

# 自平衡小车系统设备文档

## 一、自平衡小车系统的结构和工作原理

两轮自平衡小车由以下几部分组成：带有每个轮子耦合到行星齿轮箱直流电动机的底座，DSP 板用来实现控制，电动机的电力放大器，测量小车状态必要的传感器，无线电控制单元接收器和垂直棒，如图 1-图 4 所示。

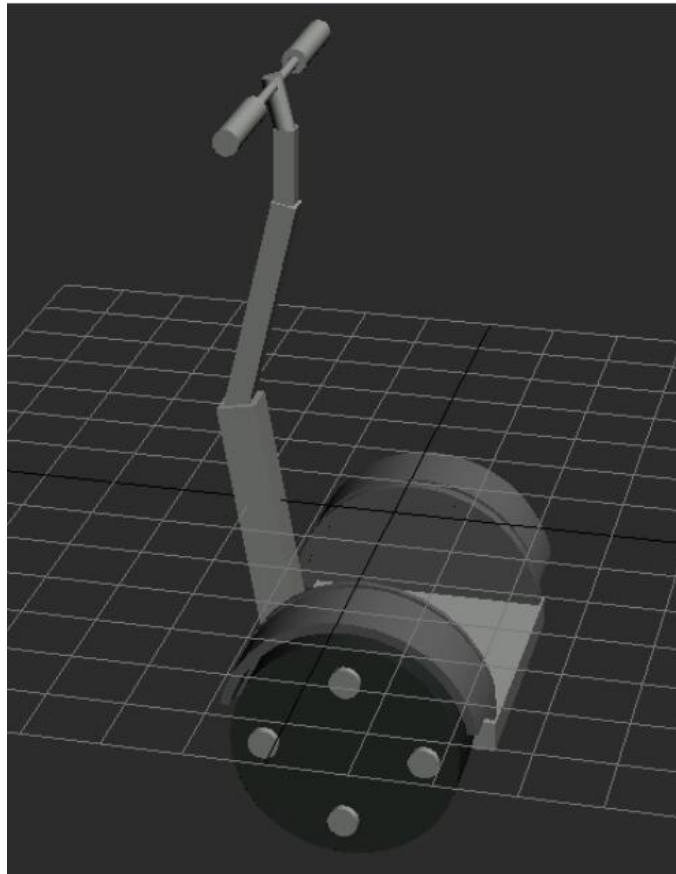


图 1



图 2

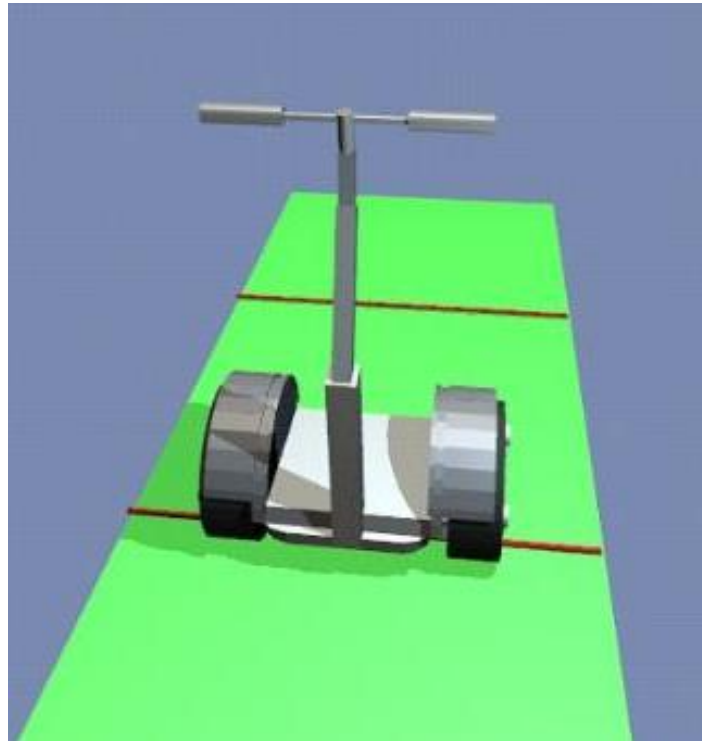


图 3

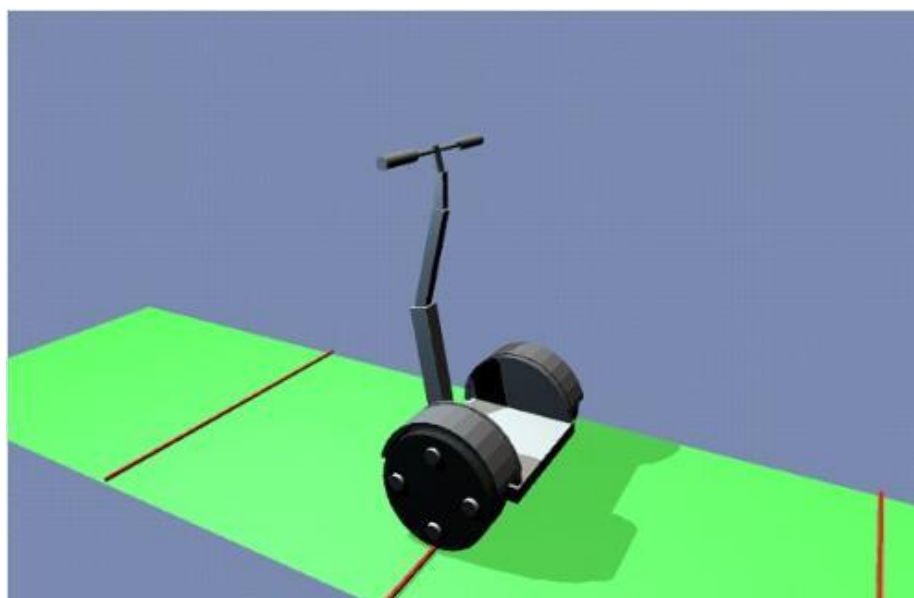


图 4

电池固定在机器人内部，它们的重量可以模拟一个驾驶员。小车的轮子直接连接在齿轮箱的输出轴上。控制软件使用在 Windows 上运行的 Matlab。使用 Simulink 作为一个交互式的工具，用来建模，仿真和分析倒立摆系统。它能让你建立图表，评估系统性能，改善你的设计。Matlab 仿真表明，控制一个两个轮子上各有一个发动机的系统是确实可行的。

