

ライントレースカーの開発

2年B組 羽鹿 諒
指導教諭 末谷 健志

1. 要約

私は H8-3664F とフォトセンサを用いて、ライントレースカーの開発に成功した。これにより、黒線と白線を見分けて追跡する技術を習得できた。また、センサ技術の基本を学ぶことができた。

キーワード マイコン、赤外線、フォトインタラプタ、PWM、モータードライバ、充電池

2. 研究の背景と目的

私は、今年度 H8-3664F というマイクロコンピュータ（以下、マイコン）を用いて研究を行っている。

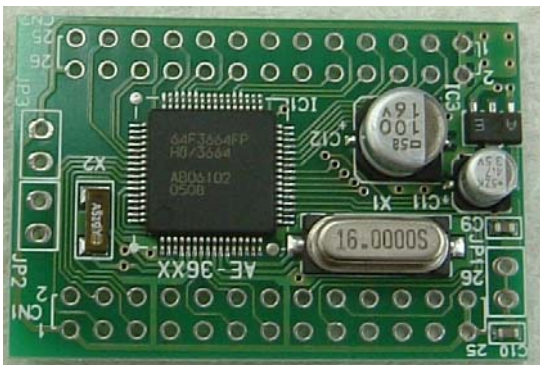


図1 H8-3664F マイコン(黒色の IC)

これまで、PC からマイコンを経由して LED の点灯・消灯を制御することをはじめとして、可変抵抗でサーボモータを制御する、といったことを行ってきた。しかし、これらは全て書籍に掲載されている回路図とプログラムを用いて製作したものだった。

そこで、自分で0から全て作ることを目標として今回の研究に至った。

また、その書籍に掲載されていたのは、

自分で制御したりするロボットが多く、自立型、つまりそれ単体で動くものはごくわずかだった。そこで、コンピュータのソフトや人間の操作に頼らない自立型ロボットを製作することで、今後の研究にも役立てることができると思った。

そして、センサを搭載させて自動的に走行させ、固定された動作ではあるがロボットが自ら走行することで、センサを扱う技術と、自立型ロボットを作るための制御方法、それぞれの基礎を学ぶことを目的とした。

今回の研究で目標としていたことをまとめると、以下のようになる。

- ・ プログラムの製作（アナログ入力・PWM 出力）
- ・ 自立型ロボットの制御
- ・ センサの制御
- ・ ライントレース回路の製作
- ・ DC モータの制御

3. 研究内容

(1) 研究事項

《研究1》 ライントレースセンサ回路を試作し、白色の位置にあるときと、黒色の位置にあるときとの出力される電圧差を計測する。

《研究2》 アナログ入力プログラムを製作し、(A/D変換)デジタル出力によりLEDの点灯・消滅を行う。

《研究3》 研究2のプログラムにPWM信号を出力するように変更を加え、DCモータを制御する。

(2) 仮説

《研究1》 黒色のとき、約5V、白色のときに0Vが出力される。

《研究2》 次に行うDCモータの制御の際、左右のどちらのモータが機能しているか、またはどちらに曲がるかが一目で分かるようになる。

《研究3》 DCモータは、機械的な反応が瞬時にできないため、PWM信号を送ると電圧を調整するのと等価になり、制御ができる。

(3) 研究方法

《研究1》

今回、ライントレース回路を製作するにあたり、「フォトインタラプタ」と呼ばれるセンサを用いた。



図2 フォトインタラプタ

このセンサは、赤外線の光が黒色には吸収され、白色では反射するという原理を利用しているもので、赤外線LEDとフォトトランジスタが一体になっているセンサである。

テスト回路を作る際、データシートやインターネットを用いて回路を参照し、参考にしたが、それぞれにおいて抵抗値や回路はばらばらであった。そこで、最も重要だった負荷抵抗について、赤外線LED側の抵抗はオームの法則より、次のように求めた。電圧をE、電流をI、抵抗をRとすると、

