

# 回転不変位相限定相関法を基にしたビジョンアルゴリズムのFPGA実装

○ 森原浩之, 山本紘督, 平井慎一 (立命館大学)

## Implementation of Vision Algorithm based on Rotation Invariant Phase Only Matching on FPGA

○ Hiroyuki Morihara, Kosuke Yamamoto, Shinichi Hirai (Ritsumeikan Univ.)

**Abstract:** In this paper, we describe a real time vision system based on rotation invariant phase only matching on an FPGA. This vision algorithm can detect the position and the orientation of a planar motion object, robustly against noise. But it requires much computation time. Thus, we will implement the algorithm on an FPGA to reduce the computation time.

### 1 はじめに

CCD カメラのビデオフレームレートは 33ms であり, この時間内に処理を行えばリアルタイム性を確保したことになる。ところが, 一般に画像処理の演算量と性能はトレードオフの関係にあり, 現在の PC では性能を犠牲にして演算量を減らすことによりリアルタイム性を確保するほかない [1]。本研究では回転不変位相限定相関法を基にしたリアルタイムビジョンシステムの構築を目指している。このアルゴリズムは物体の並進移動と回転をロバストに検出することが可能であるが, 演算量が非常に多いという特徴を持っている。本報告では, このアルゴリズムを FPGA に実装することによりリアルタイム性と性能を両立したビジョンシステムの構築について述べる。

### 2 ビジョンアルゴリズム

本研究で用いている回転不変位相限定相関法 (RIPOM) は, 画像の運動変位を求める手法であり, 回転変位と移動変位を求めることができる [2]。本節では, 回転不変位相限定相関法の流れについて述べる。

#### 回転不変位相限定相関法

Step1 元画像  $g(x, y)$ , 入力画像  $f(x, y)$  をフーリエ変換し, 周波数スペクトル  $G(\xi, \zeta)$ ,  $F(\xi, \zeta)$  を得る。

Step2  $G, F$  の直流成分を画像の中央にくるように再配置して, 対数パワースペクトルを取り出し,  $LG(\xi, \zeta)$ ,  $LF(\xi, \zeta)$  を得る。

Step3  $LG, LF$  を直流成分を中心に  $0 \sim 180$  度の範囲で極座標変換し,  $PG(r, \theta)$ ,  $PF(r, \theta)$  を得る。

Step4  $PG, PF$  について, 各  $r$  に対して 1 次元位相限定相関法を行い  $\theta$  方向のマッチングを行う。

Step5 求めた各  $r$  に対する  $\theta$  に対して投票し, 投票数の最大となる角度  $\alpha$  を求めることにより, 回転角度を求める。

Step6 角度  $\alpha$  を基に元画像を回転することにより元画像  $g'(x, y)$  を求め, 元画像と入力画像の姿勢をそろえる

Step7 元画像  $g'(x, y)$  と入力画像  $f(x, y)$  に対して, 位相限定相関法を用いてマッチングを行い, 移動量検出を行う。

位相限定相関法では, 回転していない 2 つの画像間の画像照合と移動量検出を行う。位相限定相関法の流れを以下に示す。まず, 元画像  $g'(x, y)$  入力画像  $f(x, y)$  それぞれをフーリエ変換し,  $G'(\xi, \zeta)$ ,  $F(\xi, \zeta)$  を得る。次に,

$$C(\xi, \zeta) = \frac{LF(\xi, \zeta)}{LG'(\xi, \zeta)} = \frac{F(\xi, \zeta)G'^*(\xi, \zeta)}{|F(\xi, \zeta)G'^*(\xi, \zeta)|} \quad (1)$$

を計算する。ここで,  $G'^*(\xi, \zeta)$  は  $G'(\xi, \zeta)$  の複素共役を表す。そして, 求めた  $C(\xi, \zeta)$  を逆フーリエ変換する。求まる相関関数  $c(x, y)$  のピークを示す  $x$  座標と  $y$  座標を求め, ピーク値を見ることにより, 2 つの画像間の画像照合, 移動量検出が可能となる。Step5 では, この位相限定相関法を 1 次元データに対して行っている。

