



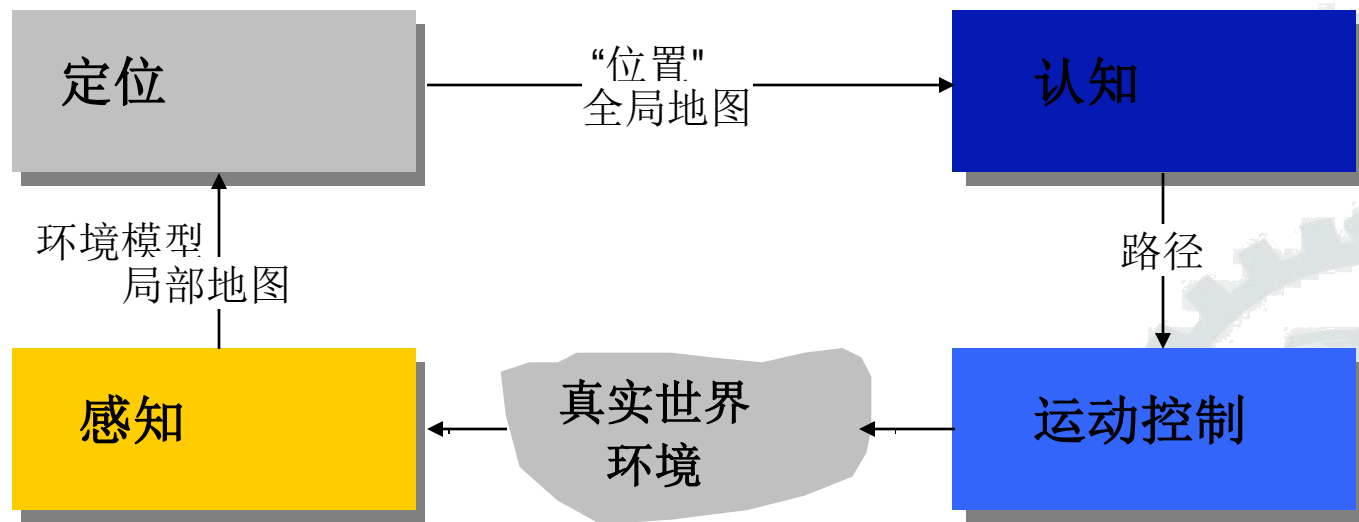
第 4 章 感知 (1)

