

第1季

第6章：机器人底盘



主讲人：张虎

(小虎哥哥爱学习)

- 先导课
- 第1季：快速梳理知识要点与学习方法 ✓
- 第2季：详细推导数学公式与代码解析
- 第3季：代码实操以及真实机器人调试
- 答疑课

----- (永久免费 • 系列课程 • 长期更新) -----

本书内容安排

一、编程基础篇

第1章：ROS入门必备知识

第2章：C++编程范式

第3章：OpenCV图像处理

二、硬件基础篇

第4章：机器人传感器

第5章：机器人主机

第6章：机器人底盘

三、SLAM篇

第7章：SLAM中的数学基础

第8章：激光SLAM系统

第9章：视觉SLAM系统

第10章：其他SLAM系统

四、自主导航篇

第11章：自主导航中的数学基础

第12章：典型自主导航系统

第13章：机器人SLAM导航综合实战

外观五花八门的机器人

其实核心都一样



① 无人驾驶汽车



② 快递机器人



③ 送餐机器人



④ 服务机器人



⑤ 工业机器人



⑥ 教育机器人

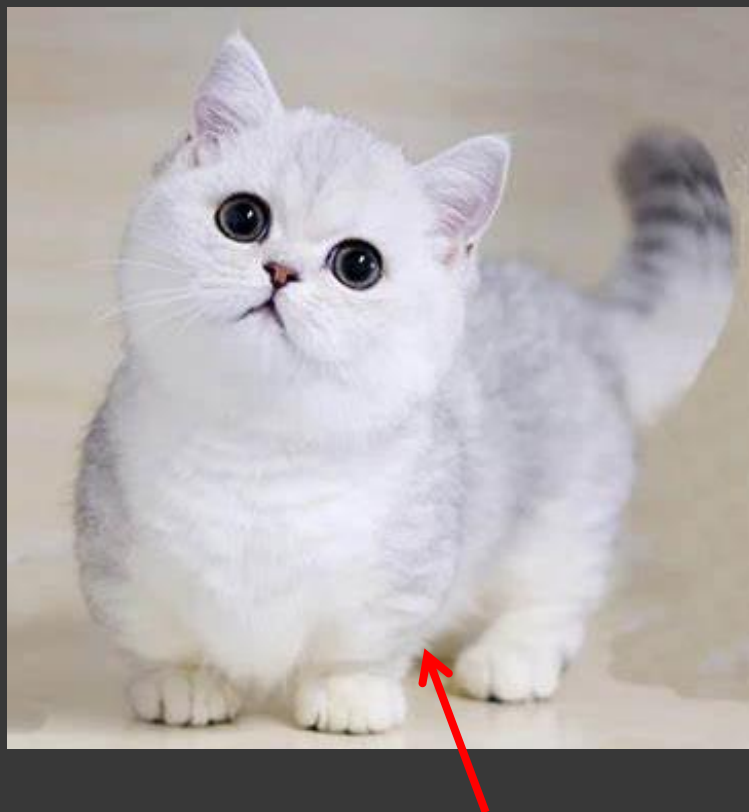


⑦ 扫地机器人

机器人
底盘



问题1：机器人底盘，究竟是什么？



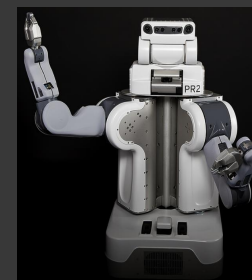
这只哈基米的底盘好低

问题1：机器人**底盘**，究竟是什么？

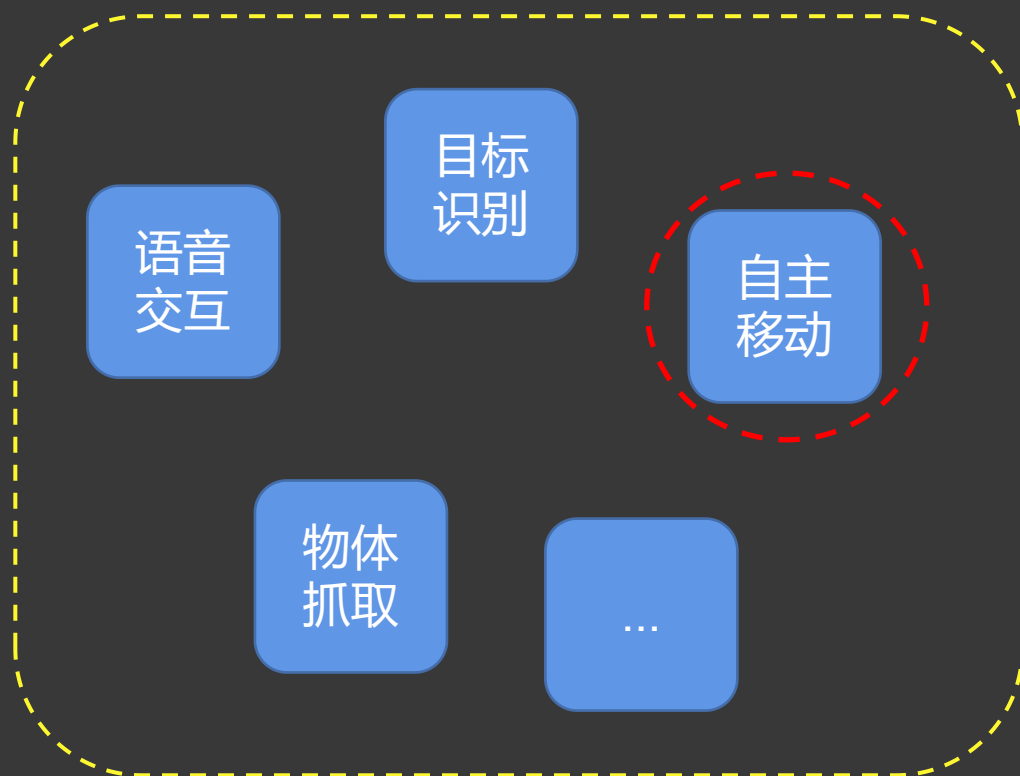
汽车底盘



机器人底盘



问题2：机器人底盘，有什么作用？



- 运动执行
- 结构支撑

问题3：机器人底盘，有哪些类别？

四旋翼
无人机



水下
机器人



轮式
机器人



足式
机器人



仿生
机器人



问题3：机器人底盘，有哪些类别？

足式
机器人

双足



四足



六足



...

问题3： 机器人底盘， 有哪些类别？

轮式
机器人

两轮差速



四轮差速



阿克曼



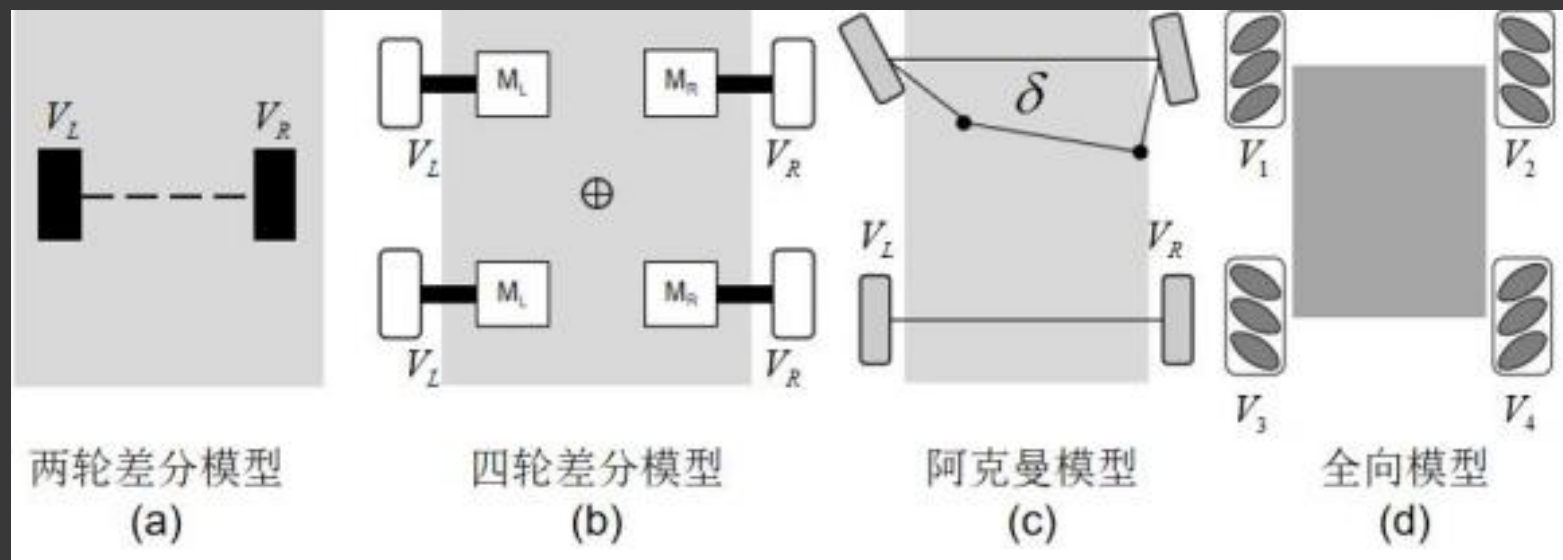
全向



内容概要

- 6.1 底盘运动学模型
- 6.2 底盘性能指标
- 6.3 典型机器人底盘搭建

6.1 底盘运动学模型



轮式机器人底盘中，轮子是如何影响底盘运动的？



- ① 轮子是如何驱动物体运动的？
- ② 多个轮子是如何驱动物体运动的？

6.1 底盘运动学模型

① 轮子是如何驱动物体运动的？



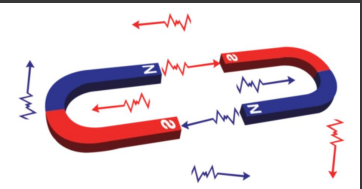
地面给轮子的摩擦力，驱动物体向前运动

6.1 底盘运动学模型

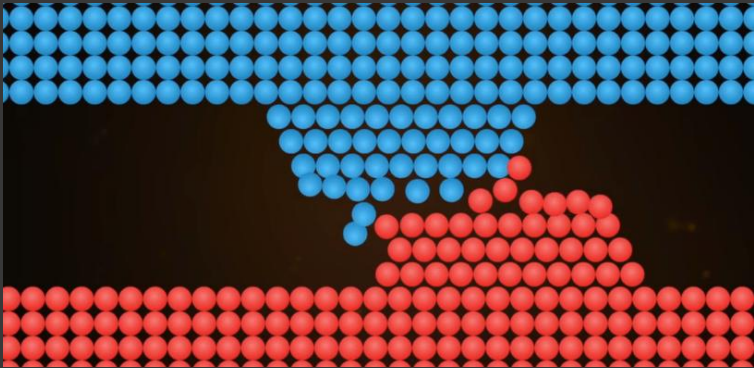
① 轮子是如何驱动物体运动的？

摩擦力 { 滑动摩擦
滚动摩擦
静摩擦

*光滑表面没有摩擦力???



宏观：粗糙度



微观：电磁力

*摩擦力本质是接触表面微观粒子之间的电磁力

轮子上所受的摩擦力，是把双刃剑

6.1 底盘运动学模型

② 多个轮子是如何驱动物体运动的？



*独轮车如何转弯？

- ① 扭动身体
- ② 倾斜身体
- ③ 用脚蹬地



*自行车如何转弯？



*汽车如何转弯？



*平衡车如何转弯？

轮子上所受的摩擦力，是把双刃剑

利用有用的摩擦力
规避无用的摩擦力

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



走直线
(滚动摩擦)



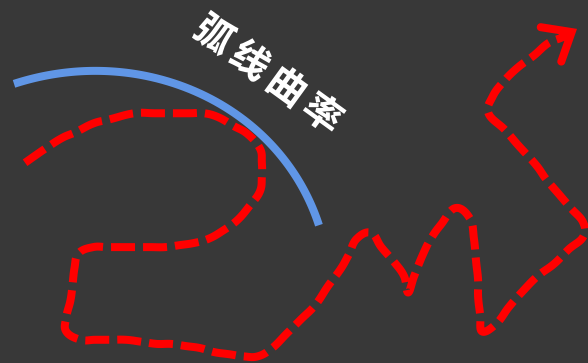
原地旋转
(滑动摩擦)



侧向运动
(滑动摩擦)



走弧线
(滚动摩擦+滑动摩擦)



***能走弧线，就能走任意路线**

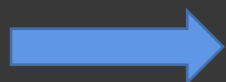
6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

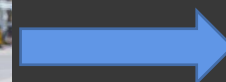
两轮差速模型的演变过程



独轮车
(难操控、无支撑)



两轮自行车
(易操控、无支撑)



三轮车
(易操控、有支撑)

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

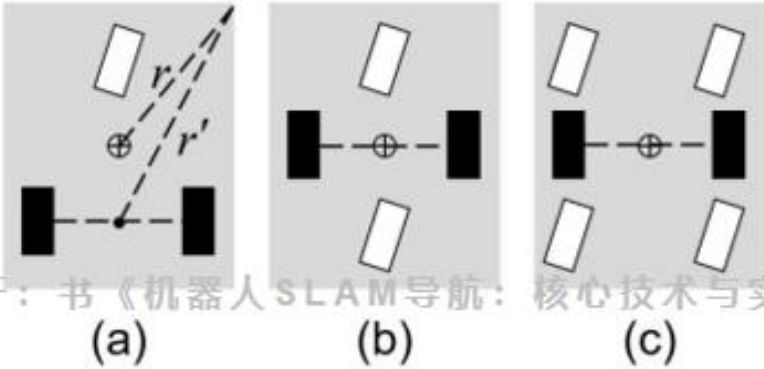
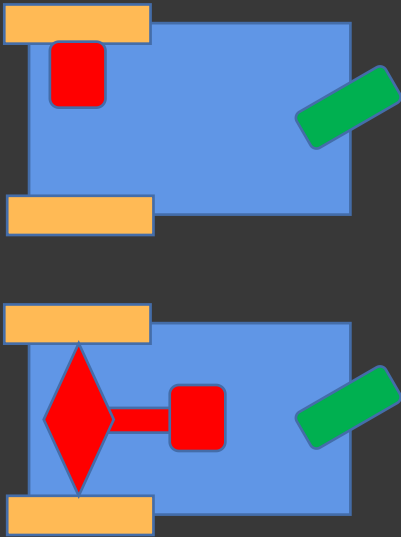
两轮差速模型的演变过程



三轮车
(后轮驱动、前轮转向)

