複数の注視領域を有するロボット視覚のための ウィンドウ制御用 LSI の開発

井 上 博 允*・溝 口 博**・稲 葉 雅 幸*
池 端 重 樹***・磯 貝 文 彦***

Development of Window Control LSI Chip for Multi Window Robot Vision System

Hirochika INOUE*, Hiroshi MIZOGUCHI**, Masayuki INABA*,
Shigeki Ikebata*** and Fumihiko ISOGAI***

This paper describes a versatile multi-window vision system, which is developed for providing robots with flexible and multiple visual attention capability. Chapter 1 is introduction. A window is a local region to be processed for one attention. The multi window vision system provides a large number of windows. The location, shape, size, and resolution of each window can be controlled by a special LSI, independently and simultaneously. In Chapter 2, we describes the concept and architecture of the multi window vision system. The multi window vision system is designed to build a pandemonium model by means of multi microprocessors. In order to avoid the image access bottleneck in parallel processing, we introduced a transmitter-receiver into the multi window vision system. Chapter 3 describes the transmitter unit which broadcasts input images to the window receivers. In Chapter 4, the details of the logic circuits inside the window control LSI is described. The LSI chip controls window parameters which are location, size, shape, spatial sampling rate, window memory access, and the display of the window image. In Chapter 5, the image processing unit that implements

the LSI chips is described. Chapter 6 shows the experimental results using the image processing unit. Chapter 7 is Concluding Remarks.

Key Words: robot vision, multi-window vision system, window control LSI

1. はじめに

人間は常時意識しているわけではないが、物を探したり、環境の変化を監視したり、物の移動を誘導したり、動作前後で物の存在を確認したりするような作業などで、どこをどう見るかといった注視領域をいろいろ使いわけている。もし、そのように速くて柔軟な性能をもつ注視能力をロボットに与えることができれば、視覚情報に基づいたロボット制御がよりよく実現できるであろう。視覚フィードバック、モニタリング、ベリフィケーションのための処理プログラムは、対象の特徴的な部分に着目して処理するというように作られるため、一般的に注視点は複数必要であり、また並列に処理されるべきである。

このような複数の注視領域を並列に処理できる能力をロボットに付与するため、これまでロボット用のマルチウィンドウ視覚システムを設計し試作してきた。個々の注視点で処理される矩形領域をウィンドウとよんでいる。マルチウィンドウ視覚システムでは、多数のウィンドウを利用することができる。各ウィンドウは、スクリーン上に固定されることなく任意の位置に設定できる。場所、形状、大きさ、画像のサンプリング密度などのパラメータを個々のウィンドウごとに独立に制御することができ、さまざまな注視領域を設定

* 東京大学工学部・文京区本郷 7-3-1

** 東京大学工学部 (現在(株)東芝総合研究所)

*** 三菱電機(株)応用機器研究所 尼崎市塚口本町 8-1-1

* Faculty of Engineering, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo

** (Toshiba Research and Development Center)

*** Mitsubishi Electric Co. Ltd., Amagasaki

(Received March 25, 1987)

(Revised September 8, 1987)

することができる。

ウィンドウ画像を取り込む部分の回路は 2400 ゲートからなる CMOS ゲート・アレイ・チップ上に実装している。この LSI チップがウィンドウの位置、大きさ、形状、空間サンプリング密度、ウィンドウ・メモリー・アクセス、ウィンドウ画像表示を制御する。各ウィンドウの画像は汎用のマイクロコンピュータを用いたウィンドウプロセッサで処理される。マルチウィンドウ視覚システムは多数のウィンドウプロセッサから構成されるものである。

