

カラー動画画像処理システム 『章駄天／カラー』

古明地 正俊, 佐々木 繁, 尾崎 暢, 佐藤 龍哉, 太田 善之
株式会社 富士通研究所

本報告は、カラー画像をビデレートで処理できる画像処理システム『章駄天／カラー』に関するものである。このシステムは、筆者らが提案した『構造可変型パイプラインアーキテクチャ』に基づいた3組の処理ユニットを並列に動作させることにより、高速性を実現した。さらに、カラーを構成するRGBの各画像を相互に演算で処理するカラー処理モジュール、動的に任意領域の抽出ができるマスクモジュール、画像の特徴量を算出できるモジュールを開発したことにより、カラー動画特有の処理にも柔軟に対応できる構成になっている。また、実際にカラー動画を処理することによって、本システムの有効性を確認した。

A COLOR TIME-VARYING IMAGE PROCESSING SYSTEM: "color-IDATEN" (in Japanese)

Masatoshi KOMEICHI, Shigeru SASAKI, Tohru OZAKI, Tatsuya SATOH, Yoshiyuki OHTA
FUJITSU LABORATORIES LTD., Pattern Information Processing Laboratory,
1015 Kamikodanaka, Nakahara-ku, Kawasaki, 211 JAPAN

We have already developed an image processing system "IDATEN", which can process time-varying monochrome images at video rate, based on a reconfigurable pipeline architecture that we proposed. This paper describes the improvements of this architecture and the prototype for time-varying color images. To realize this, we have newly developed three kinds of processing modules: color coordinate transforming modules, dynamic masking modules for extracting specified regions, and feature extraction modules. To keep the same processing rate for color images, the system was designed with three processing units which operate in parallel. The experimental results verify that the system is effective for time-varying color image processing.

1. まえがき

近年、デジタル画像処理技術の応用分野の拡大に伴い、各種ビデオ機器を入出力とする動画像処理装置への要求が増えてきた。しかし、汎用計算機は大量の画像データを一画素ごと逐次処理するため動画像処理には適さない。この要求に対処するために、完全並列型、マルチプロセッサ型およびパイプライン型など様々なアーキテクチャが考案されてきた⁽¹⁾。これらのうちパイプラインアーキテクチャ型は、画像を次元のデータ列として扱うため現行の入出力機器との整合性が良く高速化が期待できるが、柔軟性に欠けるという問題がある。この問題を解決するために、筆者らは構造可変型パイプラインアーキテクチャを提案し、濃淡画像をビデオレートで処理できる動画像処理システム「章駄天」を開発した⁽²⁾⁽³⁾。

この成果を踏まえ、今後さらに多様化する要求に対応するために、濃淡画像のみならずカラー画像をもビデオレートで処理できるカラー動画像処理システムを試作した。本稿ではカラー動画像処理の実現におけるシステム要件を明確にし、それに対処できるシステムアーキテクチャならびに試作したシステムについて説明するとともに、処理例を紹介する。

2. カラー動画像処理の実現課題

カラー動画像処理を実現するには、時間とともに連続的に変化する画像から動く物体を抽出する動

像対応、赤(R)、緑(G)、青(B)の3枚の濃淡画像から色相、彩度、明度といった色情報を抽出するカラー画像対応、および動き領域や色領域に対して重心や形状などの特徴量を算出する濃淡画像対応から構成されると考えた。

以上の観点から、カラー動画像処理システムを実現するにあたり、これまでに開発した濃淡動画像処理システム「章駄天」の成果を生かしカラー画像に対応した処理機能を構築することを目指した。

構造可変型パイプラインアーキテクチャに基づいたシステムを開発するにあたり課題となったのは、処理速度がこれまでの3倍以上高速であることはもちろん、つぎの三つの条件を実現することだった。

- (1) 動的に任意形状の領域に着目して処理できること。
- (2) 色相、彩度、明度を抽出する処理に代表されるように、RGB 3枚の画像を相互に組合せ、ビデオレートで処理できること。
- (3) 重心、形状などの特徴量をビデオレートで算出できること。