为了成功地控制系统，要量化状态空间变量；或者直接测量，或者通过适当的观测器。直线位置和速度，首摇角和速率可以很容易的

由两个直流电动机上安装的增量编码器决定（假定纵摇角和速率已知）。纵摇速率由速率陀螺仪测量。控制系统是基于两个不耦合的状态空间控制器：一个控制横轴周围的稳定性（纵摇），另一个控制纵轴上的动态性（首摇）。每个控制器输出一个转矩应用于它相关的轴线，一个去耦单元把这两个信号转化为一个转矩分别应用于左边或者右边的发动机。操作者通过无线电控制单元微系统导航，对板上控制系统输送希望得到的直线速率和旋转速率。

## 二、自平衡小车系统的数学模型

两轮自平衡机器人系统的机械结构由车体、左右两个驱动轮和驱动电机组成。机器人的运动轨迹与这两个驱动轮有关。左右两轮由各自电机独立驱动且两轮转轴轴线在同一条直线上，机器人车体可绕两轮转轴自由转动，由于机器人系统的设计思想来自于倒立摆，其重心位于两轮轴线之上，若不对其进行控制，机器人不能保持稳定。取水平方向为 X 轴，竖直方向为 Y 轴，两轮中心连线为 Z 轴，两轮中心连线中点即为坐标系的原点，坐标系建立如图 5 和图 6 所示，建立自平衡小车所需参数如表 1 所示。

