

移动机器人开发技术（激光SLAM版）配套教学PPT

序 章

机器人操作系统

机器人硬件平台

机器人核心技术

机器人应用实战

第1课 移动机器人的过去、现在及未来

第2课 初识ROS

第3课 ROS编程初步

第4课 机器人的坐标变换

第5课 机器人仿真环境

第6课 TurtleBot3仿真环境实战

第7课 自主搭建机器人小车

感知

第08课 环境感知基础
第09课 感知数据融合

建图与定位

第10课 机器人的移动控制
第11课 SLAM基础
第12课 SLAM实战

路径规划与导航

第13课 导航基础
第14课 ROS中的导航包
第15课 ROS导航实战

送餐

- 1 送餐机器人结构设计
- 2 送餐机器人环境搭建
- 3 送餐机器人建图
- 4 送餐机器人导航

物流（专题讲座）

- 1 物流机器人结构设计
- 2 物流机器人环境模拟
- 3 物流机器人关键技术
- 4 大规模多机器人调度

图书盘点（专题讲座）

- 1 图书盘点机器人结构
- 2 图书盘点机器人环境
- 3 图书盘点机器人工作模式
- 4 图书盘点中的视觉分析

移动机器人开发技术（激光SLAM版）配套教学PPT

第八课 环境感知基础



北京邮电大学

Beijing University of Posts and Telecommunications

移动机器人与智能技术实验室编

宋桂岭 明安龙 2021.11

expsong@qq.com

第8课 环境感知基础

北邮移动机器人与智能技术实验室 编

1

感知概念

2

雷达传感器

3

惯性传感器

4

其他传感器

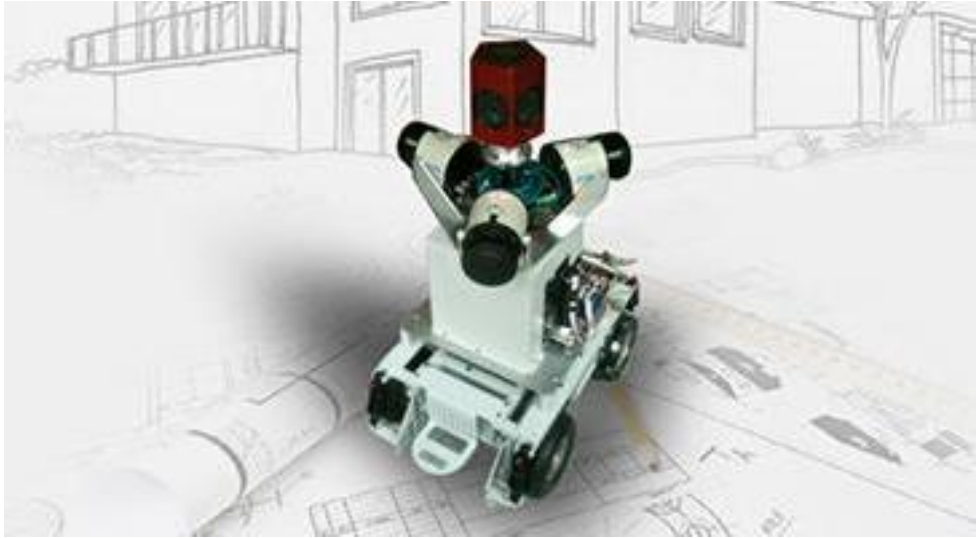
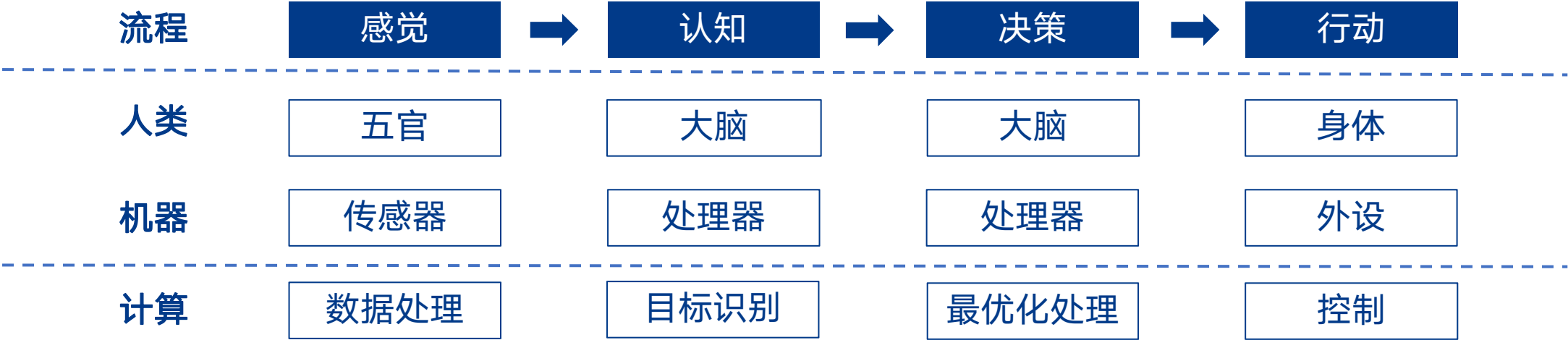


