複合視覚センサによる高精度寸法・形状計測

正員 岡田 三郎 (中国工試)

正員 住本 哲宏 (中国工試)

非会員 宮内 秀和 (中国工試)

正員 山本 秀樹 (岡山大)

Dimension and Shape Measurements with High Accuracy Using
Composite Image SensorsSaburo Okada, Member, Tetsuhiro Sumimoto, Member, Hidekazu Miyauchi Non-member
(Govern. Inst., Chugoku), Hideki Yamamoto, Member (Okayama University)

A new composite image sensor system is proposed. Two different type image sensors, area and line sensors, are used effectively to make dimension and shape measurements with high accuracy. An area sensor is used to obtain a whole image of the object at an accuracy of 1 mm and to pick up regions which are necessary to measure shapes and position of edges or holes, then a line sensor is used to obtain a high resolution image of picked-up regions by rotating and scanning the line sensor at an accuracy of 0.1 mm. This sensor system has an advantage that the acquisition time of image input is shortened and that the amount of data is much reduced as compared with an image input system using a line sensor only.

Experimental results show that this composite image sensor system is available in the field of not only parts' dimension and shape measurement but also three-dimensional geometrical measurement.

キーワード：センサ，視覚，画像処理，形状計測

1. ま え が き

近年，画像計測技術の生産工程への導入には目覚ましいものがあり，自動化，省力化の有力な決め手として注目されている。しかしながら，現在用いられている工業用カメラを用いた画像処理システム⁽¹⁾の解像度は縦横 500 画素程度（視野サイズの 0.2% の精度）が主流となっており，生産工程で要求される 0.1 mm の精度で寸法や形状の計測を行おうとすると，視野サイズはわずか 5 cm 程度に狭められ，対象物全体の画像を一度に撮り込めなくなる。従って，カメラあるいは対象物を精密に移動する装置が必要となり，画像計測の長所である高速性，機動性が失われてしまう。この問題点を解決する方法としては，画像入力・処理装置の解像度（画素数）を上げることが最も望ましいが，装置が特殊で高価なものになるうえ，高解像度化に伴いデ

ータ量が急増し，処理速度が著しく低下することや多量のデータを高速処理するためにシステムが大形化，複雑化するなどの問題が新たに発生する。

精度の向上を図る方法として，佐藤ら⁽²⁾，成瀬ら⁽³⁾は画素補間，内挿，関数あてはめなどの画像処理手法を提案している。しかし，広い視野に対して 0.1 mm の検出精度を安定的に得ることは困難である。このほかにも，精度を向上しかつ画像入力処理の効率化を図ったインテリジェント機能を有する画像入力センサの開発が行われている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。有賀ら⁽⁶⁾の極座標方式のカメラは，ラインセンサを回転させながら画像入力を行い，画面の中央付近の解像度を周辺部より数倍高め，画素数を増加させずに精度の改善を図っている。しかし極座標系のため，座標変換と画素補間処理が必要なこと，場所により精度が異なるなどの点から，寸法・形状計測には適しているとは言い難い。

上記したように、現状では大きな物体を対象とする高精度で汎用的な画像入力センサに適當なものがなく、高精度位置決め、寸法計測用途に画像計測法を導入するうえでの障害となっている。

著者らは、これらの用途に適した画像入力法を確立することを目指して、センサフュージョンの考えを参考にしながら既存の画像入力センサに再検討を加えた。そして、従来、単独に使われているエリアセンサとラインセンサを光学的、機能的に一体化し、高精度化と入力処理時間の短縮化とデータ量の少量化を同時に満足する複合形の新しい画像入力センサシステム（以下、複合視覚センサと略記）を開発試作した⁽⁷⁾。本方式では、まず分解能の粗いエリアセンサで対象物全体の画像を高速に撮り込み、エリア画像上で寸法形状計測に必要な領域を抽出指定する。次いで、指定した領域内をエリアセンサより分解能が7倍高いラインセンサを機械的に走査して二次元画像を撮り込み、この部分的な高精度画像を用いて寸法形状計測を行う。

