

自動外観検査システムの開発

清水誠司・中山信一・佐野照雄・中島 俊・
小沢俊治・増出英仁・寺嶋光雄*・伊藤 明*

Development of Automated Visual Inspection System by Image Processing

Seiji SHIMIZU・Shin-ichi NAKAYAMA・Teruo SANO・Toshi NAKAJIMA・
Sunji OZAWA・Hidehito MASUDA・Mitsuo TERASHIMA*and Akira ITO*

要 約

水道メーターに用いるプラスチックギヤの良・不良の目視検査の自動化を目的とし、高速画像処理による自動外観検査システムを開発した。

検査装置は、画像入出力部、画像処理部、システム制御部及び機構部からなり、画像入力には二次元CCDカメラを用い、画像処理部はデータ駆動型プロセッサを使用して画像処理の高速化を図った。また、システム制御部は画像処理部からの良・不良品の判定結果の受理及び機構部の制御を行った。入力画像の良・不良の判定は、原画像（多値画像）を2値化、平滑化した後、ヒストグラムを作成し、このヒストグラムから特徴を抽出して行った。この画像処理を通常の16ビットパーソナルコンピュータで行うと10秒以上の処理時間を要するため、ここでは、データ駆動モデルに基づくイメージプロセッサを用いたシステムを開発した。

この結果、画像を入力してヒストグラムの作成、判定までの画像処理に要した時間は約0.09秒で、製品1個の検査を約1秒で処理し、十分実用可能な速度が得られた。これをもとに製作した実用機は、部品供給装置の経済性などの面から判定処理能力1,800ヶ/時間とし、現在工場で稼働中である。

1. はじめに

現在、精密機械部品の製造にも、各種のNC工作機械やロボットの導入による生産工程の自動化が図られている。一方、生産途中や最終工程における部品や製品の外観検査は目視検査に頼っている。目視検査は、各検査作業者の個人差によって作業時間、作業環境、体調等により、検査基準、検査速度及び誤認率が変動するなどの問題がある。さらにこの目視検査作業は、品質の向上と均質化の要求に伴い、より微細なキズ、汚れ、形状欠損などの検出と、検査基準の一定化を求められるため苛酷な作業となっている。

そこで筆者らは、従来の目視検査作業に換わっ

て、検査基準を任意な値で一定化し、検査精度と能率の向上を目的に、小型で低価格な自動外観検査システムの開発を行ったので、その概要を報告する。

2. システムの構成

今回試作したシステムを写真1に、そのシステム構成を図1に示す。

システムは、画像入出力部、画像処理部、システム制御部及び機構部から構成した。画像処理部とシステム制御部は、マルチバス（IEEE-796 BUS）によって接続した。

2-1 画像入出力部

画像入力には、二次元CCDカメラとマクロレンズを用いた。カメラからの映像信号は外部同期

* 山梨大学大学院生

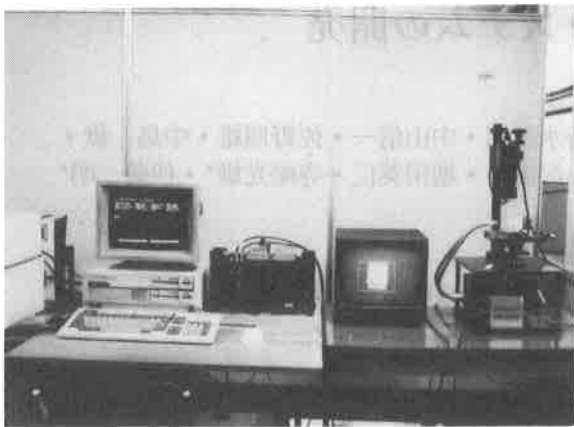


写真1

可能であるが、今回は内部同期で使用した。照明はハロゲンランプを光源とし、熱影響を避けるために光ケーブルで検査対象物の近くまで導いた。画像出力は、14インチ白黒モニターテレビを用い、ビデオインターフェースボードに接続して、画像処理経過や結果などの表示に使用した。