第8课 环境感知基础

北邮移动机器人与智能技术实验室 编

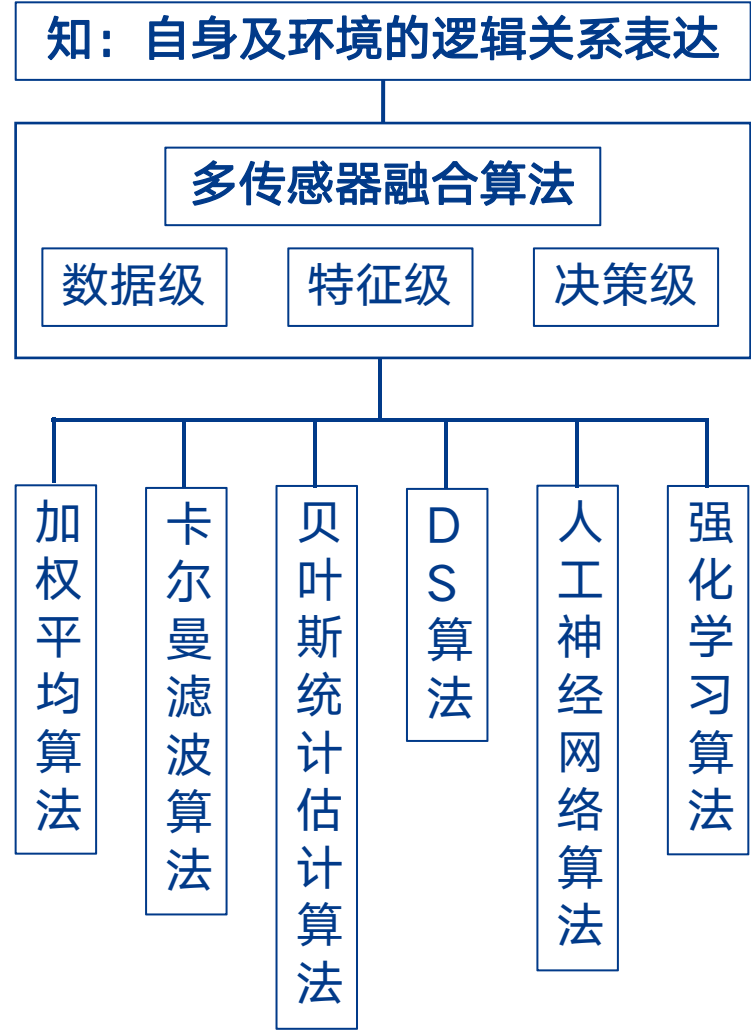
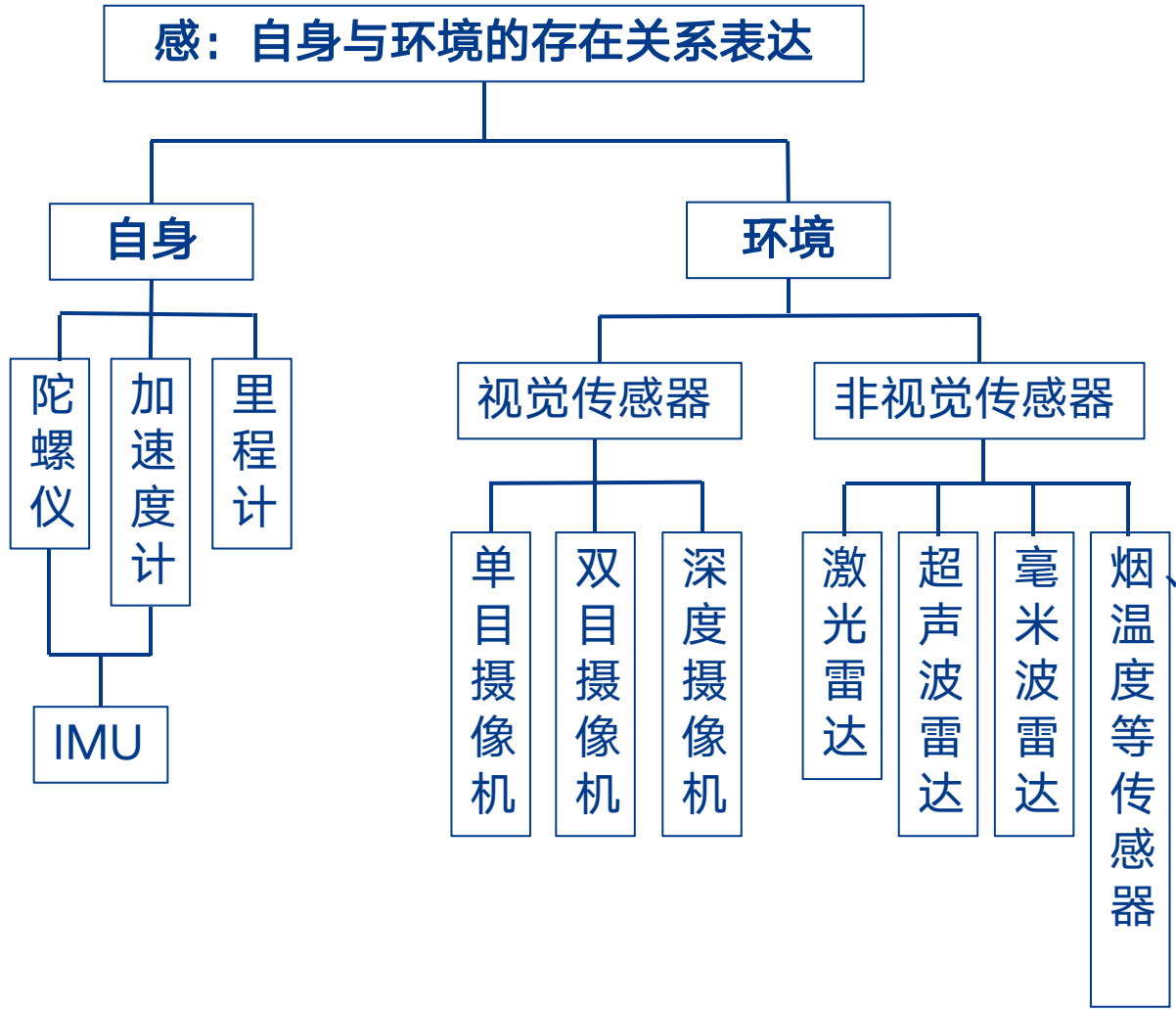
1 感知概念

