

第五章

智能传感器与数据采集

第一节 智能传感器的特点和发展趋势

智能传感器技术是一门正在蓬勃发展的现代传感器技术，是涉及微机械与微电子技术、计算机技术、信号处理技术、电路与系统、传感技术、神经网络技术及模糊理论等多种学科的综合性技术。

传统传感器技术已达到其技术极限，它的性价比很难再有大的提高，传统传感器主要存在以下几方面不足：输入-输出特性存在非线性，且随时间而漂移；结构尺寸大，而动态响应特性差；参数易受环境条件变化的影响而漂移；信噪比低，易受干扰；存在交叉灵敏度，选择性、分辨率不高等。随着测控系统自动化、智能化的发展，要求传感器具有准确度高、稳定性好、可靠性高等特点，而且具备一定的数据处理能力，并能够自检、自校、自补偿。传统的传感器已不能满足这样的要求。智能传感器自 20 世纪 70 年代初出现以来，发展迅速，已成为当今传感技术发展的主要方向之一。

一、智能传感器的特点

最初，人们简单机械地强调在工艺上将传感器与微处理器两者紧密结合，认为传感器的敏感元件及其信号调理电路与微处理器集成在一块芯片上就是“智能传感器”。关于智能传感器的中英文称谓，目前也尚未统一。John Brignell 和 Nell White 认为“Intelligent Sensor”是英国人对智能传感器的称谓，而“Smart Sensor”是美国人对智能传感器的俗称。而 Johan H. Huijsing 在《Integrated Smart Sensor》一文中按集成化程度的不同，将智能传感器称为“Smart Sensor”，《Integrated Smart Sensor》对“Smart Sensor”的中文译名有译为“灵巧传感器”的，也有译为“智能传感器”的。智能式传感器就是一种带微处理器的，兼有信息检测、信息处理、信息记忆、逻辑思维与判断功能的传感器。

智能传感器的功能主要是具有自校正、自标定、自校零功能；具有自动补偿功能；能够自动采集数据，并对数据进行预处理；能够自动进行校验、自选量程、自寻故障；具有数据存储、记忆与信息处理功能；具有双向通信、标准化数字输出或者符号输出功能；具有判断、决策处理功能。

与传统传感器相比，智能传感器的特点如下。

① 精度高：智能传感器有多项功能来保证它的高精度，如通过自动校零去除零点；与

标准参考基准实时对比以自动进行整体系统标定；对整体系统的非线性等系统误差进行自动校正；通过对采集的大量数据的统计处理以消除偶然误差的影响等。

② 可靠性与稳定性好：智能传感器能自动补偿因工作条件与环境参数发生变化后所引起的系统特性的漂移，如温度变化产生的零点和灵敏度漂移；当被测参数变化后能自动改换量程；能实时、自动地对系统进行自我检验，分析、判断所采集的数据的合理性，并给出异常情况的应急处理（报警或故障提示）。

③ 信噪比高、分辨力强：由于智能传感器具有数据存储、记忆与信息处理功能，通过软件进行数字滤波、相关分析等处理，可以除去输入数据中的噪声，将有用信号提取出来；通过数据融合、神经网络技术，可以消除多参数状态下交叉灵敏度的影响，从而保证在多参数状态下对特定参数测量的分辨能力。

④ 适应性强：智能传感器具有判断、分析与处理功能，它能根据系统工作情况决策各部分的供电情况和高/上位计算机的数据传送速率，使系统工作在最优低功耗状态和传送效率优化的状态。

⑤ 性价比高：智能传感器所具有的上述高性能，不是像传统传感器技术用追求传感器本身的完善、对传感器的各个环节进行精心设计与调试、进行“手工艺品”式的精雕细琢来获得的，而是通过与微处理器/微计算机相结合，采用廉价的集成电路工艺和芯片以及强大的软件来实现的，因此，其性能价格比高。

二、智能传感器的发展趋势

在智能传感器发展进程中，由于对其“智能”含义的理解不断深化，各个时期的学者给予智能传感器的定义也随着历史的推移而演变。目前一般认为，智能传感器是沿着传感技术的三条途径发展的。

第一，非集成化实现。非集成化智能传感器是将传统的经典传感器（采用非集成化工艺制作的传感器，仅具有获取信号的功能）、信号调理电路、带数字总线接口的微处理器组合为一个整体而构成的智能传感器系统。其框图如图 5-1 所示。