- ◇ 传感器分类
- ◇ 传感器性能特征
- ◇ 各种传感器介绍



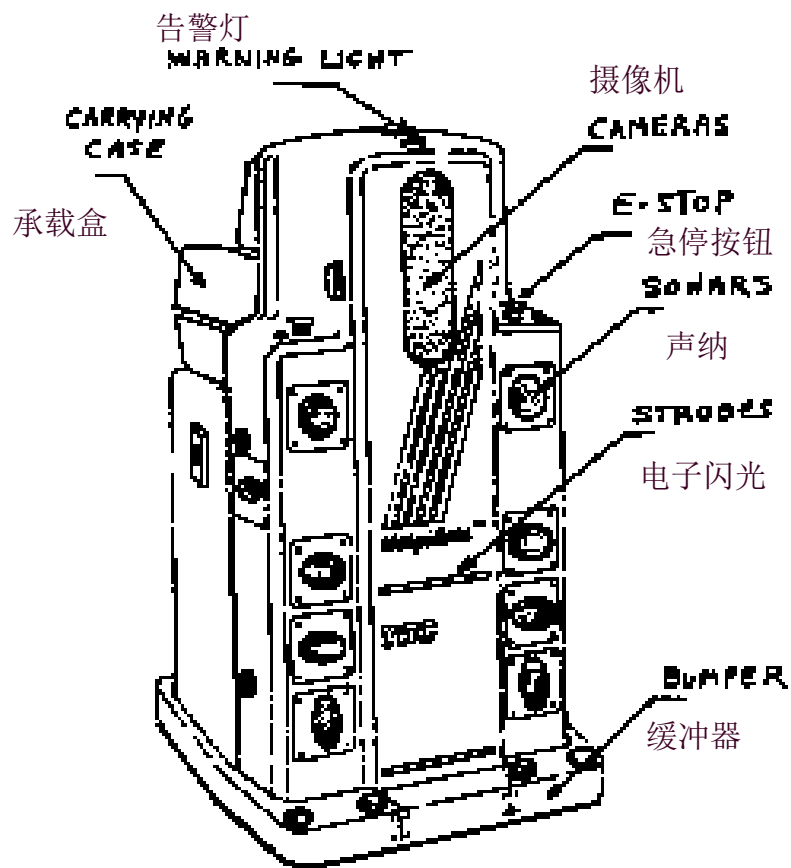
感知

- ◇ 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



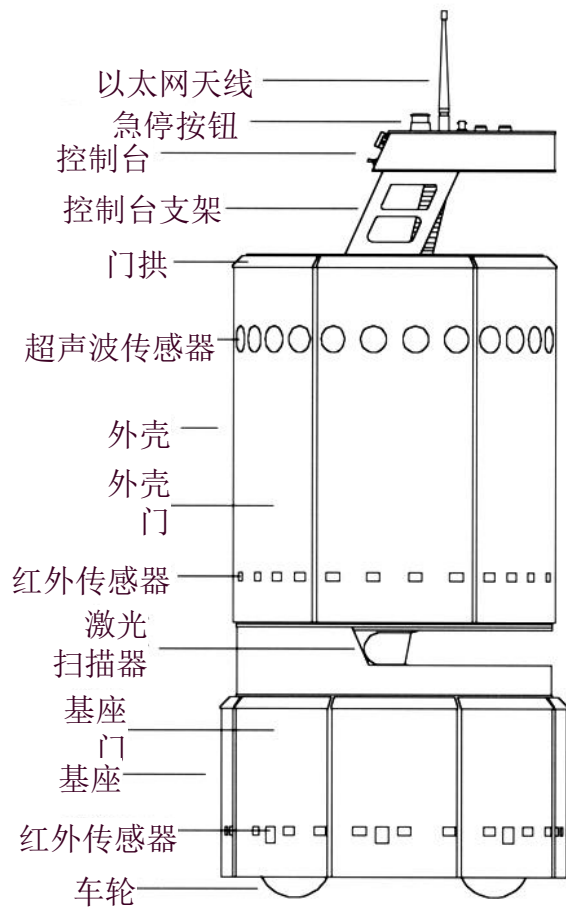


例：TRC公司的HelpMate（助手）



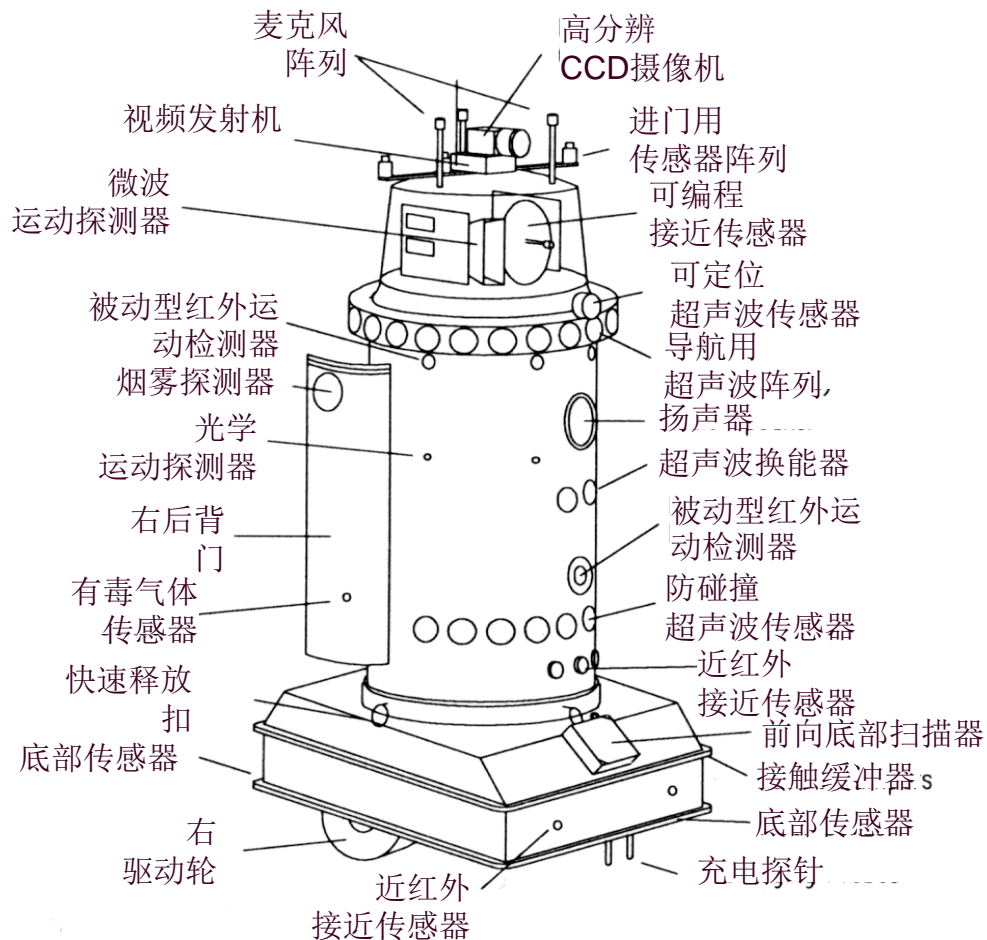


例：现实环境接口 B21



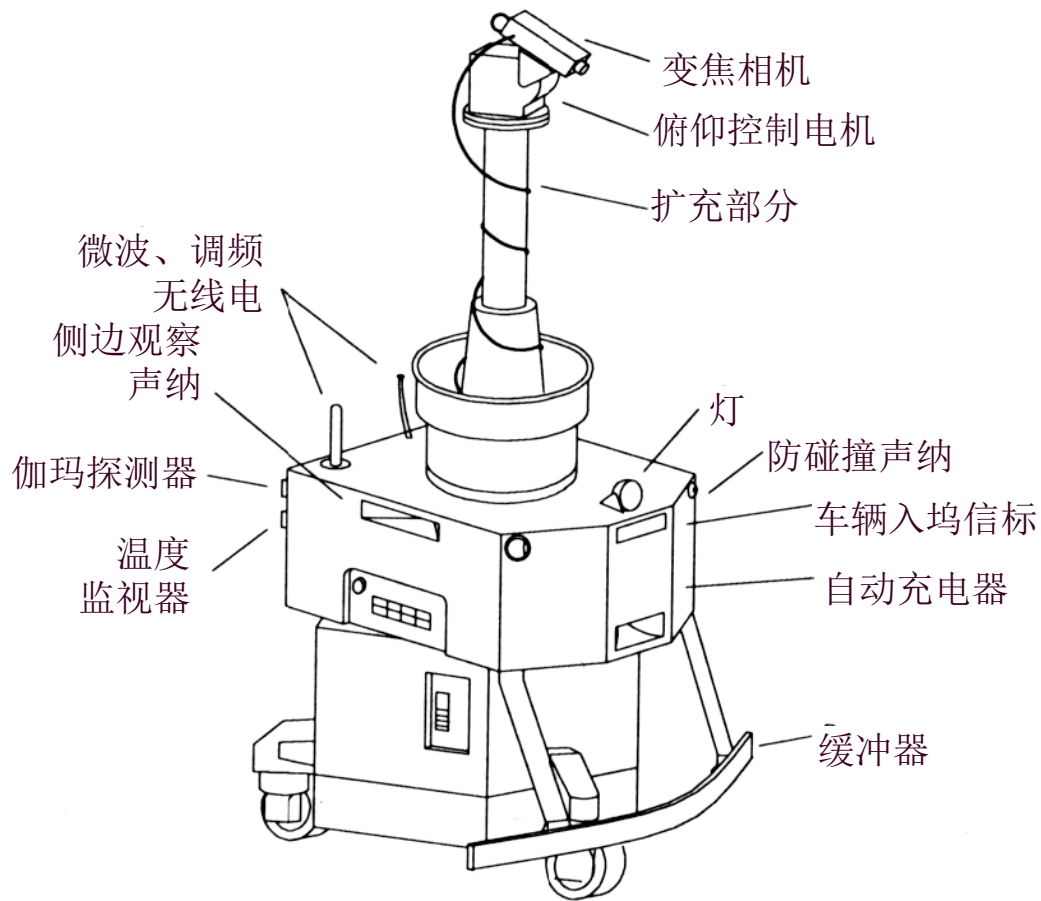


例：Robart II, H.R. Everett





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 |
| 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

