

報告書：MES-6-500PC のマイクロマウスへの使用について

1) 応募動機

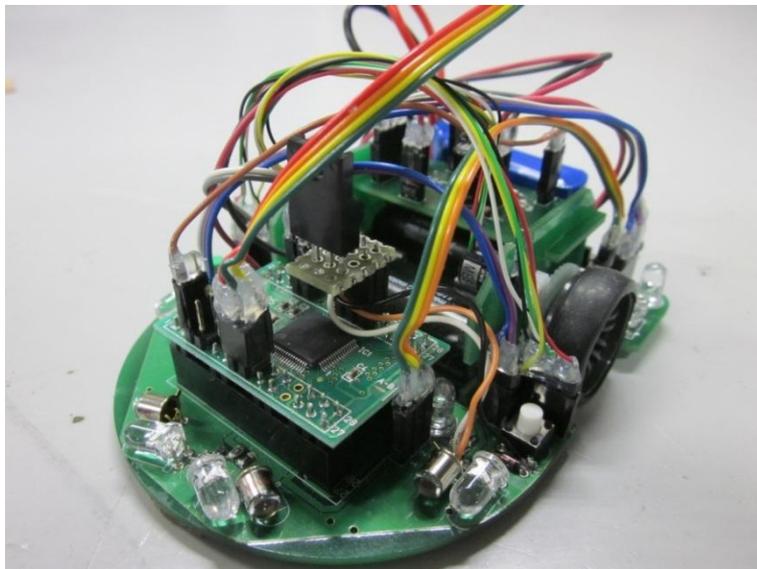
本企画でのエンコーダ、MES-6-500PC が自身のマイクロマウスの性能を向上させると考え、応募致しました。また、MES-6-500PC を用いたマイクロマウスの製作を通し、自身の組み込み技術を向上させることを、最大の狙いにおいています。

2) 使用結果

2012年マイクロマウス全日本大会クラシック競技部門に向けて、MES-6-500PC を用いたマイクロマウスを設計・製作し、ハードウェアを完成させることができました。しかし、ソフトウェアが間に合わなく、大会では棄権という結果に終わりました。

3) 機体紹介

以下に、本企画で製作したマイクロマウスを紹介します。



機体名	Alex(アレックス)
重量	150 g
サイズ	Length 100 mm, Width 80 mm, Height 48 mm
駆動方式	左右独立二輪
アクチュエータ	DC コアレスモータ：maxon japan RE13 2.5W 118467 × 2
使用センサ	ロータリーエンコーダ： MES-6-500PC × 2 壁センサ： 超高輝度赤色 LED OSHR5111A-TU × 4 フォトトランジスタ TPS601A(F) × 4
MUC	ルネサスエレクトロニクス株式会社 SH-2 シリーズ R5F71253N50 (秋月電子通商 SH7125F マイコンボード)
電源	Hyperion シリーズ LiPo バッテリー 2cell, 7.4 V, 240 mAh 及びリニアレギュレータ IC により安定化した 5.0 V
開発環境	High-Performance Embedded Workshop (HEW)
開発言語	C 言語

