



智能感知与物联网

授课人：王闻博

Email: wenbo_wang@kust.edu.cn

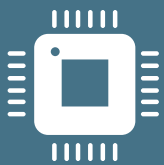
昆明理工大学 机电工程学院

2026年4月21日



第三章

智能感知与网络能量管理



3.1 传感网络和传感器设备

3.2 识别技术：条码和RFID

3.3 传感器智能化

3.4 电源管理与自持性

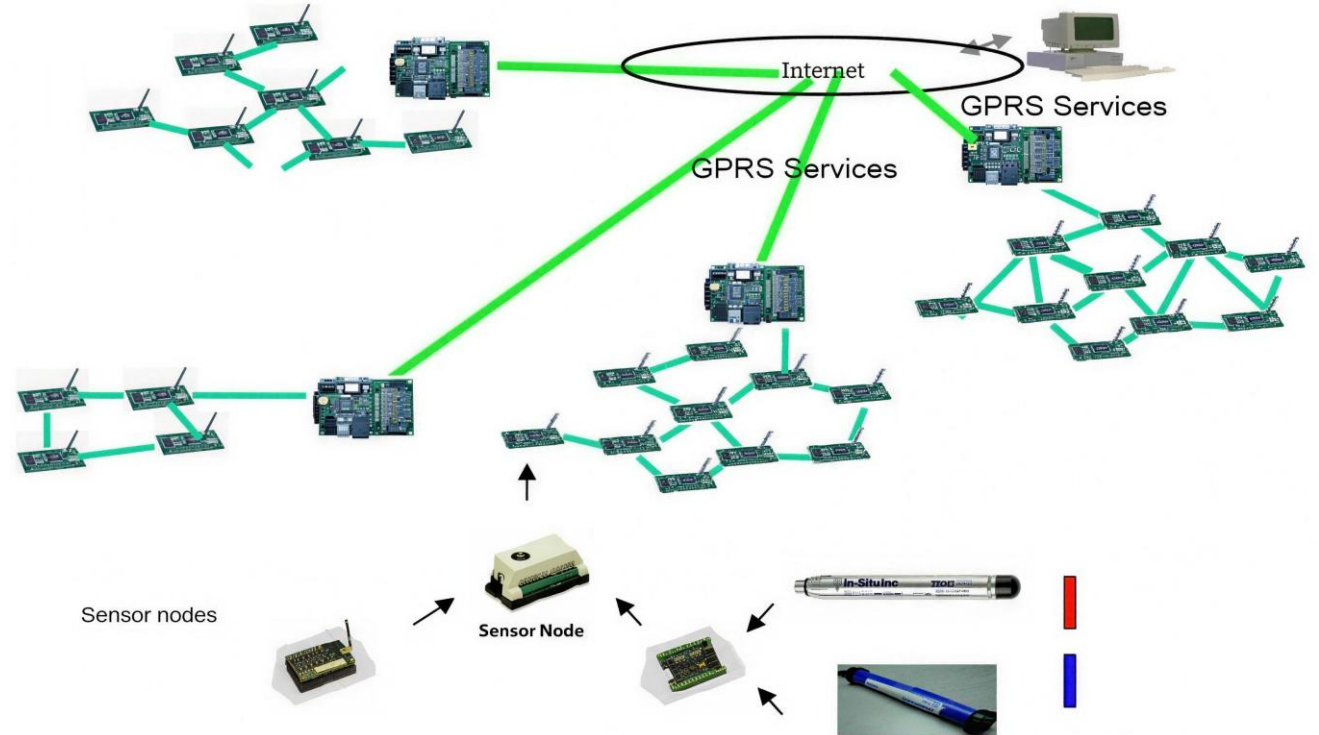
历史回顾：无线传感器网络

• 什么是无线传感器网络？

- 无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）是由大量的、静止或移动的信息传感设备（传感器）节点，以**自组织**和**多跳**的方式构成的无线网络，目的是以协作的方式感知、采集、处理和传输在网络覆盖区域内被感知对象的信息（如温度、湿度、光照、压力、振动等物理参数），并把这些信息发送给用户。

• IoT网络与无线传感器网络的区别

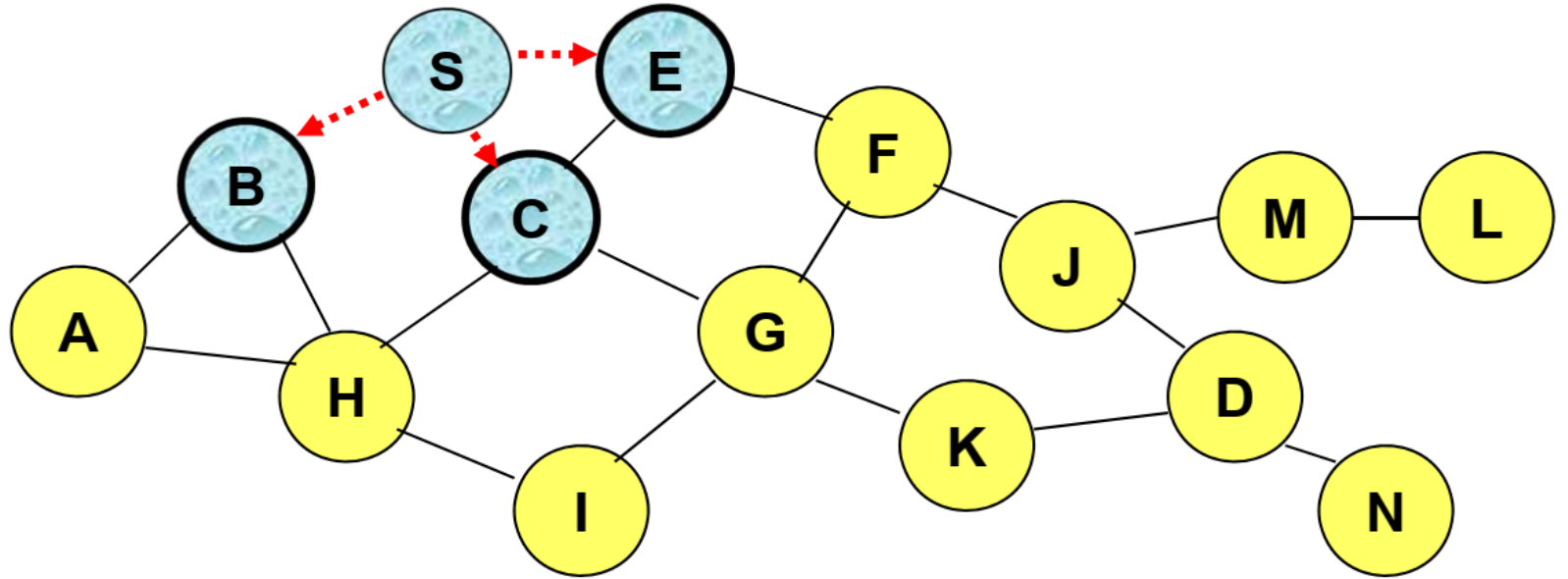
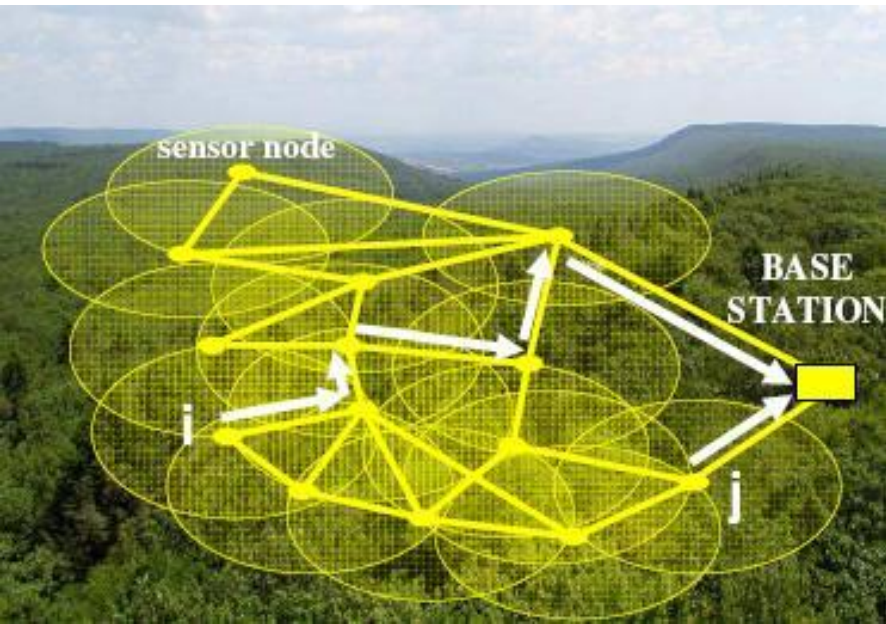
- IoT更侧重于应用体系构建，是涵盖感知层、网络层、平台层、应用层的完整生态系统。IoT强调云端集中处理与边缘智能相结合，而WSN强调环境数据采集。**WSN**可视为IoT感知层的关键技术基础之一。



第一代（2G时代）无线传感器网络拓扑示意图

历史回顾：无线传感器网络

Sensor node: 传感器节点; **BASE STATION:** 基站



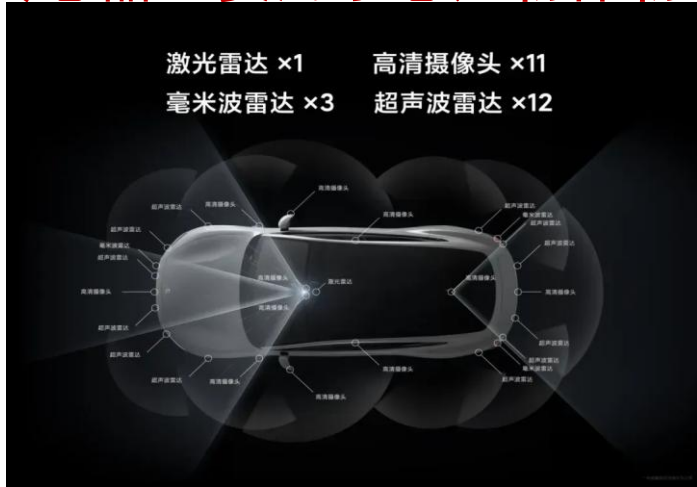
WSN的特点:

- 无线通信、多跳连接;
- 感知、采集与传输三功能为一体;
- 电池能量、通信能力、计算和存储能力均有限;
- 大规模、自组织、可靠性。

基于ZigBee协议的多跳传感器网络

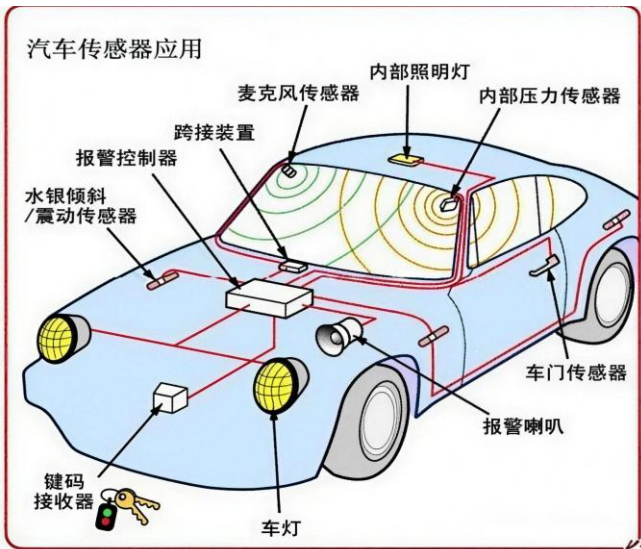
无线传感器网络：传感器

传感器主要用于感知物体物理量、化学量或生物量等信息



基本参数	后排多媒体屏幕数量	02个	02个	02个
车身	后排控制多媒体	○	○	○
电动机	语音助手唤醒词	●小曼同学	●小曼同学	●小曼同学
变速箱	语音免唤醒词	●	●	●
底盘转向	语音分区唤醒词识别	●五区域	●五区域	●五区域
车轮制动	语音连续识别	●	●	●
被动安全	可见即可说	●	●	●
主动安全				
驾驶操控				
驾驶硬件				
驾驶功能				
外观/防盗				
车外灯光				
天窗/玻璃				
后视镜				
屏幕/系统				
	智能化配置			
	车联网	●	●	●
	4G/5G网络	●5G	●5G	●5G
	OTA升级	●	●	●
	Wi-Fi热点	●	●	●
方向盘/后视镜	手机APP远程控制功能	●车门控制 ●车窗控制 ●车锁控制 ●充电管理 ●空调控制 ●方向盘加热 ●座椅加热 ●座椅通风 ●车壳查询/诊断 ●车辆定位/寻车 ●车主服务 (查找充电桩、加油站、停车场等)	●车门控制 ●车窗控制 ●车锁控制 ●车辆启动 ●充电管理 ●空调控制 ●方向盘加热 ●座椅加热 ●座椅通风 ●车况查询/诊断 ●车辆定位/寻车 ●车主服务 (查找充电桩、加油站、停车场等)	●车门控制 ●车窗控制 ●车锁控制 ●车辆启动 ●充电管理 ●空调控制 ●方向盘加热 ●座椅加热 ●座椅通风 ●车况查询/诊断 ●车辆定位/寻车 ●车主服务 (查找充电桩、加油站、停车场等)