单边后轮驱动

双边后轮驱动



来源于：书《机器人SLAM导航：核心技术与实战》图6-1



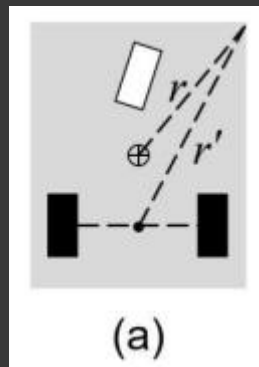
① 前轮替换成万向轮

② 后轮替换成双电机

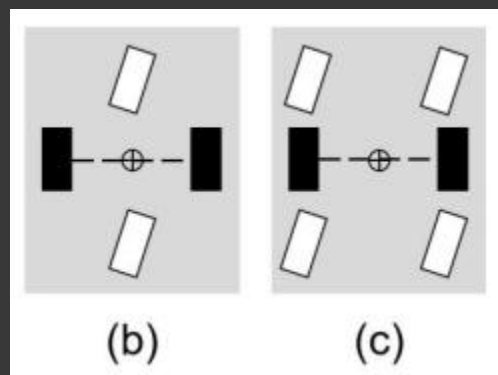


6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



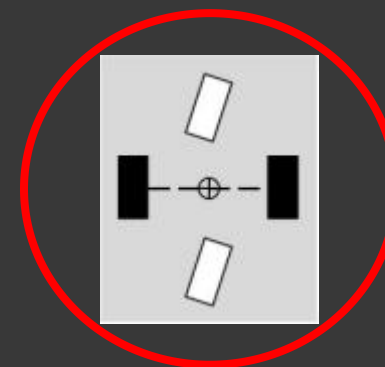
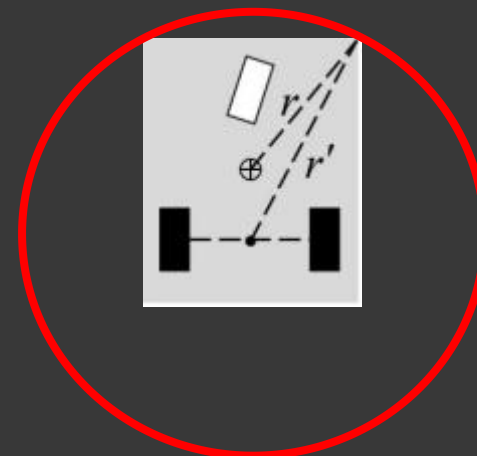
VS



缺点1：最小避让空间半径过大

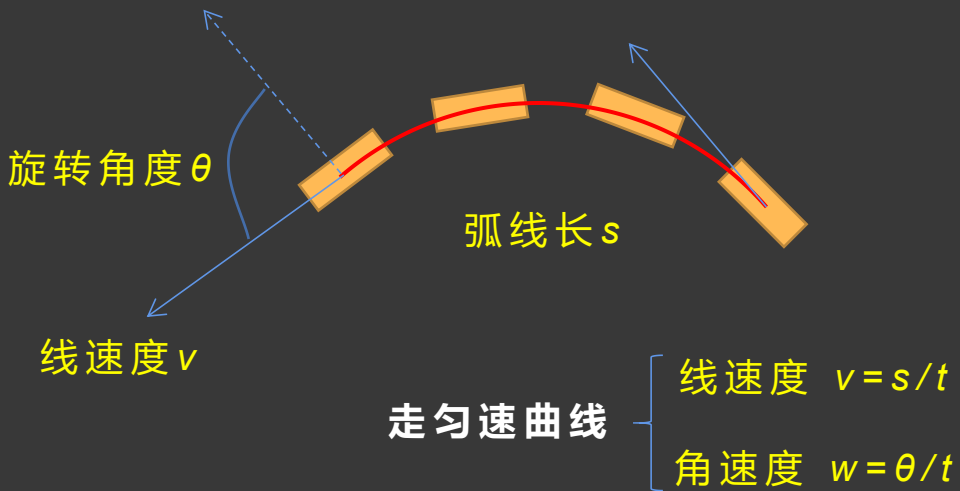
缺点2：3轮容易侧翻

缺点：地面不平时，有轮子会悬空



6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
 - ① 前向运动学
 - ② 逆向运动学
 - ③ 轮式里程计
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



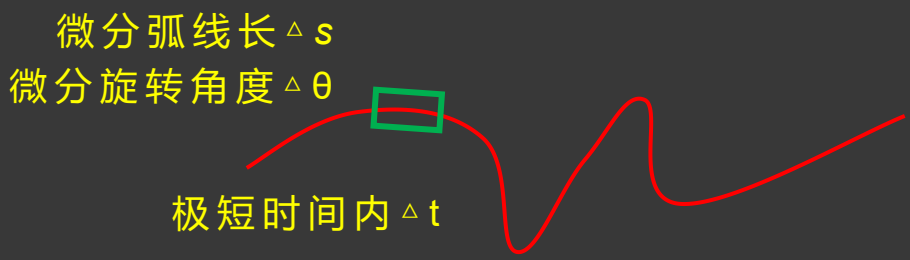
走直线

线速度 $v = s / t$



原地旋转

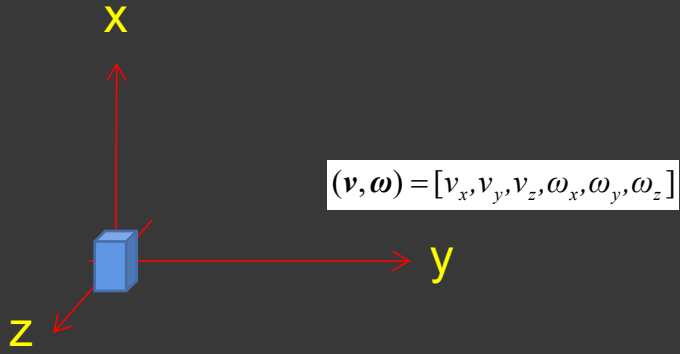
角速度 $w = \theta / t$



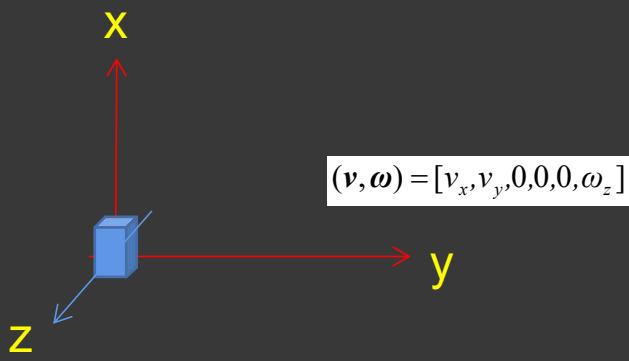
6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型 →
 - ① 前向运动学
 - ② 逆向运动学
 - ③ 轮式里程计
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

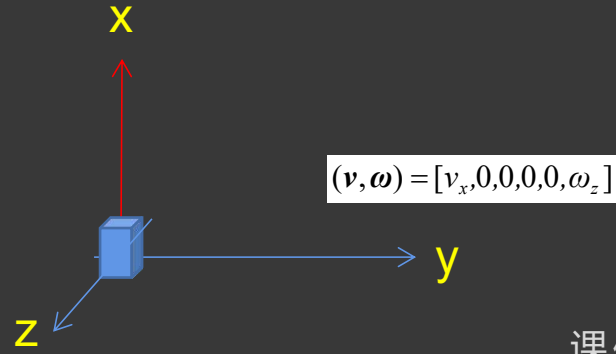
如何表示三维空间刚体运动速度？



如何表示二维空间刚体运动速度？



如何表示二维空间两轮差速模型运动速度？



6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型
- ① 前向运动学

② 逆向运动学

③ 轮式里程计

已知各个轮子的线速度，求底盘整体的运动速度

单个轮子的线速度：

$$V = \frac{M}{P} \cdot N \cdot 2\pi \cdot R \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

其中

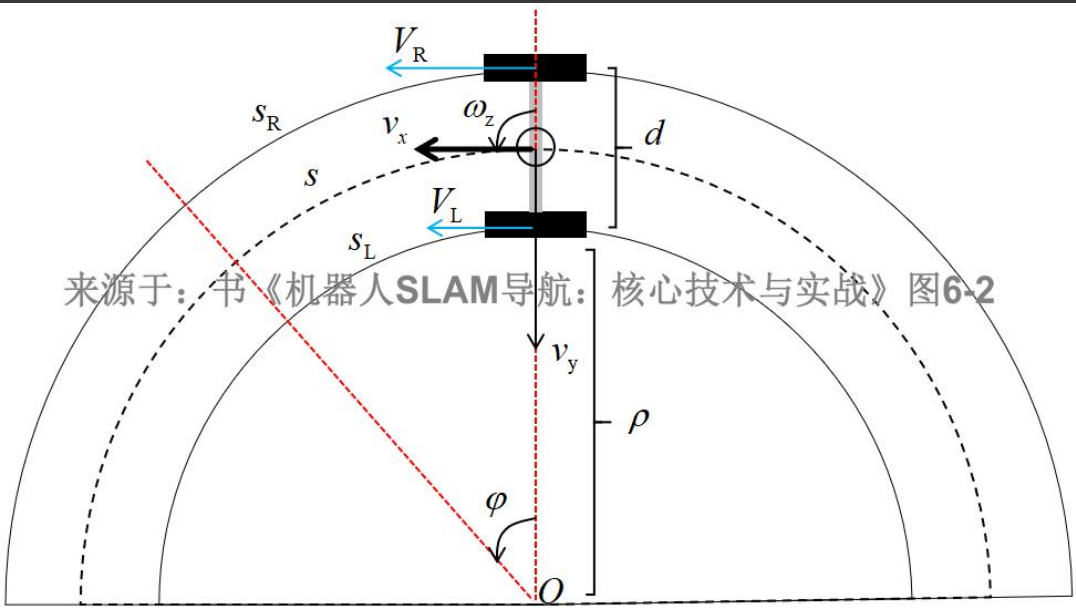
M : 采样周期内编码器的计数值

P : 编码器的线数，即编码盘旋转一圈触发的总脉冲数

N : 电机减速比，为小于1的分数

R : 轮子的半径

Δt : 编码器采样周期



$$s_R = \varphi \cdot (\rho + d) = V_R \cdot t$$
$$s_L = \varphi \cdot \rho = V_L \cdot t$$

上下相减

$$\varphi = \frac{s_R - s_L}{d} = \frac{V_R - V_L}{d} \cdot t$$

$$\begin{aligned} s &= \varphi \cdot (\rho + \frac{d}{2}) \\ &= \varphi \cdot \rho + \varphi \cdot \frac{d}{2} \\ &= s_L + \frac{s_R - s_L}{2} \\ &= \frac{s_R + s_L}{2} \\ &= \frac{V_R + V_L}{2} \cdot t \end{aligned}$$

当 t 很小时

微分

$$\begin{bmatrix} v_x \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{d} & \frac{1}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix}$$

前向运动学模型

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型

■ 四轮差速模型

■ 阿克曼模型

■ 全向模型

■ 其他模型
- ① 前向运动学

② 逆向运动学

③ 轮式里程计
- 已知底盘整体的运动速度，求各个轮子的线速度

$$\begin{bmatrix} v_x \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{d} & \frac{1}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix}$$

前向运动学模型

方程求逆

$$\begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{d}{2} \\ 1 & \frac{d}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

逆向运动学模型

- * 轮子与地面之间的摩擦情况是什么样的？
- * 轮胎与地面会发生滑动吗？
- * 底盘参数 d 如何影响运动学模型计算精度？



6.1 底盘运动学模型

■ 两轮差速模型

■ 四轮差速模型

■ 阿克曼模型

■ 全向模型

■ 其他模型

① 前向运动学

② 逆向运动学

③ 轮式里程计

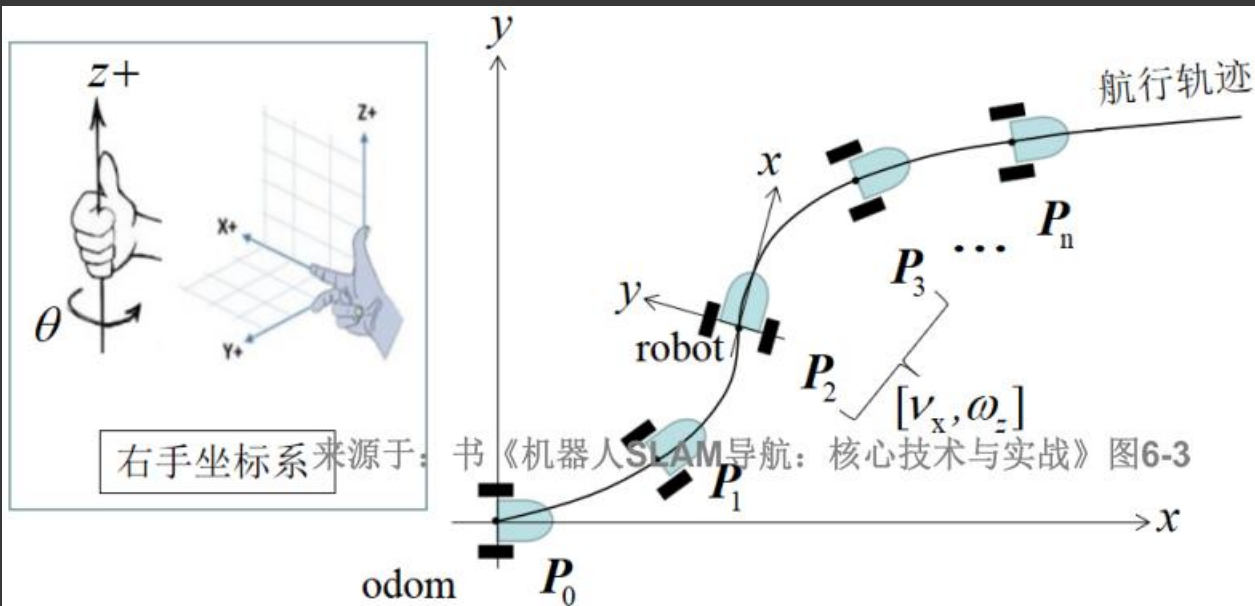
什么是里程计?

什么是轮式里程计?