$$R=E/I$$

という式が成り立つ。そこで、次のような式を立てた。

$R=5/0.02$ (電圧=5V、電流=20mA)
よって、抵抗値は250Ωとなる。

このテスト回路では輝度を調整するため、500Ωの半固定抵抗を用いた。

また、フォトトランジスタ側は正確にどの位の負荷抵抗を入れるとよいか不明だったため、50kΩの半固定抵抗を入れて実験した。今回の回路図を図3に表す。

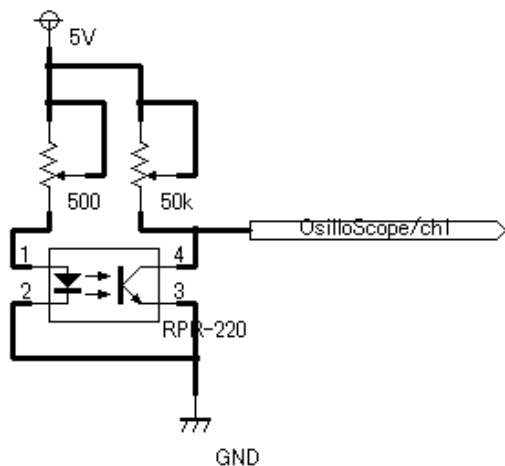


図3 テスト回路

そして、テスト回路の出力をオシロスコープに接続し、電圧を測定する。

《研究2》

この研究では、MITの松下光次郎氏に提供していただいたA/D変換値をハイパーターミナル上に表示するプログラムを用いてA/D変換ができる値かを調べた後、独自で処理プログラムを製作し、白か黒かを判別し、LEDにその結果を表すという実験を行った。

また、LEDは2つ、左モータ・右モータに見立ててプログラムを製作し、実行した。このプログラムの条件は以下の通りである。

- ・ 8ビットのA/D変換を行う（センサ3つ分）。
- ・ 上記の結果を2つのLEDに表す。
- ・ センサが黒の位置にあるときに1、白の位置にあるときに0と読み取るようにする。

《研究3》

研究2のプログラムにPWM信号を出力するような改造を加え、DCモータを制御できるようにする。

これまでに出てきた「PWM信号」とは、Pulse Width Modulationの略で、変調方式の一つである。

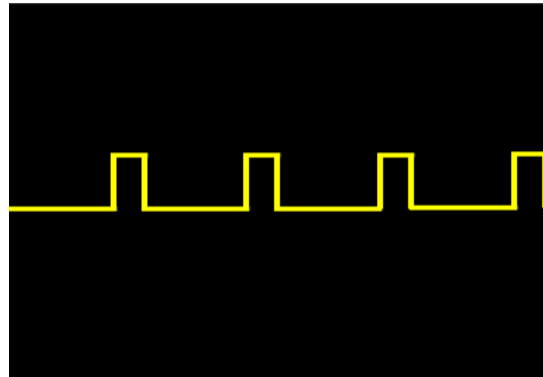


図4 PWM信号

これは、簡単に言うと、高速で電源のON/OFFを繰り返しているもので、サーボモータやDCモータの制御に適したものといえる。

そこで、この実験ではPWM信号をモータドライバICに流し、それを經由してモータを制御することにした。

モータドライバICというのは、中にHブリッジ回路という回路を内蔵したICのことである。



図5 モータドライバ

これを用いることにより、たとえ制御するために用いる信号が低電流・低電圧だっ

たとしても、大電流・大電圧を必要とする高出力のモータを制御することができる。また、もちろん普通のモータも制御することができるので、様々な用途に応用されている。

(4) 研究結果

《研究1》

電源装置を用いた測定実験では、センサが地面から約 2.5mm の距離で黒 5.11V～4.48V、白 3.63V～3.11V まで、とおよそ 1V 以上の電圧差があった。これによって、アナログ入力がうまくいく値が出力されたといえる。

