

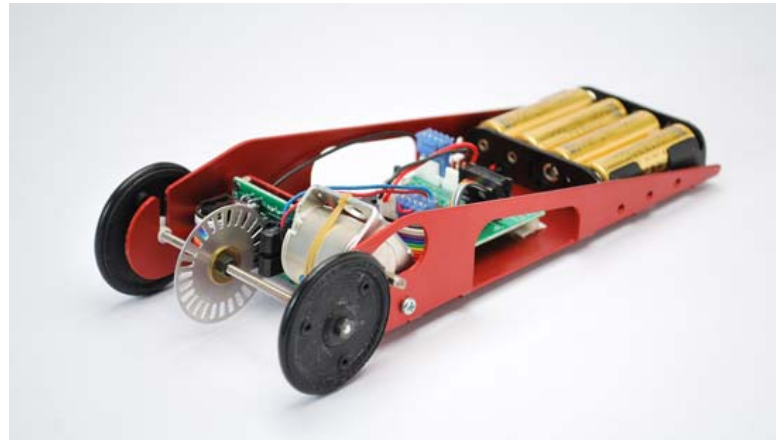
【倒立振子の学習会】

企画者：高野

参加者：斉田・吉田・茂木

1. 目的

H8マイコンを搭載したロボットキットを題材にして、倒立振子の学習をする。倒立振子の制御理論やC言語のプログラムを理解する。



2.内容

参考書籍とH8マイコンを搭載したロボットキットを使用し、倒立振り子に必要なモータやセンサ等の部品組み立てから、C言語を使ったプログラムの作成までを行い。制御工学における基礎的なシステムの動作を学習する。

書籍:オーム社「H8マイコンによる組み込みプログラミング入門」

ロボットキット: Beauto Balancer

オプション: PSD距離センサ

3-1 ロボットキット Beauto Balancer

- ・2輪型倒立振子学習教材で、フィードバック制御やPID制御などの基礎を学習できる

倒立振子は、振り子を逆立ちさせたもので、逆立ちさせることにより不安定になるため、フィードバック制御を用いてその状態を維持する。大きく分けて、振り子を台車などの移動する装置にフリージョイントで固定し台車を移動させて倒立させるもの(図1)と、振り子そのものが動力を持ち、タイヤなどで移動しながら倒立させるもの(図2)がある。「Beauto Balancer」は後者で、一つのモータ(動力)でタイヤを駆動し、自ら移動することで倒立状態を維持する。フィードバック制御に必要な信号は、角速度、角度を測定するジャイロセンサと、移動した距離、移動する速度を測定するロータリーエンコーダを使用して行なう。

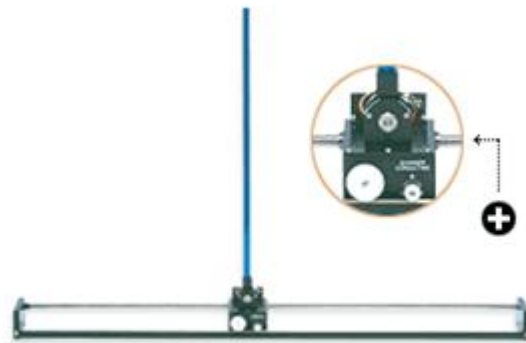


図1. 台車型倒立振子

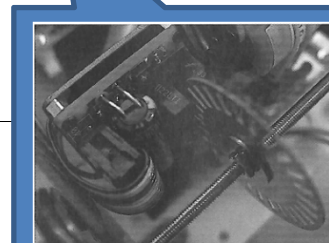
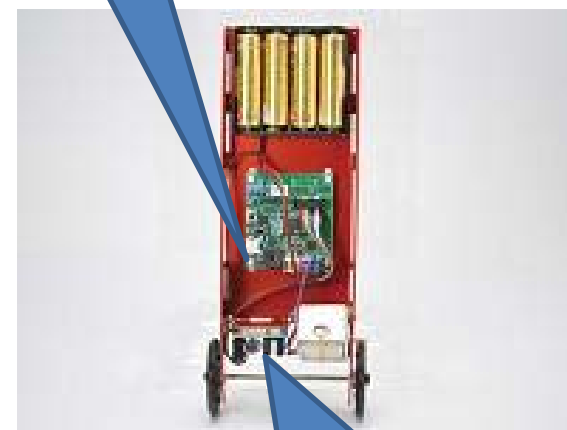


図2. 2輪型倒立振子

3-2 仕様

外形	110(H)×45(W)×210(D)mm
重量	約175g(バッテリー搭載時)
モータ構成	DCモータ1個搭載(本体駆動用)
搭載センサ	ジャイロセンサ × 1 エンコーダ × 1
CPUボード仕様	VS-WRC003 DCモータ最大2ch制御可能、アナログ 入力4ch取得可能 LED × 2搭載、圧電ブザー搭載 基板単体でのプログラミング可能、USB 接続、H8/36064G搭載
制御方法	・ゲイン調整用ソフトウェア「Balancerプログラマ」 ・倒立振り子制御部を含むサンプルプログラムを公開 ・C言語開発環境「HEW」「FDT」を利用可能
電源	単3アルカリ乾電池 4本(別売)、USBバスパワー(モータなど一部機能を除く)
対応OS	Windows XP/Vista/7(日本語版)
インタフェース	USB

ジャイロセンサ



ロータリーエンコーダ

3-3 モデリング

図3. モデル図より作成した運動方程式を(1),(2),(3),(4)式に示す.