实时位姿信息

$\{Pose[0], Pose[1], Pose[2], ..., Pose[t]\}$

很多初学者常常将轮式里程计与编码器、电机控制主板、底盘等概念混为一谈，所以需要特别注意。可以看出，轮式里程计其实是编码器、底盘运动学模型、航迹推演算法等综合出来的产物。也就是说，轮式里程计并不是某种传感器，而是利用轮式编码器计算底盘位姿的一种算法。



$$\dot{P} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

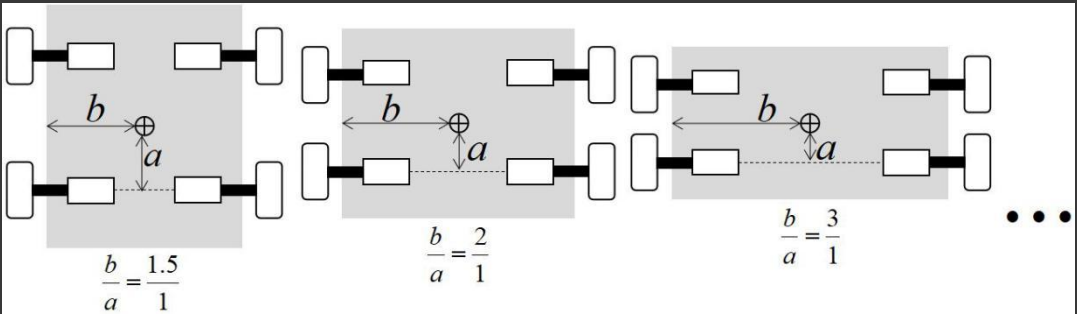
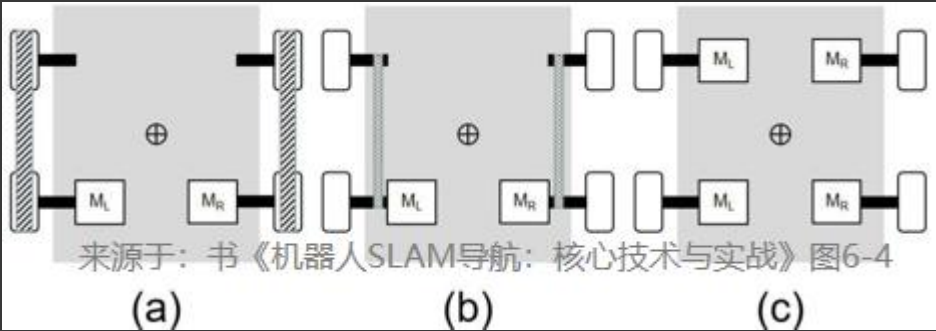
其中，两轮差分底盘不发生侧向滑动，故 $v_y = 0$

$$P_k = P_{k-1} + \dot{P}_{k-1} \cdot \Delta t$$

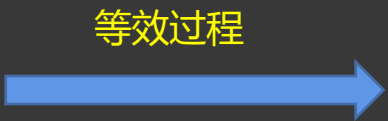
- * odom坐标系跟底盘上电启动时所处的地方有关，也就是说里程计中的底盘位姿是一个相对值。
- * 里程计随时间的推移存在较大的累积误差，所以一般都是取不同时刻之间的里程计差值应用于其他算法之中。
- * 只能解决机器人局部定位问题，那么全局定位用什么呢？

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



四轮差速模型



- ①左右轮距与前后轮距之比趋于无穷。
- ②无侧滑。



两轮差速模型

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

- ① 前向运动学
- ② 逆向运动学
- ③ 轮式里程计
- ④ 轨迹跟踪问题

COM与COG不重合，角速度不为0时，侧滑必定发生。
底盘质心COM与几何中心COG的偏移量影响侧滑速度的大小。

$v_{cy} - \omega_c d_{cx} = 0$

$$\omega_c = \frac{v_c}{d_c} = \frac{v_c \cos \alpha_c}{d_c \cos \alpha_c} = \frac{v_{cx}}{d_{cy}}$$
$$\omega_c = \frac{v_c}{d_c} = \frac{v_c \sin \alpha_c}{d_c \sin \alpha_c} = \frac{v_{cy}}{d_{cx}}$$

$$\omega_c = \frac{v_c}{d_c} = \frac{v_{cx}}{d_{cy}} = \frac{v_{cy}}{d_{cx}} = \frac{v_{ix}}{d_{iy}} = \frac{v_{iy}}{d_{ix}}$$

其中， $i=1,2,3,4$

刚体各部位的角速度一样

$$\omega_c = \frac{v_i}{d_i} = \frac{v_i \cos \alpha_i}{d_i \cos \alpha_i} = \frac{v_{ix}}{d_{iy}}$$
$$\omega_c = \frac{v_i}{d_i} = \frac{v_i \sin \alpha_i}{d_i \sin \alpha_i} = \frac{v_{iy}}{d_{ix}}$$

其中， $i=1,2,3,4$

$$d_{1y} = d_{2y} = d_{cy} - \frac{c}{2}$$
$$d_{3y} = d_{4y} = d_{cy} + \frac{c}{2}$$

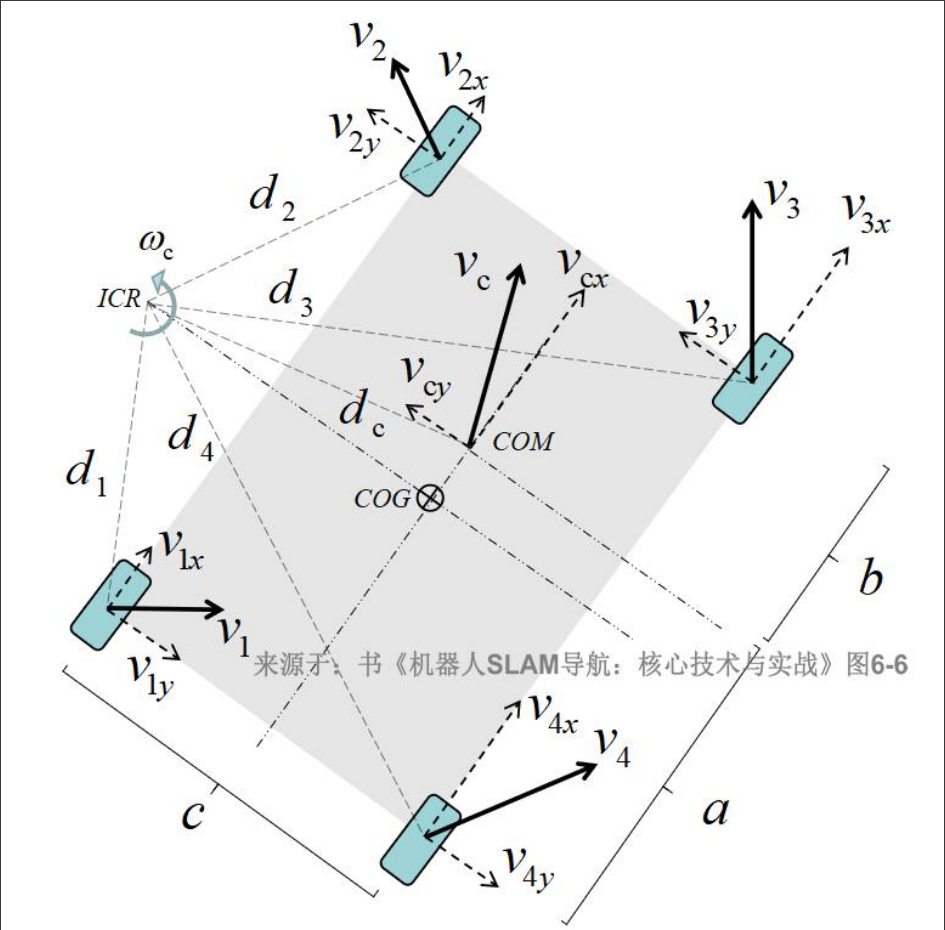
$$V_L = v_{1x} = v_{2x}$$
$$V_R = v_{3x} = v_{4x}$$

$$V_L = \omega_c \cdot (d_{cy} - \frac{c}{2}) = \omega_c d_{cy} - \omega_c \cdot \frac{c}{2} = v_{cx} - \omega_c \cdot \frac{c}{2}$$
$$V_R = \omega_c \cdot (d_{cy} + \frac{c}{2}) = \omega_c d_{cy} + \omega_c \cdot \frac{c}{2} = v_{cx} + \omega_c \cdot \frac{c}{2}$$

$$\begin{bmatrix} v_{cx} \\ \omega_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{c} & \frac{1}{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix}$$

前向运动学模型

两轮差速 VS 四轮差速



来源于：书《机器人SLAM导航：核心技术与实战》图6-6

6.1 底盘运动学模型

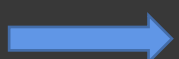
■ 两轮差速模型

■ 四轮差速模型

■ 阿克曼模型

■ 全向模型

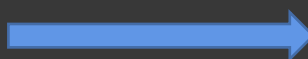
■ 其他模型

- 
- ① 前向运动学
 - ② 逆向运动学
 - ③ 轮式里程计
 - ④ 轨迹跟踪问题

$$\begin{bmatrix} v_{cx} \\ \omega_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{c} & \frac{1}{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix}$$

前向运动学模型

方程求逆


$$\begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{c}{2} \\ 1 & \frac{c}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{cx} \\ \omega_c \end{bmatrix}$$

逆向运动学模型

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型

■ 四轮差速模型

■ 阿克曼模型

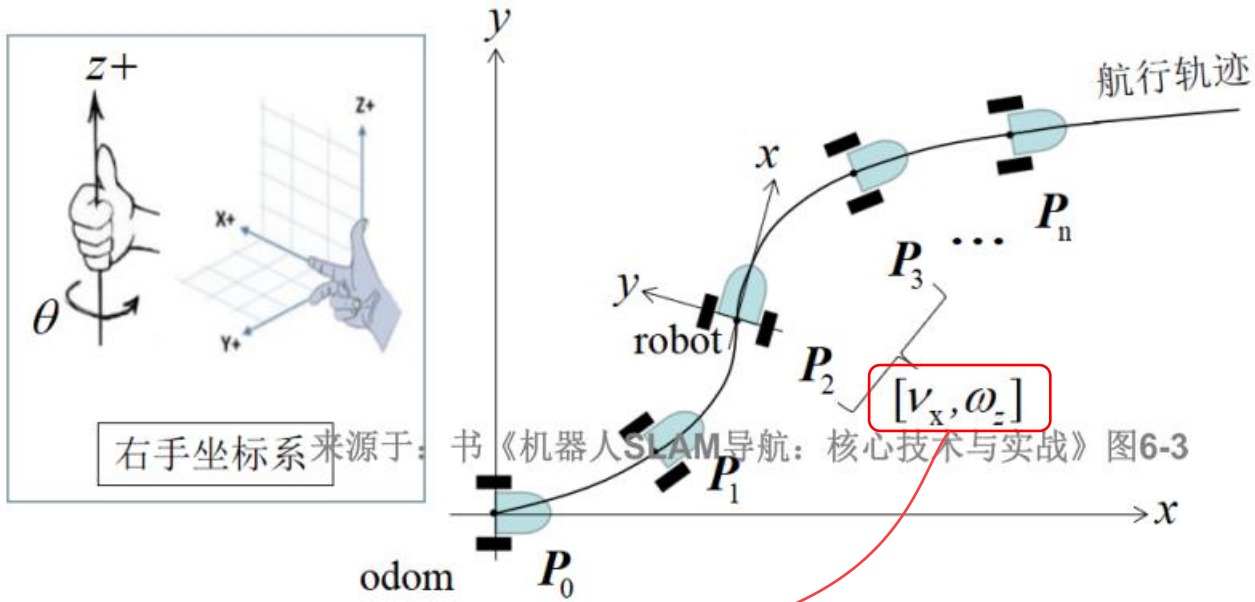
■ 全向模型

■ 其他模型
- ① 前向运动学

② 逆向运动学

③ 轮式里程计

④ 轨迹跟踪问题



$$\dot{P} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{cx} \\ v_{cy} \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

侧向滑动速度 v_{cy} 无法准确测量

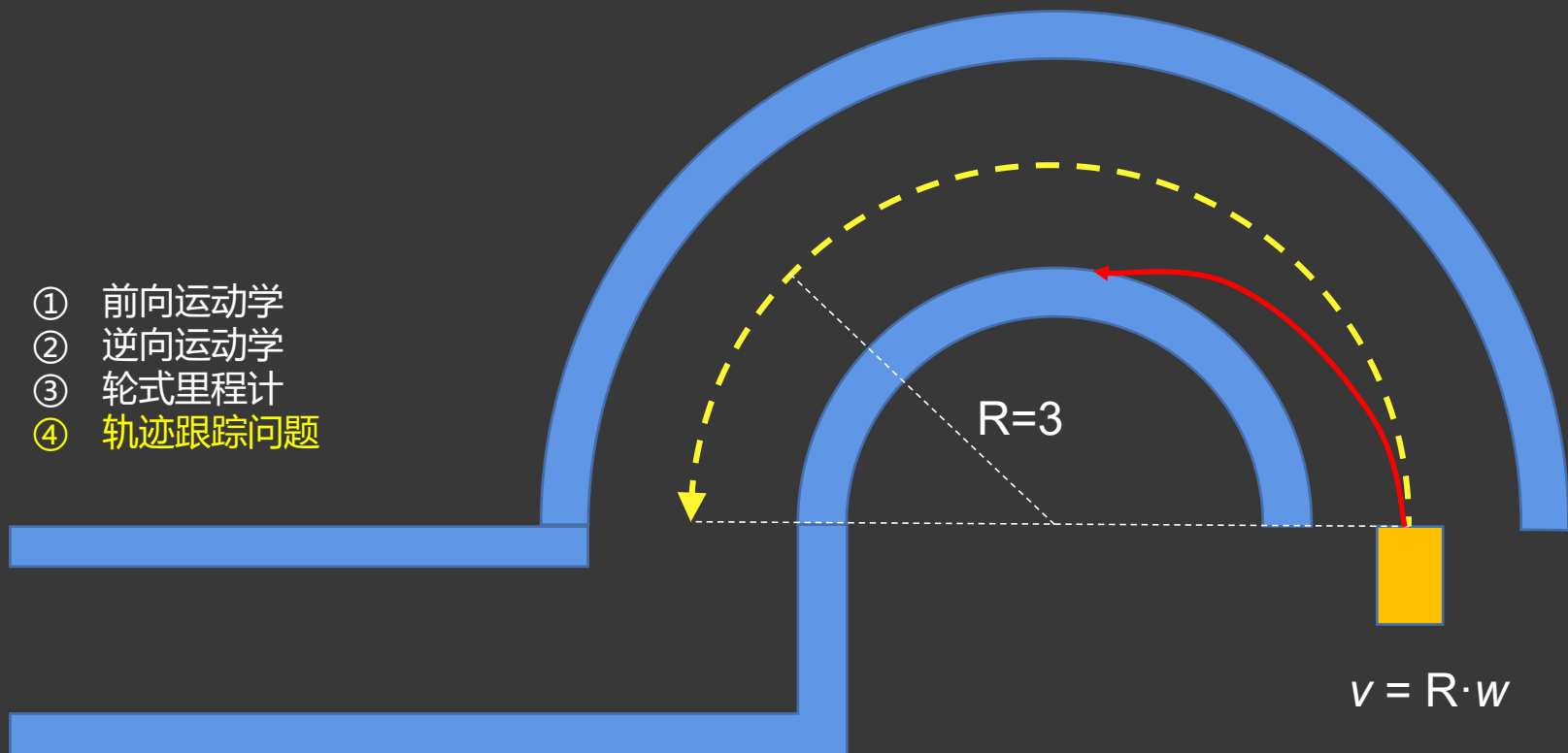
从表面上看四轮差速底盘的轮式里程计与两轮差速底盘的轮式里程计的解算过程完全一样。不过前提条件是轮子不能有太严重的侧向滑动；否则轮式里程计的精度将严重不准。

$$P_k = P_{k-1} + \dot{P}_{k-1} \cdot \Delta t$$

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

- ① 前向运动学
② 逆向运动学
③ 轮式里程计
④ 轨迹跟踪问题



$$v = R \cdot w$$

假如令：
线速度 $v = 15$
角速度 $w = 5$

为什么实际的运动轨迹与设想的轨迹不一样？

- ① 控制误差
- ② 里程计模型误差

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

给油门=10
给油门=13
给油门=12
...