3. システムアーキテクチャ

構造可変型パイプラインの原理を図2に示す。これは自在に接続を変えることのできるネットワークに複数種類の画像処理モジュール(PM)を接続した構成となっており、処理アルゴリズムに応じてネットワークを切り換えるだけでPMのパイプライン結合を自在に変えることができる。このネットワー

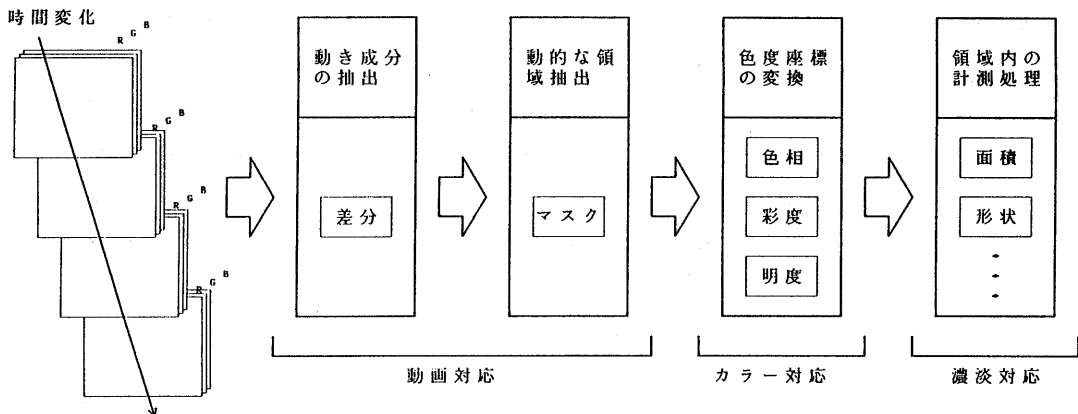


図1. カラー動画像処理の概念

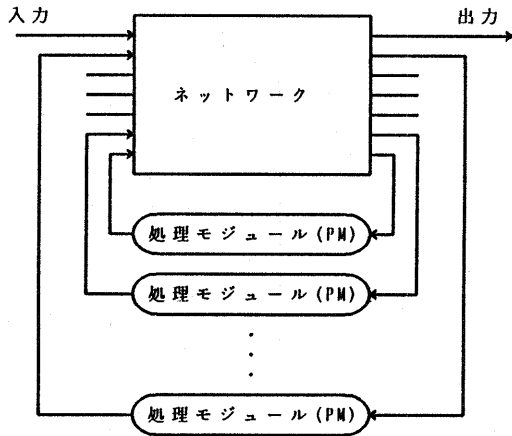


図 2. 構造可変型パイプラインの原理

と複数種類の画像処理モジュールから成る部分を以下画像処理ユニット (IPU) と呼ぶ。

実現したカラー動画画像処理システムの構成を図 3 に示す。これは 3 組の IPU を並列構成とし RGB 画像に対応させた画像処理部と、各 IPU 内部のネ

ットワークや PM のパラメータ設定などシステム全体を管理するホスト CPU から成る。3 組の IPU では同期信号生成部で発生する水平 / 垂直同期信号をシステムクロックにてパイプライン転送することで RGB 画像の同期処理を実現している。このため、3 組の IPU を相互結合したネットワークバスを介して画像を交換 / 処理することもできる。

以上の構成により、濃淡画像処理システムと同様の制御手法のまま 3 倍の処理能力を実現した。

3-1. 領域の抽出

カラー動画画像処理では動いている対象物や、その色彩に着目し、動的に特定の領域を抽出したり面積の算出を行う必要がある。この機能を実現するため、PM の 1 つとしてマスク生成モジュールを開発した。その内部構成を図 4 に示す。このモジュールは画像データに同期した 1 ビットのマスクデータを生成することができる。後段の各 PM は、このマスクデータの 0, 1 によってその画素を処理するか否かを選択する。マスクデータの生成は次の 3 種類で行う。