$$X = M \frac{d^2}{dt^2} z(t) + M L_j \frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \quad (1)$$

$$Y = M g \quad (2)$$

$$J_p \frac{d^2}{dt^2} \theta(t) + M L_j \theta(t) - X L_j - \eta \frac{d}{dt} \theta(t) \quad (3)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} z(t) - \zeta \frac{d}{dt} z(t) + \xi v(t) \quad (4)$$

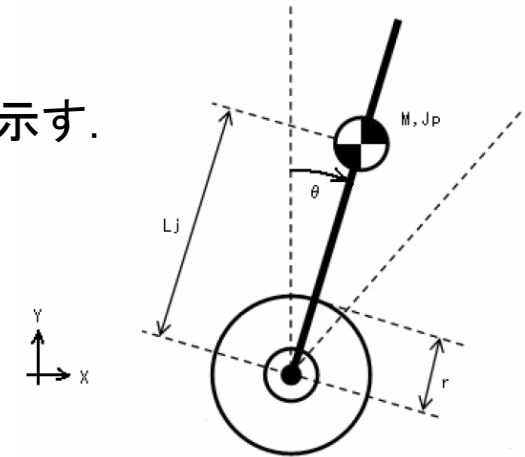


図3. モデル図

ここで, 入力電圧を $v(t)[V]$, 出力を移動距離 $z(t)[m]$, $\theta(t)[rad]$ とし, X は水平方向の反力, Y は垂直方向の反力である. また, 駆動系のモデル化は古典的に伝達関数を用いて行った. 駆動伝達部分が輪ゴム固定であり, 数式による入出力関係を導くのは難しいと判断したためである. 入力電圧 $u(t)[V]$ から移動速度 $\dot{z}(t)[m/sec]$ への相関が1次遅れ系で表せられるとすると, 駆動系のブロック線図は図4となる.

表1. 倒立振子のパラメータ

項目	表記	パラメータ
重量 [kg]	M	0.262
重心位置 [m]	L_j	8.412E-2
重心周りにおける慣性モーメント [kgm^2]	J_p	6.02441E-4
タイヤ周りにおける粘性抵抗 [Ns/rad]	η	3.7859E-4
駆動系伝達関数のパラメータ 1	ζ	3.0
駆動系伝達関数のパラメータ 2	ξ	0.038

3-4 ブロック線図

伝達関数は(5) 式となる.

$$G(s) = \frac{\xi}{s + \zeta} \quad (5)$$

ここで, k は入力値を移動距離[m] から電圧値[V] に移すゲインである. また, ξ と ζ は周波数応答実験により求めることができる.

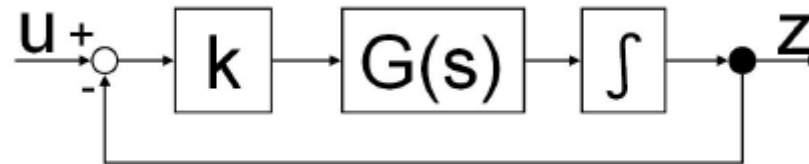


図4. 駆動系ブロック線図

4-1. 状態方程式

(1),(2),(3),(4) 式より, 状態方程式は(6) 式となる.

$$\begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \theta \\ \dot{z} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$a_1 = -\zeta, \quad a_2 = \frac{ML_j g}{J_p + ML_j^2}$$

$$a_3 = \frac{ML_j \zeta}{J_p + ML_j^2}, \quad a_4 = \frac{-\eta}{J_p + ML_j^2}$$

$$b_1 = -\xi, \quad b_2 = \frac{-ML_j \xi}{J_p + ML_j^2}$$

ここで, (6) 式を(7) 式とおく.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (7)$$

(7) 式より, 倒立振子の安定化をするフィードバックゲインK を考慮したブロック線図は図5 となる.

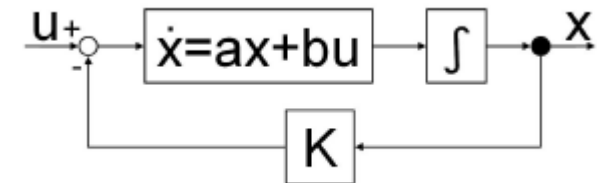


図5. 倒立振子ブロック線図

4-2 フローチャート

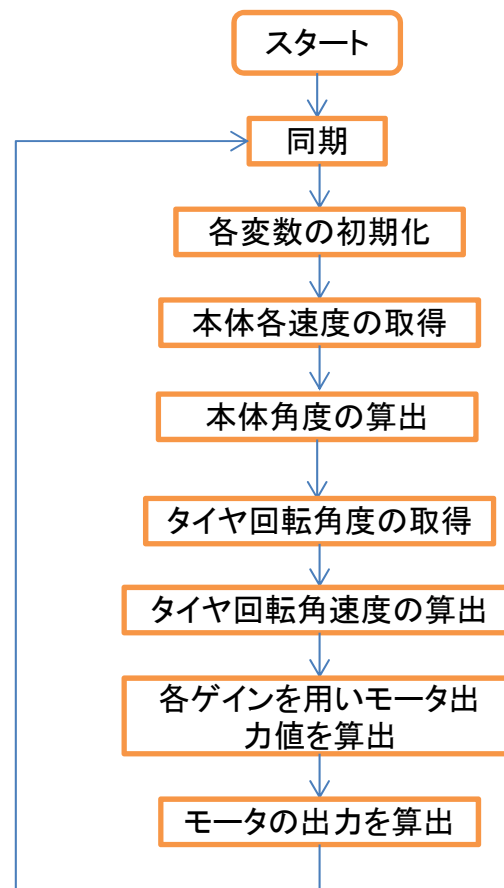


図6 倒立振り子制御のフローチャート