

文章编号:1002-0411(2004)02-0172-05

信息获取科学与技术中信号处理体系的研究与建立

汪小龙^{1,2}, 葛运建², 江 剑²

(1. 中国科学技术大学自动化系, 安徽 合肥 230026; 2. 中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 本文从实现的功能和规模上, 将信息获取技术分为四类, 即传统传感器、智能传感器、分布式智能传感器和分布式智能感知系统, 从材料科学、机械结构、硬件电路等方面详细分析了误差和干扰的产生机制, 并且给出了解决方案和未来目标。

关键词: 信息获取科学与技术; 信号处理理论体系; 传感器

中图分类号: TP24

文献标识码: B

Research and Foundation on System Info of Signal Processing in Science and Technology of Information Acquisition

WANG Xiao-long^{1,2}, GE Yun-jian², JIANG Jian²

(1. Dept. of Automation, University of Science & Technology of China, Hefei 230036, China;

2. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: From the viewpoint of function and scale, We classify the Information-Acquisition-Tech into four group, namely, traditional sensor, smart sensor, distributed smart sensor, and distributed smart sensor system. Mechanism of error & disturbance is analyzed thoroughly, and accordingly, the solution and future aim is put forward.

Keywords: science and technology of information acquisition; system info of signal processing; sensor

1 前言——创建“信息获取科学与技术学科”必要性 (Preface—necessity of foundation the science and technology of information acquisition)

21 世纪是信息时代, 信息时代是信息决定一切, 信息无所不在. 信息链是由信息获取、处理和传输三个环节组成的, 它们构成了信息科学的三大学科支柱, 即信息获取科学与技术、计算机科学与技术、通讯与网络技术. 目前, 信息处理和信息传输方面的学科建设已日趋成熟和完善, 而信息链的源头——信息获取科学与技术目前仍停留在传统的传感技术和检测技术等较低的层次.

创建“信息获取科学与技术学科”, 是在信息化时代传统的传感技术和检测技术的学科升华, 它在科学的深度和技术的广度上突破了原来的界限, 是一个具有基础性、前瞻性、战略性的创新研究方向,

有特别重要的意义. 创立“信息获取科学与技术”学科研究的重点是从理论基础、学科体系和方法手段上, 系统地解决信息获取所面临的科学和技术问题, 在数学、物理学、化学、生物学等多学科交叉的基础上, 建立具有普适性的信息获取理论基础.

2 问题提出——从信号处理角度看“信息获取科学与技术学科” (Raise of problem—“the science and technology of information acquisition” from the point of view of signal processing)

信号是信息的物理表现形式, 信号处理是信息获取的重要手段和不可缺少的重要组成部分. 在信息获取科学中信号处理的研究内容和信息处理的研究内容有本质的区别. 信号处理研究的是对信息获取底层获得的信号进行必要的修正、优化和性能补

偿等操作,以提高获取信号的质量,就其功能或目的而言,有信号滤波、消除噪声、抗干扰、信号平滑、信号锐化、信号增强、信号的数字模拟转换、信号恢复和重建、信号的编码解码、信号的调制解调、信号的加密解密、信号的均衡或校正、信号特征提取、信号