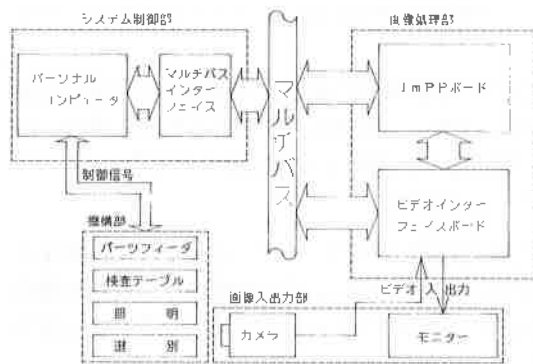


図1 自動外検査システムの構成

2-2 画像処理部

本システムの特徴は、高速の画像処理を行うためにデータ駆動型プロセッサである μ PD7281 (Image Pipelined Processor : ImPP) を使用したことである。従来のプロセッサは、多量のデータを扱うとメモリのアクセスに時間がかかるため、高速な画像処理を行うことは困難であった。ImPPは、データ駆動モデルのため、高度の並列処理が可能であるとともに、200nSの高速乗算機能を

備えている。

画像処理部は、ImPPボードとビデオインターフェースボードから構成した。画像処理部のブロック図を図2に示す。ImPPボードは、プロセッサ・グループ、イメージメモリ及びインターフェース回路から構成される。プロセッサ・グループは、ImPPとその外部とのインターフェース処理を行う μ PD9305 (Memory Access and General bus Interface Chip : MAGIC) とで構成した。ImPPは容易にマルチプロセッサ構成が実現できるので、本ボードは4チップ搭載可能とした。

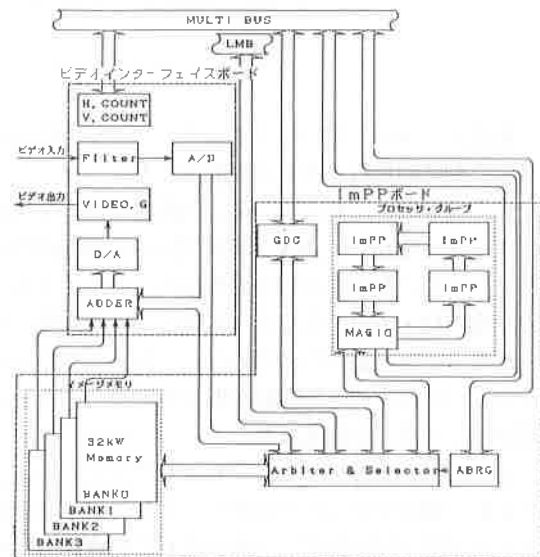


図2 画像処理部のブロック図

イメージメモリはCMOSスタックRAMを採用し、1バンクを32KWとし、4バンク構成とした。1ワードは16ビットで、画像入力時には2画素分の多値データを記録する。イメージメモリは画像入力、 μ PD7220A (Graphic Display Controller : GDC)、MAGIC及びLMB (Local Memory Bus) からそれぞれアクセス出来るよう調停回路を設け、上記の順にアクセスの優先順位をつけた。

ビデオインターフェースボードは、映像信号をA/D交換し、1フレーム(画面)当り 256×256 画素で1画素6ビット(64階調)とし、イメージメモリの任意のバンクへ取り込む回路、及び、GDCを用いてイメージメモリ上の多値画像や2値

画像をバンクごとに重ね合わせ、D/A変換してモニター用の映像信号を生成する回路で構成した³⁾。

2-3 システム制御部

システム制御部は、画像処理部へのトークン(処理情報付きデータ)の出力、画像処理部からの判定結果の受取及び機構部の制御などを行う。画像処理部とは、マルチバスを介して接続した。また、機構部とのインターフェースは、絶縁型のI/Oポートを通して直接ホストコンピュータと接続した。ホストコンピュータには16ビットパーソナルコンピュータ(PC-9801Vm2)を使用し、走行環境としては、MS-DOSを採用した。

