



智能传感器数据采集 与信号处理

Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors

N.V.基里阿纳基 (NIKOLAY V.KIRIANAKI)

[乌克兰] S.Y.尤里斯 (SERGEY Y.YURISH)

N.O.西巴克 (NESTOR O.SHPAK)

著

V.P.捷伊涅卡 (VADIM P.DEYNEGA)

高国富 罗均 谢少荣 童景琳 译



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

智能传感器数据采集 与信号处理

Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors

N.V.基里阿纳基 (NIKOLAY V.KIRIANAKI)
[乌克兰] S.Y.尤里斯 (SERGEY Y.YURISH) 著
N.O.西巴克 (NESTOR O.SHPAK)
V.P.捷伊涅卡 (VADIM P.DEYNEGA)

高国富 罗均 谢少荣 童景琳 译



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

·北京·

本书系统地介绍了智能传感器数据采集与信号处理技术,浓缩了作者在传感器设备研制以及频-时域测量、转换和信号处理的新方法和新算法开发的40年的实际工作经验,涵盖了数字传感器和准数字传感器(频率、周期、占空比、时间间隔和脉冲数输出)的数据采集、频率-编码转换、高级频率-编码转换、信号处理、多通道传输、虚拟仪器、总线与接口等技术。

本书能对高性能和高效数字智能传感器与数据采集系统的设计人员提供有用的帮助和相关的素材。

图书在版编目(CIP)数据

智能传感器数据采集与信号处理/[乌克兰]基里阿纳基(Kirianaki, N. V.)等著;高国富等译. —北京:化学工业出版社,2006.4

书名原文:Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors
ISBN 7-5025-8535-4

I. 智… II. ①基…②高… III. 传感器-数据采集-信号处理 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第034582号

Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors/by NIKOLAY V. KIRIANAKI, SERGEY Y. YURISH, NESTOR O. SHPAK, VADIM P. DEYNEGA

ISBN 0-470-84317-9

Copyright©2002 by John Wiley & Sons, Ltd. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons, Ltd. 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2005-2465

智能传感器数据采集与信号处理

N. V. 基里阿纳基

[乌克兰] S. Y. 尤里斯 著

N. O. 西巴克

V. P. 捷伊涅卡

高国富 罗 均 谢少荣 童景琳 译

责任编辑:周 红

文字编辑:云 雷

责任校对:顾淑云

封面设计:尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数332千字

2006年6月第1版 2006年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8535-4

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

译 者 序

随着科学技术的发展和社会的不断进步,作为各种信息的感知、采集、转换、测试、处理中的重要技术工具,传感技术已经和计算机技术、信息技术一起成为现代信息产业的三大支柱,传感技术的应用范围遍及机械、电子、交通、冶金、能源、化工、农林、航空、航天、海洋、国防、轻工、环保、医疗等领域。进入20世纪90年代以来,在传感技术基础上结合微处理器技术发展起来的智能传感技术成为国际上研究的热点。智能传感器能够完成信号采集、转换处理、逻辑判断、功能计算、双向通信,内部可实现自检、自校、自补偿、自诊断等功能,并具备了信息储存、数字量输出等功能。智能传感器的功能还会随着微电子技术的不断进步而进一步加强。

作者在传感器设备的研制,频-时域信号测量、转换和处理的新方法和新算法等方面进行40年的工作积累,并写就本书。本书对智能传感器的数据采集和信号处理技术进行了充分的论述,全书共有10章,除了重点论述多通道传感器系统的数据采集方法、频率-编码转换方法、多通道智能和虚拟传感器系统、总线和接口电路等外,该书的特色是介绍了准数字传感器的制作。所谓准数字传感器,就是指频率、周期、占空比、时间间隔、脉冲数或相移输出的离散频-时域传感器。该书内容丰富,反映了智能传感器的基本原理和新的理念,可以作为各行各业中使用到传感器的工程技术人员、大专院校师生学习的参考书。

