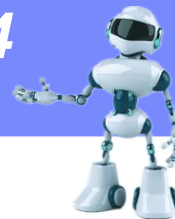




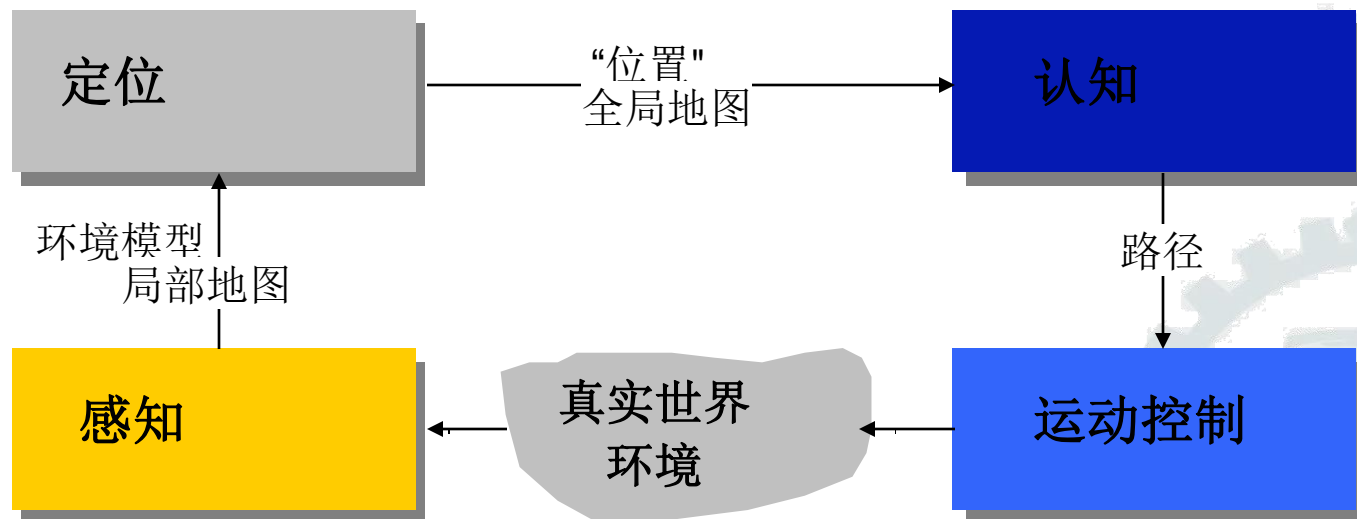
第 4 章 感知 (1)