实际速度=25
实际速度=32
实际速度=29
...



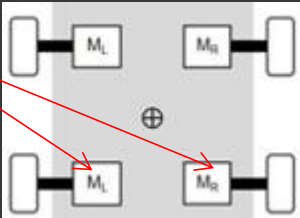
目标速度=30

- ① 前向运动学
- ② 逆向运动学
- ③ 轮式里程计
- ④ 轨迹跟踪问题

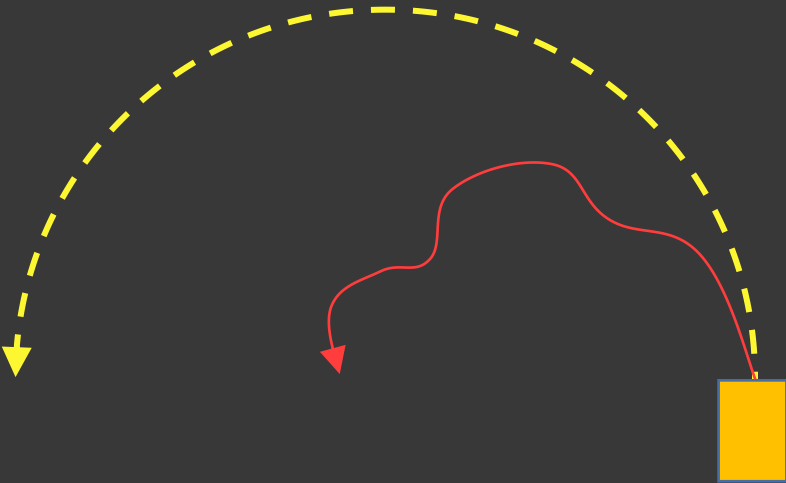
- ① 控制误差
- ② 里程计模型误差

控制电压=11, 13
控制电压=7, 10
控制电压=9, 11
...

实际速度 $v, w=17, 8$
实际速度 $v, w=12, 4$
实际速度 $v, w=16, 7$
...

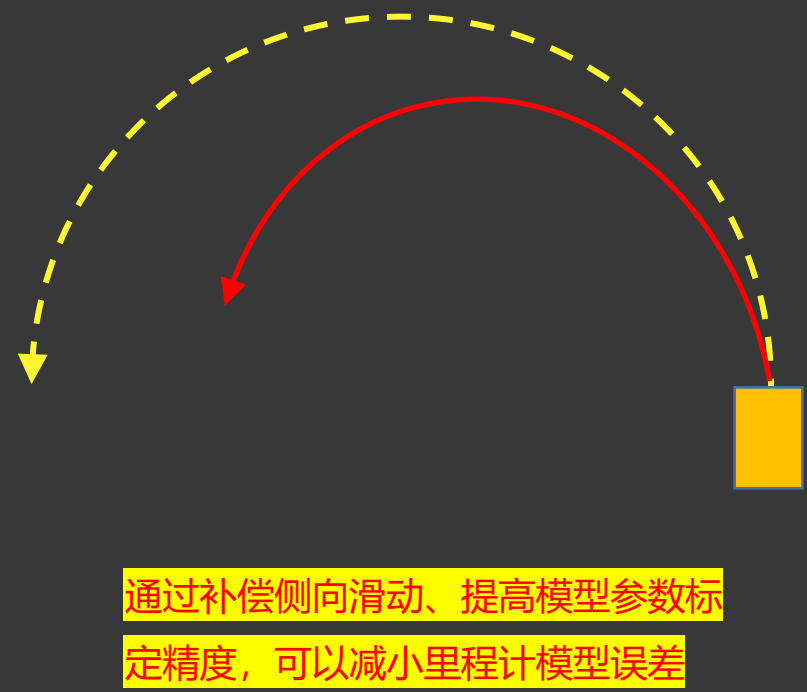
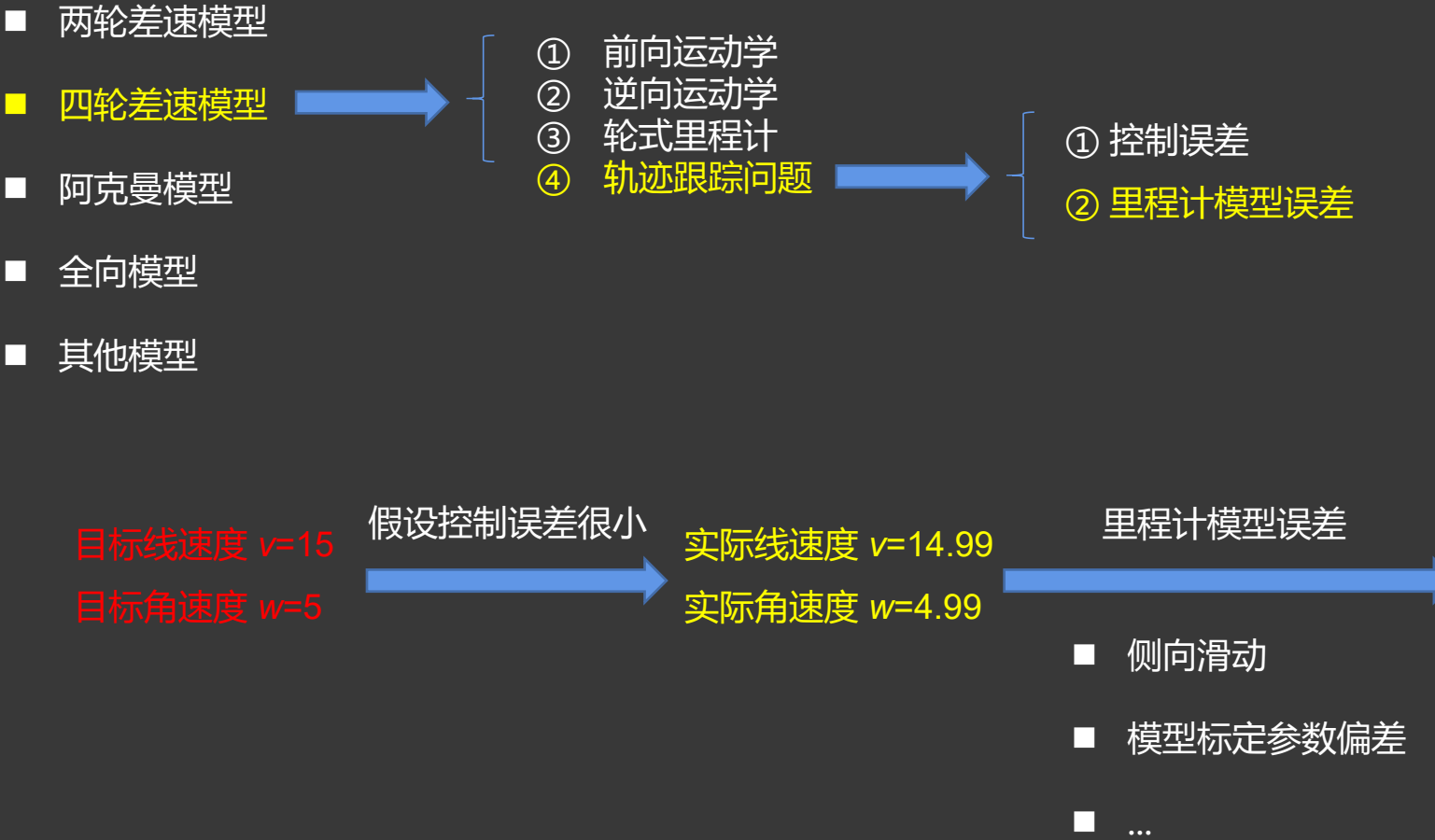


目标线速度 $v=15$
目标角速度 $w=5$



通过优化控制算法、采用昂贵的电机和控制器，可以提高控制精度

6.1 底盘运动学模型



6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型 →
 - ① 前向运动学
 - ② 逆向运动学
 - ③ 轮式里程计
 - ④ 轨迹跟踪问题
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

理想很美好：

目标线速度 $v=15$

目标角速度 $w=5$

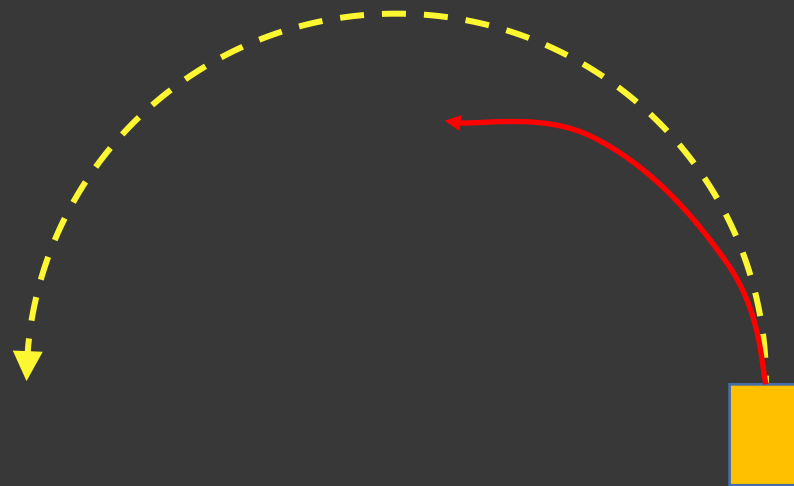
现实很残酷：

控制误差

里程计模型误差

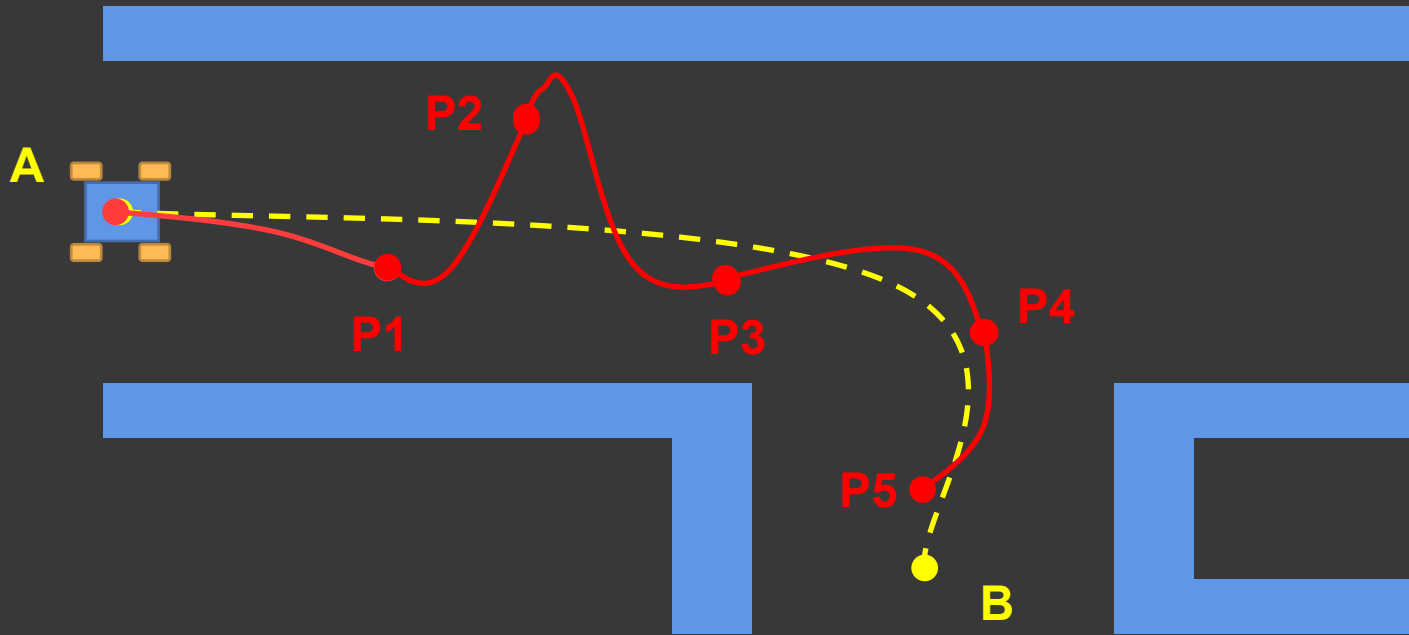
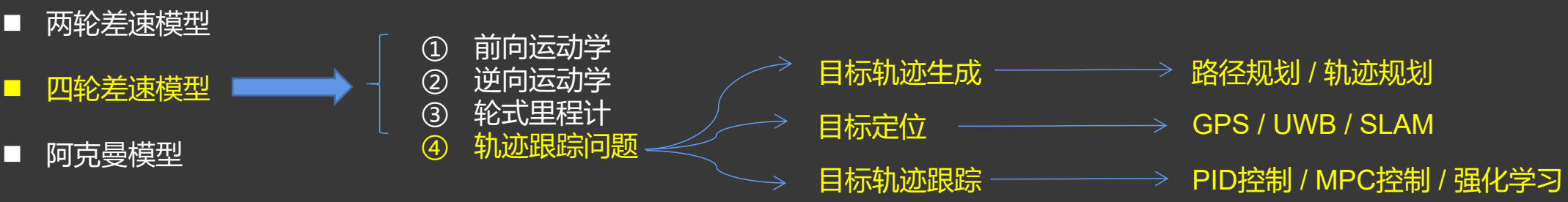
外部不确定性干扰

...