本书第1章、第2章、第3章、第9章由河南理工大学高国富博士翻译,第5章、第8章由上海大学罗均博士翻译,第4章、第7章由上海大学谢少荣博士翻译;第6章、第10章由河南理工大学童景琳翻译,全书由高国富博士统稿。硕士生周焱、邢兰兴、程雪莉、杜宝玉、张东梅、唐文、谢璞、郝山波、卢兵仔也为本书的译校做了许多工作,在此表示感谢。

由于译校者水平有限,书中难免有不妥之处,热忱欢迎广大读者批评指正。

译 者
2006年1月

前 言

智能传感器在诸如工业、控制系统、生物医学等许多领域都引起了研究者浓厚的兴趣。大多数关于传感器设备的书籍主要介绍传统的数据采集方法,采用电压信号或电流信号的幅值信息。其中只有少数书籍的部分章节、文献和论文涉及数字传感器和准数字传感器的数据采集。智能传感器和微传感器越来越依赖共振现象和变频振荡器,并不再采用输出信号的幅值,而是采用输出信号的频率和时间参数。通常,致力于智能传感器研究的大多数科学出版物仅仅反映微电子的技术成就。然而,现代先进微传感器技术需要全新的先进测量技术。

由于没有文献对智能传感器的数据采集和信号处理技术进行充分详细的介绍,本书致力于填补这一巨大空缺。

本书浓缩了作者在传感器设备研制以及频-时域信号测量、转换和处理的新方法和新算法开发等领域 40 年的实际工作经验,涵盖了数字传感器和准数字传感器(频率、周期、占空比、时间间隔和脉冲数输出)。

书中介绍的研究成果涉及作者在各种研发项目框架下的国际研究,以及国际频率传感器协会(IFSA)的活动。

读者对象

本书适于博士生、工程师、科学家以及学术和工业研究人员,尤其适于从事测试仪器和传感器设备工作的专业人员,在测试领域面对新挑战的技术人员,以及那些致力于新型数字智能物理量/化学量传感器与传感器系统研究的人员。本书的目的是提供足够的背景知识,方便读者理解与数据采集、信号处理和测试相关的新概念、新原理和新系统,使读者能够对传感器系统进行优化,以较低的成本获得最好的技术性能。

本书内容包括 10 章。

- 第 1 章** 电量/非电量、物理量/化学量智能传感器:发展趋势和前景。描述了智能传感器采用频-时域信号作为信息参数的主要优势。本章综述了工业类型的智能传感器,给出了准数字传感器的分类,探讨了常用的数字和准数字传感器(频率、周期、占空比、时间间隔和脉冲数输出)。
- 第 2 章** 电信号-频时域参数转换器。介绍了各种电压转换,实现信号(电流)-频率转换器、电容-周期(占空比)转换器。为了替代模拟域转换,实现信号在准数字域进行进一步转换,从智能传感器的角度讨论了这些设备的操作原理、技术性能和测量特征。考虑了这些转换器的开环结构和闭环结构(带有脉冲反馈)(图 2-11~图 2-15 以及第 2 章 2.1 节中的其他一些内容来自 New Architectures of Integrated ADC, PDS' 96 Proceedings, 已获得 Maciej Nowinski 的允许)。
- 第 3 章** 多通道传感器系统的数据采集方法,涵盖了循环轮询、加速轮询和同步轮询的多通道传感器系统,讨论了时分通道传输和空分通道传输的数据采集方法。本章介绍了如

何计算传感器的时分轮询循环,以及如何分析数据采集的精度和速度。最后,基于准三进制循环编码讨论了数据传输和错误防护技术。

第4章 智能传感器的频率-编码转换方法。 讨论经典的频率(周期)-编码转换方法,包括直接计数法、间接计数法、组合计数法、插补计数法、傅里叶变换计数法以及相移-编码转换法。讨论和比较了每种方法的量化误差、转换频率范围、转换速度等测量特征与优缺点。

第5章 高级频率编码转换方法。 讨论倒数计数法、比例计数法、恒定经过时间计数法(CET)、M/T计数法、单缓冲及双缓冲计数法、存储器直接存取转移计数法,通过比较,给出了技术经济性分析。从智能传感器的角度,针对其实现讨论了频率范围、量化误差、测量时间等测量特征,以及软、硬件要求。由于同时讨论全新的自适应相关计数法的基本概念、原理和本质,以及非冗余基准频率法,因此本章非常重要。本章内容包括精度、转换时间、频率范围等测量特性以及MDC实现的软、硬件。同时,介绍了测量频比、偏差和相移的高级转换方法。最后给出了一些实际例子和建模结果。