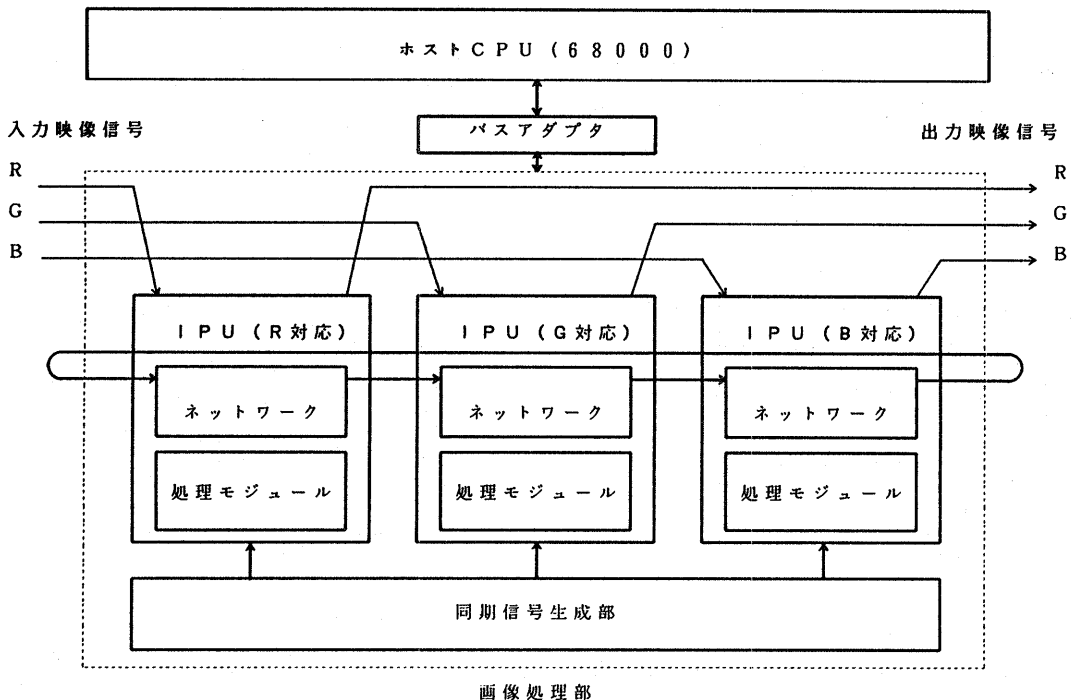


図 3. システム構成

- (1) CPUからの座標指定による矩形マスク、
 - (2) 入力データと前段からのマスクデータによって定まるLUTマスク、
 - (3) ビットプレーンによる任意形状マスク、
- 実際のマスク領域はこの3種類の方法を組み合わせることで設定することが可能である。

動的に任意領域を抽出するためには、LUTマスクを使用する。図5に動き領域を抽出するための接続例を示す。まず画素間演算モジュールにおいて、背景の画像と入力画像との差分をとる。マスク処理モジュールのLUTに対して、その差分がある閾値より大きい場合1、その他の場合0を予め設定しておく。このようにすることで、後段のPMは、動き領域に着目した処理ができる。

3-2. カラー画像処理

カラー画像をデジタル処理する場合、R、G、B 3枚の濃淡画像を入力画像とするのが一般的である。この場合、画像処理手法は次の2つに分類できる。

(1) R、G、B 独立の処理

外部同期可能なRGBビデオ機器から映像信号を入力し、システム内部で画像データと同時に水平/垂直同期信号をパイプライン転送することでRGB画像の同期処理を可能にした。このため、RGBの各IPUにおいては、従来の「章駄天」と同様の制御手法を用いて、画像処理を実行できる。