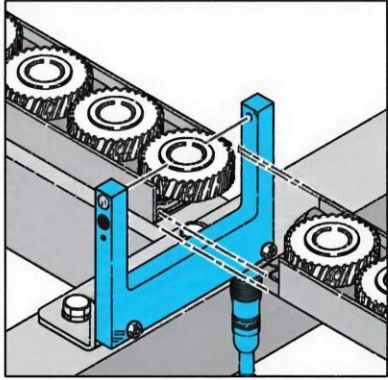
加速度计 Accelerometers	微流控 Microfluidic Devices	压力计 Pressure sensors	热探头 Thermopiles	流量计 Flow sensors
耳机 Microphones	可穿戴、VR (传感集成) 可穿戴、VR (传感集成)		气敏 Gas sensors	光敏和图像传感器 Optical & Image sensors
微泵 Micropumps	智能手机 智能手机		新应用 Emerging MEMS	
陀螺 Gyroscopes	智能家居 智能家居		汽车和自动驾驶 汽车和自动驾驶	



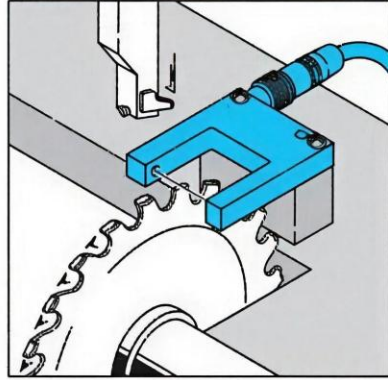
传感器类型：

- 压力、温度、流量、油料位置、加速度等传统检测参数；
- 微流、位置、角度、光敏、气敏等传感器
- 车门、后备箱门、钥匙等开关量检测

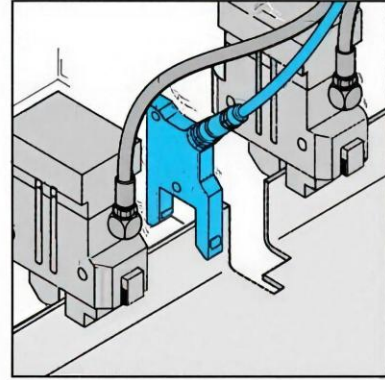
传统传感器设备



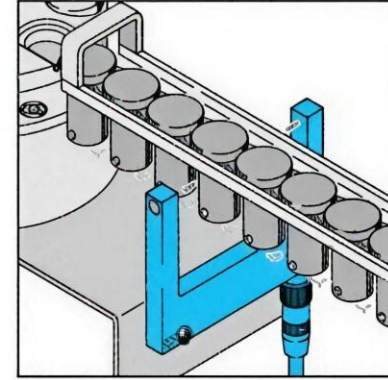
零部件检查
OGU ...



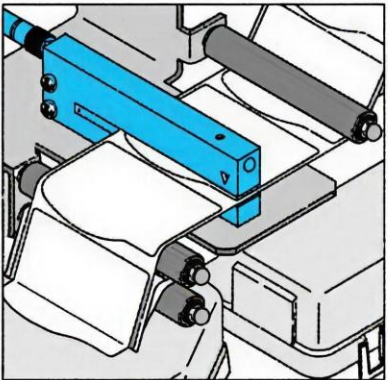
质量监控
OGU ...



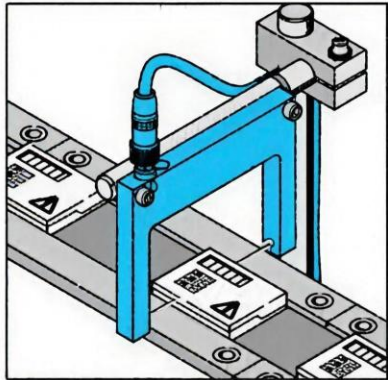
零部件检查
OGU ... P2LK



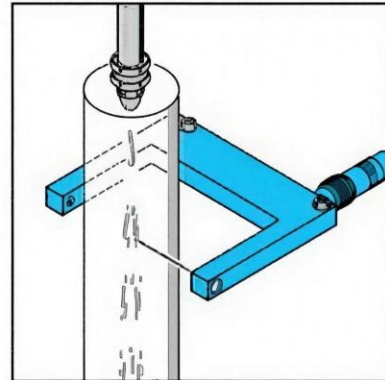
物件停顿监控
OGUTID ...



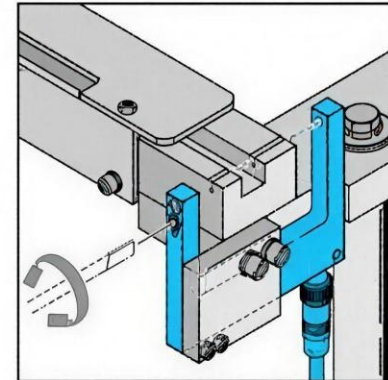
标签检测
OGUTI ...



元器件检测
OGUFIX ...



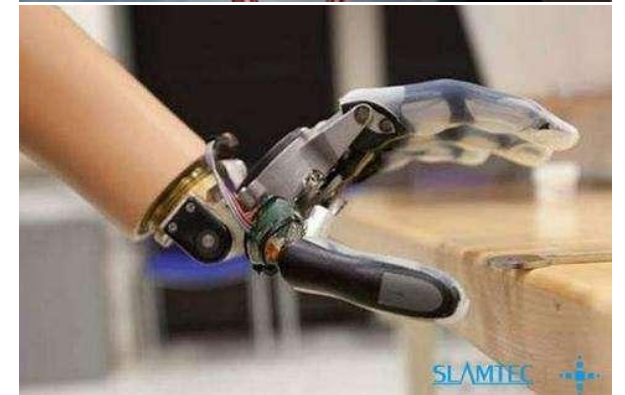
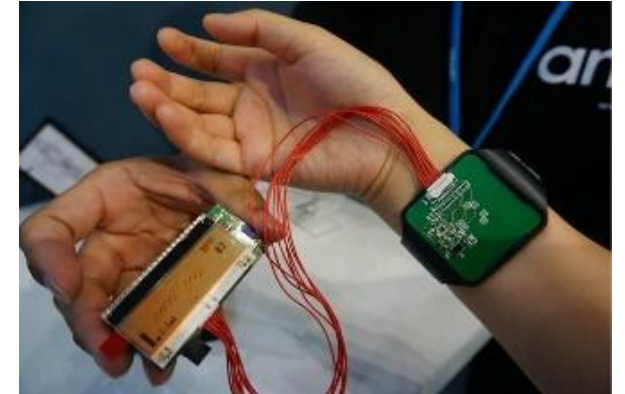
流量监控
OGUTID ...



部件调节监控
OGU ... V

工业过程检测中的传感器：

- 传感器类型；
- 传感器检测机理；
- 传感器信号采集与转换；



产线原位传感器：在目标环境或过程发生的实际位置直接进行测量



传统传感器设备

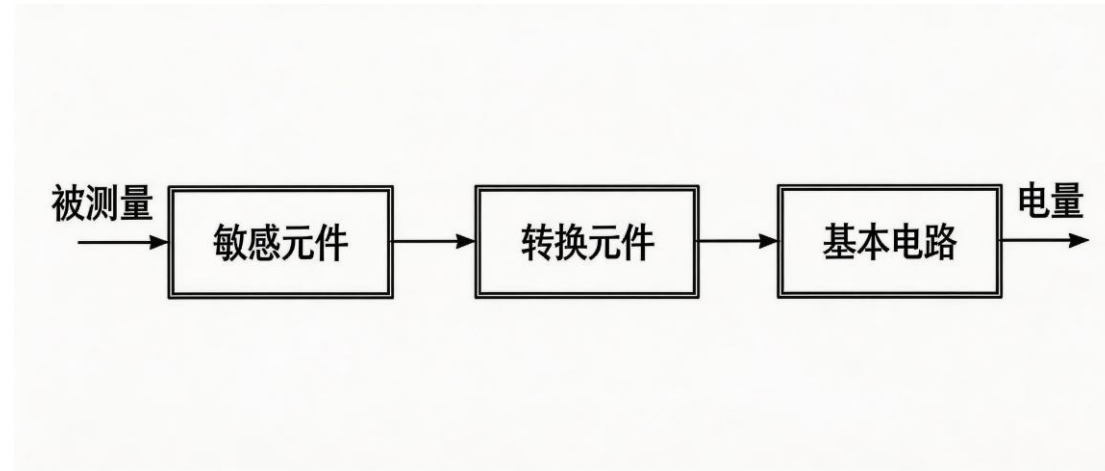
• 传感器的概念

• 国际电工委员会（IEC）对传感器（Sensor/Transducer）的定义为：

- 传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号。

• 根据我国国家标准GB/T 7665-2005，传感器的定义如下：

- 传感器是能感受规定的被测量，并按照一定规律将其转换为可用输出信号的器件或装置。它通常由敏感元件和转换元件组成，一般还需配以转换电路，最终以电信号的形式输出。



关键要素：

功能：感受被测量并将其转换为可用信号；

组成：敏感元件（感知被测量）和转换元件（将感知量转换为信号）；

输出：通过转换电路以电信号形式输出。



传统传感器设备

• 传感器的作用

传感器的作用可以通过与人类感觉器官的比较给出。传感器与人类5大感觉器官的比较见下表

传感器	人的感觉器官
光敏传感器	人的视觉
声敏传感器	人的听觉
气敏传感器	人的嗅觉
化学传感器	人的味觉
压敏、温敏、流体传感器	人的触觉

• 传感器的一般特性

• 传感器的动态特性

- 动态特性是指传感器输入量随时间变化时，输出量随时间变化的特性。
- 有良好静态特性的传感器，未必有良好的动态特性。

- 传感器的动态特性可以从时域和频域两个方面进行研究，分别采用瞬态响应法和频率响应法。

• 时域分析（瞬态响应法）

- 方法：通过输入阶跃信号（突变信号）来研究传感器的瞬态响应特性。
- 常用指标：
 - 响应时间：传感器从输入信号变化到输出信号达到稳定值所需的时间。
 - 超调量：输出信号超过稳定值的最大幅度。
 - 稳定时间：输出信号进入并保持在稳定值附近的时间。

• 频域分析（频率响应法）

- 方法：通过输入正弦信号（周期性信号）来研究传感器的频率响应特性。
- 常用指标：
 - 幅频特性：输出信号的幅度随输入信号频率变化的关系。
 - 相频特性：输出信号与输入信号之间的相位差随频率变化的关系。

传统传感器设备

- 测量过程与测量误差

测量过程：在实质上都是将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程，而测量仪表就是实现这种比较的工具。

测量误差：指由仪表读得的被测值与被测量真值之间的差距。通常有两种表示方法，即**绝对误差**和**相对误差**。





传统传感器设备

测量的基本概念

- 绝对误差:

$$\Delta = x_i - x_t$$

- 其中, x_i 为仪表指示值 (测量值) ;
- x_t 为被测量的真值。

- 真值处理的修正

- 由于真值无法得到, 实际使用以下修正公式: $\Delta = x - x_0$;
- 其中, x : 被校表的读数值;
- x_0 : 标准表的读数值。

- 相对误差:

$$y = \frac{\Delta}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0}。$$



传统传感器设备

• 仪表的性能指标

1. 精确度（简称精度）



两大影响因素
绝对误差和仪表的测量范围

说明：仪表的测量误差可以用绝对误差 Δ 来表示。但是，**仪表的绝对误差在测量范围内的各点不相同**。因此，常说的“绝对误差”指的是绝对误差中的最大值 Δ_{\max} 。

相对百分误差 δ

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\%$$

允许误差

$$\delta_{\text{允}} = \pm \frac{\text{仪表允许的最大绝对误差值}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\%$$



传统传感器设备

- **仪表的性能指标**

- 仪表的允许误差 $\delta_{\text{允}}$ 越大，表示它的精确度越低；
- 反之，仪表的允许误差 $\delta_{\text{允}}$ 越小，表示仪表的精确度越高。

- **精确度等级是衡量仪表精确度的一种标准**

- 定义：它表示仪表在规定的条件下允许的最大相对百分误差。
- 精确度等级的数值越小，说明仪表的精确度越高。
- 将仪表的允许相对百分误差去掉“±”号及“%”号，便可以用来确定仪表的精确度等级。
- 目前常用的精确度等级（最大相对百分误差）有0.005, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0等。

传统传感器设备



例1 某台测温仪表的测温范围为200~700℃，校验该表时得到的最大绝对误差为+4℃，试确定该仪表的精度等级。

解 该仪表的相对百分误差为

$$\delta = \frac{+4}{700-200} \times 100\% = +0.8\%$$

如果将该仪表的 δ 去掉“+”号与“%”号，其数值为0.8。由于国家规定的精度等级中没有0.8级仪表，同时，该仪表的误差超过了0.5级仪表所允许的最大误差，所以，这台测温仪表的精度等级为1.0级。



传统传感器设备

- **精确度等级的取值方向通常是向上取值，而不是向下取值**
- **原因：**
 - **确保测量精度：** 向上取值可以确保仪表的测量精度满足或超过所需的最低要求。
 - 举例：如果一个仪表的允许相对百分误差是 $\pm 0.3\%$ ，而精确度等级的标准有0.25和0.5，则向上取值到0.5可以确保仪表的误差不会超过这个等级，从而保证测量结果的可靠性。
 - **符合标准规范：** 大多数仪表的精确度等级是按照国际或行业标准来定义的。这些标准通常要求仪表的误差不超过某个特定的百分比。向上取值可以确保仪表符合这些标准，避免因误差过大而导致的测量不准确。
 - **避免风险：** 在实际应用中，选择精确度等级时向上取值可以降低因测量误差过大而导致的风险。
 - 举例：在工业控制或科学研究中，如果测量误差过大，可能会导致生产过程的不稳定或实验结果的不准确。