第6章 准数字智能传感器信号处理。 介绍了频率信号的主要操作,包括乘法、除法、加法、减法、求导、积分和比例缩放。特别阐述了频率操作的新方法以及用于频率信号统一的比例缩放操作。讨论了传感器输出信号的不同波形(正弦波、锯齿波、三角波和矩形波),同时介绍了如何采用权函数平均法减小噪声和量化误差。

第7章 可编程数字输出智能传感器。 讨论了频率-编码、周期-编码、占空比-编码、时间间隔-编码、相移-编码和脉冲数-编码转换的可编程转换方法以及数字智能传感器。考虑了最优可编程转换方法的设计方法、系统误差校正技术和算法融合的改良方法,并给出了范例。本章同时涉及转换过程的特定误差及其他转换特性。

第8章 多通道智能传感器和虚拟传感器系统。 描述了时分和空分频率通道传输的智能传感器系统。这两种系统都是基于相关计数,给出了对其比较分析的结果,采用ABS智能传感器微系统范例说明了多通道传输的性能和特征。同时,介绍了多参数传感器。本章包括虚拟传感器测试仪器,及如何估计所设计系统的总误差。给出了温度、压力、转速虚拟仪器的定义和例子。

第9章 软件级智能传感器设计。 介绍测量应用中内置微控制器的指令集最小化技术(为节省芯片面积),以及低功率设计技术的最优低功率编程技术(为降低功耗)。给出了许多实际技巧(如指令选择、排序、转移、调用和循环优化等),建议及例子。

第10章 智能传感器总线和接口电路。 从智能传感器角度介绍了传感器总线和网络协议,讨论了现代传感器接口电路。特别讨论了通用变送器接口(UTI)和时间-数字转换器(TDC),UTI和TDC可采用低功率接口电路与各种模拟传感器,如铂电阻器、热敏电阻器、电位计电阻器、电容器、电桥等连接,将模拟传感器信号转换成准数字域信号(占空比或时间间隔)。

最后,讨论智能传感器的未来发展方向。

参考书目 除了书籍、文献和论文,其中包括大量有用的网址,是从作者创立的传感器网站上收集过来的。

缩写和符号列表

δ_q	程序设定的相对量化误差
Δ_q	绝对量化误差
D_s	设定的频率测量范围
f_s	被测量频率
f_r	基准频率
F	频率 f_s 和 f_r 中的较大频率
f	频率 f_s 和 f_r 中的较小频率
f_{bound}	频率下限
F_{bound}	频率上限
m	计数器容量
N_δ	脉冲数, 由 $\delta = 1/N_\delta$ 确定
N_s	较低频率 f 的周期数
T	较高频率 F 的周期 ($T = 1/F$)
τ	较低频率 f 的周期 ($\tau = 1/f$)
T_q	量化窗
T_r	基准门时间间隔
ABS	防抱死刹车系统
ADC	模数转换器
ALU	算术逻辑电路
ASIC	专用集成电路
ASIP	专用指令处理器
CAD	计算机辅助设计
CMOS	互补型金属氧化物半导体

CT	计数器
DAC	数模转换器
DAQ	数据采集
DFT	离散傅里叶变换
DSP	数字信号处理器
FCC	频率-编码转换器
FPGA	现场可编程门阵列
FS	满刻度
GUI	图形用户接口
LCF	李亚普诺夫特征函数
MDC	相关计数法
μ_K	微控制器
μ_P	微处理器
MSM	多芯片模块
PCA	可编程计数器阵列
PCM	可编程转换方法
PWM	脉冲宽度调制
RAM	随机存取存储器
ROM	只读存储器
VFC	电压-频率转换器
VLSI	超大规模集成电路

