$U1 = AR1 < 5000$ (面積) < 5000 のとき, $U1 = 1$ にする。
 $U2 = 5000 \leq AR1 < 7000$
 $5000 \leq$ (面積) < 7000 のとき, $U2 = 1$ にする。
 $U3 = PA11 < 450$ (周囲長) < 450 のとき, $U3 = 1$ にする。
 $U4 = 550 \leq PA11$
 $550 \leq$ (周囲長) のとき, $U4 = 1$ にする。
 $U5 = U2 * U4$ $U2, U4$ の論理積結果を $U5$ に入れる。
 $U6 = U2 * U3$ $U2, U3$ の論理積結果を $U6$ に入れる。
 $O0 = U5$ 出力 0 に $U5$ の結果を出力する。
 $O1 = U1$ 出力 1 に $U1$ の結果を出力する。
 $O2 = U6$ 出力 2 に $U6$ の結果を出力する。
 END

5.8.2 プログラミングコマンドの実行

スクリーンエディタを用いて編集・作成されたプログラミングコマンド群(ソースプログラム)は、一旦メモリに保存される。このとき文法的なチェックも同時に行われる。このソースプログラムは、運転開始点でコンパイル処理されて実行可能なオブジェクト形式に翻訳され、実行プログラム領域に格納される。中間言語方式とは異

なり、直ちに実行可能なコードに展開されるので処理速度が速く、かなりステップ数の多い判定プログラムであっても高速に処理を実行することが可能である。

コンパイル処理によるソースコードからオブジェクトコードへの展開方法について以下に述べる。

数式を翻訳するときの手法として、逆ポーランド記法を用いている。これによると、数式

$$X=A+(B-C)*D$$

は、予め定められた逆ポーランド展開のルールに基づき、

$$XABC-D*+=$$

の逆ポーランド形に変換できる。これは定められた優先順に演算が行えるように並べかえたもので、この時点で演算に不要な括弧を取除いておく。この形式に変換した後、一旦中間エリアに記憶させる。このあと中間エリアのこの式の評価を行って、オブジェクトコードに変換する。このときも定められた評価ルールに従ってオブジェクトコードに展開していく。

以下に、VF2Mでの処理例を述べる。

次の判定結果の出力文のコンパイルを考える。

$$O1=100<(AR1+AR2)$$

このような、右辺に大小比較式のある文は、一度次のような3つの中間式に分解する。

$$T1=100$$

$$T2=AR1+AR2$$

$$O1=T1:T2$$

ここで、T1、T2は一時変数、AR1、AR2は面積特徴値、O1はデジタル出力、:は比較演算を表す。

これらを逆ポーランド展開して、次のような中間エリアデータを作成する。

```
T1
100
=
,
T2
AR1
AR2
+
=
,
O1
T1
T2
:
=
```

・主な展開ルール

- 1) すべての変数はそのまま中間エリアに転送。
- 2) スタックが空、または(数式限定子・優先度)>(スタック表面限定子・優先度)のとき前者をスタックに格納。
- 3) (数式限定子・優先度)<=(スタック表面限定子・優先度)のとき後者を中間エリアに転送。ただし、限定子とは演算子などの記号をいう。

なお、(コンマ)は3つの文の区切りを表す。

これらの中間エリアデータを上から順に評価していくと、次のようなオブジェクトプログラムが得られる。

```
LOA 定数100      (LOA:ロード・アキュムレータ)
STR 変数T1      (STR:ストア・アキュムレータ)

LOA 特徴値AR1
FAD 特徴値AR2  (FAD:浮動小数加算)

STR 変数T2
COMP比較<, 変数T1, T2, TS
                    (COMP:比較演算)

LOA 変数TS
STR 変数O1
RET プログラム終了 (RET:リターン)
```