- ◇ 传感器分类
- ◇ 传感器性能特征
- ◇ 各种传感器介绍



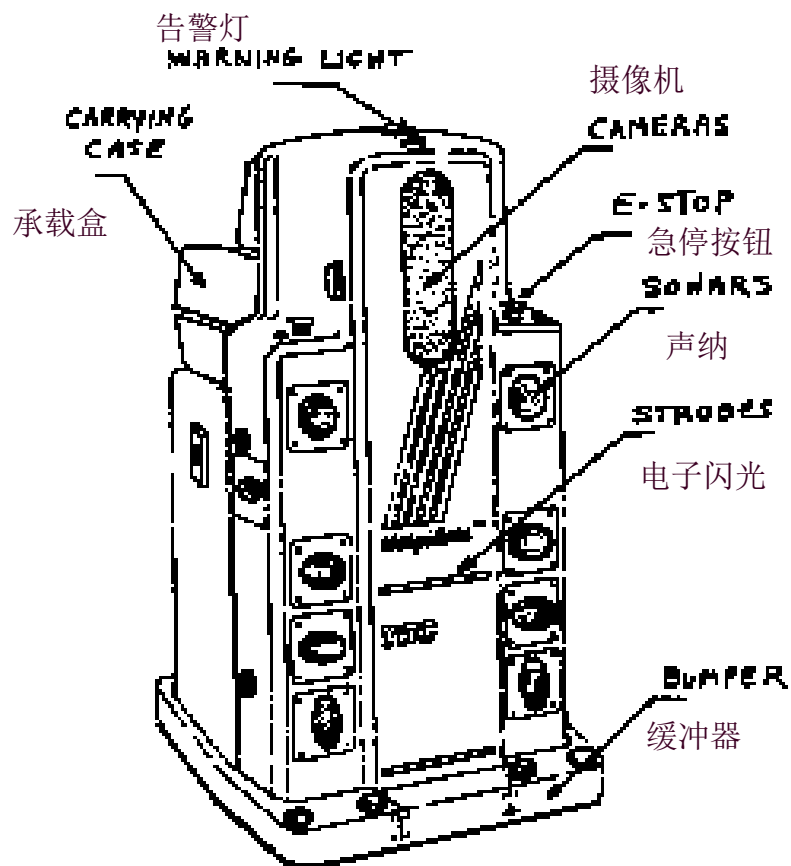
感知

- ◇ 任何种类的自主系统，其最重要的任务之一是获取关于环境的知识。
- ◇ 传感器
- ◇ 不确定性
- ◇ 特征



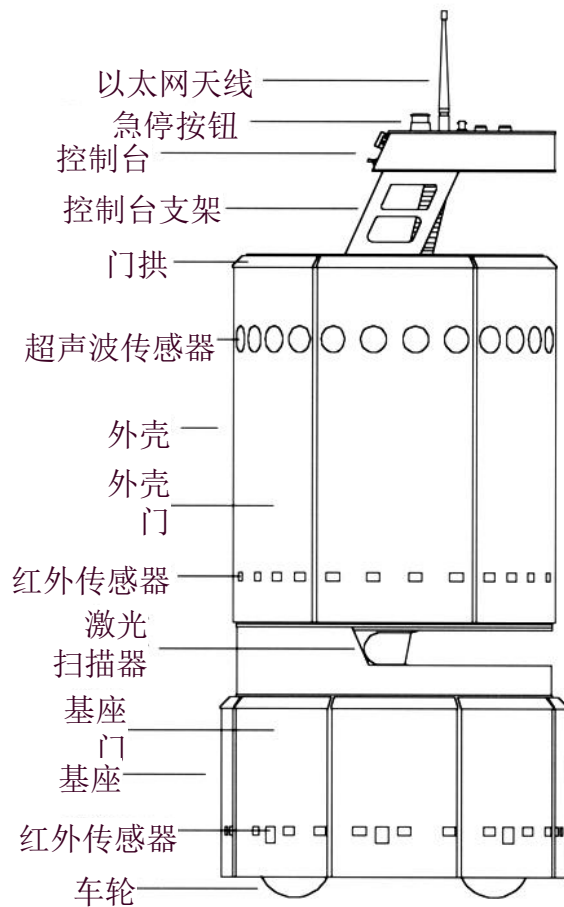


例：TRC公司的HelpMate（助手）



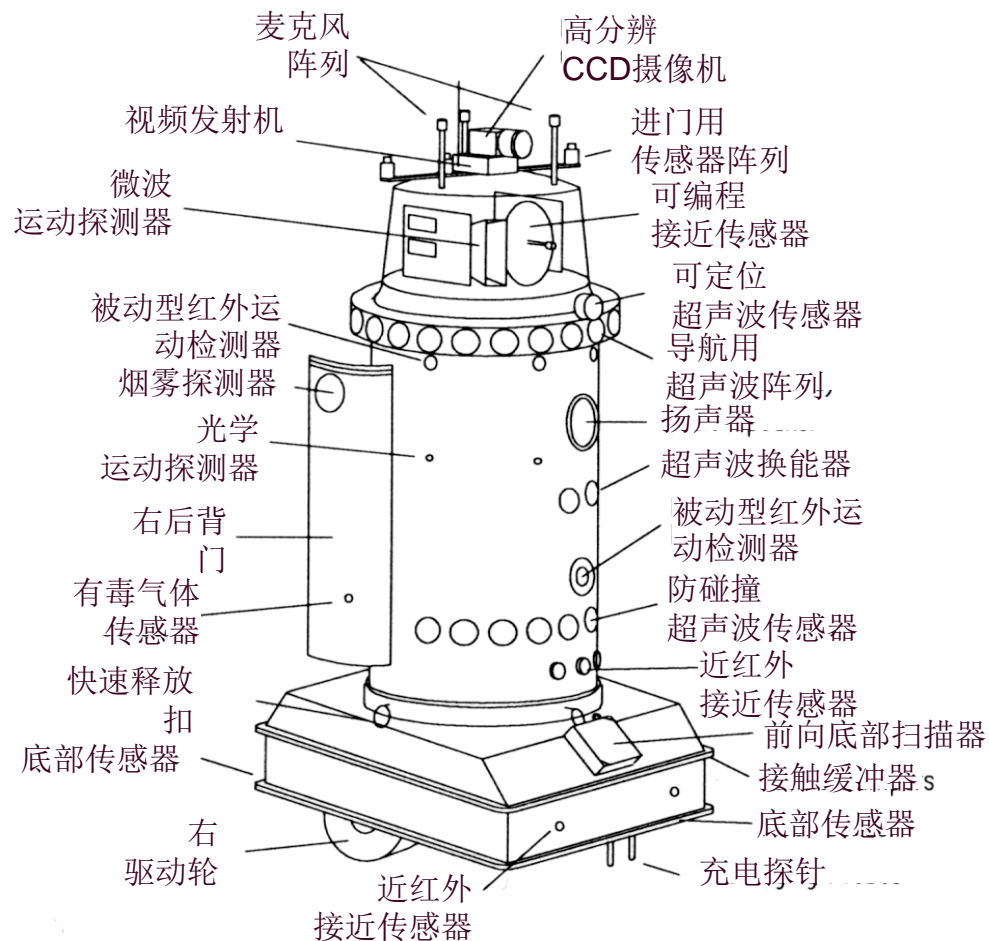


例： 现实环境接口 B21



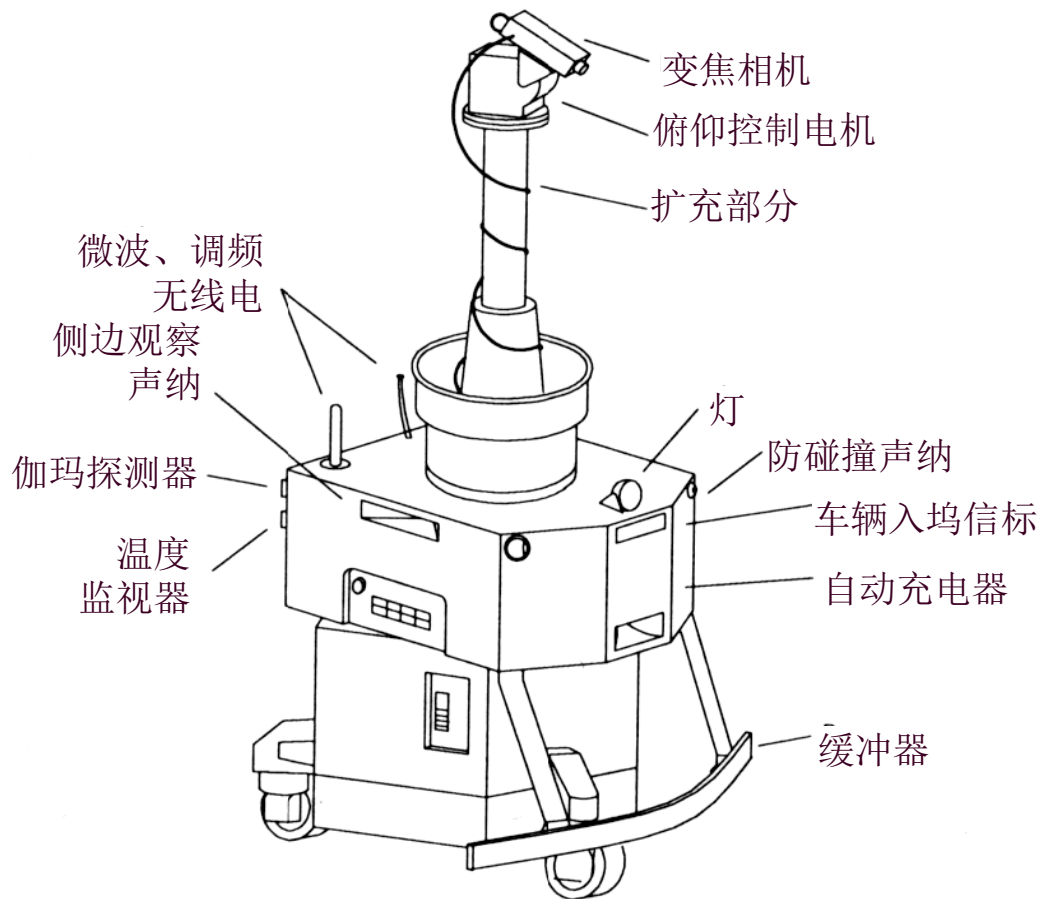


例：Robart II, H.R. Everett





Savannah, River Site 核监视机器人





BibaBot, BlueBotics SA, Switzerland

惯性测量装置

紧急停止按钮

轮子编码器



全向摄像机

摇摄摄像机

超声传感器

激光距离扫描器

缓冲器



传感器分类

◇ 本体感受传感器

- ◇ 测量系统（机器人）的内部值
- ◇ 如，电机速度、轮负荷、机器人朝向、电池状态

◇ 外感受传感器

- ◇ 从机器人环境来的信息
- ◇ 如，到物体的距离、周围光的强度、可分辨的特征

◇ 被动传感器

- ◇ 测量从环境进入传感器的能量

◇ 主动传感器

- ◇ 发射适当的能量，然后测量反应
- ◇ 卓越的性能，但对环境有一些影响



一般分类 (1)

一般分类 (典型使用)	传感器 传感器系统	PC或EC	A或P
触觉传感器 (物理接触或接近检测, 安全切换)	接触开关, 减震器 光栅栏 非接触接近传感器	外感受 外感受 外感受	被动 主动 主动
轮子、电机传感器 (轮子/电机速度和位置)	刷式编码器 电位计 同步机, 分解器 光学编码器 磁性编码器 电感编码器 电容编码器	本体感受 本体感受 本体感受 本体感受 本体感受 本体感受 本体感受	被动 被动 主动 主动 主动 主动 主动
导向传感器 (相对于固定参考系的机器人方向)	罗盘 陀螺仪 倾角罗盘	外感受 本体感受 外感受	被动 被动 主动/被动

A, 主动; P, 被动; P/A, 被动/主动; PC, 本体感受; EC: 外感受



一般分类 (2)

一般分类 (典型使用)	传感器 传感器系统	PC或EC	A或P
地面信标 (在固定参考系定位)	GPS 有源光学或RF信标 有源超声信标 反射式信标	外感受 外感受 外感受 外感受	主动 主动 主动 主动
主动测距 (反射、飞越时间、几何三角测量)	反射传感器 超声传感器 激光测距仪 光学三角测量 (1D) 结构光 (2D)	外感受 外感受 外感受 外感受 外感受	主动 主动 主动 主动 主动
运动/速度传感器 (相对于固定或移动物体的速度)	多普勒雷达 多普勒声音	外感受 外感受	主动 主动
基于视觉的传感器 (视觉测距、全像分析、分割、对象识别)	CCD/CMOS摄像机 视觉测距包 物体跟踪包	外感受	被动

A, 主动; P, 被动; P/A, 被动/主动; PC, 本体感受; EC: 外感受



传感器性能特征 (1)

在现实世界环境中，测量易于出错

◇ 基本传感器响应的额定值

◇ 动态范围

◇ 通常用“分贝”（dB）表示上、下界之比

◇ 如，功率测量值从 1 毫瓦到 20 瓦，

$$10 \cdot \log \left[\frac{20}{0.001} \right] = 43 \text{ dB}$$

◇ 如，电压测量值从 1 毫伏到 20 伏，

$$20 \cdot \log \left[\frac{20}{0.001} \right] = 86 \text{ dB}$$

◇ 用 20 而不是 10，是因为电压的平方正比于功率!!

