

智能仪器设计技术



仪器科学与工程学院
姚逸卿

yiqing-yao@seu.edu.cn

025-83793911

中心楼542

慕课平台-智能仪器设计技术（东南大学）

QQ群语音/腾讯会议+PPT投屏

课堂练习+课后作业

前言

课程的性质

本课程是测控技术与仪器专业必修的一门的专业主干课。

课程的目的

通过学习与智能仪器设计相关的**基本原理**使掌握智能仪器的**设计**思路、设计方法和实现过程。

基础课程

《数字电路》 《模拟电路》 《单片机》 《微机接口》 等

前言

教材

《智能仪器原理与设计》-朱欣华、邹丽新、朱桂荣编著
(第二版)



(第一版)



(第二版)

前言

参考书

- 《智能仪器设计基础（第二版）》，赵新民等编著，哈尔滨工业大学出版社
- 《智能仪器原理及应用（第三版）》，赵茂泰主编，电子工业出版社

课程安排

课 程 内 容	讲 课
§ 1 概述	4
§ 2智能仪器中数字量的输入/输出	4
§ 3智能仪器中模拟量的输入/输出	8
§ 4智能仪器的人机接口	5
§ 5数据处理技术	6
§ 6智能仪器的总线和通信技术	5
§ 7智能仪器的抗干扰技术	4
§ 8智能仪器设计实例	4
合计	40

成绩由3部分组成:

1. 上课出勤，作业完成：10%
2. 实验: 10%
3. 考试（闭卷）：80%

第一章 概述

1.0 仪器仪表的发展

从传统仪器到智能仪器

1.1 智能仪器的结构和特点

2种结构、5个特点

1.2 推动智能仪器发展的新技术

7种技术

第一章 概述

仪器仪表的发展

1. 仪器仪表定义、作用、行业分类

仪器仪表是信息获取的工具、是认识世界的**手段**，是一个具体的系统或装置。

最基本的作用：是延伸扩展补充或代替人的听觉、视觉、触觉等器官的功能。

分类(按照行业分类)： **测量仪器**，分析仪器，生物医疗仪器（如心电图等），地球探测仪器，天文仪器（望远镜），航空航天航海仪表，汽车仪表，电力，石油，化工仪表等，遍及国民经济各个部门，深入到人民生活的各个角落。

2、八类测试**计量仪器**

以某一个已知的量或单位作为标准，一个未知的量是已知量的多少倍或多少分之一。

- 几何量：长度、角度、形貌、相互位置、位移、距离测量仪器等
- 机械量：各种测力仪、硬度仪、加速度与速度测量仪、力矩测量仪、振动测量仪等
- 热工量：温度、湿度、流量测量仪器等
- 光学参数：如光度计、光谱仪、色度计、激光参数测量仪、光学传递函数测量仪等。
- 电离辐射：各种放射性、核素计量，X、 γ 射线及中子计量仪器等。

★**时间频率**：各种计时仪器与钟表、铯原子钟、时间频率测量仪等

铯晶格钟——50亿年不差1秒，比铯原子钟精确1000倍。

★**电磁量**：交、直流电流表、电压表、功率表、RLC测量仪、静电仪、磁参数测量仪等

★**无线电参数测量仪器**（电子测量仪器）：如示波器、信号发生器、相位测量仪、频谱分析仪、动态信号分析仪等。

思考：实际生活中接触到哪些仪表，这些仪表有什么不足，应如何改进？

以电表为例



降低人工费，消除目视抄表错误

日本智能电表：在日本主要采用无线方式传送信号。电表通过“**接力**”的方式传递信号。子电表和对应主电表之间可以**互相通信，层层递推**，实现全自动功能。

当电表信号接收不好时，可能出现信号错误或受其他信号干扰的现象。

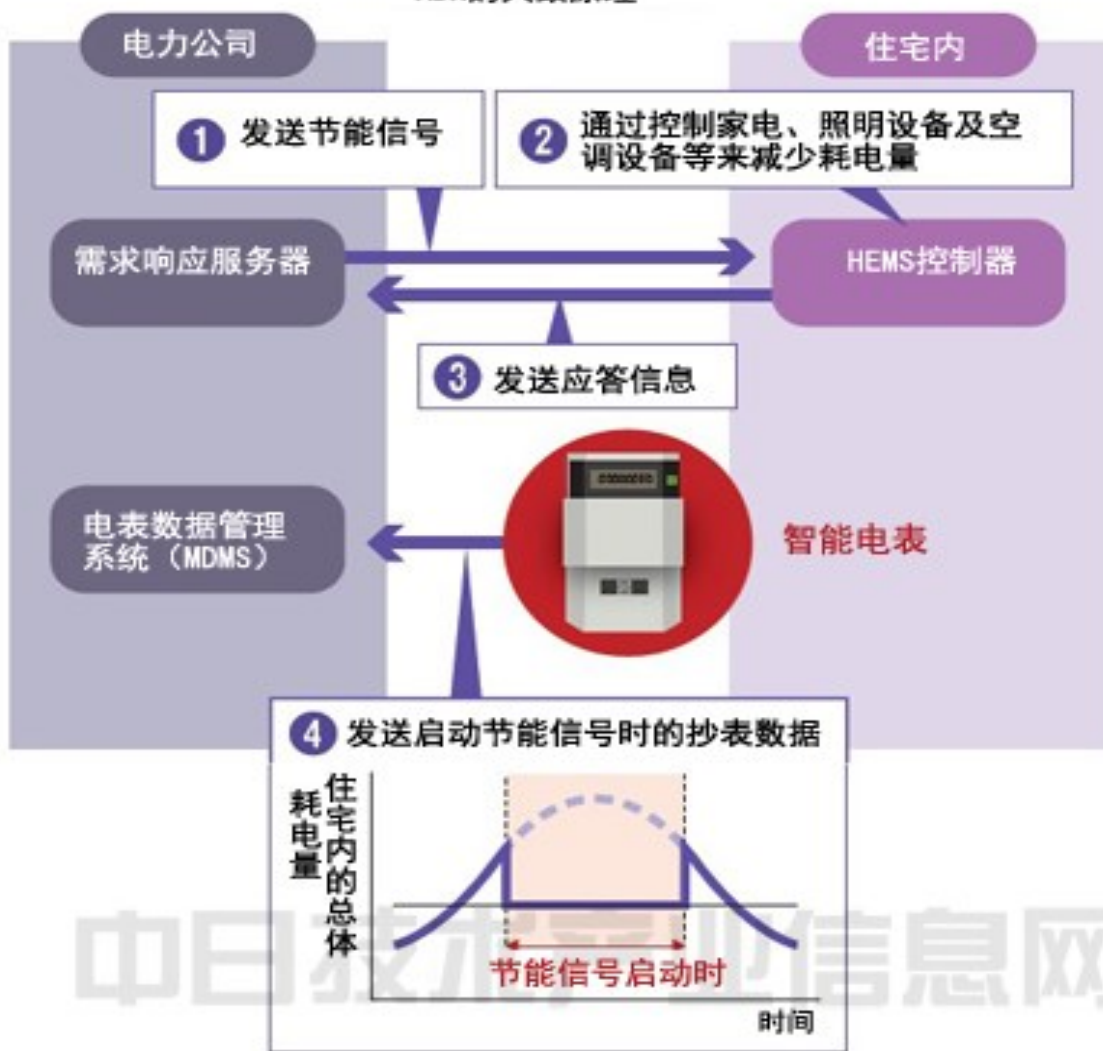
◆OKI公司开发的智能电表传输系统当遇到其中一个电表故障时，可以自动寻找迂回线路。

◆富士通研究所开发的智能电表传输系统为防止住宅集中地区电表之间信号的相互干扰，可自动调节电波强度，仅在2个最近的电表之间实现信息交换，从而将信息遗失率从10%降低到1%。

◆智能电表可以根据家庭、企业的电力使用情况实现最优化的电力供应。

电力供应紧张时请求 用户节能

ADR的大致原理



美国劳伦斯伯克利国家实验室开发

美国已开始提供根据**总体供求平衡**来调整用户能源使用量的“需求响应”（DR）服务。而且，使DR实现**自动化的**“自动需求响应”（ADR）。

◆由运营商的ADR服务器向用户发送“DR信号”。DR信号可以发送节能请求、能源价格信息及能源系统可靠性等信息，并委托用户考虑如何应对。

◆HEMS(家庭能源管理系统)及BEMS(大楼用能源管理系统)的控制器经由智能电表等接到请求节能的DR信号时，控制器会制定总体节能计划，并按照该计划进行设备控制。

仪器仪表的历史发展

- 1、指针式：50年代前。
- 2、数字式：50~60年代，有了半导体，门电路，数字电路。
- 3、智能式：70年代后，有了微处理器，编程技术。

● 第一代指针式仪器仪表 (模拟式仪器仪表)

如指针式万用表，功率表等，属于电磁式仪表。利用电磁测量原理使指针来显示最终测量结果。

其特点是读数直观，可靠性好，但是精度不高，功能单一，存在读数误差。



● 第二代为数字式仪器仪表

数字式仪表也称为数显仪表，如数字万用表、数字电压表等。该类仪表是建立在微电子发展的基础上发展起来的。它们的基本结构中一般离不开模/数转换环节，不一定含有微处理器，并以数字方式显示或打印测量结果。

特点是数字显示，读数准确，精度高，反应速度快，但是功能依然单一，只能作为简单测量和控制。



● 第三代是智能式仪器仪表

主要特征是智能仪器内含**微处理器**，外形和第二代数字仪器没太大的区别，但在硬件和软件设计上有质的飞跃。

智能仪器具有**信息采集**，**数据处理**，**输出控制**及测试过程和测试结果显示、记录、传输自动进行等丰富的功能。如示波表，不但能显示数据，还能显示波形，波形能存储和分析。

智能仪器最重要的是体现在**软件的智能化**。实现了智能化数据采集、过程控制、数据校验和自检。



示波表

第一章 概述

智能仪器的概念与历史

智能仪器是计算机技术与测量仪器相结合的产物，是含有微计算机或微处理器的测量(或检测)仪器，它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能，具有一定智能的作用(表现为智能的延伸或加强等)。

1984年：我国仪器学会成立“自动测试与智能仪器专业学组”；

1986年：IMEKO(国际测量联合会)以“智能仪器”为主题召开了专门的讨论会；

1988年：IFAC（国际自动控制联合会）的理事会正式确定“智能元件及仪器”的概念。

第一章 概述

智能仪器的概念与历史

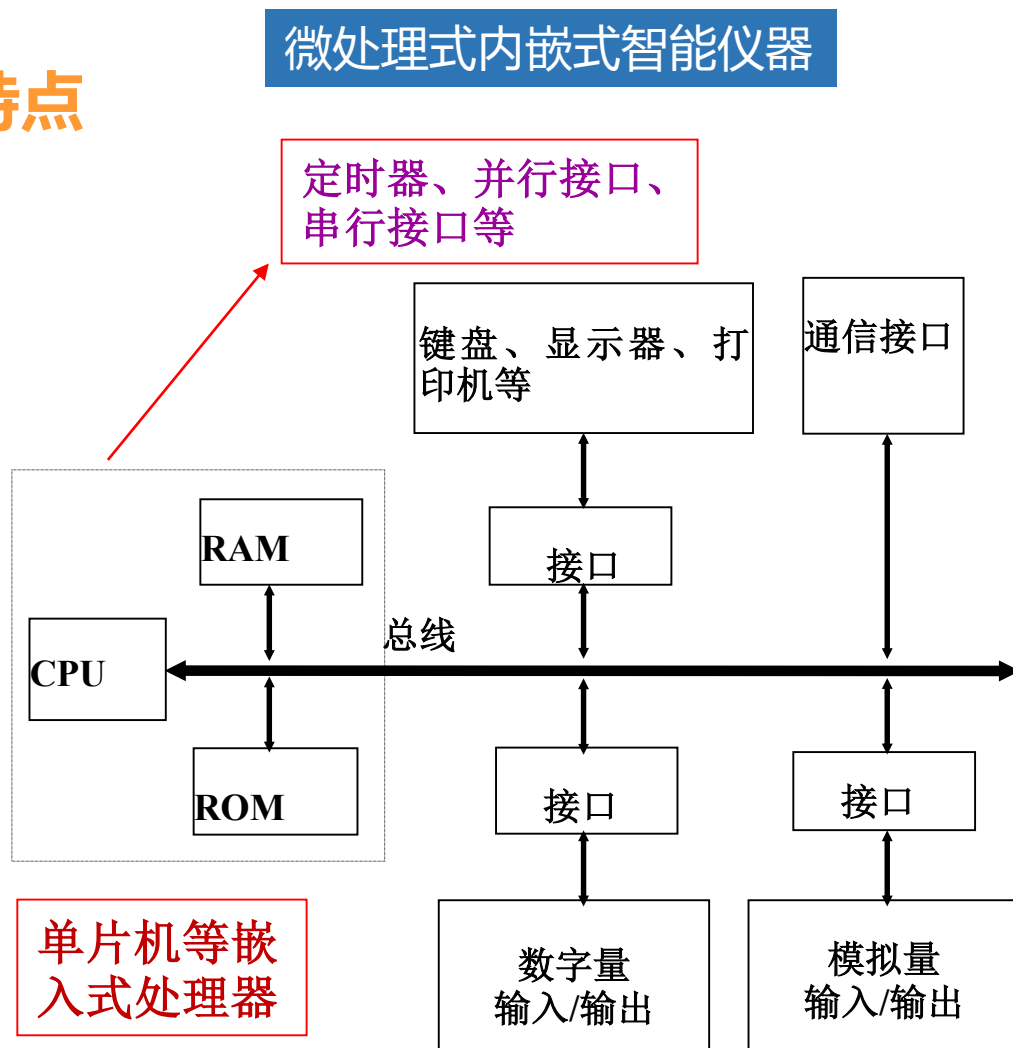
近年来，智能仪器已开始从较为成熟的**数据处理**向**知识处理**发展。模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测等，使智能仪器的功能向更高的层次发展。