本方式と既存のラインセンサを機械走査する画像入力装置⁽⁸⁾との相違点は、本方式ではエリアセンサでラインセンサの画像撮り込み領域を制御することによる画像入力時間の短縮と計測に不用な領域のデータの切捨てによる処理の高速化、効率化を図ることにより、汎用の画像処理装置で高精度寸法形状計測を可能にした点にある。機能面では、ラインセンサ回転機構を新たに設け、対象物の姿勢や形状に合せて高精度撮り込み領域を任意に設定できるように自由度を増し、画像入力の効率化と時間短縮を図っている。

以下、第2章では試作した複合視覚センサの構造、第3章では画像入力処理部の構成、第4章では画像入力処理法、第5章では具体的な機械部品への適用例を示し、提案した画像入力装置の性能と寸法形状計測への有用性を明らかにする。

2. 複合視覚センサの構造

試作した複合視覚センサシステムの外観を図1に示す。本システムは、画像入力センサ部と画像入力処理部により構成される。画像入力センサ部では受光部の形状の全く異なるエリアセンサ（横512、縦490画素）とラインセンサ（東芝製 TCD 106 C、一次元5,000画素）に同一視野の画像を直接結像させることが困難なことから、図2に示す光学系を考案した。対象物は光学レンズ系 L_1 によって、ラインセンサの受光面に結像され、また光路途中の電動切換え式のミラー M によってポリエステル製の白色半透明スクリーン S 上にも結像される。スクリーン像は裏面から光

図1 複合視覚センサの外観
Fig. 1. Outlook of a composite image sensor system.

図2 視覚検出部の光学系
Fig. 2. Optical construction of an image sensing unit.

図3 視覚検出部の構造
Fig. 3. Construction of an image unit.

学レンズ系 L_2 によってエリアセンサの受光面に縮小結像され、二つのセンサには同一視野の像が撮り込まれる。

ラインセンサを用いて高精度の二次元画像を得るための、回転および機械走査機構を図3に示す。回転と機械走査は2個の脉冲モータPMによって独立に行われる。回転機構を用いてラインセンサ軸の角度を対象物の姿勢に合せた後、機械走査を行い二次元画像が撮り込まれる。図4において、ラインセンサは、エ

リア画像の中央画素(縦240画素,横256画素の位置)を中心として ± 180 度の範囲で回転される。二次元画像を得るための機械走査機構の送り精度は、 ± 17.5 mmの移動幅において $14\text{ }\mu\text{m}$ である。同機構により撮り込まれるライン画像の7画像がエリア画像の1画素に対応している。

他方、ラインセンサの焦点合せを正確かつ簡便に行うため、ラインセンサの1走査線分のA-D変換(精度8ビット)後の出力信号画像が、約1秒周期でグラフィック表示される。図5において、画面上側は8画素おきの画素の輝度画像を、また画面下側はセンサ中央の500画素の輝度画像をそれぞれ示している。焦点合せは、対象物の測定面にテストパターンを置き、図

図4 エリア画像とライン画像の関係
Fig.4. Relation between area and line images.

図5 焦点合せ用画像
Fig.5. A graphic image for pint adjustment.

5の下側の画像を監視しながら、A-D変換後の各画素の輝度レベルの値が255に近づくように絞りの調整を行った後、パターンのエッジ部の立上りの波形が最も急になるように、光学レンズ L_1 のピントを手動で調整することにより行う。

3. 画像入力・処理部の構成

画像入力・処理部の構成を図6に示す。画像入力部では、エリア画像から対象物の特徴を高速かつ効率良く抽出するため、二つのルックアップテーブル(以下、LUTと略記)を直列に接続し、その間にディレイ回路を挿入したエリア画像入力部を考案した⁽⁹⁾。同回路により、二値化と微分処理、シェーディング補正と二値化処理など、二種類の異なる処理が高速に行われる。