※付録に機体の三面写真(Figure 3)と基版図面(Figure 4)、回路図(Figure 5)を掲載。

4) 製作手順

本企画に応募し、7月下旬から11月中旬にかけてマウスを製作しました。製作日程は下図になります(Figure 1)。

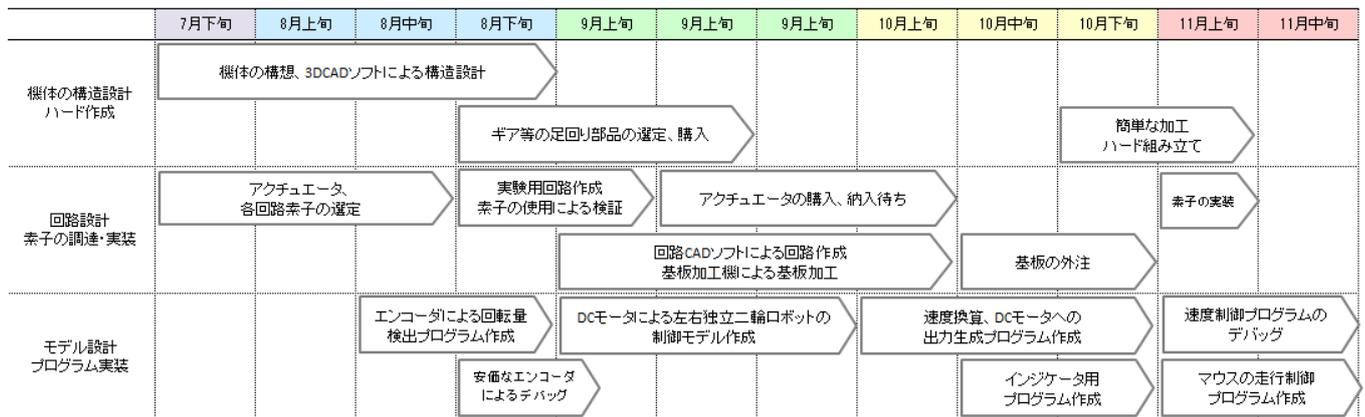


Figure 1 製作日程図

5) 達成度

今回予定していた製作内容とその達成度を以下に記します。達成度については、十分完成させたものを○、未完のものを△、ほぼ取り組めなかったものを×と表記します。

4-1) ハードウェア

- ・3DCAD ソフトによる構造設計：○
- ・電子回路 CAD ソフトによる回路設計、基板の外注：○
- ・ハードウェアの完成：○

[考察]

機構設計・回路設計には、Autodesk 社の 3DCAD ソフト「Inventor Fusion 2013」、Cad Soft 社の電子回路 CAD ソフト「Eagle」を用いました。CAD ソフトの使用自体が初めてでしたが、ハードウェアを完成させることができました。特に、Eagle の使用によりプリント基板の試作と外注ができ、基板設計の幅が広がりました。また、これにより表面実装素子を用い、小型で軽量なマウスを製作できました。そして、初の DC コアレスモータを用いたマウスを製作することができました。今回、MES-6-500PC を使用して、小型で設計に幅が利くと実感しました。正直、私の機体には十分すぎる小ささでしたが、使用してよかったと感じています。

4-2) ソフトウェア

- ・エンコーダによる回転量検出、及び速度・距離換算：○
- ・インジケータ制御：○
- ・DC モータを用いたロボットのモデル作成：△
- ・速度制御：△
- ・走行制御：×
- ・迷路走行ルーチン：×
- ・迷路探索、最短導出プログラムの実装：×

[考察]

全国大会で棄権となったことは、プログラムの実装が遅れたことが大きな要因です。Figure 1 で示しましたが、基板加工機の不調により基板の外注に切り替え、このためにハードウェアの完成が大幅に遅れました。

また、未完の大きな原因として、プログラム全体の構想と設計が甘かったことも挙げられます。速度制御のバグを修正出来ず、1区画の前進も叶いませんでした。DCモータを用いた二輪ロボットのコーディングも初めてで、単純なシステムでは済まず、変数管理や処理のつながりで困る場面が多々ありました。今回の製作を通して、ロボットシステムの記述には十分な事前構想が必要だと痛感しました。

6) MES-6-500PC を用いた機体制御方法の概要

今回、DC コアレスモータ及び MES-6-500PC を用いることで、より信頼の高い速度・位置制御が可能になると考えます。そこで、以下のような制御手法を実装中または実装を予定しております。

5-1) フィードバック、フィードフォワード制御の併用によるモータ制御

今回、アクチュエータに DC コアレスモータ用いるため、機体の速度を制御し位置を計測するためにはセンサとの併用が必要になります。このセンサに対して偏差から制御すると、制御の遅れが生じます。また、DC モータの速度を制御するのに、速度に応じた電圧、トルクに応じた電流を流す必要があり、その要求に応じた PWM (パルス幅変調、pulse width modulation の略称)の出力が必要です。