ロボット視覚にはロボットの動作に必要な外界の情報を得る機能が必要であり、動作にかかわる部分を注視する能力は不可欠のものである。これまでに、ロボット視覚処理において、局所処理と、大域的な処理とを組み合わせる物体認識を行わせるということは行われてきたが、ロボットに柔軟な注視能力を付与することを目的として開発された視覚システムの研究例は見当たらない。また、マルチ・マイクロ・プロセッサによりパターン認識処理装置を実現しようとした研究の例として、ZMOB¹⁾、MACSYM²⁾、PX-1³⁾などがあるが、複数の注視領域という考え方ではなく、画像を一様に並列処理するものであるといえる。さらに、画像処理用 LSI としては、T 9506⁴⁾、ImPP⁵⁾、ISP⁶⁾などが開発されているが、これらは、画像データを一様に並列処理するものであるのに対し、本研究で開発した LSI は、画像スクリーン中の任意の場所、サイズ、解像度を設定したウィンドウ領域の画像データをメモリーへ取り込む制御を行うものである。

本論文は、マルチウィンドウ視覚システム概念と構成、および、ウィンドウ制御用 LSI 内部の論理回路と LSI チップを搭載した画像処理ユニットの詳細を述べ、実際にマルチウィンドウ視覚システムの働きを示す実験結果を付ける。

2. マルチウィンドウ視覚システムの概念と基本設計

Fig. 1 にマルチウィンドウ視覚システム概念図を示す。図は、複数の注視領域を処理するデモンの共同体によりロボットの視覚を実現することを示したのである。個々のデモンはそれぞれが有する窓を通して実世界を見、窓に映る画像を処理する。たとえば、あるデモンは線分状の窓を用い、あるものは小さな矩形型の窓、またあるものは広い範囲をおおまかに見ることが出来る窓を通して実世界を見ている。すべてのデモンは並列に処理を行っている。マルチウィンドウ視覚システムはこのようなパンデモニウム・モデル⁷⁾を

Fig. 1 The concept of multi window vision system

マルチ・マイクロプロセッサで実現することを目指して設計したものである⁸⁾⁻¹⁰⁾。

画像の並列処理システムの設計における問題点は画像メモリの構成方法にある。もし、共通の画像メモリーが多くの処理プロセッサから同時にアクセスされると、バスの競合がおこる。このメモリーアクセスの競合問題を避けるために、ここでは画像データの転送方法としてトランスミッタ・レシーバ方式を導入した。すなわち、トランスミッタはビデオ信号を離散値化し、得られた画素データをビデオレートでビデオバスへ乗せる。レシーバはビデオバスのデータを眺めていて、プログラムで設定した形状、場所、解像度をもつウィンドウ内の画素データのみをそれぞれの局所ウィンドウメモリーへ取り込む。ビデオバスのデータの流は一方向で読み出し専用であるため、画像データを複数のウィンドウメモリーへ同時に取り込む場合にもアクセス競合は起こらない。それゆえ、多くのウィンドウ画像処理ユニットがそれぞれのウィンドウデータを同時にかつ独立に取り込んで処理することができる。

Fig. 2 は、一つの画像データのトランスミッタと複数のウィンドウ処理ユニットからなるマルチウィンドウ視覚システムを示す図である。トランスミッタはビデオ信号を離散値化した画素データと画素のカウントパルスをビデオバスからビデオレートで送り出す。ビデオバスには複数のウィンドウ処理ユニットを結合でき、個々の処理ユニットはウィンドウデータ取込制御回路、小容量ウィンドウメモリー、マイクロプロセッサ、表示制御回路からなる。画素カウント用の

Fig. 2 The system architecture

水平および垂直のパルスを数えることによって、ウィンドウは画素アドレスを知り、その画素データが指定されたウィンドウ領域内のデータであるかどうかを判断する。個々のウィンドウは指定された場所の画素データのみを選択的にそれぞれのウィンドウメモリへ取り込むことができる。マイクロプロセッサの能力を考えて、ウィンドウメモリの大きさを 64×64 の正方形ウィンドウに対応する 4 KB としている。

ウィンドウメモリの大きさは一見小さくみえるが、本方式ではメモリの利用方法を柔軟にしてメモリの利用効率を高くするように設計したものである。まず、ウィンドウの位置を制御することができるため、ウィンドウをビデオスクリーンの任意の位置に設定することができる。そして、ウィンドウの大きさと縦横比もまた可変である。さらに、画像の解像度、いいかえれば、空間データのサンプリングレートもまた可変である。このように、4 K の画素データを取り込むウィンドウであっても、高解像度で局所領域を処理したり、低解像度で広い範囲の画像を処理することが可能である。つまり、場所、大きさ、縦横比、空間解像度を適宜制御することによって小容量のウィンドウメモリであっても非常に柔軟な使い方を実現できる。ビデオバス上のデータは読出し専用であるため、ビデオバスに接続された多くのウィンドウは、ウィンドウが重なりあっても、それぞれ指定されたデータを同時に取り込むことができる。