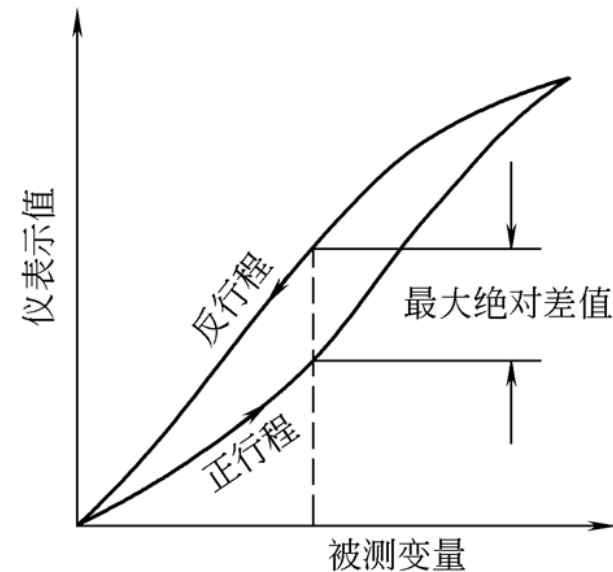


传统传感器设备

2. 变差

变差是指在外界条件不变的情况下，用同一仪表对被测量在仪表全部测量范围内进行正反行程（即被测参数逐渐由小到大和逐渐由大到小）测量时，被测量值正行和反行所得到的两条特性曲线之间的最大偏差。

$$\text{变差} = \frac{\text{最大绝对差值}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\%$$





传统传感器设备

3. 灵敏度与灵敏限

仪表的灵敏度是指仪表指针的线位移或角位移，与引起这个位移的被测参数变化量的比值。即 $S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$

式中， S 为仪表的灵敏度； $\Delta\alpha$ 为指针的线位移或角位移； Δx 为引起 $\Delta\alpha$ 所需的被测参数变化量。

仪表的灵敏限是指能引起仪表指针发生动作的被测参数的最小变化量。通常仪表灵敏限的数值应不大于仪表允许绝对误差的一半。

注意：上述指标仅适用于指针式仪表。在数字式仪表中，往往用分辨率表示。



传统传感器设备

• (续前页) 灵敏度

- 灵敏度是传感器输出变化量与输入变化量之比，反映了传感器对输入量变化的敏感程度。

举例：某位移传感器在位移变化1mm时，输出电压变化为200mV。求该位移传感器的灵敏度。

解：

- 已知，位移变化量 (Δx) = 1mm，输出电压变化量 (Δy) = 200mV;
- 灵敏度公式： $K = \Delta y / \Delta x$;
- 代入已知数据： $K = 200\text{mV} / 1\text{mm} = 200\text{mV/mm}$;

结果：

- 该位移传感器的灵敏度为200mV/mm。



传统传感器设备

• 数字仪表的分辨率

- 对于数字式仪表，**分辨率**是指数字显示器的最末位数字间隔所代表的被测参数变化量。
- 不同量程的分辨率是不同的，相应于最低量程的分辨率称为该表的**最高分辨率**，也叫**灵敏度(灵敏限)**。
- 通常以最高分辨率作为数字电压表的分辨率指标。分辨率与仪表的有效数字位数有关。

• 分辨率与灵敏度的关系

- 分辨率和灵敏度都是衡量传感器性能的重要指标。
- 分辨率高通常意味着灵敏度也高，但两者并不完全相同。
- **分辨率**更侧重于传感器检测**微小变化的能力**，而**灵敏度**更侧重于**传感器对输入变化的响应程度**。

传统传感器设备

5. 线性度

线性度是表征线性刻度仪表的输出量与输入量的实际校准曲线与理论直线的吻合程度。通常总是希望测量仪表的输出与输入之间呈线性关系。

$$\delta_i = \frac{\Delta f_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\%$$

式中， δ_f 为线性度（又称非线性误差）； Δf_{\max} 为校准曲线对于理论直线的最大偏差（以仪表示值的单位计算）。

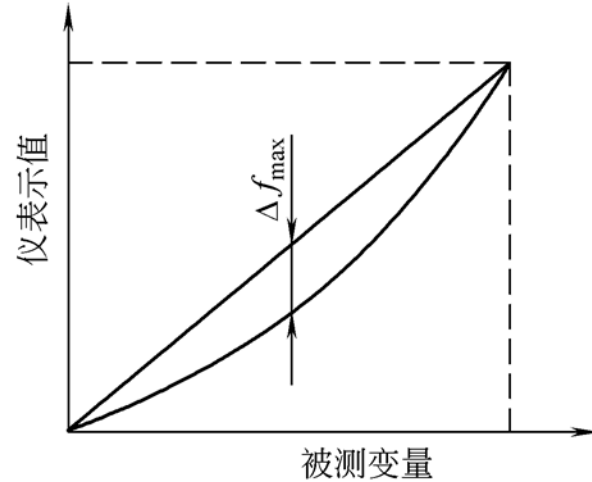


图3-2 线性度示意图

工业仪表的分类1：按仪表使用的能源分类

气动仪表、**电动仪表**、液动仪表



常用

- 优点：
 - 以电为能源，信号之间联系比较方便，适宜于远距离传送和集中控制；
 - 便于与计算机联用；
 - 现在电动仪表可以做到防火、防爆，更有利于电动仪表的安全使用。
- 缺点：
 - 一般结构较复杂；
 - 易受温度、湿度、电磁场、放射性等环境影响。



传统传感器设备

工业仪表的分类2：按信息的获得、传递、反映和处理的过程分类

- **检测仪表**
 - 作用是获取信息，并进行适当的转换。
- **显示仪表**
 - 作用是将由检测仪表获得的信息显示出来。
- **集中控制装置**
 - 包括各种巡回检测仪、巡回控制仪等。
- **控制仪表**
 - 可以根据需要对输入信号进行各种运算。
- **执行器**
 - 可以接受控制仪表的输出信号或直接来自操作员的指令，对生产过程进行操作或控制。



传统传感器设备

• 传感器的发展趋势

• 传感器新原理、新材料、新工艺的发展趋势

- 传感器的工作原理是基于各种物理的、化学的、生物的效应和现象，发现新原理、开发新材料、采用新工艺是新型传感器问世的重要基础。

• 传感器微型化、多功能、集成化的发展趋势

- 微细加工技术的发展使传感器制造技术有了突飞猛进的发展，多功能、集成化传感器成为方向发展，使得既具有敏感功能、又具有控制执行能力的传感器微系统成为可能。

• 传感器智能化、多融合、网络化的发展趋势

- 近年来具有感知能力、计算能力、通信能力、协同能力的传感器应用日趋广泛，作为信息技术源头的传感器技术正朝着物联网的方向发展。



传统传感器设备

• 传感器工作原理与应用

• 温度检测方法

温度不能直接测量，只能借助于冷热不同物体之间的热交换，以及物体的某些物理性质随冷热程度不同而变化的特性来加以间接测量。

分 类

<u>按测量范围</u>	高温计、温度计
<u>按用途</u>	标准仪表、实用仪表
<u>按工作原理</u>	膨胀式温度计、压力式温度计、热电偶温度计、热电阻温度计和辐射高温计
<u>按测量方式</u>	接触式与非接触式



传统传感器设备

常用温度计的种类及优缺点

测温方式	温度计种类		测温范围 / °C	优点	缺点
接触式 测温 仪表	膨胀式	玻璃液体	-50~600	结构简单, 使用方便, 测量准确, 价格低廉	测量上限和精度受玻璃质量的限制, 易碎, 不能记录远传
		双金属	-80 ~600	结构紧凑, 牢固可靠	精度低, 量程和使用范围有限
	压力式	液体	-30 ~600	结构简单, 耐震, 防爆能记录、报警, 价格低廉	精度低, 测温距离短, 滞后大
		气体 蒸汽	-20 ~350 0 ~250		
	热电偶	铂铑-铂 镍铬-镍硅 镍铬-考铜	0 ~1600 -50 ~1000 -50 ~600	测温范围广, 精度高, 便于远距离、多点、集中测量和自动控制	需冷端温度补偿, 在低温段测量精度较低
热电阻	铂 铜	-200 ~600 -50 ~150	测量精度高, 便于远距离、多点、集中测量和自动控制	不能测高温, 需注意环境温度的影响	
非接触式 测温 仪表	辐射式	辐射式	400 ~2000	测温时, 不破坏被测温度场	低温段测量不准, 环境条件会影响测温准确度
		光学式	700 ~3200		
比色式		900 ~1700			
	红外线	光电探测 热电探测	0 ~3500 200 ~2000	测温范围大, 适于测温度分布, 不破坏被测温度场, 响应快	易受外界干扰, 标定困难

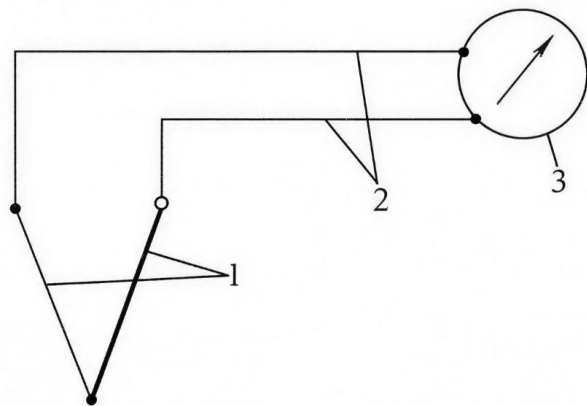
热电偶温度计

• 热电效应

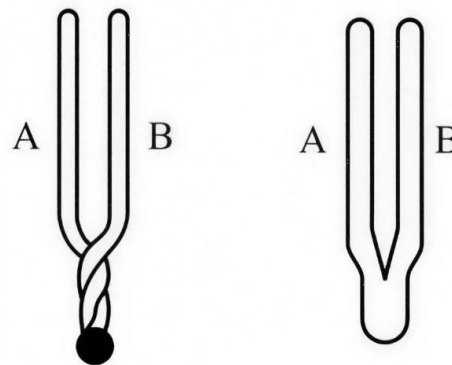
- **塞贝克效应 (Seebeck Effect) :** 当两种不同的导体或半导体A和B组成一个闭合回路时，若两个接触点的温度不同，回路中就会产生电动势，这种现象称为塞贝克效应。
- **帕尔贴效应 (Peltier Effect) :** 当电流通过两种不同导体的接触点时，会在接触点产生吸热或放热现象。
- **汤姆逊效应 (Thomson Effect) :** 当电流通过存在温度梯度的导体时，会在导体内部产生吸热或放热现象。