また、9V→5V 安定化電源を用いた場合でも、上記と同様の結果が得られた。

《研究2》

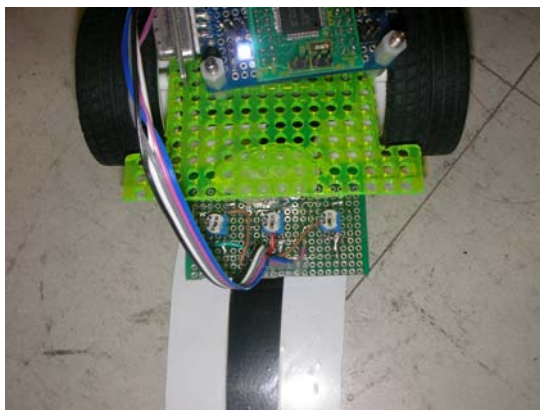


図6 実験風景

今回の実験では、図6のように白・黒・白とラインを並べたところに研究1において最適とされた高さにセンサを配置し、テストした。

このときは、プログラムで設定したとおりに LED が発光した。

《研究3》

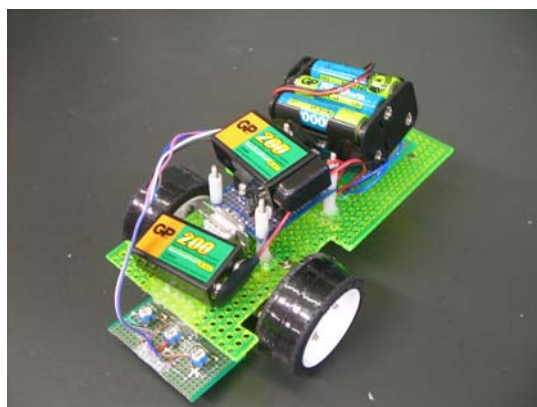


図7 電源を搭載したところ

実験では、図7のようなプロトタイプを製作し、実験した。



図8 トレースコース

実験する際は、図8のようなコースをビニールテープで設置し、走行実験を行った。結果的には、走行は成功であった。

4. 考察

《研究1》

この研究では、ハンダ付けの際に用いる基板の固定台を用いてセンサの高さを調節し、測定した。また、実験を2段階に分けて行った。2段階で行うことで、それぞれ電源を違うものにしても違いが現れないか、

という検証を行った。1段階目は、電源が比較的安定している電源装置を用いてセンサ部の電源として、オシロスコープで電圧を測定する。2段階目は9V電池を三端子レギュレータ5Vに安定化した電源を用いた。測定時の条件は以下の通りだ。

- 電源装置の電源：5V/0.2A
- 9V→5V安定化電源：5V/1.2A
- 2段階目では1段階目の測定のうちA/D変換の数値を測定するのみを行った。
- 白と黒で1V以上の差があったときに測定を止める。
- 用いたセンサ：フォトインタラプタ
ローム社 RPR-220

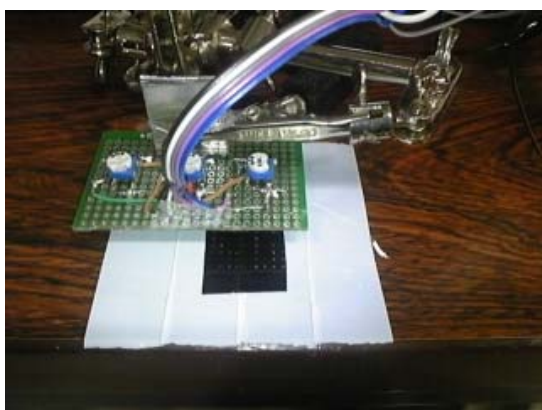


図9 測定時風景①



図10 測定時風景②

まず、このセンサの出力電圧を測定するにあたって、前もって製品のデータシートやインターネットなどを用いて必要な諸条件を調べていた。また、先輩にもアドバイスをいただいていた。その結果、実際に計測しない限りはマイコンで読み取ることができる値が出力されるかは分からないということが分かっていた。そのため、焦点距離である6mmをベースに、1mmずつ下げていき、半固定抵抗を調節して測定した。

《研究2》

この研究では、まず最初にMITの松下光次郎氏に提供していただいたA/D変換値をハイパーターミナル上に出力するプログラムと研究1で製作したセンサ回路を用いてA/D変換値を測定した。