マルチウィンドウ視覚システム上のプログラムの虫取りだけでなく、システムが実際にどのように働いているのかを監視するためにウィンドウ画像をモニタ TV 上に表示することは非常に効果的である。表示制御回路はこの目的のために組み込んだものである。ウィンドウ制御回路は、場所、大きさ、縦横比、空間解像度のパラメータに従って、ウィンドウメモリの読み書き用パルスを生成する。この同期パルスを用いてウィンドウ制御回路は、ウィンドウメモリの内容を読み出し、重ね合せ表示の優先順位に従ってディスプレイバスへ乗せる。各ウィンドウの競合を避けるために、表示の優先順位を決めなくてはならない。現在のシステムでは、優先順位をデジタイズチェーン方法によって決めている。

以上述べたマルチウィンドウ視覚システムのプロトタイプは、まず最初 TTL 論理回路によって開発した⁸⁾。16 個のウィンドウをもつ TTL 版のシステムが成功したので、ウィンドウ制御回路の主な機能をゲートアレイチップ上に実現することにした。ゲートアレイ内の回路については 4 章で述べる。

Fig. 3 The transmitter

3. トランスミッタ・ユニット

Fig. 3 にトランスミッタ・ユニットのブロック線図を示す。同期分離回路とビデオアンプが複合ビデオ信号から映像信号を取り出し、それを A/D 変換器の入力レベルまで増幅する。分離された同期信号から、画素座標系の原点を決めるための水平および垂直のブランキングパルス (HBLNK と VBLNK) が作られる。現在のシステムではビデオ走査の方法はノンインタレースモードである。TV スクリーンの縦横比が 3:4 であるため、水平解像度は各走査線ごとに約 320 画素である。この解像度を得るために画素クロックを 6 MHz とした。TV ジッタを軽減するためにマスタクロックの周波数を 24 MHz とした。マスタクロックは A/D 変換のタイミングと画素クロックを決めるために用いる。6 bit の離散値映像信号、画素クロック、HBLNK、VBLNK のすべてがビデオバスから各レシーバへ送られる。

カラー画像のトランスミッタも簡単に設計できる。まず、NTSC カラー信号を R (赤)、G (緑)、B (青)、Y (輝度) と同期信号に分解する。分解されたカラー成分の信号を上記述べた単色のトランスミッタ回路へ送ればよい。この場合、ビデオバスは離散値化した R、G、B、Y 信号、画素クロック、HBLNK、VBLNK をもつバスとなる。

トランスミッタ・ユニットは、表示用の信号を合成するための回路も含んでいる。その回路は、個々のウィンドウからディスプレイバスを通して送られてくる映像信号を離散値化したスクリーン画像と複合してモニタ TV へ送る働きをもつ。

4. ウィンドウ制御用 LSI

ウィンドウ制御回路はビデオレートでビデオバス上の映像データをウィンドウメモリへ CPU を介さずに DMA 転送する。Fig. 4 はゲートアレイチップ上に実装したウィンドウ制御回路を単純化したブロック

Fig. 4 A simplified block diagram of window control LSI

線図である。本章では、ウィンドウ制御用 LSI 内部の主な論理回路について述べる¹¹⁾。

4.1 TV スクリーン上の画素アドレス

現在のシステムは NTSC 信号に対してノンインタレースモードで動作し、実質的に利用できる水平走査線は 240 本である。TV スクリーンの縦横比が 3 : 4 であるため、水平線の長さは 320 である。設計の簡単化のため 8 bit のアドレスカウンタを用いているため、通常の利用時にはスクリーンの大きさを 256×240 としている。320 $\times$ 240 の大きさをもつモードも設定可能であるがここでは単純な 256×240 モードについて述べる。スクリーンの左上隅が画素座標系の原点とすると、右下隅の点の座標は (255, 239) である。ビデオバスから送られる画素クロックと HBLNK パルスによって、水平座標と垂直座標をそれぞれ決めることができる。