热电偶温度计是以热电效应为基础的测温仪表。

热电偶温度计由三部分组成：热电偶；测量仪表；连接热电偶和测量仪表的导线。



热电偶温度计测温系统示意图：1、热电偶；2、导线；3 测量仪表。



热电偶示意图：末端绞接形式与对接形式。

传统传感器设备

(1) 热电现象及测温原理

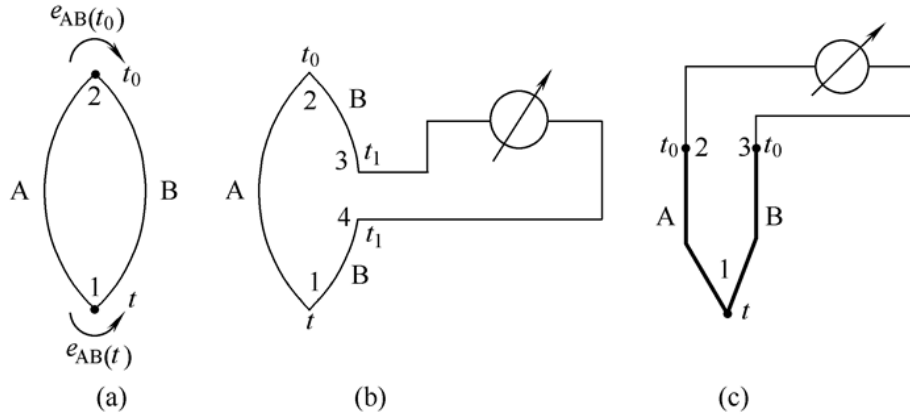


图3-55 热电现象

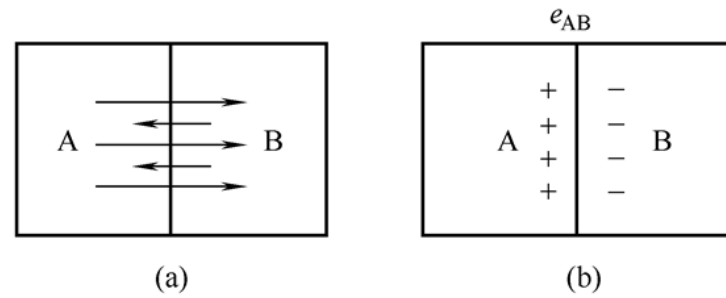


图3-56 接触电势形成的过程

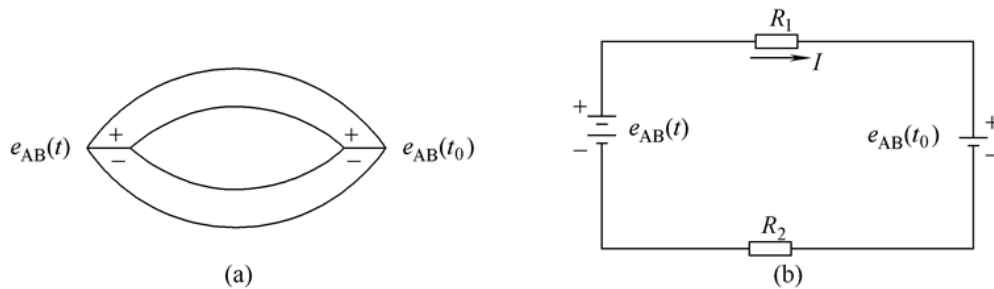


图3-57 热电偶原理及电路图

左图闭合回路中总的热电势

$$E(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

或
$$E(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0)$$



传统传感器设备

常用热电偶的种类

工业上对热电极材料的要求

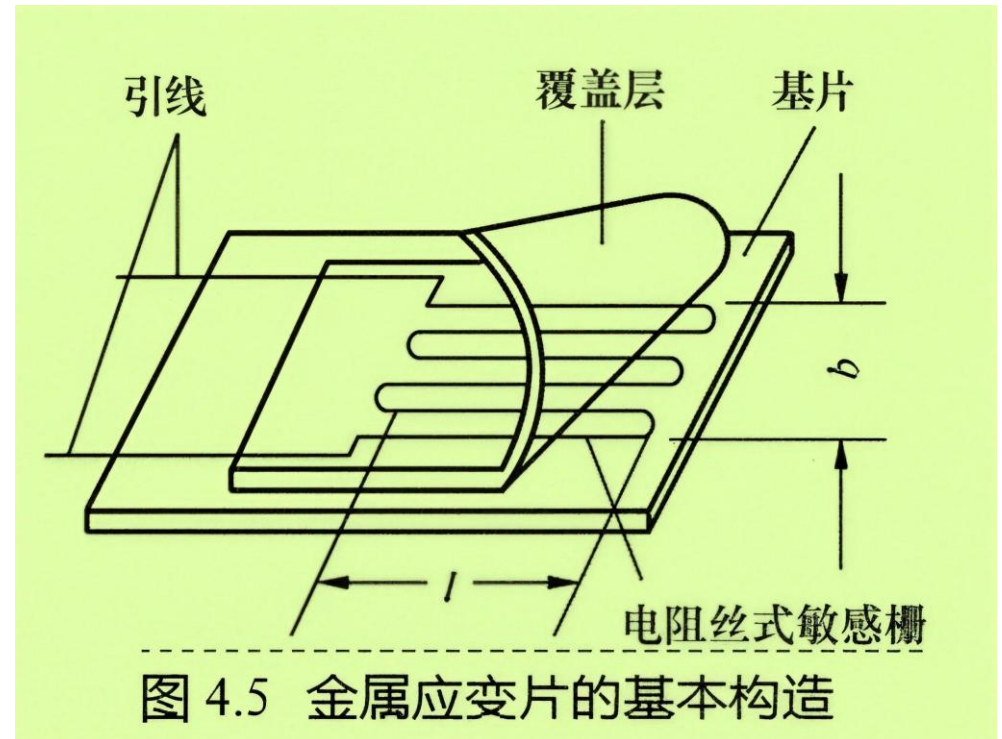
- 温度每增加 1°C 时所能产生的热电势要大，而且热电势与温度应尽可能成线性关系；
- 物理稳定性要高；
- 化学稳定性要高；
- 材料组织要均匀，要有韧性，便于加工成丝；复现性好，便于成批生产，而且在应用上也可保证良好的互换性。

热电偶名称	代号	分度号		热电极材料		测温范围/ $^{\circ}\text{C}$	
		新	旧	正热电极	负热电极	长期使用	短期使用
铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆	WRR	B	LL-2	铂铑 ₃₀ 合金	铂铑 ₆ 合金	300~1600	1800
铂铑 ₁₀ -铂	WRP	S	LB-3	铂铑 ₁₀ 合金	纯铂	-20~1300	1600
镍铬-镍硅	WRN	K	EU-2	镍铬合金	镍硅合金	-50~1000	1200
镍铬-铜镍	WRE	E	-	镍铬合金	铜镍合金	-40~800	900
铁-铜镍	WRF	J	-	铁	铜镍合金	-40~700	750
铜-铜镍	WRC	T	CK	铜	铜镍合金	-400~300	350

传统传感器设备

• 应变式传感器

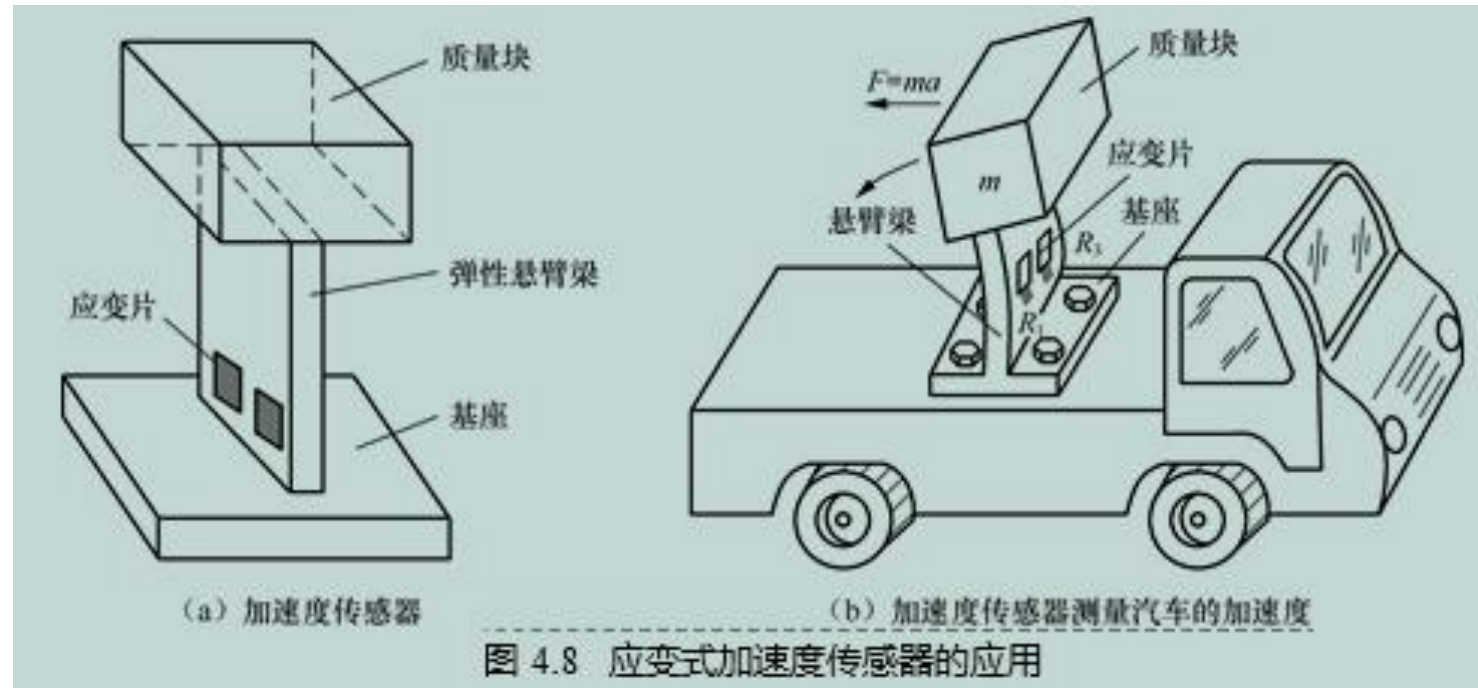
- 金属电阻应变式传感器是一种电阻式传感器。基于电阻变化的传感器十分常见，这是因为许多物理量（如力、力矩、位移、形变、速度、加速度等）都会对材料的电阻产生影响。金属电阻应变式传感器适合于静态测量和动态测量。
- 金属电阻应变式传感器的基本原理是：将“被测量”的变化转换成电阻值的变化，再将电阻值的变化转变成电压的变化。



传统传感器设备

• 应变式传感器

- 当被测物加速运动时，传感器受到一个与加速度方向相反的惯性力作用，传感器上的应变片就产生应变，应变片的电阻值将变化。



- **超声波传感器**

- 超声波是一种振动频率高于声波的机械波，超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。
- 超声波可以在气体、液体及固体中传播，传播中也有折射和反射现象，并在传播过程中有衰减。超声波在空气中衰减较快，而在液体及固体中衰减较小、传播较远。利用超声波的上述特性，可以做成各种超声传感器。

- **超声波在医学上的应用**

- 超声波在医学上的应用主要是诊断疾病。超声波诊断是利用超声波的反射，每遇到一个反射面时，就会在示波器的屏幕上显示出回声，这些部位可能产生了病变。

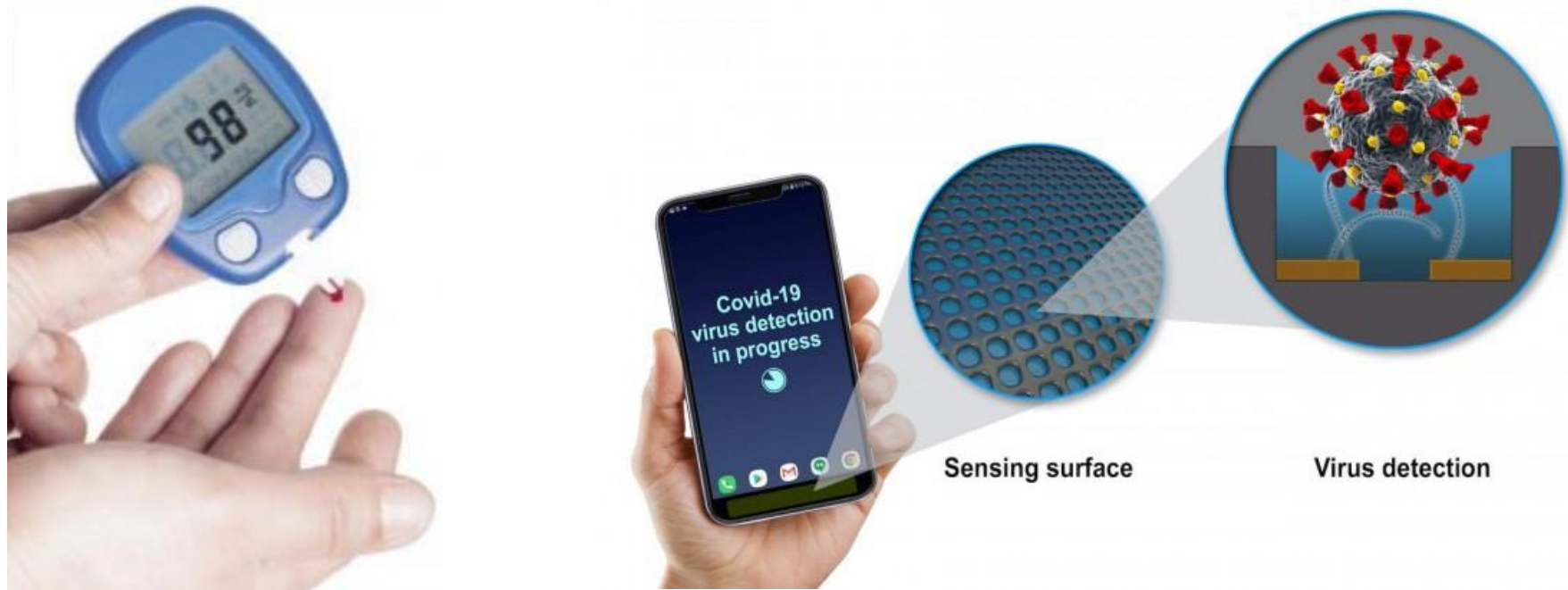


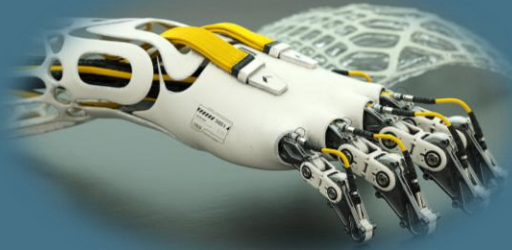
图 4.18 超声波在医学上的应用

传统传感器设备

• 生物传感器

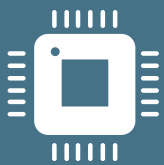
- 用固定化生物成分或生物体作为敏感元件的传感器称为生物传感器（biosensor），生物传感器对酶、抗体、抗原、微生物、细胞、组织、核酸等敏感。





第三章

智能感知与网络能量管理



3.1 传感网络和传感器设备

3.2 识别技术：条码和RFID

3.3 传感器智能化

3.4 电源管理与自持性

- **条码**：由宽度不同、反射率不同的条（黑色）和空（白色），按照一定的编码规则编制而成，用以表达一组数字或字母符号信息的图形标识符。
- **条码识别过程**
 - 扫描：（由颜色区分）物体的颜色能决定反射光，白色物体能反射各种波长的可见光，黑色物体则吸收各种波长的可见光。
 - 译码：译码器将条码符号转换成相应的数字、字符信息。



(a) 一维条码



(b) 二维条码

图 3.2 条码的样图

从条码到RFID

• 二维条码应用的局限性

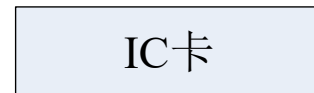
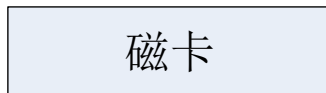
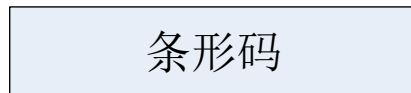
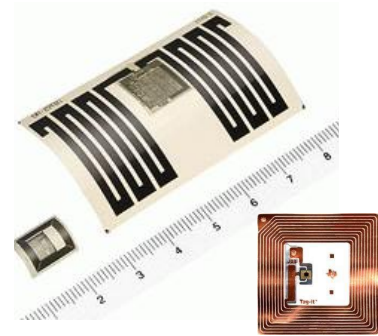
- 条码扫描器、手机的镜头必须能够“看到”“清晰”的条码图形。
- 在有遮挡的不可视或黑暗环境中也能够自动读出数据的视频标签RFID技术应运而生。



