

〔日〕 森村正直 主编
山崎弘郎

传感器技术

科学出版社

传感器技术

〔日〕森村正直 主编
山崎弘郎

黄香泉 译

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书是一本全面而又系统地论述传感器技术的新著。全书分四篇共25章,第一篇介绍了传感器技术的理论基础及构成方法;第二篇介绍了各种传感器的原理和性能,其中包括近年来出现的最新传感器;第三篇介绍了各类传感器在工业、机器人、安全与防灾、环境测量、汽车行业、家用电器、医学测量等行业中的应用;第四篇介绍了传感器技术的最新发展动向及对传感器提出的新需求。本书由十八位日本传感器方面的著名专家、教授共同执笔写成。本书的特点是内容新颖,概念清晰,叙述简明扼要,既介绍了传感器的原理又指出应用各类传感器时应注意的问题。此书是同类书中较有影响的一本书。

本书可供从事计算机应用、自动化技术,特别是从事传感器的研究、开发和应用领域的科技人员以及高等院校的有关师生参考。

森村正直 山崎弘郎

センサ工学

朝倉書店, 1984

传 感 器 技 术

[日] 森村正直 主编
山崎弘郎

黄香泉 译

责任编辑 鞠丽娜

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1988年6月第1版 开本: 850×1168 1/32
1988年6月第一次印刷 印张: 17 1/4 插页: 2
印数: 0001—6,680 字数: 450,000

ISBN 7-03-000278-4/TP·17

定价: 6.40 元

译 者 的 话

传感器是测量仪器、智能化仪表、自动控制系统、计算机信息输入装置中的敏感元件,是“一切信息的触觉”。从工业、农业、环境保护、医学等领域直到我们日常生活中所用的家用电器、汽车、防灾等方面都用到各种各样的传感器。在科学研究中,传感器是采集自然界各种数据的一种重要工具。特别是在计算机技术高度发展的今天,传感器的重要性越来越突出。如果把计算机比作人的大脑的话,那么传感器就相当于人的五官。只有计算机而没有适当的传感器,计算机的作用是发挥不出来的。在提高计算机技术水平的同时,如不努力发展传感器技术,就会出现“聪明的大脑,迟钝的五官”的局面。

本书由十八位传感器方面的日本专家、教授执笔,他们分别在日本有名的大学、科研机构、工厂从事多年传感器的研究与开发工作,书中收集了大量有关传感器技术的书刊、文献资料以及作者本人从事这方面研究工作的成果。本书全面而又系统地介绍了传感器技术的理论基础、构成方法;传感器在各个领域中的应用技术以及传感器技术今后的发展动向。本书1982年10月在日本问世以来,颇受读者欢迎,于1984年3月重印发行。本书的翻译出版,对我国从事传感器技术的研究、开发、生产及应用的同志或许有所帮助。

在本书的翻译过程中,在对许多术语的理解上,曾经向几位日本朋友请教,受益匪浅,特在此表示深切的谢意。

中国仪器仪表学会传感器学会常任理事兼秘书长徐同举同志在百忙中对本书译稿做了校阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于译者水平有限,书中的错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

译 者

1986年11月

原 序

在高度发展的现代社会中，每一个人都与信息密切相关。无论是在生产活动中或是在日常生活里，人们必须从外界获取信息，根据这些信息再经过一系列分析、判断，从而决定自己的行动，可以说，信息的获取是很重要的。那么，人们怎样从外界获取信息的呢？

历来，人是通过感觉器官与外界保持接触的，但是人所感觉到的信息，无论是大小还是数量都是有限度的，为了得到更多更有用的信息，人们逐渐开始使用各种传感器。开始时，由于某些需要研究出一些简单的传感器，后来为了补其不足，就把研究工作继续下去，使得传感器的种类繁多，五花八门。由此可以看出，传感器技术是一种分散型技术。

另一方面，我们使用传感器，是为了从传感器的输出得到有关其输入方面的信息，如果传感器存在误动作，那么就破坏了输入输出关系，其结果，对输入信息就产生判断上的错误。因此，对传感器最基本的要求就是可靠性。传感器大多数是在苛刻的条件下使用，周围环境条件即使有所改变，还应按产品说明书所写的那样进行工作。要达到这样的要求，迫切需要采用各种相应的技术。在这些技术对策中，大部分是与被测量无关的、共同的问题。这样一来，尽管传感器有不同的使用目的，不同的类别，但存在共同的技术问题。由此可见，传感器技术又是一种知识密集型技术。然而，过去有关这方面的系统研究是很不够的。