(2) R、G、B 相互の処理

カラー画像を扱う場合、目的に応じて何種類かの座標系が用いられる。例えばRGB画像からCIE表色系の色相、彩度、明度を算出する場合、以下の式をビデオレートで計算する必要がある⁽⁴⁾。

$$\text{色相} = \cos^{-1} \frac{2r - g - b}{\sqrt{6} \{ (r-0.3)^2 + (g-0.3)^2 + (b-0.3)^2 \}^{1/2}}$$

$$\text{彩度} = 1 - 3 \min(r, g, b)$$

$$\text{輝度} = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

$$\text{ただし、} r = R/T, g = G/T, b = B/T$$

$$T = R + G + B$$

本システムにおいては、RGB画像から各種の座標系への変換が柔軟かつ高速に実現出来るカラー処理モジュールを開発した。このモジュールはRGB

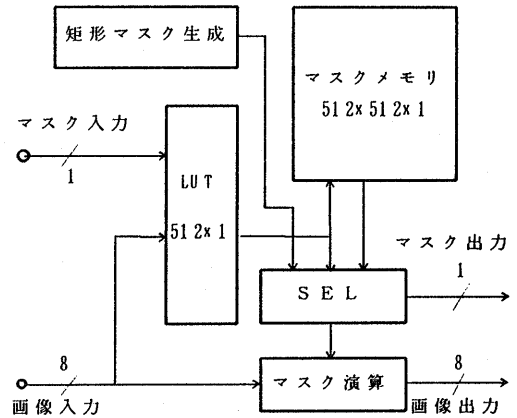


図4. マスク生成モジュール

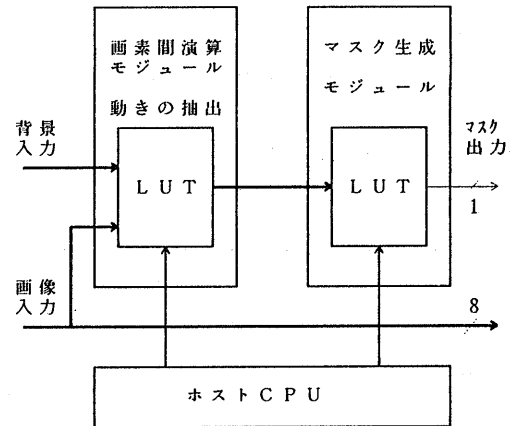


図5. 動的マスクの生成

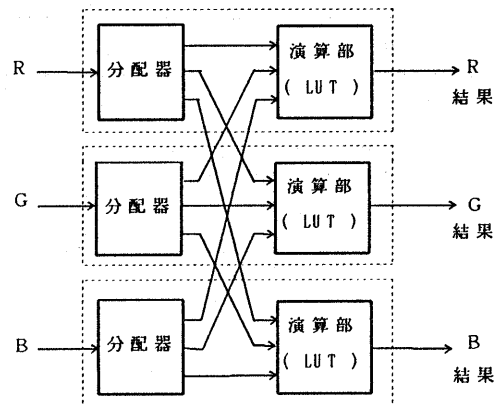


図6. カラー処理モジュール

画像データを相互転送するための分配器とLUTによる演算部から構成されている。演算部では予め上式を実現する変換表をLUTに設定しておき、入力されるRGB画素値を合成アドレスとするテーブル参照によりビデオレート処理を実現した。

3-3. 特徴量の算出

動物体の構造や性質を知るためには、対象領域を抽出した後に面積や形状といった特徴量を測定する必要がある。本システムでは、投影、ヒストグラムなどの特徴量を算出するためのモジュールを4種実装した。ここでは投影モジュールについて述べる。

投影モジュールは、1ライン中の画素値の和を算出するためのものであり、重心などを求めることができる。図7は投影モジュールのブロック図である。ネットワークから入力された画像データは、1ライン投影部において演算が行われ、その結果が表示生成部とメモリに渡される。表示生成部ではグラフ化した投影結果を入力画像データと重ね合わせた画像をネットワークに出力する。また、CPUが毎フレームの処理結果をCPUに読み込めるように、結果を格納するメモリにダブルバッファ方式を用いた。

