

マッチトフィルタを基にしたビジョンシステムの構築

Real Time Vision System based on Matched Filter

山本紘督, 座光寺正和, 平井慎一 (立命館大学)

Kosuke Yamamoto, Masakazu Zakoji, Shinichi Hirai,

Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ., Kusatsu, Shiga 525-8577

This paper, we will build a real time vision system based on matched filter. A vision algorithm based on matched filter can detect robustly the position and the orientation of planar motion object, but requires much computation time. Thus, we will implement the algorithm on an FPGA. We will apply C++ based circuit design to implement the algorithm on an FPGA.

Keywords:FPGA, Matched Filter, real time, vision

1 はじめに

ロボットにおいて,人間の目(視覚)の代わりとなるビジョンシステムには,運動物体の認識や位置と姿勢を検出する高度な技術と精度が必須となる。しかし,このようなビジョンシステムを実現させるには運動物体の位置・姿勢を検出するための高速性と物体の環境に対応する汎用性が必要となるため,リアルタイム性が要求される。一般に画像処理の演算量は画像処理の性能とトレードオフの関係にあるため,性能を追求した画像処理では多くの演算時間が必要となる。又,ビデオ信号を入力とする場合リアルタイム性を保つには33ms以内で処理を完了させる必要がある。画像処理において演算量が多くなる要因は大量にある画素に対して,計算を繰り返し行っていることが挙げられる。しかし,一方で一つ一つの計算は簡単であり,かつ並列に演算することが可能である。この特徴を持つ画像処理アルゴリズムをPCに実装するよりも並列処理やパイプライン処理が可能なハードウェアであるFPGAに実装することで,性能を保持したまま処理演算時間の短縮と高速化を実現する事が期待できる。本研究ではマッチトフィルタを基にした画像処理アルゴリズムをFPGAに実装しリアルタイムビジョンシステムの構築を目指す。

2 画像処理アルゴリズム

2.1 マッチトフィルタ

マッチトフィルタは二つの画像のフーリエ変換の商から,移動量を求める手法である。テンプレート画像 $g_{ref}(x, y)$ と入力画像 $g_{inp}(x, y)$ のフーリエ変換を $G_{ref}(\xi, \eta)$, $G_{inp}(\xi, \eta)$ とすると,相関関数 $m(x, y)$ は

$$M(\xi, \eta) = \frac{G_{inp}(\xi, \eta)}{G_{ref}(\xi, \eta)} \quad (1)$$

を逆フーリエ変換することで求める。この時の相関関数 $m(x, y)$ のピークをあらわす x 座標と y 座標が並進移動量となる。相関関数のピークの値および位置から画像照合の判別および移動量を検出することができる。

2.2 アルゴリズムの流れ

マッチトフィルタを用いて,平面運動物体の位置と姿勢を求めるアルゴリズムを以下に示す。

- 1) テンプレート画像 $g_{ref}(x, y)$, 入力画像 $g_{inp}(x, y)$ にそれぞれフーリエ変換を行い,周波数スペクトル $G_{ref}(\xi, \eta)$, $G_{inp}(\xi, \eta)$ を求める。
- 2) 周波数スペクトル $G_{ref}(\xi, \eta)$, $G_{inp}(\xi, \eta)$ からパワースペクトル $G_0(\xi, \eta)$, $G_1(\xi, \eta)$ を得る。
- 3) パワースペクトル $G_0(\xi, \eta)$, $G_1(\xi, \eta)$ の直流成分が画像の中央に来るように再配置し,高周波成分を強調するために対数変換を行い, $LG_0(\xi, \eta)$, $LG_1(\xi, \eta)$ を得る。対数変換は回転角度の検出精度を上げるために行われる。
- 4) $LG_0(\xi, \eta)$, $LG_1(\xi, \eta)$ に極座標変換を行い, $PG_0(r, \theta)$, $PG_1(r, \theta)$ を得る。極座標変換を行うことで画像の回転角度が直交座標系から極座標系へと変換される。
- 5) $PG_0(r, \theta)$, $PG_1(r, \theta)$ について最小二乗法を行い回転角度を検出する。以下の $E(\alpha)$ が最小になった時の α が回転角となる。

$$E(\alpha) = \iint [PG_0(r, \theta + \alpha) - PG_1(r, \theta)]^2 dr d\theta$$
- 6) 入力画像 $g_{inp}(x, y)$ に対して,検出された回転角度分を回転させ,フーリエ変換を行い周波数スペクトル $G_{rot}(\xi, \eta)$ を得る。
- 7) $G_{rot}(\xi, \eta)$ を $G_{ref}(\xi, \eta)$ で除算し,逆フーリエ変換を行うことで並進移動量を検出する。

この画像処理アルゴリズムはまず画像の回転角度を検出し,入力画像をテンプレート画像と等しい回転角になるように回転させてから画像照合を行うといった流れになっている。6)の入力画像の回転は,検出した回転角度分を幾何変換を用いて回転させている。上記の2)から5)が回転角検出部,6)と7)が画像照合部である。2.1節で述べたマッチトフィルタは7)の部分に相当する。

