

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 Real Time Vision System based on Rotation Invariant Phase Only Matching

○ 森原浩之, 座光寺正和, 坪井辰彦, 平井慎一 (立命館大学)

Hiroyuki Morihara*, Masakazu Zakoji, Tatsuhiko Tsuboi, Shinichi Hirai,
Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ., Kusatsu, Shiga 525-8577

In this paper, we will develop a real time vision system based on rotation invariant phase only matching on FPGA's. 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. We use C++ based design to implement the algorithm on an FPGA.

keywords: vision, real time, rotation invariant phase only matching, FPGA

1 はじめに

現在のビジョンシステムに用いられることの多い CCD カメラはビデオフレームレイト 33ms であり, この時間以内に画像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, PC を用いた画像処理では簡単なビジョナルゴリズムを用いないとリアルタイム性を確保するのは難しい. 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. 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. 本研究ではこのアルゴリズムを FPGA 上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を目指す.

2 ビジョナルゴリズム

2.1 位相限定相関法

位相限定相関法は回転していない 2 つの画像間の画像照合, 移動量検出を行うものである. 登録画像を $g(x, y)$, 入力画像を $f(x, y)$ とし, それぞれをフーリエ変換したものを $G(\xi, \zeta)$, $F(\xi, \zeta)$ とすると,

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

により, $C(\xi, \zeta)$ を得る. ここで, $G^*(\xi, \zeta)$ は $G(\xi, \zeta)$ の複素共役を表す. これを逆フーリエ変換することにより求まる相関関数 $c(x, y)$ のピークを取る x 座標・ 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.

2.2 回転不変位相限定相関法

回転不変位相限定相関法は, 回転角度検出フェーズ, 画像照合フェーズからなる. 画像照合フェーズは, 位相限定相関法を用いる. 回転角度検出フェーズは, 以下に示す処理を行うことにより回転角度を得る.

回転角度検出フェーズ

Step1 登録画像 $g(x, y)$, 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 の直流成分画像の中央にくるように再配置して, $CG(\xi, \zeta)$, $CF(\xi, \zeta)$ を得る.

Step3 CG , CF の対数パワースペクトルを取り出し, $LG(\xi, \zeta)$, $LF(\xi, \zeta)$ を得る.

Step4 LG , LF を直流成分を中心に $0 \sim 180[\text{度}]$ の範囲で極座標変換し, $PG(r, \theta)$, $PF(r, \theta)$ を得る.

Step5 PG , PF について最小二乗法

$$e(h) = \sum_r \sum_{\theta} \{PG(r, \theta - h) - PF(r, \theta)\}^2$$

により得られる関数のピークを求めることにより, 回転角度を検出する.

次に, 回転不変位相限定相関法全体の流れを示す. まず, 回転角度検出フェーズにより 2 つの画像間の回転角度を検出し, その角度を基に元画像を幾何変換することにより 2 つの画像間の姿勢をそろえる. その後, 画像照合フェーズにより画像間の画像照合, 移動量検出を行う.

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 と, C Level Design 社の System Compiler を併用して C++言語ベースの設計を行う. この System Compiler は C++言語で記述したソースを HDL へと変換するソフトウェアである. C++言語ベース設計の特徴として, 通常のコンパイラでもコンパイル可能で, HDL と同じ動作が保証されるため, 使い慣れたデバッグ環境で高速にシミュレーションを行うことが可能であること, テスト用の映像データ, 画像データの準備にも PC の豊富なりソースを利用できることが挙げられる.

3.1 メディアンフィルタモジュール

メディアンフィルタモジュールは画像の持つ不要な高周波成分, ノイズを除去するために, 前処理として用いる. 具体的な処理方法を以下に述べる. $N \times N$ の画像におけるある点 (i, j)

を中心とした 3×3 の平方領域における 9 画素の輝度値を 1 クロックにつき 1 つずつ入力し、入力されるたびに輝度値の高い順に並び換えるというものである。このモジュールは、9 クロックで結果を返す回路となる。

3.2 2次元フーリエ変換モジュール

2次元フーリエ変換モジュールには、Verilog-HDL に付属している IP コアである FFT モジュールと Dual Port RAM モジュールを用いて構成する。FFT モジュールは 1 次元フーリエ変換を行うものなので、これを 256×2 回用いることによって 2 次元フーリエ変換を実現している。1 回の FFT に 1,329 クロックかかるので、2 次元フーリエ変換を完了するのに 680,448 クロックかかる。