2-4 機構部

機構部は、図3のように検査対象物取付部、カメラ移動部、電源部から構成した。

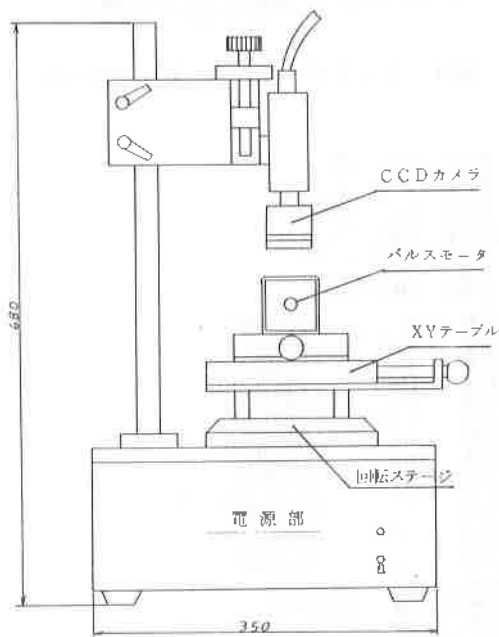


図3 機構部

検査対象物取付部は、検査対象物を任意の角度から自由にカメラで捕らえることが出来るよう、回転ステージ上にX-Yテーブルを取り付け、さらにその上に検査対象物を一定角度で回転させるためのパルスモータを取り付けた。また、今回の検査は全周にわたって画像を取り込む必要があるため、対象物をパルスモータの主軸に直接、容易に取り付けられる構造とした。カメラ移動部は、TVカメラの焦点合わせ用で粗動と微動が簡単に

できる構造とした。

電源部は、照明用、TVカメラ用、パルスモータ駆動用電源で構成した。

3. ソフトウェア

3-1 検査方法

検査対象は、水道メーターに使用される白色のプラスチックギヤのピニオン部分(外径5mm, 歯幅3.5mm, 歯数9枚)である。射出成形時に湯回り不良などの原因により、歯先の部分に欠損が生じる場合がある。検査は、このピニオン部を画像としてとらえ、画像処理の手法を用いて歯車の形状から特徴抽出を行い、欠損の有無及び欠損の大きさを調べ、良・不良品の判定を行った。

検査方法は、まず前処理として良品のプラスチックギヤを用いて外径、歯幅など検査に必要なデータを次の手順で抽出する。

- ①検査対象部分が128×128画素に入るような大きさに拡大し、1画素6ビット(64階調)の多値画像としてサンプリングする。
 - ②この画像に対して2値化を行うが、このとき照明やバックグラウンドを考慮して歯車形状がはっきり浮き上がるようにしきい値を設定する。
 - ③2値画像に対してノイズ除去や輪郭を滑らかにする目的で平滑処理を行う。
 - ④水平方向1画素ごとに垂直方向の“1”の値を計数し、ヒストグラムを作成する。
 - ⑤ヒストグラムから最大値を求め、その値をDmax(外径)とする。
 - ⑥(Dmax×0.88)以上の値を水平方向に計算し、その値をW(歯幅)とする。
- 抽出したDmax、Wから以下の値を算出する(それぞれの係数は目視検査基準、画像の解像度から任意に設定した)。

$$DSH1 = Dmax \times 0.88$$

$$DSH2 = Dmax \times 0.95$$

$$WSH = W \times 0.9$$

$$DWD = Dmax \times 0.04$$

この値を用いて検査を以下の方法で行う。

- ①サンプリング
- ②前処理で得たしきい値で2値化を行う。
- ③ヒストグラムを作成する。
- ④ヒストグラムからDSH1、DSH2以上の値をそれぞれ計数しWCT1、WCT2とする。