4.2 ウィンドウの場所、サイズ、縦横比

ウィンドウの場所は左上隅を原点とした座標系により定義される。ウィンドウの左上隅の点の座標を (X0, Y0) とし、右上隅の点の座標を (X1, Y1) とする。このとき、ウィンドウの位置が (X0, Y0)、水平方向のサイズが $X1 - X0 + 1$ 、垂直方向のサイズが $Y1 - Y0 + 1$ 、縦横比が $(Y1 - Y0 + 1) : (X1 - X0 + 1)$ となる。

4.3 IN-WINDOW フラグ

ビデオバス上の現在の画素データが指定されたウィンドウ領域の内部であるかどうかを判断するために四つの 8 bit プリセット・カウンタ (LEFT, RIGHT, TOP, BOTTOM) を用いている。これらのプリセット・カウンタには、X0, X1, Y0, Y1 のデータがそれぞれ対応する。水平ブランキング・パルス (HBLNK) により LEFT に X0, RIGHT に X1 が

それぞれセットされ、画素クロックごとに LEFT, RIGHT をカウント・ダウンする。LEFT カウンタがゼロになり、あらかじめセットされていた数をかぞえ終わると、カウンタのボロウパルスがフリップ・フロップ FF1 をセットする。RIGHT カウンタもあらかじめ設定された値に達するとボロウパルスを出し、フリップフロップ FF1 をリセットする。同様に VBLNK パルスによって TOP と BOTTOM カウンタがプリセットされ、HBLNK パルスがそれらをカウント・ダウンする。そして、TOP と BOTTOM のボロウパルスによってフ

リップフロップ FF2 が制御される。これら二つのフリップフロップ FF1 と FF2 の状態によって現在の画素データがウィンドウの内部であるかどうかを判定することができる。もし、IN-WINDOW フラグが真であれば、現在の画素データが指定されたウィンドウ領域内部に存在するデータであることがわかる。

4.4 ビデオバスから画像メモリーへのデータ転送

IN-WINDOW フラグが真である時点のみビデオバスからウィンドウメモリーへの画像データの DMA 転送がなされる。IN-WINDOW フラグが立っている場合にビデオバス上の画素クロックに従って画像データがメモリーへ書き込まれ、メモリーのアドレスカウンタがカウント・アップされる。この場合には、画像メモリーは 1 次元配列として使われる。1 次元配列を 2 次元のウィンドウ画像として処理するためには、水平、垂直のウィンドウサイズが正確に得られていないてはならない。開発した LSI では、2 次元配列としてメモリーをアクセスするモードも利用することができる。このモードでは、アドレスカウンタは水平と垂直のそれぞれのアドレスに分割され、下位の 6 bit が画素クロックをカウントし、上位 6 bit が HBLNK パルスによってカウント・アップされる。

4.5 空間解像度

画像の空間解像度の制御は非常に簡単である。指定されたサンプリング密度を実現するために、画素クロックと HBLNK パルスが水平、垂直用の N 分割カウンタに送られる。 N 分割カウンタの出力が画像データの DMA 転送の制御に用いられる。それぞれの N 分割カウンタを 4 bit のプリセット値で独立に制御することによって、水平、垂直のサンプリング密度を設定することができる。

4.6 メモリー・アクセス制御

ウィンドウメモリーに書き込まれた画像データは、汎用のマイクロプロセッサにより処理される。CPU はウィンドウメモリーを直接読み書きできるだけでなく、ウィンドウ制御 LSI を経由してもウィンドウメモリーにアクセスすることができる。ウィンドウ制御 LSI を経由する場合には、CPU からアクセスする度にウィンドウメモリーのアドレスカウンタを自動的に一増やすというオート・インクリメント・モードも利用することができる。