为了促进传感器技术的发展，必须对上述两个方面进行研究。

本书第一篇作为概论，对传感器的基础、现状、特性及评价、研究的方向等问题进行广泛的论述，试图把传感器技术系统化。

在第二篇中按被测的量的不同对各种传感器进行分类，并以

目前正在使用的传感器为重点,对每一类型的传感器的原理、性能加以说明。其中,也涉及到使用上应注意的事项。从被测对象中提取所需信息,传感器是不可缺少的。人们常说,“没有传感器就不能进行测量”,因此,抛开测量技术是无法去讨论传感器技术的,在这一篇里特别强调这一点。

在第三篇中介绍在各个工业部门、社会生活等领域中是如何应用传感器的,搞清楚为了用好传感器所应注意的各种问题,同时提供这方面的实际经验,这对扩大传感器的应用范围是很有帮助的。

在第四篇中介绍传感器今后的研究方向,对传感器新的需求,传感器最新的成果等。本书正是从这种各领域横向相互密切联系的观点出发,力图确立有关传感器这门新兴技术学科的地位,因而本书取名为《传感器技术》。

本书第一篇和第四篇由我们两人分别执笔,第二篇和第三篇由于涉及许多领域,所以分别由各个领域中的专家执笔。对他们百忙之中能为本书出力表示衷心感谢;同时,对为本书的出版竭尽全力的日本朝仓书店的诸位先生致以深切谢意。

编著者

1982年9月

本书执笔者

(以出现先后为序)

计量研究所第二部部长
工学博士

森村正直

第一篇第一、三、四章(4.1~4节)、五、六章

第二篇第一章(除 1.4.4 小节外)

第四篇第三章

东京大学工学部教授
工学博士

山崎弘郎

第一篇第二、四(4.5~7 节)、七章

第二篇第二章、第三篇第三章

第四篇第一、二章

计量研究所第三部
主任研究官、工学博士
横河电机制造厂
研究开发部、工学博士
电子技术综合研究所
电子设备部部长
工学博士

永井 聪 [第二篇第一章(1.4.4 小节)]

大手 明 [第二篇第三章]

大阪大学工学部教授
工学博士
东京大学工学部教授
工学博士
电子技术综合研究所
宇宙环境技术研究
研究室室长
理学博士

片冈 照荣 [第二篇第四章]

南 茂夫 [第二篇第五章]

关口 晃 [第二篇第六章]

小野雅敏 [第二篇第七章]

富士电机综合研究所
董事、产品研究所所长

秋山 茂 } [第二篇第八章]
锄柄邦男 }

电化学仪器株式会社
常务董事、工学博士
宫崎技术研究所所长
丰田工机株式会社
董事、工学博士
杜邦-华义斯托公司
日本分公司科学
机器部部长
小林理学研究所所长
理学博士
日本电装株式会社
研究开发部主任
日立制作所测量仪器部
东京大学医学部
医疗电子研究所
工学博士

高桥 昭 [第二篇第九章]

宫崎 诚一 [第三篇第一章]

和田 龙儿 [第三篇第二章]

高桥 昭 [第三篇第四章(4.1 节)]

时田 保夫 [第三篇第四章(4.2, 4.3 节)]

伊藤 理 [第三篇第五章]

木下 敏雄 [第三篇第六章]

池田 研二 [第三篇第七章]

目 录

第一篇 总 论

第一章 传感器的作用	2
第二章 信号变换与能量变换	5
2.1 能量与信息	5
2.2 示容变量与示强变量	6
2.3 模拟信号与数字信号	8
第三章 物理定律与传感器	11
3.1 守恒定律	11
3.2 场与波动的规律	12
3.3 统计规律	15
3.4 有关物质特性的规律	15
第四章 传感器的构成	22
4.1 传感器的构成方法	22
4.2 传感器与被测对象的关系	24
4.3 多级变换	27
4.4 用于传感器的新加工技术	28
4.5 传感器的基本性能	28
4.6 信号变换与数学模型	29
4.7 选择信号方式	30
4.8 传感器的标定与校正	40
第五章 传感器技术的现状	42
5.1 被测量与传感元件	42
5.2 根据输出量对传感器进行分类	49
5.3 变换电路	56

第六章 传感器的特性与评价	65
6.1 传感器的静特性	65
6.2 传感器的动特性	70
6.3 两通道传感器的特性分析	77
6.4 传感器与噪音	79
6.5 传感器的误差和信噪比	86
6.6 传感器的选择标准	90
第七章 传感器的研究与开发	92
7.1 传感器研究开发工作的特点	92
7.2 传感器研究开发工作的着眼点	93
7.3 传感器研究开发体制	96