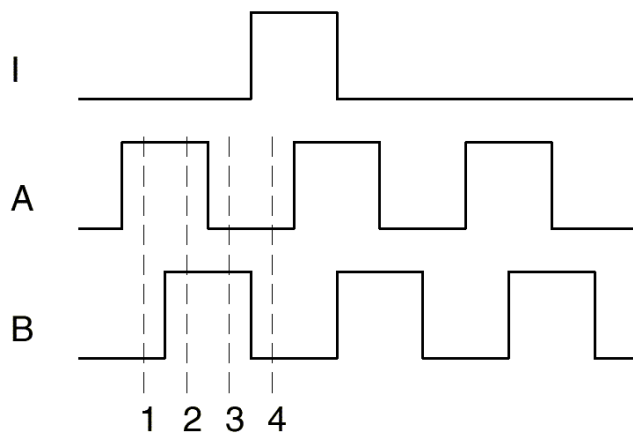
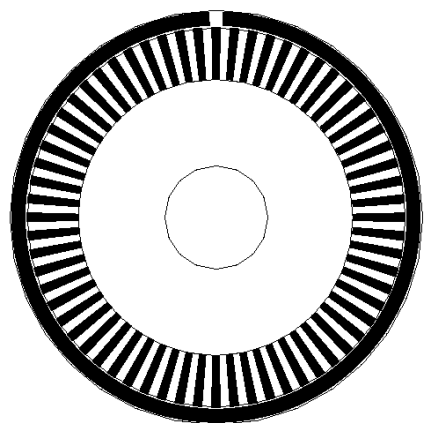
◇ - 对于信号在多径反射后返回情况的方式

◇ 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

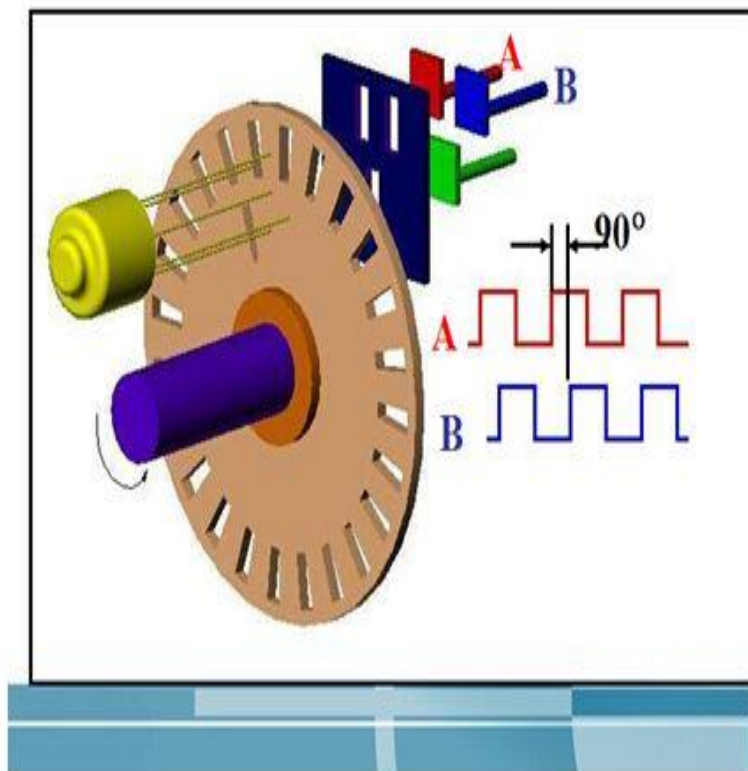
- ◇ 测量轮子或操纵舵的位置或速度
- ◇ 对轮子的转动积分，得到对机器人位置的估计 -> 里程表法
- ◇ 光学编码器是本体感受型传感器
- ◇ 典型分辨率：每转2000脉冲周期（增量）
 - ◇ 为获得高分辨率：插补方法（4倍）



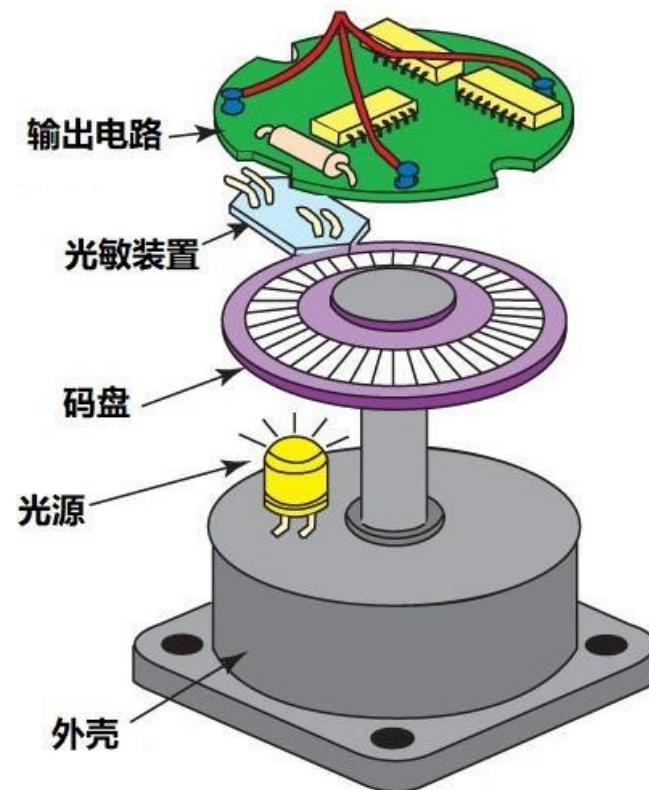
| State | Ch A | Ch B |
|----------------|------|------|
| S ₁ | High | Low |
| S ₂ | High | High |
| S ₃ | Low | High |
| S ₄ | Low | Low |