### 3 回路設計

回転不変位相限定相関法の各ステップを個々のモジュール (機能単位) として設計を行う。なおこの時, ハードウェア設計で通常使用される HDL である Verilog-HDL を用いて設計を行う。

#### 3.1 2次元高速フーリエ変換モジュール

2次元高速フーリエ変換モジュールは, 1次元高速フーリエ変換モジュールを利用することにより実現するので, まず 1次元高速フーリエ変換モジュールを設計する。1次元高速フーリエ変換モジュールは, Xilinx 社から IP コアとして提供されている 256 点 FFT コアと Dual Port RAM を用いて設計する。しかし, 今回は画像サイズ  $128 \times 128$  を処理するので 128 点 FFT コアが必要であるが, IP コアとして用意されていないため, 256 点 FFT コアを用いて 128 点 FFT モジュールを設計している。128 点フーリエ変換の結果の値は, 128 点データを 2 周期分続けて 256 点データとして 256 点フーリエ変換した結果の偶数番目の成分の 2 分の 1 の値に一致する。そこで, 256 点フーリエ変換結果の偶数番目のみを抽出することで, 128 点高速フーリエ変換モジュールを実現している。

次に, この 1次元高速フーリエ変換モジュールを用いて, 2次元高速フーリエ変換モジュールを設計する。2次元高速フーリエ変換モジュールは, まず画像データに対して横方向の 1次元フーリエ変換を全ての行に対して行い, その結果に対して縦方向の 1次元フーリエ変換を全ての列に対して行うことにより実現している。そのため, 処理時間が非常に多くかかってしまうので, 1次元高速フーリエ変換モジュールを 4 つ使ったパイプライン処理を使って設計し, 高速化している。その設計構成を Fig.1 に示す。

#### 3.2 対数変換モジュール

対数変換モジュールは, 入力  $x$  に対して, 出力  $\log(1+x)$  を求める。対数の値は, 折れ線近似により計算する。すなわち, 入力  $x$  が区間  $[x_k, x_{k+1}]$  に含まれるとき, 対数の値を  $a_k x + b_k$  で近似する。ただし, 各区間に対する  $a_k$  と  $b_k$  の値は, あらかじめ

しめ求めておく。

### 3.3 極座標変換モジュール

極座標変換モジュールは、入力画像に対して極座標変換を行い変換結果を出力する。入力値として極座標系の  $r$  と  $\theta$  を入力し、それに対応する直交座標系の  $x, y$  を出力する。また、極座標変換で用いる  $\sin$  と  $\cos$  の値は、テーブルルックアップにより求める。

### 3.4 幾何変換モジュール

幾何変換モジュールは、入力画像に対して幾何変換を行い、画像を回転させ変換結果を出力する。極座標変換モジュールと同様に  $\sin$  と  $\cos$  の値は、テーブルルックアップにより求める。

### 3.5 回転角度検出モジュール

極座標変換した画像データから、1次元位相限定相関法を用いて回転角度を検出する。極座標変換した画像データの各  $r$  ごとに  $\theta$  に関する1次元位相限定相関法を行い、検出されるピークに対する角度に投票し、投票数が最大値となる角度を求める。ここでは、1次元高速フーリエ変換モジュールとIPコアとして用意されている除算コアを用いて設計する。

### 3.6 移動量検出モジュール

このモジュールでは、回転角度検出モジュールにより求めた角度  $\alpha$  を基に幾何変換モジュールを使って元画像を回転させ入力画像との姿勢をそろえた元画像と入力画像を使って、移動量を検出する。2つの画像をそれぞれ2次元フーリエ変換し、式(1)を使って  $C(\xi, \zeta)$  を求め、その結果を逆フーリエ変換することにより、相関関数  $c(x, y)$  を得て、そのピークを検出することにより移動量を検出している。ここでは、IPコアである平方根コアと除算コアを用いて設計している。

