# 第10章 智能传感器的设计与应用

|  |  |
| --- | --- |
| 本章内容 | * 智能传感器系统分析 * 智能传感器硬件结构设计 * 智能传感器硬件电路设计 * 智能传感器程序设计 * 智能传感器设计实例   本章将继续深入探讨智能传感器的设计与应用，包括硬件结构设计、硬件电路设计、程序设计等，并通过实例展示如何设计和实现智能传感器系统。通过对这些技术的深入学习，可以更好地理解和掌握智能传感器系统的设计原理和实现方法，并在实际应用中更好地运用这些技术。 |
| 知识目标 | * 1.了解智能传感器的设计方法； * 2.掌握智能感知系统的设计过程。 |
| 能力目标 | 掌握智能传感器的基本原理、结构和工作特点，熟悉传感器硬件电路和结构，能够根据具体应用需求选择合适的传感器类型和技术参数；初步具备开发智能传感器应用软件的能力，实现对传感器数据的采集、处理和分析；能够将多个传感器进行集成融合构建复杂传感网络。 |
| 素质目标 | * 强化学生的工程伦理意识和社会责任感，在设计和应用中充分考虑安全、环保、可持续发展等因素； * 培养严谨的科学态度和务实的工作作风，在设计、实验和测试过程中注意细节，保证数据的准确性和可靠性； * 培养创新思维和创新能力，激发在传感器设计和应用中提出新颖的想法和解决方案的意识和能力； * 培养国际视野和跨文化交流能力，了解国际智能传感器发展趋势和先进技术，为参与国际合作和竞争做好准备。 |
| 重点难点 | 重点：掌握智能感知系统的设计过程。  难点：掌握智能感知系统的设计过程。  本章节适合各种学时设置的教学安排。 |

# §10.1 智能传感器设计概述

## 10.1.1 智能传感器的系统分析

设计智能传感器，首要任务在于明确其基本功能需求和技术指标，这是设计的基石。因此，在软硬件设计之前，需要对智能传感器进行系统分析。

### 10.1.1.1 系统分析解决的核心问题

系统分析是确定系统总体方向的关键阶段，主要对即将设计的智能传感器系统进行全面的探讨和研究。在现有技术和软硬件条件下，选择最优设计方案，以达成预期目标。

系统分析主要解决以下问题：

（1）明确设计目标与系统功能。

（2）提出初步方案，评估其合理性和可行性。

（3）制定实施计划，包括资金、人力、物力和设备的分配和使用情况等。

（4）识别关键技术问题，并深入研究。

### 10.1.1.2 智能传感器系统分析工作步骤

智能传感器系统分析工作主要分为三步：

（1）明确任务。根据系统性能要求、功能范围、时间进度、人力资源等因素，明确关键问题。

（2）提出初步方案。分析系统需求，确定设计目标、功能和范围、总体或局部功能划分、组织结构或物理结构、组织方案、进度计划和经济预算等。

（3）进行可行性分析。从技术、经济、工程等方面进行调查研究和分析比较，并对项目建成以后可能取得的财务、经济效益及社会环境影响进行预测和评价。

## 10.1.2 智能传感器的硬件结构设计

智能传感器的硬件部分通常由传感器及信号调理电路、微处理器、ROM、RAM、I/O接口、定时/计数电路、人-机联系部件和接口电路及串行或并行数据通信接口等组成。其中，微处理器是智能传感器的核心所在。

### 10.1.2.1 微处理器的选择

目前，智能传感器广泛采用了模块化积木式结构设计，其中微处理器作为其核心组件，其选择显得尤为关键。微处理器通常有两种类型，标准微处理器（即单片机）和嵌入式微处理器。标准微处理器，即单片机，适用于中低成本控制应用，因其强大的位控能力、低成本和易用性而受到广泛关注。

1. 单片机的优点

（1） 硬件通用性强，应用灵活。在不同场合应用时，无需改变硬件的结构，只需改变存储器里的程序，就可以更新换代成新产品。

（2）指令系适合实时控制。

（3）体积小，执行速度快。

（4）可靠性高，抗干扰能力强。

（5）可以方便地实现多机分布式控制。

（6）产品开发周期短，开发效率高。

（7）同一系列和配置接口的芯片种类多，功能全，便于挑选。

2. 标准微处理器的选择原则。

（1）主芯片选择

目前，自动化领域中应用广泛且备受青睐的单片机产品除了Intel公司的MCS-51单片机及其兼容系列（ATMEL、PHILIPS、TEMIC、ISSI、WINEOND、LG等）外，还有美国Microchip公司基于RISC指令集的PLC系列单片机、Motorola公司的MC系列单片机、西门子公司的C500系列单片机和C166系列单片机等。为了缩短开发周期和降低成本，应尽可能选择熟悉指令集的系列产品，并在同等条件下选择价格较低的产品。

（2）主机字长选择

智能传感器系统的许多功能与主芯片的字长有着密切关系。字长越长，其运算能力和控制能力就越强，但成本也随之增加。8位单片机是目前应用广泛的一种，可以用于数据处理或一般的监控系统。16位单片机组成的系统是一种高性能的计算机系统，主要用于数据处理并兼顾控制方面的要求。其特点是处理速度快、精度高、功能强，能满足实时性要求。

（3）寻址范围选择

单片机的地址长度决定了系统中可存放的程序和数据量的范围。例如，8位单片机的地址长度为16位，因此其可寻址的范围为64K。设计时，应根据应用系统的要求确定合理的存储容量。