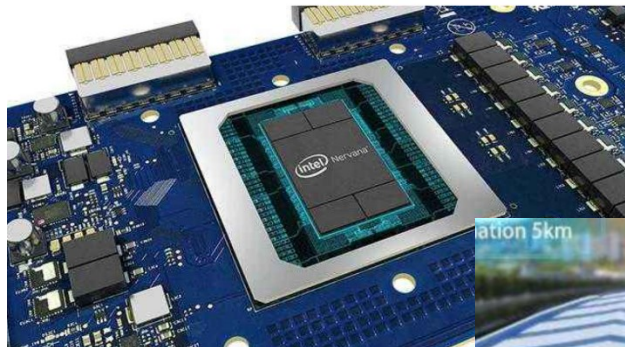
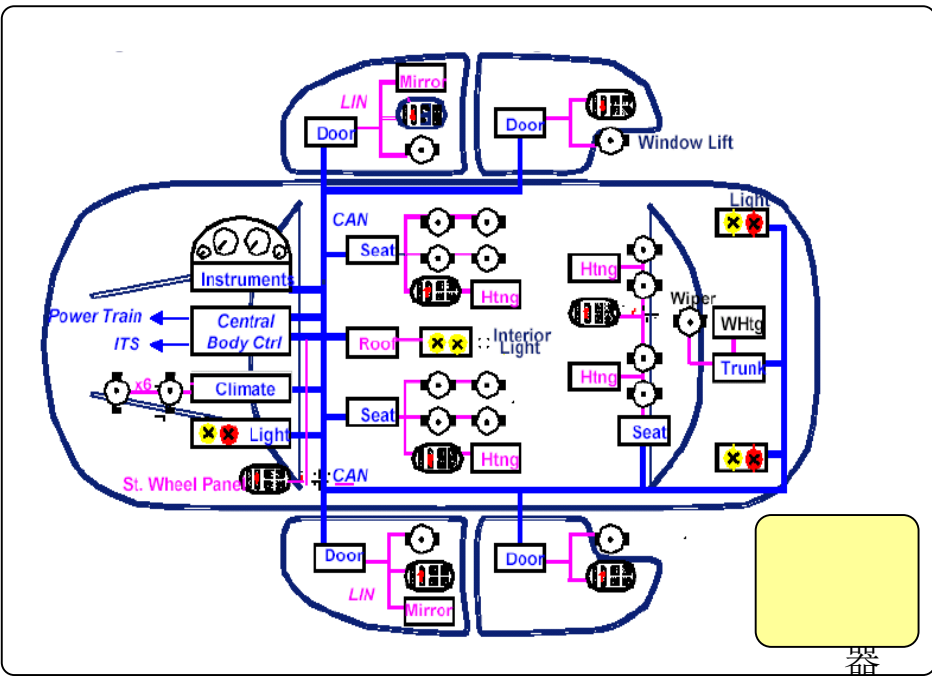
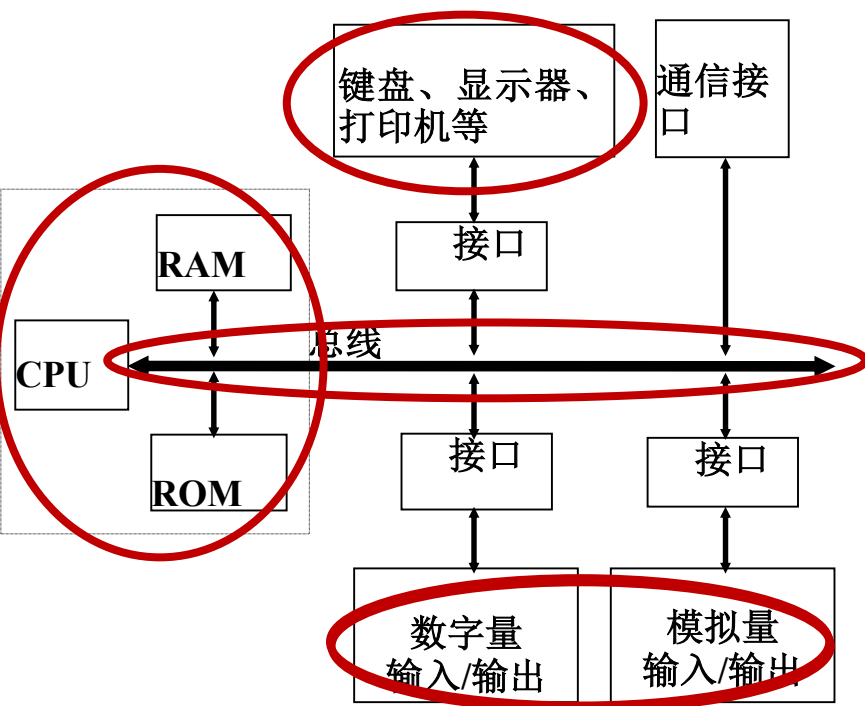
智能仪器对仪器仪表的发展以及科学实验研究产生了深远影响，是仪器设计的里程碑。

第一章 概述

1.1 智能仪器的结构和特点

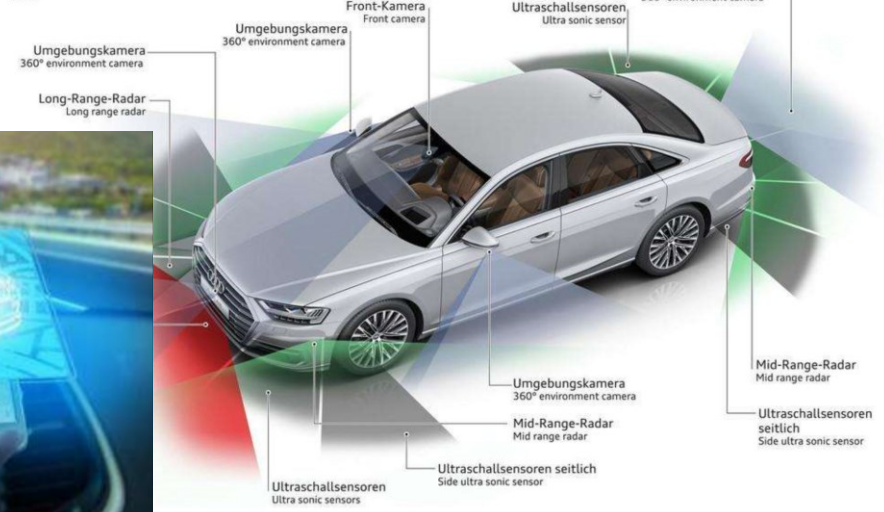
- 微处理器 (CPU) ——**核心**
- 存储器 (ROM、RAM)
- (人机接口) 键盘和显示系统
- 数字I/O接口
- 模拟I/O接口 (模拟信号处理系统A/D、D/A、放大器等)
- 串行、并行通信接口





Audi A8

Sensorfelder der Umfeldüberwachung
Sensor areas for environment observation
07/17

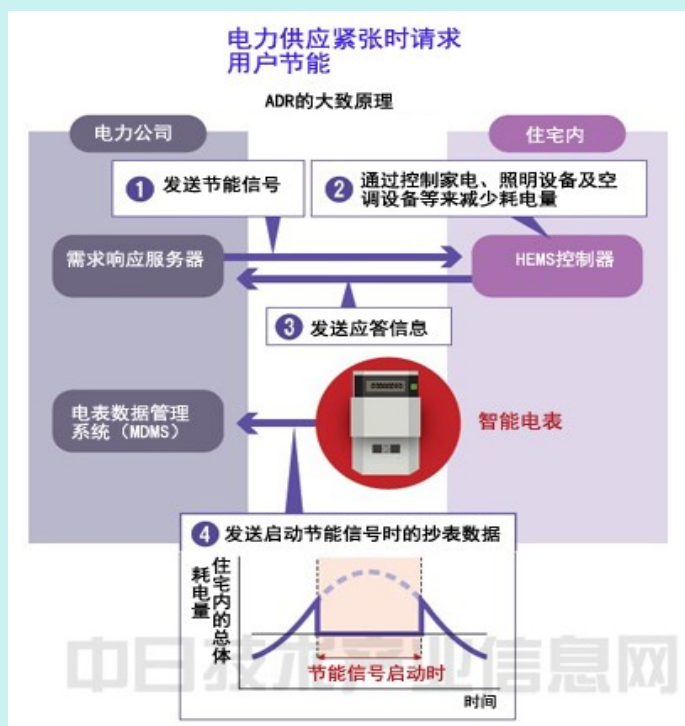


车灯

仪器仪表的发展

实例

人工抄表
半自动抄表
自动抄表



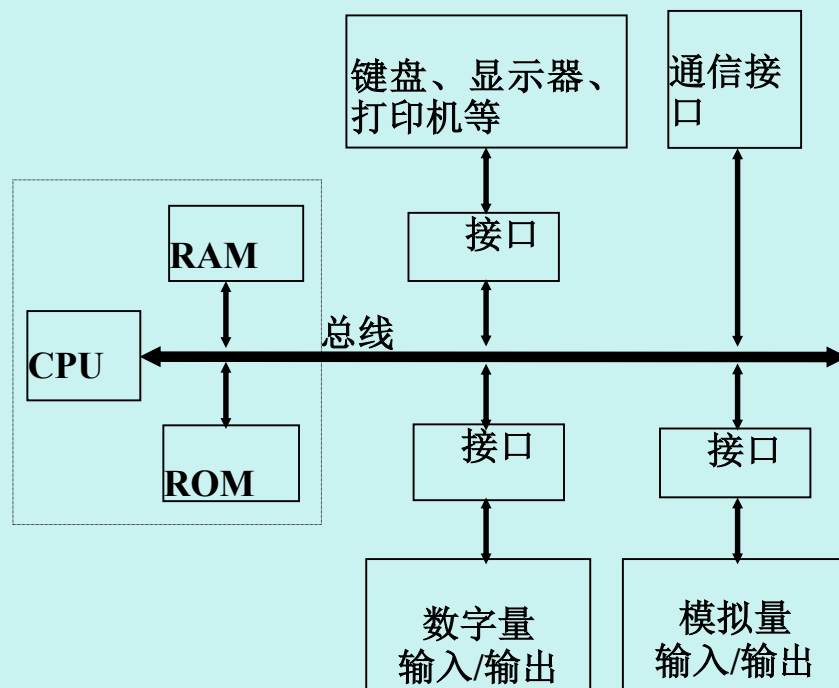
分类

1、指针式

2、数字式

3、智能式

智能仪器的结构



微处理式内嵌式智能仪器

智能仪器的主要特点

随着微电子技术的不断发展，智能仪器在各方面得到前所未有的提高，与传统仪器相比，具有如下几个主要特点：

1、功能丰富、性价比高

微处理器的引入使智能仪器的功能较传统仪器有了极大的提高，由于微处理器丰富的软件功能，使得硬件设计变得极为简单，大多有硬件完成的功能现在可通过软件实现。如函数运算、功率计算、非线性问题的处理等。

智能仪器还具有丰富的接口和通讯功能，如RS 232、RS 485、USB或以太网接口等。

2、具有较强的数据处理、运算和控制功能

现代微处理器的运算速度越来越快，运算能力越来越强，这就使智能仪器不仅能实现诸如PID这样的经典控制算法，而且还能实现诸如最优控制和最佳滤波等现代算法。

3、具有自校准、自检和自诊断功能

因任何电子元件在不同的环境下，以及长时间使用后均存在部分参数的漂移，智能仪器能通过软件算法或借助部分硬件将其修正。这种修正正是即时、动态的，其中包括零点漂移（温度漂移，时间漂移）修正、标度漂移修正、非线性修正等。

智能仪器还具有自检和自诊断功能。一旦仪器自身出现故障或异常，仪器可以自检出来，提示用户仪器的故障点在何处，从而简化和加快了仪器的维修工作。

4、人机对话能力强

人机对话就是智能仪器与操作人员之间的信息交换过程（输入/出）。

智能仪器人机对话能力较强，可以通过键盘(机械键盘和触摸屏)、显示器设备（七段LED数码模块、LED发光二极管和液晶屏等）、打印机等方式进行信息交换。

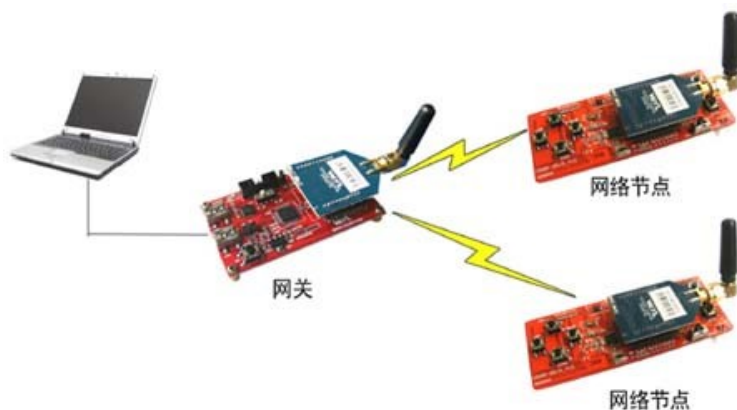
另外因智能仪器具有较强的通信功能，可以通过通信总线进行远距离信息交换。如与上位PC机通信，可以在PC机的显示屏上直接观察仪器的运行状态和采集的数据。

5、单个仪器自动化水平高，多个仪器可构成自动测试系统（具有较强的联网功能）

智能仪器的单个自动化程度都比较高，控制能力也很强，但是随着现代工农业生产过程的现代化、复杂化，**有些场合单个仪器无法完全胜任全部任务，需要多个仪器共同协同完成。**