1.1 人/机面对世界的处理方式



2.2 感知

感知即意识对内外界信息的觉察、感觉、注意、知觉的一系列过程。感知可分为感觉过程和知觉过程



第8课 环境感知基础

北邮移动机器人与智能技术实验室 编

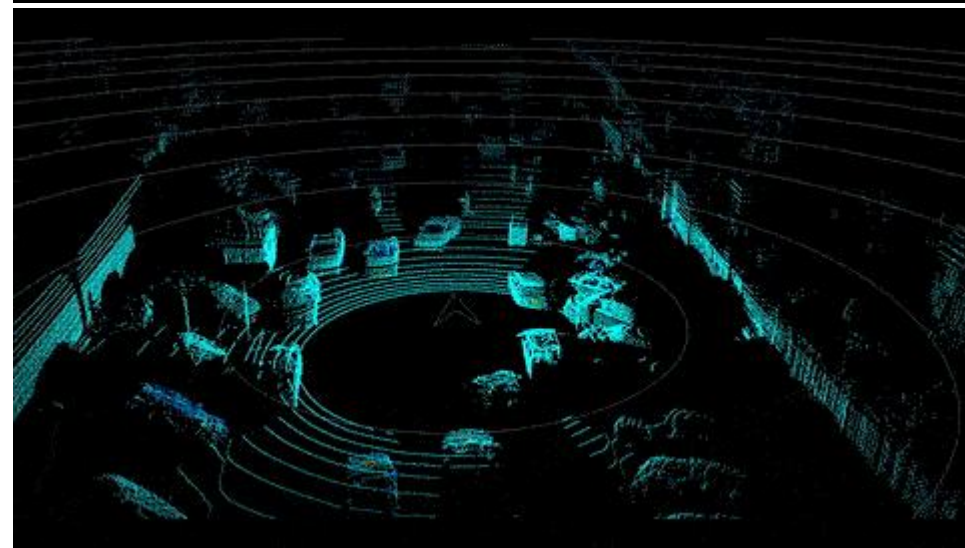
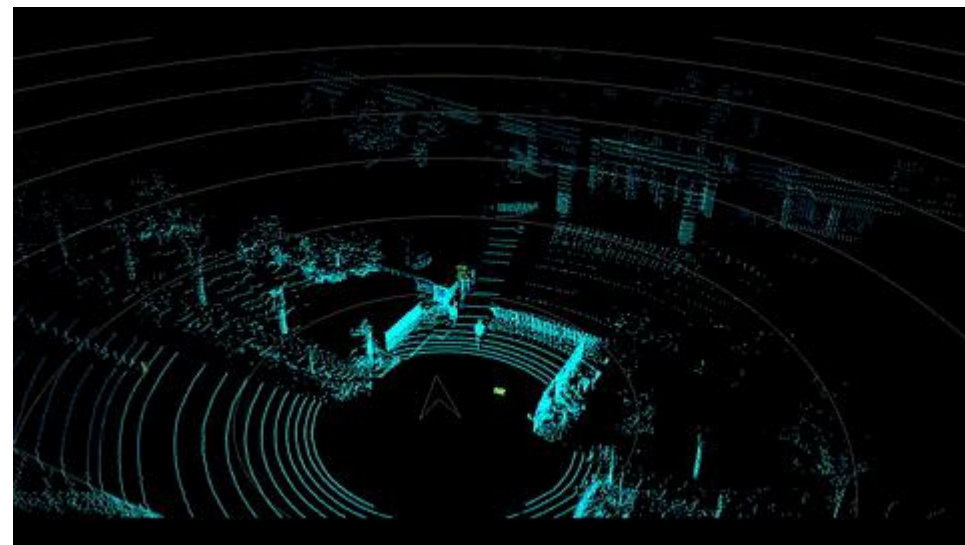
2 雷达传感器

2.1 激光雷达

激光雷达传感器是家用机器人和自动驾驶车辆上最常见的传感器之一。它能够发射脉冲激光，这种激光可以在物体表面上引起散射，一部分光线反射到激光雷达的接收器上，然后根据激光测距原理，传感器就可以计算出激光雷达与物体表面某点之间的距离。当脉冲激光不断扫描周围环境时，雷达就可以得到很多以点为单位的距离信息。然后我们在一个以激光雷达为原点的直角坐标系下绘制激光点，就可以得到一张精确的局部场景地图



思岚公司的A2激光雷达

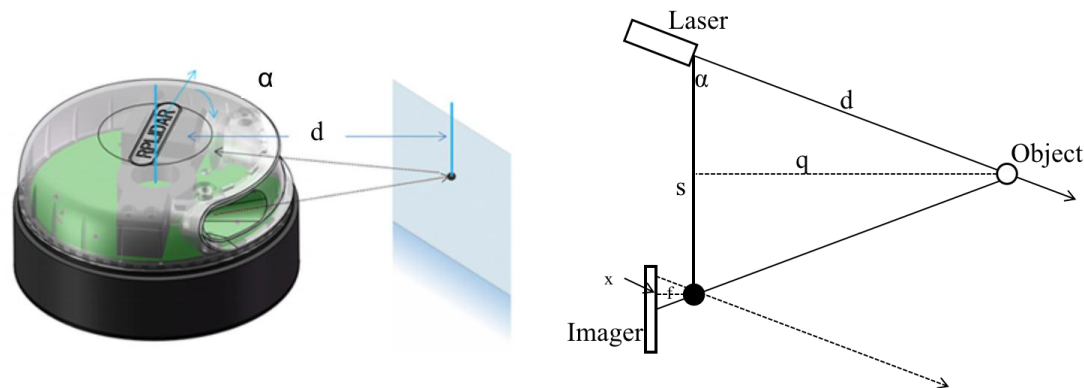


禾赛公司的车规级40线激光雷达成像

2.1.1 激光雷达测距原理

三角测距法

激光器Laser以固定角度 α 射出一束激光，沿激光方向距离为 d 的物体反射该束激光。接收激光的设备是一个长条形的摄像机，被物体反射的激光经过摄像机的“小孔”在成像平面上显示出来，如图中的Imager。其中，焦距是 f ，物体离平面的垂直距离是 q ，激光器和焦点间的距离是 s ，过焦点平行于激光方向的虚线与Imager的交点位置是预先确定的（在确定角度 α 的同时），物体表面反射激光后，成像在Imager上的点的位置与该处的距离设为 x 。由此，我们可以看出线段 q ， s 组成的三角形和线段 x ， f 组成的三角形互为相似三角形



$$\frac{f}{x} = \frac{q}{s} \rightarrow q = \frac{f * s}{x}$$
$$\sin \alpha = \frac{q}{d} \rightarrow d = \frac{q}{\sin \alpha}$$



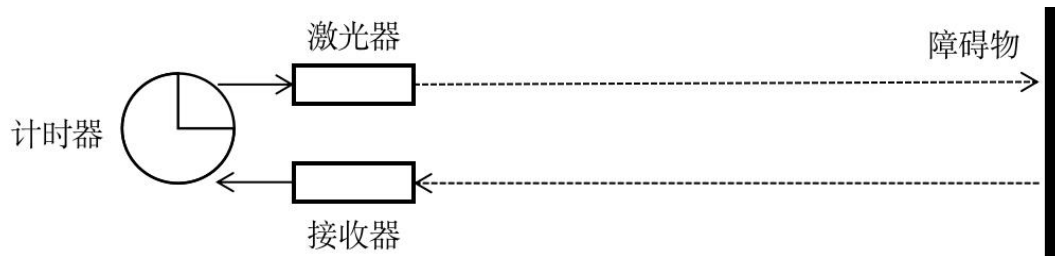
$$d = \frac{f * s}{x * \sin \alpha}$$

f ， s ， α 都是已知常量，在成像平面上测量出 x 后，即可计算出物体到传感器的距离 d

2.1.1 激光雷达测距原理

TOF测距法

相比于三角测量法，TOF测距激光雷达的原理更简单，它通过激光器发射一束激光，计时器会记录下发射的时间。当返回光被接收器接收，计时器会记录返回时间。前后两时间相减，我们便可以得到激光在空气中飞行的时间。由于光速是恒定的，因此物体到传感器的距离很容易被计算出来



$$d = \frac{c * (t_2 - t_1)}{2}$$

其中， t_1 为激光器发射激光的时间戳， t_2 为接收器接收到返回光的时间戳， c 为光速， d 为障碍物到雷达的距离

2.1.2 ROS下访问激光雷达数据

1、将雷达功能包下载到ROS工作空间中：

```
cd mrobot_ws/src
git clone https://github.com/Slamtec/rplidar_ros
```