・主な評価ルール

- 1) すべての変数は無条件にスタックに転送。
- 2) 2項演算子が出てくると、スタックの最初の2変数を用いて演算を行い、作業エリアへの格納命令を作成。
- 3) 2項演算子が=のときは、スタック最上段の変数値をその次の変数に与える命令を作成し評価を終了。

なお、これらの実際にコード展開するときには、演算処理のCALL命令(5バイト)と、その引数である定数または変数へのポインタ値(4バイト)をセットして作成していく。

5.9 テスト運転による性能評価

VF2Mに画像を処理させるためにはシーンデータを設定し、TVカメラ、照明、入出力信号の接続などの使用環境を整えると、運転が可能な状態になる。VF2Mが画像処理をする際に内部で使用しているデータをシーンデータと総称しており、次に示すような各種データから構成されている。

- ・ウィンドウ、ライン
- ・しきい値
- ・出力信号指定
- ・前処理指定項目
- ・ユーザ定義のソースプログラム
- ・特徴値算出指定テーブル

- ・テスト運転による計測データ
- ・位置補正用基準データ
- ・停電時記憶保持変数の値
- ・基準画像のデータ
- ・シェーディング補正データ

これらは電池により停電時の記憶が保護されたメモリに格納されている。VF2M本体は4つまでシーンデータを同時に持つことができる。このことは4種類の検査プログラムをVF2Mに常時持たせておけることを意味する。

本運転に先立ち、VF2Mではテスト運転を試みることができ、次のような目的で利用することができる。

- 1) 運転時と同じ条件下で画像取込みおよび特徴値計算を行い、どのような2値画像が得られるか、また特徴値はどのような値になるのかの目安を得る。
- 2) 指定した回数だけテスト運転をくり返し、その平均値を算出することによりこれを「基準値」として判定処理プログラムで用いる。

また、テスト運転の処理は、次のように行われる。

- 1) 実際にTVカメラから映像を取込み、指定されたしきい値を用いて2値画像に変換した後、論理フィルタリング、膨張・収縮処理といった前処理を実施する。そして指定されたウィンドウ内の特徴値を算出し、判定処理プログラムの実行を行う。ただし外部入出力信号は、入力信号の実状態は取込まれるが、出力信号は外部へ出力されない。またRS-232Cおよびプリンタへのデータ出力も行われない。
- 2) 指定した回数(1~10)だけテスト運転したあと、各回ごとのウィンドウ内特徴値データを用いて平均値、標準偏差値、最小値、最大値の4種のデータを算出し、内部メモリにシーンデータの一部として記憶する。とくに平均値は判定処理プログラム作成する上で目安となる。

これらの値は一覧表として画面表示させることができる。その例を図23に示す。

5.10 通信機能の強化

VF2Mには周辺機器とのインタフェースを行うためにスタンダード入出力モジュール(SIO)が用意されている。SIOモジュールはシリアルインタフェース、プリンタインタフェース、メモリカードドライバを備えている。

このSIOには周辺機器との通信時におけるデータ処理部の負荷を軽減させる目的で入出力専用のプロセッサを搭載している。画像処理の判定結果や計測データ、シーンデータを周辺機器へ出力する場合、本体はこのSIOモジュールのバッファメモリ(FIFO)に対して各データを出力するだけでよく、後はSIOモジュールが煩雑な周辺機器との通信を独自に行う。シリアルインタフェースについては、データを出力するだけでなく、ホストコンピュータから

[9.2 ACQUIRED DATA]		[SCENE NO. 1]		
[PAGE 1] (SD: Standard Deviation)(mm, mm ² , mm ³)		(DOTS)		
FEATURE	MEAN	SD	MIN	MAX
AR1	20518 .900	9.798	20499.0	20540.0

[ENTR, ↓] KEY: PAGE DOWN
[, ↑] KEY: PAGE UP

図23. テスト運転データ

の制御用コマンドが入力できる。データ形式はすべてASCIIコードで、通信プロトコルは本体側でソフト的に設定できる。なお、プリンタインタフェースは、セントロニクス仕様となっており、計測データ(特徴値など)やユーザプログラム等の印刷出力ができる。