智能仪器凭借强大的通信能力，可将多台仪器组成局域网，每台仪器完成各自的功能，通过局域网实现**信息共享，协同完成比较复杂任务。**

智能仪器组成网络后还可以实现集散控制系统，**通过上位机对网络进行管理**，充分利用PC机强大的功能，完成更复杂的运算和数据处理。



评估系统结构

第一章 概述

1.2 推动智能仪器发展的新技术

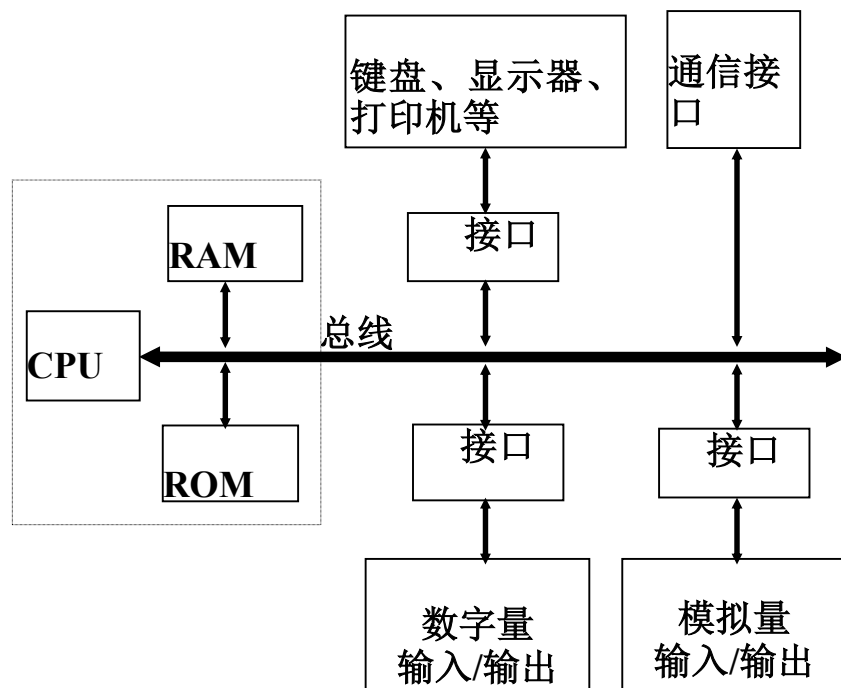
仪器仪表是国民经济的“倍增器”，科学研究的“先行官”，现代战争的“战斗力”，法庭审判的“物化法官”，是认识改造世界的工具。

为了加深认识世界的广度和深度，必然要利用一切先进的科技成果和技术手段来不断地更新、丰富和发展这一工具。许多领域的新的技术成果和理论成果被应用到智能仪器中。这些技术推动了智能仪器的发展。

- 传感器技术
- DSP技术
- 嵌入式计算机技术
- EDA技术及FPGA/CPLD
- 网络技术
- 标准化模块仪器技术
- 虚拟仪器技术

第一章 概述

1.2 推动智能仪器发展的新技术



- 传感器技术
- DSP技术
- 嵌入式计算机技术
- EDA技术及FPGA/CPLD
- 网络技术
- 标准化模块仪器技术
- 虚拟仪器技术

1.2.1 传感器技术

● 什么是传感器

传感器是将非电量转换成电量的一种装置。
非电量参数的检测均需通过传感器转换才能完成。

● 传感器的发展

传感器的发展经历了三个阶段：

- 聋哑传感器 (Dumb Sensor)
- 智能传感器 (Smart Sensor)
- 网络化传感器 (Networked Sensor)

(1) 聋哑传感器

是传感器初级阶段，它只是将非电量进行简单的、直接变换，如电压、电流传感器，液位传感器等。其结构简单，输出幅值小，灵敏度低，功能单一。



电压传感器

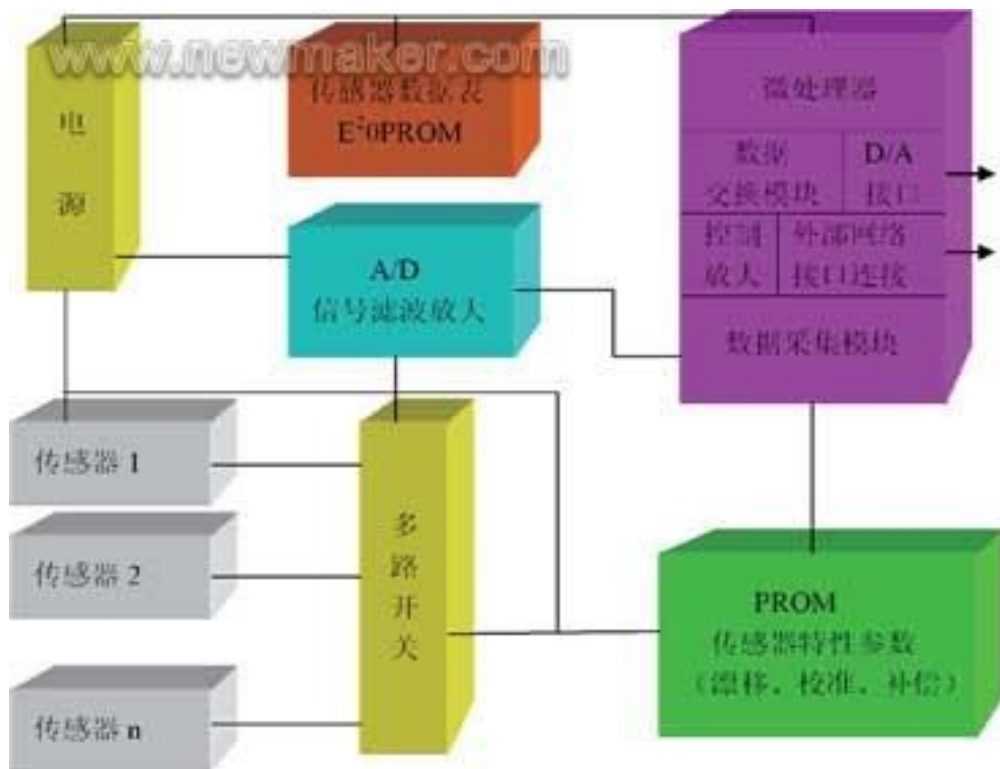


chem.cn

电流传感器

(2) 智能传感器

随着微电子技术的快速发展,各种微处理器及功能芯片高度集成化和小型化,微处理器、功能芯片与传感器集成在一起已成为可能,从而改变了“聋哑传感器”功能单一,灵敏度低的状态。传感器集成了微处理器后,具有一定数据处理能力,并能自检、自校、自补偿,形成了智能传感器。



智能传感器结构框图

智能传感器本质上就是一台前端预处理仪器。灵敏度高、输出信号大、线性度好、能进行自身的零点漂移修正。有的智能传感器还具有通信（组网）能力。

智能传感器的出现是传感技术的一次革命,对传感器的发展产生了深远的影响。

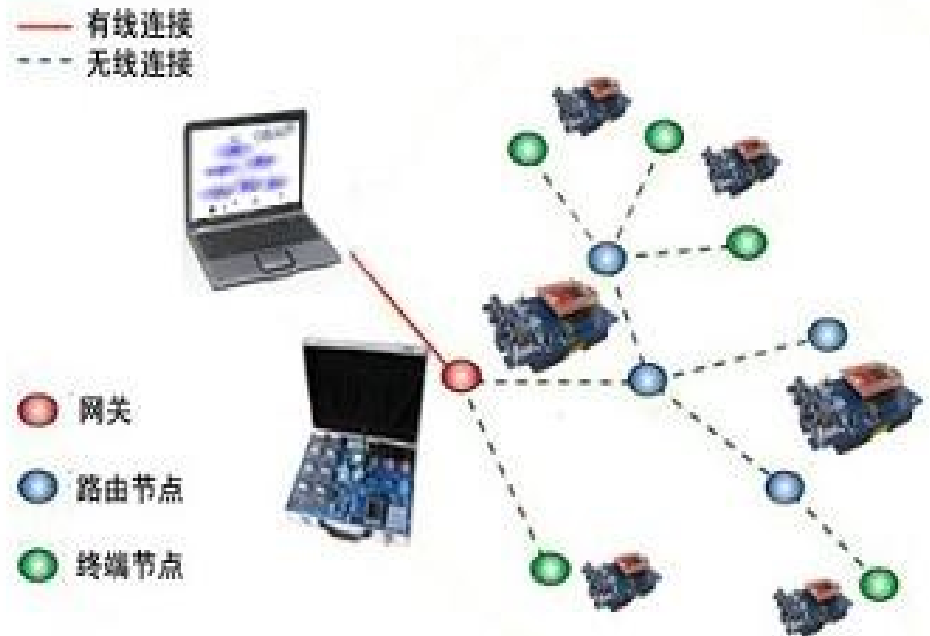


智能流量传感器

(3) 网络化传感器

计算机技术的不断发展，各种高可靠性、低功耗、低成本、小体积的网络接口芯片被开发出来，**当网络接口芯片与智能传感器集成在一起并使通信协议固化到智能传感器的ROM中时，就产生了网络传感器。**

网络传感器继承了智能传感器的全部功能，并且**能和计算机网络进行通信，因而在现场总线控制系统(FCS)中得到了广泛的应用，成为FCS中现场级的智能化传感器。**



传感器还向着**集成化、多功能化和微型化**发展：

- **集成化**是指借助于微电子和MEMS（Micro Electro-mechanical System，微机电系统）技术中的微细加工技术（如光刻、腐蚀、蒸镀、电火花加工、线切割以及LIGA工艺等），将单一功能的传感器与其他传感器或执行器、信号处理元件以及电路集成在一起，甚至一个芯片中，使之成为一种全固体化的功能器件。

MEMS——微机电系统是一种先进的制造技术平台，是微电路和微机械按功能要求在芯片上的集成，尺寸通常在毫米或微米级。

- **多功能**是指将原本多个传感器完成的功能集成在一个传感器中，使之具有更多的功能。传感器的多功能化通常是在集成化的基础上实现的。

- **微型化**是指传感器的尺寸极度缩小，向微小型化发展，典型的有各种MEMS传感器。而且由于尺度效应，能够呈现许多新的物理性质，因而MEMS传感器能被用于许多特殊的场合。

ADIS16365具有校准功能的数字化惯性传感器系统。SPI接口和简单的输出寄存器结构可以方便地获取数据或进行传感器配置。

其主要特点如下：

- 微型化，整个模块尺寸只有23 mm × 23 mm × 23 mm；
- 内嵌处理器对影响MEMS传感器的主要因素进行动态补偿；
- SPI接口，获取相互垂直的X轴、Y轴和Z轴的角速率测量值及X轴、Y轴和Z轴的线加速度测量值以及芯片内部的温度值。

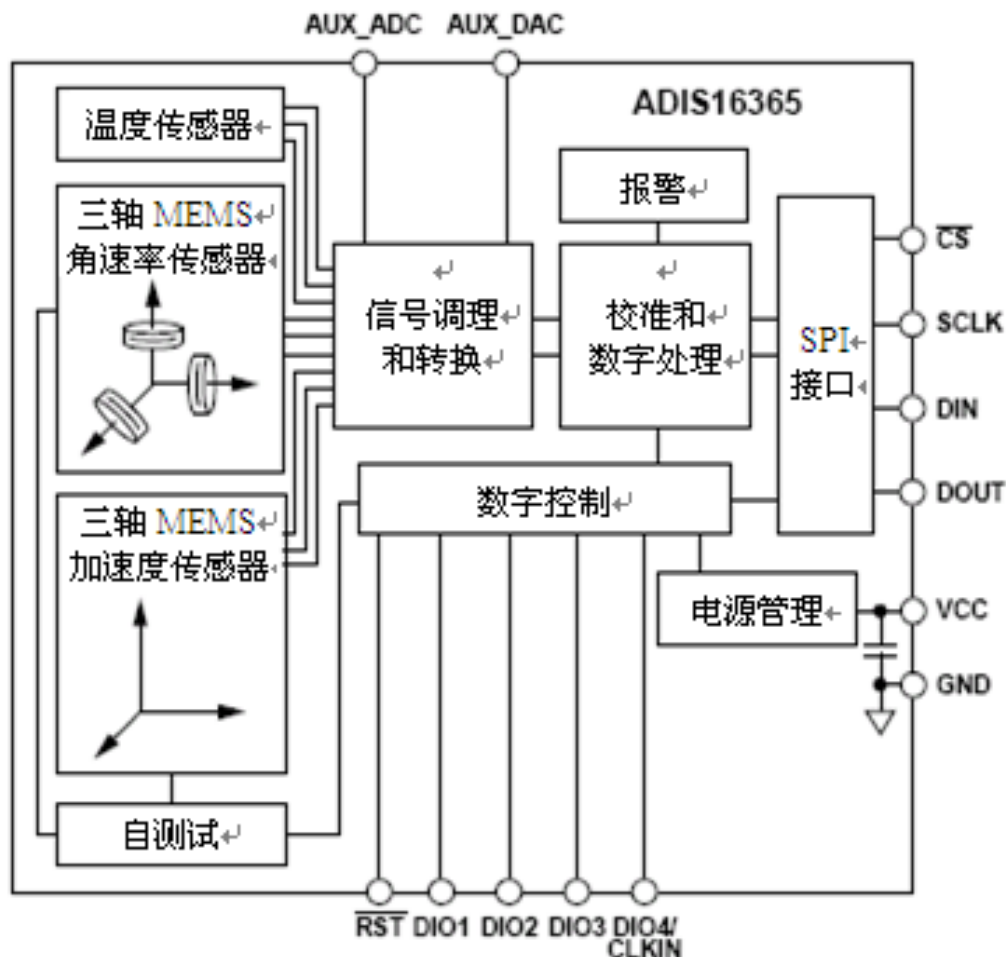


图 1.2 ADIS16365 内部结构

优点：在MEMS技术发展并逐步成熟之前，上述模块实现的功能需要装在精密加工的六面体上的三个单轴机电式或光学陀螺仪和三个加速度计、一个带数据采集系统等的微机系统等组成的装置才能实现，其体积约在 $230\text{mm} \times 230\text{mm} \times 230\text{mm}$ ，是前者的1000倍，因此重量、功耗及成本等也大大增加。

