

敏感技术物理及应用专题系列(V)

智能传感器技术

杨霖生 庞宜生

(中国科学院合肥智能机械研究所)

本文对智能传感器作了简要介绍,概述了其特征和发展情况,并用实例说明了实现智能传感器的几种途径。最后对智能传感器技术发展提出了一些看法。

固态传感器自 60 年代问世以来,就不断向广度和深度迅速发展。70 年代初又出现了智能传感器(Intelligent Sensor 或 Smart Sensor)。随着科学技术的发展,人们要求传感器能获取更全面和更真实的信息,并能更方便地纳入系统控制中,因此智能传感器已成为当今传感器技术发展的主要方向之一。

一、智能传感器的概念与功能特征

近十几年来,对于智能传感器还没有一个公认的科学定义。在 1978 年世界首次召开的智能传感器会议上,Breckenridge 等人认为,智能传感器是“在单一的装置中兼具了感知和数据/信息处理的功能”。1979 年,Wiener 提出:“智能传感器能以传统传感器所达不到的精度检测最合适的量,并从中提取最大量的信息。”荷兰 Delft 大学的 Middlehock 则认为,智能传感器是由敏感元件、信号调节电路、A/D 变换器和微处理器集成在一个片子上所构成的,甚至还应扩展到执行器(actuator)的集成。

我们认为“智能”一词本身就是不确定的,没有一个严格的科学定义。对“智能”的不同理解就导致了智能传感器的不同理解,因而需要从构成传感器技术的诸要素和整体技术来考虑。也许目前对此给出准确定义的时机还不成熟,不过功能的扩展恐怕还是它的一个主要特点。

通常,智能传感器应具备以下特征(或其中的一部分):

1. 能提供比传统传感器更全面而真实的信息;

息;

2. 具有信号处理(包括温度补偿、线性化等)功能,甚至具有控制功能。

3. 随机整定和自适应;

4. 记忆、识别和自诊断;

5. 具有特定算法并可根据需要改变。

以上各项功能一般都离不开以微型计算机为代表的信息处理技术,因而也有人认为智能传感器的主要特征就是传感技术和信息处理技术的结合。

二、智能传感器技术发展概况

70 年代初美国宇航局(NASA)开发了以 CCD 图象传感器为代表的所谓 Smart Sensor,在宇航事业中起了很大作用。NASA 于 1978 年首次召开了智能传感器学术会议,1979 年和 1980 年 SPIE 又先后召开过两次智能传感器研讨会,这些推动了智能传感器的发展。

70 年代是智能传感器的诞生、形成和初级发展阶段,其特点是开发和应用主要在宇航和军事领域,产品中敏感元件、处理电路和微型计算机是分立的而不是集成的。

进入 80 年代后,智能传感器得到很大发展,具体表现如下:

1. 应用领域扩展到民用:在过程检测、环境保护、医疗等方面都已逐渐应用。例如美国 Honeywell 公司的 ST-3000 智能差压变送器年销量已达万件。

2. 品种剧增:由遥感专用传感器向几种主要传感器品种发展。例如美国 Rosemount 公

的 3051 压力变送器、712 电磁流量计；日本横河北辰公司和富士通公司的电磁流量计；日本金泽大学的智能检漏仪等。

3. 集成式已部分取代了分立式：由于批量不太大时混合集成 (HIC) 方式更为廉价，因而目前市场上的商品多为 HIC 式。

4. 设计思想上进入了更高层次：采用新的检测原理、新结构，并利用相关统计处理技术、多维信息测量技术和模式识别技术等，使其功能更趋于理想。

5. 不断探索和利用新型功能材料。

总之，智能传感器在研究、开发和应用等方面，最近都很活跃。

我国的传感器技术在 80 年代也得到很大发展，已相继制成 CCD 图象传感器、集成磁敏器件、遥感传感器和机器人触觉传感器等品种。可以认为，我国也步入了智能传感器技术发展的初级阶段。