辨识或目标识别、信息融合等等。

信息获取科学与技术是传统传感和检测技术的延伸与升华,从信号处理的角度,信息获取科学与技术的组成如图 1 所示。

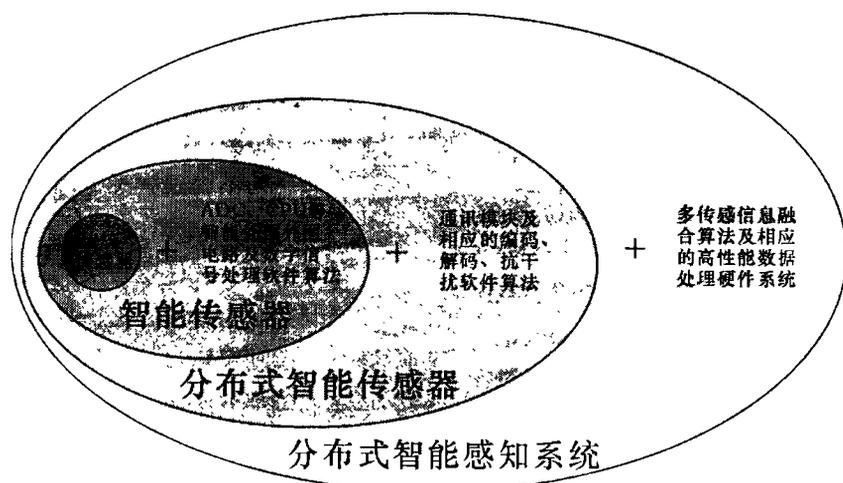


图 1 信息获取科学与技术的组成

Fig. 1 Constitution of the science and technology of information acquisition

· 传统传感技术是信息获取科学与技术的基石,其信息的表现形式是模拟信号。

· 智能传感器随着大规模集成电路和微处理技术的发展应运而生,其信息的表现形式是数字信号。

· 分布式智能传感器是智能传感器在网络时代的发展,其信息的表现形式是帧(数据包)。

· 分布式智能感知系统是最确切意义上的信息获取,是信息获取科学与技术的最终的研究目标。分布式智能感知系统所提供的最终信息,是信息链第二个环节(信息处理)所真正需要的。

3 问题的现状 (Status Quo of Problem)

在信息获取技术的不同发展阶段,信息获取科学研究的信号处理方法不同。从最简单的传统传感器,到智能传感器、分布式智能传感器和分布式智能感知系统,信息获取技术拥有的信号处理能力越来越强大,信息获取科学中涉及的信号处理内容越来越多。

3.1 传统传感器中的信号处理问题

传统传感器只拥有模拟信号处理电路,因此,信息获取科学对传统传感器信号处理的研究只涉及模拟信号处理方法。模拟信号处理电路主要进行信号调理,实现的功能主要有调零位、调满度、限幅等等。

对传统的多维传感器来说,通过模拟电路进行静态矩阵解耦,也是信号处理的主要内容之一。除了进行信号调理之外,传统传感器中的模拟信号处理电路还可以实现简单的消除干扰功能,可以实现信号的低通、高通、带通、带阻、全通和陷波。但是,通过硬件电路进行信号处理,具有以下一些自身不可克服的缺陷:

- 实现的功能、精度有限;
- 电路参数容易随时间和温度漂移;
- 对环境变化引起的新的误差和干扰无能为力。

3.2 智能传感器中的信号处理问题

智能传感器利用微处理器进行数字信号处理,能够实现的信号处理功能大大增强。除了可以使用数字信号处理的方法实现传统传感器的模拟信号处理功能以外,理论上智能传感器可以完成所有的信号处理功能。因此,本文前面指出的硬件电路信号处理的缺陷,完全可以在智能传感器中通过数字信号处理的方法进行弥补。

但是,作为嵌入式系统,智能传感器的信号处理能力受系统的运算能力限制。在采用单片机作为微处理器的智能传感器中,实现的信号处理功能相对简单,进行复杂运算时需要对具体的算法进行汇编代码优化,以满足信号处理的实时性要求。为了增强

智能传感器的信号处理能力,通常采用可编程 DSP (数字信号处理器, digital signal processor) 作为微处理器. 在拥有了足够的运算能力以后,智能传感器在硬件上没有功能、精度和实时性的限制,主要的工作任务就体现在算法功能上了.

为了实现参数漂移的自适应补偿,智能传感器中通常使用自适应算法和神经网络算法对模型的参数进行在线调整;为了对环境变化引起的新的误差和干扰进行处理,智能传感器必须具备无监督学习的功能;对于工作环境和性能参数变化较大的智能传感器,具备环境检测、智能推理能力和小规模专家数据库也是必须的. 因此,信息获取科学对智能传感器信号处理的研究,除了进行传统传感器模拟信号处理的数字化转换,还需要涉及自适应算法、神经网络算法、人工智能和专家系统的内容.

