

SW/HW 協調処理による船舶自動見張りシステム —船舶発見に用いる画像認識の高速化—

高橋 良平[†] 植竹 大地^{††} 大川 猛^{††} 松本 洋平[‡] 横田 隆史^{††} 大津 金光^{††}
[†]宇都宮大学工学部 ^{††}宇都宮大学大学院工学研究科 [‡]東京海洋大学海洋工学部

1 はじめに

海上交通において主な事故の原因は見張り不十分などの人為的要因である。船舶に設置したカメラとコンピュータによるコンピュータビジョンを用いて、見張りを自動化することで海上交通の安全性向上が期待できる [1]。自動見張りシステムを実現するには画像認識による船舶発見を行い、周辺船舶の動静を計算し、危険を判定し、航海士に伝達する必要がある。本研究では、特徴量抽出アルゴリズムを FPGA で処理し、画像認識を高速化することを目的とする。

2 船舶発見に用いる特徴量の選択

画像認識を行うためには、カメラから出力される画像から特徴量を抽出し、マッチングを行うのが一般的である。船舶の動静を計算するには、画像内の物体の大きさに不変であり、同時に画像の回転に不変な特徴量が不可欠である。海上では劇的に風景が変化することはないため、画像認識の応答時間として必要な処理速度は 10fps(100ms) 程度あれば十分である。

画像認識に多く用いられる特徴量としては、HOG, SIFT, SURF, ORB といった特徴量が挙げられる。HOG 特徴量は線形 SVM を用いた船舶画像認識において、高い認識精度が実証されている [2]。HOG 特徴量抽出は FPGA での実装も行われており [3]、解像度: 800x600 の画像でフレームレート 72fps を実現している。しかし、HOG 特徴量は回転に不変な特徴量ではないため、HOG 特徴量抽出の前に認識対象画像の回転を取り除く安定化処理が必要となる。安定化処理についても別途検討を進めているが、本稿では回転不変性を持つ特徴量を用いた画像認識の高速化について議論する。スケール・回転に不変な特徴量として、SIFT 特徴量, SURF 特徴量, ORB 特徴量 [3] があるが、これらを高解像度の画像から抽出するのは時間がかかる。よって、高速化が必要である。表 1 に [3] の評価で示された SIFT, SURF, ORB の実行時間と照合率を示す。実行環境は CPU : Intel i7 2.8GHz(シングルスレッド実行), 画像解像度 : 640x480 である。評価指標を以下に示す。

- 処理時間 : 各特徴量を用いた画像認識処理時間
- キーポイント : 抽出されたキーポイントの数
- 照合率 : マッチングの成功率

ORB 特徴量の抽出時間は SIFT, SURF と比べ短く、照合率も高いことから、特徴量として ORB 特徴量を採用することとした。但し、船舶発見のためには水平方向 4000 画素の画像が必要となるため、画素数比を考慮すると、現状のソフトウェア処理と比較して、少なくとも 6 倍の高速化が必須である。

表 1: スケール・回転に不変な特徴量の比較 [3]

特徴量	SIFT	SURF	ORB
処理時間	5228.7ms	217.3ms	15.3ms
キーポイント	714	795	789
照合率	30.2%	28.6%	45.8%

3 特徴量抽出の高速化

スケールに不変な特徴量抽出処理は以下のステップで行われる。

1. 異なる倍率で縮小された画像の階層構造から成る Scale Pyramid の生成を行う。
2. Scale Pyramid を用いて、各階層でキーポイントを抽出を行う
3. キーポイントの周辺画素を用いて、特徴量計算を行う。

特徴量計算で得られた特徴量とテンプレート画像の特徴量を入力として、マッチングを行うことで物体検出が可能となる。

以上の処理内容を参考に ORB 特徴量抽出処理で時間のかかっている部分を知るために処理毎の実行時間を分析した。測定環境は CPU : AMD Phenom ii 905e 2.50GHz, ライブラリ : OpenCV Ver.2.4.6.1, メモリ : 4GB, 画像解像度:2300x1337 である。結果を以下に示す。ScalePyramid の生成, 特徴量計算に多く時間がかかっていることが分かった。

高速化が効果的な処理は Scale Pyramid の生成と特徴量計算である。そこでまず画像認識の高速化のために Scale Pyramid の生成を高速化の対象として処理内容を分析した。特徴量計算は ORB 特徴量抽出固有の処理であるが、Scale Pyramid の生成は他のスケール

Automatic Watch System for Ship by using HW/SW Co-operative Processing -High-Speed Image Recognition for Searching Ship-

[†]Ryohei Takahashi

^{††}Daichi Uetake, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu and Takashi Yokota

[‡]Yohei Matsumoto

Faculty of Engineering, Utsunomiya University (†)

Graduate School of Engineering, Utsunomiya University (††)

Tokyo University of Marine Science and Technology (‡)