画像メモリーは2メガバイト(最大縦横1,024画素 $\times$ 16ビット)の容量をもち、独自のアドレス指定方式⁽⁹⁾により、画素構成の異なるエリア画像とライン画像(一次元5,000画素)、ライン合成画像(縦横512画素から最大縦横1,024画素)が同一画像メモリー内で自由に取扱われる。他方、ラインセンサによる高密度の画像撮り込みと画像転送では多量のデータを扱うので、転送処理時間の短縮化を図る必要がある。画像の入力は図7に示すタイミングチャートに従い行われる。ラインセンサは指定した駆動周波数(100 kHz $\sim$ 2 MHz)で駆動され、一定周期(=5,000/駆動周波数, 1 MHzの場合, 5 ms)で電荷の蓄積と読み出しが繰返し行われる。ラインセンサ出力ビデオ信号は、A-D変換後、イメージバス(42 ns/byte)を経由して1ライン5,000画素分が画像メモリーのバッファ領域(No.1またはNo.2)に交互に高速転送される。そして、片方のバッファ領域への画像転送中に、他方のバッファ領域の画像データ中の指定領域の画像データだけが、VMEバスライン(350 ns/byte)を経由し

図6 画像入力処理部の構成
Fig.6. Construction of image input and processing units.

図 7 画像入力のタイミングチャート
Fig. 7. Timing chart of image input.

て画像メモリー内のライン合成画像表示領域に転送される。このように二つのバスラインと二つのバッファメモリーを用いて同時平行処理を行うことにより、データ処理時間は従来比 2/3 に短縮された。

4. 画像入力ソフトウェアの構成

複合視覚センサを用いて、寸法・形状計測を行うための画像入力法を以下に示す。

モード 1 は、対象物上の二点間の寸法や距離の計測を目的とする。エリア画像上で測定点を二箇所カーソルで指示すると、二点を結ぶ直線の傾きが計算され、ラインセンサ回転機構により、センサ軸はその角度と位置に設定される。この回転機構により、測定点がエリア画面のどのような方向と位置にあっても、機械走査領域の大きさと測定時間は常に一定となる。図 8 のエリア画像上には、白枠で示す縦 18 画素、横 36 画素の領域が 2 箇所に表示されるので、その位置を確認した後、ラインセンサによる画像の撮り込みを行うとエリア画像の下側に縦 126 画素、横 252 画素の大きさで撮り込み画像が 2 秒以内に合成表示される。この合成画像内の各画素の位置は画像メモリー内部では図 4 に示す縦横 5,000 画素の座標空間内の座標値として保存されているので、合成画像上の各穴の中心をカーソルで指示することにより二点間の距離（図中の DIST の値）が画素数で求まる。実寸法はこの画素数に換算係数 (mm/pixel) を掛けることにより求められる。

モード 2 は、寸法形状計測を行う領域をエリア画像上の任意の場所に複数個指定し、それらの領域をラインセンサで精度良く撮り込み、部分的な高精度画像を用いて寸法・形状計測を行うことを目的とする。撮り込み領域数は 1 箇所から 25 箇所まで指定でき、ライン合成画像の大きさは、縦横 512×480, 512×1,024, 1,024×512, 1,024×1,024 画素のいずれか一つを選択する。画像入力時間は画面の大きさ、領域の数と位置

図 8 ライン合成画像（モード 1）
Fig. 8. Example of a line scanning image (mode 1).

によって異なるが、10 秒以上要している。撮り込み方形領域は、ライン合成画像を領域数で等分割した大きさに自動設定される。ライン合成画像にはエリア画像で指定した方形領域の高精度撮り込み画像が指定した番号順に切り貼りして表示されている。各領域内の画素の座標値は、モード 1 と同様に縦横 5,000 画素の座標空間における値で示され、寸法形状の計測はその座標値に基づいて行われる。ここで、部品の寸法計測においては、同種の部品のあらかじめ指示された箇所の寸法を計測する例が多い。従って、エリア画像において高精度撮り込み領域を毎回指定していると画像入力に時間と手間がかかる。そこで、既知の部品については、高精度撮り込み領域の位置と測定パラメータをあらかじめ登録保存しておき、計測時には、部品の登録番号を指定すれば、読み取り領域が自動的に設定され、すぐに高精度画像の撮り込みが行える。