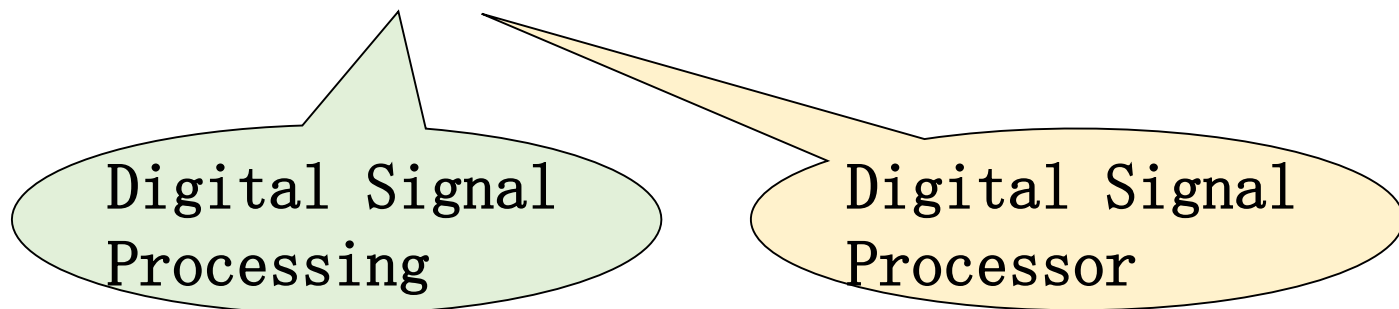


石英加速度计

总结：传感器的集成化、多功能化、智能化和网络化，大大提高了信号的检测能力，进而推动智能仪器总体性能的提高。

1.2.2 DSP技术

一、什么是DSP



1、数字信号处理 (Digital Signal Processing—DSP)

DSP利用计算机或专用处理设备，以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理；强调的是数字信号处理方法、技术。

DSP是20世纪60年代，随着信息学科和计算机学科的高速发展而迅速发展起来的一门新兴高新技术学科。

数字滤波、FFT、相关、卷积等是DSP的常用方法，算法的主要运算都由迭代式的乘和加组成。直至20世纪80年代，这些运算一般是在通用微机系统中用软件来完成的，运算时间较长。因此，DSP技术的广泛应用受到了**限制**。

2 数字信号处理器

(Digital Signal Processor– DSP)

是一种特别适合进行数字信号处理运算的微处理器。

DSP芯片的出现使DSP技术能够广泛应用到低成本的应用系统中。



二、DSP芯片的特点

数字信号处理不同于普通的科学计算与分析，它强调运算的**实时性**。除了具备普通微处理器所强调的**高速运算**和**控制能力**外，针对实时数字信号处理的特点，在**处理器的结构、指令系统、指令流程**上作了很大的改进，其主要特点如下：

- 哈佛结构
- 多总线结构
- 流水线结构
- 多处理单元
- 特殊的DSP指令
- 指令周期短
- 运算精度高
- 硬件配置强

1) 哈佛结构



图 冯·诺伊曼结构

➤ 早期的微处理器内部大多采用冯·诺依曼(Von-Neumann)结构。其片内程序空间和数据空间是合在一起的，取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行的。当高速运算时，不但不能同时取指令和取操作数，而且还会造成传输通道上的瓶颈现象。

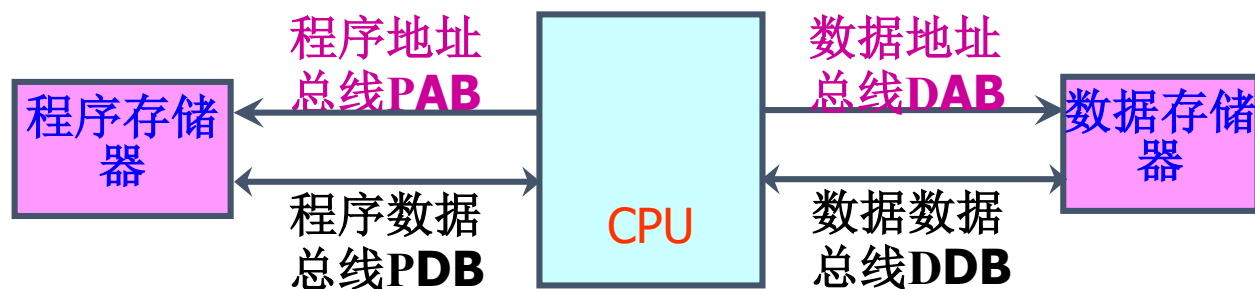


图 哈佛结构

➤ DSP内部采用的是程序空间和数据空间分开的哈佛(Havard)结构，允许同时取指令(来自程序存储器)和取操作数(来自数据存储器)。而且，还允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据，即改进的哈佛结构。

2) 多总线结构

——**多条地址、数据总线**，可保证同时进行取指令和多个数据存取操作，并由辅助寄存器自动增减地址进行寻址，使CPU在一个机器周期内可多次对程序空间和数据空间进行访问。总线越多，在同一时间内实现的操作越多，所完成的功能就越复杂。

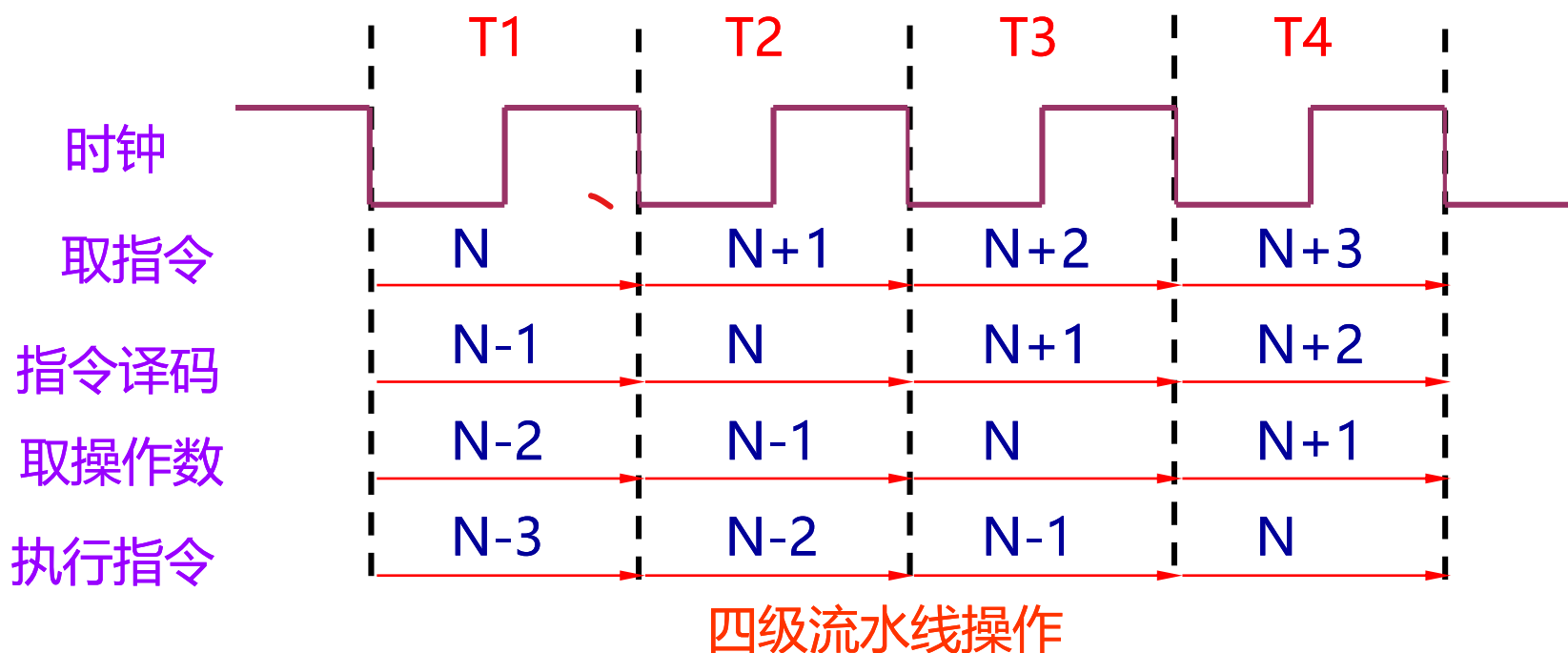
例如,TMS320C240x内部有数据读总线、数据写总线、程序读总线，还有相对应的地址总线，可以实现：

- ✔ 一个机器周期内从程序存储器取1条指令
- ✔ 从数据存储器读1个操作数
- ✔ 向数据存储器写1个操作数

内部总线是个十分重要的资源。

3) 流水线操作(pipeline) (以四级流水线为例)

- DSP执行一条指令，可分成取指、译码、取操作数和执行等几个阶段。
- DSP芯片大多采用流水技术，即每条指令都由片内多个功能单元分别完成取指、译码、取数和执行等多个步骤，这样，在执行本条指令的同时，还依次完成了后面3条指令的取操作数、译码和取指。



4) 多处理单元

- DSP内部一般都包括有多个处理单元，如算术逻辑运算单元(ALU)、辅助寄存器运算单元(ARAU)、累加器(ACC)以及硬件乘法器(MUL)等。它们可以在一个指令周期内同时进行运算。
- DSP的这种多处理单元结构，特别适用于FIR和IIR滤波器
- 许多DSP的多处理单元结构还可以将一些特殊的算法，例如“位倒序寻址”（实现FFT快速倒序）等，在芯片内部用硬件实现以提高运行速度。

5) 特殊的DSP指令

为了更好地满足数字信号处理应用的需要，在DSP的指令系统中，设计了一些特殊的DSP指令。

例如：TMS320C25中的MAD(乘法、累加和数据移动)指令，具有执行LT、DMOV、MPY和APAC等4条指令的功能。

6) 指令周期短

- 早期的DSP的指令周期约400ns。其运算速度为2.5MIPS(每秒执行250万条指令)
- 随着集成电路工艺的发展，DSP广泛采用亚微米CMOS制造工艺，其运行速度越来越快
- TMS320C6203的运行速度达到2400MIPS

7) 运算精度高

- 早期DSP的字长为8位，后来逐步提高到16位、24位、32位
- 为了防止运算过程中溢出，有的累加器达到40位
- 此外，一批浮点DSP，例如TMS320C3x、TMS320C4x、ADSP21020等，则提供了更大的动态范围

8) 硬件配置强

- 接口功能也愈来愈强，更易于完成系统设计；
- 省电方式（系统功耗降低），一般为0.5-4W，低功耗只有0.1W。

四、DSP的应用

- **通用数字信号处理**: 数字滤波、FFT、相关、卷积等
- **通信**: 高速MODEM、编/解码、传真、移动电话、扩频通信、语音信箱、电视会议、移动基站等
- **声音/语音信号处理**: 语音识别、合成、语音矢量编码等
- **图形/图象信号处理**: 三维图形变换处理、机器翻译视觉、图象鉴别、电子地图、动画等
- **控制**: 磁盘/光盘伺服控制、机器人控制、发动机控制等
- **仪器**: 谱分析、函数发生、数据采集等
- **医学电子学**: X-射线断层扫描 (CT)、超声设备、核磁共振等
- **军事**: 雷达与声纳信号处理、导航、制导、全球定位等
- **计算机**: 多媒体计算机、工作站、图形加速器
- **消费电子**: 数字电视、高清晰电视、DVD、音响、摄录机等

1.2.3 嵌入式计算机技术

只要带一点智能化的家电都有嵌入式系统。

由于微处理器的**多功能化**和**体积微型化**，可以将微处理器直接嵌入到应用系统内部，如工业系统、武器系统或机电仪表设备、消费电子类产品内部，完成一种或多种特定功能。由此促进了嵌入式计算机技术的发展。

一、嵌入式系统的定义

目前，对嵌入式系统的定义多种多样，但没有一种定义是全面的。下面给出两种比较合理定义：

- **从系统的角度定义**：嵌入式系统是指位于工业系统、武器系统或机电仪表设备、消费电子类产品内部，完成一种或多种**特定功能的计算机软件与硬件的综合体**。术语嵌入式反映了这些系统通常是更大系统中的一个完整的部分，称为嵌入的系统。**嵌入的系统中可以共存多个嵌入式系统。**

- **从技术的角度定义**：以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的**专用**计算机系统。