2、将思岚A2雷达通过USB转换器插到电脑上，或者直接远程SSH到机器人小车上

3、查看雷达接口名称

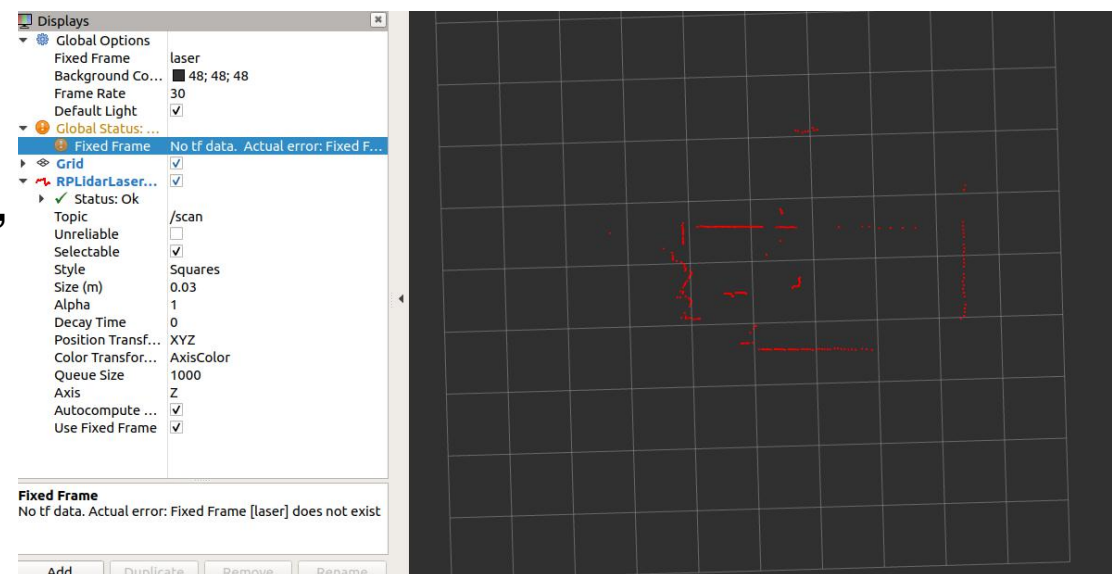
```
ls /dev/
```

4、为接口赋予数据读写权限，默认没有进行设备名称固定映射。以端口名为ttyUSB0为例（如果进行了设备名称映射，可跳过本步骤）

```
sudo chmod +x /dev/ttyUSB0
sudo chmod 777 /dev/ttyUSB0
```

5、使用以下命令启动激光雷达：

```
cd ~/mrobot_ws
source devel/setup.bash
roslaunch rplidar_ros view_rplidar.launch
```



激光雷达运行效果图

2.1 激光雷达-核心参数 扩展阅读：激光雷达数据效果对比

激光雷达的主要性能参数有激光的波长、探测距离、FOV(垂直+水平)、测距精度、角分辨率、出点数、线束、安全等级、输出参数、IP防护等级、功率、供电电压、激光发射方式(机械/固态)、使用寿命等。激光雷达的优势非常明显，其探测的范围更广，且精度更高。但是在极端天气或者烟雾环境下性能大大降低。

激光的波长：目前市场上三维成像激光雷达最常用的波长是905nm和1550 nm。1550nm波长LiDAR传感器可以以更高的功率运行，以提高探测范围，同时对于雨雾的穿透力更强。905nm的主要优点是硅在该波长处吸收光子，而硅基光电探测器通常比探测1550 nm光所需的铟镓砷(InGaAs)近红外探测器便宜。

安全等级：激光雷达的安全等级是否满足Class 1，需要考虑特定波长的激光产品在完全工作时间内的激光输出功率，即激光辐射的安全性是波长、输出功率，和激光辐射时间的综合作用的结果。

探测距离：激光雷达的测距与目标的反射率相关。目标的反射率越高则测量的距离越远，目标的反射率越低则测量的距离越近。因此在查看激光雷达的探测距离时要知道该测量距离是目标反射率为多少时的探测距离。

FOV：激光雷达的视场角有水平视场角和垂直视场角。如果是机械旋转激光雷达，则其水平视场角为360度。

角分辨率：一个是垂直分辨率，另一个是水平分辨率。水平方向上做到高分辨率其实不难，因为水平方向上是由电机带动的，所以水平分辨率可以做得很高。一般可以做到0.01度级别。垂直分辨率是与发射器几何大小相关，也与其排布有关系，就是相邻两个发射器间隔做得越小，垂直分辨率也就会越小。垂直分辨率为0.1~1度的级别。

出点数：每秒激光雷达发射的激光点数。激光雷达的点数一般从几万点至几十万点每秒左右。

线束：多线激光雷达，就是通过多个激光发射器在垂直方向上的分布，通过电机的旋转形成多条线束的扫描。多少线的激光雷达合适，主要是说多少线的激光雷达扫出来的物体能够适合算法的需求。理论上讲，当然是线束越多、越密，对环境描述就更加充分，这样还可以降低算法的要求。常见的激光雷达的线束有：16线、32线、64线等。