5.11 プログラムの保存とローディング

VF2Mは、SIOを装着することによって、メモリカードにプログラム(シーンデータ)を保存したり、オプションシステムプログラムを本体へローディングし実行させることができる。

VF2Mは、本体内部に4つのプログラムを格納できるが、現在の多品種少量生産工場の検査工程には決して十分とはいえない。とくに、段取り換えが頻繁に行われる工程では、外部にプログラムを保存し、簡単な操作でローディングできる記憶装置が必要になる。シリアルインタフェースを介して、フロッピーディスクにプログラムを保存することもできるが通信に時間を費やし、即応性という点ではあまり有利とはいえない。その点、メモリカードは高速にローディングを完了させることができる。

またVF2Mでは基本の特徴コマンドの他に、オプションプログラムとして標準以外の特徴コマンドをメモリカードを利用して追加することができる。使用する際には、ROM化メモリカードでオプションシステムプログラムをVF2Mへ一度転送し、内部に保存しておく。運転開始時にこのプログラムを保存エリアから実行エリアへ毎回転送する。このとき処理プログラムデータに異常があるとシステム暴走につながるので、サムチェックにより正常と判断してから運転開始を行う。VF2Mではこのようにして、本体ソフトを変更することなく特徴コマンドの追加を可能とし、システムとしてのフレキシブル性を持たせている。

5.12 メンテナンス性の向上

FA視覚センサの位置付けで開発されたVF2Mはプログラマブルコントローラに代表される制御機器と同一の制御盤へ組込まれ使用される機会が多い。このため薄型壁掛け形構造とし、また本体中程から開閉できるようにし、前面からの保守を容易にするよう配慮した。

なお、弊社製FA-2プログラマブルコントローラと同形同サイズとし、入出力モジュールも兼用した。画像処理機能を有する制御システムにはVF2Mと共にFA-2を採用することによってシステム設計やパネル設計を効率的に行うことができる。

6. FA現場への適用

画像処理は、数々の画像処理技法やそれを実現した画像処理装置の技術的な部分が強調される傾向にあるが、現場技術者にとってそれはどのように効果的であるか、またどのような使用法が有効であるか分かり難いと思われる。そこで本章ではユーザの立場になり画像処理技術の有用性を述べ、その適用について検討する。

6.1 画像処理システムの導入効果

生産ラインを自動化することは、製品品質の均一化、生産性の拡大、コストの軽減、労働条件の向上、省力化等様々な付加価値を生み出すことから、各企業とも努力を積み重ねている。FA用画像処理装置は従来人間の目に依存してきた検査工程等を自動化する目的で開発された装置で、この導入により自動化率を飛躍的に向上できる現場も少なくない。

目視による検査工程を画像処理装置に置き換えた場合、次のような長所が考えられる。

1. 定量的な判断ができる。(大局的な微小変動を見逃さない。)
2. 判定速度が速い。
3. 疲労しない。

以上のような項目は画像処理システムに限らず自動化装置全般に言えることであるが、特に、外観検査のような曖昧さや感覚的判断を伴う作業、また極めて不良発生率の低い検査作業は、作業者の精神的疲労が大きく、誤判定が多くなり品質の維持が困難となる。このようなことから、検査工程の自動化の必要性は今後共高まるに違いない。

人間による目視作業は汎用性の面から非常に優れているが、反面、処理の個人差、処理の曖昧性、処理時間、人材確保等様々なデメリット要素を持ち、今後更に大きな問題となるだろう。以上のように画像処理システムの導入は今後の生産活動を行っていく上で非常に有益なこ