轮子 / 电机编码器(2)：增量式编码器

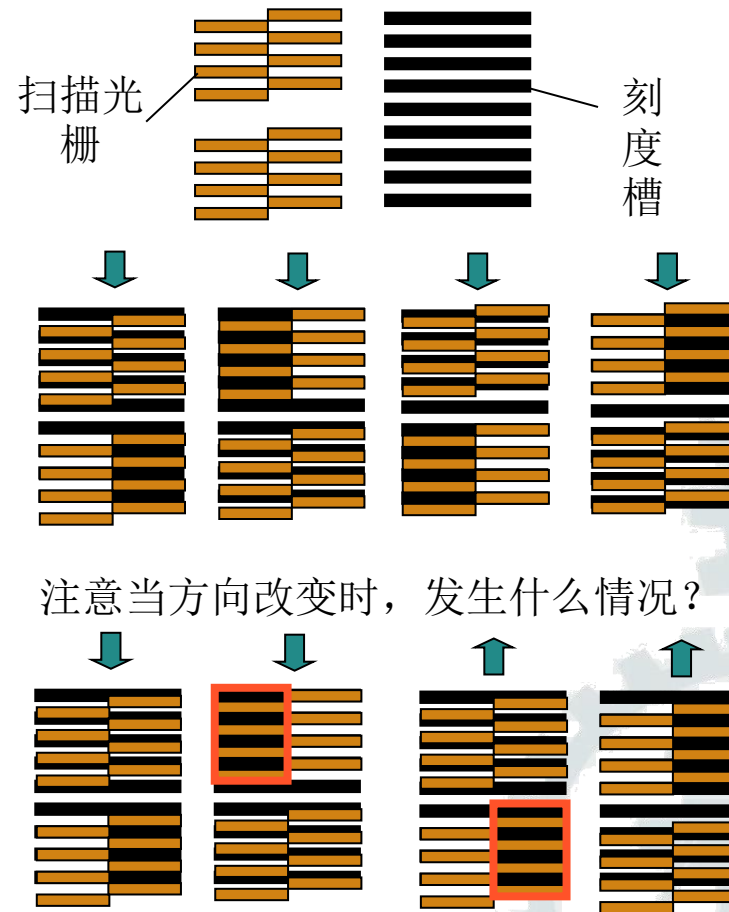
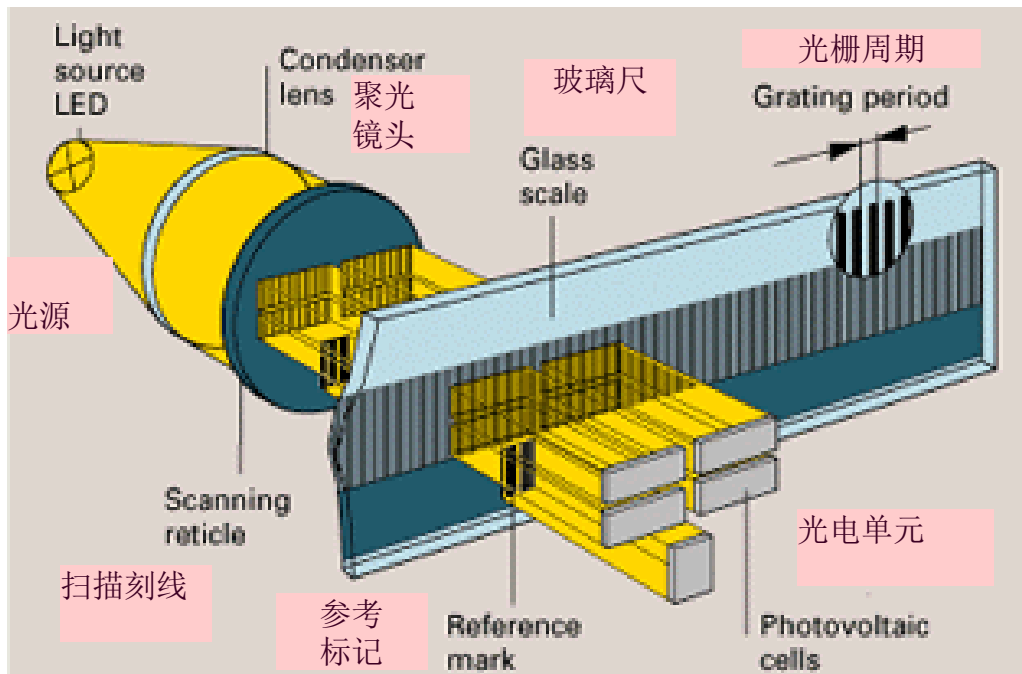


光敏元件所产生的信号A、B彼此相差 90° 相位，用于辨向。当码盘正转时，A信号超前B信号 90° ；当码盘反转时，B信号超前A信号 90° 。





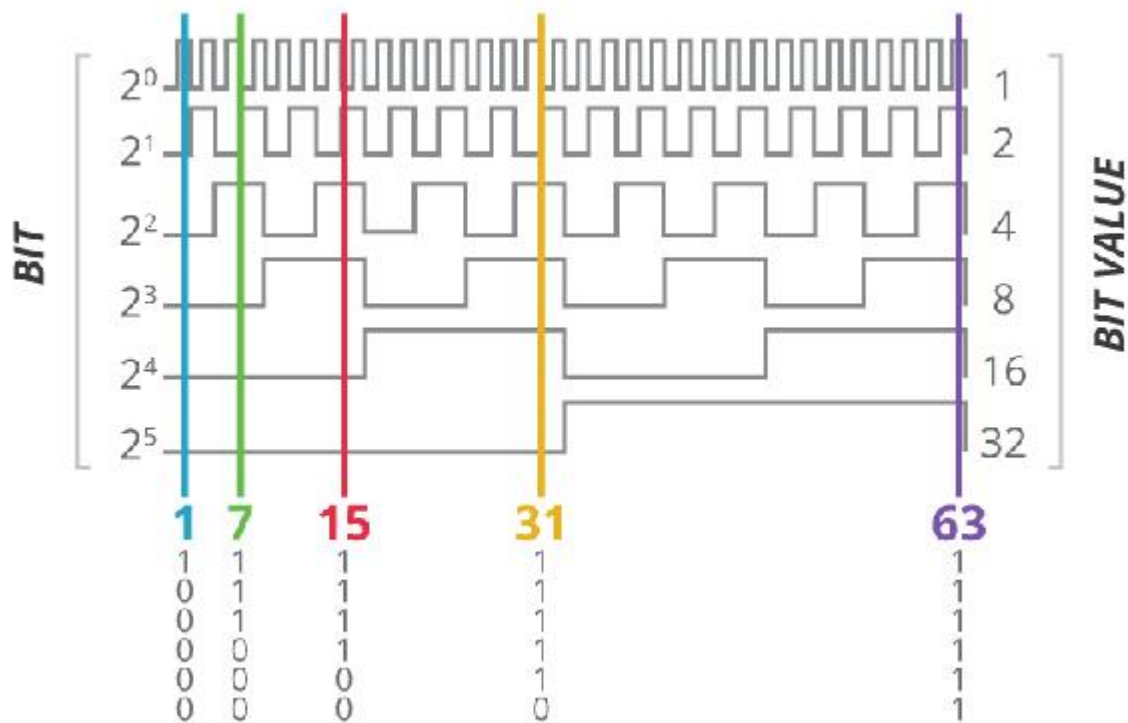
轮子 / 电机编码器(3)：增量式编码器





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

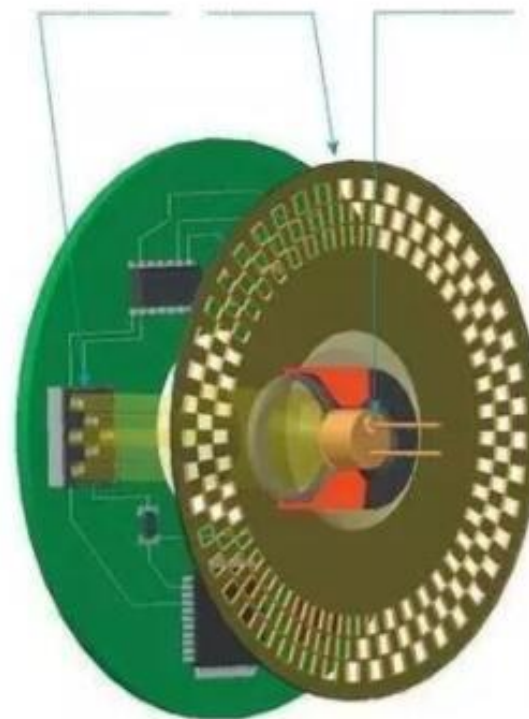


OPTICAL



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。
 - ◆ 格雷码则没有这一缺点，它在相邻位间转换时，只有一位产生变化。它大大地减少了由一个状态到下一个状态时逻辑的混淆。由于这种编码相邻的两个码组之间只有一位不同，因而在用于方向的转角位移量—数字量的转换中，当方向的转角位移量发生微小变化，而可能引起数字量发生变化时，格雷码仅改变一位，这样与其它编码同时改变两位或多位的情况相比更为可靠，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