输出参数：障碍物的位置(三维)、速度(三维)、方向、时间戳(某些激光雷达有)、反射率

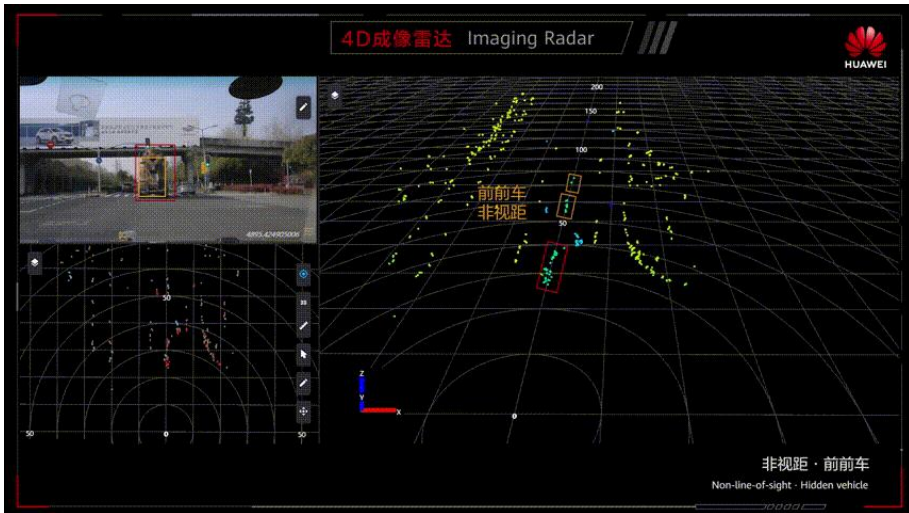
使用寿命：机械旋转的激光雷达的使用寿命一般在几千小时；固态激光雷达的使用寿命可高达10万小时。

激光发射方式：传统采用机械旋转的结构容易导致磨损使得激光雷达使用寿命有限，已逐步淘汰。固态激光雷达主要由三类-Flash、MEMS、相控阵。Flash激光雷达只要有光源，就能用脉冲一次覆盖整个视场。随后再用飞行时间(ToF)方法接收相关数据并绘制出激光雷达周围的目标。MEMS激光雷达其结构相当简单，只要一束激光和一块反光镜。具体来说，激光射向这块类似陀螺一样旋转的反光镜就行，反光镜通过转动，可以实现对激光方向的控制。相控阵激光雷达利用独立天线同步形成的微阵列，相控阵可以向任何方向发送无线电波，完全省略了“旋转”这一步骤，只需控制每个天线发送信号间的时机或阵列，就能控制信号射向特定位置。

2.2 毫米波雷达

毫米波雷达，是工作在毫米波波段（millimeter wave）探测的雷达。通常毫米波是指30~300GHz频域(波长为1~10mm)的。毫米波的波长介于微波和厘米波之间，因此毫米波雷达兼有微波雷达和光电雷达的一些优点。

同厘米波导引头相比，毫米波导引头具有体积小、质量轻和空间分辨率高的特点。与红外、激光、电视等光学导引头相比，毫米波导引头穿透雾、烟、灰尘的能力强，具有全天候(大雨天除外)全天时的特点。另外，毫米波导引头的抗干扰、反隐身能力也优于其他微波导引头。毫米波雷达能分辨识别很小的目标，而且能同时识别多个目标；具有成像能力，体积小、机动性和隐蔽性好，在战场上生存能力强



华为毫米波成像



奥迪A8L毫米波雷达

2.3 超声波雷达

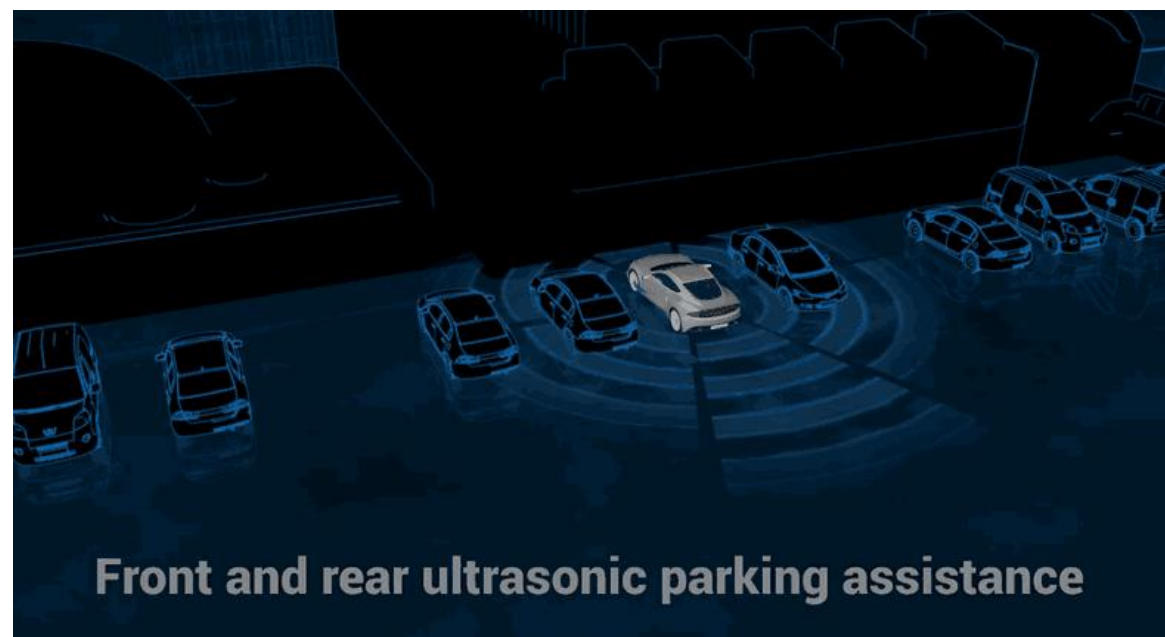
超声波雷达利用超声波发生器产生40KHz的超声波，再由接收组件接收经物体表面反射回来的超声波。根据超声波的发出与接收时间差，计算传感器与物体之间的距离。优势是超声波在介质中传播的距离比较远，穿透性强，测距方法简单，能耗低，成本低。劣势是在速度很高的情况下在测距方面有一定的局限性。



收发分离超声波雷达



收发一体超声波雷达



德国Konrad Technologies公司ADAS超声波传感器测试系统

第8课 环境感知基础

北邮移动机器人与智能技术实验室 编

3 惯性传感器

3.1 陀螺仪

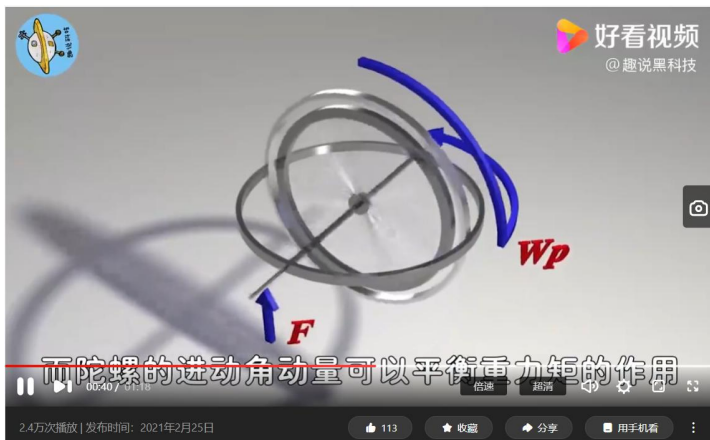
陀螺仪，是一种基于角动量守恒的理论，来感测与维持方向的装置。陀螺仪主要是由一个位于轴心且可旋转的转子构成。由于转子的角动量，陀螺仪一旦开始旋转，即有抗拒方向改变的趋向。陀螺仪多用于导航、定位等系统，一直是航空和航海上航行姿态及速率等最方便实用的参考仪表。