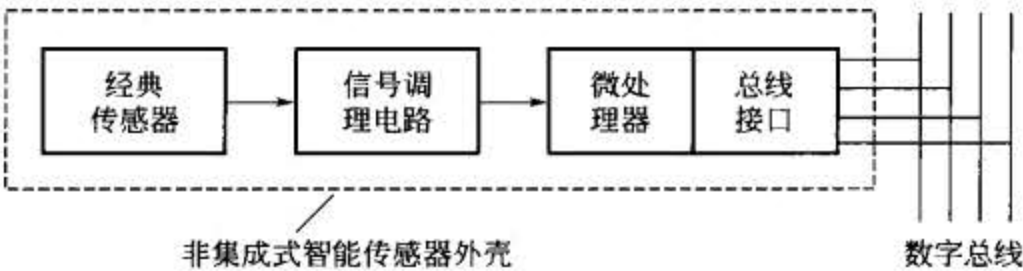


图 5-1 非集成式智能传感器

这种非集成化智能传感器是在现场总线控制系统发展形势的推动下迅速发展起来的。自动化仪表生产厂家原有的一套生产工艺设备基本不变，附加一块带数字总线接口的微处理器插板组装而成，并配备能进行通信、控制、自校正、自补偿、自诊断等智能化软件，从而实现智能传感器功能。这是一种最经济、最快速建立智能传感器的途径。

另外，近年来发展极为迅速的模糊传感器也是一种非集成化的新型智能传感器。它是在经典数值测量的基础上，经过模糊推理和知识合成，以模拟人类自然语言符号描述的形式输出测量结果。显然，模糊传感器的核心部分就是模拟人类自然语言符号的产生及其处理。模糊传感器的“智能”在于，它可以模拟人类感知的全过程。它不仅具有智能传感器的一般优点和功能，而且具有学习推理的能力，具有适应测量环境变化的能力，并能够根据测量任务

的要求进行学习推理，此外，它还具有与上级系统交换信息的能力，以及自我管理和调节的能力。简单地说，模糊传感器的作用应当与一个具有丰富经验的测量专家的作用是等同的。图 5-2 是模糊传感器的简单结构和功能示意图。

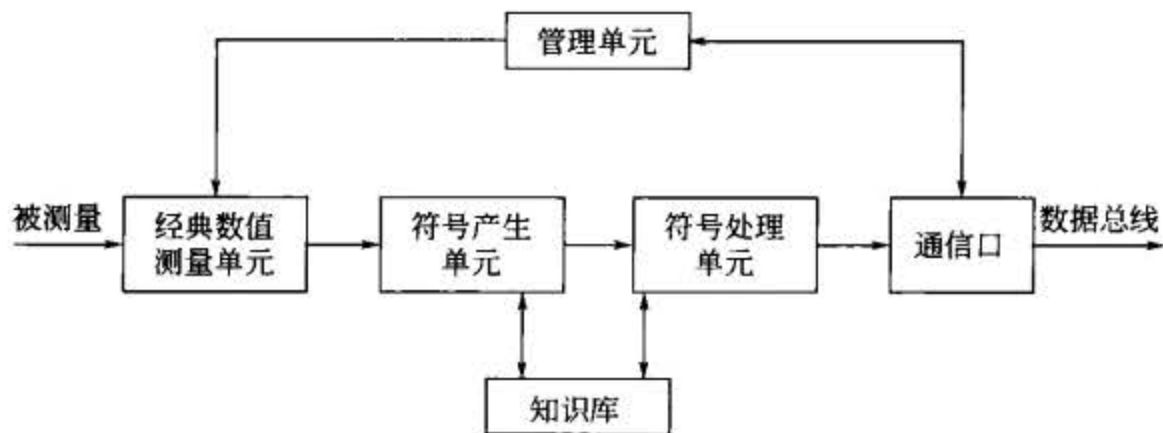


图 5-2 模糊传感器的简单结构和功能示意图

第二，集成化实现。这种智能传感器系统是采用微机械加工技术和大规模集成电路工艺技术，利用硅作为基本材料来制作敏感元件、信号调理电路以及微处理器单元，并把它们集成在一块芯片上构成的。这样，使智能传感器达到了微型化，可以小到放在注射针头内送进血管测量血液流动情况；使结构一体化，从而提高了精度和稳定性。敏感元件构成阵列后，配合相应图像处理软件，可以实现图形成像且构成多维图像传感器，这时的智能传感器就达到了它的最高级形式。