◇ 范围

◇ 上界



传感器性能特征 (2)

◇ 基本传感器响应的额定值(续)

◇ 分辨率

- ◇ 两个值之间的最小差别
- ◇ 通常：范围的下界 = 分辨率
- ◇ 对于数字传感器，通常等于模数（A/D）转换器的分辨率
 - ◇ 如， $5V / 255$ (8 bit)，分辨率为 $0.01953V$

◇ 线性度

- ◇ 作为输入信号的函数（主要指线性函数）的输出信号的变化
- ◇ 如果采用计算机对信号进行后处理，线性度就不那么重要了

◇ 带宽或频率

- ◇ 传感器能够提供读数（数据）流的速率
- ◇ 通常，存在一个取决于传感器和采样速率的上限值
- ◇ 有时也可能是下界，如，加速度传感器（越小的加速度越难测量）



现场传感器性能 (1)

与现实世界环境特别相关的特性

◇ 灵敏度

◇ 输出变化与输入变化之比

◇ 而在现实世界环境中，传感器对其它环境改变（如，照明）经常有很高的灵敏度

◇ 交叉灵敏度

◇ 测量目标参数受环境参数的影响灵敏度

◇ 误差 / 准确度

◇ 传感器输出与真实值之间的差别

准确度

$$\left(accuracy = 1 - \frac{|m - v|}{v} \right)$$

偏差

m = 测量值

v = 真实值



现场传感器性能 (2)

与现实世界环境特别相关的特性

◇ 系统误差 -> 确定性误差

- ◇ 由（理论上）可以建模的因素造成的 -> 可预测

- ◇ 如，激光测距器的校准、因摄像机光学引起的图像畸变的标定

◇ 随机误差 -> 非确定性

- ◇ 不可能预测

- ◇ 然而，可以用概率予以描述

- ◇ 如，摄像机色调不稳定性、摄像机黑电平噪声 ..

◇ 精度

- ◇ 传感器测量结果的可重复性

$$precision = \frac{range}{\sigma}$$



表征传感器的误差：移动机器人学的挑战

- ◇ 移动机器人必须感知、分析、解释周围环境状态
- ◇ 在真实世界环境中，测量是动态变化、易于出错的
- ◇ 例：
 - ◇ 照度变化
 - ◇ 镜子反射
 - ◇ 对光或声音的表面吸收
 - ◇ 机器人传感器对于本身姿态和机器人-环境动态的交叉灵敏度
 - ◇ 几乎不可能模型化 -> 出现随机误差
 - ◇ 在受控环境中，系统误差和随机误差是充分定义的。



多模误差的分布：移动机器人学的挑战

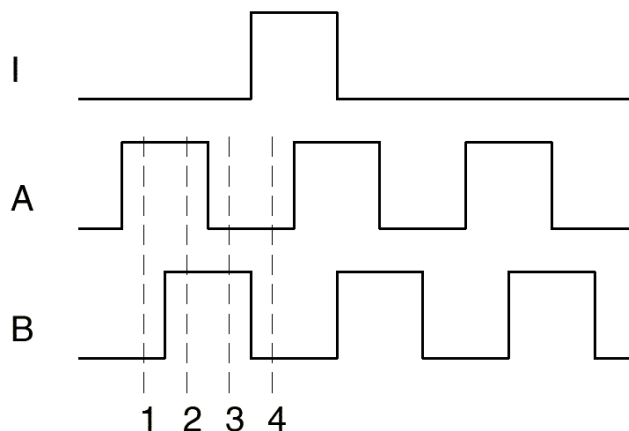
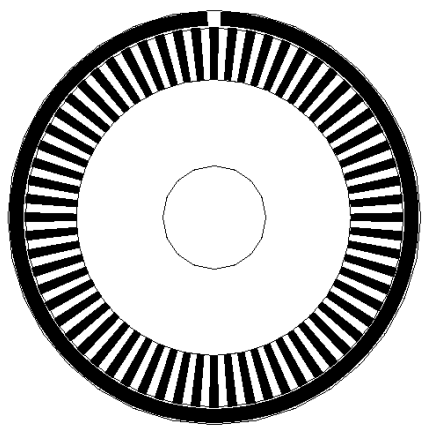
◇ 用（随机误差）概率分布来对传感器行为建模

- ◇ 通常，对产生随机误差的原因知之甚少
- ◇ 经常假定概率分布是对称，甚至是高斯的
- ◇ 然而，重要的是要了解这些是如何的不合适!
- ◇ 例：
 - ◇ 在实际环境中，超声波传感器更可能过估计离物体的距离，因此误差分布不是对称的
 - ◇ 因此，超声波传感器可能有两种最好的模型化方式：
 - ◇ - 对于信号直接返回情况的方式
 - 对于信号在多径反射后返回情况的方式
 - ◇ 立体视觉系统可能两个图像不正确地关联起来，导致没有意义的结果。



轮子 / 电机编码器 (1)：增量式编码器

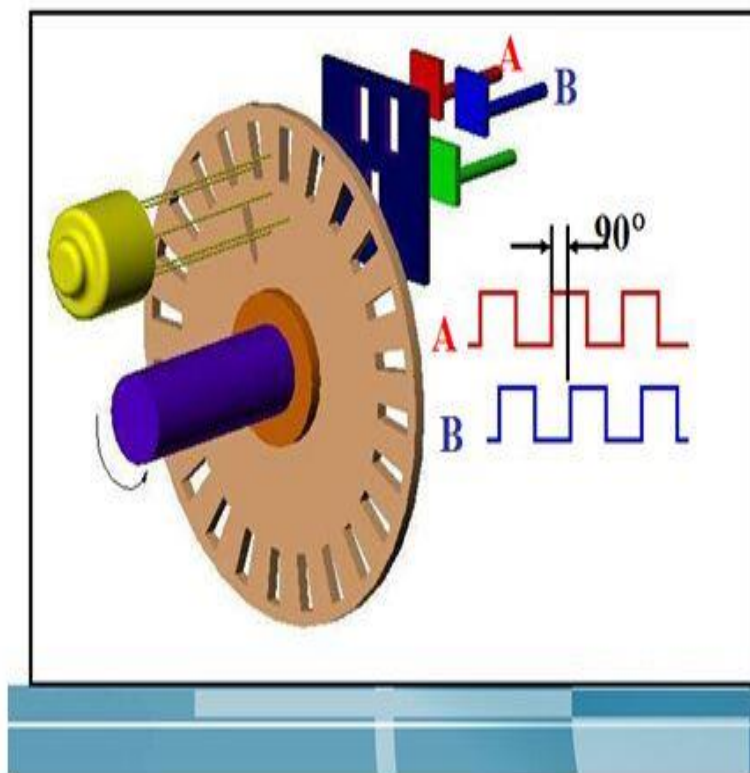
- ◇ 测量轮子或操纵舵的位置或速度
- ◇ 对轮子的转动积分，得到对机器人位置的估计 -> 里程表法
- ◇ 光学编码器是本体感受型传感器
- ◇ 典型分辨率：每转2000脉冲周期（增量）
 - ◇ 为获得高分辨率：插补方法（4倍）



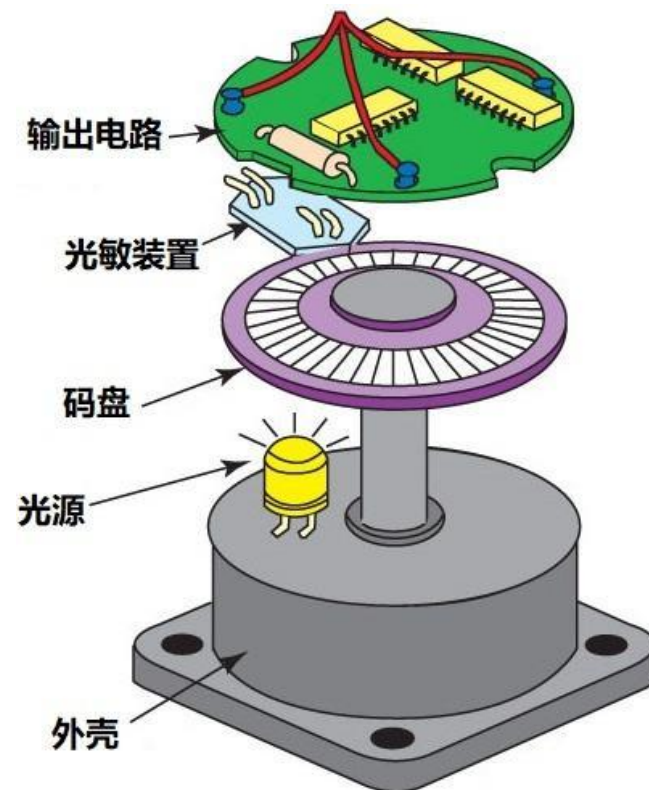
State	Ch A	Ch B
S ₁	High	Low
S ₂	High	High
S ₃	Low	High
S ₄	Low	Low