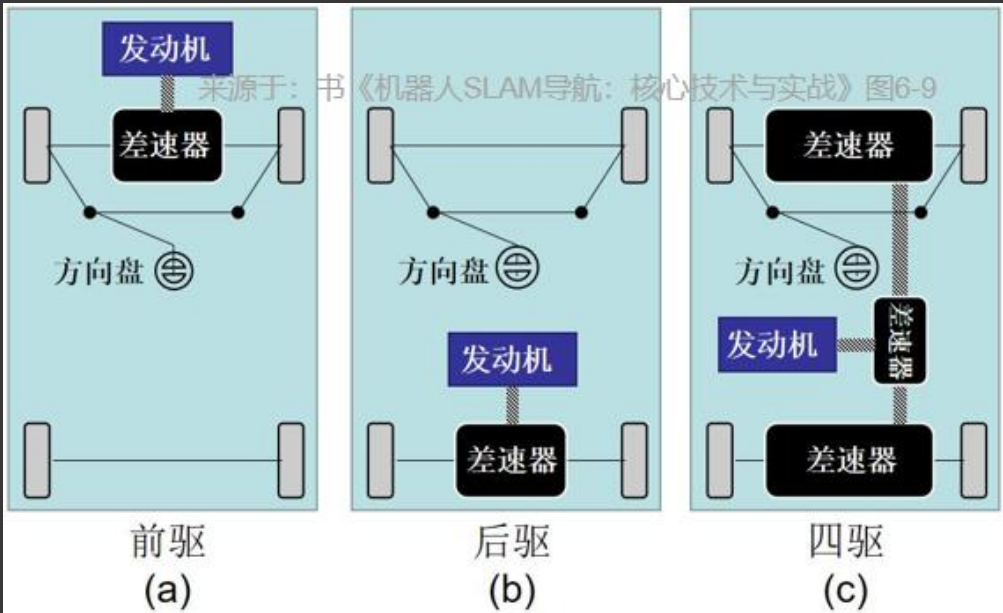
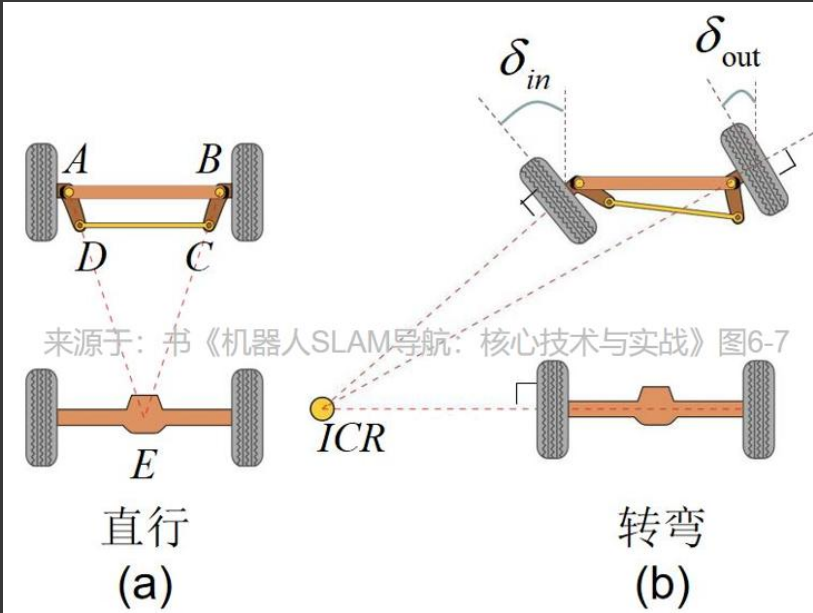
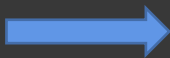
要让机器人实际运动轨迹符合于设想的轨迹，就必须进行轨迹跟踪

6.1 底盘运动学模型



6.1 底盘运动学模型

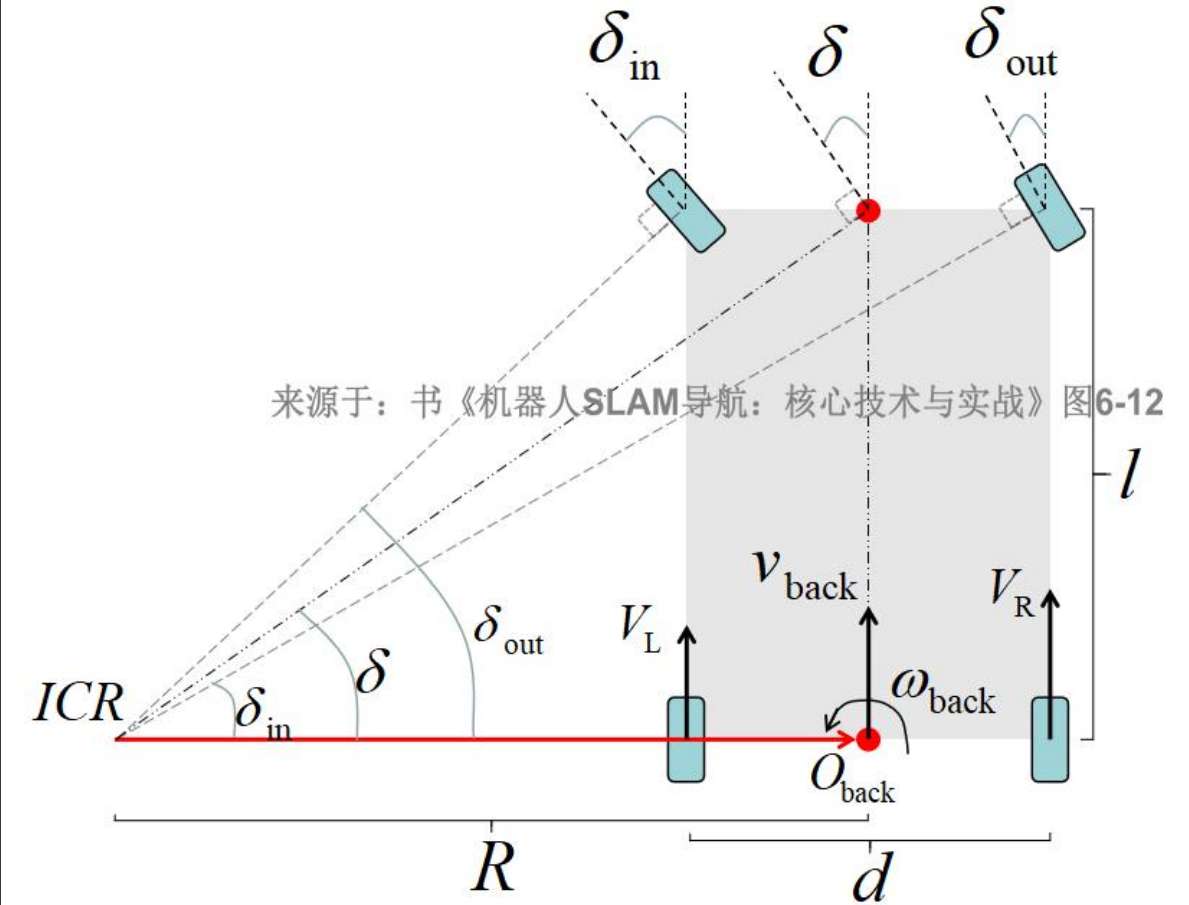
- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

- ① 前向运动学
- ② 逆向运动学
- ③ 轮式里程计
- ④ 轨迹跟踪问题



前向运动学模型

阿克曼 VS 两轮差速

$$\begin{bmatrix} v_{back} \\ \omega_{back} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{d} & \frac{1}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix}$$

* 前驱 or 后驱？

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

- ① 前向运动学
- ② 逆向运动学
- ③ 轮式里程计
- ④ 轨迹跟踪问题

$$\begin{bmatrix} v_{back} \\ \omega_{back} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{d} & \frac{1}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix}$$

方程求逆

$$\begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{d}{2} \\ 1 & \frac{d}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{back} \\ \omega_{back} \end{bmatrix}$$

前向运动学模型

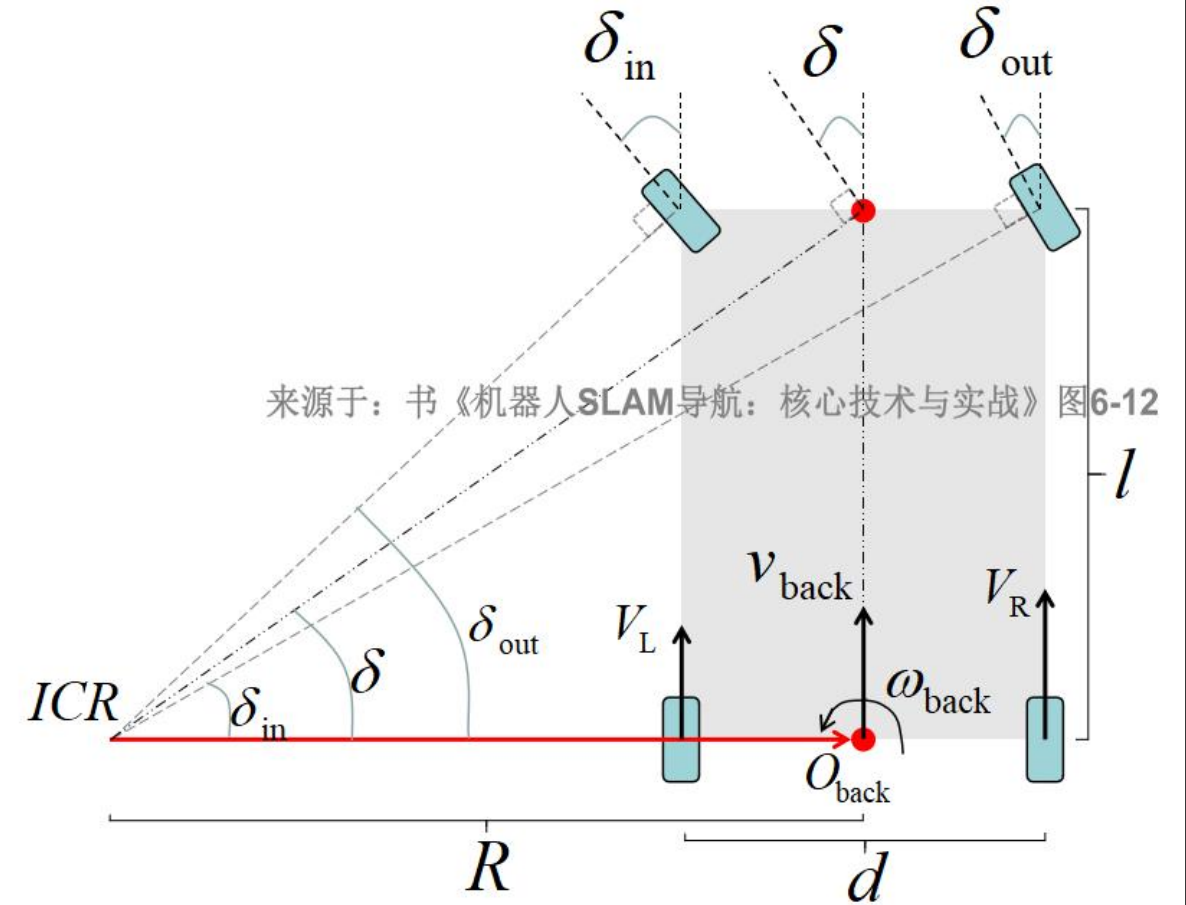
$$\tan \delta = \frac{l}{R}$$

$$R = \frac{v_{back}}{\omega_{back}}$$

$$\delta = \arctan\left(\frac{l \cdot \omega_{back}}{v_{back}}\right)$$

δ -Angle

逆向运动学模型



* 前驱 or 后驱？

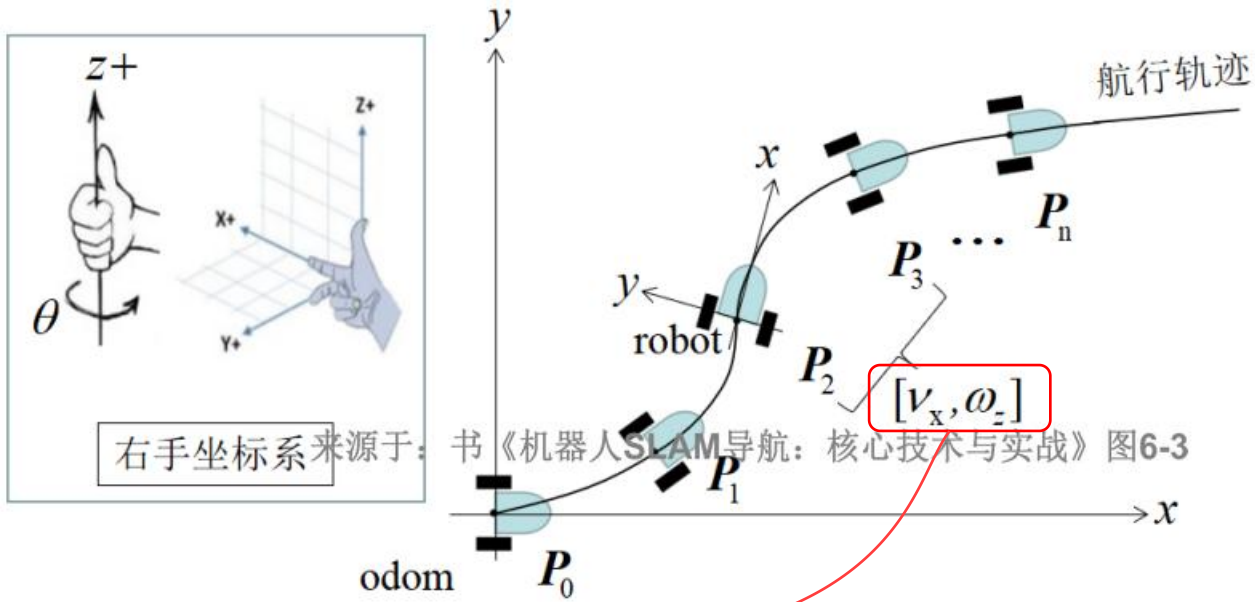
6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
 - 四轮差速模型
 - 阿克曼模型
 - 全向模型
 - 其他模型
- ① 前向运动学

② 逆向运动学

③ 轮式里程计

④ 轨迹跟踪问题



$$\dot{P} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{back} \\ v'_{back} \\ \omega_{back} \end{bmatrix}$$