三、智能传感器的实现途径和实例

智能传感器的实现途径大致归为以下三类：

1. 通过集成途径

利用 IC 或 HIC 技术，将敏感元件、信号处理电路和微处理器集成起来，构成多功能的集成式智能传感器。由于这类智能传感器具有小型、能批量生产、性能均匀可靠、价廉等优点，因而有人认为它是智能传感器发展的主要方向。

例 1 ST-3000 智能差压变送器是在 $3 \times 3\text{mm}^2$ 硅片上同时制成静压桥、差压桥和温度三组敏感元件。芯片和 HIC 模块组合，构成完整的差压变送器。

例 2 CCD 图象传感器是利用 IC 技术将敏感元件和简单电路组成阵列。它既能感知被测对象各点的光信息，又具有移位、寄存的功能，因而能提供许多信息系列。国外有一本以 Smart Sensor 命名的刊物，发展的文章几乎都是这方面的内容。

例 3 多功能集成 FET 生物传感器是在一个硅片上集成几个生化 FET。已试制成功

的尿素-葡萄糖集成 FET 就是在同一硅片上制备了三个 ISFET。其中一个 FET 的栅极上固定了尿素酶，另一个固定了葡萄糖氧化酶，第三个作为参比 FET。日本电气公司已研制成检测葡萄糖、尿素、维生素 K 和白朊四种成分的集成 FET 传感器。

与之极为相似的是将几个对异丁烷、乙醇、一氧化碳、氢气四种气体具有不同灵敏度的气敏元件集成在一起，利用微处理机对这些敏感元件的输出信号进行逻辑判断，从而得出各种气体的浓度。

2. 采用新的原理或结构

利用新的检测原理、结构或通过微机械加工新工艺，使之能更真实地反映事物的本来面目。

例 1 振动传感器

工程中的振动常是多项振动的综合效果。传统的方式是利用频谱分析来解析。但因传感器在不同频率下的灵敏度不等，势必带来一些失真。现已有人利用微机械加工技术，在一块 $2 \times 4\text{mm}^2$ 的硅片上制成 50 条长度不等的悬臂梁，其谐振频率覆盖了 4—14kHz 的区域。用微机分析可获更真实的信息。

例 2 能分辨成分的检漏装置

美国空军基地研制的检漏装置是把测量室的温度控制成精确的周期变化，使测量室的敏感元件给出一组波形输出。从波的幅度和位置可以同时判断出六种可能泄漏物的浓度和成分。

例 3 微型色谱仪

色谱的工作原理是利用色谱分离柱按时间顺序分开不同的组分，再分别测其含量。由于利用了微机械加工技术，所以就能把一个庞大的仪器压缩成为 $\phi 50\text{mm}$ 的薄片传感器。目前还有一些量必须依靠大型设备来测量，所以很不方便。若能把大设备化为传感器，就有可能进行在线检测，因此这条途径颇有前景。

例 4. 六维力传感器

机器人操作时常需要检测“手腕”上所受的三个轴向力和力矩。这种传感器设计了几个部

位,每个部位所感知的又是某几种力的综合量。通过简单的加减就可分析出 x, y, z 三个轴向的力和力矩。它比用六个传感器紧凑得多,而且消除了侧向效应。

3. 采用新型功能材料

不少传感器的出现是依靠了新材料,智能传感器也不例外。例如,利用导电橡胶等新功能材料,可以开发能识别工作物的触觉传感器。利用酶和微生物等生物材料,不但可以提高成分分析的选择性,并可利用其生物放大作用而大幅度提高灵敏度。形状记忆合金能使传感器和执行器一体化等。