引言

集成电路技术的快速发展对集成传感器和微机电系统 (MEMS) 的结构设计提出了新的挑战。微系统技术 (MST) 提供了微尺度上综合传感、信号处理和驱动的新方式, 允许在大范围应用场合和操作环境下实现传统传感器和新型传感器。术语“MEMS”用于不同场合: 某些场合相当于“MST”; 另外一些场合, 仅仅指表面微机械加工产品。后一种情况下, MEMS被认为是集成电路技术的延伸——“除了电路以外, 提供传感和/或驱动功能的一个集成电路芯片”^[1]。本书采用这一定义。

智能传感器采用文献[2]的定义, 可以表述为“智能传感器是一块芯片, 没有外部组件, 包括传感、接口、信号处理电路和智能(自检、自辨识或自适应)功能”。

测量系统、传感器和变换器设计的主要任务是追求高测量性能。在测量技术开发的不同阶段, 采用不同方法完成这一任务。其中包括技术方法、结构与结构-算法方法。历史上, 技术方法在美国、日本和西欧受到推崇。而结构与结构-算法方法在前苏联比较盛行, 并且在其新的独联体国家中得到持续发展。采用先进的计算与信号处理, 大多数情况下通过启发式设计的特殊结构, 可以提高测量性能和扩展功能容量。这对数字与准数字传感器和变换器也不例外。

测量过程中, 将不同种类的被测量信号转换为单一参数的一定范围的输出信号。历史上, 首先采用的单一参数为机械位移。水银温度计、金属压力计、指针式伏特计等都基于此原理^[3]。另一种单一参数类型为电压或电流幅值。今天, 采用不同的传感器, 几乎所有物质特性和能量都能被转换为电流或电压信号。所有这些传感器都是采用基于电磁处理的幅值调制, 此即所谓的模拟传感器。

将测量结果输入计算机的需要促使了数字传感器的出现。首先, 采用模数转换器将模拟量转换为数字编码, 解决了数字传感器的设计任务。准数字传感器的制作, 特别是频率传感器, 是另一个非常有前途的研究方向^[3]。准数字传感器是频率、周期、占空比、时间间隔、脉冲数或相移输出的离散频-时域传感器。今天, 在所有准数字传感器中, 频率输出传感器所占比例最大, 如下图所示。这类传感器简单、通用、精度高、抗干扰能力强, 优于数字输出传感器。采用计算基准时间间隔(门)内的信号的周期数的方法, 可以减少对频率调制信号

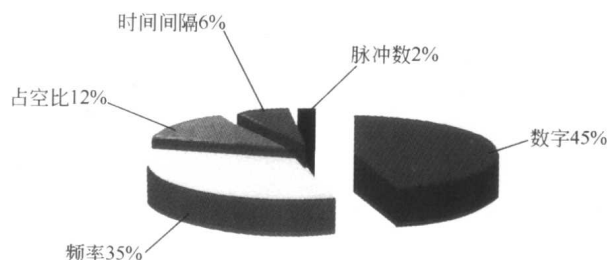


图 离散输出传感器分类

的进一步变换。这种方法在其简单性和精度上超过了所有其他模数转换法^[4]。

众所周知的分离式频率变换器，如线张力计或感应转数计已经上市很多年，例如，Golovachov、Davydenkov 和 Yakutovich 分别在 1930 年和 1931 年获得了线控温度计专利（专利号 No. 617 27，前苏联，专利权人：Davydenkov 和 Yakutovich）和线控转数计专利（专利号 No. 21 525，前苏联，专利权人：Golovachov、Davydenkov 和 Yakutovich）。但是，由于这些传感器（数字频率计数器出现之前）的输出频率是采用模拟方法测量获得的，因而实际上并没有获得使用频率输出传感器所带来的巨大好处。

自从数字频率计数器和频率输出传感器越来越得到重视，情况发生了巨大的变化，最早可追寻到 1961 年 P. V. Novitskiy 教授的论述：“……将来，我们希望频率输出类传感器能够得到发展，使现在已知的频率传感器在数目上超过现在已知的幅值传感器……”^[3]。尽管频率输出传感器实际上可以测量许多参数，但由于各种原因，这个预测还没有得到完全的证明。

