

## FPGA を搭載した倒立振り子ロボットの開発

永野 誠太郎<sup>†</sup> 澤田 直<sup>‡</sup>

九州産業大学大学院 情報科学専攻<sup>†</sup> 九州産業大学 情報科学部<sup>‡</sup>

### 1. はじめに

組み込みシステムは、家電機器や産業機器などに組み込まれたコンピュータシステムであり、ハードウェア性能の向上や機能要求の高度化に伴い、飛躍的に大規模化・複雑化が進んできている。現在では、1つのチップ上に複数の機能を混載するシステム LSI で実現されることが多くなってきた。システム LSI 設計では、ハードウェア処理とソフトウェア処理のバランスをうまくとって設計する必要があるため、ハードウェアとソフトウェアの両面に関する深い知識が必要となる。

そのような知識を持った学生を育成するために、学生がハードウェアによる制御とソフトウェアによる制御の違いを目で見て理解できるように、制御基板に FPGA を搭載したロボット教材、FPGA ロボットの開発を行ってきた。

文献 [1] では、ライントレース用 FPGA ロボットの開発を行っている。図 1 にライントレース用 FPGA ロボットの構成を示す。

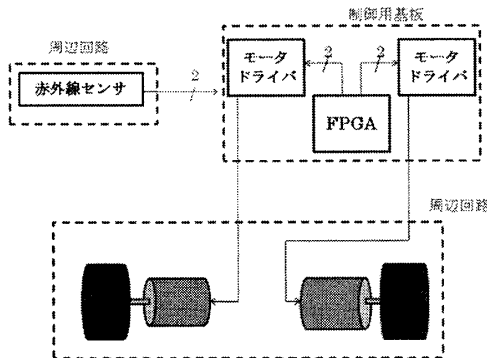


図 1. ライントレース用 FPGA ロボットの構成

本稿では、この FPGA ロボットを改善し、ハードウェアによる制御とソフトウェアによる制御の差がさらに明確になるように倒立振り子用 FPGA ロボットの開発を提案する。

倒立振り子ロボットの制御は、反応速度が遅いと倒れてしまうため、シビアな制御が必要となる。

### 2. FPGA ロボット

FPGA ロボットとは、本研究室で開発している制御基板に FPGA を搭載したロボット教材である [1]。ロボット教材の制御基板に FPGA を搭載することにより、順序回路のみを用いたハードウェアによる制御や、CPU コアを実装したソフトウェアによる制御を、同じプラットフォームで比較することができる。また、その動作速度の差を明確にするためにクロック周波数を変更する可変クロック機能も実現している。

たとえば、ライントレースの課題に対して、動作クロックを数十ヘルツまで十分に落として動作させると、ソフトウェアによる制御の場合には少し進んでは停止する、というような動作を繰り返すのに対し、ハードウェアによる制御の場合には、一クロックで動作するため、次の動作に移行するための反応速度の差が目で見えるようになる。

また、ソフトウェアはパラメータの変更が一部ですむが、ハードウェアは制御の条件を変更しなければならないので全体の変更になる。

そのため、複雑な計算をする処理装置を

### 3. 倒立振り子

倒立振り子ロボットとは、二輪でモータを制御しながら本体が倒れないように制御し、逆立ちした振り子を安定させるロボットの事である。図 2 に倒立振り子ロボットの外観を示す。

Development of an Inverted Pendulum Robot with FPGA

<sup>†</sup>Seitaro Nagano • The Graduate School of Information Science, Kyushu sangyo University

<sup>‡</sup>Sunao Sawada • The Faculty of Information Science, Kyushu sangyo University

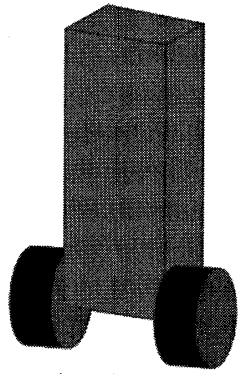


図 2. 倒立振り子ロボット

逆立ち状態の安定を保つには、ロボットが倒れようとしたら倒れる方向に加速してバランスを保つ必要がある。そのために、傾き検知用のジャイロセンサ及び加速度検知用の加速度センサを搭載し、ロボットの傾きを目標値に収束させるためにフィードバック制御で速度の微分計算をしながらロボットの制御を行う。図 3 に倒立振り子フィードバック制御を示す。

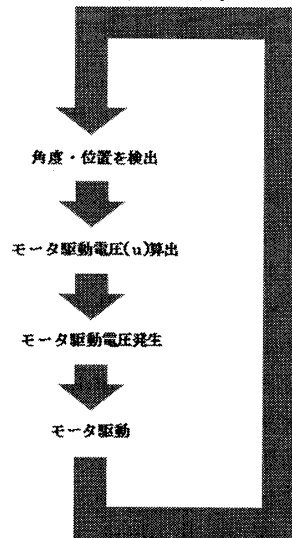


図 3. 倒立振り子フィードバック制御

ロボットの構成としては、ジャイロセンサ、加速度センサ、赤外線センサ、エンコーダ付直流モータ等を組み合わせたロボットを作り、その制御基板に FPGA を搭載した二輪型倒立振り子ロボットを開発する。図 4 にライトレース用 FPGA ロボットの構成を示す。

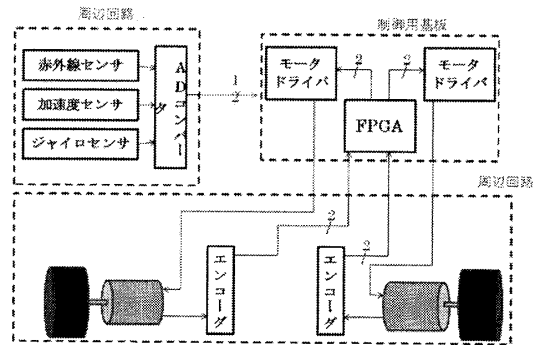


図 4. 倒立振り子用 FPGA ロボットの構成

また、モータの状態を正確に把握するために、本研究のロボットにはエンコーダ付直流モータを搭載する。モータの速度制御には、PWM(Pulse Width Modulation)を用いる。

### 5. 今後の課題

現在、FPGA を搭載した倒立振り子ロボットの開発を行っている。試作機の完成とともにハードウェアでの実装を行えるように準備していく。

### 6. おわりに

ロボット教材に FPGA を搭載することにより、学生が設計したプロセッサを用いてロボットを制御させることも可能になる。このことは、学生へシステムの動作を目に見える形で確認できるといった面で優れており、ものづくりや制御の基本的な知識と技術を身につけることができるという利点を持つ。

さらに、今後必要であると思えば、その機能を新しく追加することもでき、柔軟に対応することができる教材になる。うまくいけば、学習者が見て学べるよりよい教材が出来上がる。

### 7. 参考文献

- [1] 増永愛子：“組み込みシステム設計教育のための FPGA を搭載したロボット教材,” 第 68 回情報処全大, 3A-5, 平成 18 年 3 月。
- [2] 伊藤隆洋, 金田忠裕, 横山智彰：“車輪型倒立振り子を用いたメカトロニクス教材の開発～現代制御理論の基礎学習教材～”, ヴィストン株式会社。