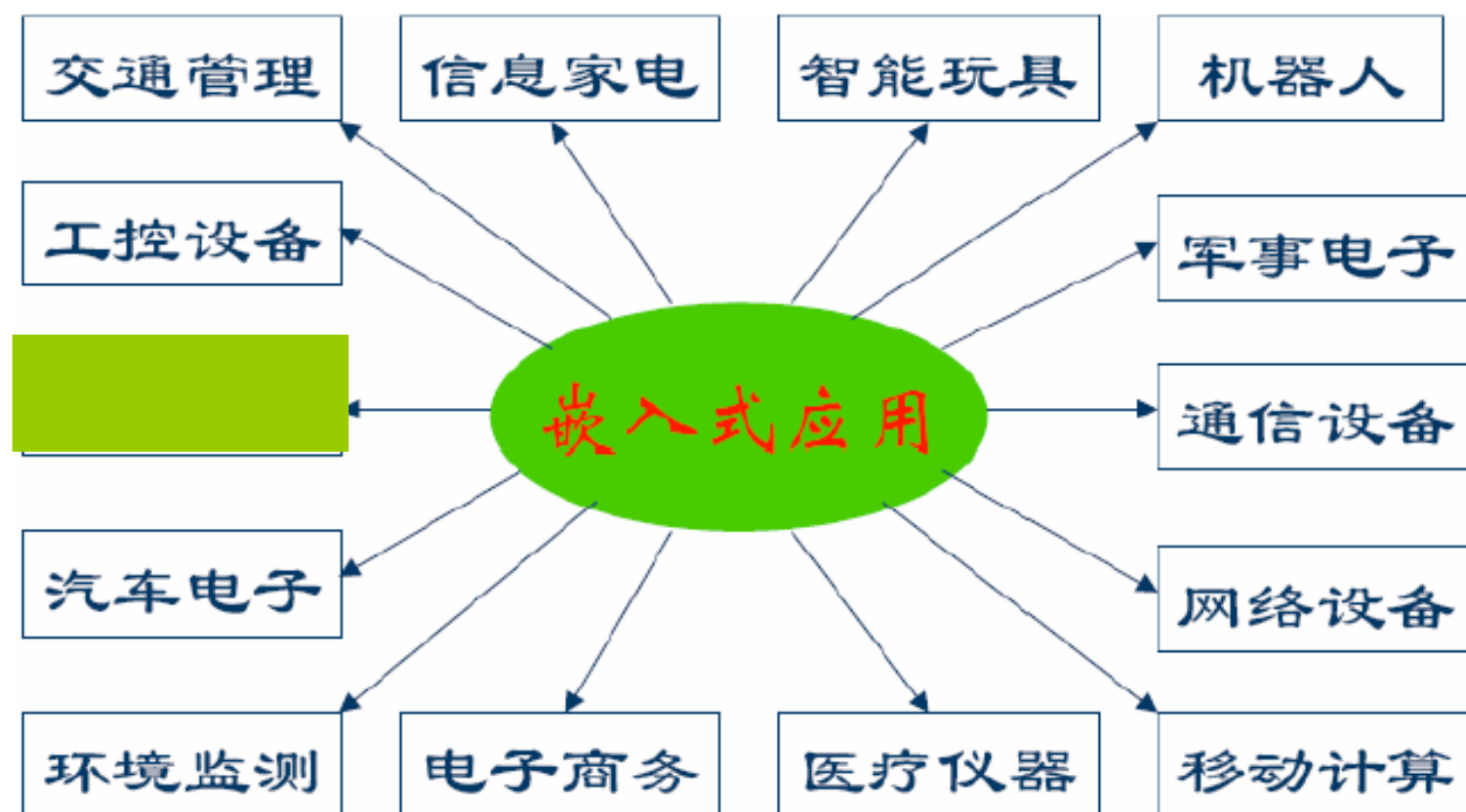
3个特点：1、以应用为中心

2、软硬件可剪裁

3、对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有要求

1个本质：专用计算机系统

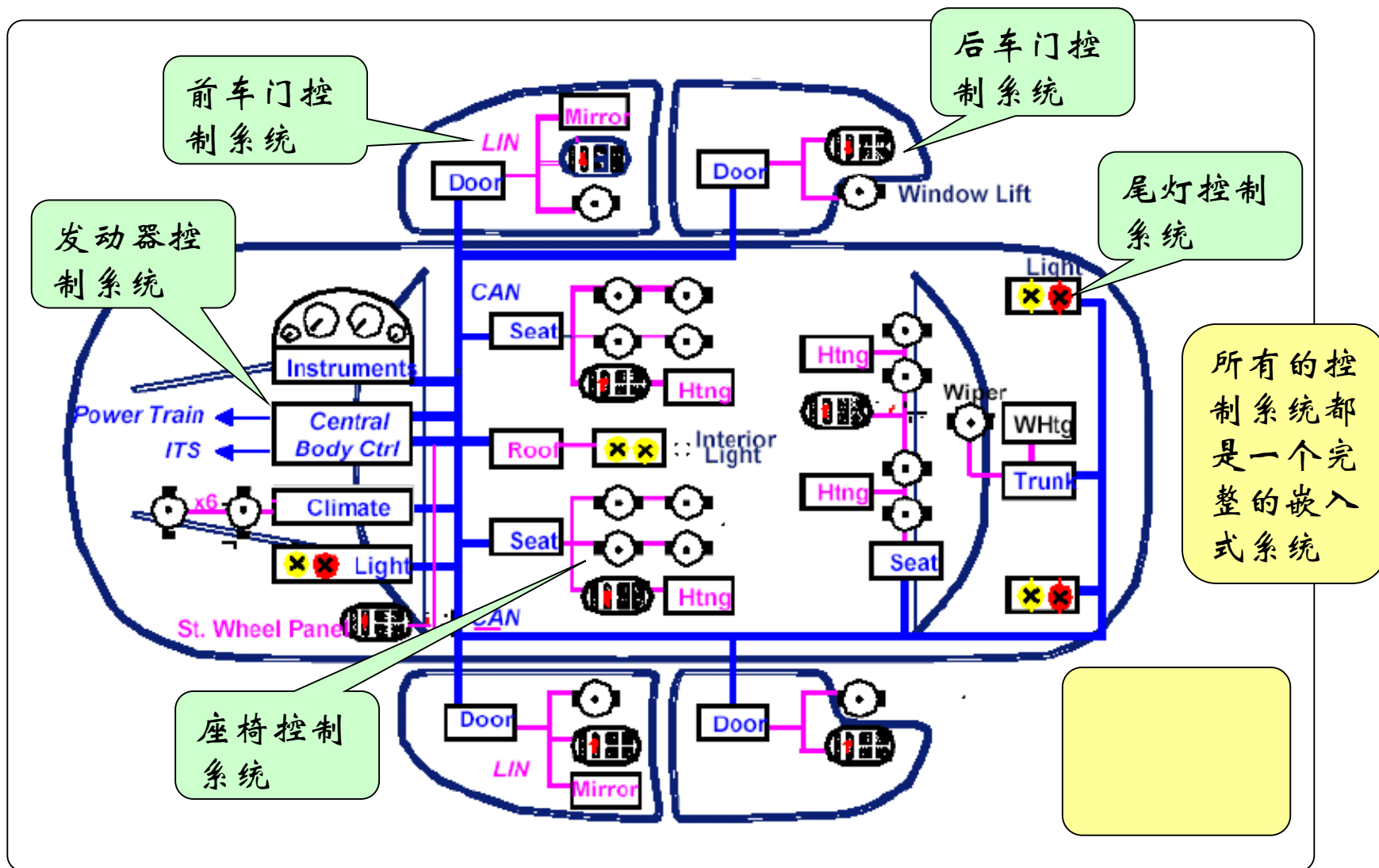
二、嵌入式系统的应用



- 嵌入式系统示例 —— 汽车控制系统



嵌入式系统示例 —— 汽车控制系统



嵌入式系统的结构

嵌入式处理器

嵌入式操作系统

外围硬件设备

特定的应用程序

1) 嵌入式处理器

早期的嵌入式系统通常使用普通个人计算机（PC）中的通用处理器。近年来，随着大量先进的微处理器制造技术的发展，越来越多的嵌入式系统用嵌入式处理器建造，而不是用通用目的的处理器。

- 应用于PDA等不注重计算的设备：注重嵌入式处理器的尺寸、能耗和价格。
- 应用于路由器等计算密集型的设备：注重嵌入式处理器的性能。

嵌入式微处理器
嵌入式DSP处理器

嵌入式微控制器
嵌入式片上系统（SOC）

——嵌入式微处理器 (Embedded Micro Processor Unit, EMPU)

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的CPU。在应用中，将微处理器装配在专门设计的电路板上，只保留和嵌入式应用有关的母板功能，这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求，嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的，但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

和工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点，但是在电路板上必须包括ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件，从而降低了系统的可靠性，技术保密性也较差。

流行的嵌入式微处理器:

- ARM/Strong (ARM公司)
- PowerPC (MOTOROL公司)
- 68000 (MOTOROL公司)
- MIPS(MIPS公司)

——嵌入式微控制器(Microcontroller Unit, MCU)

嵌入式微控制器的典型代表是单片机。单片机内部除某种内核的处理器外，还集成了RAM、ROM/FLASH、定时/计数器、看门狗、定时器、I/O、串行通信接口、ADC、DAC、PWM等。

为适应不同的应用需求，一般一个系列的单片机具有多种衍生产品，每种衍生产品的处理器内核都是一样的，不同的是存储器和外设的配置及封装。

目的：使单片机最大限度地和应用需求相匹配，从而减少功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比，微控制器的最大特点是单片化，体积大大减小，从而使功耗和成本下降、可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。目前，MCU是品种最多的嵌入式处理器，约70%的市场份额。

主要系列见书本P7页：美国、日本、欧亚系列。

——嵌入式DSP处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP处理器在系统结构和指令方面进行了特殊设计，使其适合于执行DSP算法，编译效率高，指令执行速度快，因此促进了DSP在嵌入式领域的广泛应用。

EDSP有两个发展来源：

一是DSP处理器经过单片化、适当改造、增加片上外设而成为EDSP，TI的TMS320 C2000/C5000等就属于此范畴；

另一个是在单片机或SOC (System On Chip, 片上系统) 中增加DSP协处理器，例如Intel的MCS-296和Siemens的TriCore等。

——嵌入式片上系统(System On Chip, SOC)

SOC:在一个硅片内部运用VHDL等硬件描述语言, 实现一个复杂的系统。

用户不需要使用传统的设计方法通过印制板将构成系统的相关硬件模块联系起来, **用户只需定义出其整个应用系统, 仿真通过过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。**这样除个别无法集成的器件以外, 整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去, 应用系统电路板将变得很简洁, 对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。



EDA技术

2) 嵌入式操作系统

计算机系统由硬件和软件组成，在发展初期没有操作系统这个概念，用户使用监控程序来使用计算机。随着计算机技术的发展，计算机系统的硬件、软件资源也愈来愈丰富，监控程序已不能适应计算机应用的要求。于是在六十年代中期监控程序又进一步发展形成了**操作系统(Operating System, 简称OS)**。

嵌入式操作系统类似于通用操作系统，是针对嵌入式处理器的**专用操作系统**，满足数据采集，处理和控制在需要。

从操作系统能否满足实时性要求来分，操作系统分成**实时操作系统**和**分时操作系统**两类。

● 分时操作系统

分时操作系统按照相等的时间片，轮流调度进程运行，由调度程序自动计算进程的优先级，并不由用户控制进程的优先级。这样的系统**无法实时响应外部异步事件**，因此主要应用于科学计算和实时性要求不高的场合。

● 实时操作系统

实时：能够对外部事件做出及时响应，响应时间要有保证。

对外部事件的响应包括：事件发生时要识别出来；在给定时间约束内必须输出结果。

实时操作系统能够在限定的时间内执行所规定的功能，并能在限定的时间内对外部的异步事件作出响应。实时操作系统主要应用于过程控制、数据采集、通信、多媒体信息处理等对时间敏感的场所。

分类：

按其实时性和应用范围的不同，大致可分为（硬）实时操作系统和软实时操作系统。

- 如果系统在指定的时间内未能实现某个特定的任务会导致系统的全面失败，则系统要使用（硬）实时操作系统系统。
- 与（硬）实时操作系统对应的是软实时操作系统，应用于虽然响应时间同样重要，但超时不会导致致命的错误的系统中。

几种主流的嵌入式操作系统

- **硬实时: Vxworks:** 美国WindRiver公司于1983年开发, 具有可靠、实时、可裁减特性。

开发工具Tornado, 类似Microsoft Visual C, 但是提供了更丰富的调试、仿真环境和工具。

- **软实时:** 大多应用于PDA, 手机等。

Windows Embedded:支持具有丰富应用程序和服务的32位嵌入式系统, 开发简单, 和开发windows的应用程序类似。主要系列: Windows CE3.0, Windows NT Embedded 4.0和带有Server Appliance Kit的Windows 2000

Palm OS: Palm Computing公司产品, 在PDA市场占据很大份额, 具有开放的操作系统应用程序接口(API), 可让用户灵活方便地定制操作系统。

嵌入式Linux: 近年来, Linux在嵌入式领域异军突起, 他的独特性, 使其作为开发嵌入式产品的操作系统具备巨大的潜力。Linux具有一些独特的优势:
层次结构及内核完全开放; 强大的网络支持功能; 具备一整套工具链; 广泛的硬件支持特性。

1.2.4 EDA技术及FPGA/CPLD

一、EDA的定义及发展

- 1、什么是EDA?