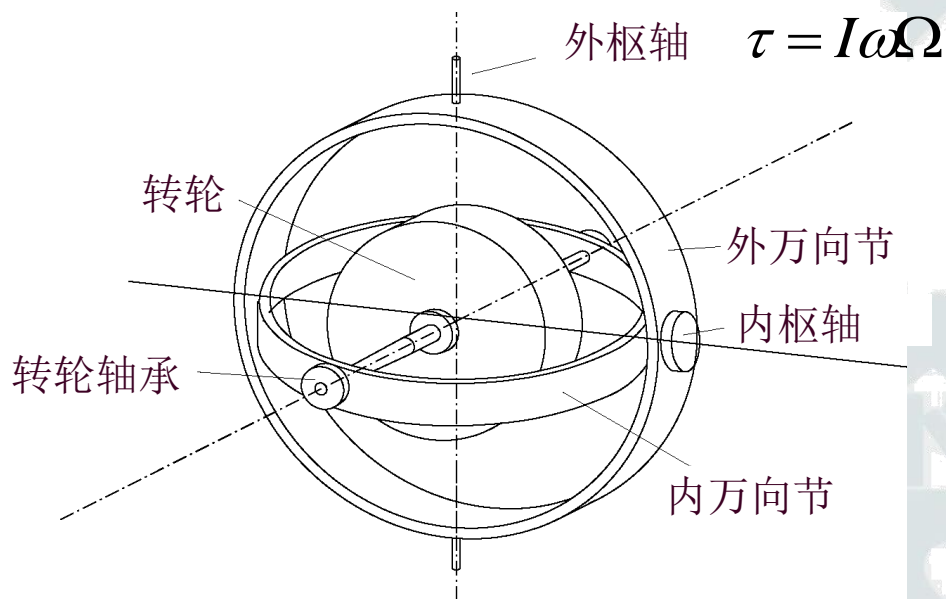
陀螺仪

- ◇ 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



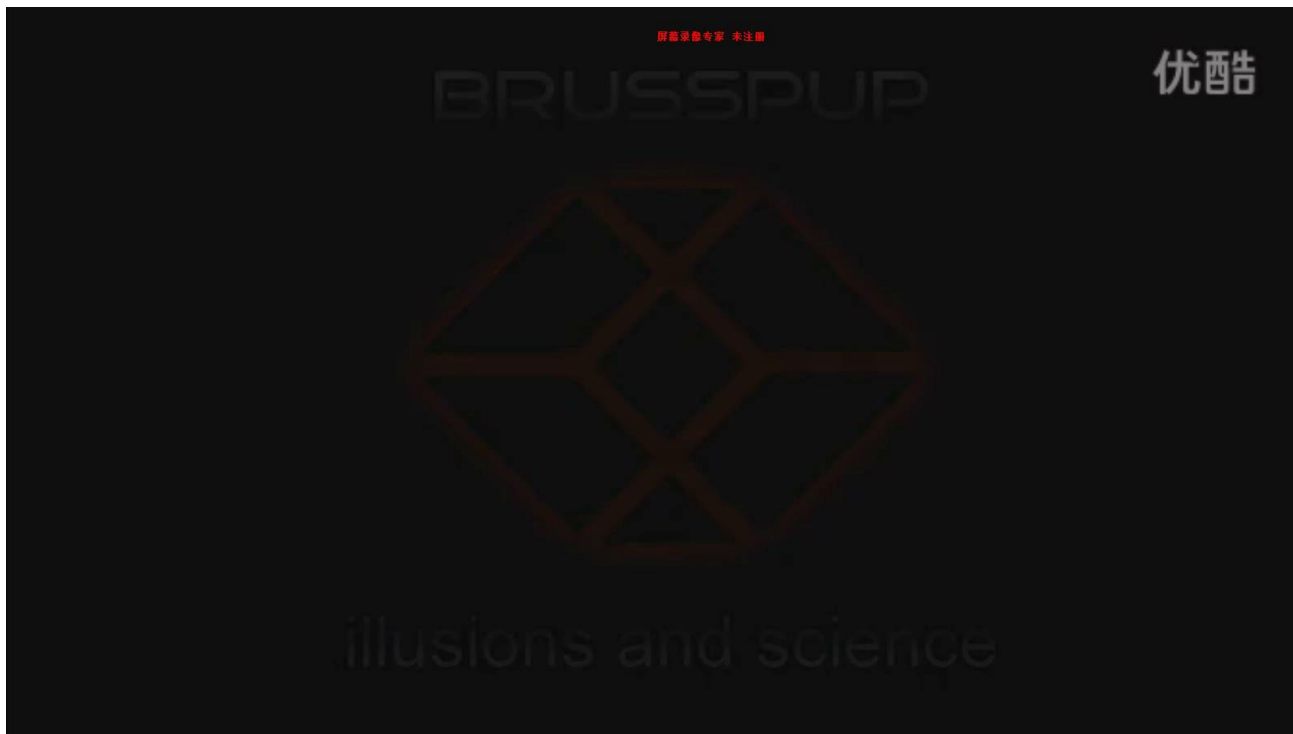
机械陀螺

- ◇ 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



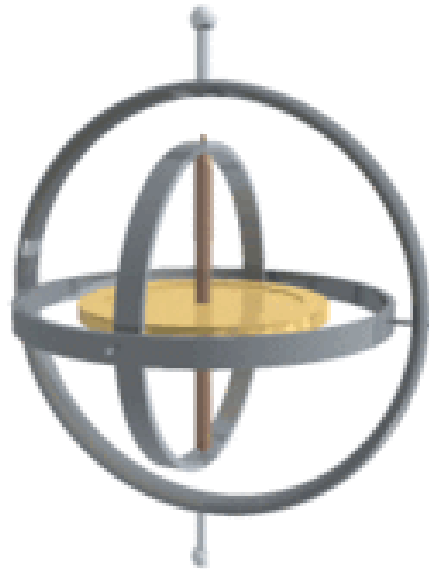


机械陀螺