最近几年，随着传感器微系统的出现以及世界范围内微系统技术的高速发展，技术进步和成本降低使数字和准数字传感器的优势显现出来。通过研制各种传感器，现代技术已经能够解决相当复杂的任务。但是，直到现在，这类传感器在工业上的大量应用仍然存在着一些严重的障碍，客观原因包括：

- 如同信号处理技术主要由前苏联开发出来一样，目前许多欧美公司对频-时域转换的现代方法的革新潜力缺乏认识；

- 公司存在倒退趋势，表现为主要支出多用于传统模数转换器的开发；

- 不重视那些能给公司带来商业和市场利润的测试技术等。

今天，市场情况已经发生了巨大的变化，根据英泰诺咨询公司（Intechno Consulting）预测，1998 年传感器在非军事领域的市场份额已经超过了预期的 325 亿美元。至 2003 年，估计年增长率为 5.3%，达到 422 亿美元。即使非常保守的估计，到 2008 年也将达到 500~510 亿美元；假设经济条件良好，在理性估计范围内，2008 年的份额将达到 540 亿美元。半导体基传感器的市场份额 1988 年为 38.9%，至 2008 年将上升到 43%。基于 MEMS 技术的传感器、智能传感器以及具有总线功能的传感器将得到快速发展^[5]。硅传感器将占领其他市场，例如仪表、远程通信和个人计算机市场等^[6]。

我们希望本书能对高性能和高效数字智能传感器与数据采集系统的设计人员提供有用的帮助和相关的素材。

目 录

● 第 1 章 电量/非电量、物理量/化学量智能传感器：发展趋势和前景	/1
1.1 集成智能温度传感器	/6
1.2 集成智能压力传感器和加速度传感器	/11
1.3 转速传感器	/15
1.4 智能光学传感器	/18
1.5 频率输出湿度传感器	/19
1.6 化学和气体智能传感器	/19
小结	/21
● 第 2 章 电信号-频时域参数转换器	/22
2.1 电压-频率转换器	/22
2.2 电容-周期（或占空比）转换器	/37
小结	/40
● 第 3 章 多通道传感器系统的数据采集方法	/41
3.1 时分多路传输数据采集方法	/41
3.2 空分多路传输数据采集方法	/44
3.3 智能传感器结构及数据采集	/46
3.4 多通道数据采集系统的主要误差	/48
3.5 数据传输和错误防护	/49
3.5.1 准三进制编码的本质	/50
3.5.2 编码算法和例子	/50
3.5.3 准三进制编码译码	/53
小结	/54
● 第 4 章 智能传感器的频率-编码转换方法	/56
4.1 标准的直接计数法（频率测量）	/57
4.2 间接计数法（周期测量）	/59
4.3 组合计数法	/63

4.4	基于离散 Fourier 变换的频率-编码转换法	/66
4.5	相移-编码转换法	/68
	小结	/70
●	第 5 章 高级频率-编码转换方法	/71
5.1	比例计数法	/71
5.2	倒数计数法	/75
5.3	M/T 计数法	/76
5.4	恒定经过时间 (CET) 法	/77
5.5	单缓冲法和双缓冲法	/77
5.6	DMA 转换法	/78
5.7	关联计数法	/78
5.7.1	绝对频率转换法	/79
5.7.2	相对频率转换法	/80
5.7.3	频率偏差转换法	/83
5.7.4	通用关联计数法	/83
5.7.5	实现例子	/84
5.7.6	测量特征和性能	/85
5.7.7	绝对量化误差 Δ_q	/85
5.7.8	相对量化误差 δ_q	/87
5.7.9	动态范围	/88
5.7.10	MDC 频率-编码转换器的精度	/90
5.7.11	计算误差	/91
5.7.12	量化误差 (方法误差)	/91
5.7.13	基准频率误差	/91
5.7.14	触发器误差	/92
5.7.15	仿真结果	/94
5.7.16	例子	/96
5.8	非冗余基准频率法	/97
5.9	转换方法比较	/99
5.10	高级相移-编码转换法	/100
	小结	/101
●	第 6 章 准数字智能传感器信号处理	/103
6.1	信号处理的主要算法	/103
6.1.1	加法和减法	/103
6.1.2	乘法和除法	/104
6.1.3	频率信号一致化	/106