4.7 ウィンドウ・メモリーの表示用読出し

指定されたウィンドウ・パラメータに従ってウィンドウ制御 LSI は、標準の TV 走査に従ったメモリーのアドレッシングを正確に常時実行している。それゆえ、そのアドレスにより読みだしたデータをディスプレイバスからトランスミッタへ転送することによって、ウィンドウメモリーの内容を TV モニタへ表示することができる。ウィンドウ間の表示優先度を定める回路と表示をするかしないかを制御する部分の回路がウィンドウ制御用 LSI の中に組み込まれている。

4.8 レジスタ

これまで述べた LSI の諸機能を制御するために、ステータス・レジスタ、モード・レジスタ、LEFT, RIGHT, TOP, BOTTOM レジスタ、ウィンドウメモリー・アドレス・レジスタ、サンプリング・レート・レジスタを用いている。

5. ウィンドウ処理ユニットの実現

Fig. 5 は、ウィンドウ制御用 LSI の応用回路例である。図からわかるようにウィンドウ制御用 LSI、ウィンドウメモリーと CPU によって簡単にウィンドウ処理ユニットを実現することができる。

Fig. 6 は、ウィンドウ制御用 LSI を IEEE-796 標

Fig. 5 An application to window processing unit

Fig. 6 The four-window processing unit

準バスをもつプリント基板に実装したウィンドウ処理ユニットの例である。このユニットは四つのウィンドウ制御用 LSI, MC 68000 CPU, 128 KBRAM, 64 KBROM と、基板間のメッセージ伝達のための 2 KB 双方向 RAM からなる。

6. 実験結果

本章では、マルチウィンドウ視覚システムが実際にどのように働くかを示す実験結果について述べる。実験結果は前章で述べたウィンドウ処理ユニットを用いて行ったものである。

ウィンドウの基本形状は長方形、または、枠型の 2 種類選べる。ウィンドウの場所と大きさはそれぞれの左上隅と右下隅の座標で定義できる。Fig. 7 では、ウィンドウ 1 (64×64 正方形) が (60, 40) の位置にあり、ウィンドウ 2 と 3 はそれぞれ 256×16 と 32×128 の大きさを持ち、ウィンドウ 4 が線状ウィンドウである。

Fig. 8 は、異なる解像度をもつウィンドウを示した。最も大きいウィンドウが広い範囲を粗くとったものであり、一画素が 180×160 の範囲にわたって 3×3 ごとに取り込んだ画素に対応している。最も小さいウィンドウは 50×50 の大きさを持ち、間引を行わずに取ったものである。

Fig. 9 は、異なる枠幅をもつ枠型ウィンドウの例である。1, 2, 3 のウィンドウの枠幅は、それぞれ 2,

Fig. 7 Various window

Fig. 8 Windows of different resolution

Fig. 9 Frame type windows

Fig. 10 Sixteen windows

Fig. 11 An example of window usage

6, 10 である。枠型ウィンドウの場合には空間サンプリング密度を変えることはできない。

Fig. 10 と Fig. 11 は、種々の大きさと場所を指定した多数のウィンドウを示したものである。現在の実験システムでは、56 個のウィンドウを同時に利用す

Fig. 12 Image processing by windows

ることができる。いくつかのウィンドウを同じ大きさでかつ同じ場所に置くことも可能であり、その場合、各ウィンドウに対して連続的に画像を取り込んで処理を行えば擬似的なパイプライン処理を実行させることも可能となる。

ウィンドウの画像処理は汎用のマイクロプロセッサ MC 68000 を用いて行っている。画像処理用の基本的な画像処理ルーチンはプログラム言語 C で記述している。Fig. 12 は基本的な画像処理の例を示したものである。

7. おわりに

ロボットのためのマルチウィンドウ視覚システムについて特にウィンドウ制御用 LSI について詳しく述べた。本システムは、ロボット視覚における複数の注視能力の研究用に設計し、開発してきたものである。まず最初のシステムは TTL 回路で実現した。そのシステムの開発が成功したのでウィンドウ制御部の主要回路を LSI 化した。この LSI はウィンドウの場所、大きさ、縦横比、空間解像度、ウィンドウメモリーのアクセス制御、ウィンドウの表示制御用回路を内蔵している。このウィンドウ制御回路は、2400 ゲートをもつ CMOS ゲートアレイ上に実現し、40 ピンのデュアルインパッケージに納めてある。