3.3 回転角度検出フェーズモジュール

回転角度検出フェーズモジュールは 3 つの段階からなる。まず最初の段階で、2 次元フーリエ変換した結果の対数パワースペクトルを取り、直流成分を中心に並び換える。次に、その結果の直流成分を中心に $0 \times 180[\text{度}]$ の範囲で極座標変換する。最後に、その結果 $PF(r, \theta)$ とテンプレートに格納しておいた登録画像の $PG(r, \theta)$ でマッチングを行い、回転角度を検出する。

3.4 幾何変換モジュール

幾何変換モジュールでは、回転角度検出フェーズモジュールからの出力である角度を基に、入力画像の中心を原点に回転する。具体的には、入力角度を $\alpha[\text{rad}]$ 、元画像を $f(x, y)$ 、回転させた画像を $f'(x_{\text{new}}, y_{\text{new}})$ として、以下の式を基に画像を回転させる。

$$\begin{cases} x = x_{\text{new}} \cos(-\alpha) - y_{\text{new}} \sin(-\alpha) \\ y = x_{\text{new}} \sin(-\alpha) + y_{\text{new}} \cos(-\alpha) \end{cases} \quad (2)$$

この際、C++ で一定角度幅おきに対応する値を用意しておき、角度が入力されると対応するコサイン、サインの値を出力するモジュールを設計する。

3.5 画像照合フェーズモジュール

画像照合フェーズモジュールは、3 つの段階からなる。はじめに、幾何変換した結果を 2 次元フーリエ変換した結果と登録画像を 2 次元フーリエ変換した結果を用いて、式 (1) の計算を行い $C(\xi, \zeta)$ を算出する。次に、その結果を 2 次元逆フーリエ変換することにより、相関関数 $c(x, y)$ を得る。最後に、相関関数のピークを求め、画像照合、移動量検出を行う。

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.1 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.2 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、MU200-EX40(FPGA 学習用ボード)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。

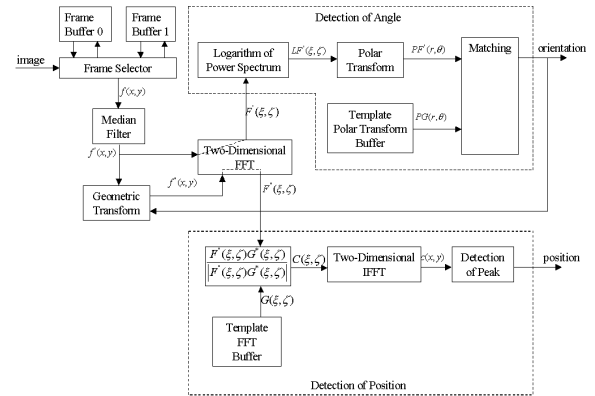


Fig. 1: RIPOM Circuit

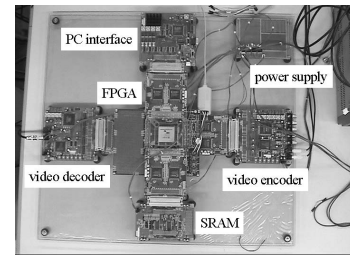


Fig. 2: Prototype FPGA board

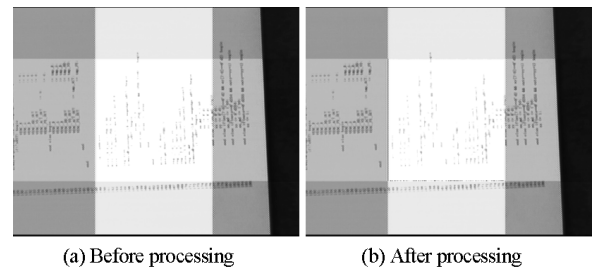


Fig. 3: Result of Median Filter

本報告の段階では、メディアンフィルタモジュールのみの実装となっている。処理は $256 \times 256[\text{pixel}]$ の画像について行い、処理前の画像と処理後の画像を交互に出力し、正しく動作しているかの確認を行った。実際にメディアンフィルタ処理を行っている様子を Fig.3 に示す。

5 終わりに

試作 FPGA に、回転不変位相限定相関法の一部であるメディアンフィルタを実装し、前処理が正しく行えていることを確認した。今後は、他のモジュールを設計するとともに、全体の構成をさらに突き詰めて Fig.1 に示した回路を完成させ、リアルタイムでロバストに動作するビジョンチップの完成を目指す。

参考文献

- [1] 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合手法とその評価；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
- [2] 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