5. 本システムの性能と機械部品への適用例

本システムのセンサ軸（副走査）方向の精度は、ラインセンサの画素の製作精度に依存する。一方、機械走査（主走査）方向の精度は、機械走査機構の機械的な精度（送り精度と平行度）に依存する。回転機構は機械走査中は固定されているので精度には影響しない。格子パターンを用いた性能試験の結果、画像の撮り込み誤差はセンサ軸方向では、1 画素以内、機械走査方向では、±1 画素であり、ほぼ良好な性能を示した。なお、使用する光学レンズによっては画面周辺部に光学ひずみが発生し、精度低下の原因となる。

本システムの具体的な適用例として、機械部品の穴径の計測結果を示す。対象とする部品には直径の異なる多数の穴が開けられ、寸法検査では、各穴の直径と中心位置を 0.1 mm の精度で計測することが要求されている。測定精度と視野を考慮して、ライン合成画像

図 9 エリア画像 (領域指定)
Fig. 9. An area image.

図 10 ライン合成画像 (モード 2)
Fig. 10. Example of a line scanning image (mode 2).

の 1 画素が約 0.1 mm になるようにセンサは設置されている。計測は表示メニューから処理手順を随時選択することにより行われる。

まず、エリア画像を入力し高精度撮り込み領域の指定を行う。エリア画像の各穴部の中心付近にカーソルを移動させその位置をポイントすると、撮り込み領域が白枠で表示される。その際、ラインセンサ回転機構を用いてラインセンサの機械走査軸を部品の姿勢に合わせる。既知の部品で測定箇所が既に登録してある場合は、登録ファイル番号をカーソルで指示するだけで撮り込み領域がエリア画面上に自動的に設定される。図 9 に示すように撮り込み領域がすべて正しい位置に設定されたことを確認後、ラインセンサによる画像の撮り込みを指示すると、機械走査が始まり、図 10 に示すライン合成画像が約 10 秒後に表示される。

続いて、得られた合成画像の二値化と境界抽出処理を選択する。照明むらやシェーディングの影響を除くため、各領域ごとにしきい値を変え二値化を行う。二値画像から各領域ごとに穴部の面積 S 、周囲長 L の画素数を計算し、穴径 $D_m (= \sqrt{4S/\pi})$ を求める。次いで、円形度 $P (= 4\pi S/L^2 > 0.9)$ により穴形状のチェッ

表 1 穴径計測結果の例
Table 1. Measurement of diameter of holes.

No.	面積 (pixels)	周長	D_m (mm)	D_a (mm)	誤差 (mm)	円形度 P
1	2,882	199	8.9	9.0	-0.1	0.915
2	2,890	195	8.9	9.0	-0.1	0.955
3	2,876	200	8.9	8.2	0.7	0.904
4	4,366	242	10.9	11.0	-0.1	0.937
5	4,442	246	10.9	11.0	-0.1	0.922
6	2,178	172	7.6	7.6	0	0.925
7	2,606	187	8.3	8.2	0.1	0.936
8	4,496	246	11.0	11.0	0	0.934
9	2,260	173	7.9	8.0	-0.1	0.949
10	4,578	249	11.1	11.0	0.1	0.928
11	4,378	240	10.9	11.0	-0.1	0.955
12	3,090	207	9.1	9.0	0.1	0.906
13	4,548	246	11.0	11.0	0	0.944
14	2,538	188	8.2	8.2	0	0.902
15	4,520	245	11.0	11.0	0	0.946
16	3,074	206	9.1	9.1	0	0.910

クを行った後、設計値との比較を行う。表 1 に穴径の計測結果の例を示す。No. 3 の穴径が設計穴径 D_a と明らかに異なっており、加工ミスであることが判明した。現在、画像入力から計測結果の出力までに要する時間は約 30 秒であり、従来の手作業による直接測定に比較すると、1/10 程度に時間短縮された。