第二篇 各类传感器的原理

第一章 力学量传感器	102
1.1 力学量的分类	102
1.2 几何学量传感器	102
1.3 运动学量传感器	123
1.4 力学量传感器	150
第二章 流量传感器	141
2.1 流体测量	141
2.2 压力和差压传感器	141
2.3 流速和流量传感器	152
2.4 液面传感器	173
2.5 粘度传感器	177
2.6 密度传感器	179
第三章 热量传感器	181
3.1 热电偶	182
3.2 测温电阻器	187
3.3 热敏电阻温度传感器	190
3.4 晶体管和集成电路温度传感器	192

3.5	NQR 温度计	194
3.6	晶体温度传感器	196
3.7	热噪音温度计	197
3.8	辐射温度计与热辐射传感器	199
3.9	热流传感器	201
3.10	湿度传感器	202
第四章	磁传感器	204
4.1	前言	204
4.2	半导体磁传感器	205
4.3	磁性体磁传感器	223
第五章	光传感器	224
5.1	光与传感器	224
5.2	光传感器的基本原理	224
5.3	光传感器的特性表示法	237
5.4	利用外量子效应的光传感器	241
5.5	利用内量子效应的光传感器	248
5.6	利用热效应的光传感器	255
5.7	多通道光传感器	261
第六章	放射线传感器	267
6.1	放射线的测量	267
6.2	利用气体电离现象的传感器	268
6.3	闪烁型检测器	271
6.4	半导体放射线检测器	273
第七章	离子传感器和真空传感器	277
7.1	离子传感器	277
7.2	真空传感器	280
第八章	气体成分传感器	287
8.1	气体成分分析仪	287
8.2	气体传感器	301
第九章	液体成分传感器	317

9.1	pH 传感器	317
9.2	离子传感器(离子电极)	324
9.3	其它液体成分传感器	331

第三篇 传感器技术的应用

第一章	过程工业测量仪表	334
1.1	概要	334
1.2	温度	343
1.3	流量	350
1.4	压力	354
1.5	液面	357
1.6	质量分析	361
第二章	机械工业(包括机器人)	364
2.1	机床	364
2.2	测试台和测量仪	382
2.3	工业机器人	394
第三章	安全防灾	398
3.1	技术背景	398
3.2	特点与难点	399
3.3	泄漏检测传感器	402
3.4	异物侵入检测传感器	407
3.5	异常接近传感器	411
3.6	火灾传感器	412
3.7	兼作执行机构的传感器	415
第四章	环境测量	418
4.1	大气污染和水质污染的测量	418
4.2	振动	430
4.3	噪音	434
第五章	汽车	439
5.1	汽车传感器的特点	439

5.2	汽车传感器的实例	440
5.3	汽车传感器的展望	448
第六章	家用电器	449
6.1	家用电器传感器	451
6.2	集成电路传感器	458
6.3	照相机用传感器	464
第七章	人体医学测量	471
7.1	人体的特性与人体医学测量	471
7.2	人体内电量的测量与电极	474
7.3	循环系统各种量的测量与流量传感器	478
7.4	人体运动的测量与力学量传感器	481
7.5	体温的测量与温度传感器	482
7.6	血液中离子浓度的测量与化学传感器	484
7.7	测量系统与传感器	484
7.8	人体医学测量用传感器今后的发展动向	485

第四篇 传感器技术的发展动向

第一章	传感器技术的发展动向	488
1.1	多功能精密陶瓷与传感器	488
1.2	微细加工技术与超小型传感器	490
1.3	仿生传感器	494
第二章	传感器需求的发展动向	500
2.1	家用电器与传感器	500
2.2	汽车的电子控制与传感器	503
2.3	机器人与传感器	505
2.4	传感器技术存在的问题	506
第三章	传感器的智能化	507
3.1	利用计算机的优越性	507
3.2	使用微型计算机的现状	508
3.3	灵巧传感器	512

第一篇 总 论

第一章 传感器的作用

人类为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官。但是,人的感觉器官不是万能的,与其它动物一样为了把生命维持下去,只是有选择地捕捉一些重要信息。为了进一步研究自然现象和制造劳动工具,只靠这些感觉器官就显得很不够了。

