

FPGAによる自動車の自動走行システムの試作 —Toyohashi UT Perf-labの事例

佐藤 幸紀[†] 佐藤 健太[†]

[†] 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1
E-mail: †yukinori@cs.tut.ac.jp, ††ksato@perf.cs.tut.ac.jp

あらまし 本稿では第8回 相磯秀夫杯 FPGA デザインコンテストに向けて我々のチームで試作した自動走行システムの概要を述べるとともに、実装についての詳細や工夫した点を紹介する。

キーワード FPGA 設計技術、自動運転技術、ハード・ソフト協調設計

Yukinori SATO[†] and Kenta SATO[†]

[†] Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology 1-1 Hibarigaoka,
Tempaku-cho, Toyohashi, Aichi, 441-8580, Japan
E-mail: †yukinori@cs.tut.ac.jp, ††ksato@perf.cs.tut.ac.jp

1. はじめに

今後期待される人工知能技術に駆動される Society 5.0 社会と呼ばれる超スマート社会の実現に向けては、現在盛んに研究が進む人工知能技術を自動運転や知的ロボットなどの実社会のフィールドに展開していくことが急務である。しかしながら、近年の人工知能技術の中核をなす深層学習処理においても現状の CPU/GPU 技術だけでは性能がまだまだ足りないことにもみられるように、社会への実応用を計る上で計算機の性能不足問題は大きな課題となっている。このような背景において、我々、計算機システム性能工学研究室 (TUT Perf-lab) では、性能不足の問題を解決する糸口はソフトウェアのメモリ参照局所性を的確にハードウェアの特性にカスタマイズすることとの着想の下、高性能計算、プログラミング、ソフトウェア、アーキテクチャ、ハードウェア設計といった関連分野の英知を結集し、人工知能特化型の計算機システムの開発、ハード・ソフトの両面からアプリケーション高速化の基盤となる技術の開発、計算機数理学分野の命題である未来のコンピュータの処理原理の探求に取り組んでいる。

本報告では、第8回 相磯秀夫杯 FPGA デザインコンテストにおける自動走行競技を題材として、自動運転関連分野のプログラム特性の理解、求められる性能要件の把握、性能チューニングや高位最適化の適応を目標に自動走行プロトタイプシステムの試作を行った事例について報告する。近年の自動運転関連技術の進展は非常に著しく、日本においても近い未来にレベル3 (条件付自動運転) の実用化やレベル4 (高度自動運転) の

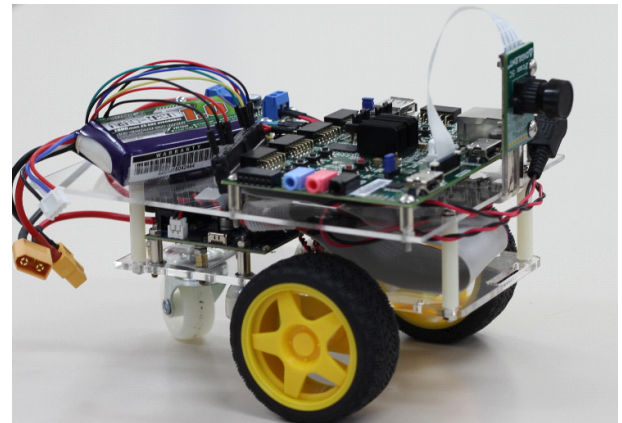


図1 試作したプロトタイプマシン

実証実験が始まろうとしている。これらの技術的進展においては、特に道路状況や車線の認識技術における進歩が著しく、車線逸脱検出警報システムとして既に先端的な一部の製品への実用化が進んでいる [1]。そこで、道路状況や車線認識をリアルタイムで行う FPGA システムを設計し、物体認識技術を取り入れながらシステムを構築していくとの戦略の下、開発を進めることとした。

2. 試作した自動走行システムの概要

試作したシステムの写真を図1に示す。車両の大きさは、(W) 130 mm x (D) 210 mm x (H) 140 mm であり、全幅を基準として、実際の自動車のおおよそ 1/13 程度のスケールである。

表 1 主な仕様と使用したデバイス

車両の大きさ	(W) 130 mm (D) 210 mm (H) 140 mm
FPGA ボード	Digilent 社製 Zybo Z7-20 (XC7Z020-1CLG400C 1 基搭載)
カメラ	Pcam 5C 5 メガピクセル カメラモジュール
メカ部	Terasic A-CUTE CAR ROBOTIC KITS
バッテリー	Turnigy nano-tech 1000mAh 3S 25C
DC/DC コンバータ	村田製作所 OKL-T/6-W12N-C

