

OV7670 カメラモジュールと SoCFPGA を用いた サッカーロボットの2台同時制御システムの開発

佐藤 奏 (Soft Intelligent SoC 研究室)
(指導教員 星野 孝総 教授)

1. はじめに

近年、自律移動ロボットやロボット競技分野において、カメラを用いた画像処理に基づく制御手法が広く用いられている。しかし、CPU のみで画像処理から制御までを行う場合、処理遅延が大きくなり、リアルタイム性の確保が困難となる[1]。この問題に対し、FPGA と CPU を組み合わせた協調設計により、高速かつ低遅延な画像処理システムを構築する手法が注目されている。本研究では、OV7670 を用い、画像取得および前段画像処理を FPGA で実行し、後段画像処理と制御計算を HPS 側で行うロボット制御システムの構築を行った。

2. 研究目的

本研究は、従来のシステムにおいて HPS のみで行っていた画像処理と制御計算のうち、画像処理の一部を SoC FPGA へ任せ、HPS の処理負担を軽減することで、システム全体の処理時間短縮を目的とする。具体的には、HPS のみで処理を行う従来システムと、SoC FPGA に画像処理を任せ、HPS でロボット制御を行う提案システムについて、処理時間の比較・評価を行った。

3. 研究内容・方法

図1にシステム全体構成を、図2にシステムフローの比較を示す。本システムでは、OV7670 から出力される RGB 画像データを FPGA で取得し、画素単位で色抽出処理を行う。色抽出は、RGB データを HSV 式空間に変換後、あらかじめ設定したしきい値と比較することで行い、対象色に該当するかどうかをビット単位の判定結果として生成する。画像処理後のデータは 32bit レジスタに格納され、このレジスタは OpenCV のフォーマットである RGBA (赤, 緑, 青, 透明度) の各チャンネルで構成される。従来システムでは未使用であった A チャンネルに判定結果を代入することで、RGB 画像情報と色抽出結果を同一レジスタ内に格納した。画像処理後のデータは HPS へ DMA 転送され、HPS 側では抽出された色情報を用いて対象物体の重心座標を算出する。本研究では、ボールとロボットのボディおよびロボットの支柱部分をそれぞれ異なる色として抽出し、各色領域の画素分布から重心を求めている。ロボットの制御計算では、サッカーロボットの背の両支柱の重心座標をもとに、前方および左右方向に仮想点を設定した。これらの仮想点とボールの重心との距離をそれぞれ算出し、最も距離が短くなる方向を進行方向として決定することで、ロボットの移動制御を行う。

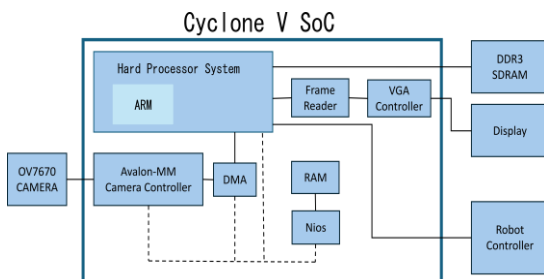


図1. システムの全体構成

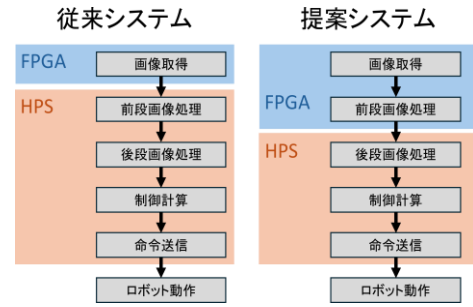


図2. システムフローの比較

4. 結果・成果

構築したシステムを用いてロボット制御実験を行い、画像取得から制御信号出力までの1ループ当たりの平均処理時間を指標として評価を行った。結果を表1に示す。

表1. 1ループ当たりの平均処理時間の比較

ロボット	従来[ms]	提案[ms]	高速化率[%]
1台	236.55	195.91	17.2
2台	401.76	346.23	13.8

その結果、ロボット1台動作時において、HPSのみで処理を行う従来方式では平均236.55 [ms]であったのに対し、提案システムでは195.91 [ms]となり、処理時間が40.64 [ms]短縮され、約17.2 [%]の高速化が達成された。さらに、ロボット2台を同時に制御した場合においても、従来方式の平均処理時間401.76 [ms]に対し、提案システムでは346.23 [ms]となり、55.53 [ms]の短縮、約13.8 [%]の高速化が確認された。このことから、ロボット台数が増加した場合においても、FPGA に画像処理を委託する構成により、処理時間の増加を抑制できることが示された。また、色抽出処理をFPGAで実行することでHPS側の計算負荷が軽減され、実機実験においてもロボットは安定して動作することを確認した。以上の結果より、FPGA と HPS の協調設計は、画像処理を用いたロボット制御システムにおいて、処理時間短縮に有効であることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、FPGA と HPS の協調設計により、画像処理を用いたサッカーロボット制御システムの高速度を実現した。実験結果から、画像処理の一部をFPGAに委託する構成が、処理時間の短縮に有効であることを確認した。今後は、FPGA が担当する画像処理範囲の拡張によるさらなる処理時間短縮の余地があるとともに、本システム構成は AI 向けの処理を含む高度な認識・判断処理へ拡張可能な基盤として利用できると考えられる。

参考文献

- [1] P. N. Parameswaran, S. Janardan, Siddharth R. Nair, Thejaswitha T. K., Nikhil M. and Adersh V. R., "FPGA based image processing: A comparative study of software-centric and hardware-accelerated approaches," in 2024 International Conference on Smart Electronics and Communication Systems (ISENSE), 2024, DOI: 10.1109/ISENSE63713.2024.10872282