## 4 実装

設計する各モジュールを組み合わせたビジョンモジュールの構成を Fig.2 に示す。ここでは Frame Buffer を2つ用意している。片方のデータを基に回転角度検出、画像照合を行っている間に、CCDカメラにより入力されるデータをもう片方の Buffer に格納する。

実装を行う試作 FPGA ボードを Fig.3 に示す。このボードは、写真化学製の CM59(Xilinx 製 VertexE2000 搭載)FPGA ボードを中心に、三菱マイコン機器ソフトウェア製の MU200-VDEC(ビデオデコーダ)、MU200-VENC(ビデオエンコーダ)、MU200-SRAM を接続したものである。映像入力は、CCDカメラからの信号である。

実際に極座標変換モジュールを実装した結果を Fig.4 に、幾何変換モジュールを実装した結果を Fig.5 に示す。極座標変換する対象画像を Fig.4-(a) に、出力結果を Fig.4-(b) に示す。極座標変換の結果より、画面の中心を原点に  $0 \sim 180$  度(画像右半分)に対して、変換が行われていることが確認できる。幾何変換については、1フレームごとに1度ずつ回転させた時の画像の様子の一部を示している (Fig.5)。画像の中心を原点に回転している。これらのモジュールを実装させたときの実装面積(使用スライス数)は、極座標変換モジュールでは 276/19,200 で全体の1%、幾何変換モジュールでは 1,453/19,200 で全体の7%となった。

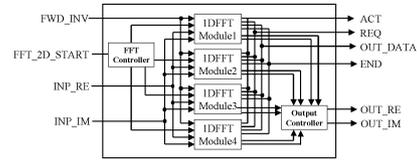


Fig. 1: Construction of 2D-FFT module

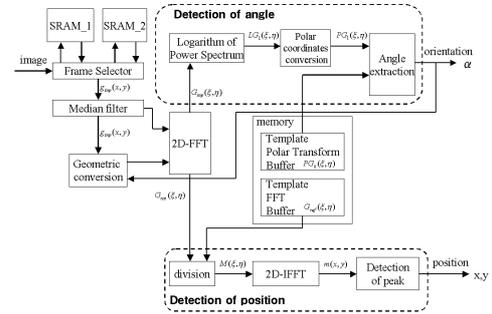


Fig. 2: RIPOM Circuit

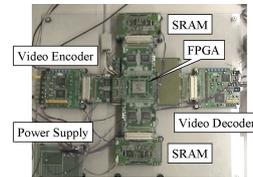


Fig. 3: Prototype FPGA Board



(a) Object image (b) Conversion image

Fig. 4: Polar coordinate conversion implementing result



(a) 45° (b) 135°

Fig. 5: Geometry conversion implementing result

## 5 終わりに

本報告書では、回転不変位相限定相関法における各ステップに対応するモジュールの設計と、シミュレーションによる検証を行った。また、FPGA ボードに極座標変換と幾何変換を実装し、それぞれのモジュールについてリアルタイムでの処理ができていたことを確認した。今後は設計、検証が完了している残りのモジュールを FPGA に実装し、回転不変位相限定相関法を基にしたビジョンアルゴリズム全体を搭載することによりリアルタイムビジョンシステムを構築する。

## 参考文献

- [1] 座光寺・増淵・坪井・平井：片側ラドン変換を基にしたビジョンアルゴリズムの FPGA 実装；日本機械学会 [No.02-6] ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集。
- [2] 大槻・青木・樋口・小林：回転不変位相限定相関法に基づく画像照手法とその評価；計測自動制御学会東北支部 第 194 回研究集会 (2001.6.1) 資料番号 194-7。