⑤WCT1がWSH以下なら不良品とする（歯先に近い部分の歯幅を検査している）。

⑥WCT1がWSH以上でもWCT1とWCT2の差がDWD以上なら不良品とする（歯先付近の歯幅のバラツキを調べている）。

以上の検査手順を1/2歯ごとに行い、半回転以上するまで繰り返す。偶数歯の場合は1歯ごとでよいが、最大径になるようにクランプする必要がある。奇数歯の場合、1歯ごとではクランプする位置により、欠損している歯が前後の歯に隠れてしまい良品と判別する可能性が高い。

3-2 画像処理プログラム

本検査システムでは、画像処理から判定までを全てImPPに行わせている。このデータ駆動型プロセッサのプログラムを記述するには、ノイマン型プロセッサのように命令の順序を記述するのではなく、処理されていくデータの流れを記述しなくてはならない。従ってノイマン型プロセッサでよく使用しているフローチャートでは、どの部分が並列して処理できるのか、また、データがどのように流れていくのか表現しにくい。データフロー図と呼ばれる図表を使ってプログラムを表現する。このデータフロー図からImPPのアセンブリ言語を用いてソースプログラムを記述する。そして、アセンブラプログラムを通してオブジェクトモジュールを生成する。このモジュールには、オブジェクト情報の他に起動トークンの情報も含まれている¹⁾⁴⁾。

このような方法で、前節の検査方法に必要な以下の4つの処理プログラムを作成した。

- ・2値化
- ・平滑化
- ・ヒストグラム
- ・判定

図4、図5にヒストグラムのデータフロー図とソースリストを示す。

次に、ImPPプログラムの実行方法について述べる。ImPPは、プログラム領域が内部RAMになっていて外部からプログラムをダウンロードするが、これだけでは動作しない。プログラムを起動させるには、外部から起動トークンと呼ばれるデータを入力する必要がある。