一般阿克曼底盘不发生侧向滑动，因此 $v'_{back} = 0$

从表面上看，后驱阿克曼底盘的轮式里程计与两轮差速底盘的轮式里程计的解算过程完全一样。不过阿克曼底盘的最小转弯半径不为0，也就是说不能原地旋转。

$$P_k = P_{k-1} + \dot{P}_{k-1} \cdot \Delta t$$

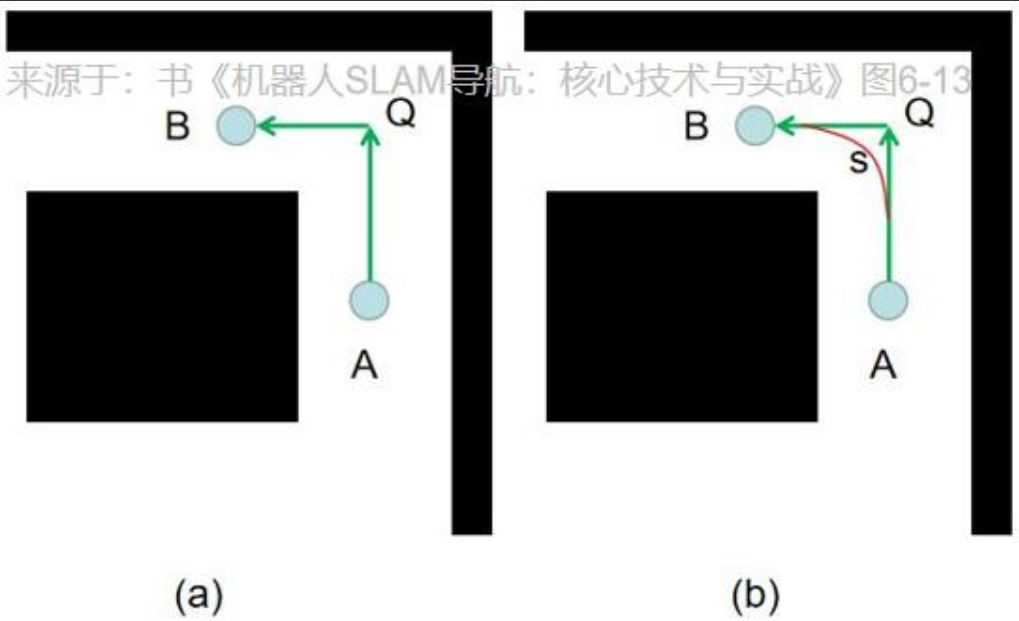
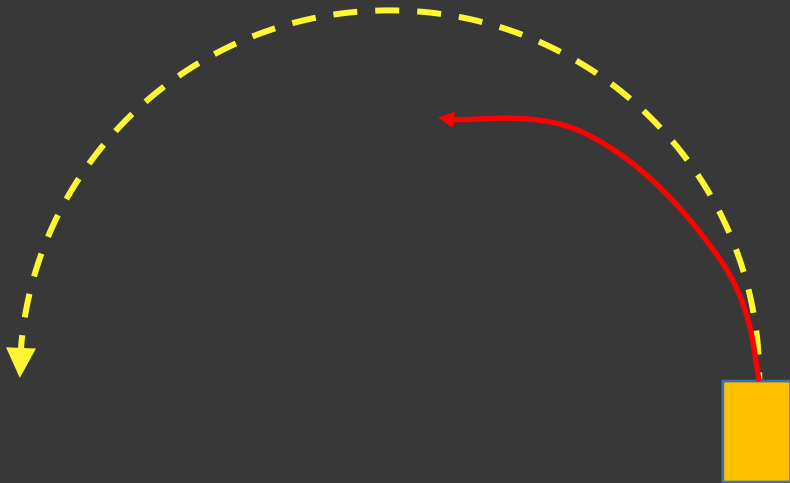
6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

- 
- ① 前向运动学
 - ② 逆向运动学
 - ③ 轮式里程计
 - ④ 轨迹跟踪问题

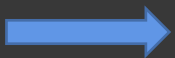
控制误差
里程计模型误差
外部不确定性干扰
...

轨迹形状限制

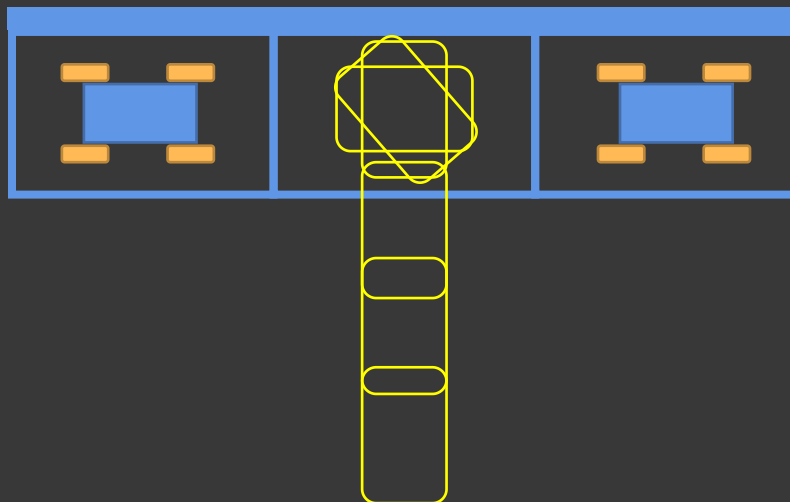


6.1 底盘运动学模型

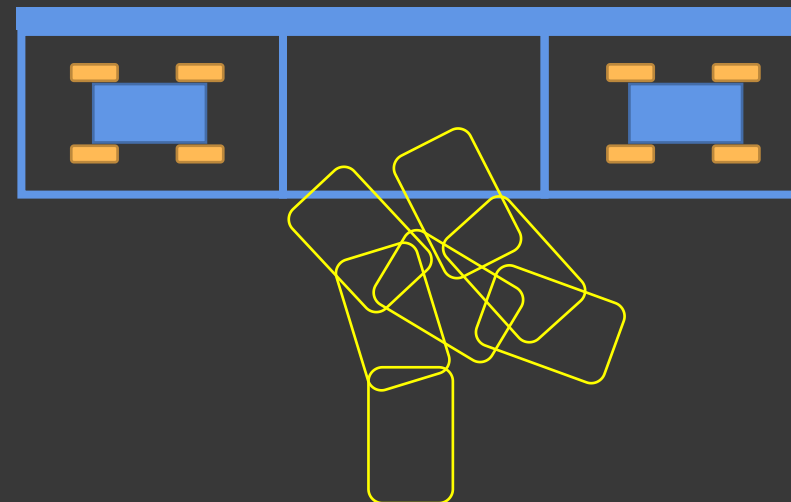
- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



* 为什么需要全向底盘？



差速底盘侧方停车



阿克曼底盘侧方停车

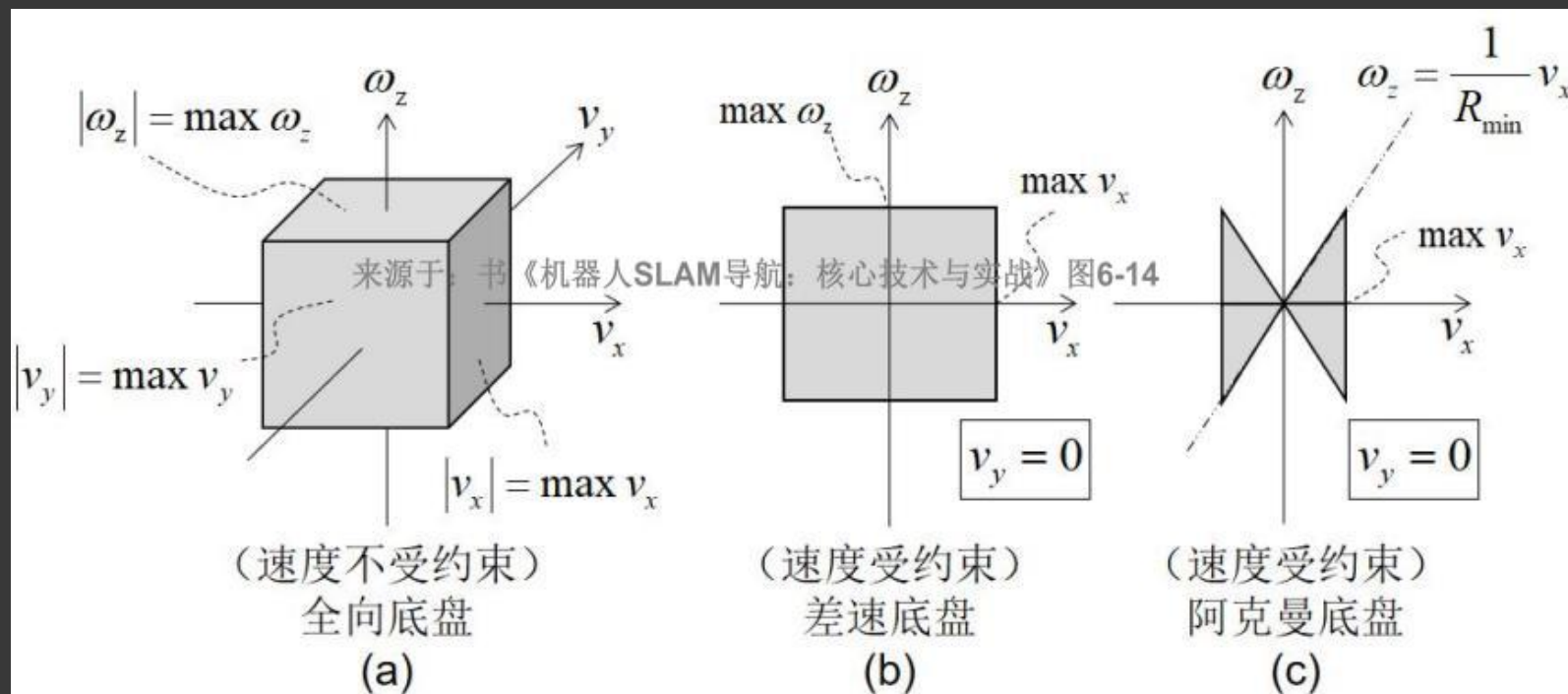
底盘轮子运动受限，导致在狭窄区域运动很不灵活

全向底盘，应运而生

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

* 速度向量约束



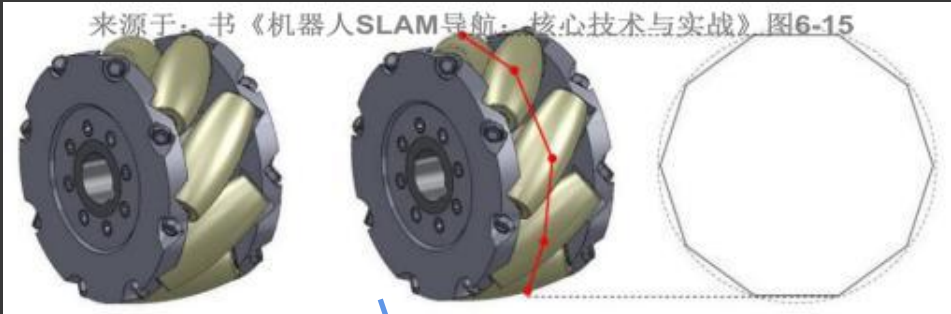
6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

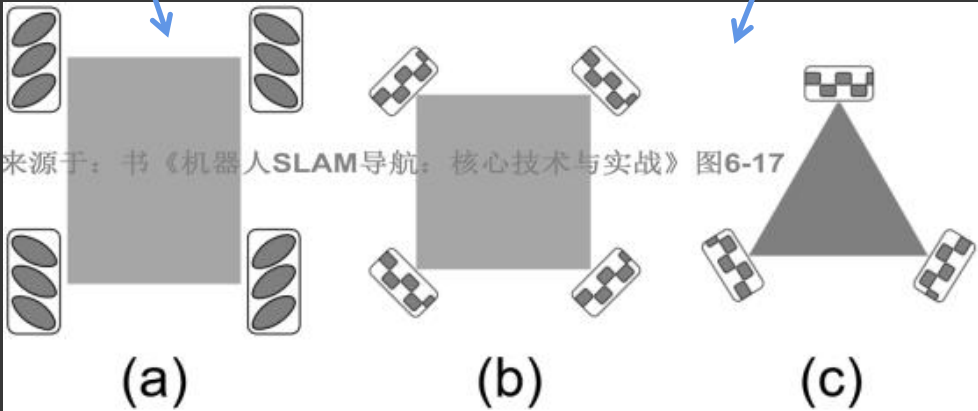
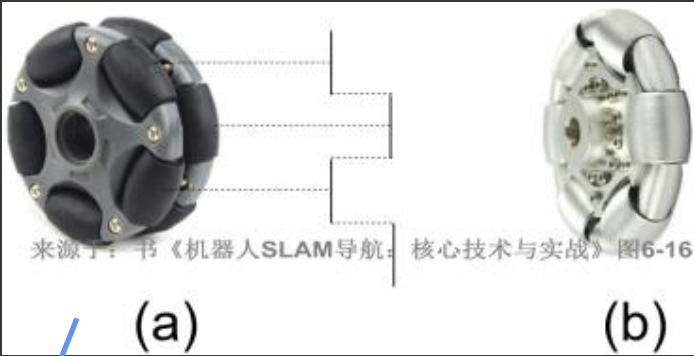


* 麦克纳姆轮

① 45°麦克纳姆轮



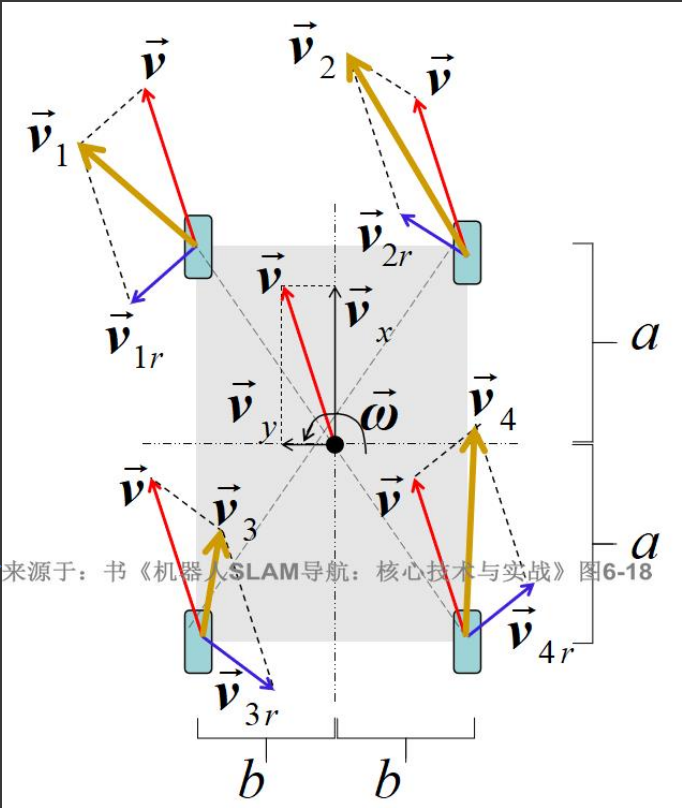
② 90°麦克纳姆轮



6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型

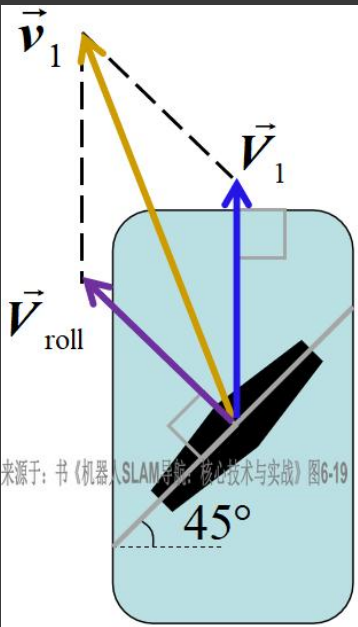
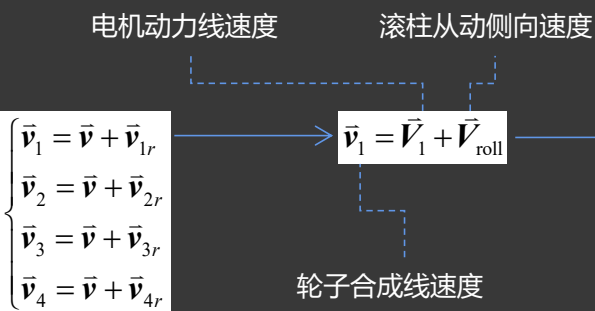
- ① 前向运动学
- ② 逆向运动学
- ③ 轮式里程计



