

第 1 课 麦轮小车运动介绍

1. 前言

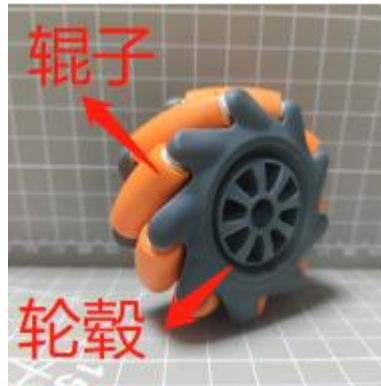
MasterPi 小车采用的是全方位移动的麦克纳姆轮，以下简称麦轮。根据麦轮的夹角 45 度，可以分为互为镜像关系的 A 轮和 B 轮，如图所示：



麦轮具有万向性，灵活性，平稳性等特点，是很成功的一种全方位轮，有 4 个这种轮子的组合，可以更灵活方便的实现全方位移动功能。

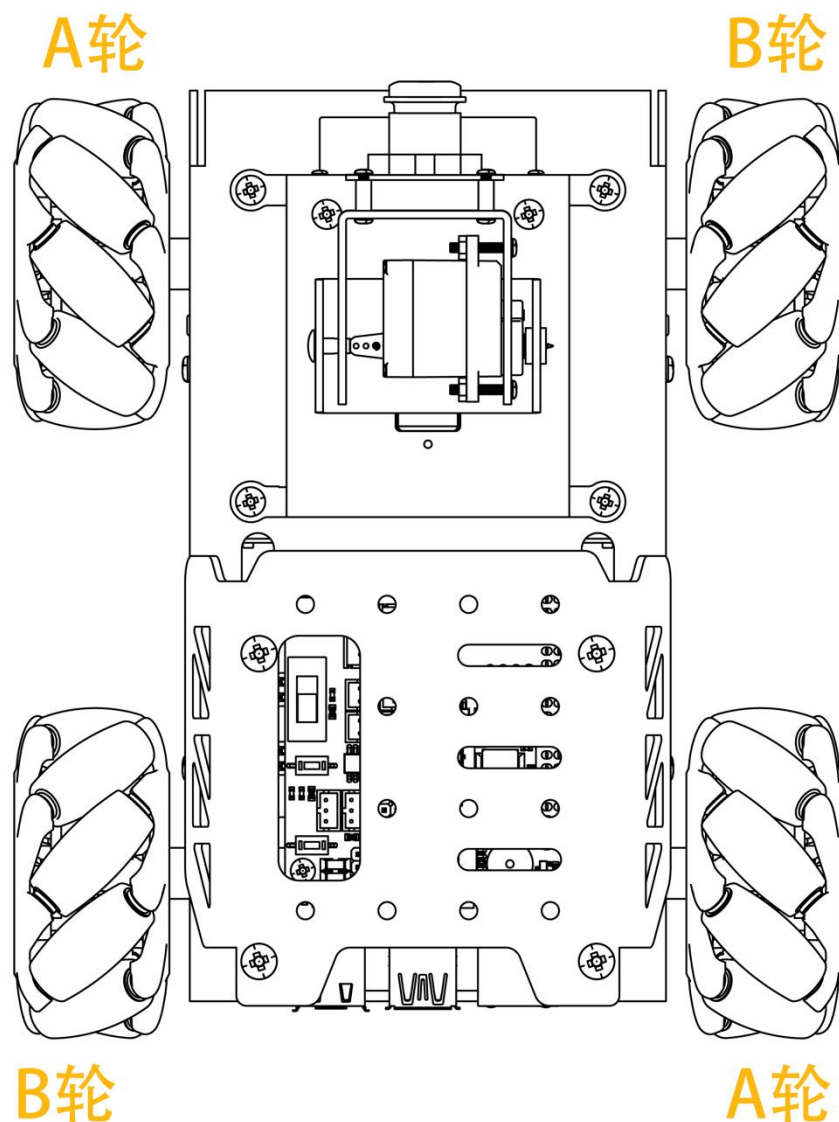
2. 原理说明

2.1 麦轮硬件结构及物理特性



麦轮整体结构由轮毂和辊子构成，轮毂是整个轮子的主体支架，辊子则是安装在轮毂上的鼓状物，麦轮的轮毂轴与辊子转轴呈 45 度角。麦轮一般是四个一组使用，两个左旋轮（B 轮），两个右旋轮（A 轮），A 轮和 B 轮具有对称性。