ImPPにプログラムをロードする方法として2つある。1つは、ホストから直接プログラムをト

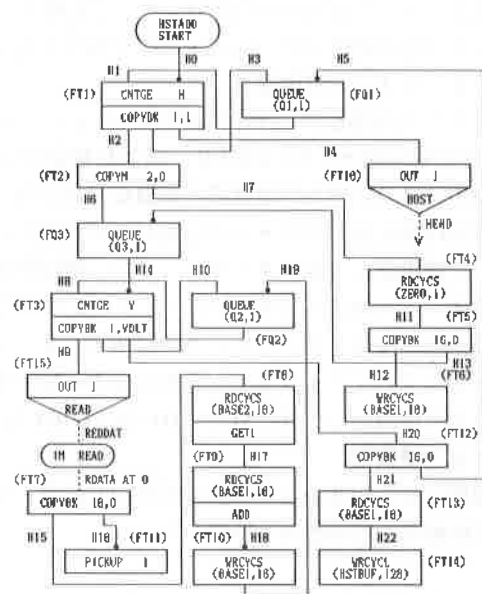


図4 ヒストグラムのデータ・フロー図

```

MODULE IPP = 8;
EQUATE H = 8;
EQUATE V = 128;
EQUATE VDLT = 128;
EQUATE HNST = 0;
EQUATE READ = 1;
EQUATE HSTAD0 = H010H;

INPUT H0, RDATA AT 0;
OUTPUT REDDAT, HEND;

LINK H1 = F01(H3, H5);
LINK H2, H3, H4 = F11(H1, H0);
LINK H5, H7 = F12(H2);
LINK H8, H7 = F02(H10, H19);
LINK H9, H10, H20 = F13(H8, H14);
LINK REDDAT = F15(H9);
LINK H11 = F14(H7);
LINK H12, H13 = F15(H11);
LINK H14 = F03(H5, H13);
LINK H15, H16 = F17(RDATA);
LINK H17 = F18(H15);
LINK H18 = F19(H17);
LINK H19 = F110(H18);
LINK H21, H5 = F112(H20);
LINK H22 = F113(H21);
LINK HEND = F114(H22);
LINK HEND = F116(H14);

FUNCTION F01 = QUEUE(0, 1);
FUNCTION F02 = QUEUE(02, 1);
FUNCTION F03 = QUEUE(03, 1);
FUNCTION F04 = QUEUE(04, 1);
FUNCTION F11 = COPYBK(1, 1), CNTGE(H);
FUNCTION F12 = COPYBK(2, 0);
FUNCTION F13 = COPYBK(1, VDLT), CNTGE(V);
FUNCTION F14 = RDCYCS(ZERO, 1);
FUNCTION F15 = COPYBK(18, 0);
FUNCTION F16 = WRCYCS(BASE1, 18);
FUNCTION F17 = COPYBK(18, 0);
FUNCTION F18 = GET1, RDCYCS(BASE2, 16);
FUNCTION F19 = ADD, RDCYCS(BASE1, 16);
FUNCTION F110 = WRCYCS(BASE1, 16);
FUNCTION F111 = PICKUP(1);
FUNCTION F112 = COPYBK(18, 0);
FUNCTION F113 = RDCYCS(BASE1, 16);
FUNCTION F114 = WRCYCL(HSTBUF, 128);
FUNCTION F115 = OUTI(READ, 0);
FUNCTION F116 = OUTI(HNST, 0);

MEMORY HSTBUF = AREA (128);
MEMORY BASE1 = AREA (16);
MEMORY BASE2 = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15;
MEMORY ZERO = 0;
MEMORY Q1 = AREA (1);
MEMORY Q2 = AREA (1);
MEMORY Q3 = AREA (1);

START;
DATA EXEC(IPP, RDLA, HSTAD0);
END;

```

図5 ヒストグラムのソース・リスト

クンとして送る方法であるが、今回のように頻繁に処理プログラムを変更する場合、ホスト側のオーバーヘッドが増加し、処理効率が低下してしまう。もう一つは、MAGICにセルフオブジェクトロード(SOL)という機能がある。これは、あらかじめイメージメモリ上にプログラムを設定しておき、必要時にホストから指示トークンを与えると、後はMAGICがImPPにプログラムをロードする⁹⁾。本システムでは検査処理時間の短縮を図るために、後者の方法を採用した。システム起動時に4つの処理プログラムをイメージメモリ上に設定し、検査時にホストからSOL用トークン及び起動トークンを出し実行した。

3-3 システム制御プログラム

検査専用システムを考えた場合、検査のほとんどをImPPが処理するので、ホスト自身が実行することはImPPプログラムの起動と検査処理結果の受理及び検査対象を回転させるためのパルスモータの制御である。しかし、ImPPのプログラム開発(とくにデバッグ)あるいは画像処理システムの保守等を考えると汎用の制御プログラムが必要である。

そこで、上記のことを考慮したデバック機能を備えた汎用制御プログラムを開発し、検査プログラムも一つのコマンドとしてシステムに組み込んだ。制御プログラムの主な機能は以下のとおりである。

● ImPPプログラムの定義・実行

ホストの補助記憶装置に格納してある指定されたImPPプログラムに番号を付け、イメージメモリの特定バンク(バンク3をプログラム領域として使用)にロードし、起動トークン、終了トークン数を管理する。また、この番号を用いてImPPへプログラムをダウンロード後実行する。実行処理で、指定された数の終了トークンを読み取る。

● 起動トークンの変更

プログラムの定義で読み取った起動トークンの値を上位、下位トークンそれぞれ単独に変更を行う。この機能により再度アセンブルすることなく起動トークンの変更が行える。

● Imppプログラムの評価

実行回数を指定し、10ms単位で処理時間の計測を行う。

● 画像データのセーブ・ロード

イメージメモリ上の領域指定(最大256×256画素)した画像データ(2値、多値)をファイルにセーブする。また、セーブした画像データをイメージメモリの任意の位置にロードする。