定轴性或惯性

当陀螺转子以极高速度旋转时，其转动得以维持并保持其轴指向一个相对固定的方向

逆动性

在运转中的陀螺仪，如果外界施一作用或力矩在转子旋转轴上，则旋转轴并不沿施力方向运动，而是顺着转子旋转向前90度垂直施力方向运动



陀螺仪是什么原理？为何能在棉线上旋转不倒



三轴陀螺仪高速旋转后会有什么效果

3.1 陀螺仪



[陀螺仪的工作原理](#)

3.2 加速度计

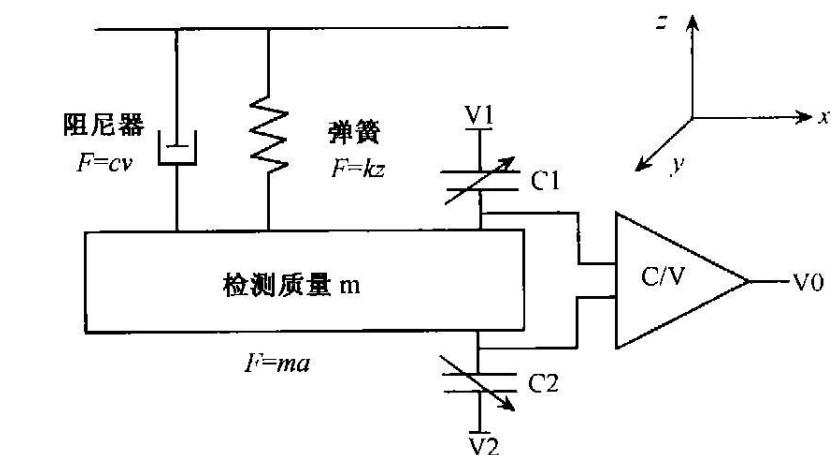
加速度传感器是一种能够测量加速度的传感器。通常由质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件和适调电路等部分组成。传感器在加速过程中，通过对质量块所受惯性力的测量，利用[牛顿第二定律](#)获得加速度值。根据传感器敏感元件的不同，常见的加速度传感器包括电容式、电感式、应变式、压阻式、压电式等。

$A(\text{加速度}) = F(\text{惯性力}) / M(\text{质量})$ 需要测量 F

多数加速度传感器是根据[压电效应](#)的原理来工作：

压电效应："对于不存在对称中心的异极晶体加在晶体上的外力除了使晶体发生形变以外，还将改变晶体的极化状态，在晶体内部建立电场，这种由于机械力作用使介质发生极化的现象称为正压电效应"

一般加速度传感器就是利用了其内部的由于加速度造成的晶体变形这个特性。由于这个变形会产生电压，只要计算出产生电压和所施加的加速度之间的关系，就可以将加速度转化成电压输出。还有很多其它方法来制作加速度传感器，比如压阻技术，电容效应，热气泡效应，光效应，但是[其最基本的原理都是由于加速度产生某个介质产生变形，通过测量其变形量并用相关电路转化成电压输出](#)。每种技术都有各自的优势和问题。



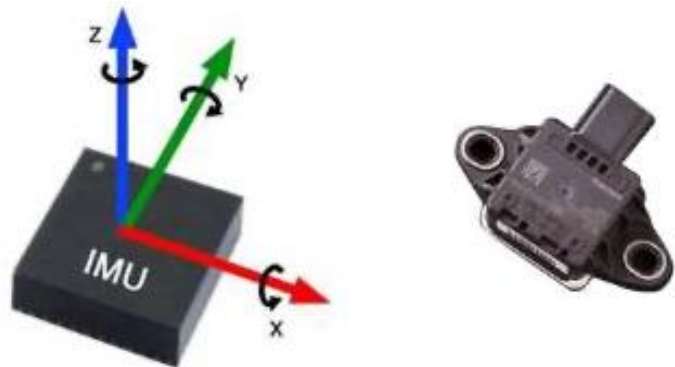
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = C \frac{dx}{dt} + Kx$$

x —距检测质量平衡位置的位移;
 C —阻尼系数;
 K —弹簧刚度。

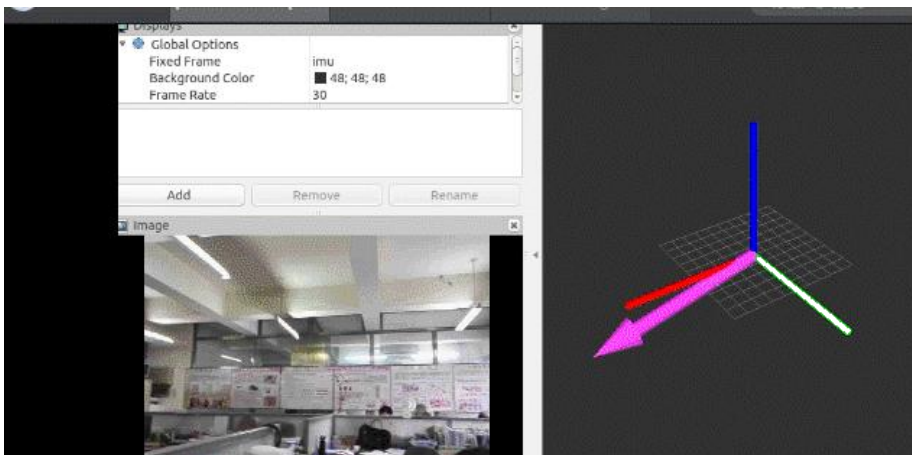
$$ma = m \frac{d^2 x}{dt^2} = Kx$$

电容式加速度计原理图

3.3 IMU



惯性测量单元（Inertial Measurement Unit, IMU）是测量物体三轴姿态角（或角速率）以及加速度的装置，用于获取机器人自身状态信息。通常，一颗IMU内包含了一个三轴加速度计和一个三轴陀螺仪，加速度计测量机器人在如图4坐标系中每个轴所指方向的加速度信号，陀螺仪测量这三轴的角速度信号，它们提供了机器人在三维空间中平移的加速度和旋转的角速度。



