

カメラ画像からの簡易的な距離推定を行う FPGA/SW 協調処理システムの検討

小林 都生[†] 松本 拓也^{††} 渡邊 晋平^{††} 大川 猛^{††} 大津 金光^{††} 横田 隆史^{††}
[†] 宇都宮大学工学部情報工学科 ^{††} 宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻

1 はじめに

災害救助ロボットにおいて、瓦礫等の障害物を取り除くためにロボットアームを動かす際に、アームと障害物が衝突するおそれがある。このとき、障害物が操縦者から認識できない場合、ロボットアームにセンサを搭載して距離推定を行うことにより衝突防止したい。距離推定のためのセンサには様々な種類があるが、小型・低消費電力のシステムで実現するためには、コストや重量の観点から画像センサによる距離推定が望ましい。

しかし、画像処理システムは計算量が多いため、汎用の組込み向けプロセッサでは処理性能が不足する。そのため、電力効率の高いFPGAを用いることで高速化する必要がある。ただし、距離推定には、カメラ入力、画像の前処理を始めとした多くの処理が含まれるため、すべてをハードウェア化するには開発コストがかかる。そのため、時間がかかる処理を重点的にハードウェア化して処理性能の向上を図る。本稿では、FPGAとソフトウェアの協調設計による距離推定システムについての検討結果を述べる。

2 簡易的な距離推定システム

操縦者がロボットアームを停止するまでの時間を考慮して、システムが0.1秒で衝突危険性を判別することを目標とする。小型・低消費電力で距離推定を実現するために、カメラ画像を用いる方法を検討した。

まず、使用するカメラの台数に関して分類すると、1台の単眼カメラを用いた単眼視による方法、ステレオカメラなど複数台のカメラを用いた立体視による方法に分けられる。[1] ステレオカメラでは距離推定のために2台のカメラの間隔を空ける必要があるため、システムの小型化が困難となる。

本研究では、カメラ台数の観点から、コストの低さとロボットへの搭載の容易さを利点とする単眼カメラによる方法に注目した。単眼カメラ画像による物体との距離測定のためには、1枚の画像から連続した領域の画素数を調べることで取得できる面積値を利用する方法が知られている[2]。ある距離を基準距離と定め、基準距離における画像内での物体の領域の面積値を予め

調べておく。基準距離での面積値と距離推定システムから得た面積値を比較することにより、物体からアームまでの距離の判別が可能となる。

面積値による距離推定方法を図1に示す。基準距離を L_1 、基準距離における物体の領域の面積値を S_1 、単眼カメラと物体との距離における物体の領域の面積値を S_2 とすると、単眼カメラと物体との距離 L_2 は式(1)と表せる[2]。

$$L_2 = L_1 \times \sqrt{S_1/S_2} \quad (1)$$

ロボットアームに対する衝突防止システムの概要を図2に示す。アームの側面に単眼カメラを搭載し、単眼カメラで撮影された画像から物体との距離を推定し、衝突を防止するシステムである。距離推定の対象となる物体には、簡易的な距離推定を行うために、決まった大きさの赤色のマーカを取り付けることとする。画像内の赤色領域の大きさをもとに簡易的に推定した距離に応じて、安全・注意・危険という判別を行う。

本研究でハードウェア化を検討する簡易的な距離推定システムのアルゴリズムを図3に示す。画像センサを利用した距離推定を行うために、オープンソースの画像処理向けライブラリであるOpenCV(Open Source Computer Vision Library)を用いた。まずは単眼カメラからフレーム入力を行い、赤色を抽出するために入力画像の色空間をRGBからHSVに変換し、二値化する。そして、ノイズ除去のために膨張収縮を行った後に、面積値を得るためにラベリング処理を行う。ラベリング処理によって得られた最大領域の面積から距離を推定する。

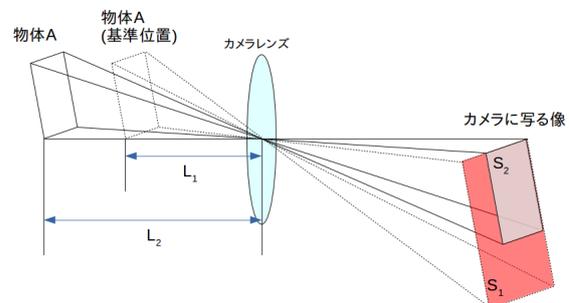


図1: 面積値による距離推定方法 [2]

Study on FPGA / SW Cooperative Processing System for Simple Distance Estimation from Camera Images