068	109	237	228	200	192	188	189
173	033	179	190	250	244	235	228
160	012	216	200	255	254	254	254
180	111	240	234	255	255	255	254
119	137	243	235	237	244	247	247
148	241	045	110	248	243	239	233
146	244	012	038	255	254	252	251
131	242	013	038	250	250	250	249
127	242	016	040	234	237	236	236
245	019	164	157	255	255	255	255
245	023	163	159	255	255	255	255
248	010	159	155	255	255	255	255
246	016	166	161	255	255	255	255
L	C	R					

図11 ハイパーターミナル上に出力されたA/D変換値出力パターン

図11より、L・C・Rはそれぞれセンサの位置を表している。(Left, Center, Right)そして、四角で囲んでいるところがそれらの値である。それぞれを見ると分かるのが、まず、数値の大幅な違いである。一番上の

ブロックでは、L はシルバー、C は白、R は黒の位置にある。このとき、L は 068～180、C は 012～137、R は 216～243 という値が出力されている（R においては、比較のために 179 という値は省略している）。また、ひとつ下のブロックでは、L はシルバー、C は黒、R は白の位置にある。このとき、L は 127～148、C は 241～244、R は 012～045 という値がそれぞれ出力されている。これらの結果より、白は 012～137、黒は 216～244 という値が出力されており、A/D 変換によるはっきりとした判定が可能であることが分かる。また、特別に測定したシルバーにおいても、白と重複するところはあるが、068～180 という値が出力されており、ある程度の判別も可能であることが分かった。

次に、A/D 変換プログラムの製作を行った。A/D 変換とは、アナログ・デジタル変換の略で、マイコンの機能の一つであり、マイコンに入力されたアナログ信号（電圧の変化）をデジタル信号（0 か 1、すなわち ON か OFF）に変換するものである。

プログラムは、C 言語で記述している。また、プログラムは秋月電子通商の H8 マイコン開発キットに付属している C コンパイラやヘッダファイルを用いて製作した。さらに、参考文献[1]も参考にして製作した。

プログラムの内容を下記に表す。

- ・ センサの値は A/D 変換ポート 3ch 分を用いて入力、8bit モードで読み取る。(0～255)
- ・ A/D 変換値が 0～170 のときを白、170～255 のときを黒とする。
- ・ センサ信号を処理するため、パターンを 7つ設定する(黒を 1、白を 0 とすると、