このチップを用いてこれまで種々のマルチウィンドウ視覚システムを作製してきた。ひとつは 5 章で述べた非常に性能の高いシステムである。現在、14 枚のマルチバス版のウィンドウ処理ユニットとマスタ制御ボードを結合したシステムとなっており、全部で 56 枚のウィンドウを有するシステムとなっている。もう一つのシステムは、小型の簡易型低コスト版のシステムである。このシステムは、大きさが 210 mm×155 mm の基板のなかに、トランスミッタ回路、二つのウィンドウ制御 LSI とウィンドウ制御用 8 bit マイクロプロセッサ 1 個を実装したものである。前者はロボットの視覚と動作の協調制御などの高度のロボット研究用

に開発したものであり、後者は産業用の簡単な視覚センサなどの通常の応用に開発したものである。

実験によってこのシステムが複数の視覚デモンを実現するために非常に柔軟なハードウェア構成を与えることがわかった。現在、視覚モニタリング、視覚フィードバック¹²⁾、ベリフィケーション視覚などの視覚と動作の知的な結合法の研究実験¹³⁾を行っている。

マルチウィンドウ視覚システムの初期の版の開発に貢献された森田俊彦氏（現 富士通研究所）、村田佳生氏（現野村総合研究所）に心より感謝の意を表す。本研究は文部省の科学研究費補助金 No. 59850040 の援助を受けたものである¹⁴⁾。

参 考 文 献

- 1) C. Rieger: ZMOB: Hardware from a User's Viewpoint, Proc. Pattern Recognition and Image Processing, 399/407, August (1981)
- 2) 坂井, 稲垣: ファクシミリ端末をもつパターン理解並列処理装置, 電子通信学会研究会資料, PRL 80-98, 15/22 (1980)
- 3) 佐藤, ほか: パターン情報処理用マルチマイクロプロセッサシステム PX-1, 電子通信学会論文誌, J64-D-11, 1021/1028 (1981)
- 4) A. Kanuma, et al.: A 20 MHz 32 b Pipelined CMOS Image Processor, ISSCC Digest of Technical Papers, 102/103 (1986)
- 5) M. Iwashita, et al.: A Data-Driven VLSI Image Processor (ImPP), in L. Uhr, et al. eds. Evaluation of Multicomputers for Image Processing, 301/318, Academic Press (1986)
- 6) 福島, ほか: 画像処理用 LSI-ISP のアーキテクチャ, 情報処理学会研究報告, 83-CV-26, 6 (1983)
- 7) P. H. Lindsay and D. A. Norman: Human Information Processing, Academic Press (1977)
- 8) 溝口, 井上: マルチウィンドウ方式ロボット視覚システム, 第 23 回計測自動制御学会学術講演会, 547/558 (1984)
- 9) 溝口, 村田, 井上: マルチウィンドウ方式ロボット視覚システム, 第 2 回ロボット学会学術講演会, 257/258 (1984)
- 10) H. Inoue and H. Mizoguchi: A Flexible Multi Window Vision System for Robots, Proc. of 2nd International Symposium of Robotics Research, Kyoto, 42/49 (1984)
- 11) 井上, ほか: マルチウィンドウ方式ロボット視覚システム—ウィンドウ制御用 LSI の開発—, 第 3 回ロボット学会学術講演会, 163/164 (1985)
- 12) 稲葉, 井上: ロボットによる紐のハンドリング, 日本ロボット学会誌, 3-6, 538/547 (1985)
- 13) H. Inoue, H. Mizoguchi, Y. Murata and M. Inaba: A Robot Vision System with Flexible Multiple Attention Capability, Proc. of International Conference on Advanced Robots, Tokyo, 199/206 (1985)
- 14) 井上博允: セミカスタム LSI を用いたマルチウィンドウ処理方式ロボット視覚の開発研究, 昭和 59 年度科学研究費補助金研究成果報告書 (1986)