一维条码



二维条码



• 条码及RFID主要用于物体身份的标识

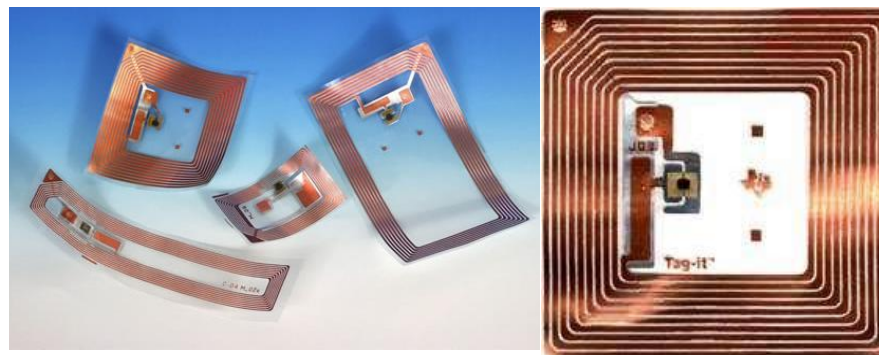
RFID技术与EPC标准



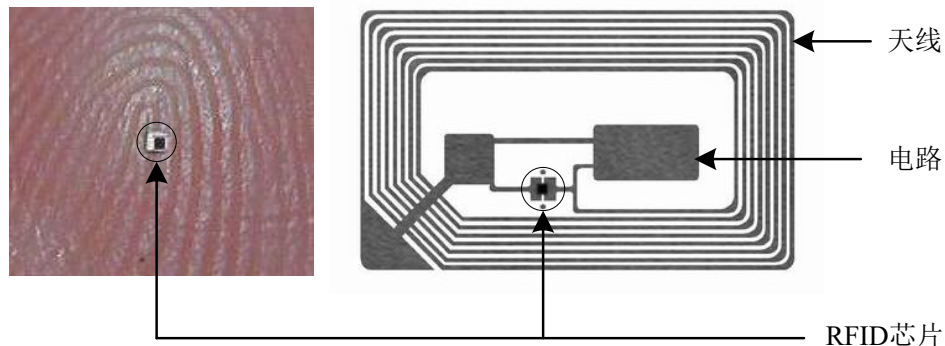
- **RFID (射频识别技术, Radio Frequency Identification)**

- 基于无线电波的自动识别技术, 通过非接触方式读取或写入标签中的数据, 包含

- 标签 (Tag) : 含芯片与天线, 存储唯一标识信息, 分无源 (依赖外部供电)、有源 (自带电源) 两类。
- 读写器 (Reader) : 发送射频信号激活标签并读取数据, 支持多标签同时识别。
- 天线 (Antenna) : 实现标签与读写器间的信号传输。



(a) RFID内部结构



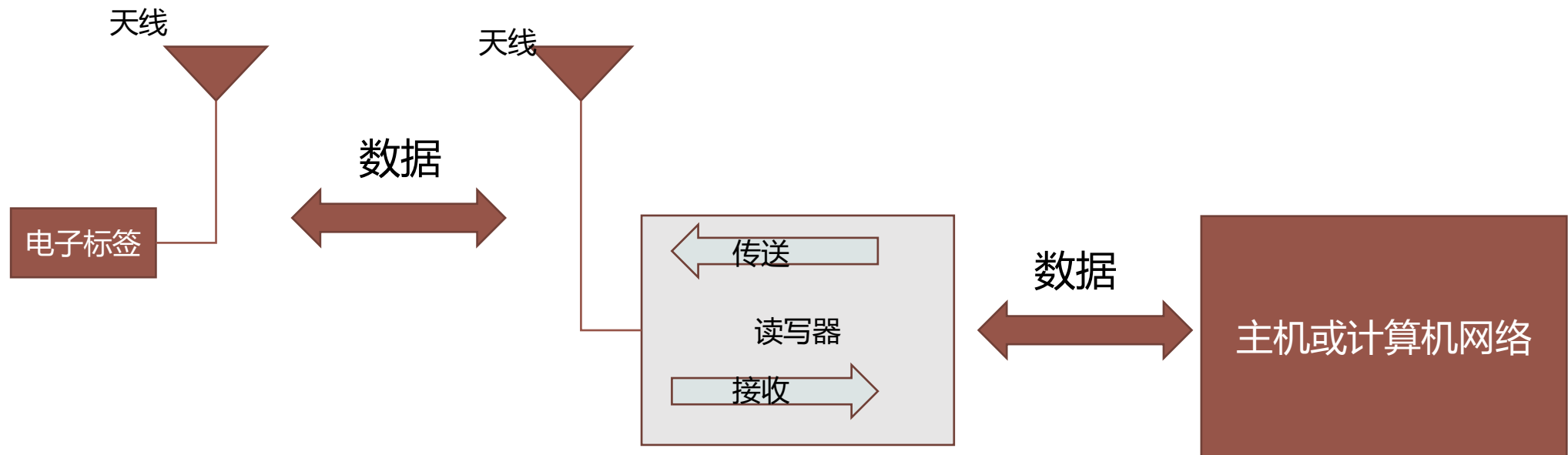
(b) RFID结构组成单元示意图



RFID识别系统的基本组成

• 工作原理

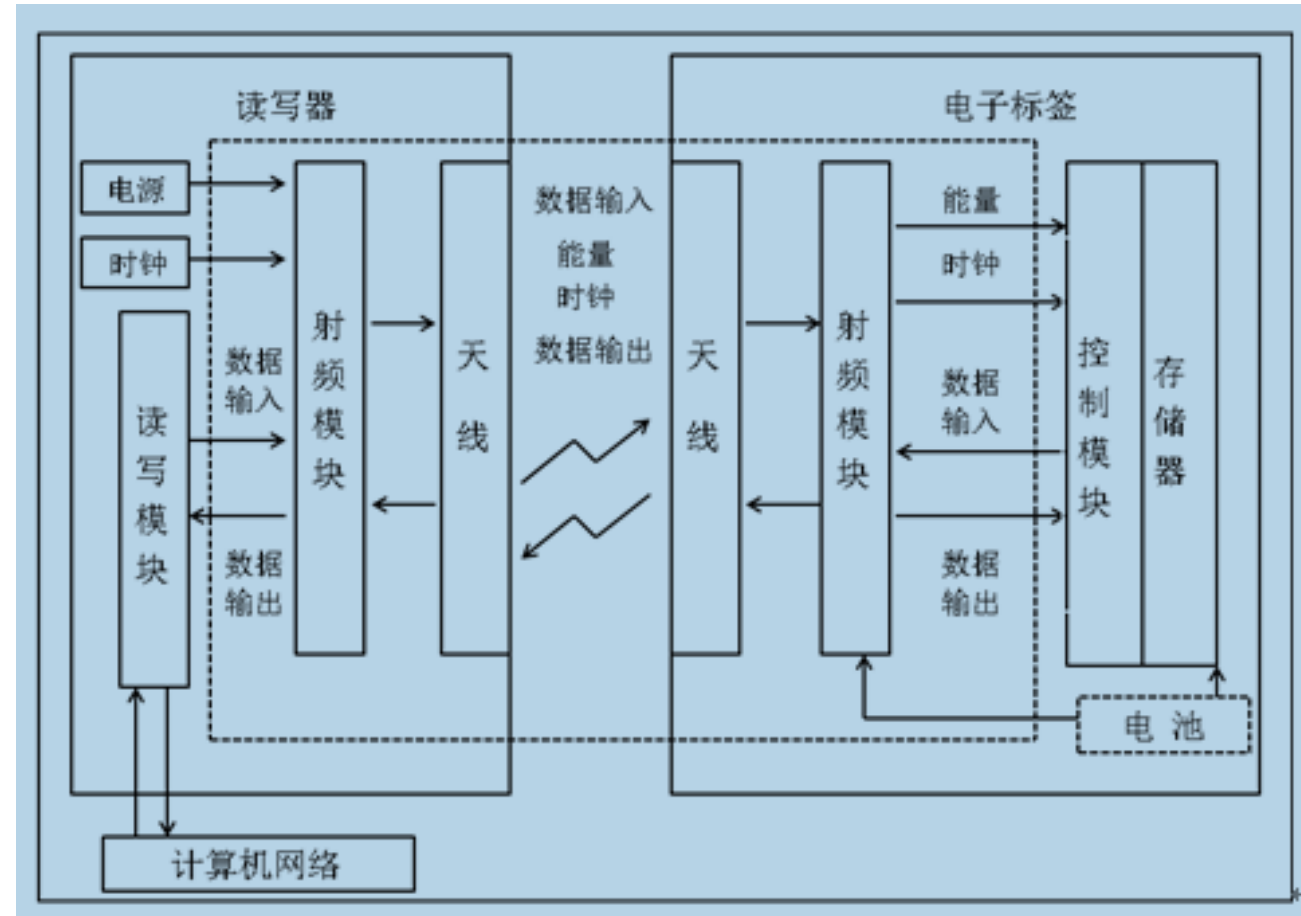
- 当无源RFID标签接近读写器时，标签处于读写器天线辐射形成的近场范围内，RFID标签天线通过电磁感应产生感应电流，感应电流驱动RFID芯片电路。
- 芯片电路通过RFID标签天线将存储在标签中的标识信息发送给读写器，读写器天线再将接收到的标识信息发送给主机。



RFID工作流程示意图 (接上页)

• 工作流程

- 读写器发射射频信号。
- 电子标签获得能量被激活。
- 电子标签将自身信息发送出去。
- 读写器接收电子标签发送来的信号。
- 读写器对接收信号进行解调和解码，然后送到计算机网络进行后续的处理。
- 数据处理系统根据逻辑运算判断该电子标签的合法性。
- 计算机网络针对不同的设定做出相应的处理，发出指令控制执行的动作。





RFID技术的分类

- **按工作频率分类**

- 低频(LF, 30 kHz-1 MHz)、高频(HF, 3MHz-30 MHz)、超高频(UHF, 300 MHz-1000 MHz)、微波(MW, 2.4 GHz或5.8 GHz)。

- **按供电方式分类**

- 无源供电系统（标签）、有源供电系统、半有源供电系统。

- **按调制方式分类**

- 主动广播式、被动倍频式和被动反射调制式。

- **按可读写性分类**

- 可读写卡(RW)、一次写入多次读出卡(WORM)和只读卡 (RO) 。

- **数据传输方式:**

- 全双工工作方式、半双工工作方式、时序工作方式。



RFID不同频段的适用性

• 低频RFID：30-300KHz

- 典型的频率为125kHz、133kHz。
- 一般为无源标签，工作能量通过**电感耦合**方式从读写器辐射场获得，通信范围<1米。
- 可以应用于动物识别、工具识别、汽车电子防盗、酒店门锁管理和门禁安全管理等方面。

• 高频RFID：3-30MHz

- 典型的频率为6.78MHz、13.56MHz。
- 工作能量通过**电感耦合**方式从读写器辐射场获得，通信范围<1米。传输速率较低频RFID高。
- 因其天线可通过腐蚀印刷方式制作，高频电子标签常做成卡片形状，典型的应用有我国第二代身份证、电子车票和物流管理等。

• 超高频RFID：300-3GHz

- 典型的频率为433MHz、860-960MHz。
- 可以是有源标签也可以是无源的；通过电磁耦合方式和阅读器通信。通信举例为3-10米，最大可达数十米。
- 传输速率最高，但是由于波长短，穿透力差（如灰尘、雨雾环境）。



目前存在的RFID技术标准体系

- **ISO制定的RFID标准体系**

- 承担制定全球多种标准的任务，是最早制定RFID标准的组织。

- **EPC Global**

- 由美国主导，代表欧美利益，全球实力最大的物联网RFID标准组织。

- **UID**

- 日本物联网RFID标准组织。

- **AIMglobal**

- 代表欧美的利益，规模较小的物联网RFID标准组织。

- **IP-X**

- 代表非洲、大洋洲和亚洲利益，规模较小的物联网RFID标准组织。



RFID编码 (以EPC-96I为例)

- 每个电子标签 (Tag) 具有唯一的电子编码，是射频识别系统真正的数据载体
- EPC-96 I编码标准的EPC码字段结构

EPC码	01	0010A80	00018F	0010ADB08
EPC码结构	版本号 (8位)	域名管理 (28位)	对象分类 (24位)	序列号 (36位)

- 版本号字段长度为8位用来表示编码标准的版本，“01”表示编码采用的是EPC-96 I标准；
- 域名管理字段长度为28位，用来表示产品是由哪个厂家生产的；
- 对象分类字段长度为24位，用来表示一类产品；
- 序列号字段长度为36位，可以唯一地标识出每一件产品。



RFID编码容量 (以EPC-96I为例, 续)

• EPC-96 I编码标准的容量

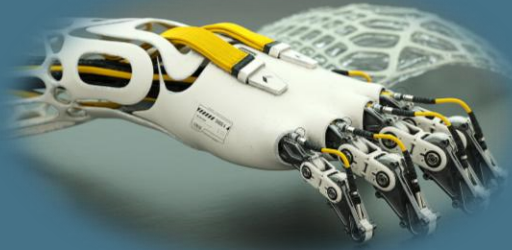
- 可以标识出2.68亿个不同的生产厂商;
- 可以标识出每一个生产厂商提供 1.68×10^7 类产品的编码;
- 可以标识出每一类产品中的687亿件产品的编码。

RFID标准的分割与统一: RFID系统主要由数据采集和后台数据库网络应用系统两大部分组成, 目前已经发布或者是正在制定中的标准主要与数据采集相关, 其中包括电子标签与读卡器之间的**空中接口**、读卡器与计算机之间的**数据交换协议**、电子标签与读卡器的**性能和一致性测试规范**以及电子标签的**数据内容编码标准**等。



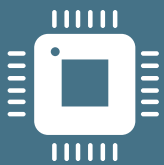
RFID的应用

- **物流：** 邮政快递物流过程中的货物追踪，信息自动采集，仓储应用、公路水运及民航港口应用。
- **零售：** 商品的销售数据实时统计、补货、防盗等。
- **制造业：** 生产数据的实时监控，质量追踪，自动化生产，仓储管理，品牌管理，单品管理，渠道管理。
- **医疗：** 医疗器械管理、病人身份识别、婴儿防盗。
- **身份识别：** 电子护照、身份证、学生证等各种电子证件。
- **防伪：** 贵重物品（烟，酒，药品）的防伪、票证的防伪等。
- **交通：** 高速不停车收费、出租车管理、公交车枢纽管理、铁路机车调度管理等。