とである。しかしながら、画像処理システムは外部環境の変動に左右され易いという一面を持っている。画像処理装置自体の性能がいかに優れていても使用環境条件が良くないと画像の入力が安定して行われず、誤った判定結果を出力する可能性がある。現在の画像処理装置では、安定した画像を再現性良く得ることが効果的使用法のポイントとなる。

6.2 画像の取得⁽¹⁰⁾

入力画像の品質は処理の信頼性、計測精度、処理速度など画像処理全般に影響するため、最善の注意を払う必要がある。しかしながら、使用環境が不適当な場合入力画像が劣化してしまい、画像処理システムの信頼性を著しく損なうことがある。一方、安定した入力画像が得られてもその画像が処理し難い場合は、画像処理装置の有効な運用ができない。そこで本節では、入力画像の劣化の原因を示し、安定した画像と画像処理し易い画像の取得について検討する。

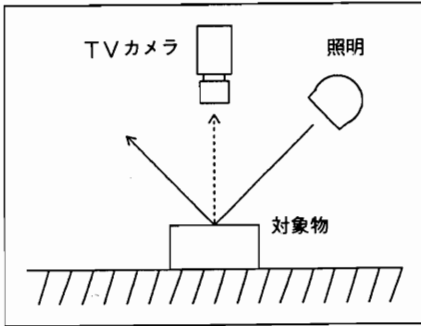
6.2.1 画像の劣化

画像の劣化はレンズ、TVカメラ、画像処理装置等様々な部分で発生するが、本節では設置環境による画像劣化に限定して述べる。

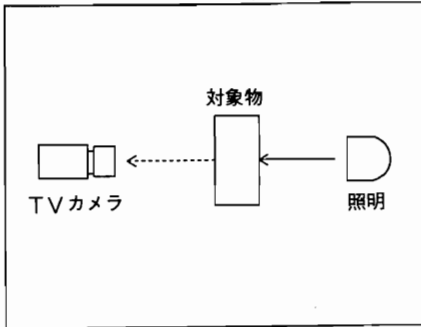
画像処理装置でよく用いられるCCD TVカメラは光量を蓄積し、電気信号に変換する光電変換器である。したがってTVカメラに入射する光強度が画像となって現れる。ある被写体をTVカメラで撮影する場合、照度不足を補う為に照明装置を用いるが、この時TVカメラに入射する光は照明によるもの以外の光も存在する。それを外乱光と呼んでおり、外乱光には太陽光線や室内照明等が考えられ、これらの影響で被写体やその周辺の明るさが変わり、入力画像に大きく影響を及ぼす場合がある。また、照明装置自体も長時間使用すると照度が低下し、被写体やその周辺の明度が落ち、入力画面が変動することがある。緩やかに変化する明度を補正する機能が備わった装置においても、設置時より20%以上明度が変化した場合には補正が困難となり、入力画像の劣化を招き処理を誤ってしまう。このようにTVカメラに入射する光量が変動すると処理に悪影響を及ぼし、誤判定の要因になる。さらに振動による像の振れやぼけ、他の装置からの電氣的ノイズ等により入力画像が乱れることがある。このように画像処理装置は、設置環境による影響に非常に敏感であるため、前述の内容を十分に考慮し、対策を練る必要がある。

6.2.2 目的に応じた画像の取得

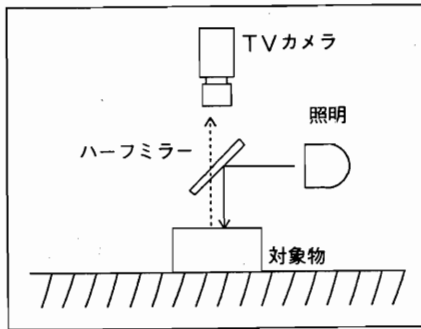
入力画像は照明装置や外乱光に影響されることは前に示した。これは逆に言うと、照明の選定や使用法により、入力画像をある程度コントロールすることができると考