そこで、偏差のみではなく機体の運動に基づいたモータ制御を行います。

機体が加速するには必要なだけのトルクが、等速で走るには摩擦等による減衰分を補間するだけのトルクが必要になります(以降これらのトルクを加速トルク、摩擦トルクと呼びます)。合計トルクは出したい加速度とイナーシャから、摩擦トルクは各タイヤにかかる垂直抗力と摩擦係数、タイヤ半径から導けます。モータに流れる電流は、トルクに応じ線形的に変化し、加速トルクと定数から導けます。更に、モータにかける電圧は電流と端子間抵抗の積、回転数と逆起電力定数の積の合計となります。これで、出力すべき PWM を求めることが可能です。

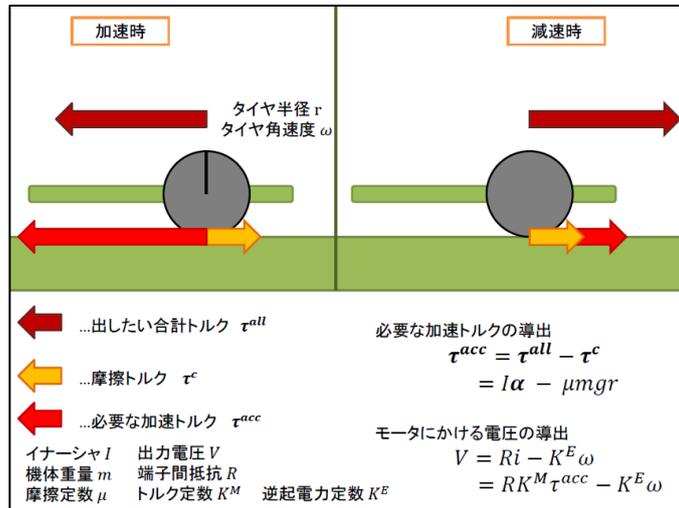


Figure 2 機体の運動に基づいたモータ制御

これにより、偏差による出力決定ではなく、モータの出力を、加速度を元に計算できます。これがフィードフォワード制御部です。これに加え、エンコーダから現在速度と目標速度の偏差を取り、目標速度に滑らかに近づけるフィードバック制御も行います。レスポンスが速く、かつ速度保障のあるモータ制御を実現します。この項目は機体のモデルを作成し、実装が完了し、現在デバッグをしています。

5-2) 機体の将来位置予測による三角加速

このモータ制御は、演算による将来の位置予測が可能です。マイクロマウス競技では、区画の大きさが絶対量として与えられていますので、1区画の移動距離は既知となります。一方、16×16の迷路の形状は未知で自由であるため、複数のパターンの中の直線距離があり、直線の箇所もまちまちになります。探索後、最短走行を行う上で、直線の活用が一つの勝負どころとなります。私は直線走行の高速化に着目し、目標位置に応じた三角加速を取り入れます。

三角加速とは、目標距離に対し制動をかけて止められる距離まで加速し、目標地点までに停止・旋回で

きる速度まで減速する走行の方法になります。複数の直線パターンに対し、直線距離と現在位置、現在速度が算出できれば可能となります。

初心者向けのステッピングモータを用いたマウスに比べ、DC コアレスモータを用いたマウスは構成部品と必要電源上、機体重量を抑えられ、急な加速度変化にも対応できる傾向にあります。更に、MES-6-500PC の高分解能を生かすことで、細かい距離計測ができ、信頼の高い速度制御が実現できます。この項目は Excel を使いシミュレーションを終え、実装中です。

5-3) オドメトリ(自己位置推定)を用いた走行

機体の位置はオドメトリにより取得する予定です。オドメトリとは、車輪や機体角度の回転から移動量を求め、その累積値から機体の自己位置や姿勢を推定する手法です。今回、十分な分解能のエンコーダを使用できることから、ミリメートルスケールの二次元直交座標系で自己位置を取得します。このスケールで座標系を組むことで、細かな軌道の生成ができると考えます。加えて、細かな座標を取ることで、マウスの挙動が理解しやすく、デバッグが容易になると期待できます。