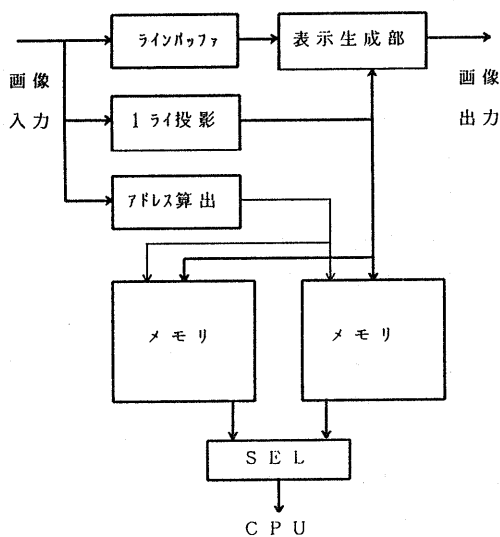


図7. 投影モジュール

4. 『韋駄天／カラー』の主要諸元

試作したカラー動画像処理システム「韋駄天／カラー」の外観を図8に示す。1PU内のネットワークおよび各PMのパラメータ設定などシステム全体の管理はホストCPUで行うが、以下に内部の制御機構を紹介する。

4-1. 基本制御

システムの基本仕様を表1に示す。入力画像は外部同期が可能なRGBビデオ信号とし、A/D、D/A変換部においてインタレース／ノンインタレース変換を行う。A/D、D/A変換時のサンプリングクロックを81.5nsecとすることで、画素の縦横比を1対1にした。これにより、画像の回転や面積計測などにおいても画像サイズを保存した処理を行うことができる。また、画像処理部におけるシステムクロックは120nsecとし、処理モジュールのパイプライン演算を行っている。サンプリングクロックとシステムクロックの同期調整は、画像入出力部に設けた2フレーム分の画像メモリによって実現した。

4-2. ネットワーク

構造可変型パイプラインの制御機構は各種PMの画像バスをネットワークで結合することで実現している。ネットワークは、Benes型多段スイッチングネットワークの各スイッチの論理を、2状態から4状態にすることにより1対多通信ができるように拡張したものである。1つのネットワークには入出力が各々16ノードあり、1ノードのデータ幅は12bitである。また、素子間のパイプライン化を図ることにより20MB/secの転送速度を達成した。各PMは演算機能によってパイプライン遅延数が異なるが、画像データに同期して垂直／水平／マスク信号もパイプライン遅延するため、いかなるパイプライン結合にも柔軟に対処できる。

4-3. 処理モジュール(PM)

PMの諸元を表2に示す。画像から画像へ変換する機能として7種、画像から特徴量を抽出する機能として4種、その他「韋駄天」制御に関する5種のPMから成る。これらのPMは、数多く提案されている画像処理アルゴリズムの中から共通に利用され

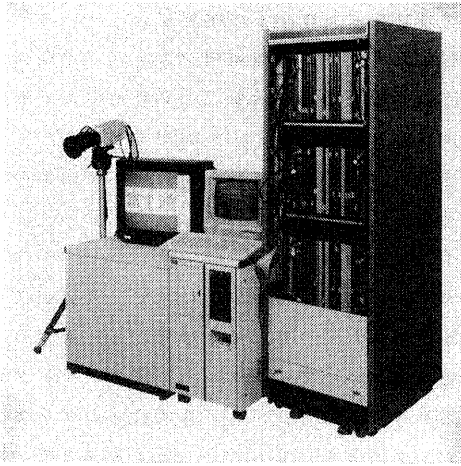


図 8. 「飛駆天 / カラー」のシステム外観

表 1. 基本仕様

項目	諸元
入出力ビデオ信号	EIA RS-170A 規格準拠 RGB 外部同期型
対象画像サイズ	RGB 各々 512x 512x 8
サンプルクロック	81.5nsec (画素比 1:1)
システムクロック	120nsec (パイラインピッチ)
ネットワーク	Benes 型多段スイッチングネットワーク 16入力×16出力×3組
画像バス構成	画像データ 8 ビット 垂直同期 1 ビット 水平同期 1 ビット マスクデータ 1 ビット