3.3 分布式智能传感器中的信号处理问题

分布式智能传感器是智能传感器在网络时代的发展,其信息的表现形式是帧(数据包). 除了拥有智能传感器的相关软硬件外,分布式智能传感器还必须提供通讯模块及相应的编码、解码、抗干扰软件算法,具备分布式信息获取的协调机制. 与智能传感器相比较,分布式智能传感器的信号处理能力没有什么差异,但是,所需要的信号处理功能有所增加. 由于涉及远距离信息传输,因此,分布式智能传感器特有的信号处理问题主要有以下两个:

- 受到的干扰信号更加复杂;
- 延时和丢包带来的信号不同步.

对这两个问题的处理,通讯领域已经做得比较完善了,因此,信息获取科学对分布式智能传感器信号处理的研究,还需要吸收信息传输领域关于信号处理的前沿成果.

3.4 分布式智能感知系统中的信号处理问题

分布式智能感知系统是最确切意义上的信息获取,是信息获取科学与技术的最终的研究目标. 分布式智能感知系统所提供的最终信息,是信息链第二个环节(信息处理)所真正需要的. 在分布式智能感知系统中,每个分布式智能传感器就是一个信息融合功能节点,都会遇到前述的问题. 而信息融合的主节点,同样也会遇到这些问题. 除了信息传输的干扰和不同步,分布式智能感知系统中的信号处理问题就是多传感信息(数据)融合方法的使用和研究.

4 问题的来源——误差和干扰产生机理 (Source of problem—mechanism of error &

disturbance)

信息获取中进行信号处理,目的是去噪、抗干扰和性能补偿,从而最终获取真正需要的准确信息. 第3节分析了信息获取中信号处理问题的现状,下面将指出这些信号处理问题的来源,揭示信息获取的误差和干扰产生机理. 在进行信号(信息)分离的过程中,无法消除的无用信息会成为误差和干扰,系统的非线性和外来的噪声同样是误差和干扰的重要来源. 本节将从材料科学、机械结构、硬件电路、智能传感器、分布式智能传感器等方面,研究信息获取过程中误差和干扰的产生机理.

4.1 材料科学——敏感效应的交叉影响和非线性

敏感材料利用的是物质的物理、化学、生物效应,将外界的环境信息转换为可以处理的电信号. 但是,这些敏感效应总是相互交叉影响的,不满足传感器对敏感材料的专一性要求. 那些不能够当作有用信息处理的信号,就是误差和干扰. 同时,由于敏感效应总是近似线性的,因此,这种非线性误差总是存在的. 因此,敏感材料的物理、化学、生物效应的非线性和相互交叉影响,是信息获取中误差的第一个来源.

4.2 机械结构——不可避免的工艺误差

敏感材料、支撑结构的加工装配,总是会有不可避免的工艺误差. 敏感材料的加工误差,会影响信息获取的线性度,从而最终给系统带来非线性误差. 支撑结构的加工装配误差,会带来测量位置和方向的偏差,从而最终给信息获取系统带来耦合误差. 机械结构中不可避免的工艺误差,是信息获取中误差的第二个来源.

4.3 硬件电路——非线性误差、电磁噪声和干扰

硬件电路带来的误差和干扰有三种,即非线性误差、内部电磁噪声和外来电磁干扰. 电子元器件,特别是放大器件,总会产生非线性误差. 在硬件电路内部,电子热运动会形成热噪声,电子空穴对随机发生、扩散、复合会形成散粒噪声. 外来电磁干扰,主要来自继电器、交流接触器、电机、变压器、焊机、动力线路、射频发生器等开关电感负载,和来自电源的工频及其谐波耦合. 硬件电路带来的这些非线性误差、电磁噪声和干扰,是信息获取中误差的第三个来源.