Electronic Design Automation 电子设计自动化

电子系统工程师的梦想：只要说出要实现系统的功能，接下来的具体设计工作均由一个自动化系统来完成！

电子设计师做的事情——从概念、算法、协议等开始设计电子系统

利用EDA工具完成的事情：

计算机完成的事情——电路设计、性能分析到设计出IC版图或PCB版图

- 2、EDA的广义定义范围包括
 - 半导体工艺设计自动化
 - 可编程器件设计自动化
 - 电子系统设计自动化
 - 印刷电路版设计自动化
 - 仿真与测试、故障诊断自动化
 - 形式验证自动化
- 3、EDA技术的狭义定义:

以大规模可编程逻辑器件为设计载体，以硬件描述语言 (HDL)为系统逻辑描述的主要表达方式，借助功能强大的计算机，在EDA工具软件平台上，对用HDL描述完成的设计文件，自动完成用软件方式设计的电子系统到硬件系统的逻辑编译、逻辑简化、逻辑分割、逻辑综合和优化、逻辑布局布线、逻辑仿真，直至对特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、逻辑下载等工作，最终形成集成电子系统或专用集成电路 (ASIC)芯片的一门新技术。

二、EDA技术主要内容

实现载体(硬件基础)：可编程逻辑器件
描述方式：硬件描述语言
设计工具：开发软件、开发系统。

可编程逻辑器件

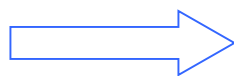
概述：可编程逻辑器件（Programmable Logic Device, PLD）是一种已完成了全部工艺制造、可直接从市场上购得的产品，设计者只要对它编程就可以实现所需要的电路功能。

特点：它的**成本比较低**，**使用灵活**，**设计周期短**，承担的风险小，而且可靠性高，保密性好。在以计算机和测控电路为核心的智能仪器中也得到了广泛的应用，成为推动智能仪器发展的一种重要的技术。

对数字系统的影响：

传统数字系统

由固定功能标准集成电路74/54系列、4000、4500系列构成。设计无灵活性，芯片种类多，数目大。



现代数字系统

仅由三种标准积木块：微处理器、存储器和PLD构成。PLD的设计是其核心。

分类：目前可编程逻辑器件主要有两大类：**CPLD（复杂可编程逻辑器件）和FPGA（现场门阵列）。**

FPGA和CPLD都是可编程ASIC器件，有很多共同特点。但由于二者硬件结构上的差异，又使它们具有各自的特点。与应用直接相关的特点简述如下。



(1) CPLD触发器数量少，这使得CPLD更适合于触发器有限而乘积项丰富的结构，即CPLD更适合完成组合逻辑；FPGA触发器数量较多，这使得FPGA更适合于触发器丰富的结构，即FPGA更适合于完成复杂的时序逻辑。

(2) CPLD的规模小，逻辑复杂度低，因而用于实现简单设计；而FPGA的规模大，逻辑复杂度高，新型器件高达千万门级，故用于实现复杂设计。

(3) FPGA比CPLD具有更大的灵活性。因为CPLD是通过修改具有固定内连电路的逻辑功能来编程，FPGA主要是通过改变内部连线的布线来编程；FPGA可在逻辑门下编程，而CPLD是在逻辑块下编程。

(4) 一般地，CPLD的功耗要比FPGA大，且集成度越高越明显。

(5) CPLD主要是基于EEPROM或Flash存储器编程，编程次数可达1万次。其优点是系统断电时编程信息不会丢失。CPLD可以在编程器上编程，也可以在系统编程。

FPGA大部分是基于SRAM编程，编程信息在系统断电时丢失，每次上电时，需从器件外部将编程数据重新写入SRAM中，其优点是可以编程任意次，可在工作中快速编程，从而实现板级和系统级动态配置。编程方式上的差异使CPLD比FPGA使用起来更方便，保密性比FPGA好。

(6) CPLD成本低，价格相对便宜，适合实现低成本设计；FPGA价格高，适用于高速、高密度的高端数字逻辑设计。

如何芯片选择：

- 对于普通规模且产量不大的设计，通常选用CPLD。

CPLD中小规模范围，CPLD价格便宜，能直接用于系统；

CPLD的结构大多为EEPROM或Flash存储器形式，编程后即可固定下载的逻辑功能，使用方便，电路简单；

- 大型数字逻辑系统上可选用FPGA。新型FPGA器件资源高达千万门级，非常适合复杂系统的设计。

由于FPGA是SRAM结构，且能提供庞大的逻辑资源，因而适应于作各种逻辑设计的仿真器；专用集成电路（ASIC）设计仿真。

硬件描述语言HDL

概述：硬件描述语言HDL 是EDA技术的重要组成部分，它是一种用于设计硬件电子系统的计算机语言，**用软件编程的方式来描述电子系统的逻辑功能、电路结构和连接形式。**

HDL是硬件设计者和EDA工具之间的界面。设计者使用HDL来描述自己的设计，并把这个描述告诉EDA工具，最后在EDA工具的帮助下进行详细的设计及验证。

以前，很多ASIC的制造商都有自己的HDL，它们之间存在很大差异，工程师一旦选用某种硬件描述语言作为输入工具，就被束缚在这个硬件设计环境中，而各公司之间的设计就不能被相互利用，信息交换和维护困难。为解决此问题，**20世纪80年代初，美国国防部制定了VHDL（超高速集成电路硬件描述语言），**以此作为各承包商之间提交复杂电路设计文档的一种标准方案。

CPLD/FPGA集成开发环境

概述： CPLD/FPGA集成开发环境就是介于开发者和CPLD/FPGA芯片之间的具有友好界面的开发工具。 Quartus II是Altera公司在21世纪初推出的典型的CPLD/FPGA集成开发环境，提供了完整的多平台设计环境，能满足各种特定设计的需要。



1.2.5 网络技术

概述：随着控制、计算机、通信、网络等技术的发展，20世纪80年代中期出现了**现场总线技术**。现场总线是应用在生产现场、在微机化测量控制设备之间实现双向串行多节点数字通信的系统，是开放式、数字化、多点通信的底层**工业控制网络**。

特点：具有现场总线接口的**现场仪表**和**二次仪表**统称为**现场总线仪表**。

它们是一种典型的智能仪表，具有以下特点：

- (1) 具有开放性，从而使互操作性和互用性成为可能。
- (2) 现场总线仪表能在现场构成完整的基本控制系统。将不同的测试设备挂在网络上，通过网络进行数据传输、实现资源、信息共享，协调工作，共同完成大型复杂系统的测试和控制任务。

(3) 与传统仪表通过模拟信号传送信息相比，现场总线仪表的全数字信号传送，不但具有更强的抗干扰能力，而且有更高的传输精度；不但可以传送测量数据，还可以传递设备标识、运行状态、故障诊断结果等。

(4) 节省硬件设备，缩短控制周期。由于控制功能下放到现场总线仪表，所以电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少，同时将PID等控制功能植入到相应的现场总线仪表中，使得控制周期大大缩短。

(5) 现场总线仪表由于被分配了惟一的地址，可以实现“即插即用”和动态管理。当系统中增加和删除设备时，系统会自动探测到新的设备，也能够及时识别失效设备，真正实现了设备的动态管理。

(6) 具有完善的自诊断功能，并能随时将自身状态、报警、趋势信息送往控制室，因而能及时排除故障，大大提高设备的可维护性。

目前现场总线的标准尚未完全统一，具有较大影响的现场总线共有12种之多：

- IEC 61158国际标准包含了8种类型的现场总线；
- IEC TCI7B包含了3种现场总线国际标准；
- ISO11898为CAN。

这造成了异种现场总线仪表之间必须通过网关等才能互联，影响了现场总线仪表的开放性和互操作性。

在多种现场总线相互竞争的同时，互联网技术发展迅速，以太网（Ethernet）和TCP/IP协议成为IT领域的标准。同时，以Ethernet+ TCP(UDP)/IP为代表的信息网络通信技术也逐步应用于工业数据通信，成为现场总线技术发展的希望所在。

随着以太网技术的发展，从20世纪90年代中后期开始，Ethernet+ TCP(UDP)/IP正逐渐成为工业控制网络“事实上的标准”。

从底向上依次为：过程控制层(PCS)、制造执行层(MES)、企业资源层(ERP)。

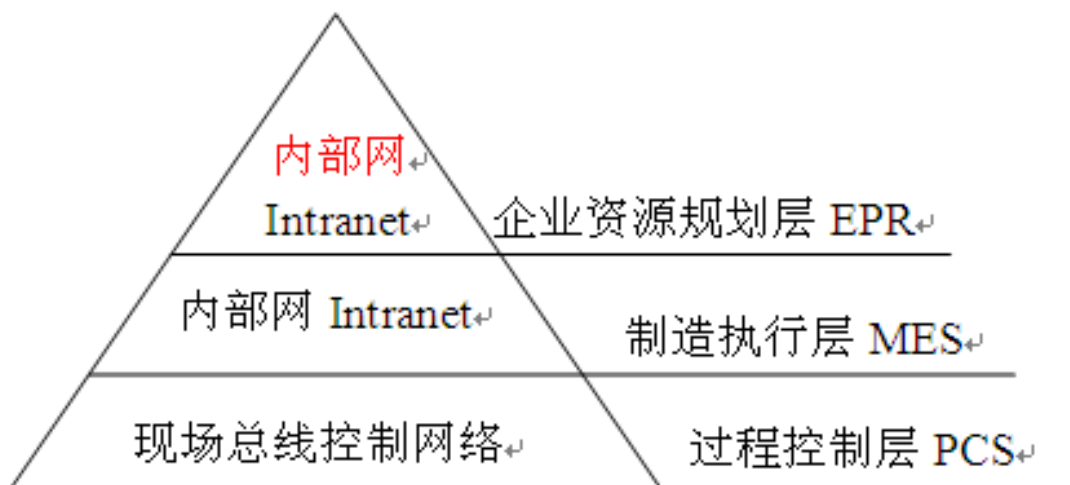


图 1.3 企业网络信息集成系统

近年来无线通信技术也渗透到了工业网络中，具有如下优势：

- （1）采用无线网络化连接后，设备在一定范围内可自由安排、**随意移动**，也可根据应用环境的变化而不断更新；
- （2）**无需布线**，使仪表能在难于布线的环境中得到应用并可解决由于铺设的线缆容易受到频繁的触碰而遭损坏的问题。

1.2.6 标准化模块仪器技术

微处理器内嵌式智能仪器：将一个或一个以上的通用或嵌入式处理器与其他硬件和软件有机地结合在一起的仪器。

特点：更多地应用于嵌入式场合，用途相对集中；易实现小型、便携和手持式结构；可用电池供电，易于密封，适应恶劣环境；成本相对较低。

随着微型计算机，特别是PC机的迅速发展，仪器与微型计算机也产生了深层次的结合，出现了个人（PC）仪器、虚拟仪器、卡式仪器、集成仪器或**标准化模块仪器**等概念。

泛指



标准化模块仪器有两不同的构成方式。

- 一种是将具有仪器功能的模块制成标准插卡，直接插入通用微机（主要是PC机）机箱的标准总线槽中。



- 另一种是采用插件箱的形式，即将各种功能的仪器模块集中在一个专用机箱中，通过总线方式和通用计算机相连。



1.2.7 虚拟仪器技术

不同领域的应用



消费电子



军事与航空



汽车制造



通信



院校教学实验



医疗设备

1.2.7 虚拟仪器技术

所有的测量仪器主要功能可由①数据采集②数据测试和分析③结果输出显示等三大部分组成，其中数据分析和结果输出完全可由基于计算机软件系统来完成，因此只要另外提供一定的数据采集硬件，就可构成由计算机组成的测量仪器。

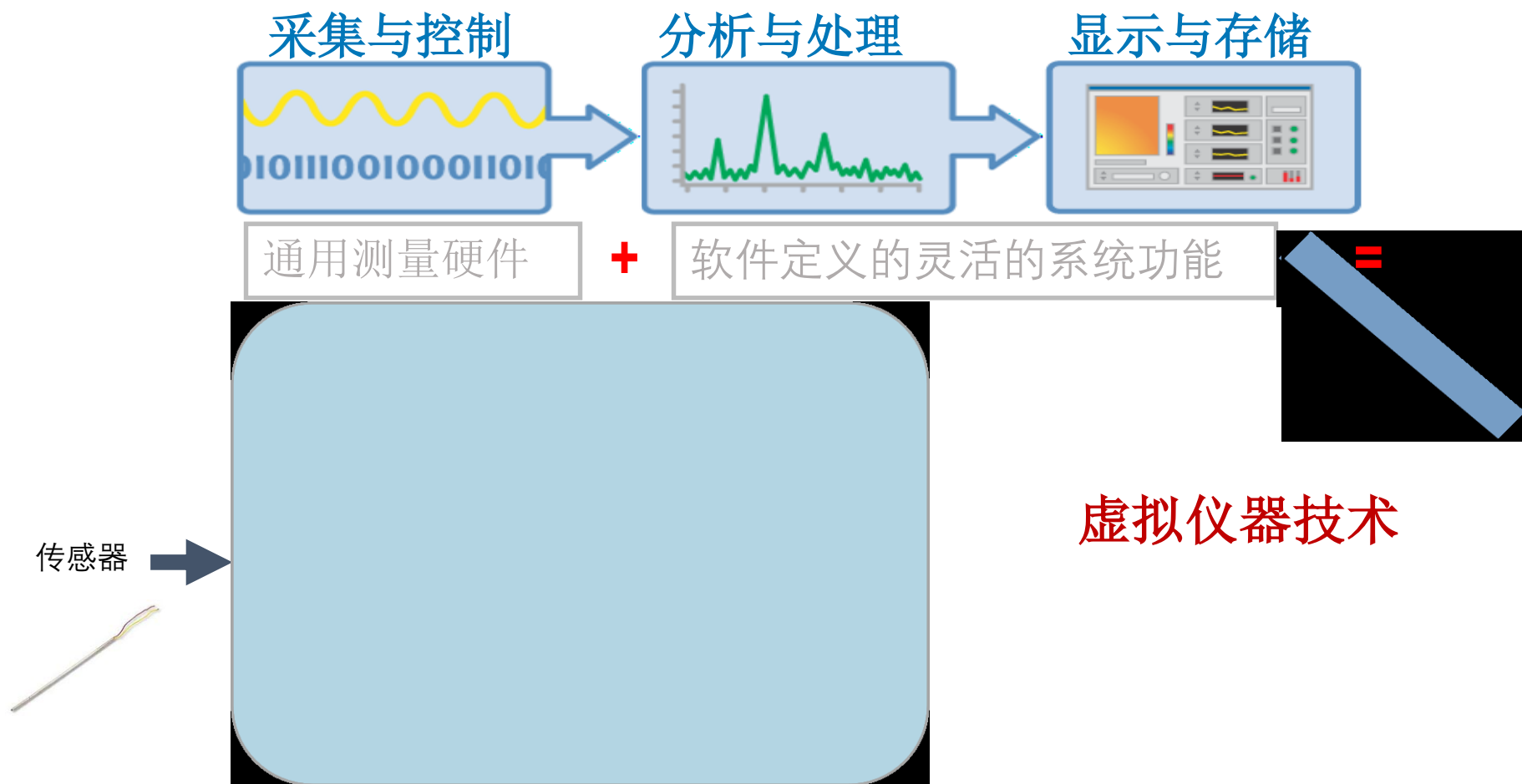
虚拟仪器的出现——智能仪器的新发展

一、虚拟仪器概念

虚拟仪器(VI - Virtual Instrument) 就是建立在通用计算机(PC) 基础上的，配以相应的功能卡(数据采集卡、I/O卡等) 和软件，充分利用PC现有的硬件资源而设计出来的拥有全部功能的仪器。