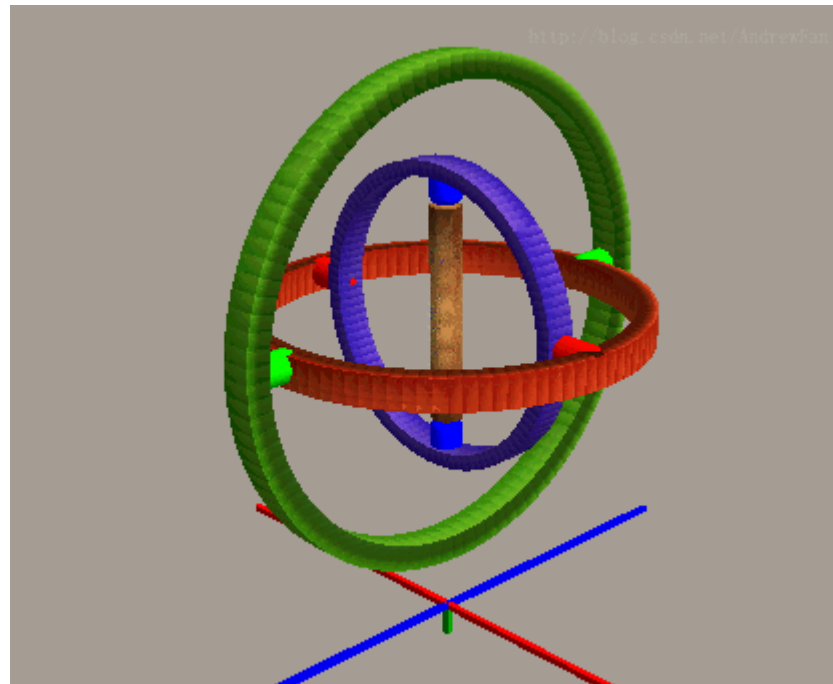


机械陀螺



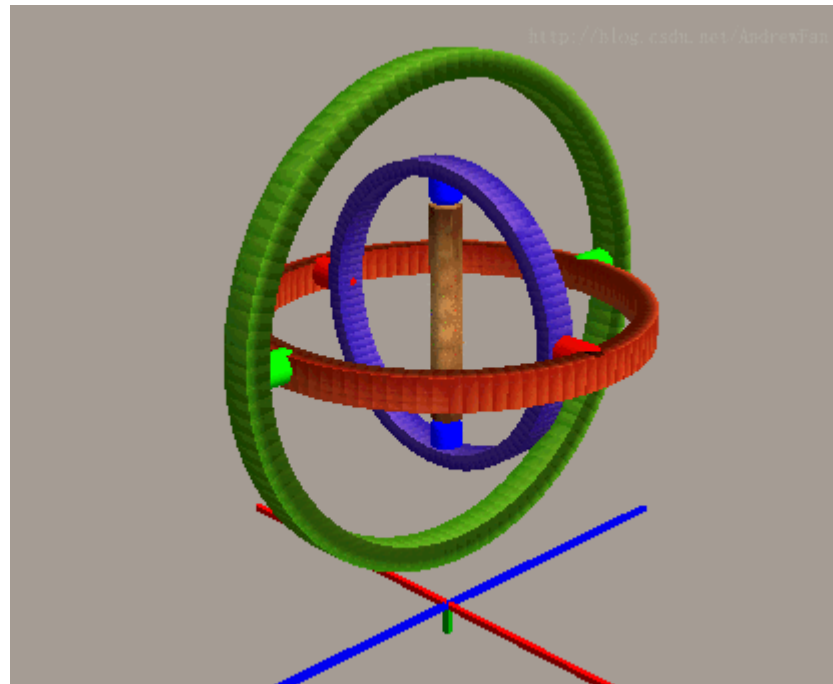


机械陀螺



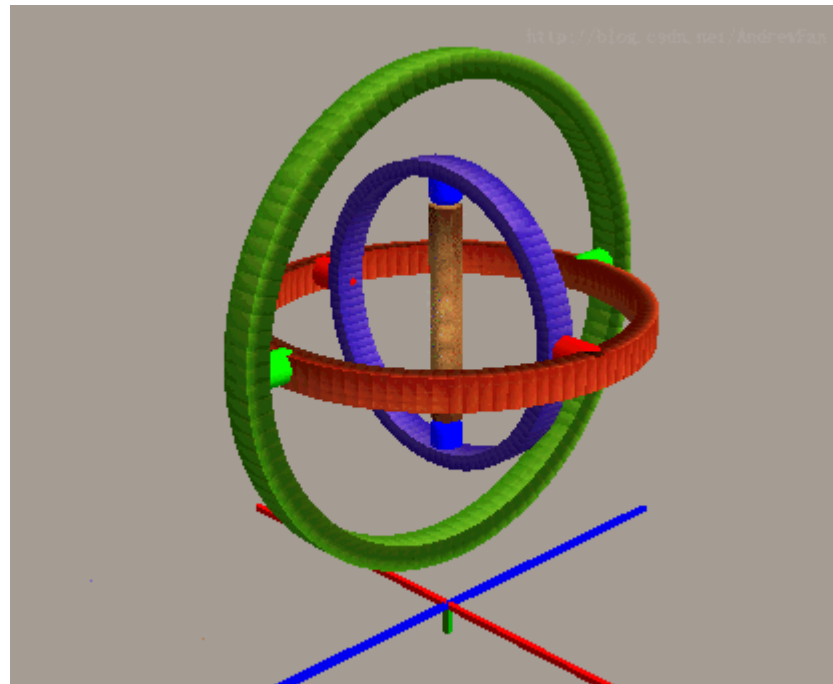


机械陀螺



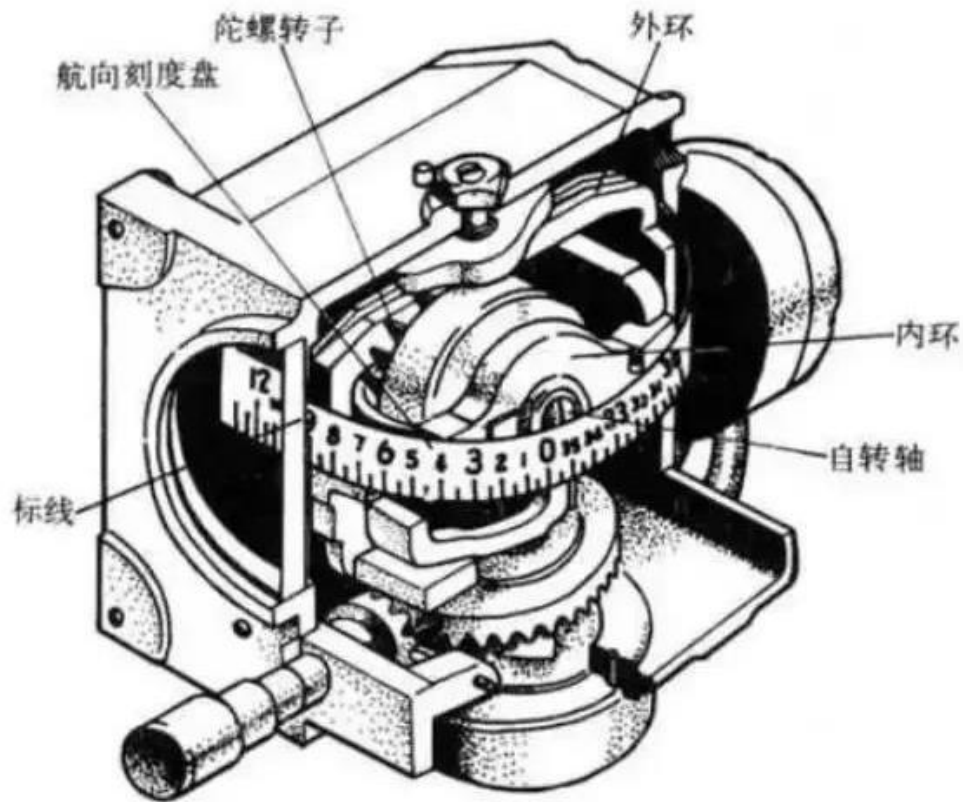


机械陀螺





机械陀螺



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。