轮子 / 电机编码器(2)：增量式编码器

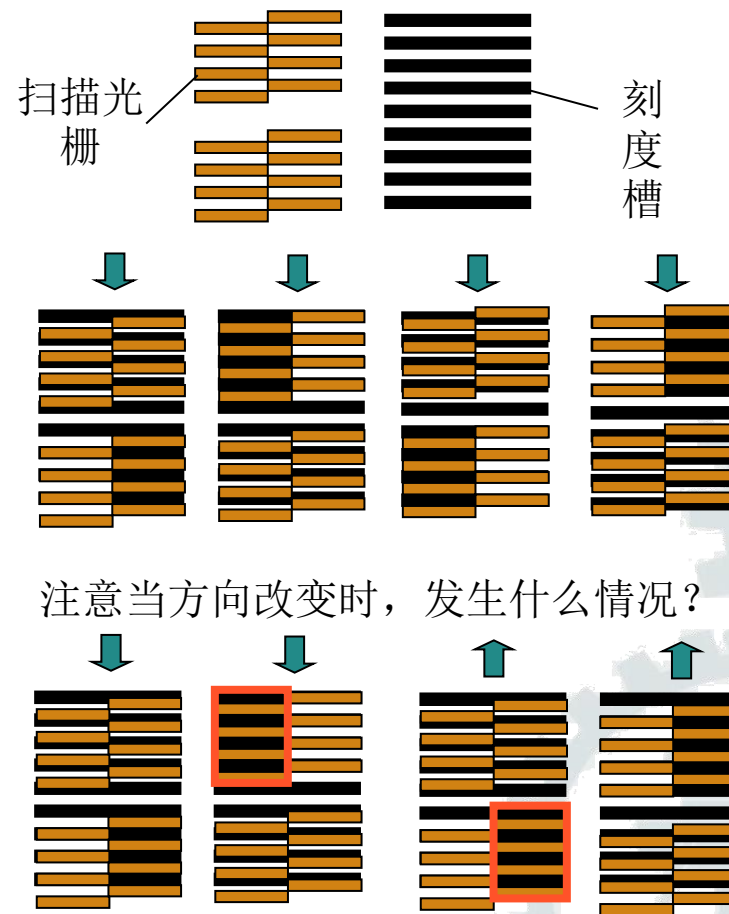
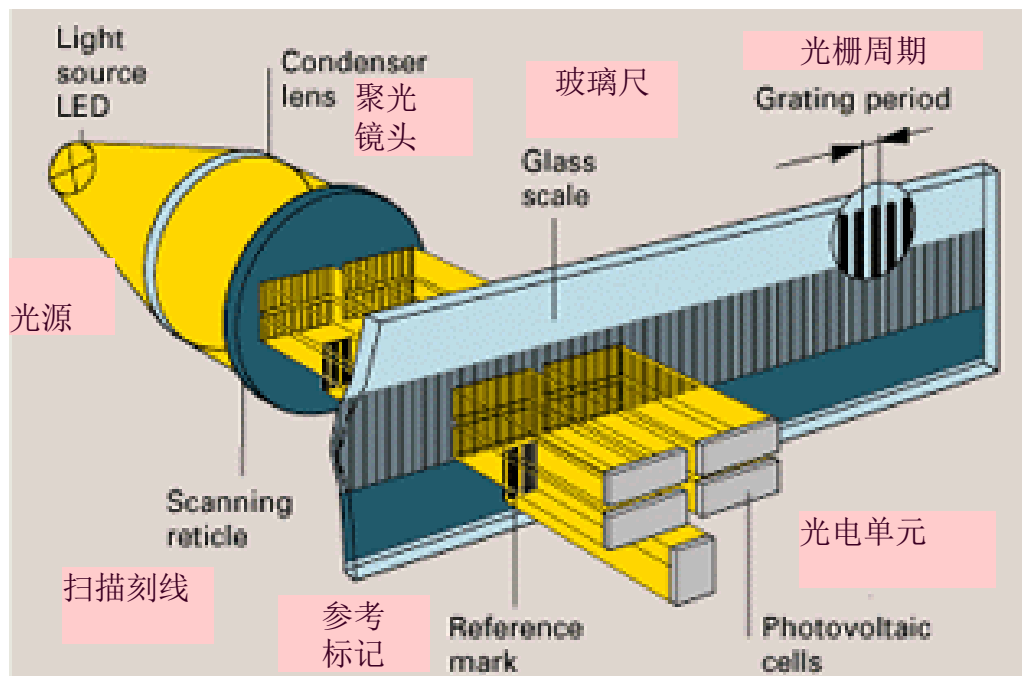


光敏元件所产生的信号A、B彼此相差 90° 相位，用于辨向。当码盘正转时，A信号超前B信号 90° ；当码盘反转时，B信号超前A信号 90° 。





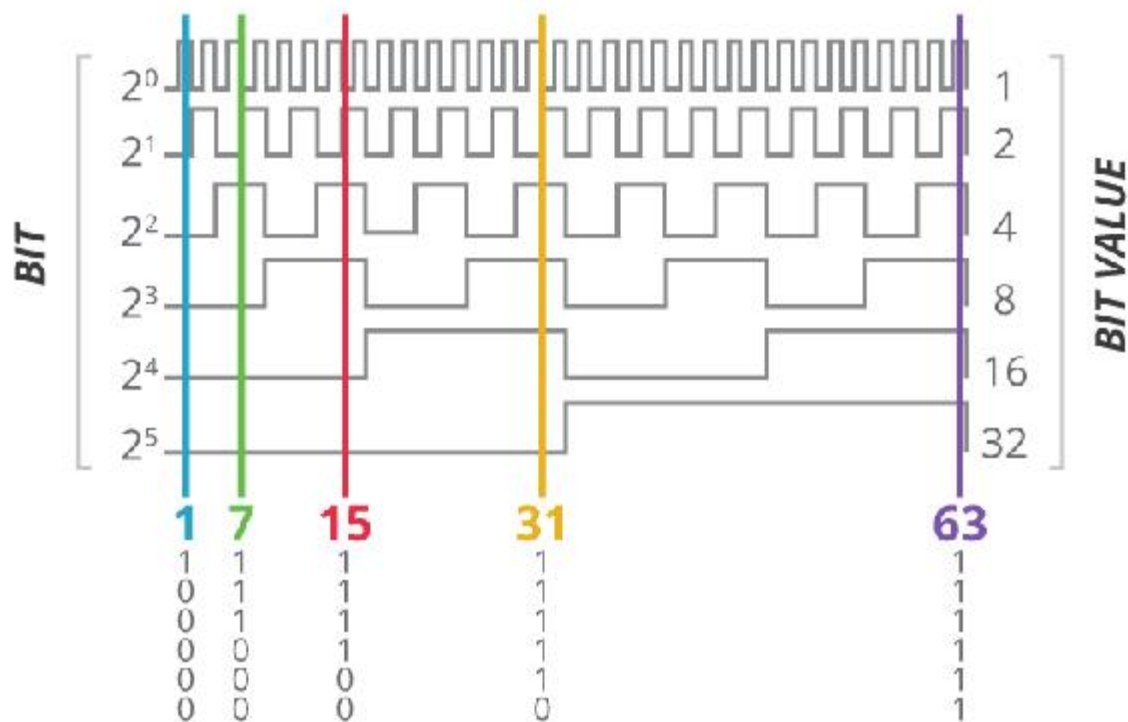
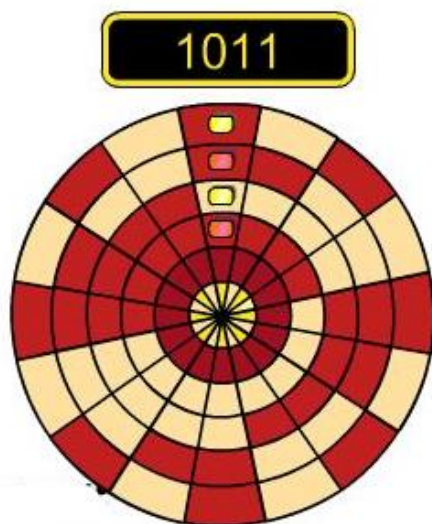
轮子 / 电机编码器(3)：增量式编码器