● GDCのオペレーション

モニター画面を制御しているGDCに直接コマンドを出力し、イメージメモリ上に点、直線、四角を描画(消去)する。各バンク及びページ画面全体の消去も行う。

● ImPPプログラムのデバッグ

ImPP内の各種メモリ(リンクテーブル、ファンクションテーブル、データメモリ)の内容ダンプ、ImPPに対してトークンの書き込み読み取り、MAGICステータスのチェック及びイメージメモリのモディファイ等を行う。

● サンプリング

カメラの視野に対して画像範囲を指定し、任意のバンクに多値画像として読込む。

制御プログラムは、主な部分をC言語で記述したが、時間計測の割り込み処理プログラムやワード単位の入出力ルーチンをアセンブラ言語で記述した。プログラム開発環境としてOSはMS-DOS ver3.1、言語はLattice C ver 3.0とMASMを使用した。

4. システムの性能と評価

表1に作成した画像処理プログラムの実行時間を示す。これはセルフオブジェクトロードから始まり、起動トークン出力、プログラム実行、終了トークン読み取りまでに要した時間である。ImPPはシングルチップで使用し、128×128画像に対する処理時間である。次に、プラスチックギヤ1個の検査に要した時間は、1画面の処理にサンプリング16~32ms、2値化50ms、ヒストグラム+判定20msの時間を要し、この処理を9画面(良品の場合)に対して行い、約1秒で処理した。不良品の場合は不良を検出した時点で処理を終了する。また、次の検査位置への回転は、ImPPが2値化処理を行っている間に、ホストに並列処理させた。なお、サンプリング時間のバラツキは、カメラの映像信号を内部同期で使用したため、垂直同期信号とサンプリング信号の同期が取れず、最大1フレーム(1/60秒)近い遅れを生じることによる。

表1 プログラムの処理時間

| プログラム名 | 処理時間 (秒) |
|-----------|-------------|
| 2 値 化 | 0.05 |
| 平 滑 化 | 0.06 |
| ヒストグラム+測定 | 0.02 |
| ヒストグラム+判定 | 0.02 |

以上のことから、本システムは時間的に目視検査(3~4秒/個)と比較した場合、約1/3~1/4時間で処理でき、十分実用可能な値を示している。処理時間の制約は機構部にあり、画像処理プログラムに関する高速化の配慮はしていない。また、誤認率低下のために目視検査では、同一プラスチックギヤに対して3回の検査を行っているが、計算機処理したことにより検査基準を任意の値で一定化でき、再現性や能率の向上が図れた。

また、開発した画像処理システム部は、ImPPをマルチプロセッサ構成で使用することにより、まだまだ複雑かつ高速な画像処理が可能で、生産工程中の外観検査などに実時間で対応できると考えられる。

5. おわりに

今回の研究は、産・学・官共同による山梨新技

術開発事業として、昭和61年4月に発足し、産業界から東京エレクトロン、渡辺工機、高畑精工、大学からは山梨大学工学部が参画して行われた。本研究が一応の成果を収めることができたことは、参画した大学、関係企業がそれぞれの役割分担を果たしていただいた賜と深く感謝するとともに、終始貴重な御助言をいただいた山梨大学工学部助教授伊藤誠氏、同助教授今宮淳美氏、同講師吉田清範氏、また画像処理に関してボードの提供ならびに御助言をいただいた東京エレクトロン研究所の浅川輝雄氏、保坂登氏、石沢繁氏に深謝いたします。また、実用機的设计・製作に協力していただいた高畑精工の小柴博茂氏、渡辺工機の千野功氏、河野千代喜氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 『μPD7281ユーザーズ・マニュアル』IEM-87 7BAUG. -3-85P 日本電気(株)
- 2) 『tSBC-ImPPハードウェア仕様書』東京エレクトロン(株) (1986)
- 3) 『tSBC-VIDEOハードウェア仕様書』東京エレクトロン(株) (1986)
- 4) 『μPD9305 μPD7281周辺サポート用LSI-ユーザーズ・マニュアル』IEM-895B MAR. -11-85P日本電気(株)
- 5) 『μPD7281ソフトウェア・パッケージ取扱説明書』EEM-596D June1986P日本電気(株)