3 回路設計

前述のマッチトフィルタを基にした画像処理アルゴリズムは複雑な処理になるため,はじめにPC上で実装し,シミュレーションを行った。シミュレーション結果をTable 1に示す。このシミュレーションの結果より,並進移動量・回転角が

検出され、画像照合が行われている。シミュレーションが成功していることが確認できたので、画像処理アルゴリズムを機能単位(モジュール)ごとに設計する。回路設計は C++ 言語ベースの System Compiler を用いる。System Compiler は C++ で記述した画像処理アルゴリズムを verilog-HDL へと変換するソフトであり、C++ ベースであるので通常の Microsoft Visual Studio C++ でコンパイルを行うことができ、ハードウェアのシミュレーションを高速に行うことが可能である。また、テストパターンの生成にも既存の資産を生かせるという特徴をもつ。設計した画像処理アルゴリズムの機能ごとのモジュール構成を Fig.1 に示す。一方の SRAM フレームメモリに入力画像 image が入力され、他方の SRAM フレームメモリに格納された画像に対して、位置と姿勢を求める。Fig.1 中にある点線で囲まれた部分がこのアルゴリズムの主要部分であり、それぞれ前述した回転角検出部と画像照合部に当たる。今回、この画像処理アルゴリズムの一部分となる極座標変換のモジュール設計を行い、FPGA に実装した。

極座標変換モジュールは入力してきた画像に対して極座標変換を行い変換結果を出力する。極座標変換モジュールは直交座標系から極座標系に変換するのではなく、極座標系の r と θ の値を入力し、それに対応する直交座標系の x, y を出力するという構造になっている。このモジュール中には \cos モジュールと \sin モジュール、control モジュールがある。モジュール \cos, \sin は、三角関数の値をテーブルとして持つ。 \sin, \cos モジュールからの出力が control モジュールに入り、それぞれ r を乗算し、求める座標値 x, y に対応する画素値を出力している。但し、ここでは $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ のみを対象とする。

4 実装

本研究で用いるビジョンシステムボードを Fig.2 に示す。このボードは、写真科学製の CM59(Xilinx 製 VertexE 2000 搭載)である。大規模 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-VEVC(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 NTSC または PAL のビデオ信号である。実際に極座標変換する対象画像を Fig.3-(a), Fig.3-(c) に、極座標変換変換モジュールを FPGA に実装し出力された画像結果を Fig.3-(b), Fig.3-(d) にそれぞれ示す。極座標変換の画像結果より極座標変換は出力画面の中心を原点に下半分に対して行われていることが確認できる。

5 おわりに

今回 FPGA ビジョンシステムボードに極座標変換を実装し、物体が極座標変換する処理がリアルタイムにできることを確認できた。今後はそれぞれのモジュールの設計を行っていき、マッチフィルターを基にした画像処理アルゴリズムを完全実装し、リアルタイムビジョンシステムの構築を目指す。

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 資料番号 194-7, 2001

Table 1: Simulation result

Template image	Input image	angle	movement	Detection result	Correlation function
		1.4°	X=-53.7 Y=-93.3		
		308.0°	X=31.4 Y=29.6		

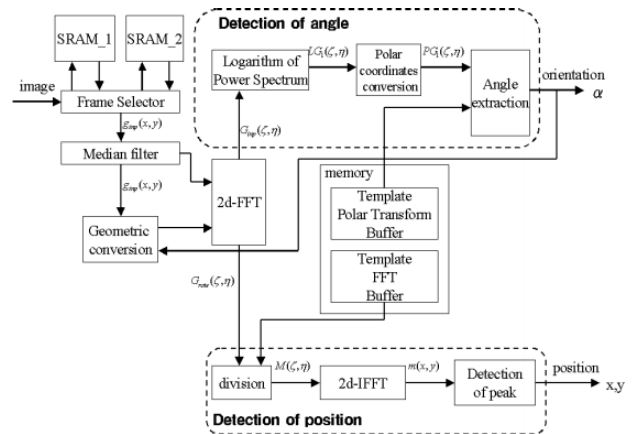


Fig.1: Matched Filter Circuit

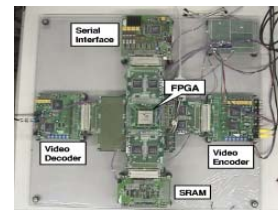


Fig.2: Appearance of vision system board

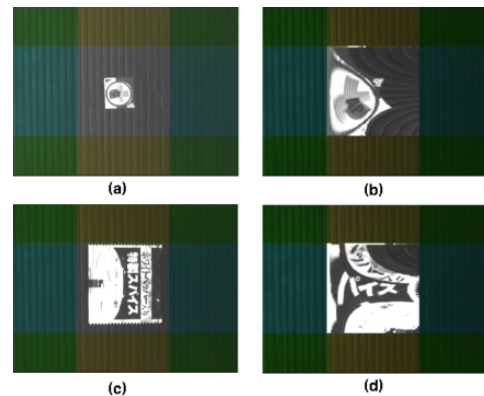


Fig.3: Polar-coordinates conversion

[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；日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 講演論文集 CD-ROM, 2002
 [3] 増淵・平井：片側ラドン変換アルゴリズムの FPGA 実装；計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会予稿集 pp.277-278, 2001