第三，混合实现。要在一块芯片上实现智能传感器系统存在许多棘手的难题。根据需要与可能，可将系统各个集成化环节（如敏感单元、信号调理电路、微处理器单元、数字总线接口）以不同的组合方式集成在两块或三块芯片上，并装在一个壳子里。图 5-3 所示是在一个封装中可能的混合实现的方式。

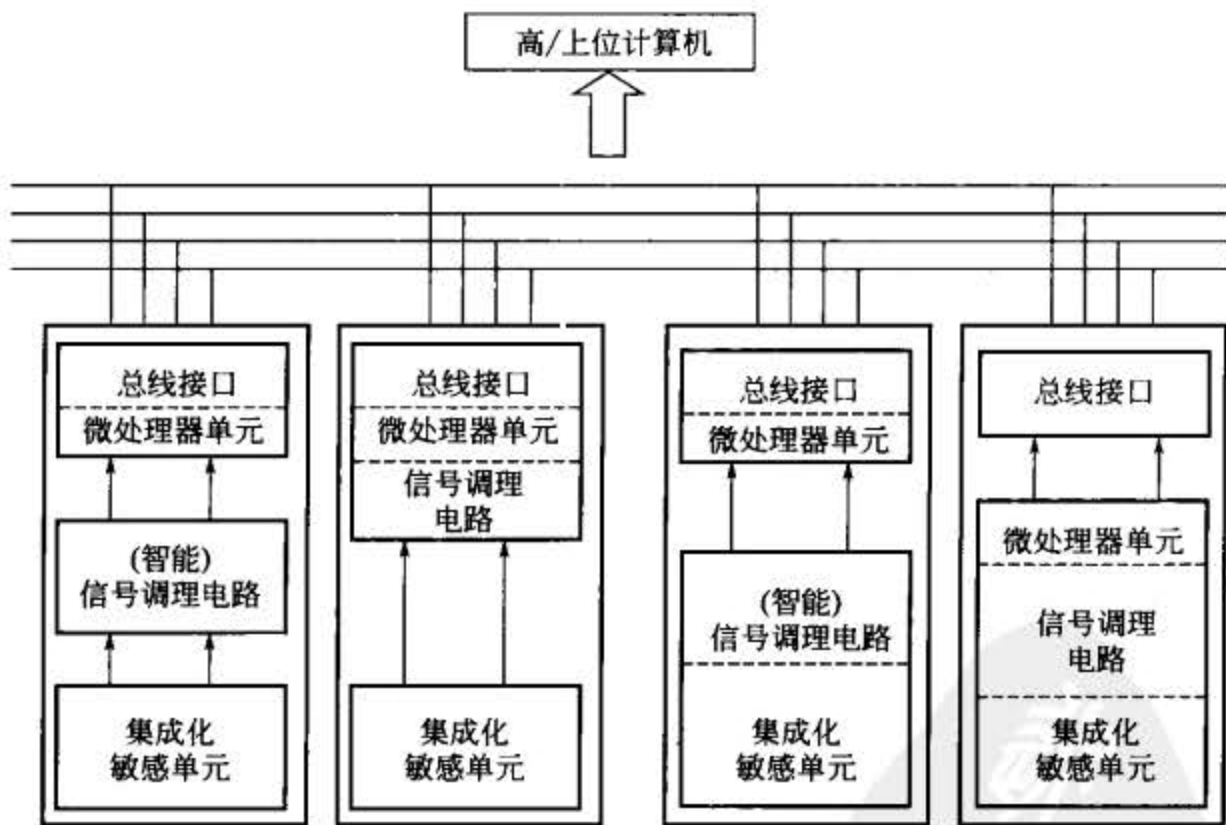


图 5-3 在一个封装中可能的混合实现的方式

为适应当前日益复杂和庞大的多点、多参数大型系统测控的需要，研究人员正致力于由分散型控制系统（DCS）到基于现场总线的开放型控制系统（FCS）转变的工作。处在 FCS 控制系统“末梢”节点上的是众多的智能设备及智能传感器，它们通过总线接口

挂接到环行现场总线上。由于目前现场总线尚无一个最完善的、具有权威性的、一致公认的统一标准协议，制订统一的国际标准协议的工作正在加紧进行之中。国内的一些厂家和单位也在进行着这方面的研究工作。一方面开展现场总线的设计开发研究，另一方面开展智能传感器的开发研究。近期大量的工作是按目前国际上用得最广的某种现场总线标准，对现有的传感器加装微处理器和数字总线接口，使其迅速成为智能传感器。