轮子 / 电机编码器(4)：绝对式编码器

编码器





轮子 / 电机编码器(5)：绝对式编码器

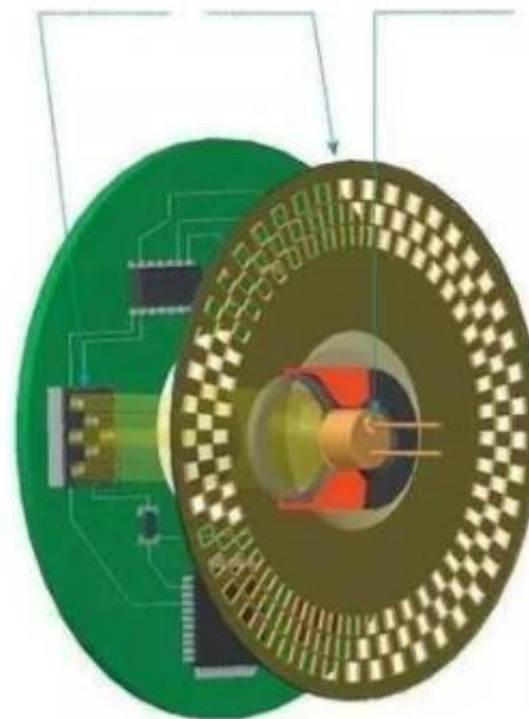


OPTICAL



CAPACITIVE

光敏接收器件 光栅盘 发光元件





轮子 / 电机编码器(6)：绝对式编码器

◆ 格雷码属于可靠性编码，是一种错误最小化的编码方式

- ◆ 虽然自然二进制码可以直接由数/模转换器转换成模拟信号，但在某些情况，例如从十进制的3转换为4时二进制码的每一位都要变，能使数字电路产生很大的尖峰电流脉冲。
- ◆ 格雷码在相邻位间转换时，只有一位产生变化。由于这种编码相邻的两个码组之间只有一位不同，即可减少出错的可能性。

◆ 格雷码（Gray Code）是一个数列集合，每个数使用二进位来表示，假设使用n位元来表示每个数字，任两个数之间只有一个位元值不同。

- ◆ 例如以下为3位元的格雷码：000 001 011 010 110 111 101 100
- ◆ 如果要产生n位元的格雷码，那么格雷码的个数为 2^n



轮子 / 电机编码器(7)：绝对式编码器

```
[java] view plain copypublic String [] GrayCode (int n) {  
    // produce 2^n grade codes  
    String [] graycode = new String [ (int) Math.pow (2, n) ] ;  
    if (n == 1) {  
        graycode [0] = "0";  
        graycode [1] = "1";  
        return graycode;  
    }  
    String [] last = GrayCode (n - 1) ;  
    for (int i = 0; i << last.length; i++) {  
        graycode [i] = "0" + last [i] ;  
        graycode [graycode.length - 1 - i] = "1" + last [i] ;  
    }  
    return graycode;  
}
```




导向传感器

- ◆ 导向传感器可以是本体感受式（陀螺仪、倾角仪），或外感受式（罗盘）。
- ◆ 用于确定机器人的方向和倾角。
- ◆ 与适当的速度信息结合，可以将运动积分形成位置估计。
 - ◆ 这种方式称为航位推测法，用于船舶导航。



罗盘

- ◇ 从公元前2000年开始
 - ◇ 当时，中国人用丝线悬挂一条天然磁铁，为陆地战车指向。
- ◇ 地球磁场
 - ◇ 对方向的绝对测量
- ◇ 测量地球磁场有许多方法
 - ◇ 机械的磁罗盘
 - ◇ 直接测量磁场（霍尔效应，磁阻效应传感器）
- ◇ 主要缺点
 - ◇ 地球磁场很弱
 - ◇ 容易受磁性物质或其他磁源的干扰
 - ◇ 在室内环境不适用



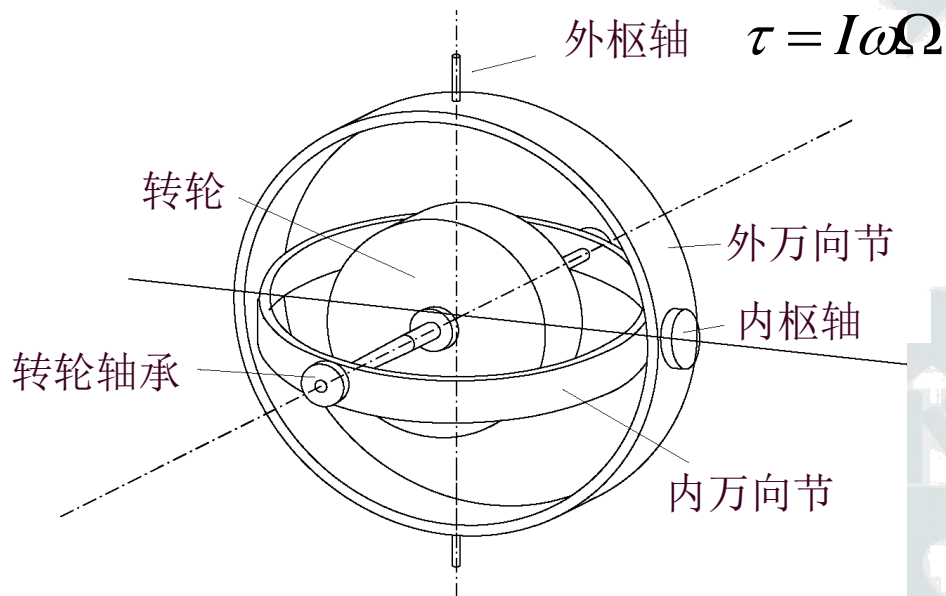
陀螺仪

- ◇ 导向传感器，用来保持相对于固定参考系的方向
 - ◇ 对移动系统方向的绝对测量。
- ◇ 有两类，机械的和光学的陀螺仪
 - ◇ 机械陀螺仪
 - ◇ 标准陀螺
 - ◇ 速率陀螺
 - ◇ 光学陀螺
 - ◇ 速率陀螺