6.1.4 微分和积分	/108
6.2 权函数与量化误差减小	/109
小结	/113
● 第 7 章 数字输出智能传感器	/114
7.1 基于比例计数技术的可编程转换法	/115
7.2 可编程转换法的设计方法	/120
7.3 增速适应性 PCM	/128
7.4 PCM 的误差分析	/130
7.4.1 基准误差	/131
7.4.2 计算误差	/135
7.4.3 T_{02} 形成误差	/137
7.5 PCM 的系统误差校正	/138
7.6 PCM 算法融合修正法	/139
小结	/143
● 第 8 章 多通道智能传感器和虚拟传感器系统	/144
8.1 单通道传感器接口技术	/144
8.2 多通道传感器接口技术	/145
8.2.1 智能转速传感器	/145
8.2.2 编码器	/146
8.2.3 转速测量的自适应方法	/148
8.2.4 传感器接口技术	/149
8.3 空分多路传输的多通道传感器系统	/151
8.4 时分多路传输的多通道传感器系统	/154
8.5 多参数传感器	/155
8.6 智能虚拟传感器	/156
8.7 虚拟仪器的不确定性估计	/169
小结	/175
● 第 9 章 软件级智能传感器设计	/176
9.1 智能传感器的微控制器核	/176
9.2 嵌入式微控制器的低功耗设计技术	/177
9.2.1 指令选择与排序	/183
9.2.2 代码长度和速度优化	/183
9.2.3 转移和调用优化	/184
9.2.4 循环优化	/185
9.2.5 存储器存取功耗最小化	/186

9.2.6 硬件的低功耗特性开发	/187
9.2.7 低功耗编译器优化	/187
小结	/190
● 第 10 章 智能传感器总线和接口电路	/191
10.1 传感器总线和网络协议	/191
10.2 传感器接口电路	/193
10.2.1 通用变送器接口 (UTI)	/193
10.2.2 时间-数字转换器 (TDC)	/197
小结	/198
未来发展方向	/199
参考文献	/200
附录 智能传感器术语集	/208

第 1 章 电量/非电量、物理量/ 化学量智能传感器：发展趋势和前景

计算机数据采集系统和测量仪器的主要任务就是从外部采集信息，然后进行处理和解释。数据采集和控制系统应该将测量范围不同的变送器和传感器采集的真实信号输入计算机。根据文献 [7]，数据采集 (Data Acquisition, 简称 DAQ) 定义为“从传感器和变送器收集和测量电信号，并将它们输入到计算机进行处理”。更进一步的信号处理包括传感器的特征转变、多参数融合处理、结果统计计算，以及采用对用户友好的方式显示处理结果。

根据输出信号，传感器和变送器可以分为电压（幅值）传感器、电流传感器、频率传感器、脉冲-时间传感器和编码传感器。针对开发者和用户的任意数据采集系统，提出了传感器接口设计，使传感器与计算机连接起来。因此，必须特别重视数字格式的输出转换问题，以及高精度与高速转换方法。

通常，传感器就是从目标物体获得信息并将它转变成电信号的设备。典型的集成传感器如图 1-1 所示，可以分成 4 个部分。图 1-1 中，第一个框为传感元件（如电阻器、电容器、晶体管、压电材料、光电二极管、电桥等）。传感元件本身产生的信号经常受噪声或者干扰的影响。因此，为了减小传感器非理想状态的影响，必须采用诸如放大、线性化、补偿和过滤等信号调理和信号处理技术（第二个框）。