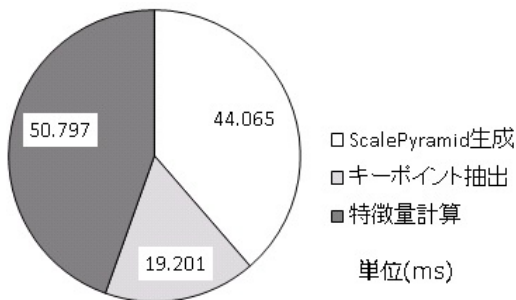


図 1: ORB 特徴量抽出の処理時間分析結果

不変な特徴量抽出でも使われる手法であるため、他の特徴量抽出にも応用ができる。

Scale Pyramid 生成処理においては、各階層の縮小画像をループにより生成する。よって、ループ回数は階層数に等しく、ORB 特徴量抽出の場合、8 階層の Scale Pyramid を用いるので、ループ回数は 8 回である。Scale Pyramid 生成の処理内容を以下に示す。

1. 元画像と同スケールの画像を Scale Pyramid の 1 階層目とする。
2. 1 階層の画像を縮小し、Scale Pyramid の 2 階層目の画像とする。
3. 2 階層の画像を縮小し、Scale Pyramid の 3 階層目の画像とする。
4. 2, 3 と同様の処理で 4 階層以降の画像を生成する。

以上の処理内容からある階層の画像を生成するために 1 つ前の階層画像が用いられるので依存が起きている。よって、元画像に縮小を行うようにプログラムを書き換えることで依存関係を解消することができる。各階層画像を生成するための式は以下の通りである。ここで Scale は縮小倍率、x は縮小の程度 (縦横半分の大きさなら 1/2)、n は任意の階層である。

$$Scale = x^{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (1)$$

以上のことから、図 2 のように Scale Pyramid の生成で行われているループ処理を並列に行うことで処理の高速化が期待できる。

図 3 に Scale Pyramid の各階層を生成する処理時間の割合を示す。2 階層目の画像に最も処理時間がかかり、全体の 25% 程度である。このことから、Scale Pyramid の生成を 8 並列で行うことで少なくとも約 4 倍の高速化が見込める。更に画像の縮小処理を数画素毎に分割することで並列率を向上させる。縮小画像を生成する上で、メモリアクセスがボトルネックとなるため、適切なメモリ階層を FPGA で実現し、このボトルネックを抑える。以上の 2 点を検討することで、更なる高速化が期待できる。

4 おわりに

船舶発見に用いる画像認識の特徴量抽出処理を FPGA で処理することを検討した。システムの応答時間の要求である 10fps を満たす可能性のある ORB 特徴量を用いる。ORB 特徴量抽出では Scale Pyramid の生成により、8 階層の Scale Pyramid を生成する。この処理にはデータの依存があり、この依存関係を解消することで、高速化が期待できる。今後、Scale Pyramid の生成を FPGA に実装して評価を行う予定である。

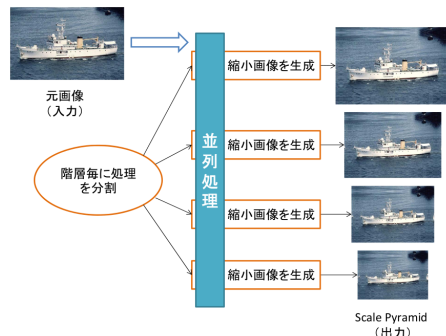


図 2: Scale Pyramid 生成の並列処理方法

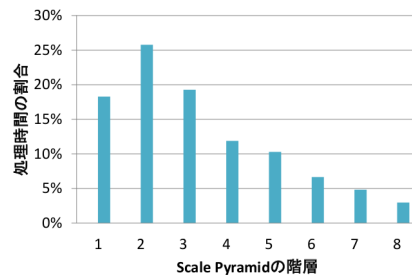


図 3: Scale Pyramid の各階層画像の生成時間割合

謝辞

本研究は、一部日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (C)24500055, 同 (C)24500054, 同 (C)25330055, 若手研究 (B)25730026) の援助による。

参考文献

- [1] 松本 洋平: “逆合成法を用いた航海画像の安定化,” 日本航海学会, Vol.127, No.SIG 70, pp.205-214, 2012.
- [2] 松本 洋平: “HOG 特徴量を用いた船舶画像認識,” 第 128 回講演会 日本航海学会講演予稿集, Vol.1, No. 1, pp.83-86, 2013.
- [3] Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, Gary Bradski “ORB:an efficient alternative to SIFT or SURF,” ICCV 2011, pp.2564-2571, 2011.
- [4] 高木健太, 水野孝祐, 和泉慎太郎, 川口 博, 吉本雅彦 “HOG 特徴量による実時間物体検出プロセッサの FPGA 実装,” 信学技報, vol.112, No.365, pp.61-61, 2012.