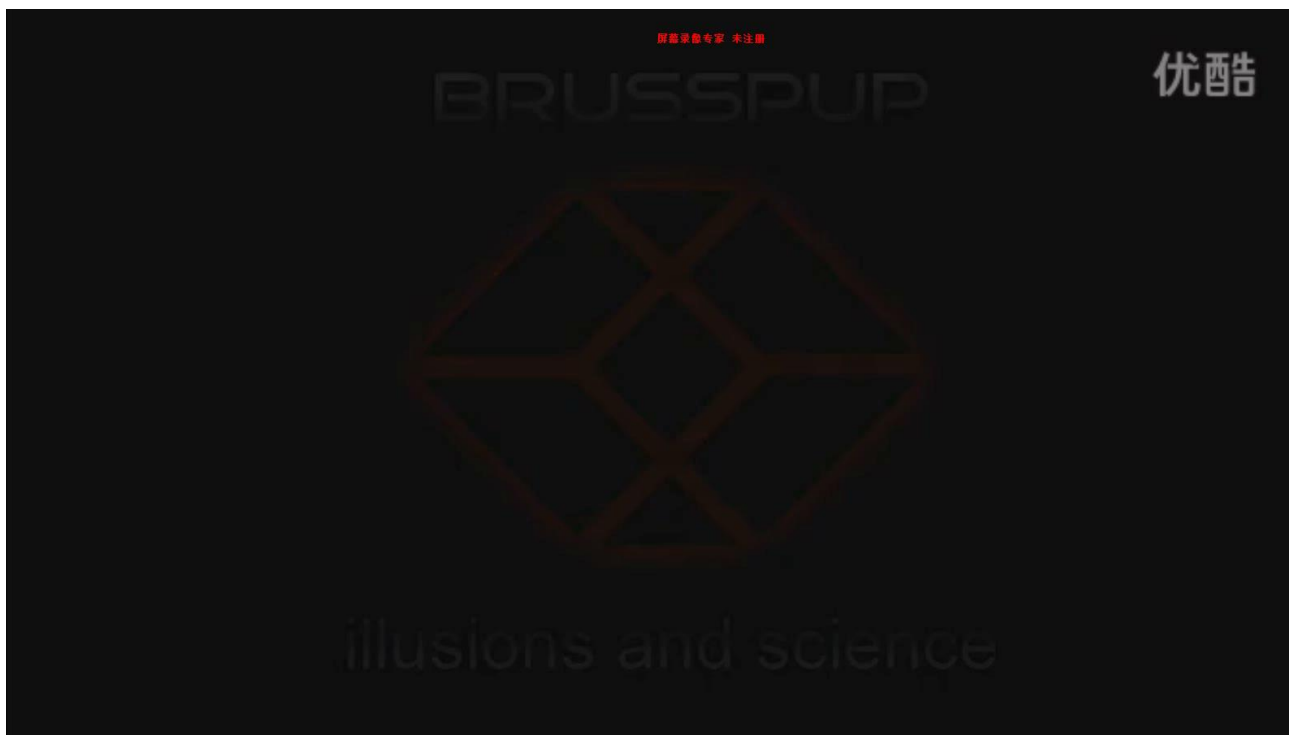
机械陀螺

- ◆ 概念：快速旋转转子的惯性性质（动量矩守恒）
 - ◆ 回转体转动
 - ◆ 陀螺仪进动
- ◆ 与转轮相关的角动量，保持陀螺轴惯性地稳定（定轴性）
- ◆ 反应力矩 τ (跟踪稳定性) 正比于转速 ω 、进动速度 Ω 和轮子惯量 I
- ◆ 从外层枢轴不能传送力矩到轮轴
 - ◆ 旋转轴是空间稳定的（惯性空间）
- ◆ 高质量陀螺仪角度漂移：6小时 0.1°
- ◆ 如果旋转轴与南北子午线对准，则地球的转动对陀螺仪的水平轴无影响。
- ◆ 如对准的是东西向，则从水平轴可以读到地球的转动