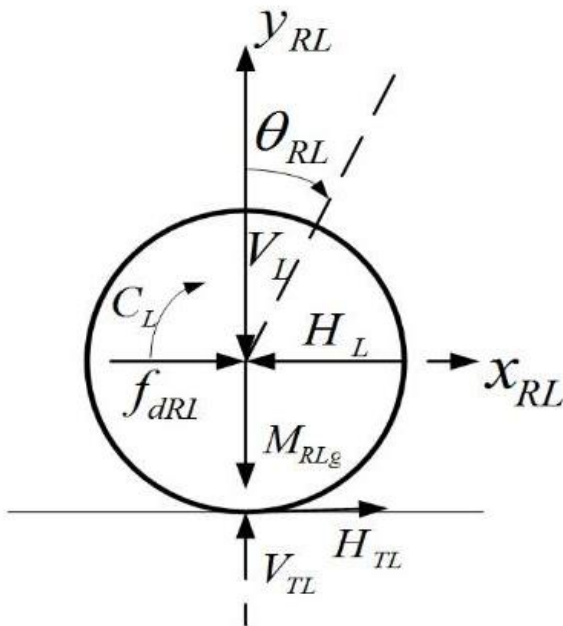


图 5

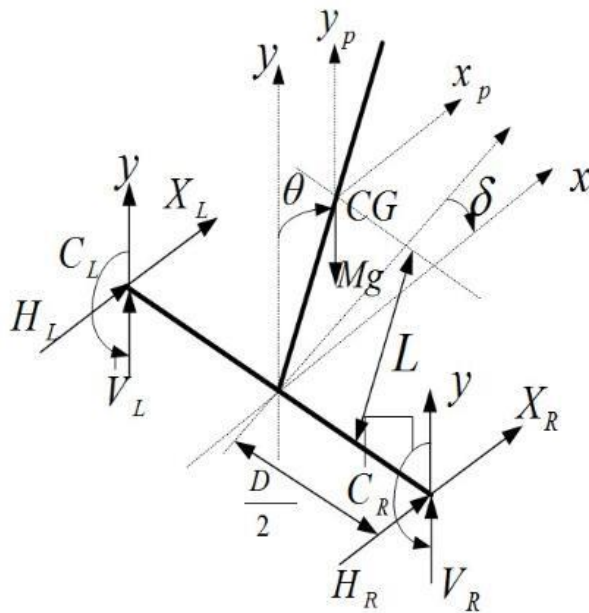


图 6

表 1 双轮自平衡小车系统的参数

$R$	左、右轮的半径, $R = 0.106m$
$m$	左、右轮的质量, $m = 0.42kg$
$D$	左、右轮之间的距离, $D = 0.44m$
$M$	机器人车体质量, $M = 21kg$
$L$	机器人车体质心到 $z$ 轴的距离, $L = 0.3m$
$J_{\omega}$	两轮对转轴的转动惯量, $J_{\omega} = \frac{1}{2}mR^2 = 0.0024kg \cdot m^2$
$J_{\delta}$	车体对 $y$ 轴的转动惯量, $J_{\delta} = \frac{1}{12}MD^2 = 0.3388kg \cdot m^2$
$J_p$	车体对 $z$ 轴的转动惯量, $J_p = \frac{1}{3}ML^2 = 0.63kg \cdot m^2$
$\theta$	车体与 $y$ 轴的夹角
$\dot{\alpha}$	车体与 $y$ 轴的夹角角速度
$\dot{\epsilon}$	车体与 $x$ 轴的夹角
$x_l, x_r$	左、右轮的位移
$f_l, f_r$	两轮与地面的摩擦力
$H_l, H_r$	两轮与机器人车体相互作用力的 $x$ 轴分量
$V_l, V_r$	两轮与机器人车体相互作用力的 $y$ 轴分量
$C_l, C_r$	左、右电机的输出转矩
$C_{\theta}, C_{\delta}$	子系统 1 和 2 输入转矩
$C_{lr}$	子系统 1 左、右电机输出转矩
$x$	两轮中心连线中点位移
$x_p, y_p$	小车质心位移
$T_1$	小车转动动能
$T_2$	小车平动动能
$T_3$	左、右轮的转动动能
$T_4$	左、右轮的平动动能
$T$	系统总动能
$v_x$	车体平动速度的 $x$ 轴分量
$v_z$	车体平动速度的 $z$ 轴分量
$\theta_l, \theta_r$	两轮转过的角度
$v_l, v_r$	两轮的线速度