虚拟仪器是利用PC机的显示功能模拟真实仪器的控制面板, 以多种形式表达输出检测结果, 利用PC软件功能实现信号的运算、分析、处理, 由I/O接口设备(卡) 完成信号的采集、测量与调理, 从而完成各种测试功能的一种计算机仪器系统。虚拟仪器同样划分为数据采集、数据分析处理、显示结果三大功能模块。

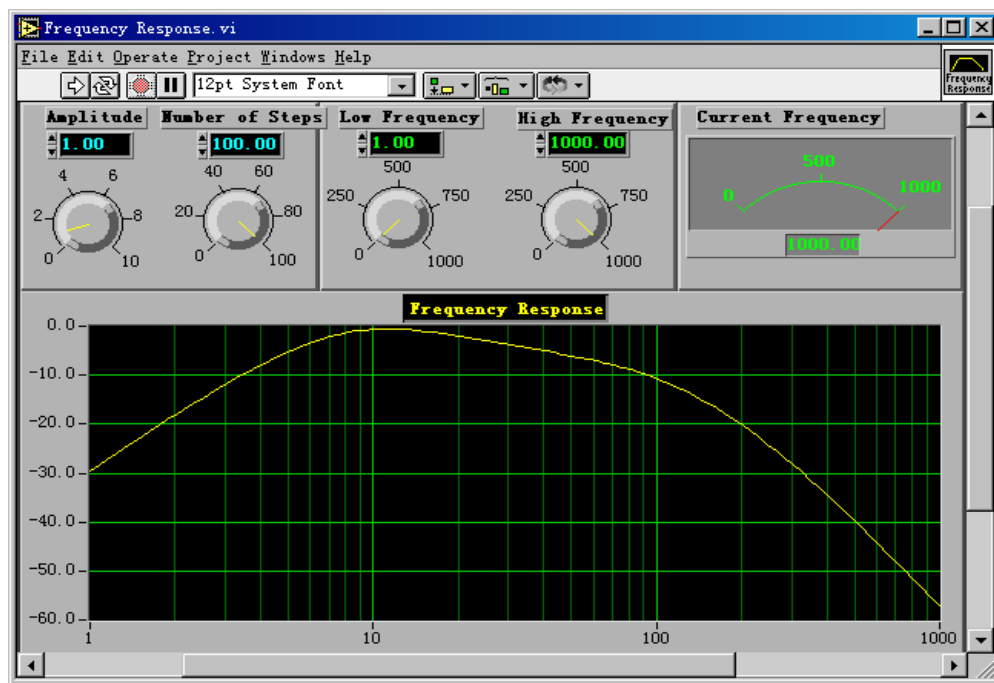
- 虚拟仪器的结构



虚拟仪器中“虚拟”的含义表现在两个方面：

一是指虚拟仪器面板。虚拟仪器面板上的各种“控件”与传统仪器面板上的各种“控件”所完成的功能是相同的。传统仪器面板上的控件是实物，通过手动触摸进行操作；虚拟仪器面板上的控件是与外形和实物相似的图标，其操作对应着相应的软件程序，使用鼠标或键盘操作虚拟仪器面板上的控件，就如使用一台实际的仪器。

二是指虚拟仪器的测控功能是通过软件编程来实现的。



1986年，NI公司推出了图形化的虚拟仪器编程环境LabVIEW，标志着虚拟仪器软件设计平台基本成型，虚拟仪器从概念构思变为工程师可实现的具体对象。

用LabVIEW开发的虚拟仪器的软面板示例

二、虚拟仪器的特点

美国国家仪器公司（NI）
提出一个著名的口号：
软件就是仪器

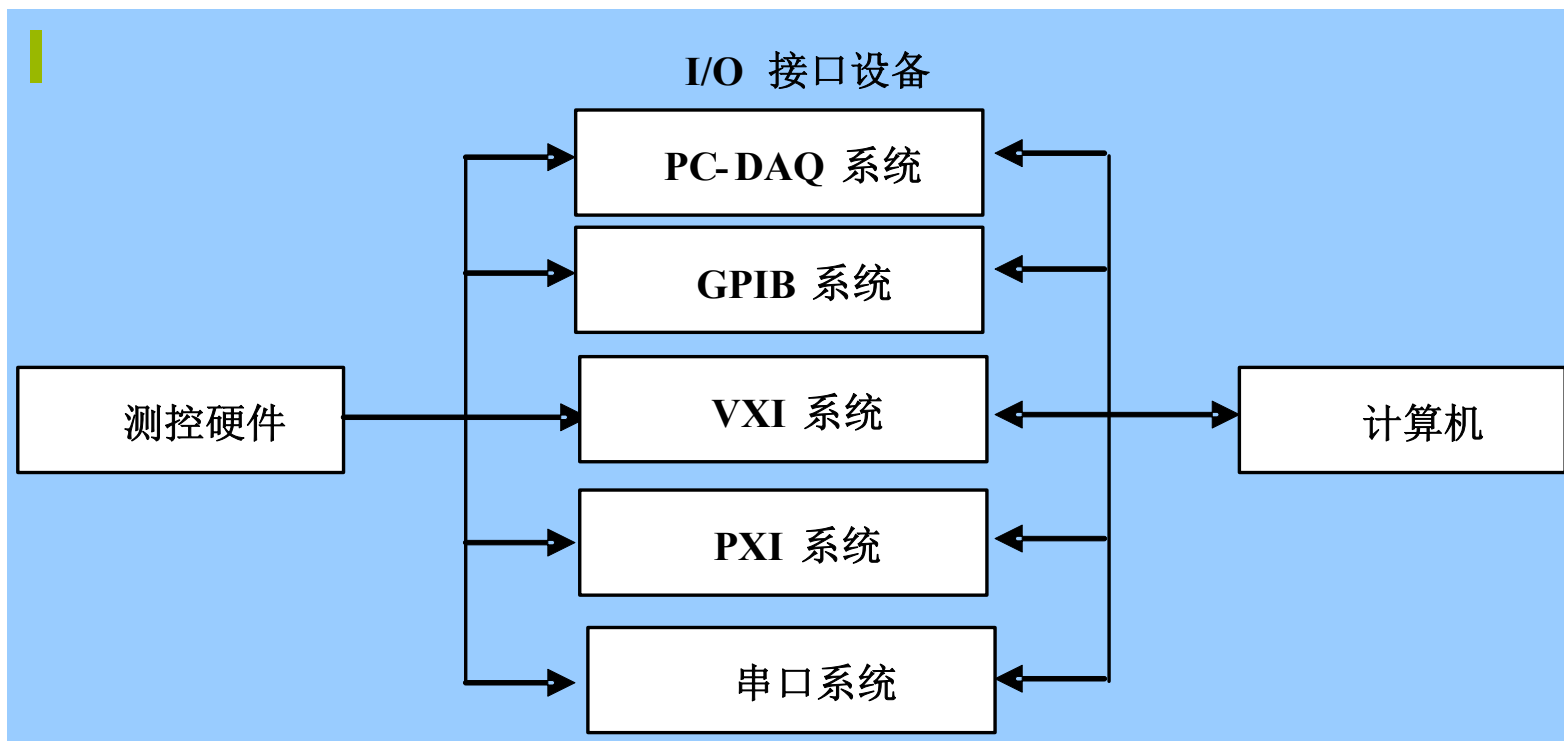
VI与传统仪器的比较

项 目	传统仪器	虚拟仪器
中心环节	关键是硬件	关键是软件
开发维护费用	开发与维护费用高	开发与维护费用低
技术更新周期	技术更新周期长（慢5-10年）	技术更新周期短（快1-2年）
性能/价格比	价格昂贵	价格低，并且可重用性与可配置性强
仪器定义	厂商定义仪器功能	用户定义仪器功能
功能设定	仪器的功能、规模均已固定	系统功能和规模可通过软件修改和增减
开放性	封闭的系统，与其它设备连接受限	基于计算机的开放系统，可方便地同外设、网络及其它设备连接

虚拟仪器的硬件系统

虚拟仪器的硬件系统一般分为**计算机硬件平台**和**测控功能硬件**。计算机硬件平台可以是各种类型的计算机，如台式计算机、便携式计算机、工作站、嵌入式计算机等。它管理着虚拟仪器的软件资源，是虚拟仪器的硬件基础。

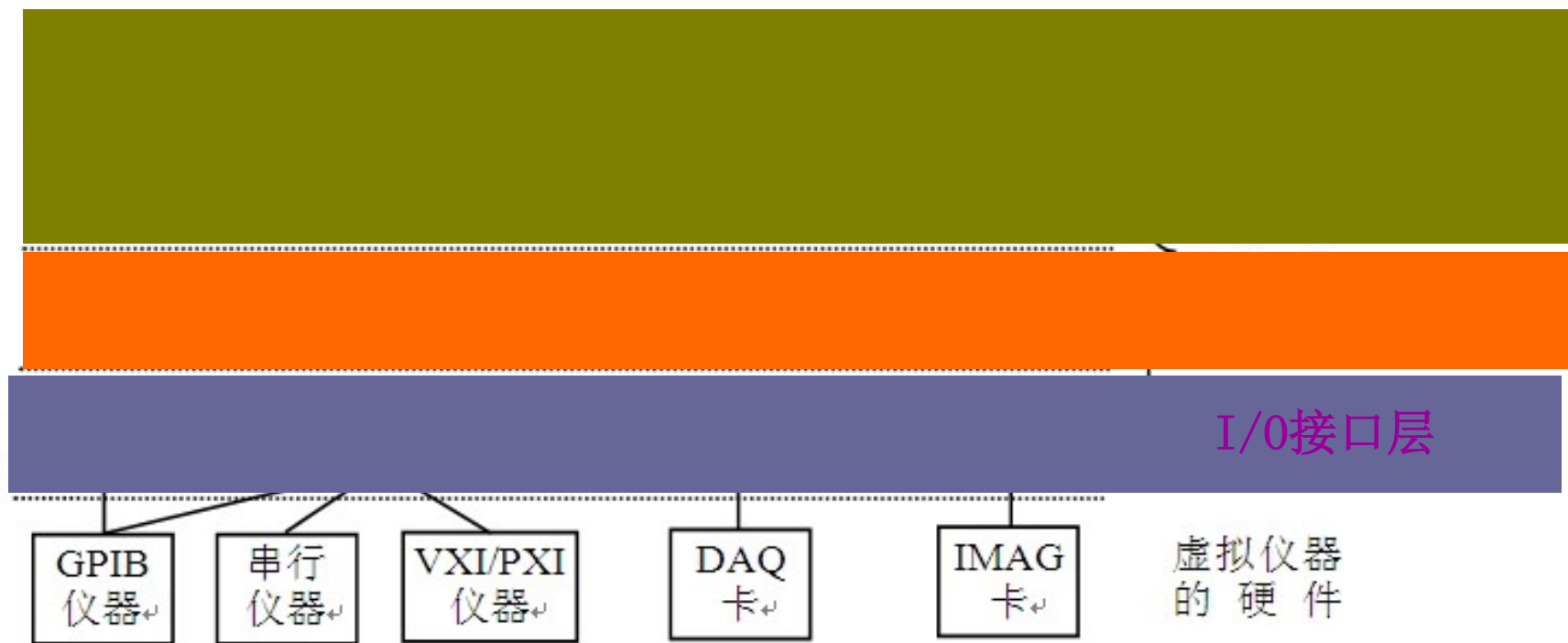
按照**测控功能硬件与计算机硬件平台连接方式**的不同，虚拟仪器可分为**GPIB、VXI、PXI、LXI、DAQ**和**RS-232串口、USB**等类型等多种**标准体系结构**。

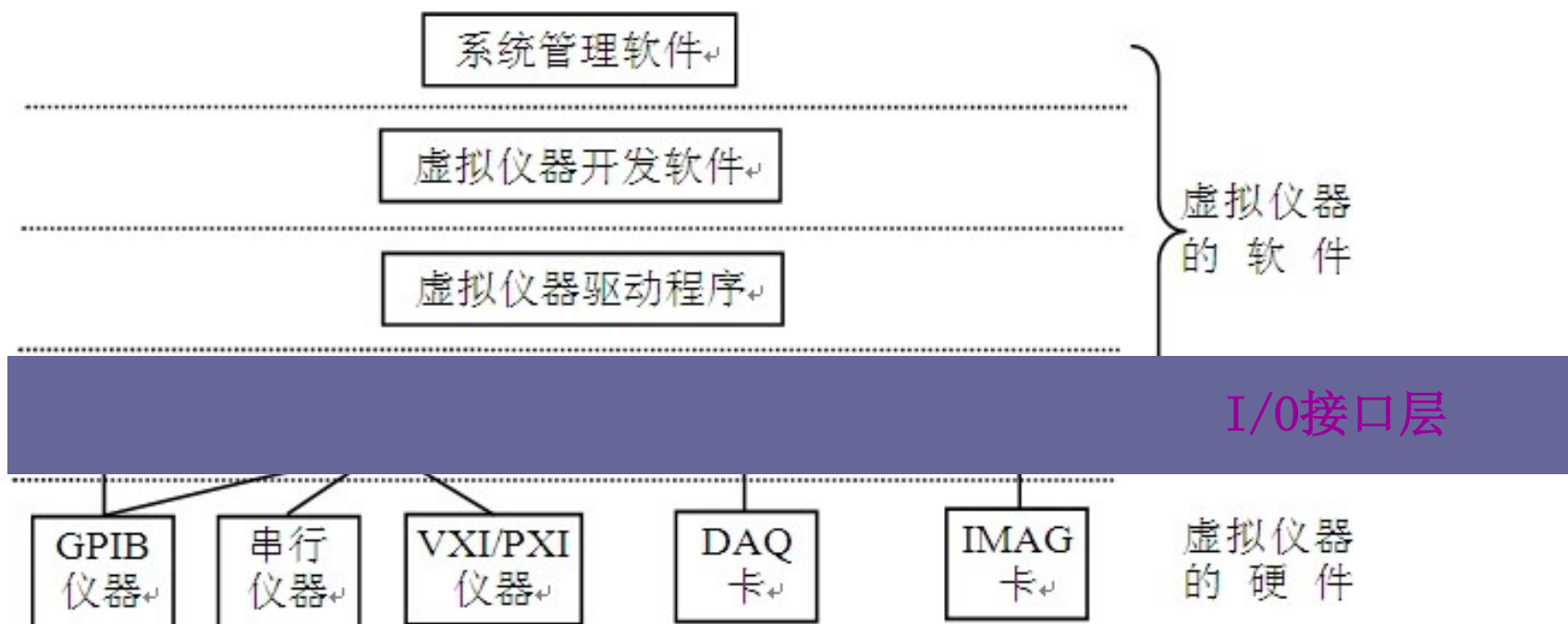


虚拟仪器的软件系统

当虚拟仪器的硬件平台建立之后，编制应用软件就成为设计、开发虚拟仪器的主要任务。软件是虚拟仪器的关键：

- 一方面，通过软件实现虚拟仪器的图形化仪器界面，给用户提供一个检验仪器通信、设置参数、修改仪器操作和实现仪器功能的人机接口；
- 另一方面，通过软件使计算机直接参与测试信号的产生和测量特性的