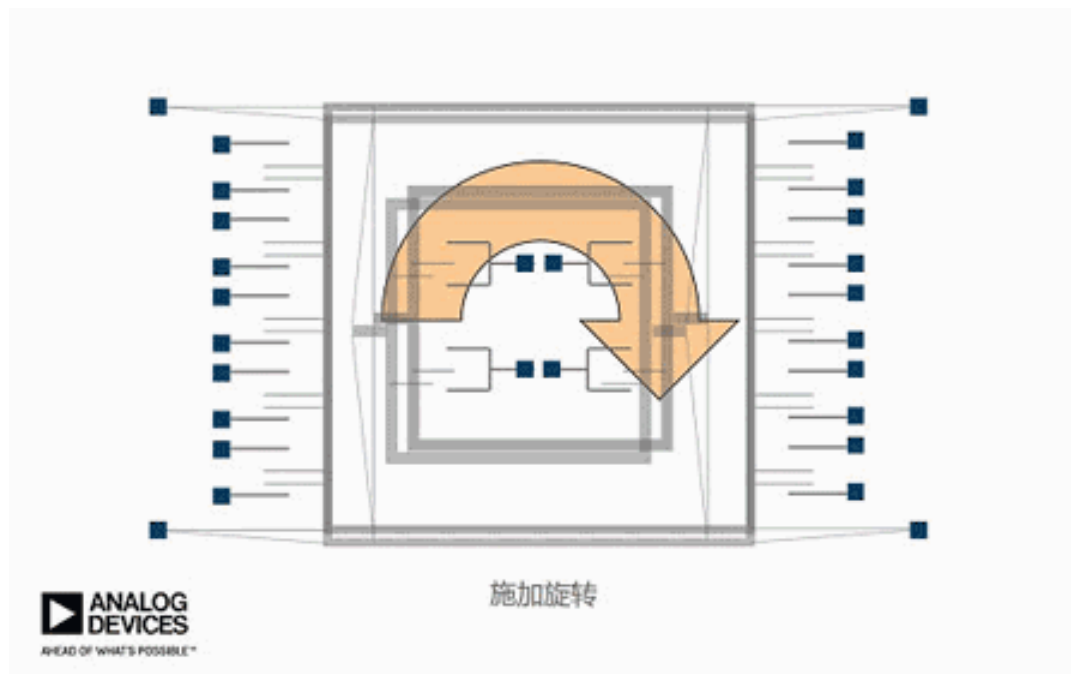


光学陀螺仪

- ◇ 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





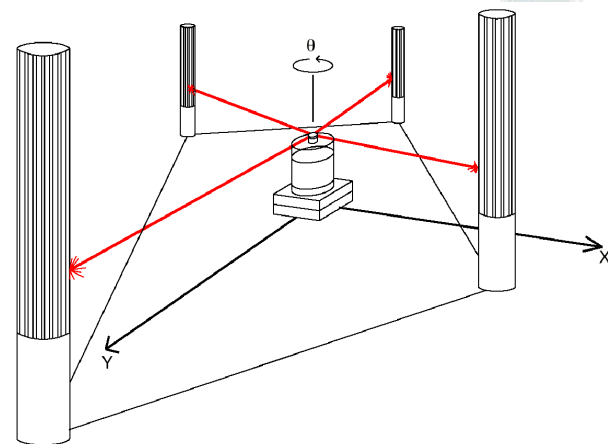
陀螺鸡





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





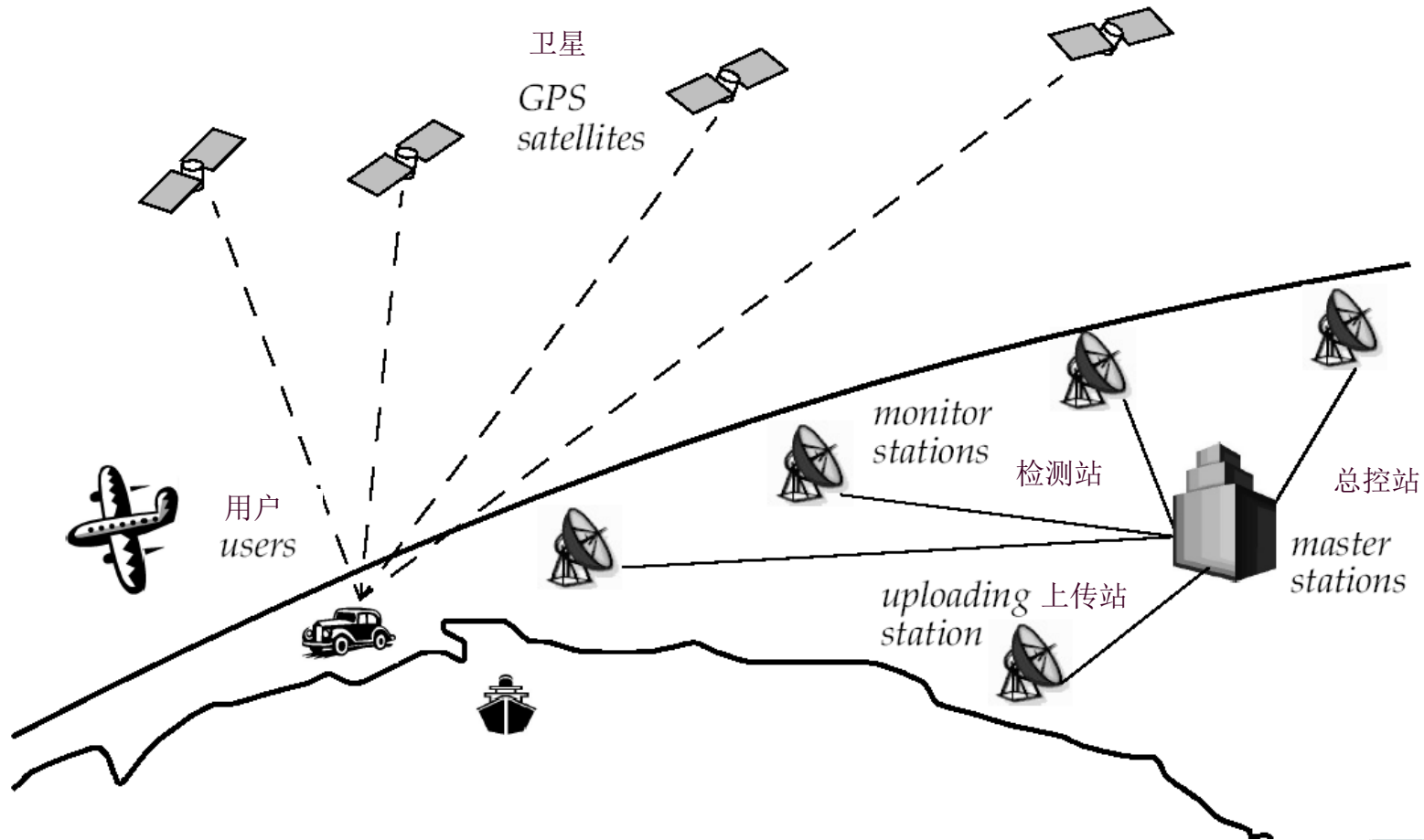
全球定位系统 (GPS) (1)