表 2. 処理モジュール諸元

機能分類	処理モジュール
画像 / 画像変換	空間フィルタ (3x3) 論理フィルタ (3x3, 4段) メディアンフィルタ (1x3, 1x5, 1x7, 1x9) 濃度変換 画素間演算 RGB 演算 回転 / 拡大 / 縮小
画像 / 特徴変換	投影算出 ヒストグラム算出 形状ヒストグラム算出 特徴点抽出 (3x3, 64K点)
その他	A / D D / A 速度変換 イメージメモリモジュール ディレイモジュール マスク生成モジュール

る基本演算をハードウェア化したもので⁽⁵⁾、テクノロジーは S / L S の M S I を基本とし、A 4 判サイズのプリント板各 1 枚から成っている。動作速度は 1 画素あたり 120 nsec であり、1 秒間に 30 枚の画像を連続して処理できる。

また、画像処理アルゴリズムによっては複数の並行パイプライン構造を必要とする場合があるが、本システムでは 1 フレーム遅延の調整用にイメージメモリ、細かなパイプライン遅延の調整用にディレイメモリを結合することで、並行パイプライン間の同期合わせを行うことができる。

4-4. ソフトウェア

各 P M は、ワイヤードロジックで作られた専用処理プロセッサである。そのためホスト計算機からは、各 P M に対するパラメータとネットワークの設定を行うだけで、画像処理を行うためのアプリケーションプログラムを容易に作成することができる。また、画像メモリや投影結果のメモリ空間は、ホスト計算機の主記憶空間上にマッピングしてあり、プログラム中で配列として扱うことが可能である。そのため既存の高級言語で作られた画像処理プログラムの移植も比較的容易にできる。

5. 画像処理実験

ここでは本システムの高速度と有効性を検証するために、動いている物体を T V カメラから直接入力し、動画像処理を行った実例を紹介する。処理対象の画像を図 9 に示す。この中で動く対象物は赤と黄色の 2 機の飛行機である。

5-1. 移動物体の消去

動いている物体のみを消去するための処理フローを図 10 に示す。この機能は、P M 2 においてフィードバックを含むパイプライン結合を構成することにより実現した。P M 2 は、画像メモリと画素間演算部から構成されており、新しく入力された画像と累積中の画像とを画素ごとに比較し、その差がある閾値より大きい場合、累積画像の画素値を入力画像の画素値に近づく方向に値を変化させる。こうすることで移動物体のみを消去し、背景に収束した画像を得る⁽⁶⁾。