经过牛顿力学建模计算后得到：

系统一：位移倾角系统。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -23.7097 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 83.7742 & 0 \end{bmatrix}$$

系统二：左右转弯系统。

$$\begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ \ddot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 5.1915 \end{bmatrix} C_{\delta}$$

其中

$x$  —— 自平衡小车位移

$\theta$  —— 自平衡小车纵摇角

$\delta$  —— 自平衡小车左右转向角

### 三、演示算法：极点配置控制方法

对自平衡小车进行极点配置控制，建立如图 7 所示的 Simulink 框图，得到如图 8 所示的小车位移变化图和如图 9 所示的小车纵摇角变化图。

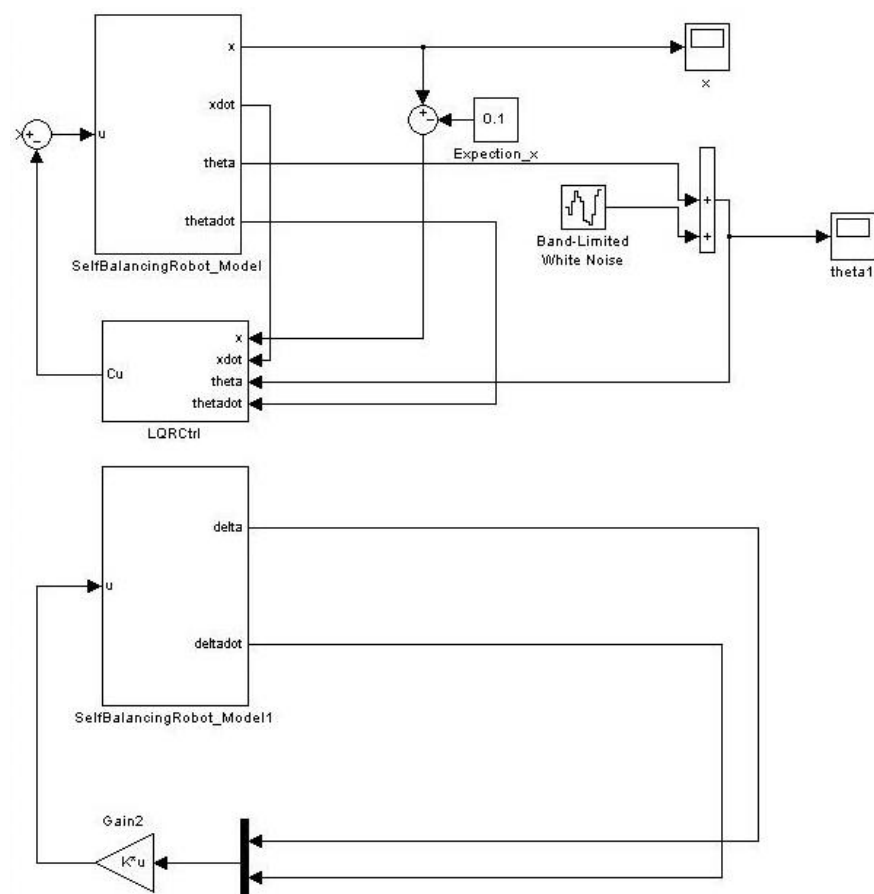


图 7 自平衡小车系统极点配置算法的 Simulink 框图

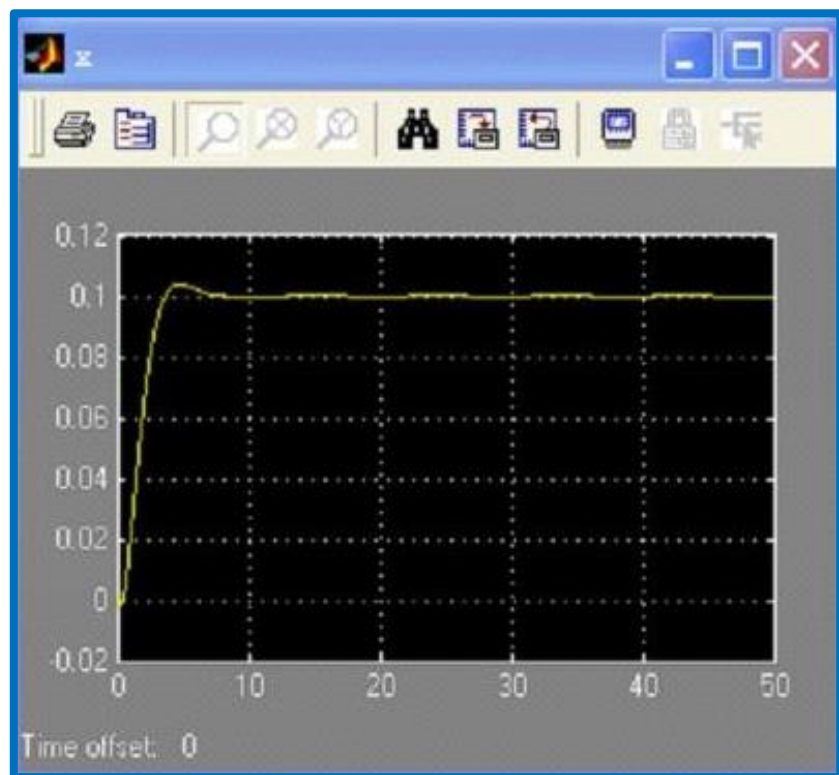


图 8 小车的位移曲线

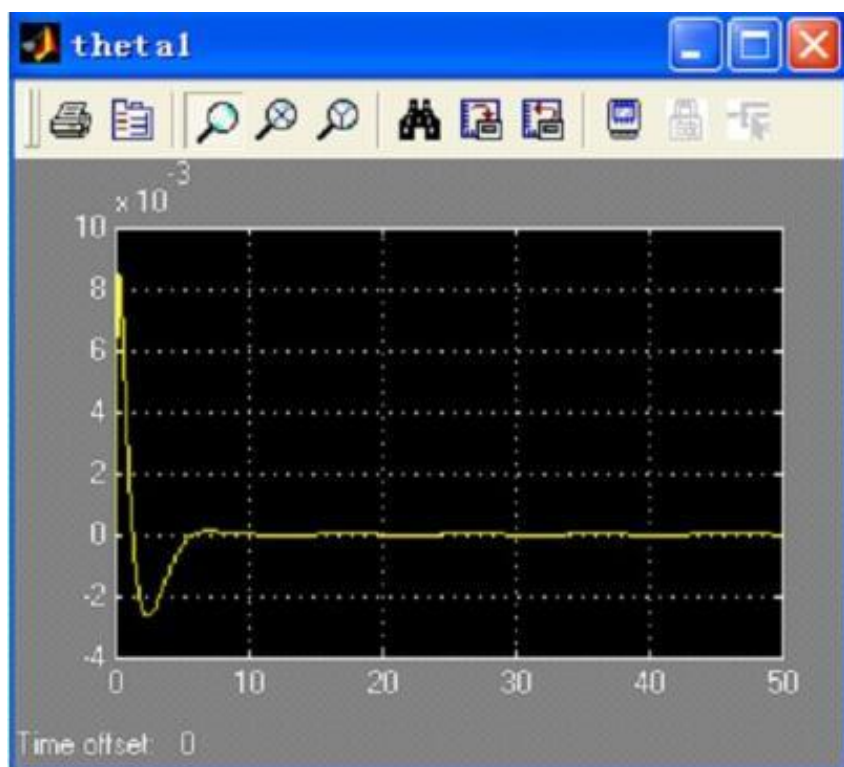


图 9 小车系统的纵摇角曲线