第三章

智能感知与网络能量管理



3.1 传感网络和传感器设备

3.2 识别技术：条码和RFID

3.3 传感器智能化

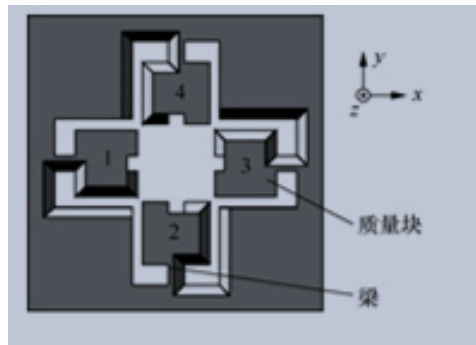
3.4 电源管理与自持性

传统传感器设备的智能化

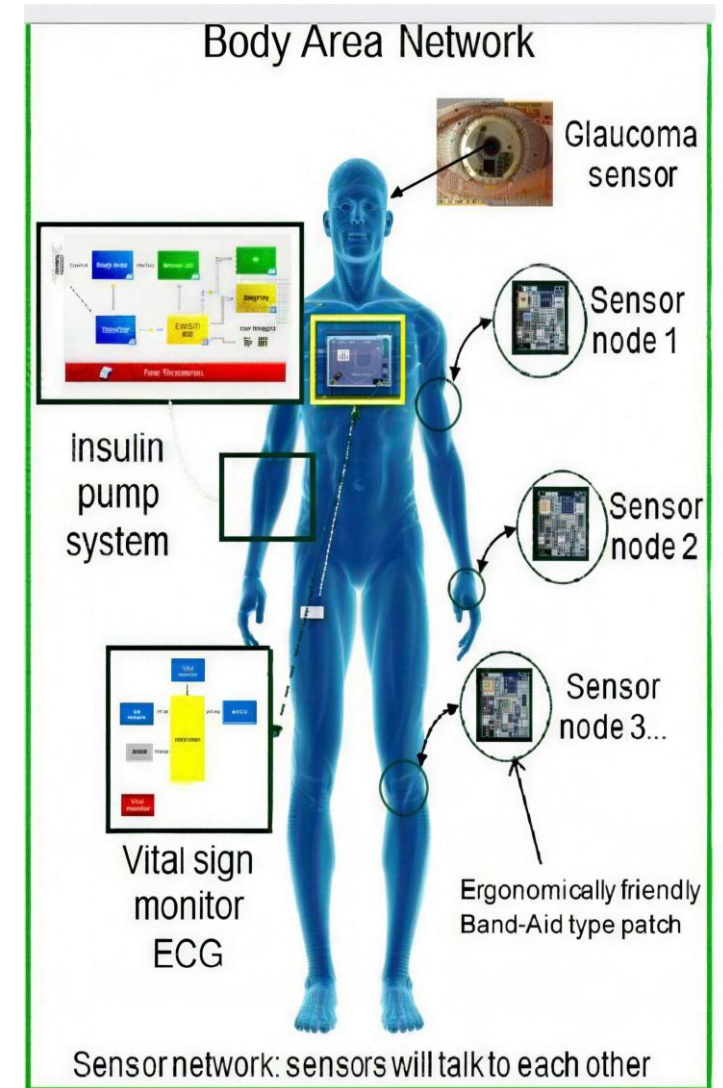
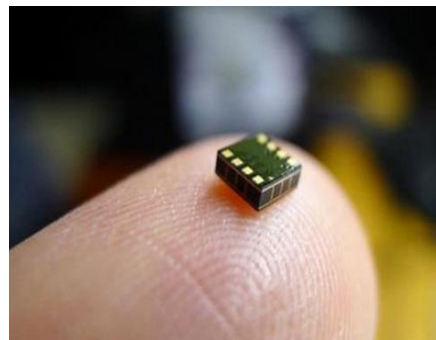
• 4.3 传感器集成化、智能化和网络化

- 传感器技术一个里程碑式的发展是20世纪60年代出现的硅传感器技术。硅传感器结合了硅材料优良的机械性能和电学性能，其制造工艺与微电子集成工艺相容，使传感器技术开始向微型化、集成化、智能化和网络化的方向迅速发展。
- 微机电系统 (MEMS) 是由微传感器、微执行器、信号处理和控制电路、通信接口和电源等部件组成的一体化的微型器件系统。MEMS是传感器集成化的典型例子。MEMS技术制作的微传感器采用与集成电路类似的生成技术，尺寸非常小，典型尺寸在 μm 级。

硅微机械三轴加速度传感器 (IMU)



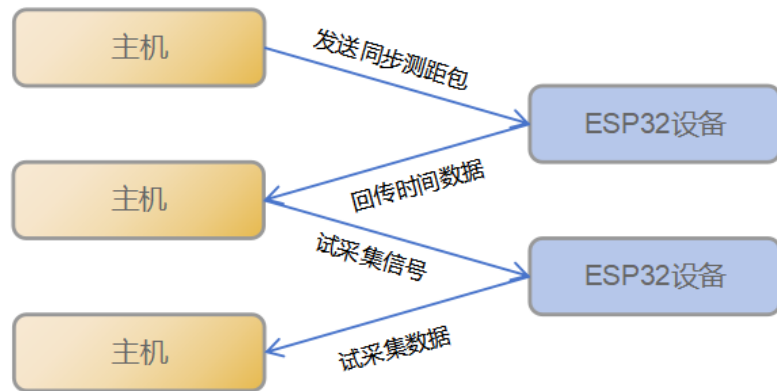
微型电路芯片



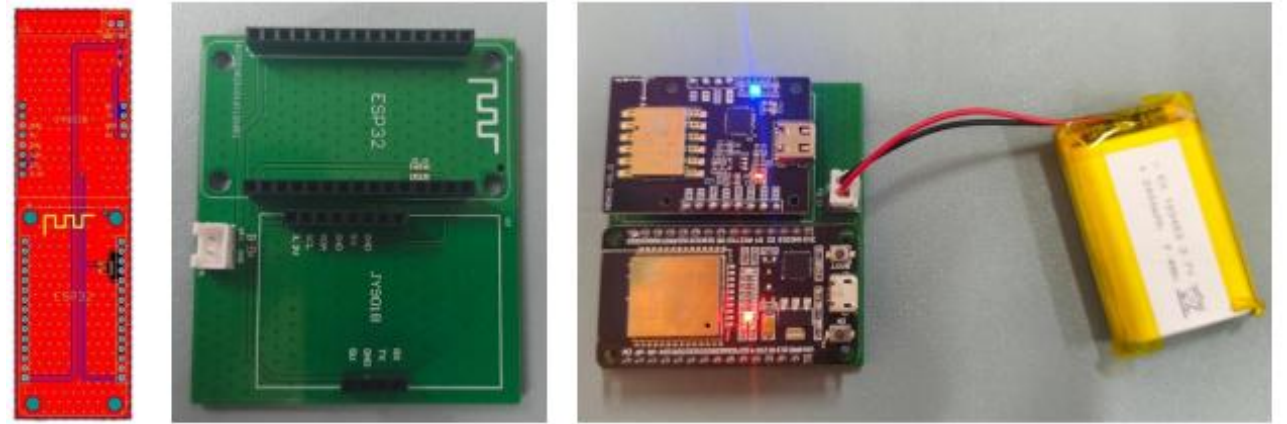
传统传感器设备的智能化

• 微机电系统传感器应用举例

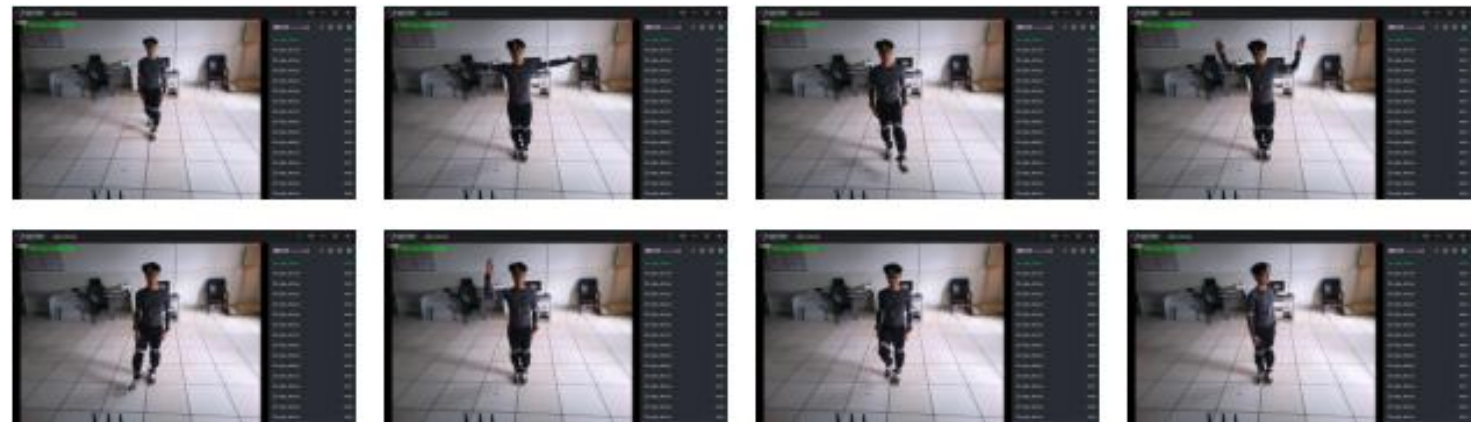
- IMU用于体域网下的人体姿态跟踪



多传感器信号采集结构和同步设计图



从左到右依次是载板的连线图、载板实体图和采集连接图

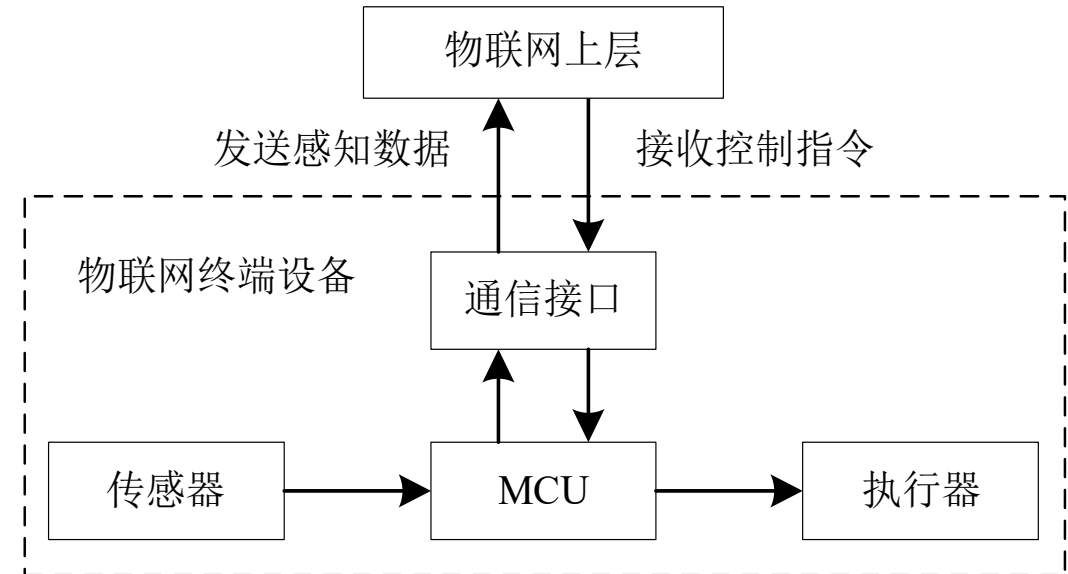


基于IMU的连续人体动作采集示意图

传感器的集成化和智能化

• 从传统传感器到智能物联网传感器

- 传统的传感器能够感知周边环境参数，但是自身并不具备通信能力，不能够将感知信号主动传送出来。
- 要想将传感器接入到IoT，就必须采用嵌入式技术，将传感器集成到电子设备中，构成一个既能产生感知信号，又具有一定的计算、存储与通信能力的IoT终端设备。
- IoT终端设备是一种典型的嵌入式计算设备，它在微控制单元MCU的控制下，将感知的数字数据通过通信接口传送到IoT上层；上层反馈的控制指令通过通信接口与MCU传送到执行器。





从单一传感器到无线传感网络

• 无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN)

- **定义**: WSN是由在空间上相互离散的众多传感器相互协作组成的传感器网络系统。WSN的发展将帮助物联网实现信息感知能力的全面提升。
- **特性回顾** (见本讲开头): WSN由大量的、静止或移动的传感器节点, 以**自组织和多跳**的方式构成的无线网络, 目的是以**协作的方式感知、采集、处理和传输**在网络覆盖区域内被感知对象的信息, 并把这些信息发送给用户。
- **组成**: WSN通常包括传感器节点 (Sensor Node)、汇聚节点 (Sink Node) 和管理节点。大量传感器节点随机部署在检测区域 (Sensor Field) 内部或者附近, 传感器节点通过自组织的方式构成网络。
- **数据传输方式**: 传感器节点检测到的数据采用多跳的方式, 可能被多个节点处理, 经过多跳路由后到达汇聚节点。最后, 再由汇聚节点通过互联网或卫星到达管理节点, 达到对目标区域的监测。