机械陀螺



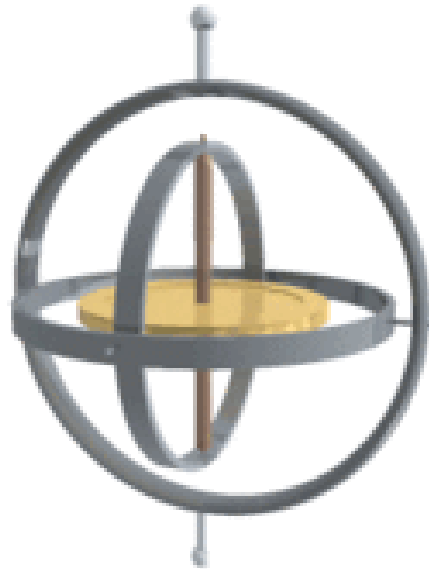


机械陀螺



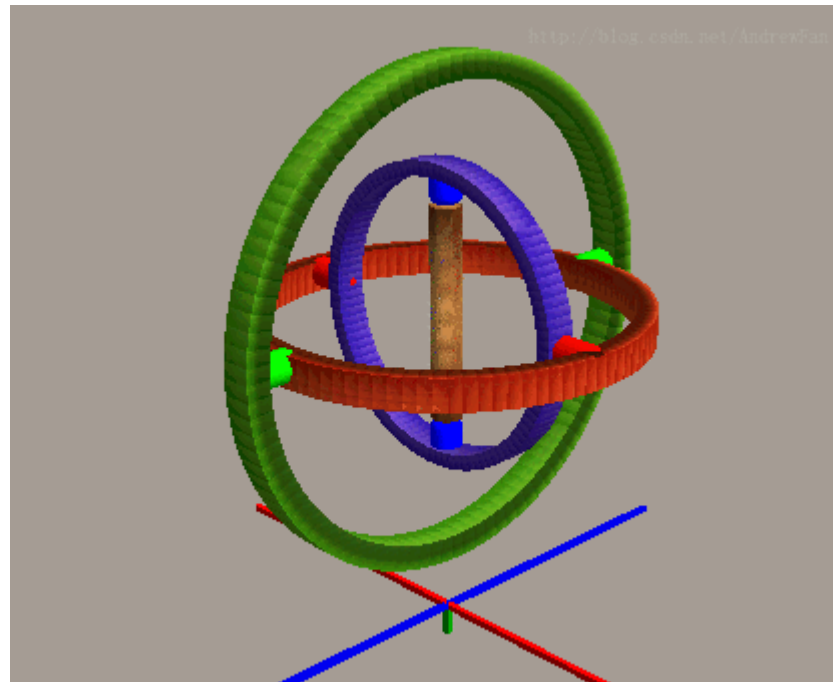


机械陀螺



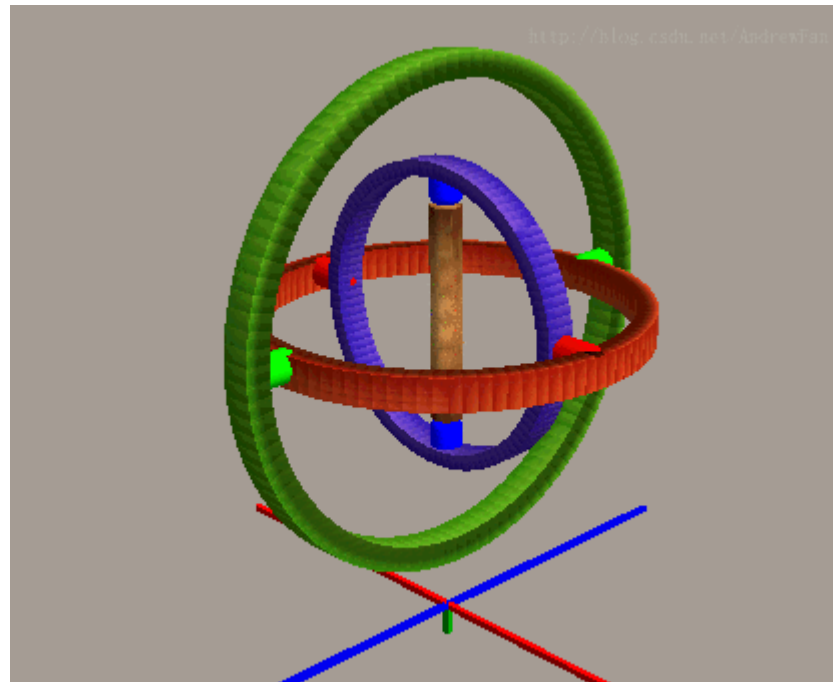


机械陀螺



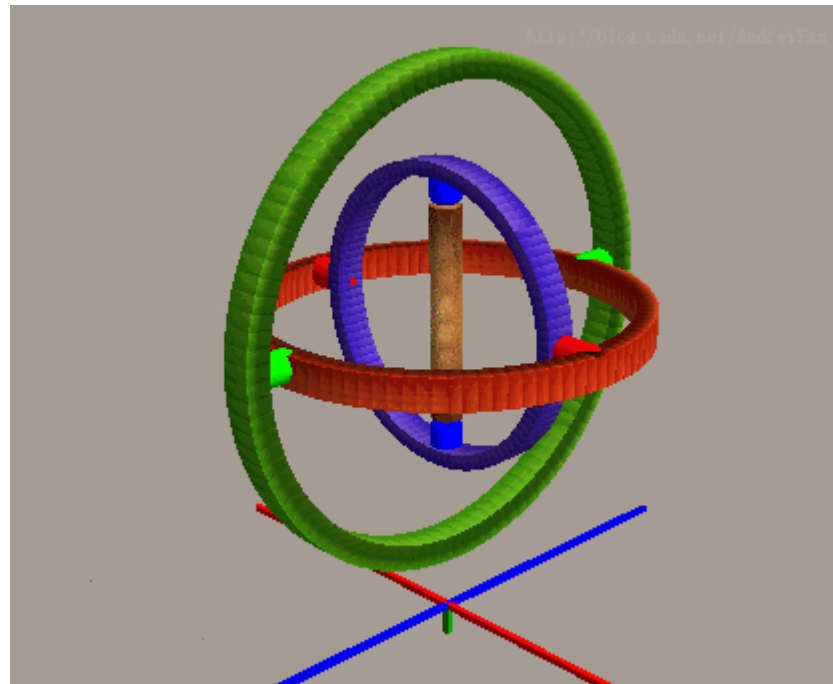


机械陀螺



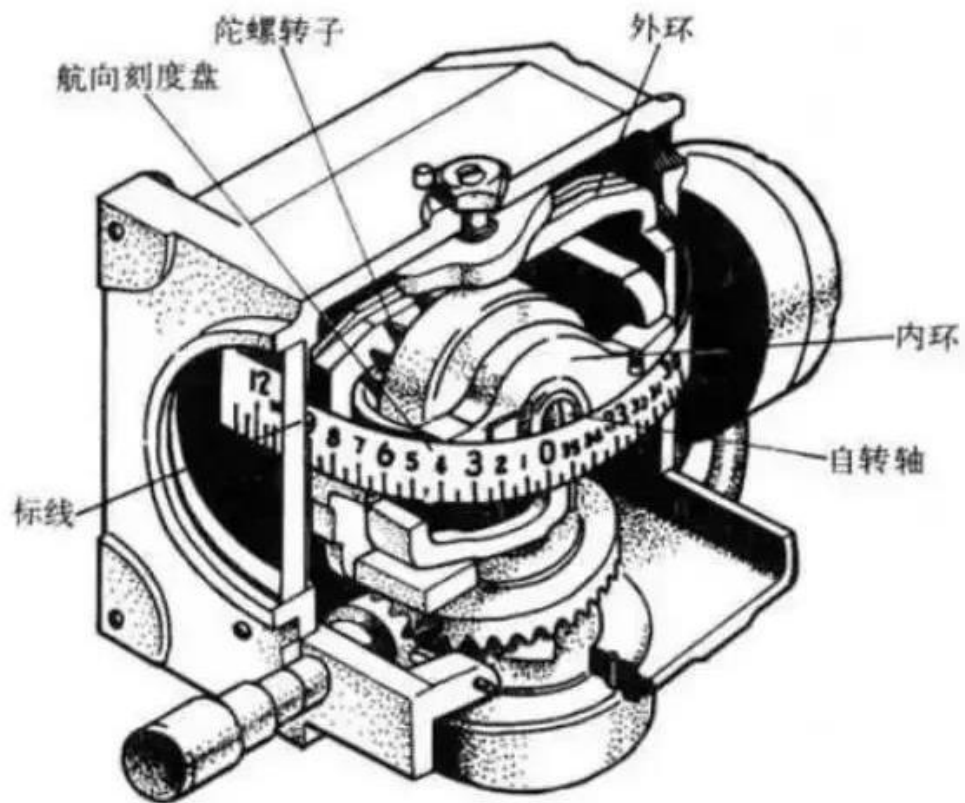


机械陀螺





机械陀螺



航向陀螺仪结构原理



速率陀螺

- ◇ 具有与正规机械陀螺相同的基本结构，但是.....
- ◇ 但是：万向节受到一个附加阻尼的扭力弹簧的约束
 - ◇ 使其能够测量角速度，而不是方向
- ◇ 其它的，更简单的陀螺，利用哥氏力（**Coriolis Force**）测量方向的变化。

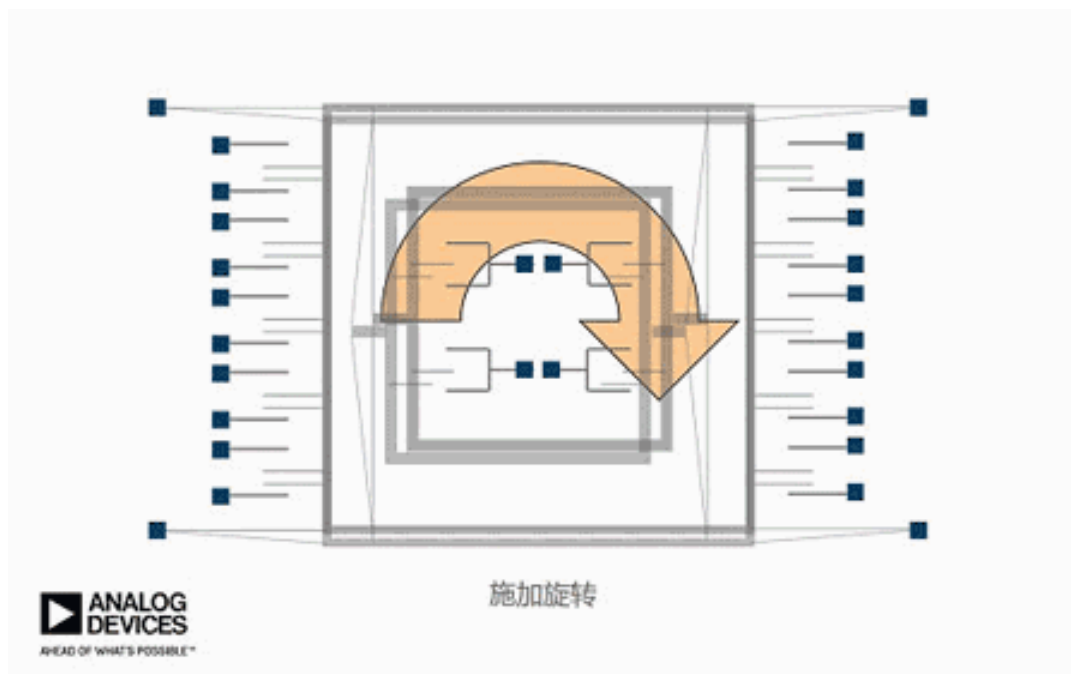


光学陀螺仪

- ◇ 首次商业应用从20世纪80年代初开始，安装在飞机中。
- ◇ 光学陀螺仪
 - ◇ 是角速度传感器，使用从同一光源发射出的两条单色光束（或激光束）
- ◇ 绕一圆柱体，一光束在光纤中顺时针行进，另一光束在光纤中逆时针行进。
- ◇ 顺着转动方向的光束
 - ◇ 光路径较短 -> 表现出较高的频率
 - ◇ 两个光束的频率差 Δf 正比于圆柱体的角速度 Ω
- ◇ 基于相同原理的固态光学陀螺采用了微制造技术



MEMS陀螺仪工作原理





MEMS陀螺仪工作原理





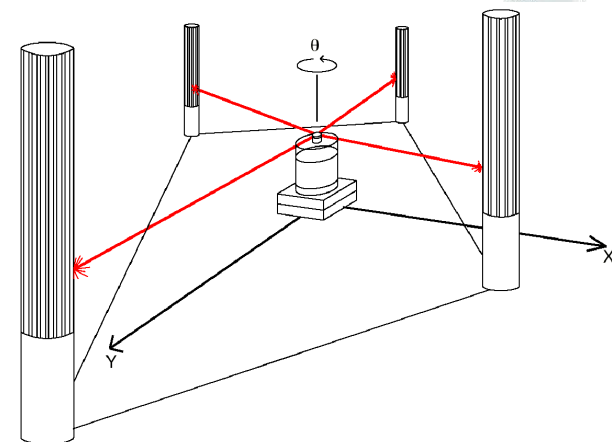
陀螺鸡





基于地面的主动和被动信标

- ◆ 在移动机器人中解决定位问题的一个很好的方法
- ◆ 信标是发信号的导航设备，且自身位置精确已知。
- ◆ 自从人类开始旅行，基于信标的导航一直在使用着
 - ◆ 自然信标 (陆标)，如星、山、太阳
 - ◆ 人造信标，如灯塔
- ◆ 新近出现的全球定位系统 (GPS) 彻底改革了现代导航技术
 - ◆ 已经成为室外移动机器人的一个主要的传感器
 - ◆ 对于室内机器人，GPS 不适用
- ◆ 在室内使用信标的主要缺点：
 - ◆ 信标要求改造环境
-> 费用增加
 - ◆ 缺乏灵活性和对于环境变化的适应性