[†]Toki Kobayashi, ^{††}Takuya Matsumoto, ^{††}Shinpei Watanabe, ^{††}Takeshi Ohkawa, ^{††}Kanemitsu Ootsu, ^{††}Takashi Yokota,

Department of Information Science, Faculty of Engineering, Utsunomiya University ([†])

Department of Information Systems Science, Graduate School of Engineering, Utsunomiya University (^{††})

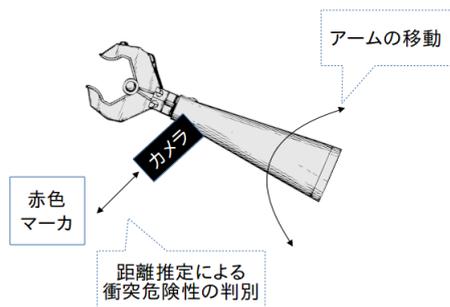


図 2: 衝突防止システムの概要



図 3: システムの処理フロー

3 FPGA/SW 協調処理の検討

カメラ画像による距離推定システムの小型化・低消費電力化のために、汎用の組込み向けプロセッサと比較して電力効率の高いFPGAを利用することで高速化を目指す。しかし、すべての処理にFPGAを用いるのは開発コストがかかる。そのため、FPGAとソフトウェアを用い、それぞれが適した処理を行うシステムを検討した。

FPGAとソフトウェアを協調したシステムを作成するために、Xilinx社のFPGA/SW協調処理システム自動生成ツールであるSDSoC[3]を用いた。SDSoCは、C,C++で記述されたプログラムから、高位合成により関数単位でハードウェア化を行うことが可能なツールである。しかし、本検討においては、高位合成時のエラーが未解決である。そのため、SDSoCを用いているが、ソフトウェアですべての処理を行っている。

まずどの処理に時間がかかっているかを調べるために、C++プログラムを実行し、処理時間を測定した。そして、特に時間がかかる処理に対して、FPGAを用いたハードウェア処理化を検討する。

簡易的な距離推定システムを動作させ、2つの実験環境で評価を行った。1つ目は1台のPCを用い、

OS:Ubuntu 16.04 LTS,メモリ: 8GB,CPU: Intel Core i5 670 CPU@3.47GHzである。2つ目はXilinx社のZC702評価ボードを用い、デュアルコアARM Cortex-A9 MPCore,メモリ: 1GB,最大周波数667MHzである。

簡易的な距離推定システムの処理時間について表1に示す。入力画像のサイズは600x480pixelである。処理時間は、プログラムを6回実行し、時間を計測した際の平均値である。表1から、PC環境ではラベリング処理に多くの時間(6.3msec,全体の41.4%)がかかっていることに対し、ARM環境では膨張収縮処理に特に時間(156.2msec,68.8%)を要している。PC環境では、目標処理時間の0.1秒以内に処理が完了することがわかる。しかし、PC用のプロセッサは小型・低消費電力化を必要とするシステムに適さない。一方、ARM環境の処理時間測定結果によると、膨張収縮処理をハードウェア化し、処理時間を大幅に短縮できれば、要求の0.1秒で動作するシステムが実現できると考えられる。

表 1: 簡易的な距離推定システムの実行時間 (msec)

処理内容	PC環境 処理時間	ARM(Zynq) 処理時間
フレーム入力	0.6	6.2
HSV色変換	3.9	27.6
赤色抽出	0.6	12.0
膨張収縮	1.4	156.2
ラベリング	6.3	17.7
最大面積出力	2.3	7.2
全体	15.2	226.9

4 おわりに

本稿では、FPGA/SW協調設計による簡易的な距離推定システムの処理性能向上の検討を行った。今後、膨張収縮処理を始めとした各処理のハードウェア化を検討する。

謝辞

本研究開発は、総務省SCOPE(受付番号152103014)の委託を受けたものです。成瀬継太郎先生を始めとした会津大学の先生方には、災害救助ロボットの要求についての議論に協力いただきました。

参考文献

- [1] 木村好克, 山口晃一郎, 加藤武男, 太田充彦, 二宮芳樹: “安全のための画像センサ技術”, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.SIG 12, pp.1697-1700, 2007.
- [2] 五十部宏幸, 中村靖: “単眼車載カメラ画像を利用した自動車運転支援”, 広島工業大学紀要研究編, Vol.43, pp.317-322, 2009.
- [3] Vinod Kathail et al.: “SDSoC: A Higher-level Programming Environment for Zynq SoC and Ultra-scale+ MPSoC”, FPGA '16 Proceedings of the 2016 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays, pp.4-4, 2016.