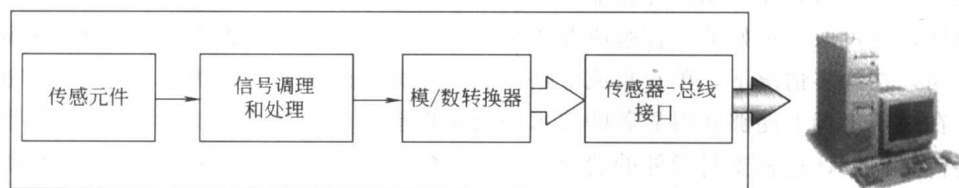


图 1-1 典型的集成传感器

在某些情况下，如果一个芯片上有多个传感元件时，就必须采用多路复用器。数据采集时，传感器信号必须以串行或并行数字格式通信。这个功能可以通过模数转换器或频率-数字转换器实现。最后一个（但不是最小）框是传感器-总线接口。数据采集系统可以采用星形配置，即每个传感器和一个数字多路复用器连接。当传感器的数量增加时，集成传感器的电缆总长度和多路复用器连接点的数量就变得非常庞大。因此，解决此问题的最好办法是采用总线系统，连接所有的数据源和接收器。总线系统负责全部数据传输，并且它通过一个适当的接口把累加的数据送入计算机^[8]。

智能传感器功能方框图如图 1-2 所示。微控制器主要包括数字信号处理（如数字滤

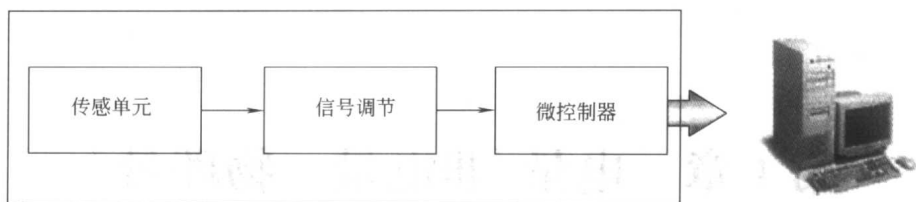


图 1-2 智能传感器功能方框图

波)、模拟-数字或频率-编码转换、计算和接口连接功能。微控制器集成或配有标准接口电路,多数微控制器包括双线 I²C 总线接口,这适于短距离(几米)通信^[9];或者包括 RS-232/485 串行接口,相应地适于长距离通信。

但是,与内置数据处理电路的集成传感器的本质区别是智能传感器具有智能——自诊断、自识别或自适应/决策功能。一般地,这些功能由内置微控制器[微控制器核——专用集成电路(ASIC)或专用指令处理器(ASIP)]或 DSP 实现。智能传感器的主要优势是增加了新功能,并且具有性能提升的潜力。智能传感器具有自适应性,可以优化测量过程中的精度、测量速度和功耗。有时,智能传感器也称为智能变送器。

目前,可用的传感器类型繁多。VLSI 设计以及硅微加工和制作的标准工艺的快速进步为智能传感器的实现提供了技术基础,开辟了新途径,使传统集成传感器在性能、尺寸和价格方面能满足新的需求。这意味着传感器和电子元件信息完美融合,可以在单片硅芯片上制作完整的数据采集系统。本质上就是解决传感器、与传感器相关的模拟微电子电路和数字接口电路之间的制作兼容性^[10]。实际上,对任何类型的硅传感元件和读出电路,都能够开发一个将其集成到单块芯片上的工艺。然而,研发费用非常昂贵,因此,只有大批量生产才可能偿清开发成本。对大多数传感器而言,成功的集成传感器工艺必须具有能够接受的复杂性和/或适用性^[11]。MEMS 技术使传感器微型化的同时,在微尺度空间内也集成了具有微电子功能的传感元件。只有 MEMS 技术能够不断提高传感器大批量生产的成本效益,同时,完善功能并且缩小传感器体积。

当然,更可取、更好的工程解决办法是在微控制器芯片上集成传感元件和信号调理电路。然而,在许多情况下,单片集成电路和混合集成电路(先进处理技术与传统方法)的组合,在短期市场上能够获得显著的技术和测量性能,而不必为昂贵的 CAD 工具和冗长的智能传感器设计过程支付额外的费用。对具有混合集成处理电路的智能传感器的实现,获得合理价格和高可靠性的必要条件是硬件极小化。在这种情况下,可以制作所谓“混合智能传感器”,即将传感元件和电子电路合并封装。