以上に示した適用例から、従来の画像入力装置では計測が困難であった大きな対象物の位置決めや寸法形状計測が、本システムにより高精度かつ効率良く行えることが示され、本方式の寸法形状計測への有用性が確認された。

6. む す び

エリアセンサとラインセンサを一体化した複合視覚センサシステムを開発し、機械部品などの寸法形状を高精度かつ効率良く計測する手法を提案した。すなわち、対象物全体を分解能の粗いエリアセンサで高速に撮り込み、寸法形状計測に必要な領域を抽出した後、エリアセンサより分解能が 7 倍高いラインセンサを回転移動・機械走査して画像を撮り込み、この部分的な高精度画像を用いることにより、寸法形状計測が効率良く行えることを示した。本システムを機械部品の寸法・形状計測に適用した結果、従来法に比べ、画像入力時間は数分の一に、データ量は数十分の一に削減されることが示され、本センサの有用性が明らかになった。

本システムは局所的に精度を必要とする用途、例えばパターン光投影法による三次元物体の形状計測においても有用であると考えられる。今後は、計測時間の

より短縮化を図ると共に、部品の種別と姿勢をエリア画像を用いて自動認識させ、自動計測の可能なシステムに発展させて行きたい。

(平成元年9月25日受付)

文 献

- (1) 江尻：工業用画像処理，p.137（昭63）昭晃堂
- (2) 佐藤・井口：「液晶レンジファインダー——液晶シャッタによる高速距離画像計測システム——」，信学論(D)，J71-D, 1249（昭63-7）
- (3) 成瀬・野村・山本：「スリット光による高精度距離・姿勢計測」，同上(D)，J69-D, 1888（昭61-12）
- (4) H. Kono: "Moving robot applied mark tracking", *Bridge Control Sci. Tech.*, 5, 2387 (1985)
- (5) 小郷・橋本・大平・桜井：「ライン CCD を用いた精細画像抽出方式」，信学論(C)，J65-C, 958（昭57）
- (6) 有賀・吉野・小郷・溝手・寺川：「極座標方式ライン CCD カメラの検討」，同上(C)，109, 394（平元-5）
- (7) 岡田・今出・宮内・住本・麦田：「複合視覚センサーシステムの開発」，第3回産業における画像センシングシンポジウム，p.92（昭63）
- (8) 肥塚・平岡・中島・稲垣：「辞書学習機能を備えた一括画像入力形高速キー配列検査装置」，電学論C，108, 339（昭63-5）
- (9) 岡田・麦田：「画像処理用 VME ボードの開発」，第2回産業における画像センシングシンポジウム，p.5（昭62）

岡 田 三 郎 (正員)

昭和23年11月30日生。49年3月広島大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年4月通産省工業技術院中国工業技術試験所に入所，現在に至る。主に，流体計測，画像を利用した計測技術の研究に従事。計測自動制御学会，日本機械学会，電子情報通信学会会員。

住 本 哲 宏 (正員)

昭和16年4月30日生。42年3月岡山大学大学院理学研究科修士課程修了。シャープ(株)を経て，48年通産省工業技術院中国工業技術試験所に入所，現在に至る。生産技術部システム工学研究室長。工学博士。主に，画像処理，データベースの研究に従事。計測自動制御学会，電子情報通信学会会員。

宮 内 秀 和 (非会員)

昭和32年3月30日生。59年九州大学大学院総合理工学研究科博士課程単位取得のうえ退学。同大学工学部助手を経て，61年通産省工業技術院中国工業技術試験所に入所，現在に至る。主に，システム制御，画像処理の研究に従事。計測自動制御学会，日本機械学会，電子情報通信学会会員。

山 本 秀 樹 (正員)

昭和19年1月2日生。41年3月岡山学工学部電気工学科卒業。同大学助手，同講師を経て，63年同大学医療技術短期大学部助教授，現在に至る。工学博士。主に，医用画像処理の研究に従事。計測自動制御学会，日本 ME 学会，電子情報通信学会会員。