ROS实时采集Android的图像和IMU

IMU提供的是一个相对的定位信息，即通过角速度与加速度的积分运算，测量机器人相对于起点的运动线路，一般称为机器人的姿态估计，因此它并不能提供机器人所在的具体位置信息。由于积分运算存在误差，利用惯性传感器的进行姿态估计，误差会随着运行时间的增长而增大。不过，由于IMU以非常高的频率输出信息，因此在短时间内可以提供稳定的实时位置更新。在大多需要进行运动控制的设备上，如汽车和机器人等，IMU有着重要的应用价值

3.3 IMU程序示例

代码下载[北邮移动机器人实验室/mrobot_book](#) – 第四章对应代码

SUMMARY

=====

PARAMETERS

```
* /roscdistro: kinetic
* /rosversion: 1.12.14
* /serial_imu_node/baud_rate: 9600
* /serial_imu_node/data_bits: 8
* /serial_imu_node/imu_dev: /dev/ttyUSB0
* /serial_imu_node/link_name: base_imu_link
* /serial_imu_node/parity: N
* /serial_imu_node/pub_data_topic: imu_data
* /serial_imu_node/pub_hz: 10
* /serial_imu_node/pub_temp_topic: imu_temp
* /serial_imu_node/stop_bits: 1
* /serial_imu_node/yaw_topic: yaw_data
```

NODES

```
/
  serial_imu_node (serial_imu_hat_6dof/serial_imu_node)
```

auto-starting new master

process[roscdistro]: started with pid [19700]

ROS_MASTER_URI=http://localhost:11311

setting /run_id to 82e9b838-c005-11ea-8147-001c42fba2e2

process[roscdistro-1]: started with pid [19713]

started core service [/roscdistro]

process[serial_imu_node-2]: started with pid [19724]

[INFO] [1594094049.945734437]: IMU module is working...

orientation:

x: 0.0

y: 0.0

z: -0.316734224558

w: 0.720645070076

orientation_covariance: [1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1e-06]

angular_velocity:

x: 0.0

y: 0.0

z: 0.00273980200291

angular_velocity_covariance: [1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1000000.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1e-06]

linear_acceleration:

x: 0.0

y: 0.0

z: 0.0

linear_acceleration_covariance: [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]

运行成功示意图

水平放置时IMU读数

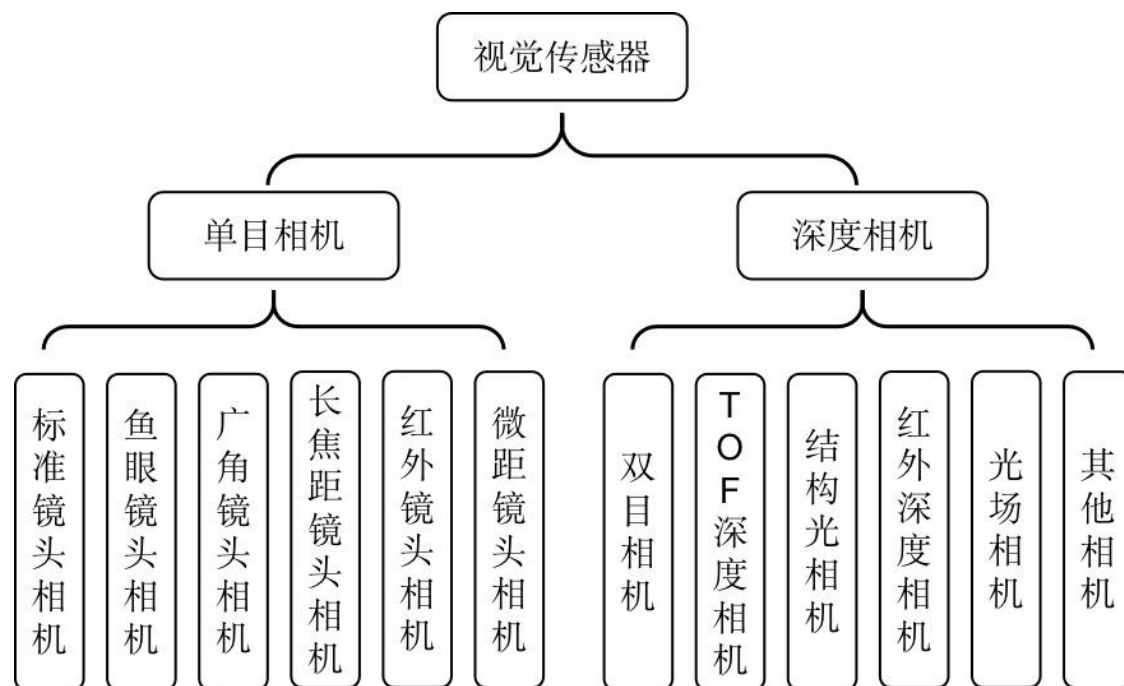
第8课 环境感知基础

北邮移动机器人与智能技术实验室 编

4 其他传感器

4.1 视觉传感器

视觉传感器有着类似于人眼的结构。它是整个机器人视觉系统中视觉信息的直接来源，通常由一个或两个图像传感器组成，有时还需要配以光投射器及其他辅助设备。视觉传感器的主要功能是获取足够的机器人视觉系统要处理的最原始的图像。