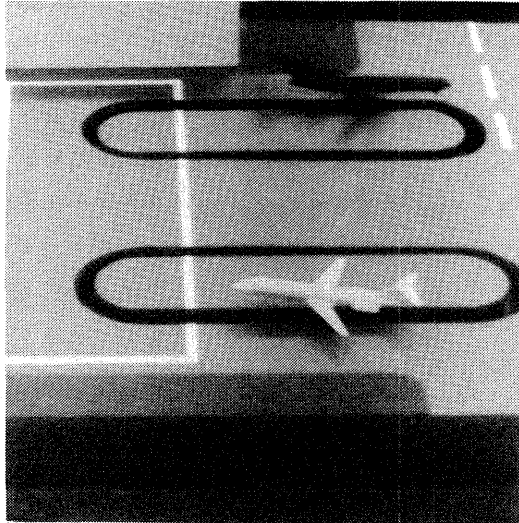


図 9. 処理対象画像

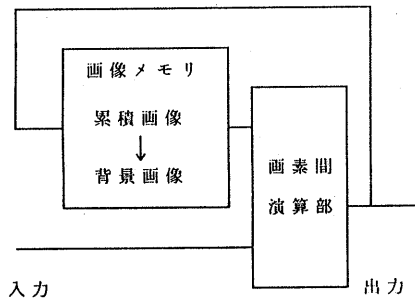


図 10. 移動物体の消去

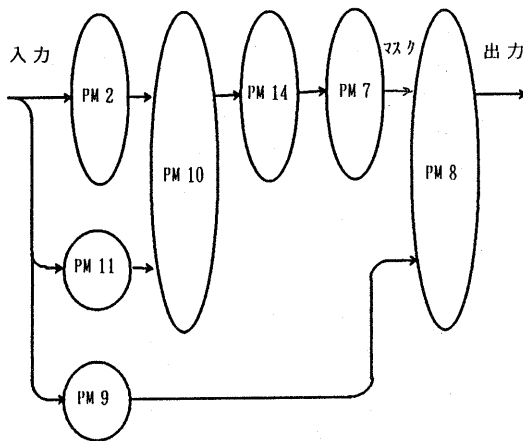


図 11. 移動物体の抽出

5-2. 移動物体の抽出

動いている物体のみを抽出するための処理フローを図 11 に示す。PM 10 は PM 2 で得られた背景画像と PM 11 の入力画像の差分演算を行い動いている対象物の領域を抽出する。つぎに、動いている対象物をきれいに抜き出すために、PM 14 の RGB 処理モジュールにて RGB 画像のいずれかで変化のあった領域を抽出し、PM 7 でその領域に対応するマスクデータを生成する。最後に、PM 8 で入力画像に対するマスク演算を行い、動いている対象物を動的に抽出する。また、PM 9 と PM 11 は並行パイプライン間の同期補正を行うためのディレイモジュールである。移動物体を抽出した結果を図 12 に示す。

5-3. 色抽出

特定の色を抽出するためのフローグラフを図 13 の点線内部に示す。PM 14 は RGB 処理モジュールであり、色相と彩度を同時に算出するテーブルを設定している。「章駄天」では 8 ビットデータバスを基本としているため、RGB 処理モジュールの演算結果では色相成分を 5 ビット、彩度成分を 3 ビットに割り当てた。この割り当てでは色相の分解能が 11.25° 、彩度が 8 分割であるが、筆者らの評価では対象物を十分に色分離できると判断した。PM 7 はマスク生成モジュールであり、PM 14 から出力される色相と彩度において指定する特定の色に対応したマスクデータを生成する。PM 9 は並行パイプライン間の同期補正を行うディレイモジュール、PM 8 は PM 7 で生成するマスクデータに対応する入力画像の特定色だけを出力する。

5-4. 特徴量算出

特定の色を抽出した後に投影処理を行うためのフローグラフを図 13 に示す。点線で囲まれた色抽出処理部の後段に投影モジュールを接続することにより、投影結果をビデオレートで算出することができる。

以上の設定に基づいた実験結果を図 10 に示す。図 10 は黄色抽出および投影処理の結果であり、色相が $202.5 \sim 225^\circ$ 、彩度が 3 ~ 8 分割の範囲を指定した結果である。彩度の 1 ~ 2 分割目を省いたの