无线传感器网络的特点

• 大规模+廉价+无线节点

- **Ad hoc网络**：Ad hoc是一种多跳的临时性自治系统，网络中所有结点的地位平等，无须设置任何中心控制结点。（**自组织无中心网络+多跳网络+无线传输带宽有限**）。
- **资源有限性**：**硬件资源有限，能量受限。**
- **自组织**：**动态性网络、无人值守。**
- **以数据为中心**：**广播式通信，机器间连接，基于地理位置的通信（路由）协议设计。**

• 无线传感器网络应用

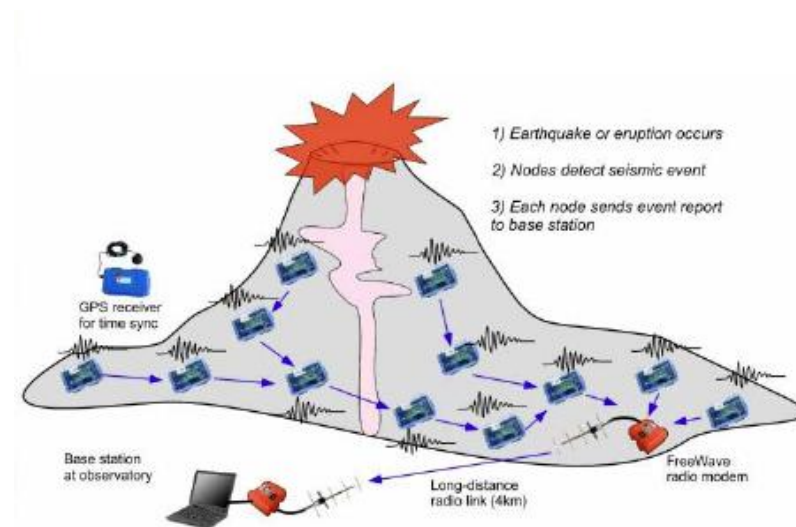
- 1996年，美国加州大学向美国国防部先进研究项目局（DARPA）提交的“低能耗无线集成微型传感器”报告，揭开了现代WSN网络的序幕。
- 在其后的20多年里，WSN得到广泛关注，成为在国防军事、环境监测、健康护理、智能家居、复杂机械监控、空间探索、安全监测等众多领域中最有竞争力的应用技术。



3. Wireless sensors are used to measure long-term stress and strain in civil engineering structures like buildings and bridges. (Courtesy: Microstrain Inc.)



4. This semiconductor camera (a) crafted by Zarlink Semiconductor lies at the heart of Given Imaging's PillCam vitamin-sized capsule for gastrointestinal studies (b).



作业：



题1：用镍铬-铜镍热电偶测量某加热炉的温度。测得的热电势 $E(t, t_1) = 66982\mu\text{V}$ ，而自由端的温度 $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ，求被测的实际温度。**注：**

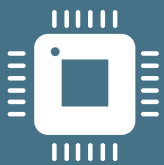
$$E(30,0) = 1801\mu\text{V} \quad E(t,0) = E(t,t_1) + E(t_1,0)$$

题2：某台测温仪表的测温范围为 $0 \sim 1000^\circ\text{C}$ 。根据工艺要求，温度指示值的误差不允许超过 $\pm 7^\circ\text{C}$ ，试问应如何选择仪表的精度等级才能满足以上要求？



第三章

智能感知与网络能量管理



3.1 传感网络和传感器设备

3.2 识别技术：条码和RFID

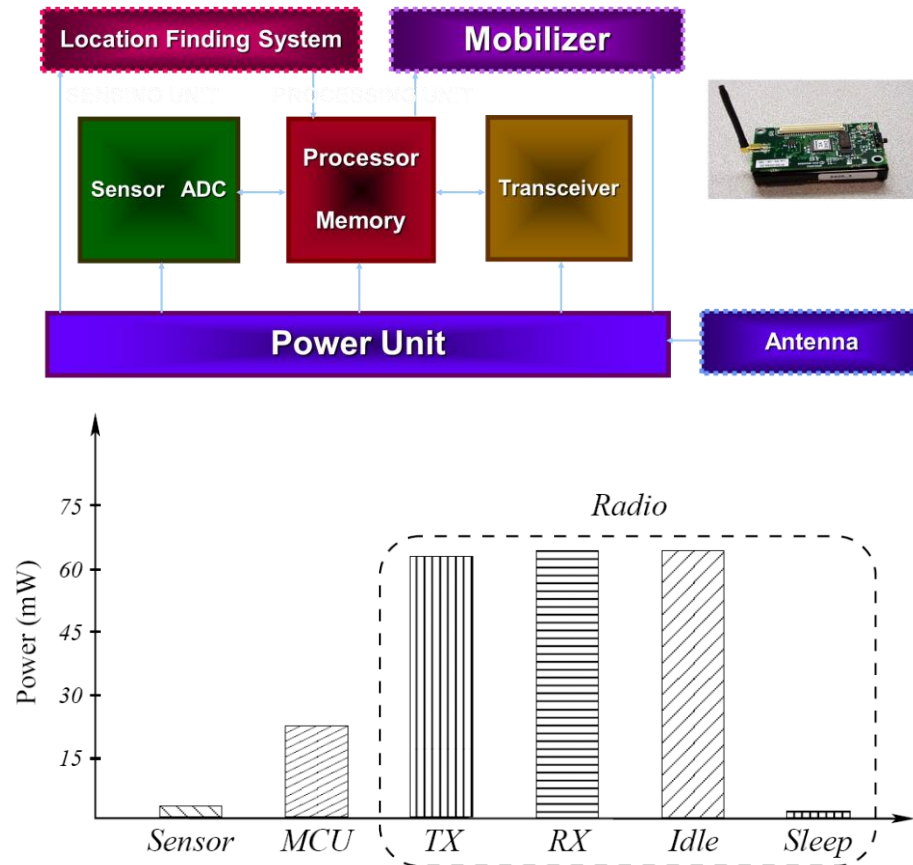
3.3 传感器智能化

3.4 电源管理与自持性

电源管理与自持性

• 无线传感器节点能量管理

传感器节点硬件

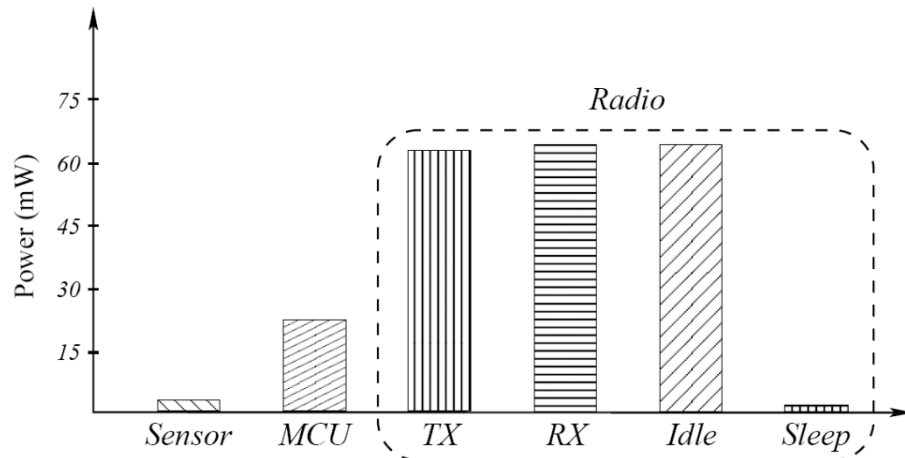
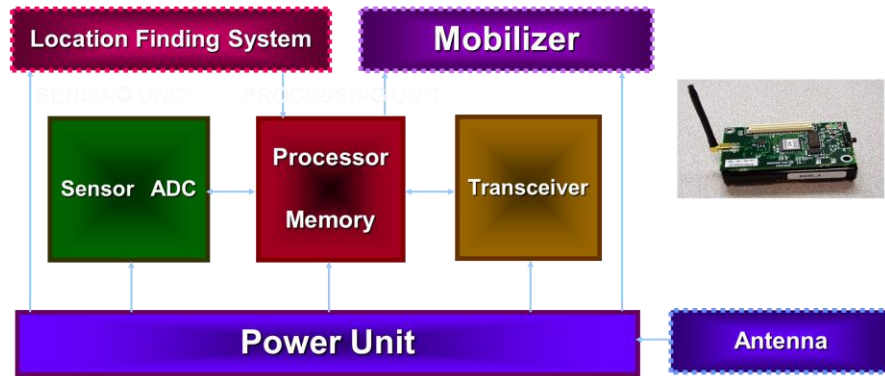


- 能源受限的传感器节点
- 传感器节点的生命周期 (Lifetime) 取决于**电池的生命周期**
- **能量管理系统设计目标**: 以尽可能低的成本提供尽可能多的能量, 以是否能够重复充电作为一个系统设计的重要选择条件。
- 选择:
 - 基本电池: 不可充电;
 - 辅助电池: 可充电, 当结合其他能量获取方式 (如太阳能充电) 时有效;
 - 无线充电: 无线能量收集 (Energy Harvesting) 技术往往通过收集特定电磁场能量 (如在蜂窝网络中的潜在接收能量), 提高设备的自持性。
- 传感网的功耗来自三方面
 - 感知
 - 数据处理 (计算)
 - 通信 (**大头**)

电源管理与自持性

• 无线传感器节点能量管理

传感器节点硬件



- 数据处理的能耗功率(P_p)为:

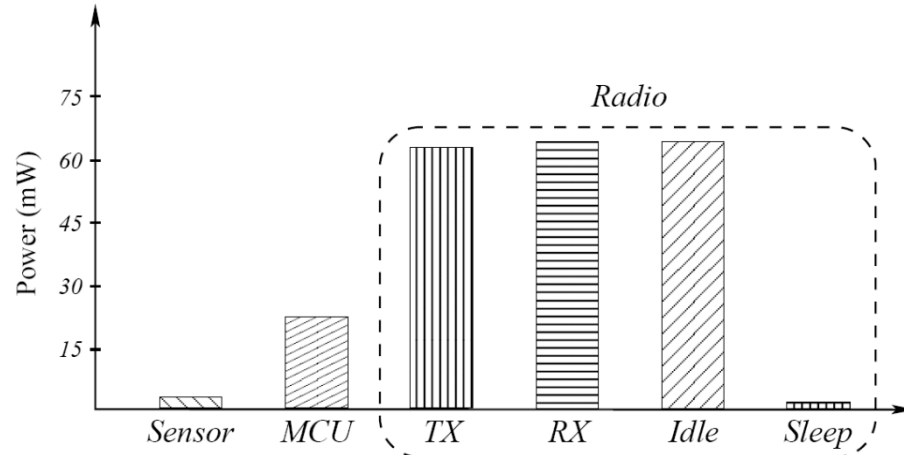
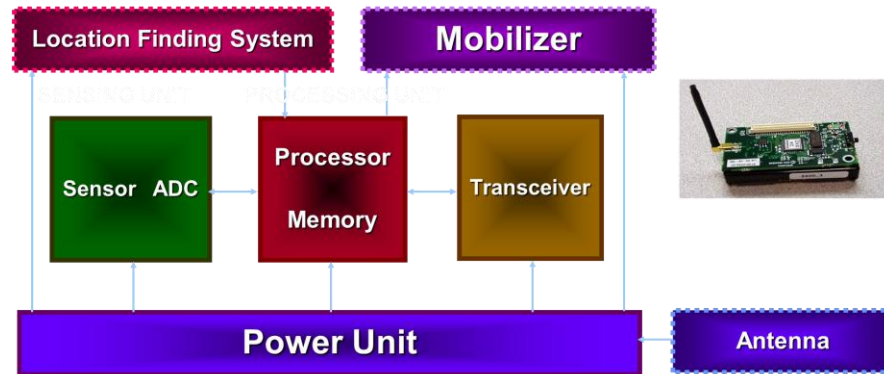
$$P_p = \underbrace{C \cdot V_{dd}^2 \cdot f}_{\text{动态能耗}} + \underbrace{I_0 \cdot V_{dd} \cdot e^{\frac{V_{dd}}{n \cdot V_T}}}_{\text{静态能耗 (泄漏)}}$$

- f 为时钟频率
 - C 为总开关电容
 - V_{dd} 为电源电压
 - V_T 为阈值电压
 - n 为亚阈值斜率因子 $n=21.26$;
 - I_0 为基准泄漏电流 (单位: A 安培) $I_0 = 1.196 \text{ mA}$
- 式中: 第二项是由于泄漏电流造成的能量损失; 将1KB传输100米所消耗的能量近似等于在一个每秒处理8百万条指令的处理器上计算25万条指令 (以MicaZ处理器为例).