4.4 智能传感器——量化误差、截断误差、模型近似、收敛过程误差

模数转换器(ADC)在将连续的模拟信号转换为离散的数字信号时,总会由于位长限制带来量化

误差;智能传感器在进行数字运算时保留一定的有效位,从而会带来截断误差;采用数学模型近似代替物理模型,对传感器进行解耦运算、性能补偿,会带来模型近似误差;智能算法能够实现参数修正、模型选择的自适应、自补偿和自学习,但是在算法收敛的过程中,会由于暂时的不匹配带来误差。

4.5 分布式智能传感器——远距离传输的信号混叠

在分布式智能传感器中,由于远距离信号传输会带来额外的信号混叠和干扰。因此,借鉴信息传输领域相关的信号处理方法,实现高效、实时的信号分离和干扰消除,是分布式智能传感器中信号处理研究的主要工作。

5 问题的解决 (Solving of problem)

前面指出的信息获取中的所有误差和干扰,都可以归结为三类,即信号混叠、非线性误差和精度误差。每类误差和干扰适用不同的信号处理方法。

5.1 信号混叠的处理方法

属于信号混叠带来的误差和干扰有:

- 敏感效应的交叉影响;
- 机械结构工艺误差带来的耦合误差;
- 硬件电路内部电磁噪声和外来电磁干扰;
- 分布式信息获取的信号混叠。

对于这类误差和干扰,最常用的信号处理方法是滤波。普通的滤波器能够实现低通、高通、带通、带阻等频响特性,特殊结构的滤波器有全通、陷波和整形滤波器,其中全通滤波器用来进行相位调整;维纳滤波可以实现平稳随机过程的最优滤波,而卡尔曼(Kalman)滤波则能够实现非平稳随机过程的最优滤波。

当输入信号的统计性质或滤波器的周围环境发生变化时,参数固定的滤波器就无法实现有效的信号分离功能。通常用来进行参数调节的方法,是采用自适应滤波器和神经网络算法。

对信息获取系统来说,源信号和传输通道的参数都是未知的,需要通过实验进行测定。因此,近几年来兴起的盲源分离信号处理方法比较适合。盲源分离是采用无监督神经网络实现的自适应信号分离方法,该方法在不知源信号和传输通道的参数的情况下,根据输入源信号的统计特性,仅由观测信号恢复出源信号的各个独立成分。

5.2 非线性误差的信号处理方法

属于非线性问题带来的误差和干扰有:

- 敏感效应非线性误差;
- 电子元器件的非线性误差。

对于系统的非线性问题,常用的信号处理方法是采用整形滤波器。与普通滤波器一样,在环境发生变化时,参数固定的整形滤波器有可能无法实现有效的整形功能。因此,利用自适应算法和神经网络算法进行滤波器参数调整同样重要。

对于大量的非线性因素叠加所体现的复杂的非线性系统,采用普通整形滤波器很难实现系统校正。采用神经网络强大的函数逼近功能,结合控制论中的黑(灰)箱方法与功能模拟方法,能够最大限度地对系统模型参数进行辨识,从而最终实现系统非线性的校正。

5.3 精度误差的信号处理方法

属于精度有限带来的误差和干扰有:

- 模数转换量化误差;
- 计算截断误差;
- 模型近似误差;
- 收敛过程误差。

对于精度有限带来的误差和干扰问题,除了在精度上提高以外,也可以通过信号处理的方法在一定程度上给予解决。由于精度误差是一种随机信号,在一定程度上可以当作白噪声来处理,因此,传统的维纳滤波、卡尔曼滤波和最新的盲源分离方法都能够一定程度上提高系统精度。但是,更加有效的方法是采取多传感信息融合的方法,这是提高系统精度、可靠性的最佳方法。

当然,在有限精度下,对系统算法进行合理优化设计,也是非常值得研究的课题。西北工业大学的何明一教授等人,在专著《神经网络与信号处理系统——有限精度设计理论》一书中对该问题进行了详细论述,本文不作转述。

5.4 混合误差和干扰的处理方法

实际上,任何一个实际的信息获取系统中,都不会只存在信号混叠、非线性误差和精度误差中的一种。当这些因素出现在同一个信息获取系统中时,通常采用以下的方法处理:

· 近似代替 对于虽然不是同一个原因产生、但是特性非常相似的误差和干扰,利用一种方法近似代替。例如信号混叠和精度误差,就可以采用折衷方案,利用对两种误差都有效的维纳滤波、卡尔曼滤波和盲源分离方法进行处理。

· 模块串联 对于特性相差很远的误差和干扰,如果在同一时刻产生,可以分别设计信号处理功

能模块,然后将它们按先后顺序串联执行.