摄像机分类

4.1 视觉传感器



普通单目摄像机



Kinect单目结构光深度摄像机



TOF深度摄像机：Kinect二代



双目摄像机

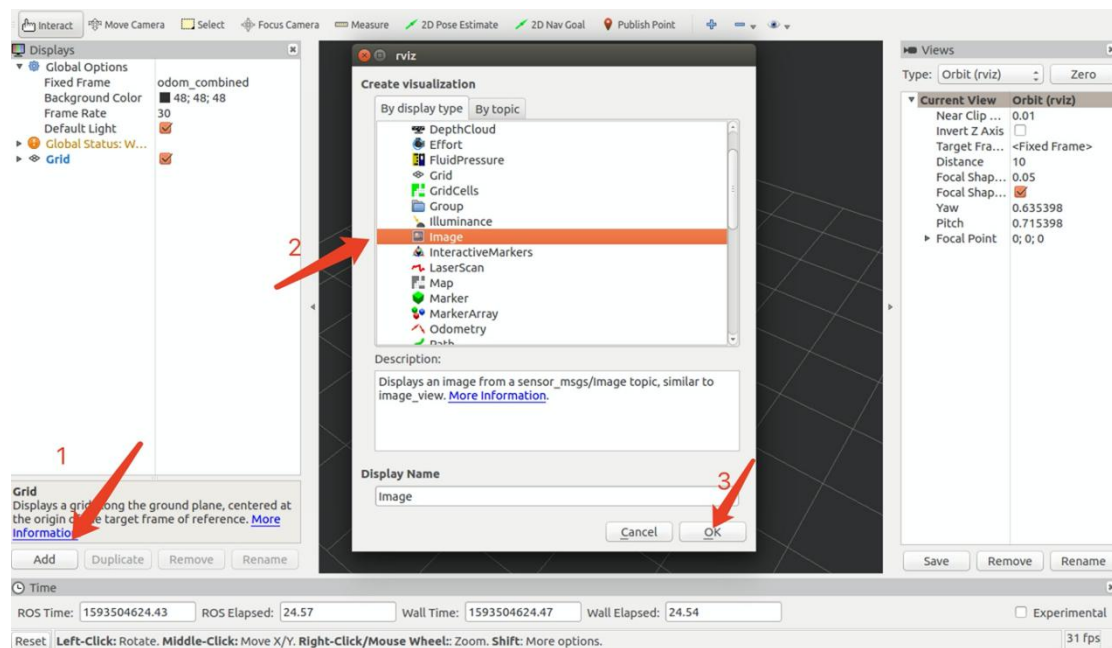


400万像素双目立体视觉摄像机成像结果

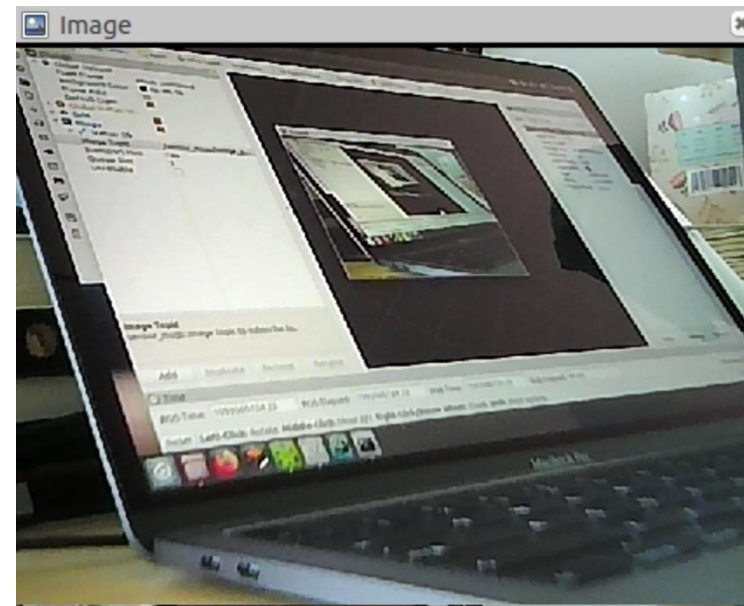
视觉相关详细介绍请参考
本教材姊妹篇：移动机器人开发技术（视觉SLAM版）

4.1 视觉传感器

摄像头数据读取示例：https://gitee.com/mrobotit/mrobot_book/tree/master/ch4/read_camera



RViz添加image示意图



image运行效果图

4.2 防跌落传感器

防跌落设计* 使用安全

多重防跌落感应器

检测下方离地距离
有效防止跌落损伤

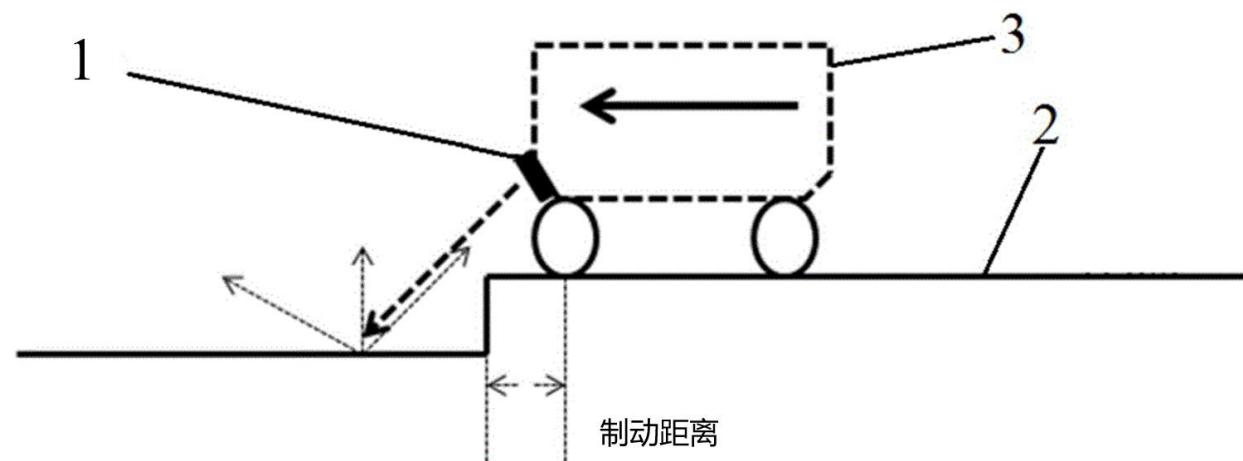


视频演示机型为MC-RS1

* 防跌落感应器无法识别不足5cm的段差。
根据地面材质、形状、颜色、图案等不同，防跌落感应器有可能无法正常反应



扫地机器人防跌落传感器安装位置



防跌落原理

目前绝大数室内轮式机器人3的防跌落方方法，在机器人轮子前面加上红外或超声波检测模块1，当检测模块1收到地面2的反射之后则认为前面是有地平面的，如果没有收到反射信号则认为前面有台阶。

4.3 防碰撞传感器



碰撞传感器安装位置



以扫地机器人为例，工程师会在机器人的前半部分设计一块覆盖角度约180度的**碰撞板**，在碰撞板的内侧装有**3至5个光电开关**。光电开关是由一对红外发射对管组成，发光二极管发射的红外光线通过扫地机器人机身特制的小孔被光敏二极管接受，当机身碰撞板受到碰撞时，碰撞板就会挡住机身特制小孔，阻碍红外线的接受从而向控制系统传达信息。此结构可以避免测量盲区带来的误差，作为避障系统失效后的补充决策。

移动机器人开发技术（激光SLAM版）配套教学PPT

谢 谢 观 看



北京邮电大学

Beijing University of Posts and Telecommunications

移动机器人与智能技术实验室编

宋桂岭 明安龙 2021.11

expsong@qq.com