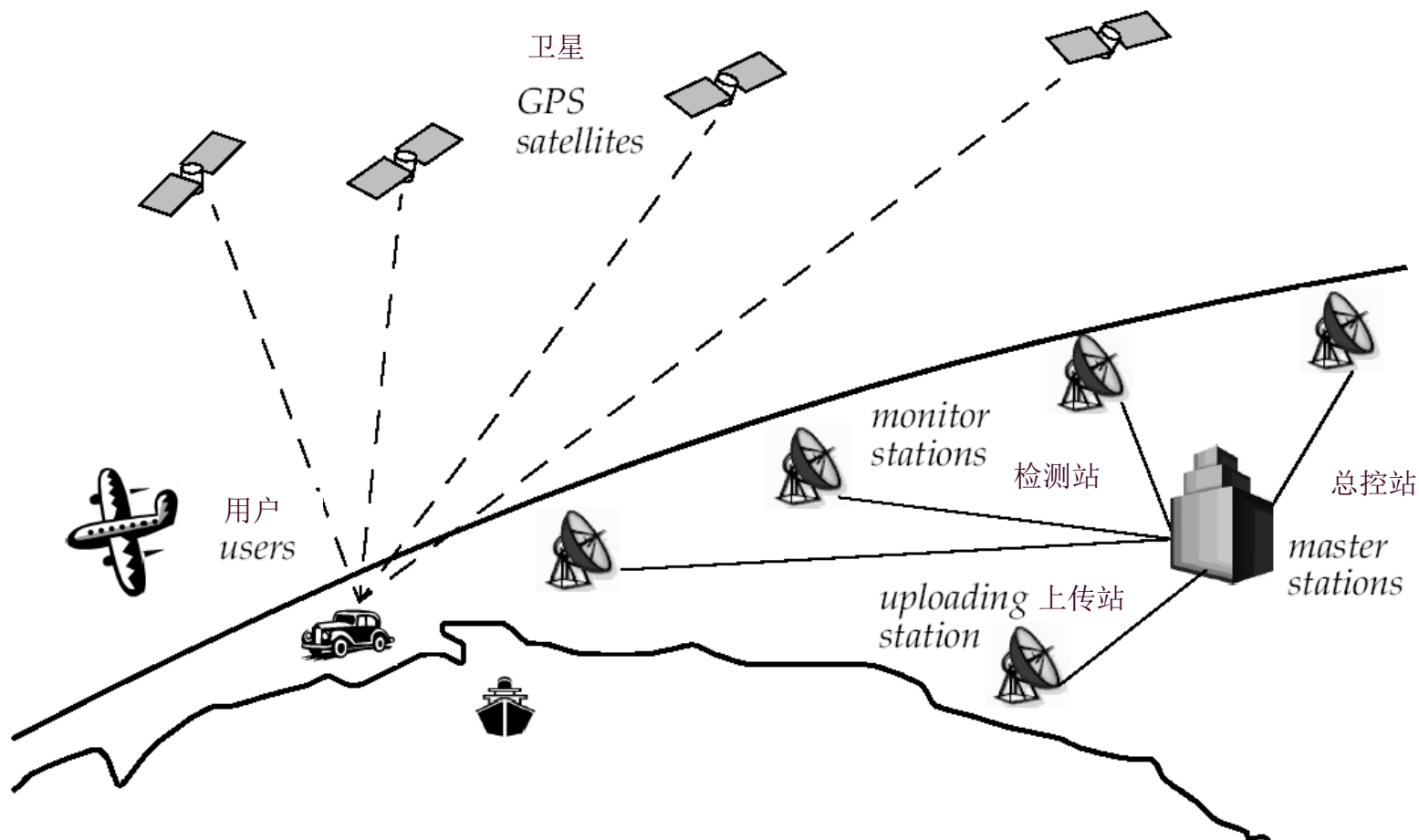
全球定位系统 (GPS) (1)

- ◆ 为军事应用所开发
- ◆ 现在可方便地用于商业用途。
- ◆ 24（包括 3 颗备用）卫星，每12小时绕地球一周，轨道高度为 20.190 千米。
- ◆ 4 颗卫星分别位于与地球赤道平面成 55° 的 6 个不同平面中。
- ◆ 任一 GPS 接收器都是根据测量“穿越时间”确定位置

- ◆ 技术的挑战：
 - ◆ 各卫星与 GPS 接收器之间的时间同步
 - ◆ 卫星准确位置的实时更新
 - ◆ “飞越时间”的准确测量
 - ◆ 其他信号的干扰



全球定位系统 (GPS) (2)



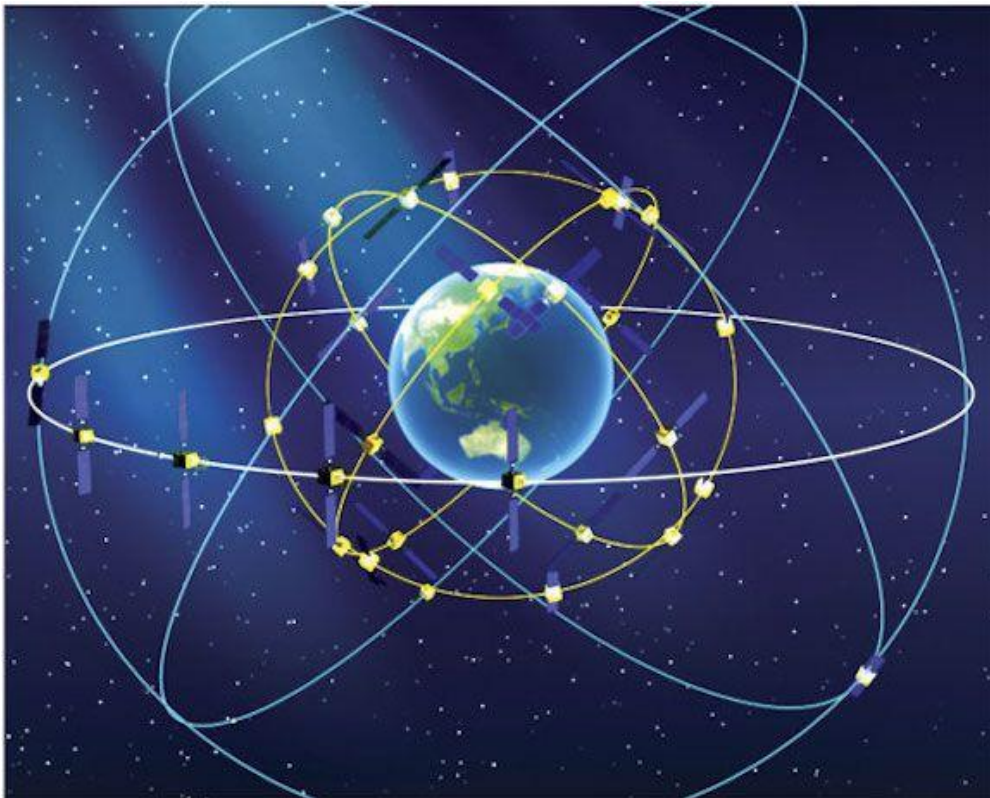


全球定位系统 (GPS) (3)

- ◇ 时间同步：
 - ◇ 各卫星携带原子钟
 - ◇ 不同的地面站对卫星监控
- ◇ 极精准地同步时间是极端重要的
 - ◇ 电磁波以光速传播
- ◇ 粗略地，每纳秒 (ns) 0.3 m
 - ◇ 定位精度与时间测量的精度成正比。
- ◇ 实时更新卫星的准确位置：
 - ◇ 在广阔地域分布的多个地面站对卫星监测
 - ◇ 主站分析所有测量数据，并将各卫星的真实位置发送给卫星
- ◇ “飞越时间”的测量
 - ◇ 接收器将一个伪码与从卫星来的相同码做相关计算
 - ◇ 最相关时对应的时延，即表示“穿越时间”
 - ◇ GPS接收器上的石英钟并不非常准确
 - ◇ 测 4 颗卫星之距离
 - ◇ 允许识别三个位置变量 (x, y, z) 和一个时钟修正量 ΔT
- ◇ 近来，商业GPS接受设备的定位精度优于 2m。



全球定位系统 (GPS) (4)





西安交通大学
Xi'an Jiaotong University

*Systems Engineering Institute,
Xi'an Jiaotong University,
Xi'an ShaanXi,
710049, P.R.China
Phone: 86-29-82667771*

End.