

# 自律走行ロボット制御処理の FPGA を用いた超低遅延化

汐田優斗<sup>†</sup> 久保木猛<sup>‡</sup> 青柳昌宏<sup>‡</sup> 大川猛<sup>‡</sup>

熊本大学工学部情報電気工学科<sup>†</sup> 熊本大学半導体・デジタル研究教育機構<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

自動運転車、ドローン、掃除ロボットなど様々な自律走行ロボットは、多くの分野において人々の生活を豊かにし、社会に貢献する可能性を持っている。自律走行ロボットではセンサから色々な情報を収集して周辺環境を把握することが高精度リアルタイム制御を実現する上で非常に重要となる[1]。しかし、多数のセンサを用いる自律走行ロボットでは大量の情報を処理する必要があるため、計算量が大きいという課題がある[1]。そのため本研究では、自律走行ロボットの一例としてマイクロマウス[2]の制御にFPGAを用いることを検討する。FPGAを用いることで制御処理に必要な時間を短縮し、ひいてはマイクロマウス競技の目標である迷路の完走にかかる時間の短縮が可能となることを期待される。本研究では、その第一歩として、センサ入力を基にしたモータ出力制御の処理時間に着目し、FPGAによる制御を行った場合とマイコンによる制御を行った場合とを比較することを目的とする。これにより、FPGA技術を活用した自律走行ロボットのモータ制御の処理速度やセンサの同期精度が向上することを目指す。

## 2. FPGAによるロボット制御

図1は、マイコンを使う場合のマイクロマウスの構成図である。マイクロマウスは、マイコン、センサ、モータ、電源の4つのユニットから構成される[2]。図2に示すのが、走行制御の一連の流れである。これは、迷路内を効率的に探索し、目標地点に到達するために光センサから取得した情報を基に、モータ制御出力を行う。このサイクルを繰り返すことで、ロボットの基本動作を実現していることから、本研究ではマイクロマウスを題材とする。

センサユニットでは発光部にLED、受光部にフォトトランジスタを用いる。マイコン動作の場合、はじめに受光するチャンネルのLEDを発光し、光センサが受光したらA/D変換を行い、LEDを消灯するというフローで合計4チャンネルの

A/D変換を順に行い、それを繰り返す。また、モータユニットでは、モータドライバにパルス信号を送り、ステッピングモータを回すことで制御を行う。これらの処理にFPGAを用いることで、電気信号レベルでの高速な入出力が可能となり、処理時間の短縮が期待される。

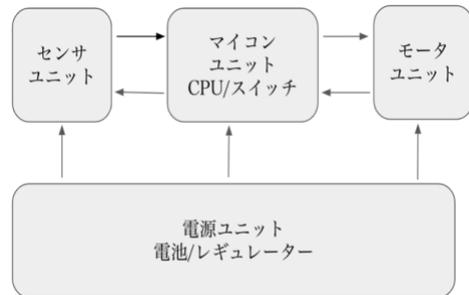


図1 マイクロマウスの構成図[2]



図2 走行制御の一連の流れ

## 3. 評価

マイコンおよびFPGAを用いてマイクロマウスの走行制御を行う際の、遅延時間の評価について説明する。マイコンはルネサスエレクトロニクス社製のRX631を使用する。まず、マイクロマウスにおける制御処理のフローを図3に示す。処理フローは大きく分けて、(1)センサの値を得るまでの処理と、(2)得たセンサ値から壁の有無を判断し、モータの制御を行うまでの処理、からなる。これらの処理時間を計測してそれぞれ評価を行った結果を表1に示す。

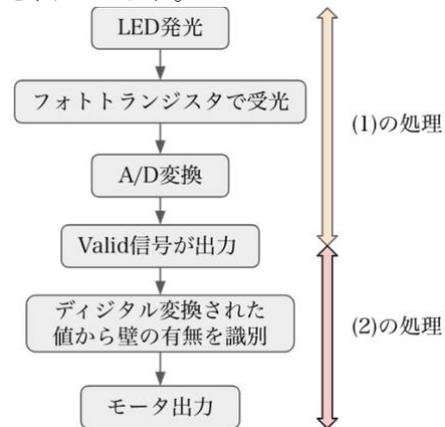


図3 処理のフロー図

Ultra-Low Latency Control Processing for Autonomous Navigation Robots Using FPGA  
Yuto Shiota, Takeshi Kuboki, Masahiro Aoyagi, Takeshi Ohkawa, Kumamoto University