电源管理与自持性

• 无线传感器节点能量管理

传感器节点硬件



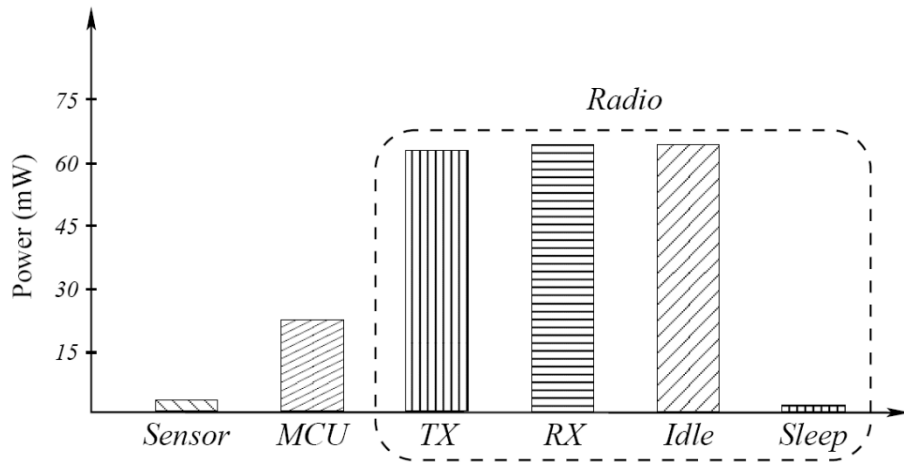
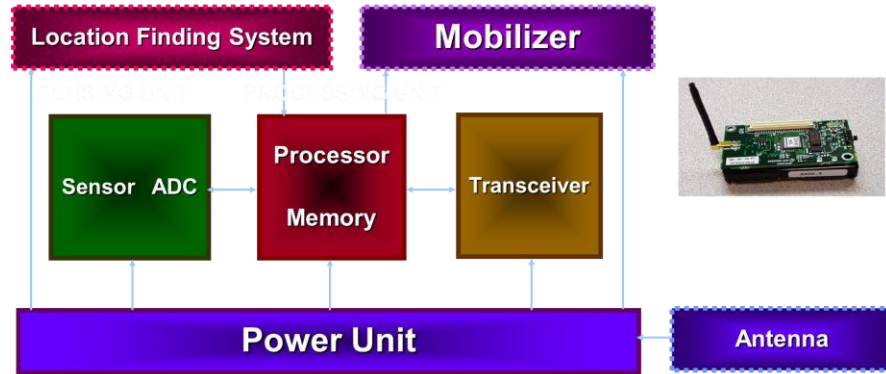
- 传感器节点将大量能量消耗在数据通信上（包括发送与接收）。

切记:

- 对于低发射功率(~ 0 dbm)的短距离通信, 发送与接收所消耗的能量几乎相等,
 - 例如, 现代的低能短距离收发机在发送与接收时, 消耗能量 **15 ~ 300 mW**;
- 收发机 (Transmitter和Receiver) 的能耗都可分为活跃能耗和启动能量消耗两部分。

无线传感器节点能量管理

传感器节点硬件



启动能耗

- 启动能量 = 启动能耗 · 启动时间:

$$E_{st} = P_{LO} \times t_{st}$$

- 收发机由**休眠状态切换为活跃状**（发送或接收）态产生的功耗。
- 在启动期间，数据的发送或接收时不可能的。
- P_{LO} 为包括综合器和VCO的电路总功耗；
- t_{st} 为启动所有收发机组件所需的时间。
- 由于**大量的电能均消耗在每次开启收发机上**，故收发机频繁开关是得不偿失的。

活跃能耗

- 传感器数据使用短包进行通信。

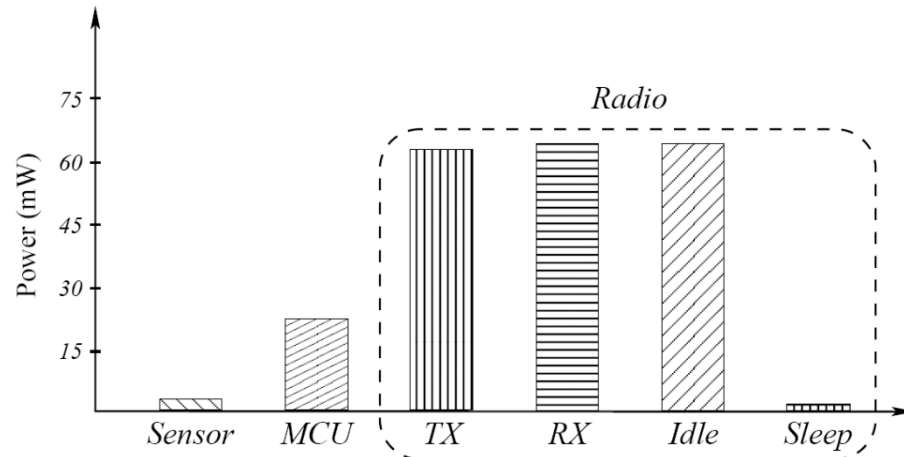
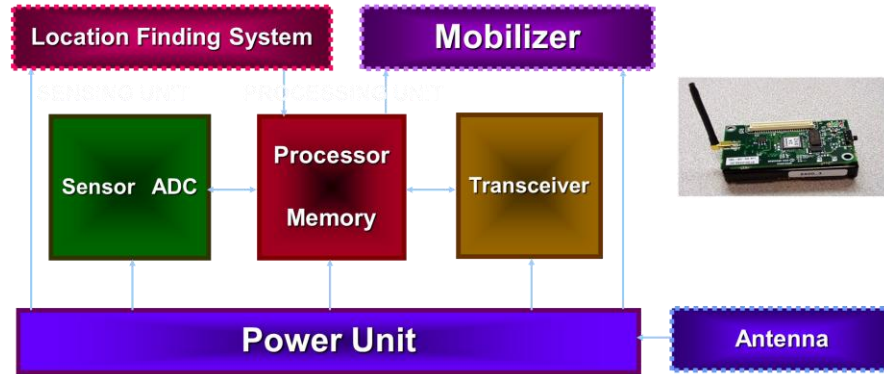
$$E_{rx/tx} = E_{rx/tx} \times t_{rx/tx}$$

- 当所传输数据包尺寸减小，启动能耗居支配性地位。
- 电路转换能耗（切换功耗）：
- 当收发机从发送切换到接收模式也会消耗能量：

$$E_{sw} = P_{LO} \times t_{sw}$$

无线传感器节点能量管理

传感器节点硬件



启动时间与休眠模式:

- 收发机启动时间的影响主要取决于所使用的媒体接入 (MAC) 协议。
 - 为了最小化能耗，最理想的解决方案是：让收发机尽可能长地处于休眠模式
 - 节能方案1：采用低占空比协议（如B-MAC），周期性短暂唤醒监听；
 - 节能方案2：使用同步协议（如TDMA），仅在指定时隙激活收发机。
 - 能量节省高达 99.99% (59.1mW → **3mW**)
- 但是...
- 休眠与工作状态间的切换仍需要消耗能量。

• 无线传感器节点能量管理

收发功率:

• 接收数据的功耗为:

$$E_{rx} = (P_{LO} + P_{RX}) t_{rx}$$

- P_{RX} 为活动组件的功耗, t_{rx} 为收到数据包所花费的时间;

• 发送数据的功耗为:

$$E_{tx} = (P_{LO} + P_{PA}) t_{tx}$$

- 其中, P_{PA} 为功率放大器的功耗

$$P_{PA} = 1/h P_{out}$$

- 其中, h 为功率放大器的能效, P_{out} 为所需RF的输出功率水平

• 功率放大器的功耗为:

$$P_{PA} = 1/h \times g_{PA} \times r \times d^n$$

- g_{PA} 为依赖于天线增益、波长 (信号带宽)、热噪声频谱密度和所需信噪比的变量, 即放大器常数:

$$g_{PA} = \frac{SNR \cdot BN_0}{G(4\pi)^n}$$

- r 为数据速率 (bps) ;
- SNR为信噪比;
- B 为信号带宽;
- N_0 为热噪声功率谱密度 (W/Hz) ;
- n 为路径损耗指数($n=2 \sim 4$, 2为自由空间系数, 复杂环境 $n=3 \sim 4$).
- d 为节点间的距离 (m) 。



电源管理与自持性

- (在一个通信链路上) 通信总功耗公式

$$E_c = E_{st} + E_{rx} + E_{sw} + E_{tx}$$

- 展开为

$$E_c = P_{LO}t_{st} + (P_{LO} + P_{RX})t_{rx} + P_{LO}t_{sw} + (P_{LO} + P_{PA})t_{tx}$$

- 通信时间 (接收端 t_{rx} 和发送端 t_{tx}) 由数据长度|PKT|和通信速率 r 决定

$$t_{rx} = t_{tx} = \frac{|PKT|}{r}$$

- 分解后的功耗公式

$$E_c = \underbrace{P_{LO}(t_{st} + t_{sw}) + (2P_{LO} + P_{RX})\frac{|PKT|}{r}}_{\text{距离无关}} + \underbrace{\frac{1}{\eta} \cdot \gamma_{PA} \cdot |PKT| \cdot d^n}_{\text{距离相关}}$$

电源管理与自持性

简化的通信能耗模型

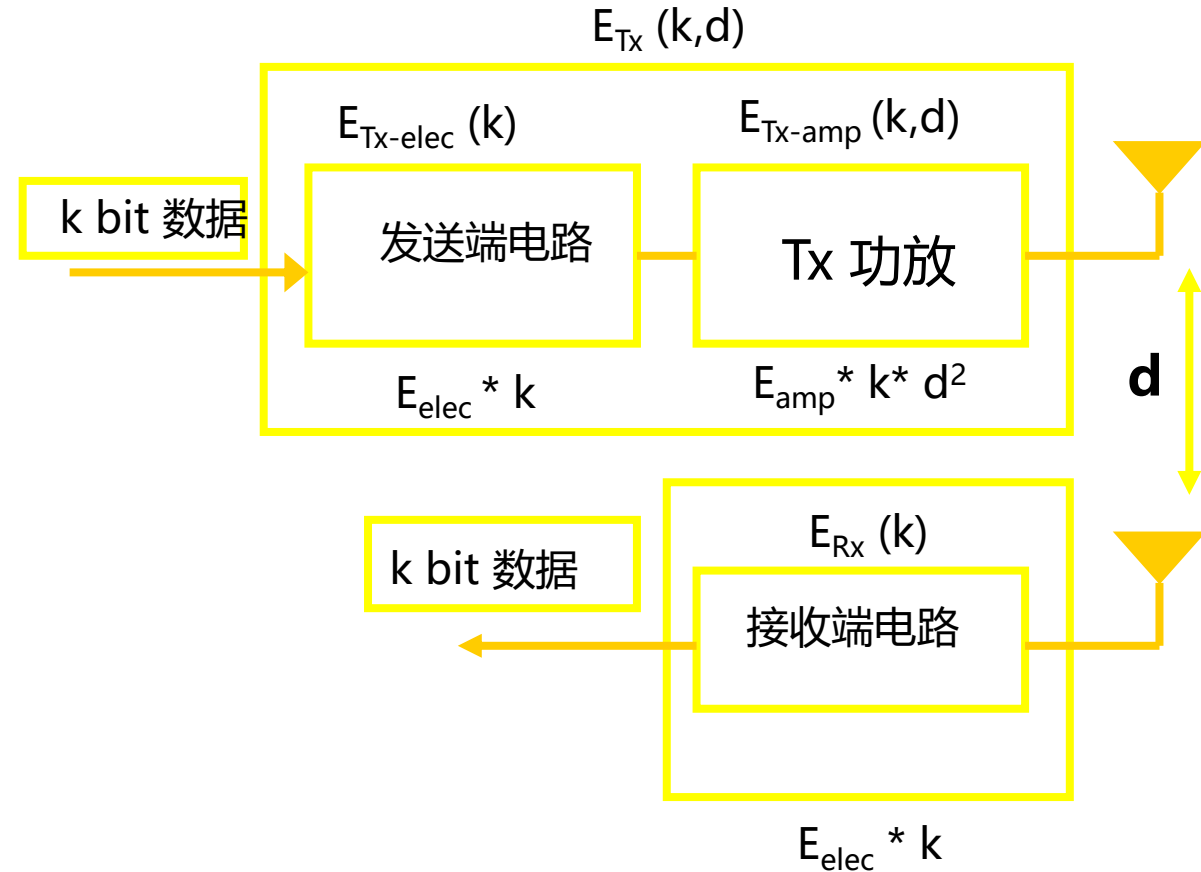
总Tx能耗: $E_{tx}(k,d) = E_{tx-elec}(k) + E_{tx-amp}(k,d)$

简化展开: $E_{tx}(k,d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^2$

总Rx能量: $E_{rx}(k) = E_{rx-elec}(k)$

简化展开: $E_{rx}(k) = E_{elec} * k$

其中: k -数据包比特数; d -发送距离; E_{amp} -功放能耗/bit; E_{elec} -电路能耗/bit;



分项功耗	消耗能量
发送端电子电路 ($E_{Tx-elec}$)	50 nJ/bit
接收端电子电路 ($E_{Rx-elec}$)	
$(E_{Tx-elec} = E_{Rx-elec} = E_{elec})$	
发送端功率放大器 $\{E_{amp}\}$	100 pJ/bit/m ²

电源管理与自持性



使用简化的能量模型计算IoT网络能耗的一个实例

源节点与Sink节点相距100米，节点的广播半径为5米，那么将1 Kbit 的数据从源节点传输到Sink节点处，需消耗多少能量？

(假定所有邻居节点均能侦听 (overhearing) 到每个节点的广播。)

电源管理与自持性



答案:

根据所需最小中继节点数量, 计算发送 /接收节点对 (一个节点发送, 一个节点接收):

由最大传输距离 $d=5$ 有: $100 \text{ meters} / 5 \text{ meters} = 20$ 节点对

总传输数据 $k=1\text{Kbit}=10^3 \text{ bit}$

$$E_{\text{Tx}}(k,d) = E_{\text{elec}} * k + e_{\text{amp}} * k * d^2$$

$$\begin{aligned} E_{\text{Tx}} &= 50 * 10^{-6} \text{ J/bit} * 10^3 + 100 * 10^{-9} \text{ J/bit/m}^2 * 10^3 * 5^2 = \\ &= 0.05\text{J} + 0.0025 \text{ J} = 0.0525 \text{ J} \end{aligned}$$

$$E_{\text{Rx}}(k,d) = E_{\text{elec}} * k$$

$$E_{\text{Rx}} = 0.05 \text{ J}$$

$$E_{\text{pair}} = E_{\text{Tx}} + E_{\text{Rx}} = 0.1025\text{J}$$

$$E_{\text{T}} = 20 * E_{\text{pair}} = 20 * 0.1025\text{J} = 2.050 \text{ J}$$

电源管理与自持性



能量高效利用的手段:

- 有效减少通信工作模式
- 尽量工作在节能模式
- 事件驱动唤醒模式
- 动态电压调整
-
- 可充电节点: 太阳能, 海浪能....