来源于：书《机器人SLAM导航：核心技术与实战》图6-18

前向运动学模型

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -\frac{1}{a+b} & \frac{1}{a+b} & -\frac{1}{a+b} & \frac{1}{a+b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$



来源于：书《机器人SLAM导航：核心技术与实战》图6-19

(轮子贴地侧的俯视图)

$$\vec{v}_1 = \begin{bmatrix} \vec{v}_{1x} \\ \vec{v}_{1y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{v}_x \\ \vec{v}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -b \cdot \vec{\omega} \\ a \cdot \vec{\omega} \end{bmatrix}$$

$$\vec{v}_1 = \begin{bmatrix} \vec{v}_{1x} \\ \vec{v}_{1y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{V}_1 \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{V}_{roll} \cdot \cos 45^\circ \\ \vec{V}_{roll} \cdot \sin 45^\circ \end{bmatrix}$$

$$\vec{V}_1 = \vec{v}_x - \vec{v}_y - (a+b) \cdot \vec{\omega}$$

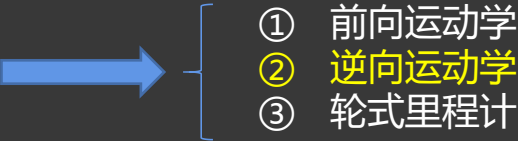
$$\vec{V}_2 = \vec{v}_x + \vec{v}_y + (a+b) \cdot \vec{\omega}$$

$$\vec{V}_3 = \vec{v}_x + \vec{v}_y - (a+b) \cdot \vec{\omega}$$

$$\vec{V}_4 = \vec{v}_x - \vec{v}_y + (a+b) \cdot \vec{\omega}$$

6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
- 四轮差速模型
- 阿克曼模型
- 全向模型
- 其他模型



$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -\frac{1}{a+b} & \frac{1}{a+b} & -\frac{1}{a+b} & \frac{1}{a+b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

前向运动学模型

方程求逆

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(a+b) \\ 1 & 1 & (a+b) \\ 1 & 1 & -(a+b) \\ 1 & -1 & (a+b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix}$$

逆向运动学模型

6.1 底盘运动学模型

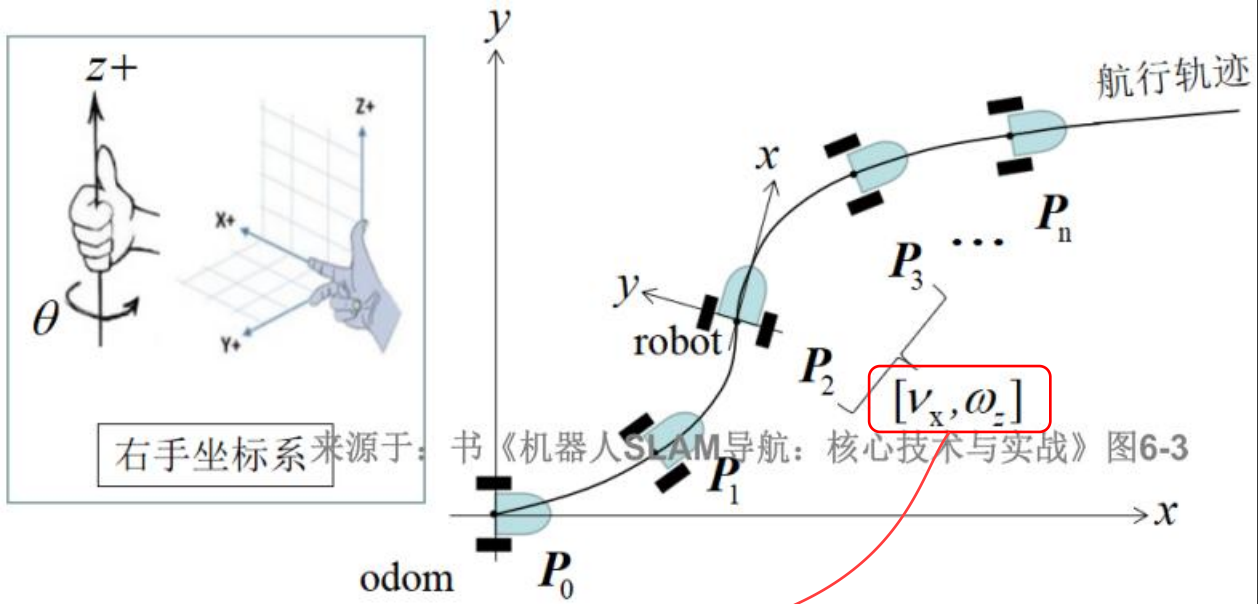
- 两轮差速模型
 - 四轮差速模型
 - 阿克曼模型
 - 全向模型
 - 其他模型
- ① 前向运动学

② 逆向运动学

③ 轮式里程计

$$\dot{P} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$P_k = P_{k-1} + \dot{P}_{k-1} \cdot \Delta t$$



6.1 底盘运动学模型

- 两轮差速模型
 - 四轮差速模型
 - 阿克曼模型
 - 全向模型
 - 其他模型 →
- 多足机器人
 - 蛇形机器人
 - 水下机器人
 - 两栖机器人
 - ...

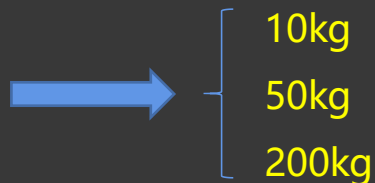


内容概要

- 6.1 底盘运动学模型
- 6.2 底盘性能指标
- 6.3 典型机器人底盘搭建

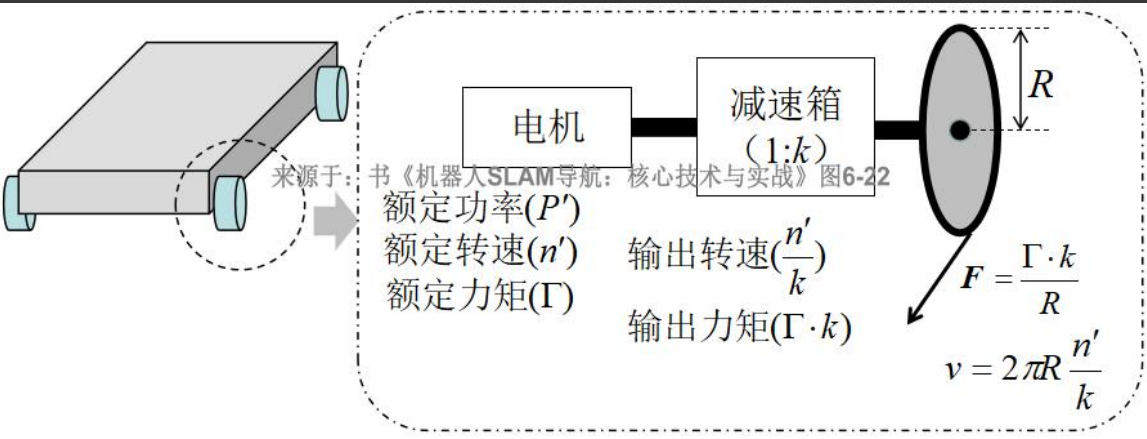
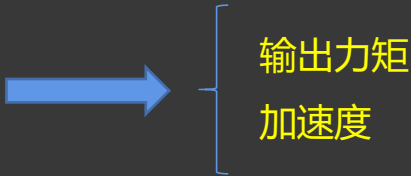
6.2 底盘性能指标

- 载重能力
- 动力性能
- 控制精度
- 里程计精度



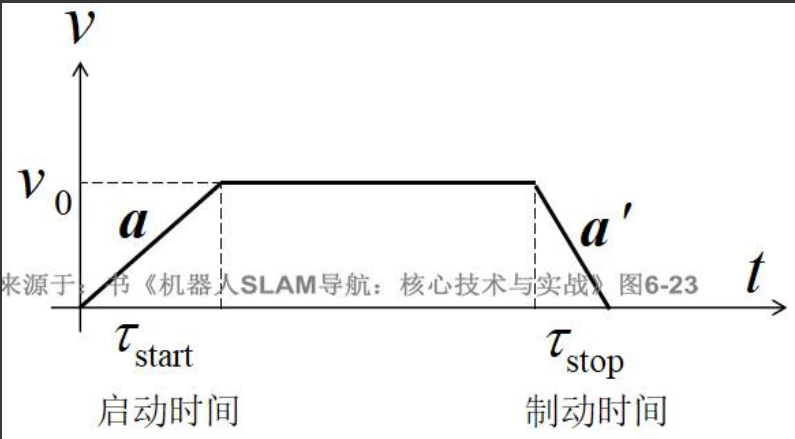
6.2 底盘性能指标

- 载重能力
- 动力性能
- 控制精度
- 里程计精度



$$a = \frac{F \cdot j - f \cdot i}{m}$$

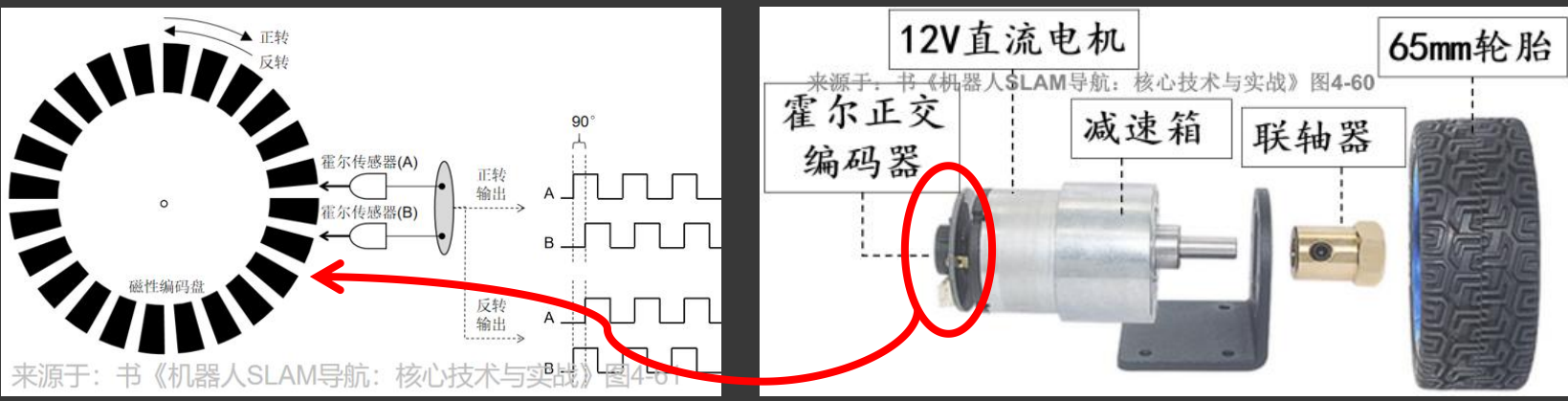
牛顿第二定律



6.2 底盘性能指标

- 载重能力
 - 动力性能
 - 控制精度
 - 里程计精度
- 编码器分辨率

PWM分辨率



$$V = \frac{M}{P} \cdot N \cdot 2\pi \cdot R \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

其中

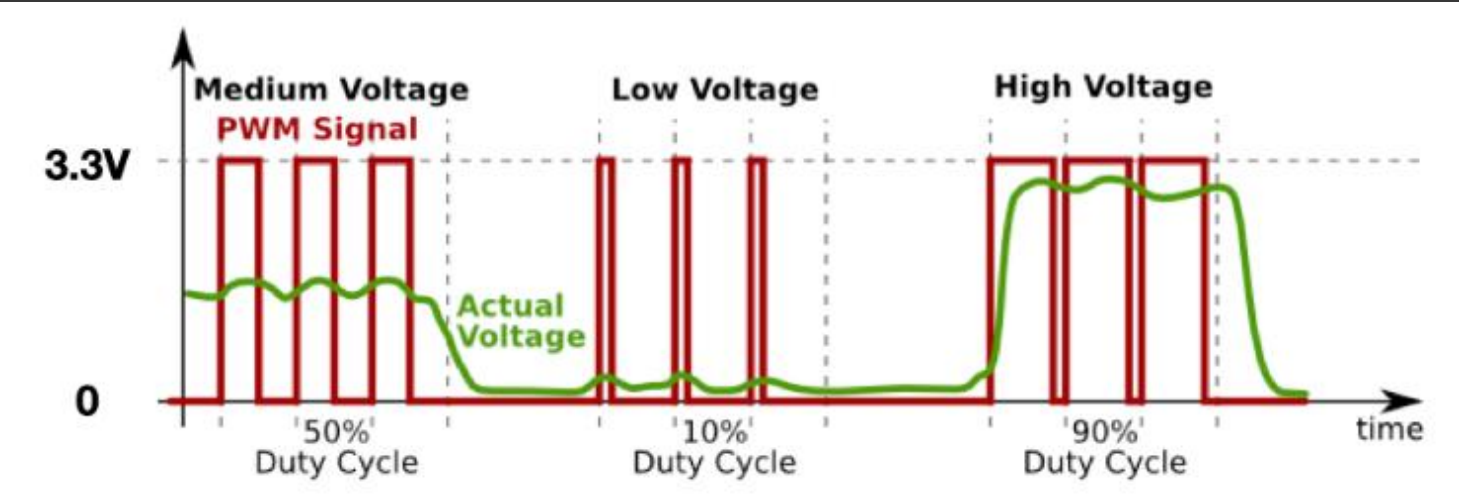
M : 采样周期内编码器的计数值

P : 编码器的线数，即编码盘旋转一圈触发的总脉冲数

N : 电机减速比，为小于1的分数

R : 轮子的半径

Δt : 编码器采样周期



6.2 底盘性能指标

- 载重能力
 - 动力性能
 - 控制精度
 - 里程计精度
- 直行误差

旋转误差

误差的含义是什么？

测量值：0.2A



实际值：0.3A

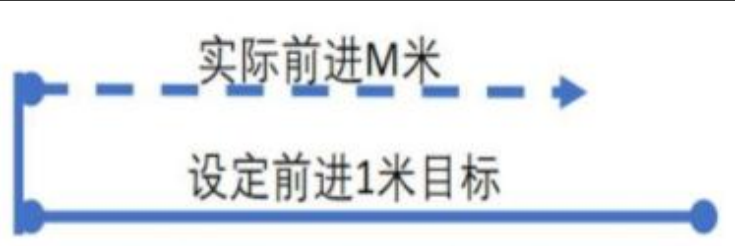


误差 = 0.2A - 0.3A

= -0.1A

实际值，又是怎么知道的呢？

(更高精度的测量方法或测量仪器可以提供)