· 模块选择 对于随时间、工作过程和工作环境变化较大的不同误差和干扰,可以分别设计信号处理功能模块,同时增加环境检测功能模块和小规模的专家数据库.通过智能推理决定不同时刻调用不同的信号处理功能模块,实现复杂环境的智能信号处理.

5.5 未来研究目标

· 系统分析信息获取科学与技术中所涉及的各种信号处理方法,建立信息获取科学与技术的信号处理体系框架.

· 具体研究传统传感技术使用的各种模拟信号处理方法,充分利用微电子技术和大规模集成电路技术的最新研究成果,实现性能价格比、性能体积比很高的模拟信号处理电路,为传统传感器的小型化和普及化奠定坚实的基础.

· 研究严重影响传感器性能的代表性问题,运用各种传统滤波理论、自适应信号处理方法和人工智能的信号处理方法,实现智能传感器的理论建模、算法研究和实用化方法研究.

· 研究分布式智能传感信息传输中出现的信号衰减、电磁噪声和信号干扰等问题,运用各种匹配滤波、自适应信号均衡、相关检测、最优检测算法,选择适合的编解码方法,实现分布式智能传感器的理论建模、算法研究和仿真验证.

· 运用分布式智能感知系统的多传感信息(数据)融合方法,研究基于任务的分布式智能感知系统实现方案、系统规划和模型算法.

6 结论 (Conclusion)

以传感技术为核心和基石的信息获取科学与技术是信息链的源头,是数学、物理学、化学、生物学的多学科交叉.如何系统地研究信息获取的理论基础和系统框架,对我国传感技术和检测技术快速提高和发展,对信息产业的可持续发展都具有重大的理论和实践意义.本文以信息的物理存在——信号为研究对象,系统地分析了信息获取科学与技术中信

号处理体系的研究与建立,以期能为相关领域的科技工作者提供参考,做到抛砖引玉的效果.

参 考 文 献 (References)

- [1] 汪小龙. 信息获取科学的若干问题研究 [D]. 合肥:中国科学技术大学,2003.
- [2] 汪小龙,葛运建,等. 一种基于分布式信息融合技术的水下机器人智能感知系统方案 [J]. 机器人,2002,24(5):432~435.
- [3] Brude S B H. An information centric approach to heterogeneous multi-sensor integration for robotic applications [J]. Robotics and Autonomous Systems, 1999,26(4):255~280.
- [4] Dai X, Khorram S. Data fusion using artificial neural networks: a case study on multitemporal change analysis [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1999,23(2):19~31.
- [5] Chen S L, Jen Y W. Data fusion neural network for tool condition monitoring in CNC milling machining [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000,40(1):381~400.
- [6] Gua J, et al. A study on natural movement of artificial eye implant [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2000,32(2-3):153~161.
- [7] Wadi I, Balendra R. An intelligent approach to monitor and control the blanking process [J]. Advances in Engineering Software, 1999,30(2):85~92.
- [8] Mellado M, et al. Application of a real time expert system platform for flexible autonomous transport in industrial production [J]. Computers in Industry, 1999,38(2):187~200.
- [9] Hill J. A Software Architecture Supporting Networked Sensors [D]. California:University of California, 2000.
- [10] Fang W C. A low-power high-speed smart sensor design for space exploration missions [J]. Acta Astronautica, 2000,46(2-6):241~250.
- [11] Haack B, Bechdol M. Multisensor remote sensing data for land use/cover mapping [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1999,23(1):53~69.

作者简介

汪小龙(1972-),男,博士生.研究领域为智能信息获取与处理,计算机应用.

葛运建(1950-),男,博士,研究员,博士生导师.研究领域为计算机应用,智能传感技术.