表 1 処理時間の計測結果

	(1)の処理	(2)の処理
FPGA	40 us	10 ms
マイコン	700 us	50 ms

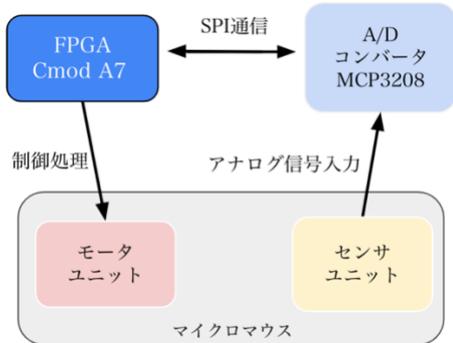


図 4 評価システムの構成図

図 4 は、マイクロマウスと FPGA および外付けの A/D コンバータを接続した評価システムの構成図である。FPGA 基板は Digilent 社製の Cmod A7 を使用し、A/D コンバータは Microchip 社製の MCP3208、マイクロマウスは Pi:Co Classic3 を用いた。FPGA の場合の(1)の処理にかかる時間を測定するため、オシロスコープで (黄) LED に送る信号 (水色) アナログ電圧 (紫) SPI 通信の CS 信号 (青) SPI 通信の DI 信号を測定した。

図 5 がその結果である。時間スケールは  $10 \mu s/div$  である。アナログ電圧は、壁がある状態で測定したものであり、CS(Chip Select) 信号は Low の状態のとき、MCP3208 はアクティブとなる。この結果より、LED を点灯させるパルス波が送られると同時に MCP3208 がアクティブとなって、アナログ入力信号が大きくなったところで A/D 変換を行うことができている。



図 5 各信号のオシロスコープによる測定結果



図 6 LED 信号のオシロスコープによる測定結果

また、マイコンの場合、右、左前、右前、左の LED を順に点灯させ、それぞれのチャンネルで一つずつ A/D 変換を行うことにより、4 つのチャンネルの A/D 変換を行う。図 6 に示すのは LED にマイコンから送られるロジック信号をオシロスコープで見たものである。時間スケールは  $200 \mu s/div$  であり、(黄) 右 (水色) 右前 (紫) 左前 (青) 左の信号をそれぞれ示している。この結果より 4 つの信号が点灯するのにかかる時間は約  $700 \mu s$  と言える。

### 5. 考察

FPGA を用いて走行制御処理を行う際のメリットとして、高度な並列処理、再構成が可能であることから、特にセンサ値を取得する処理に関して FPGA を用いると、リアルタイム性を向上させることができる。例えば、一回の A/D 変換で CS 信号がアクティブとなっている期間が約  $40 \mu s$  であるため、4 つの A/D コンバータチップを使い、4 つのセンサの A/D 変化を同時に行えば、(MCP3208 使用時であれば) 原理的には  $40 \mu s$  で処理可能と言える。

一方、FPGA を使う場合は、マイコンを使う場合に比べて、コストがかかり、消費電力も高い。また HDL を使用する必要があるため、設計生産性や運用性が低下する可能性も考えられる。

### 6. 結論

この研究では、マイクロマウスが走行する際の、センサ入力を基にしたモータ出力制御の処理時間に着目し、FPGA を使って、モータ制御の処理速度やセンサの同期精度が向上することを目標に研究を行った。センサデータの処理では、FPGA により、4 つのチャンネルのセンサ値を並列処理することが可能となり、約  $660 \mu s$  処理時間を短縮できることを示せた。また、FPGA を用いたマイクロマウスが実際に迷路を走破できるようにし、マイコンを使った場合の走行タイムと比較し、評価することが今後の課題である。

### 7. 参考文献

[1] Nikolic, J., Rehder, J., Burri, M., Gohl, P., Leutenegger, S., Furgale, P. T., & Siegwart, R. (2014, May). A synchronized visual-inertial sensor system with FPGA pre-processing for accurate real-time SLAM. In *2014 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)* (pp. 431-437). IEEE.

[2] 株式会社アールティ・「ロボコンマガジン」編集部. (2018). マイクロマウスではじめようロボットプログラミング入門. オーム社