4 个麦轮的组合方式有 AAAA，BBBB，AABB，ABAB，BABA 等，并不是所有的组合都可以实现前进、后退、旋转、左移、右移等功能，而 MasterPi 的麦轮组合方式是 ABAB，是一种可以实现全方位移动的组合。

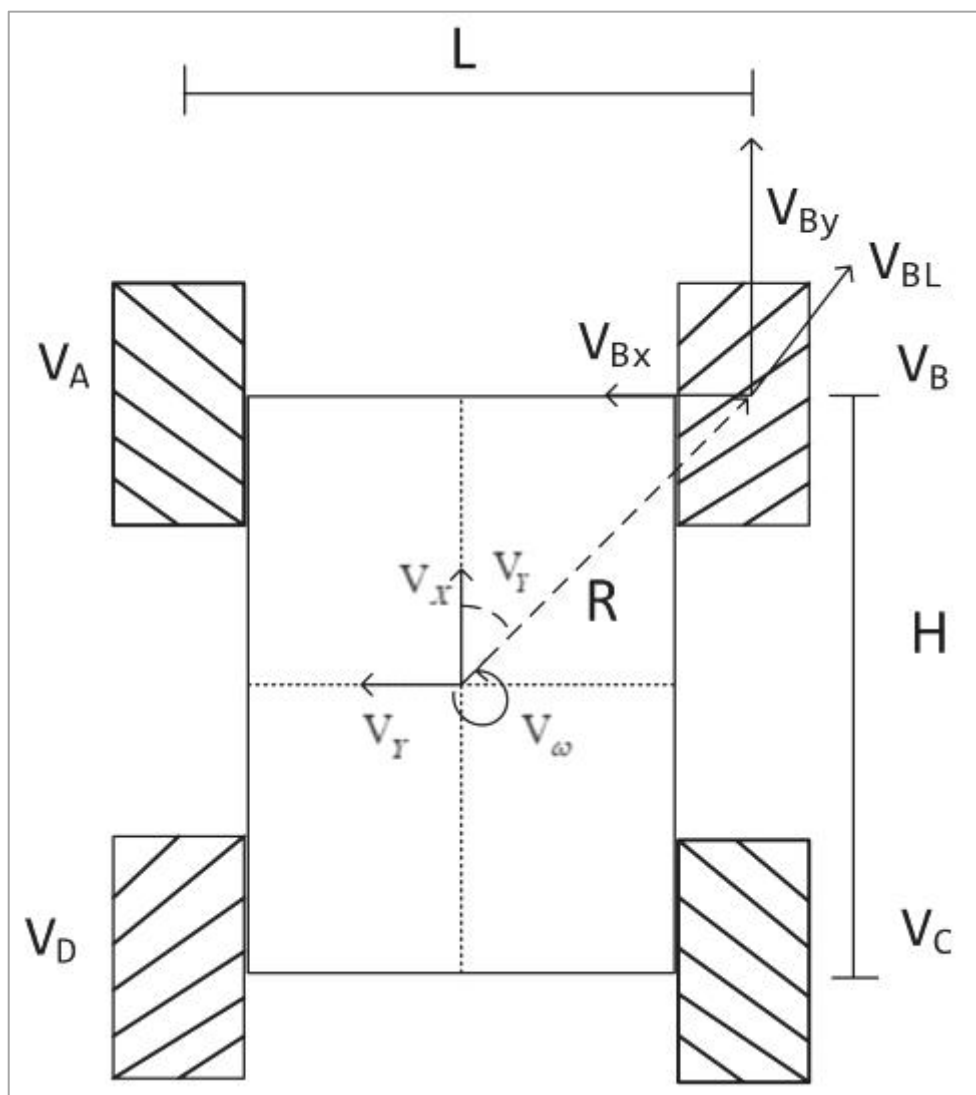


2.2 麦轮物理特性

麦轮依靠各自机轮的方向和速度,这些力的最终合成在任何要求的方向上产生一个合力矢量从而保证了这个平台在最终的合力矢量的方向上能自由地移动,而不改变机轮自身的方向。

由于它的轮缘上斜向分布着许多小辊子,故轮子可以横向滑移。小辊子的母线很特殊,当轮子绕着固定的轮心轴转动时,各个小辊子的包络线为圆柱面,所以该轮能够连续地向前滚动。

在进行运动学分析时，我们可以考虑麦克纳姆轮的运动学模型，其中包括以下参数：



- 1) V_x : 麦轮在 X 轴（通常是前后）方向的速度；
- 2) V_y : 麦轮在 Y 轴（通常是左右）方向的速度；
- 3) V_ω : 麦轮底盘的角速度（即底盘绕自身中心旋转的速度）；
- 4) V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D : 麦轮四个轮子的实时速度；

右前轮在平面内的运动可以分解为：

- 6) VBy: 麦轮在 Y 轴（通常是左右）方向的速度；

- 7) L: 表示左右车轮轮心间距;
- 8) H: 表示前后车轮轮心间距;
- 9) θ_ω : 为底盘车身重心与右前轮心与形成的夹角, 为 45° 。

基于这些参数, 我们可以进行麦克纳姆轮底盘的运动学分析。

3. 运动学分析公式计算 (选看)

为简化运动学数学模型, 做下列两点理想化假设:

- (1) 全向轮不与地面打滑, 同时地面有足够摩擦力;
- (2) 4 个轮子分布在长方形或者正方形的 4 个角上, 轮子之间相互平行。

在这里我们将小车的刚体运动线性分解为三个分量, 那么只需计算输出麦轮底盘在沿 X、Y、Z 方向平移, Z 方向运动时四个轮子的速度, 就可以通过公式的合并, 计算出这三种简单运动所合成的“平动+旋转”运动时所需要的四个轮子的转速。

其中 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 分别为 A、B、C、D 四个轮子的转速, 也就是电机的转速; V_x 为小车沿着 X 轴平移速度, V_y 为小车沿着 Y 轴平移速度, V_ω 为小车沿 Z 轴的旋转速度; $\frac{1}{2}L$ 为小车轮距 L 的一半, $\frac{1}{2}H$ 为小车轴距 H 的一半。

- 1) 机器人沿着 X 轴平移时每个轮子的速度分量可以通过以下公式计算:

$$V_A = +V_x, V_B = +V_x, V_C = +V_x, V_D = +V_x$$

其中 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D : 四个麦轮的实时速度; 麦轮在 X 轴方向的速度。

- 2) 机器人沿着 Y 轴平移时每个轮子的速度分量可以通过以下公式计算:

$$V_A = -V_y, V_B = +V_y, V_C = -V_y, V_D = +V_y$$

其中 V_y 麦轮在 Y 轴方向的速度。

- 3) 机器人沿着 Z 轴旋转时每个轮子的速度分量可以通过以下公式计算:

$$V_A = -V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right), V_B = V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right)$$

$$V_C = -V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right), V_D = V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right)$$

其中 $V_R = -V_X + \frac{V_\omega + D}{2}$ ：麦轮底盘的角速度（即地盘绕自身中心旋转的速度）。

4) 将 X、Y、Z 三个方向的速度合并，即可根据小车的运动状态解算除四个轮子的转速：

$$V_A = V_X - V_Y - V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right), V_B = V_X + V_Y + V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right)$$

$$V_C = V_X - V_Y - V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right), V_D = V_X + V_Y + V_\omega * \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}H\right)$$