(1) 反射照明



(2) 透過照明



(3) 同軸落射照明

図24. 照明方法の種類

表5. 照明方法の特徴

反射照明	最も自然な照明で多用されている。対象物の形状や表面の凹凸や印刷を画像化しやすい。
透過照明	対象物の外形や対象物が透過性のあるものであればその内容物を画像化するのに適している。
同軸落射	対象物の表面状態を画像化するのに適している。ただし大きな対象物の場合は光学系も大きくなるため、実用性に欠ける。

えられる。図24に代表的な照明方法を表5にその特徴を示す。

ところで、傷のある対象物を撮影し、その傷を横切る明度分布が図25のように傷のない部分で明るさにむらを生じたとする。画像処理装置はある明るさの領域を抽出して処理するものであるため、傷の明るさのレベルと傷のない部分の明るさのレベルが同程度の場合処理が難しくなる。また、傷の付く位置が決まっていない場合、傷

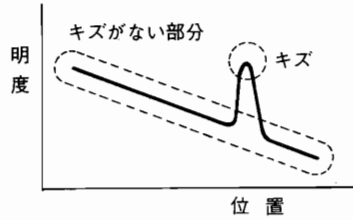


図25. 明度分布

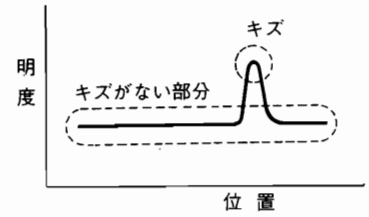


図26. 明度分布

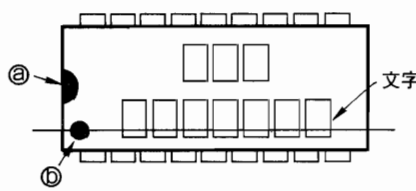


図27. ICの方向検査

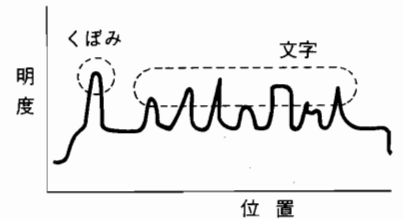


図28. 反射照明を用いた明度分布

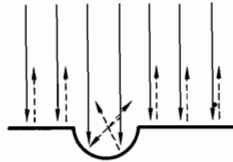


図29. 同軸落射の効果

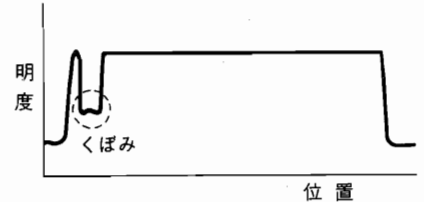


図30. 同軸落射を用いた明度分布

の明度のレベルが変わり更に処理が困難になる。このような画像の場合、映像信号に微分処理等を施し傷の部分のみを抽出する手法が考えられるが、傷の大きさや深さが不規則と考えられるため、それほど有効な方法といえない。そこで図26のように傷のない部分が平坦な明度分布を持つ画像であれば処理は簡単に行えることが容易に想像できよう。このような処理し易い画像の取得を実現することが画像処理装置使用上最も大切なことであり、その手段として照明方法の工夫が必要となる。

ICの方向検査を例にとり、画像処理における照明系の重要性を説明する。ICの方向は文字の方向と図27の(a)、(b)の窪みにより知ることができる。ここで文字方向による検査は文字の形状が複雑で、また様々な文字の辞書が必要になり処理系が複雑となるため不適當である。また(a)による方向検査はICのエッジに接しているため、十分な精度でICの位置を定めることができないと窪みのないエッジと区別できなくなる恐れがある。そこで(b)に着目し、検査を行うとする。まず、最も一般的な照明系である反射形の照明方法を用いた場合、人がICを見た像と殆ど同様な画像が得られる。ところがこの時図27の窪みを横切る線上の明度分布は図28のようになり、明るい部分と暗い部分が複雑に表れ、どれが窪みであるかはこの図のみを見たところで判断することができない。そこで照