从技术和制造的兼容性上看,频-时域传感器是令人感兴趣的:信号调理电路和被测量-编码转换器、测量性能和实现硬件简易化。简易的测量性能和硬件实现本质上决定了芯片的面积。频-时域传感器基于共振现象和可变频率振荡器,其信息不是嵌入在振幅中,而是嵌入在输出信号的频率或者时间参数中。频-时域传感器可以输出频率(f_x),周期($T_x = 1/f_x$),脉冲宽度(t_p),间隔时间(t_s),占空比(t_p/T_x),在线时间比或频宽比(T_x/t_p),脉冲数(N),相移(φ)或者单一时间间隔(τ)。频-时域传感器的参数信息如图 1-3 所示。这些参数同时具有模拟和数字信号特征,因此,这类传感器被称为“准数字”传感器。在所有的准数字传感器中,频率输出传感器的数量最多(如绪论中的图所

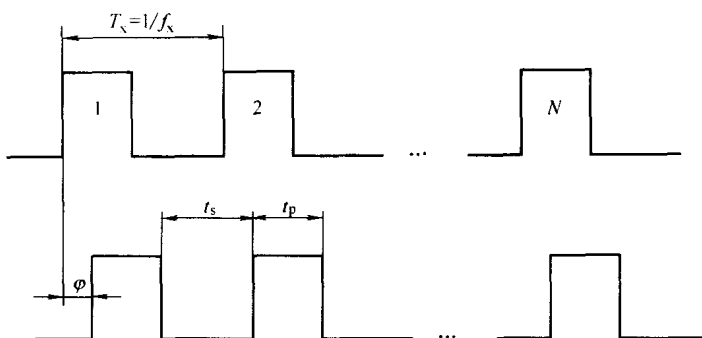


图 1-3 频-时域传感器的参数信息

示)。采用频率作为传感器的输出信号，其主要优势如下。

- 抗噪声能力强 与采用模拟-编码转换器的模拟传感器相比，频率传感器可以获得较高的精度。由于采用频率调制，抗干扰性能好，这是频率传感器应用的首要前提。与模拟和数字信号相比较，频率信号通过通信线路可以传送更远的距离。实际上，传送的频率信号代表一个串行数字信号。因此，这诠释了数字系统的所有优点。此外，仅用双芯信号线就可以传送频率信号。与通常的串行数字数据传输相比，它的优势是数据传输不需要任何同步。频率信号非常适于高噪声工业环境。

- 信号输出功率高 传感器信号按能量形式可以被分成 6 类：电能、热能、机械能、化学能、辐射能和磁能。电信号是目前首选的信号模式。因此，传感器的设计集中于开发转换器，它将其其他任何一种能量形式的信号转换成一定量的电信号。从能量的观点看，传送信号时从传感器输出到放大器输入是测量通道中最重要的一环。这段中传送的信号能量级别非常小，造成的信号损失不能通过信号处理获得任何补偿。一般地，频率传感器的输出功率相当高。在这种情况下，振荡电路的振荡功率影响产生频率的稳定性，并且振荡电路的品质因子高，导致其功率较高。

- 动态范围宽 因为信号是频率形式，动态范围不受供给的电源电压和噪声限制，很容易获得超过 100dB 的动态范围。

- 基准频率的精度高 例如晶体管振荡器的基准频率比其基准电压更稳定，这同样可以解释调幅信号和调频信号的信息特性的区别。

- 通信和接口电路简单 通过误差补偿，可以减小模拟传感器的寄生电动势、瞬态阻抗和模拟多路复用器的通道交叉反馈；而调频信号对于上述影响因素均不敏感。频率传感器和变送器的多路复用器十分简单，不会对观测结果带来任何误差。

- 积分和编码简单 频率传感器输出信号的实时精确积分非常简单，理想积分器是采用测量时间无限制的脉冲累加计数器。采用微控制器处理频率信号时，不需要额外的接口电路。

所有这些都使各种频-时域智能传感器的设计和应用非常高效。

在文献 [9] 中，详细地描述了智能传感器最重要的特性，在此简要描述频-时域智能传感器设计的基本要点。

- 适应性 智能传感器应能优化测量过程。例如，根据测量条件，可以用较低的测量