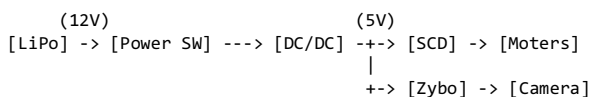


図 2 電源回路の概要

試作システムの実装における主な仕様と用いたデバイスを表 1 に示す。FPGA ボードとして Digilent 社製 Zybo Z7-20 を使用した。本ボードには、XC7Z020-1CLG400C が 1 基搭載され、53200LUT の規模の FPGA ロジック、667 MHz dual-core Cortex-A9 processor、および周辺回路が 1 チップに集積されている。加えて、Pcam 5C 5 メガピクセル カメラモジュールを本ボードに接続し、リアルタイムで HD 画質のストリームを FPGA に供給しつつ処理が進行できるように設計した。

メカ部は、Terasic A-CUTE CAR ROBOTIC KITS をベースに構成した。本キットは、駆動輪 2 つと補助輪 1 つの 3 輪を用いて走行する。駆動輪となる前輪においては、左右独立に備えられた 2 つの直流モータをそれぞれ制御し、左右の回転速度を変化させることにより自動車の進行方向を制御する。元々は黒色の線を赤外線センサによりトレースするシステムを小規模の FPGA (DE0-nano) と SCD (Smart Car Daughter Board) により実装していたが、自動走行に向けてカメラ画像のストリームを入力する形式にするために拡張を行った。具体的には、DE0-nano における PWM の IP と PID 制御を介して SCD にモータを駆動するための PWM を供給するのではなく、Zynq から直接 L/R の 2 チャンネル分の PWM を出力し、SCD に搭載された H-Bridge Moter Driver (TI 社製 DRV8848) を制御するようにした。

FPGA ボードとメカ部の電源として求められる 5[V] を安定して供給するために、リチウムイオン二次電池の一種であるリチウムイオンポリマー二次電池 (LiPo) である Turnigy nano-tech 1000mAh 3S 25C を使用した。このバッテリーの電圧は 11.1 [V] であるため、DC/DC コンバータ (村田製作所 OKL-T/6-W12N-C) を用いて 11.1 [V] から 5 [V] に降圧する回路を追加した。なお、本バッテリーのワット時定格量 (Wh) は、11.1 Wh である。本システムにおける電源回路の概要を図 2 に示す。

3. 車線認識アルゴリズム

カメラからの入力ビデオストリームのフレームごとに画像処

理を行っていき、車両の進行方向や進行速度を制御する。第一の画像処理の最初のステップとしては、ソベルフィルタを利用したエッジ抽出を行う。本処理は、OpenCV のライブラリを使って、FPGA に実装されている。検出されたエッジから、レーンの推定を行う。右と左のレーンそれぞれに対応するエッジの集合を抽出し、その近似曲線を生成する。得られた近似曲線をレーンとみなし、現在の車両の位置がレーンの中央からどの程度ずれているかを算出するとともに、レーンが直線であるかカーブしているかを判定する。これらの情報に基づき、各モータに与える PWM を制御し、自動車の速度と方向を決定する。

現時点までの実装においては、物体認識の機能は実装されていないため、歩行者や信号機に対して具体的なアクションをとることはできない。今後、実装を急ぐ計画である。

4. 実装についての詳細や工夫した点

Zynq で動作させるソフトウェアを実装する際、複雑なロジックや既存のライブラリを用いた処理は OS のある環境を利用したほうが容易である一方、プログラマブルロジック (PL) に実装したロジックの制御をはじめとするレイヤの低い処理はベアメタルで実装したほうが都合の良い場合が多い。そこで本システムでは、この 2 つの特徴を同時に実現するため、Zynq に搭載されている 2 コアの CPU のうち一方で Linux を、もう一方でベアメタルなソフトウェアを動作させている。双方のやりとりは OpenAMP により実現した。

ベアメタルなソフトウェアは C++17 で実装した。主な処理は PL に実装している各種ロジック、特にカメラの映像を受信するものや、受信した映像にエッジ検出などを行っているものの制御である。また、Linux で動作させているソフトウェアからの要求に応じて PL で処理された画像や値を返す処理も行っている。

Linux で動作させているソフトウェアは Python3 で実装した。主にシステム全体の制御を行っており、ベアメタルなソフトウェアから受け取った画像や値をもとに今後の動作方針を決定し、左右モータへ命令を送っている。

5. まとめと今後の課題

本稿では我々のチームで試作した自動走行システムの概要について説明した。今後の課題としては、物体認識機能の実装、OS の有無の詳細評価、詳細な性能評価と高位最適化の適応など多岐にわたる項目が挙げられる。

文 献

- [1] A.B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," Machine Vision and Applications, vol.25, p.pp 727-745, April 2014.