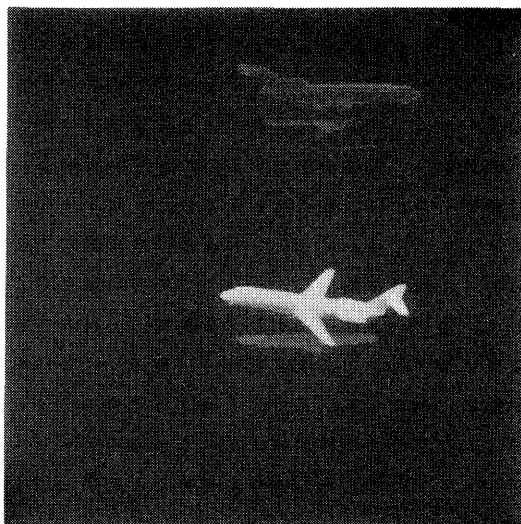


図 1 2 . 移動物体の抽出結果

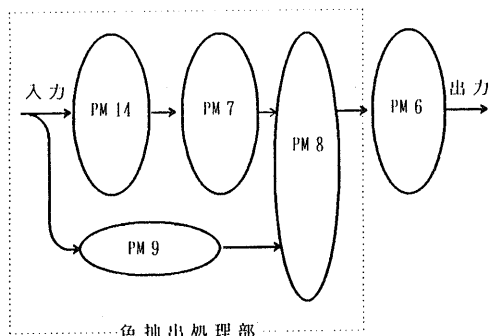


図 1 3 . 色および特徴量抽出

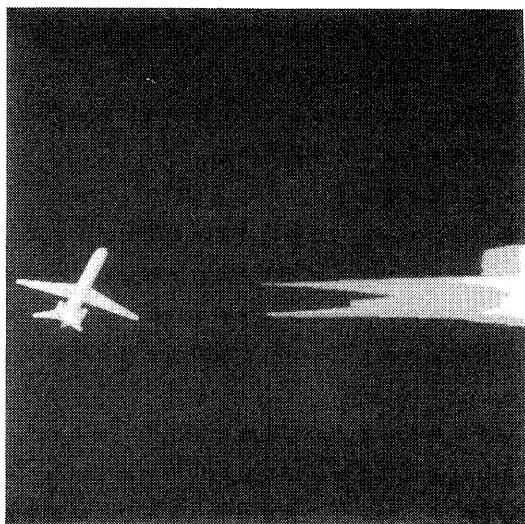


図 1 4 . 色および特徴量抽出結果

は白黒の輝度成分が表れるのを除去するためである。投影結果はビデオレートでグラフ化して画面右端に表示した。

以上の画像処理実験を通じて、本システムがビデオレートでカラー動画像を処理できることを実証するとともに、その制御ソフトウェアも容易に作成できることを確認した。

むすび

カラー動画像をビデオレートで処理できるシステムアーキテクチャと、それに基づいて試作した動画像処理システム「章駄天／カラー」について述べた。「章駄天／カラー」は高速性と柔軟性を兼ね備えたシステムであり、画像処理実験を行うことによってその有効性を検証した。

こうしたビデオレートでの汎用画像処理システムを実現したことによって、静止画像はもちろん対象が動くようなカラー動画像に対しても連続処理ができるようになった。そのため、今後はロボット用視覚認識システム、危険な場所での遠隔監視、工場で扱う各種機器や部品の検査など画像処理の応用分野が飛躍的に広がることが期待できる。

謝辞

日頃御指導いただく峯島部長、吉田部長代理、並びに関係各位に感謝する。

参考文献

- (1) 木戸出他：パイプライン方式と完全並列型が増えた最近の画像処理装置，日経エレクトロニクス，295，pp.179-212，(1982)
- (2) 佐々木他：構造可変型ビデオレート画像処理システム「章駄天」，情処学CV研報，CV37-1，(1985)。
- (3) S. Sasaki et. al.：High speed pipeline image processing system with a modifiable network，I E E E Proc. Supercomputing Systems，pp.476-484，(1985)。
- (4) 白井："コンピュータビジョン"，昭晃堂，pp.108-117，(1980)。
- (5) 山本他：多機能な演算器と豊富なアルゴリズムライブラリを備えた画像処理システム，信学論'85/4，Vol. J68-D，pp.925-932，(1985)。
- (6) 長谷部他：マルチプロセッサ型ビデオ像処理システム S I P S，情処学CV研報，CV39-5，(1985)。
- (7) 佐々木他：構造可変型ビデオレート画像処理システム「章駄天」，—カラー処理アーキテクチャ—，第34回情処学全大，3D-3，(1987)。
- (8) 佐藤他：構造可変型ビデオレート画像処理システム「章駄天」，—カラー処理制御方式—，第34回情処学全大，3D-4，(1987)。