しかし、実際にはスリップ等によるずれが生じますので、機体前方・側方を見る光学式センサにより、定期的に修正をかける予定でいます。この項目はまだ構想段階にあります。

7) 今後の方針

ハードウェアが完成したことで、今後はソフトウェア開発に専念していきます。上記の制御手法を実装すると共に、プログラム全体の構想を明確化し、詳細なフローを作成していきます。また、デバッグの効率化を目指し、走行シミュレータも製作中です。大会前は実装が上手くいかなかったことから、致命的なバグを発生させない綿密なプログラムの設計を行い、仮想環境で実験・デバッグすることで実装に移行しようと考えています。

8) 最後に

応募動機のとおり、本企画に応募した最大の狙いは、「挑戦による技術力の向上」でした。今回の製作は、私にとって多くの技術的挑戦があるものでした。この製作を通して、ロボット製作技術が飛躍的に向上したと感じています。無償で MES-6-500PC を提供頂きましたマイクロテック・ラボラトリー社様には、深く感謝しております。大会はプログラム作成が間に合わず棄権となりましたが、多くの問題点と改善点を見つけることができました。私はマイクロマウス競技を、学生の技術獲得・表現の場として捉え、取り組んでおります。今回の結果から、更なる向上を目指し活動していきます。

9) 付録

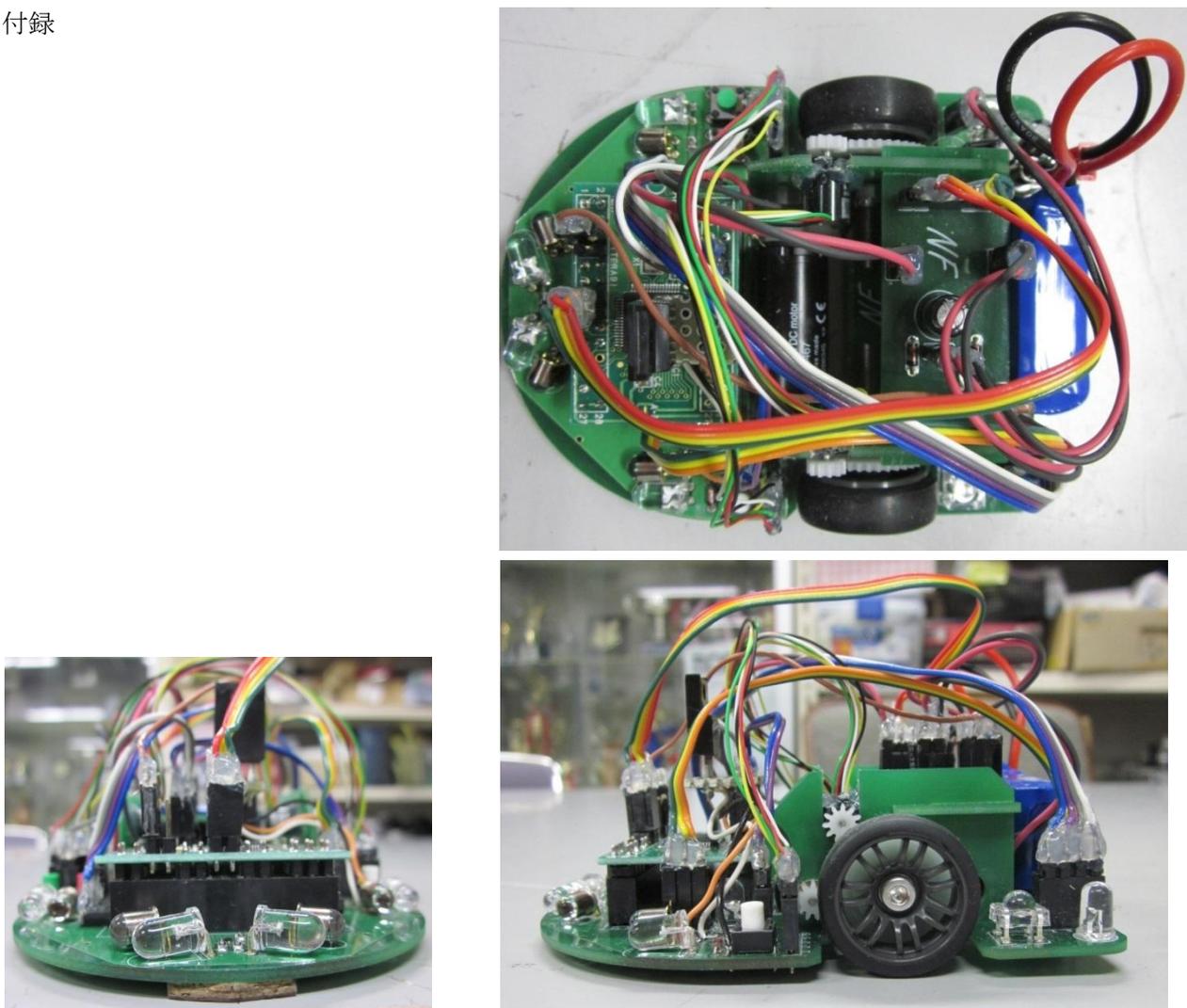


Figure 3 機体三面写真

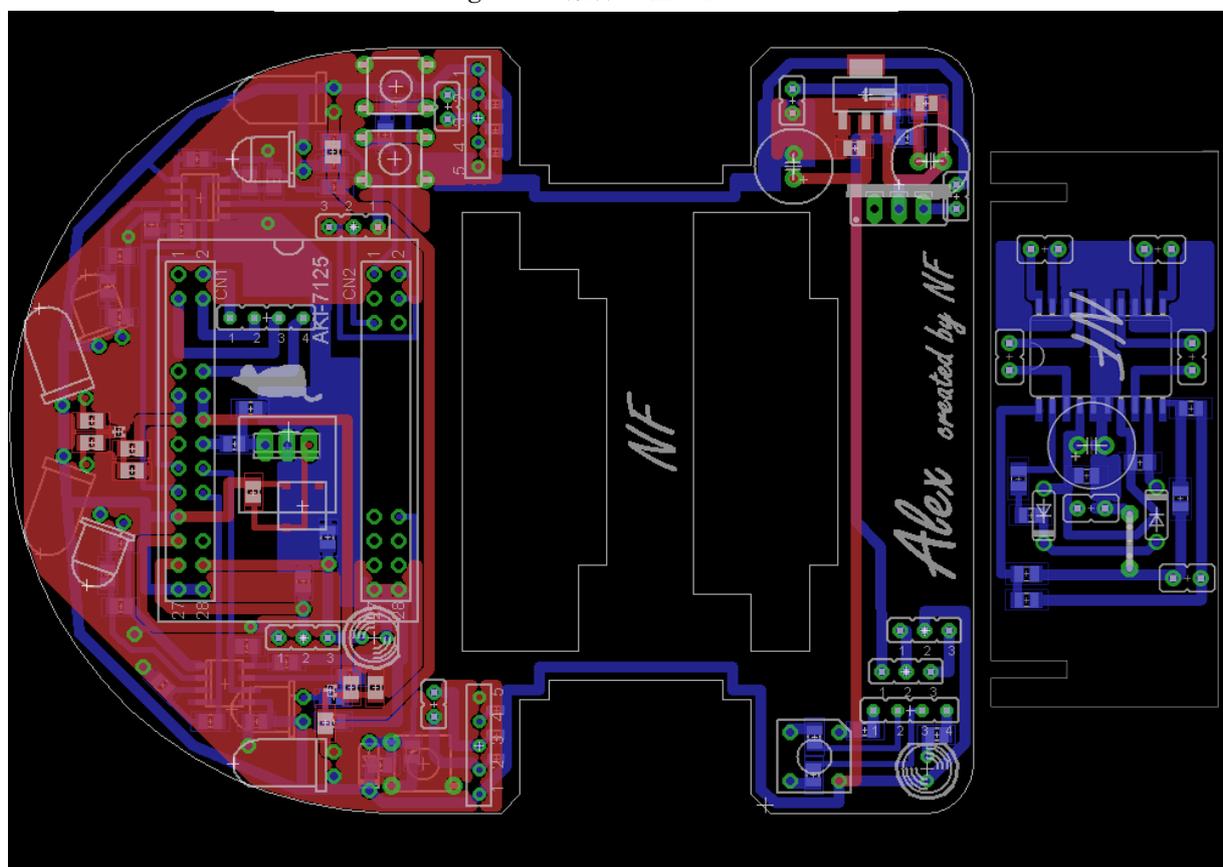


Figure 4 基板設計図

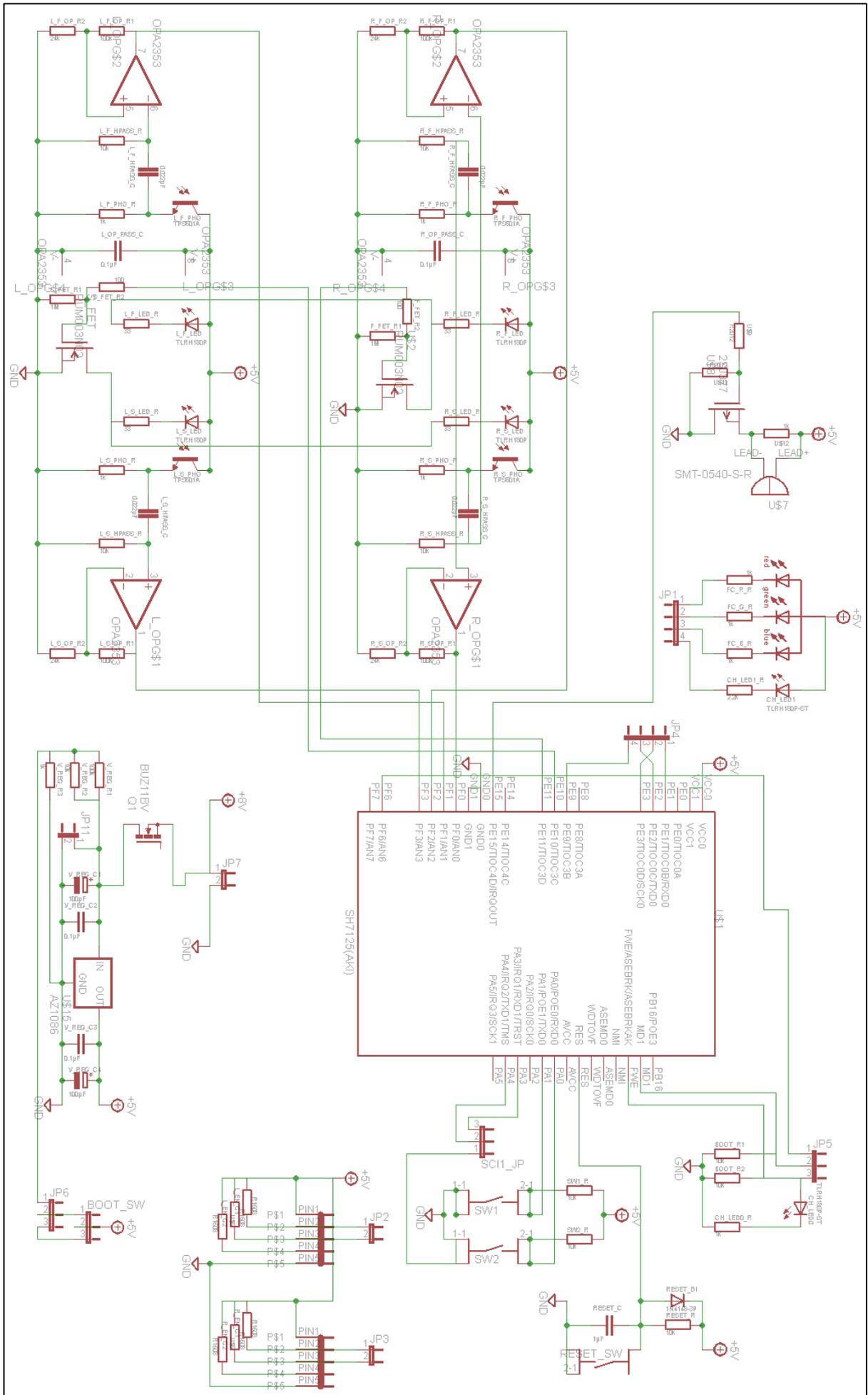


Figure 5 回路图