明系を同軸落射法に変更すると図29のように窪みのないIC表面では照明からの光が逆方向に反射され非常に明るく撮像でき、窪みの部分では逆方向に反射する光の成分が少なく暗く撮像できる。この場合図27の線上の明度分布は図30のようにICの窪みの部分のみを暗くすることができ、画像処理装置の処理しやすい画像が得られることになる。

画像を入力する際、安定し再現性のある画像を取得することは重要なことである。その手段として、外乱光の影響や振動を抑えること、また電氣的ノイズの発生源から遠ざけることが挙げられる。しかし、これらは必要条件であって十分条件ではない。検査目的に応じた入力画面を得ることが現在の画像処理技術にとって非常に重要なことであり、またそれを実現するための照明系の活用方法が画像処理装置の導入の鍵になる。

6.3 FA現場への導入に際して¹⁾

今後ますます画像処理装置に対する要求が高まってくるであろう。しかし、現在の画像処理技術では導入前の検討事項の多さや導入後のメンテナンス等の煩わしさは否定できない。しかしながら、FA現場からの画像処理装置に対する要求は多種多様であり、全ての要求や期待を1つの装置の中に入れられることは易しいことではない。

以上のことから、画像処理装置を効果的に導入するには、

- 1) 現状分析を行い導入目的、検査項目および判定基準を明確にし、目標値を設定する。
- 2) 性能と経済性から目的に合った画像処理装置および周辺設備を選択する。画像処理装置には2値画像、濃淡画像、カラー画像、文字認識など多くのものがある。
- 3) 製品に要求される品質や製造機械の性能を熟知した生産技術者が、画像処理技術を含む広いエンジニアリングを養うことも重要である。

7. あとがき

生産システムにおける検査は、高品質の製品を生産する上で必要不可欠なものであり、日本が世界第一位の産業競争力を勝ち得たのも“品質管理”を重要視したことが大きな要因であろう。ところが生産システムでの検査工程の自動化は立ち遅れており、とりわけ人間の目に依存した目視検査において顕著である。検査の基本は計測であり、いかに目視検査が感性作業と言えども定量的データを得なければ、品質を高度に制御することはできない。今後ますます労働力不足や人件費の急騰が問題視され、またより積極的に品質を制御しなければ産業競争力を失いかねないことから、画像処理装置に対する要求が

一層高まり、より人間の目に近い高度な視覚機能を持った装置が望まれることになるであろう。

ところが、現在の画像処理装置は、認識能力においては人間のそれに比較して格段に劣っており、また使用上にも数々の制約がある。勿論、運用方法の如何によっては人間の能力を超越した自動化の強力な道具となるのも事実であるが。そして、そこには新しい期待に応じて画像処理システムのロバスト性問題や知識処理、生体情報処理による知的能力の付与など、開発者にとって新たな挑戦が始まっている。

参考文献

1. 長尾真：画像認識論
1983 コロナ社
2. ローゼンフェルド&カク(著)長尾(監訳)：
デジタル画像処理
1978 近代科学社
3. 田村秀行：FAのための画像処理技術
1988 工学研究社
4. ペイカー(著)渡辺ほか(訳)：
マルチ・マイクロプロセッサ・システム
1984 啓学出版
5. ストーン(著)斉藤、発田(監訳)：
高性能コンピュータアーキテクチャ
1989 丸善
6. 守口、宇田川、一松宇数学公式I
1977 岩波書店
7. 佐藤：入門グラフィックス
1985 アスキー出版局
8. 森：パターン認識
1988 電子情報通信学会
9. 岸田孝一：システム・プログラム入門
1971 日本経営出版会
10. 新田義雄：ビデオセンサ導入実戦ガイド
1988 電気書院
11. 橋本、東本：自動生産システムI
1987 共立出版