- ◇ 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)



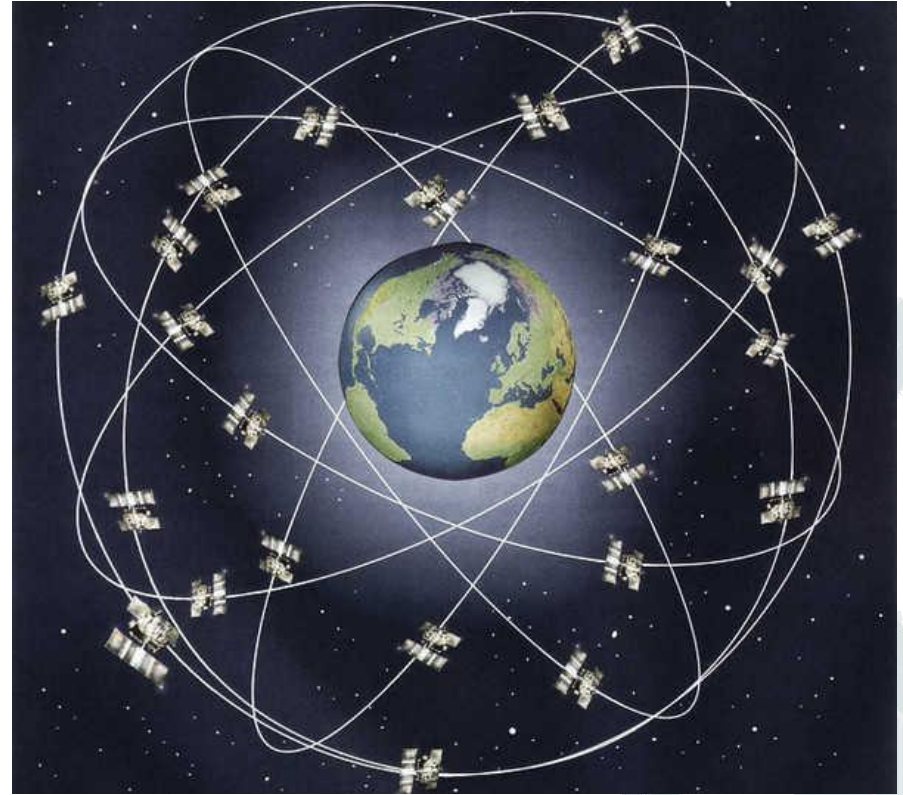
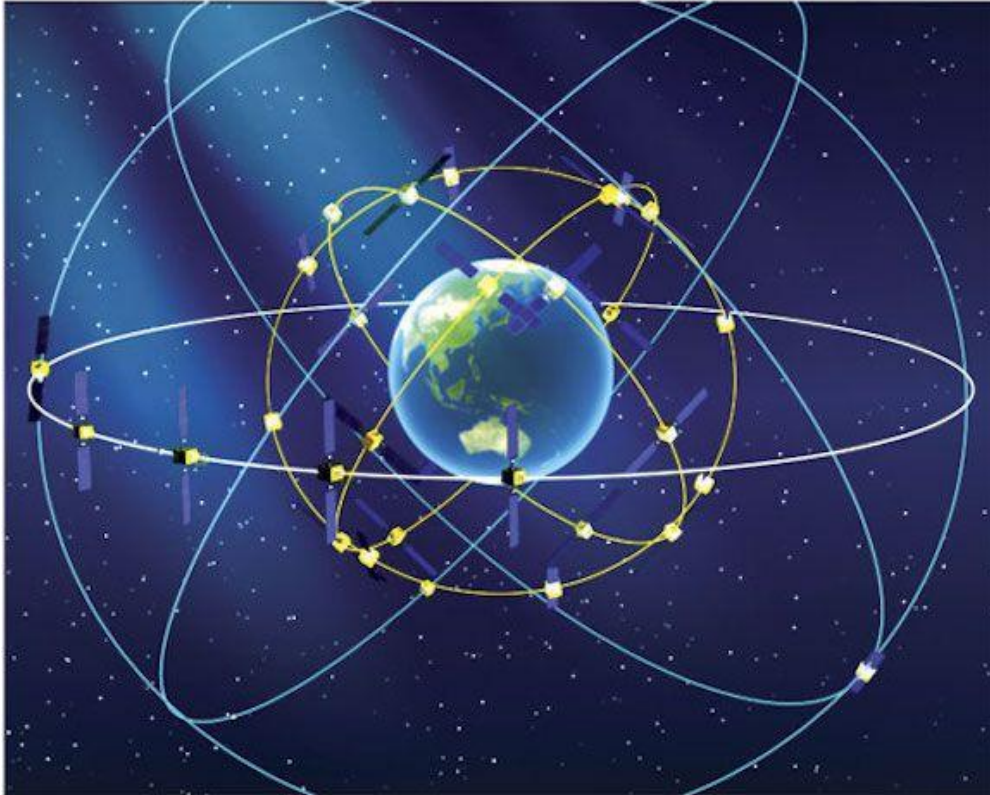


全球定位系统 (GPS) (3)

- ◇ 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.