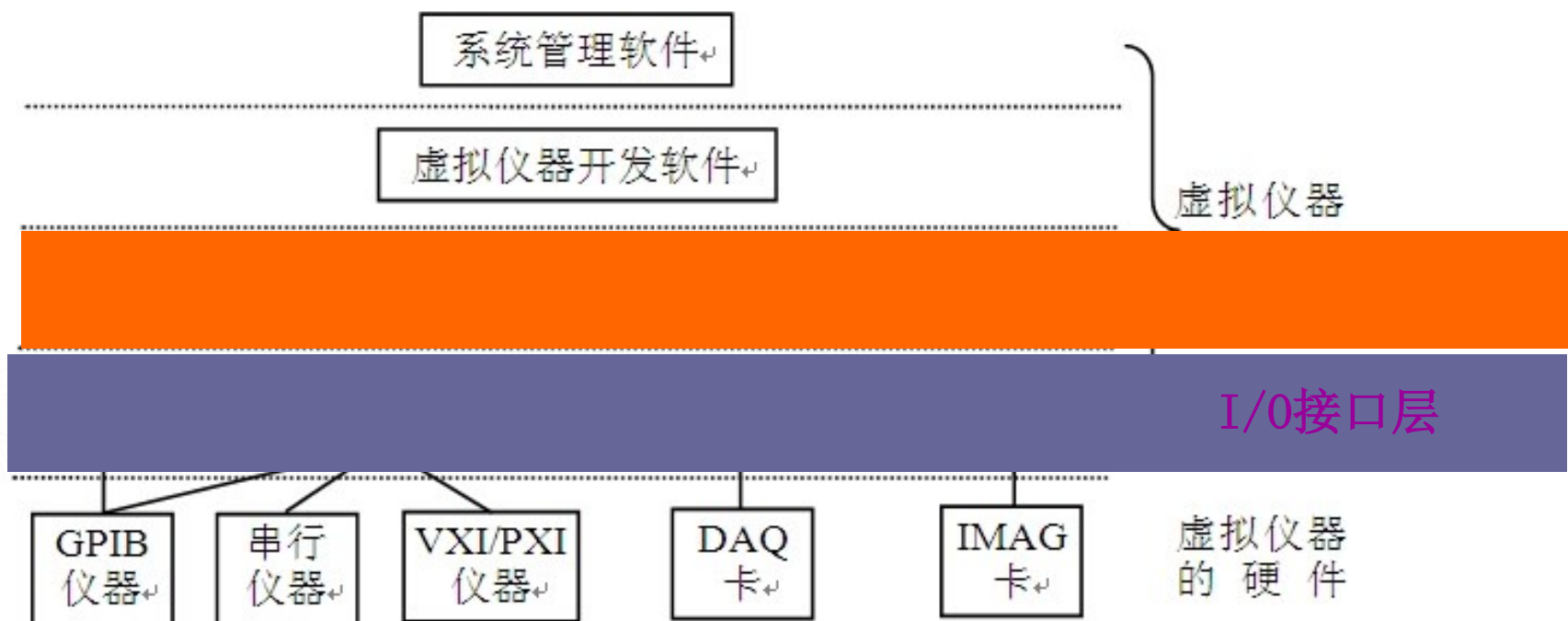




(1) I/O接口软件

图1.7中的IEEE488.2、VXI/VISA等**位于虚拟仪器的硬件和虚拟仪器驱动程序之间**，是一个完成对仪器内部寄存器单元进行直接存取数据操作、为仪器驱动程序提供信息传递的**底层I/O接口软件**，是实现**开放的、统一的**虚拟仪器系统的基础与核心。

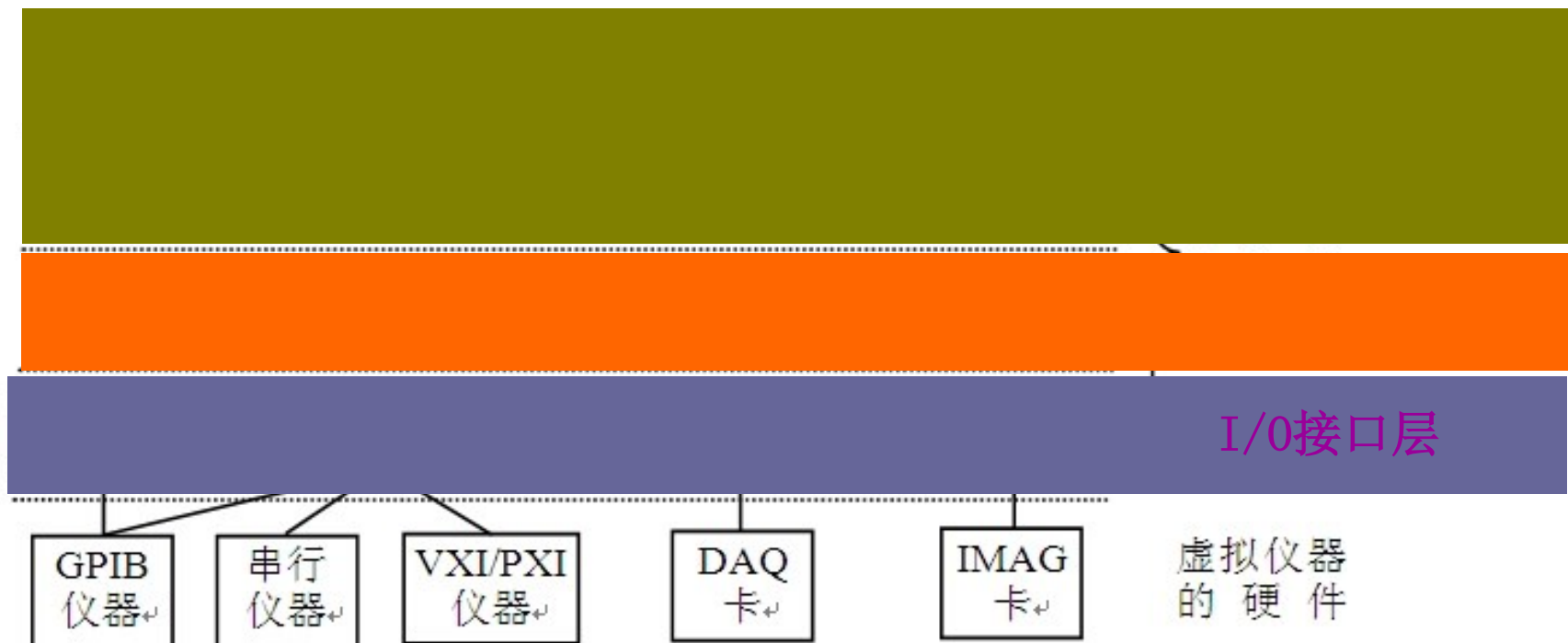
I/O接口软件的特点、组成、内部结构与实现等在VPP系统联盟规范中有明确的规定，被定义为VISA，简称为**VISA库**。



(2) 驱动程序

虚拟仪器驱动程序是完成对某一特定仪器控制与通信的软件程序集，也可以认为是仪器的软件描述。

每个仪器模块都有直接的仪器驱动程序，仪器厂商将仪器驱动程序以源代码的形式提供给用户。它是连接上层应用程序和底层I/O接口程序的纽带和桥梁。有了仪器驱动程序，应用程序设计者即使不十分了解仪器内部操作过程，也能进行设计。



(3) 应用软件

应用软件主要包括**仪器面板控制软件**和**数据分析处理软件**。
完成的任务主要有：

利用计算机强大的图形功能实现虚拟仪器面板，给用户提供操作仪器、显示数据的**人机接口**，以及数据采集、分析处理、显示存储等功能。

应用软件开发系统是设计开发虚拟仪器必须的软件工具。

目前流行的虚拟仪器软件开发环境有两类

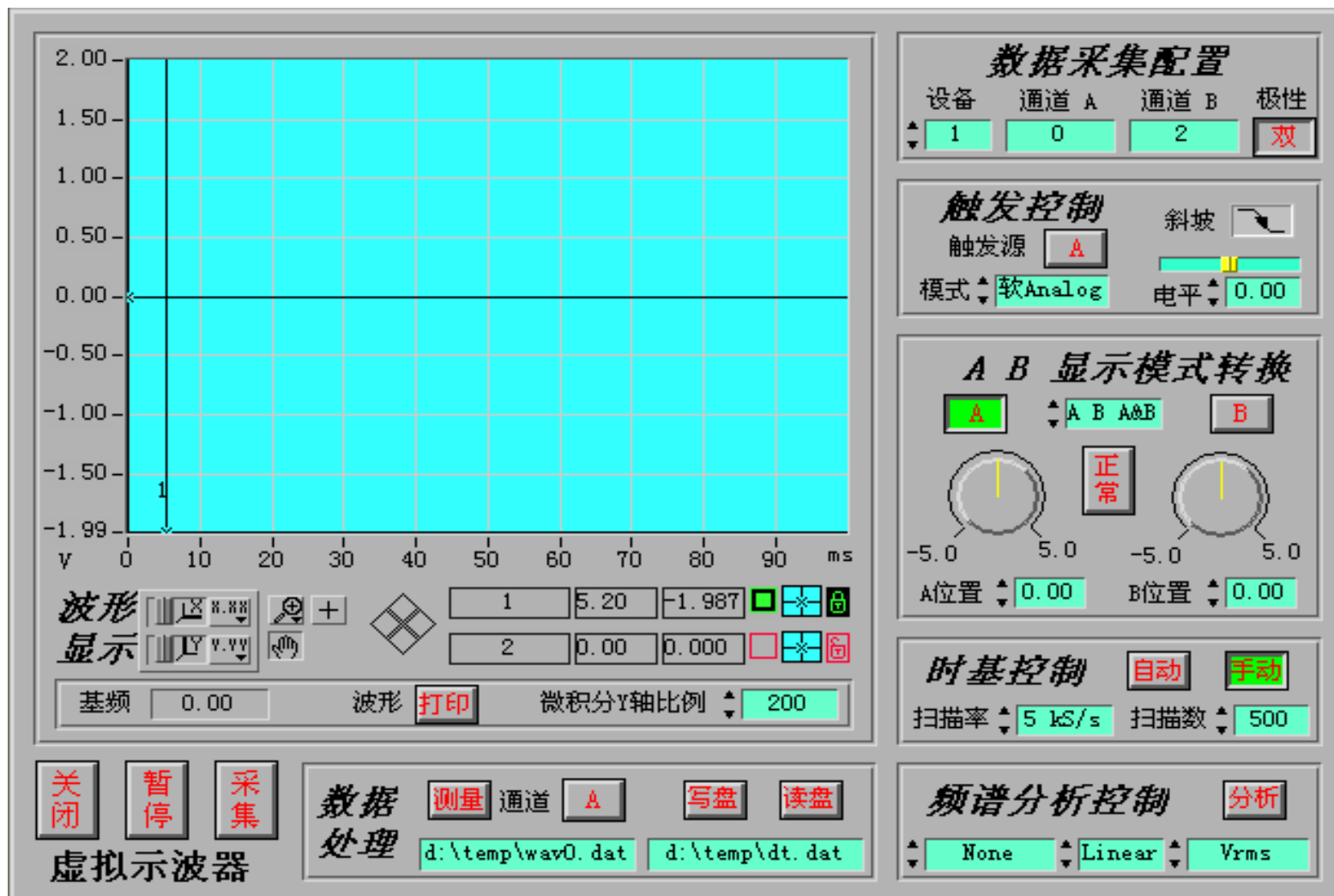
- 一类是**图形化**的编程语言，具有代表性的有LabVIEW、HP VEE系统；
- 另一类是**文本式**的编程语言，如C、Visual C++、LabWindows/CVI等。

对比：图形化的编程语言具有编程简单、直观、开发效率高的特点；
文本式编程语言具有编程灵活、运行速度快等特点。

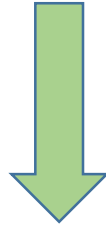
LabVIEW(实验室虚拟仪器集成环境)，是美国NI公司的创新产品，也是目前应用最广、发展最快、功能最强的图形化软件开发集成环境。

HP VEE是惠普公司开发的用于仪器控制和信号分析的图形化编程环境。作为一种面向实际测试人员的、灵活方便、功能强大的编程环境，HP VEE已被广泛用于各种测试领域，具有广泛的应用前景。

虚拟数字示波器的软面板



仪器仪表的发展
智能的必要性



智能仪器的结构和特点
智能仪器的优点



推动智能仪器发展的新技术
目前发展状态