「1/1/0」「1/0/0」「0/1/1」「0/0/1」「0/1/0」「0/0/0」「1/1/1」。

また、出力の I/O ポート 2ch には動作確認用の白色 LED がついている。

製作したプログラムの流れを下図に表す。

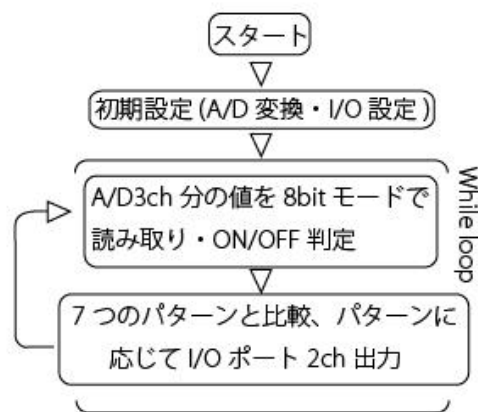


図 12 プログラムの流れ

《研究 3》

この研究では、「PWM 出力プログラムの製作」と「DC モータの制御」を目的として実験を行った。

この実験で用いるプログラムは、研究 2 で製作したプログラムに PWM 出力のコードを追加したものである。

今回のプログラムの流れを下図に表す。

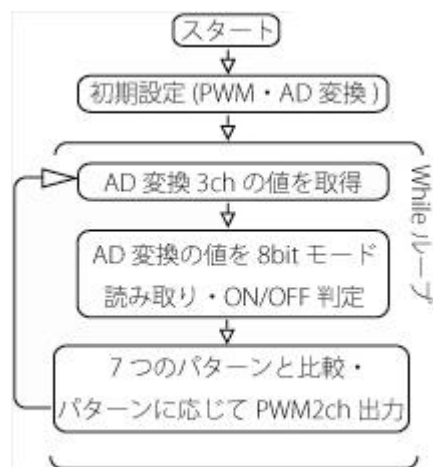


図 13 プログラムの流れ

また、DC モータの制御ではマイコンからモータドライバに PWM 信号を送り、DC モータを制御する方式をとった。

PWM 信号を送ることで、電圧を可変するのと等価になり、DC モータのスピードを細かく変えられて制御にとっても適している。

しかし、マイコンから出力される PWM 信号は 5V 出力だが電流がとても微弱なものなので、そのまま直にモータに接続してもパワーが弱く、動かない可能性がある。そのため、モータドライバを間接的に用い、モータ用の別電源で動作させた。

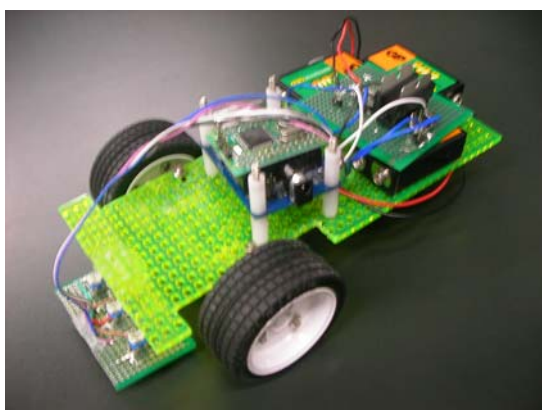


図 14 製作したライトレースカー

5. まとめと今後の課題

今回の研究では、以下のことを調査あるいは実験できた。

- ・ フォトインタラプタを用いたセンサ回路の製作
- ・ センサ出力値の計測
- ・ アナログ入力・PWM 出力プログラムの製作
- ・ モータドライバ回路の製作
- ・ ライトレースカーの製作

しかし、センサのデータシートに表記された、センサの焦点距離での測定ができな

かった。このセンサは本来、6 mm までの距離にある、白色と黒色を判別できる。かつ 6 mm が最適な距離とされているが、今回の実験では、2.5mm と比較的低い位置でしか検知できなかった。

また、今回 DC モータの制御に PWM 信号を用い、何度か実験をした上で PWM 信号にはそれぞれ以下のようなメリットとデメリットがあった。

<メリット>

- ・ モータやサーボモータなど、アクチュエータの動作の調整にとっても適している。
- ・ カーブなどの角を曲がる時、左右のモータのスピード調整が簡単にできる。

<デメリット>

- ・ とても微弱なものであり、直接アクチュエータの制御ができない。
- ・ スピード調整は簡単にできるが、実際のどの位の出力値かが分からない。

今後は、メリットを生かしながら、デメリットを解決し、また、PWM 信号を用いたアクチュエータの制御を中心に研究を進めたいと思っている。

6. 参考文献・サイト

- [1]「ぼくらのマイコン・ロボット工作」、横井浩史・松下光次郎共著、CQ 出版社 (2006)
- [2]Wikipedia (PWM 制御)
- [3]ローム社 : RPR-220 データシート
www.rohm.co.jp/products/databook/s/pdf/rpr-220-j.pdf
- [4]東芝セミコンダクタ : TA7291P データシ

ート

www.semicon.toshiba.co.jp/docs/datasheet/ja/LinearIC/TA7291F_TA7291SG_ja_datasheet_070613.pdf

[5]秋月電子通商「AKI-H8/3664fp マイコンモジュールキット」

http://www.aki-den.jp/kit_manual/%83%7d%83C%83R%83%93%8a%d6%8cW/A34_AKI-H83664%83%82%83W%83%85%81%5b%83%8b.pdf

7. 謝辞

今回の研究にあたり、MIT の松下光次郎先生にハードウェア技術やプログラミングなどの指導、また、A/D 変換値をハイパーターミナル上に表示するプログラムを提供していただきました。また、ライントレースカーのアドバイスや、技術指導を物理班顧問の末谷健志先生、サイエンス研究会物理班の先輩方にいただきました。

お世話になった方々、本当にありがとうございました。