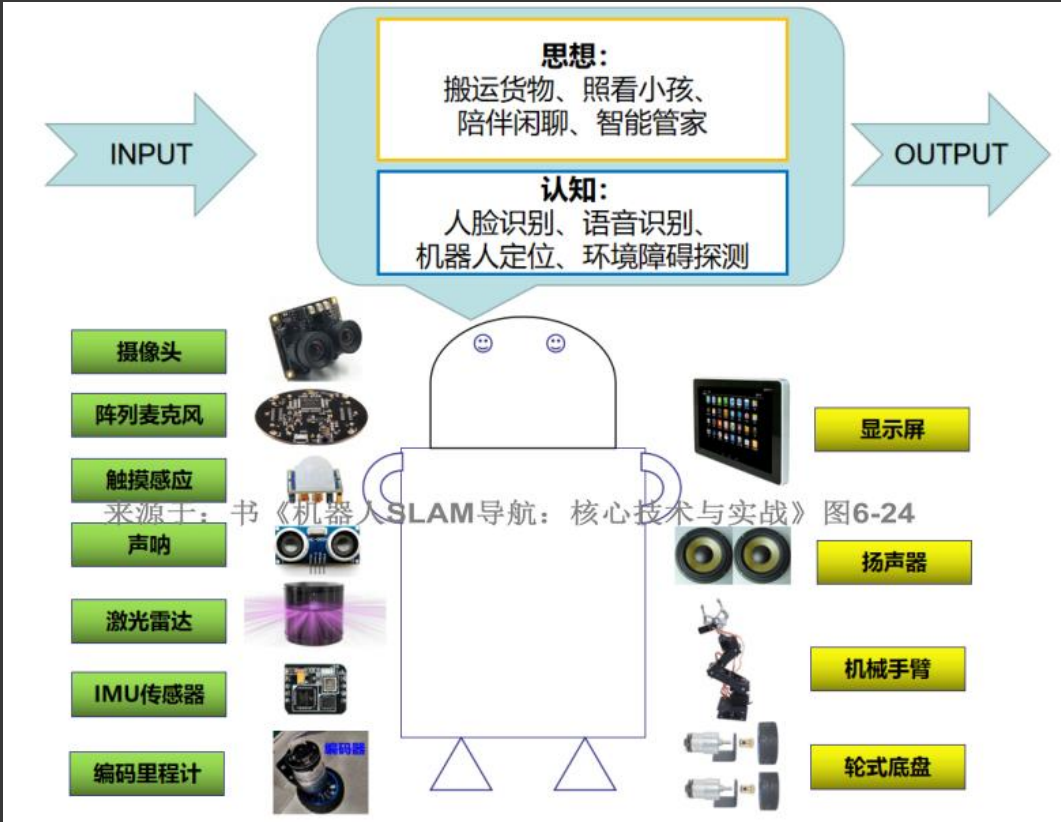


内容概要

- 6.1 底盘运动学模型
- 6.2 底盘性能指标
- 6.3 典型机器人底盘搭建

6.3 典型机器人底盘搭建

想象中机器人的样子



感知

激光雷达、声呐、摄像头、IMU、轮式里程计编码盘、麦克风、触摸感应

执行

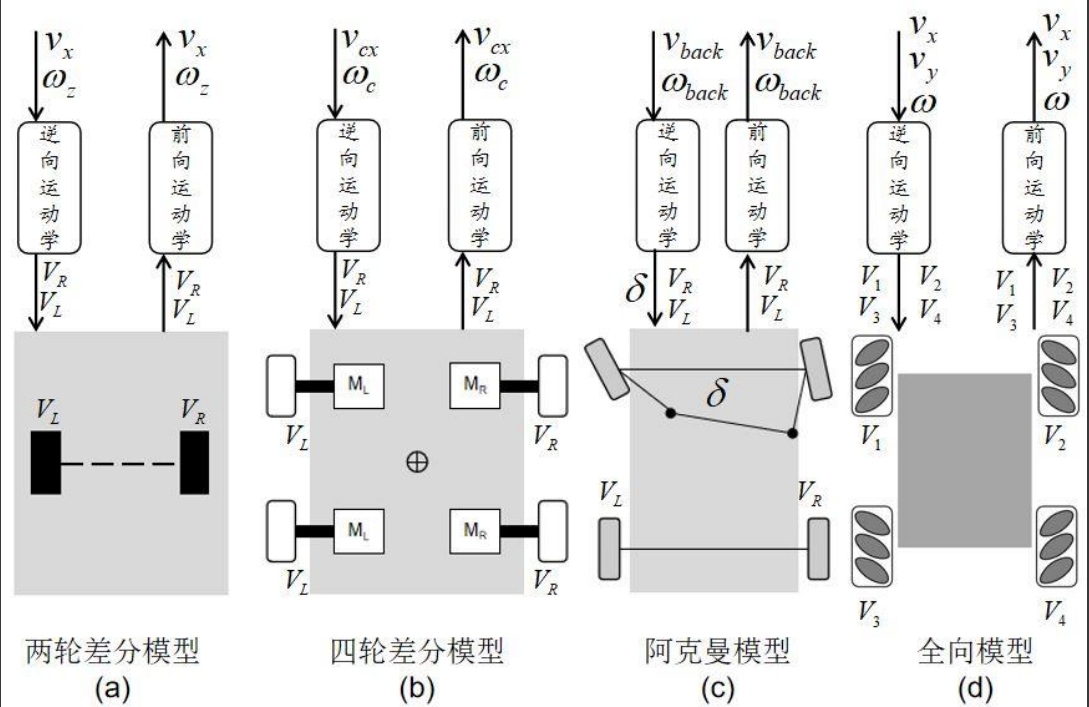
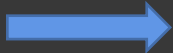
轮式运动底盘、机械手臂、音响和显示屏

决策

机器人通常借助感知装置持续跟外部环境进行交互，从而来获取机器人的状态和环境的状态；
我们可以简单的把机器人获取自身状态的行为叫做**自我认知**；
把机器人获取环境状态的行为叫做**环境认知**。

6.3 典型机器人底盘搭建

- 底盘运动学模型选择
- 传感器选择
- 主机选择
- 底盘硬件系统搭建
- 底盘软件系统搭建



运动学模型	运动约束情况	最小转弯半径	里程计精度	轨迹跟踪
两轮差速模型	受约束	0	高	容易
四轮差速模型	受约束	0	低	复杂
阿克曼模型	受约束	非 0	中	复杂
全向模型	不受约束	0	中	容易

6.3 典型机器人底盘搭建

- 底盘运动学模型选择
- 传感器选择
- 主机选择
- 底盘硬件系统搭建
- 底盘软件系统搭建

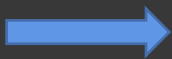
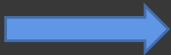


表 6-2 标配传感器			
传感器	选型		说明
带编码减速电机	电机	① 直流有刷电机 ② 大功率无刷电机 ③ 大功率伺服电机	大载重底盘需选大功率电机
	编码器	① 霍尔正交编码器 ② 光电正交编码器	光电编码器分辨率较高
	控制方案	① 单片机+驱动电路 ② 电机控制集成电路板	集成电路板更稳定
激光雷达	单线	① 三角测距型 ② TOF 测距型	适用于室内场景
	多线	① 三角测距型 ② TOF 测距型	适用于室外场景
IMU	民用级	① MPU9250 ② MPU9250+内置姿态融合算法	推荐有内置算法的模块
	军用级	① ADIS16405 ② ADIS16488A	精度非常高
相机	单目	广角、高清、低延迟	单目 VSLAM
	双目	基线、抗噪	双目 VSLAM
	RGB-D	视角、里程、分辨率	RGB-D VSLAM

表 6-3 选配传感器		
传感器	选型	说明
超声波	① 收、发一体式 ② 收、发分体式	多个超声波会有信号串扰
红外避障	① 三角测距型 ② 阈值型	一般安装在激光雷达盲区部位
悬崖检测	① 三角测距型 ② 阈值型	用于检测地面凹陷，防止跌落
自动充电桩	① 红外信号牵引 ② 超声波信号牵引 ③ 二维码牵引	牵引底盘与充电桩对接是关键技术
机械臂	关节数里、负载指标	配合视觉抓取物体
麦克风阵列	麦头数里	用于声源定位和语音识别

6.3 典型机器人底盘搭建

- 底盘运动学模型选择
- 传感器选择
- 主机选择
- 底盘硬件系统搭建
- 底盘软件系统搭建

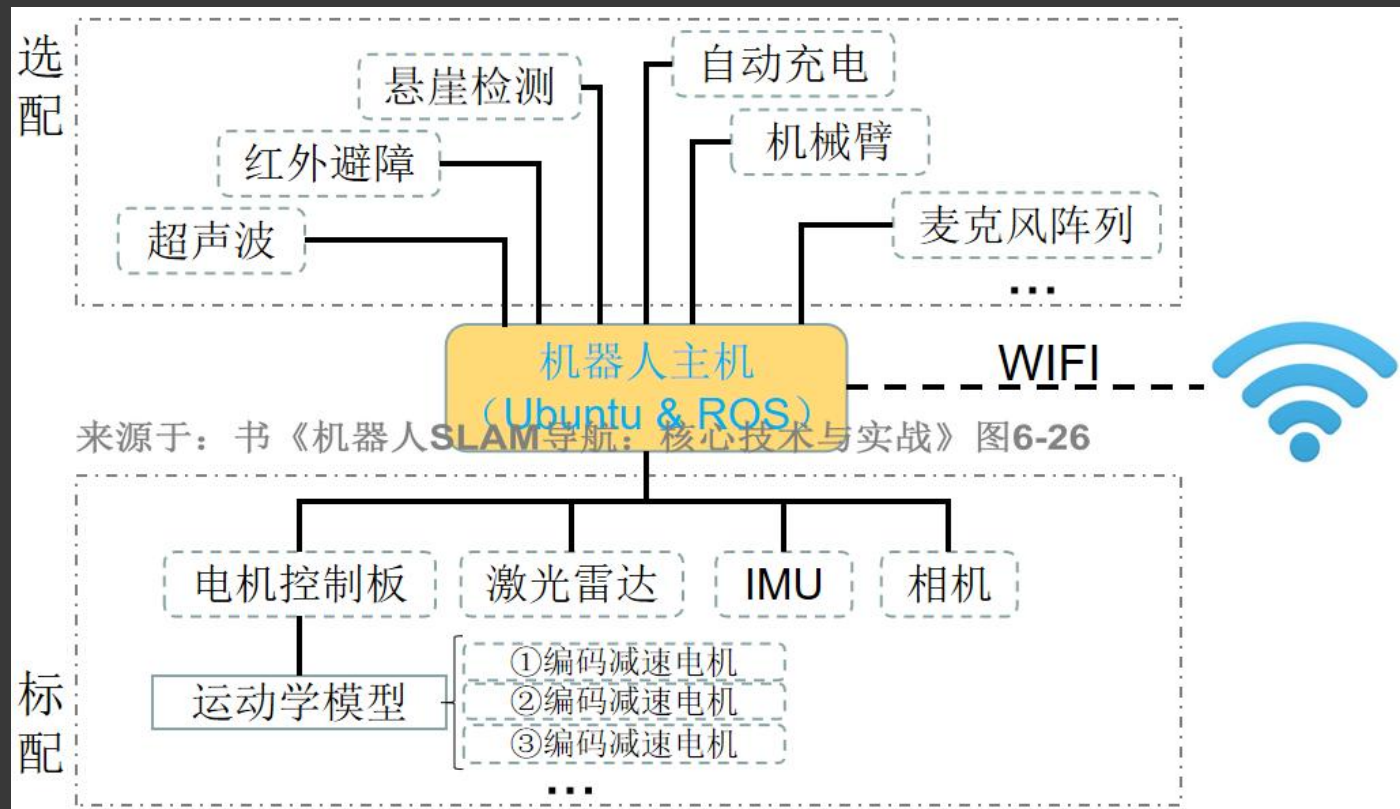


架构	主机型号	CPU	GPU	RAM	价格
X86	Intel-NUC	i3/i5/i7		8GB	2000~4000
ARM	树莓派 3B+	四核 Cortex-A53@1.4GHz		1GB	250
	RK3399	四核 Cortex-A53@1.5GHz + 双核 Cortex-A72@2.0GHz		4GB	500
	Jetson-tx2	双核 Denver2@2.0GHz + 双核 Cortex-A57@2.0GHz	NVIDIA Pascal (256 CUDA)	8GB	3500

- ① 机器人主机：选择X86主机，还是ARM主机？
功耗、体积、软件兼容性、硬件灵活性
- ② 应用场景：
低端主机（比如树莓派）：激光SLAM、扫地机器人
中端主机（比如RK3399）：视觉SLAM、计算机视觉
高端主机（比如Jetson-tx2）：视觉SLAM、语义地图、深度学习

6.3 典型机器人底盘搭建

- 底盘运动学模型选择
- 传感器选择
- 主机选择
- 底盘硬件系统搭建
- 底盘软件系统搭建



- 底盘运动学模型选择
- 传感器选择
- 主机选择
- 底盘硬件系统搭建
- 底盘软件系统搭建



- 例程源码下载： https://github.com/xiihoo/Books_Robot_SLAM_Navigation
- 课件PPT下载： www.xiihoo.com

敬请关注,长期更新...

下集预告