三、集成智能传感器

大规模集成电路技术和微机械加工技术的迅猛发展，为传感器向集成化、智能化方向发展奠定了基础，集成智能传感器在应用领域成为传感器发展的总体趋势。图 5-4 为集成智能传感器的组成框图。

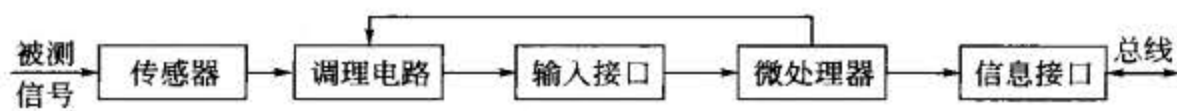


图 5-4 集成智能传感器组成框图

集成智能传感器采用微机械加工技术和大规模集成电路工艺技术，利用硅作为基本材料来制作敏感元件、信号调制电路以及微处理器单元，并把它们集成在一块芯片上。这样，使智能传感器达到了微型化和结构一体化，从而提高了精度和稳定性。

目前市场上的集成智能传感器已经成为研究热点，其发展方向主要有以下几个方面：向微型化发展；使用新型材料；应用新的物理现象、化学反应、生物效应作为传感器原理；向低功耗及无源化发展；采用新的加工技术（如化学微腐技术、微机械加工技术）；向高可靠性、宽温度范围发展。

目前，集成智能传感器的四个研究热点如下。

1. 物理转化机理

由于集成智能传感器可以对非线性的传递函数进行校正，得到一个线性度非常好的输出结果，从而消除了非线性传递对传感器应用的制约，所以一些科研工作者正在对这些稳定性好、精确度高、灵敏度高的转换机理或材料进行研究。例如，谐振式传感器具有稳定性好、精确度高、准数字化输出等许多优点，但传统的传感器频率信号检测需要较复杂的设备，限制了谐振式传感器的应用和发展，现在利用同一硅片上集成的智能检测电路，可以迅速提取频率信号，使得谐振式微机械传感器成为国际上传感器领域的一个研究热点。

2. 数据融合理论

数据融合是集成智能传感器理论的重要领域，也是各国研究的热点，数据融合技术，简单地说，就是对多个传感器或多源信息进行综合处理，从而得到更为准确、可靠的结论。对于多个传感器组成的阵列，数据融合技术能够充分发挥各个传感器的特点，利用其互补性、冗余性，提高测量信息的精度和可靠性，延长系统的使用寿命。

数据融合是一种数据综合和处理技术，是许多传统学科和新技术的集成和应用，如通信、模式识别、决策论、不确定性理论、信号处理、估计理论、最优化技术、计算机科学、人工智能和神经网络等。近年来，不少学者又将遗传算法、小波分析技术、虚拟技术引入数据融合技术中。

3. CMOS 工艺兼容

在研究二次集成技术的同时，集成智能传感器在工艺上的研究热点集中在研制与

CMOS 工艺兼容的各种传感器结构及制造工艺流程上，探求在制造工艺和微机械加工技术上有所突破。利用 CMOS 工艺兼容的集成湿度传感器，将敏感电容和处理电路集成在一块硅片上，通过 Coventor 模拟得到全量程总的敏感湿敏电容变化值，同时提高了可靠性并降低了成本，随着微机械加工技术的逐步发展，使得以 CMOS 工艺技术制造的集成湿度传感器已经成为当前研究的热点。图像传感器在 CMOS 工艺兼容基础上使得其动态范围扩展技术有所进步。

4. 传感器的微型化

集成智能传感器的微型化绝不仅仅是尺寸上的缩微，而是一种具有新机理、新结构、新作用和新功能的高科技微型系统，并在智能程度上与先进科技融合。其微型化主要基于以下发展趋势：尺寸上的缩微和性质上的增强性；各要素的集成化和用途上的多样化；功能上的系统化、智能化和结构上的复合性。

总之，智能传感器系统是一门涉及多种学科的综合技术，是当今世界正在发展中的高新技术。作为一个设计和应用智能传感器系统的工程师，除必须具有经典的、现代的传感器技术外，还必须具有信号分析与处理、计算机软件设计、通信与接口、电路与系统等多种学科方面的基础知识。当然，智能传感器系统的建立也需要有多种学科的工程师的积极参与，并肩合作。智能传感器的兴起是适应现代自动化系统发展的需要，是传感器技术克服自身落后状况、不断完善和发展的必然趋势，代表了传感器发展的方向。