实际上所采取的途径并不限于上述三种,而这三种途径也不是截然分开的。

四、智能传感器技术展望

二十年来智能传感器技术已取得长足的进步。随着人们对高层次传感器的需要,智能传感器技术的发展将是大有前途的。

1. 未来的智能传感器技术将向多样化方向发展:集成式特别是单片集成智能传感器将是主要发展方向之一。三维集成技术已成为元件研究的一个热点。日本计划开发的“人工脑”就是一种多层结构。在硅片上分层集成了敏感元件、电源、运算、记忆、传输等多个部分,形成一个三维的智能传感器。

采用新的工作原理、功能材料和结构设计,仍将是智能传感器技术发展的一个重要方面。从最近一些国际学术会议论文集中可以看出这

(上接第466页)

离子而存在高价氧离子的观点正在被越来越多的人接受。事实上,不管是过氧化物离子 O_2^{2-} 还是原子团 $Cu^{2+}O^{1-}$, 它们都包含带有空穴的高价氧离子。至于这些带有空穴的氧离子究竟以什么形式存在于超导体中以及它们对超导电性起什么作用,这些问题尚待进一步研究。

- [1] J. G. Bednorz et al., *Europhys. Lett.*, **3**(1987), 379.
- [2] H. Ihara et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987), L460.
- [3] H. Jaeger et al., *Physica C*, **153—155**(1988), 133.
- [4] Liang zhong Zhao, Fourth International Conference on Electron Spectroscopy, July 10—14, 1989, Honolulu, Hawaii, U. S. A.
- [5] P. Steiner et al., *Z. Phys. B*, **67**(1987), 497.

一趋势。这些文章还表明,人们正在针对一些不同领域研制各种新型智能传感器。这将对扩大市场起良好作用。

分子生物传感器是一种超前技术。它在敏感原理、材料及工艺等方面都属于更高层次。这项工作的开展将有助于传感器技术的新飞跃。

人工智能技术在系统中的应用业已开始,如何将人工智能技术应用到传感器技术中,有可能成为未来智能传感器技术的研究课题。

2. 智能传感器技术的未来发展在很大程度上取决于社会需求及其应用前景:我们认为(1)在未来一段时期内,智能传感器还不能取代传统传感器,但其比重必将日益增加。(2)由于不同领域对智能化层次的要求不同,智能传感器技术的发展可能呈现一些不平衡状态。(3)随着人类向智能化社会发展,智能传感器技术必将得到更加广泛和深入的发展。

3. 未来的发展将在更大程度上依赖于基础科学研究的深入:智能传感器技术是一门综合性的高技术。它既涉及到以物理学为代表的若干基础学科,又涉及到以信息处理和微电子技术为代表的诸多技术。而这些技术又往往依靠了基础学科,才能有重大突破。利用了新原理的智能传感器和物理学的关系更加密切了。如果说传统的传感器技术是建立在物理效应的基础上发展起来的话,那么物理学在智能传感器技术发展中所处的地位和作用将更为重要和明显。

- [6] D. D. Sarma, C. N. R. Rao, *Solid State Commun.*, **65**(1988), 47.
- [7] Z. Shen et al., *Phys. Rev. B*, **36**(1987), 8414.
- [8] S. Horn et al., *Phys. Rev. B*, **36**(1987), 3895.
- [9] T. Iwazumi et al., *Solid State Commun.*, **65**(1988), 213.
- [10] P. Steiner et al., *Z. Phys. B*, **69**(1988), 449.
- [11] A. Bianconi et al., *Solid State Commun.*, **63**(1987), 1135.
- [12] A. Bianconi et al., *Solid State Commun.*, **63**(1987), 1009.
- [13] N. Nücker et al., *Phys. Rev. B*, **37**(1988), 5158.
- [14] D. C. Harris, T. A. Hewston, *J. Solid State Chem.*, **69**(1987), 182.
- [15] 袁秀顺、李有谟, *分析化学*, **16**(1988), 706.
- [16] P. I. Bickley et al., *J. Mater. Sci. Lett.*, **8**(1989), 745.