于是,作为一种工具采用了能代替或者补充感觉器官功能的传感器。传感器的历史比近代科学的出现还要来得古老。天平等工具自埃及王朝时代开始使用,一直沿用到现在;利用液体的膨胀特性进行温度的测量在十六世纪前后就已出现。电磁学的基础建于十九世纪,法拉第所完成的各种巧妙的实验对人类作出了很大贡献,他所发现的物理法则直到现在作为各种传感器的工作原理仍在应用着。

为了对自然现象有一个定量的认识,传感器作为一种不可缺少的工具,起到了应有的作用。也就是说,先通过传感器取得关于对象的信息(一次信息),再根据对这些信息处理的结果,进一步推论和了解自然现象的本质。

产业革命以来,发明了各种机器,给社会结构带来了巨大的变革,为了提高这些机器的性能,传感器起到了很大的作用。例如,为了控制蒸汽机车的速度,瓦特发明了离心调速机,这就是一种把旋转速度变换为位移的传感器。

以电量作为输出的传感器其发展历史最短,但是,随着真空管和半导体等有源元件的可靠性提高,这种传感器得到飞速发展,目前只要提到传感器,已经是指具有电输出的装置了。最近由于集成电路技术和半导体应用技术的发展,研究开发了性能更好的传感器,这些性能以前是达不到的。此外,还可以应用微型计算机来进行信号处理和控制。

现在,传感器已在工业、矿山直到医疗等众多领域中得到应用,今后其应用范围会越来越扩大。

在这里,首先讨论一下“传感器”这个术语。与传感器相类似的术语有“换能器”,按日本工业标准(JIS),换能器定义为:“对应于被测量,能给出易于处理的输出信号的变换器”(日本工业标准 JIS Z 103,测量术语),国际标准协会(ISA)也是这样定义的。但是从更广泛的意义来说,不一定对应于被测量,有时也把能将某个量变换为其它种类的量的变换器叫作换能器。例如,把电能变换为声能的变换器(喇叭、超声波振荡器等),多称为换能器。

其实,传感器这个词作为一个学术上的专用术语,并没有给予定义。有时候,把传感器当作换能器的同义语来使用,这时的含义就是日本工业标准中规定的定义;有时候,传感器是指构成换能器的元件,即变换元件。鉴于这两种情况,在本书中,遇到前一种情况时,使用传感器这个名词;遇到后一种情况时,则使用传感元件这个名词,以避免产生混乱。

但是,对于相同的被测量却有不同种类的传感器。这是因为随着测量的目的不同,其测量范围、响应特性、精度等也有所不同;此外,测量环境也不尽一样。因此,必须寻找满足上述各种条件的传感器。换句话说,不存在所谓的万能传感器。

传感器的工作原理基于各种物理定律。如果发现了新的现象,或在特定的物质中,在某方面出现了奇异的效应,就可以利用这些现象或效应来研制传感器。但是,由此研制出来的传感器,不一定能成为商品并能广泛使用。因为,成为商品并广泛得到使用的传感器,为了使其耐久实用,满足一种条件是不够的,而必须同时满足若干个条件。

对传感器的第一个要求就是可靠性。我们是为了从传感器的输出信号中得到关于被测量对象的原始信息(一次信息),如果传感器不稳定,那么对同样的原始输入信号,其输出信号就不一样,随着时间的推移,输出信号就一直偏移下去,传感器就会给出错误的输出信号。破坏可靠性的因素是各种各样的,但对不同的传感

器,这些因素有许多是共同的,排除这些因素的具体技术也可以通用。

如果仅仅着眼于传感器所具有的信号变换功能和信号传递功能,那么就能把各种传感器模型化,从而就能针对这些模型进行一般性的研究。

这样一来,不是就每一类型的传感器从纵的方向进行讨论,而是对不同类型的传感器从横的方向使之系统化。如果能做到这一点,那么在考虑传感器的开发、设计、使用等方面时,也许会得到许多有益的启示。可以从两个角度去系统地研究传感器,即从应用物理的角度或从信息处理的角度。但不管从哪一个角度出发,必须对其硬件和软件进行考察。

如果从应用物理的角度出发,就能获得有关传感器实现的可能性、传感器性能在物理上的最大限制等方面的知识,特别是为了加深对传感元件基本特性的理解是有用的。如果从信息处理的角度出发,就能获得有关传感器信息的提取技术,提高传感器信噪比(S/N)方面的知识,在设计构成传感器时,为了使其难于接受测量环境的不良影响,要采取哪些措施也很清楚了。

为了系统地研究传感器,一种方法是把传感器进行模型化;但实际的传感器不一定象理想化了的模型那样去工作。因此,传感器的误差分析在实用上是很重要的。本书第一篇将就传感器这些共同的问题加以论述。