（4）指令功能

一般来说，单片机的指令条数越多，其操作功能就越强，从而可使编程变得更灵活有效。但不能仅通过指令数量来评价单片机的功能强度，每条指令的具体内存和不同厂商的指令计算方式也是重要考虑因素。

所选取的单片机，其指令功能应该面向所要处理的问题。若侧重于控制，要特别注意访向外部设备（或接口）指令的功能；如果侧重于数据处理，则应该注意数据操作指令的功能，如算术和逻辑运算、十进制调整、位操作指令、控制转移等指令的功能是否齐全。

（5）处理速度

通常情况下，时钟周期越短，执行速度越快。然而，不能仅依靠时钟频率来衡量微处理器的执行速度。实际上，指令的执行时间需要结合时钟频率和执行该指令所需的周期数来计算。对于需要较短采样周期和大量实时计算的数据处理任务，应选择高速单片机。

（6）中断能力

在实际应用中，有时，为处理紧急任务，单片机需要暂停主程序，转而执行特定的服务子程序。对于需要快速处理多任务并实时响应的场景，应选择中断功能强大且具有优化判断电路的单片机。因为这可以有效地处理多个中断源，从而提高系统的整体效率。

（7）功耗

功耗受到器件工艺、器件复杂性和时钟速率的影响。就器件工艺而言，高速双极性单片机的功耗较高，NMOS和PMOS单片机的功耗居中，而CMOS单片机的功耗最低。在较低的时钟速率下，单片机的功耗较低。此外，还应根据系统允许的工作范围和工作环境等条件来选择适用功耗的单片机。

3. 嵌入式微处理器及其特点

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的CPU，是嵌入式系统的核心。为满足嵌入式应用的特殊要求，嵌入式微处理器在功能上与标准微处理器基本相同，但在工作温度、抗电磁干扰等方面进行了各种增强。与工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、质量轻、成本低、可靠性高的优点。嵌入式微处理器具有以下特点：

（1）具有强大的实时和多任务支持能力，能够完成多任务并具有短的中断响应时间，从而将内部代码和实时操作系统的执行时间降至最低。

（2）具有强大的存储区保护功能。由于嵌入式系统的软件已模块化，为防止软件模块间的错误交互，需要设计强大的存储区保护功能，这也有利于软件诊断。

（3）具有可扩展的处理器结构，能够迅速扩展以满足高性能嵌入式微处理器的应用需求。

（4）嵌入式微处理器的功耗必须很低，特别是在便携式的无线和移动计算及通信设备中的嵌入式系统，这些系统由电池供电，其功耗低至微瓦级。

4. 嵌入式处理器的技术指标。

（1）接口种类和数量

接口的种类和数量是嵌入式处理器的重要技术指标之一。处理器集成了多种外部接口，可以减少外围扩展的需求，提高系统的可靠性，降低成本。因此，在选择处理器时，应根据系统的需求选择集成所需接口种类和数量的处理器。

（2）字长

字长，即参与运算的数的基本位数，由寄存器、运算器和数据总线的宽度决定，直接影响硬件的复杂程度。字长越长，包含的信息量越多，能表示的数据有效位数也越多，从而提高计算精度。此外，当处理器的指令较长时，指令系统的功能就较强。字长通常为1、4、8、16、32、64位。

（3）处理速度

通常，通过计算单位时间内各类指令的平均执行条数来衡量处理速度，这是根据各种指令的使用频度和执行时间来计算的，如式(10.1)所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （10.1） |

式中：—第类指令在程序中的使用频度；

—第类指令的执行时间；；

—平均指令执行时间，其倒数就是处理器的运行高速度的指标，单位为MIPS。

此外，还有其他的方法来衡量处理器的速度，例如MFLOPS（每秒百万次浮点运算）和主频等。

（4）工业温度

商业级（0～55℃）、工业级（-40～85℃）、军用级（-55～125℃）、航天级（更宽）。

（5）功耗

嵌入式处理器的功耗通常包括待机功耗和工业功耗，这些功耗与运行频率和电源电压有关。

（6）寻址功能

寻址功能与地址总线的宽度有关，但对于集成了存储器的处理器，这个功能的重要性较小。

（7）其他

包括性价比、工艺等。

5. 嵌入式微处理器的选择原则。

（1）CPU总线位数

CPU总线的位数应根据系统处理的主要数据类型来确定。如果主要数据的位数大于8位，应选择16位或32位的CPU。例如，如果在信号采样时，A/D转换器或D/A转换器位数为12位，则应使用16位或32位的CPU。这样可以避免在输入、输出以及中间的数据处理过程中进行数据类型转换，从而提高程序运行效率。

（2）价格与供货的稳定性和可靠性

在工业应用中，价格是影响CPU选型的一个重要因素。8位的MCU的价格基本都在1$以下，而32位的CPU相对较贵。然而，对于武器系统，供货的稳定性和可靠性通常是选择CPU的一个非常重要的因素。因为从武器设计到退役可能需要几十年，不仅要在设计时能买到CPU，而且在设备维护时也需要有相应的备件来替换。

（3）开发工具的支持

开发工具在嵌入式系统的开发中具有重要地位，不仅影响开发的进度，而且直接关系到设备的性能甚至项目的成败。

（4）操作系统的支持

对于一般的简单机电系统应用，可以直接使用汇编语言或C语言进行编程，并使用8位MCU来完成任务。然而，对于更复杂的应用，通常需要操作系统的支持。

（5）代码继承性

代码的继承性通常是决定CPU选择的关键因素。例如，在军用设备中，为了确保系统的可靠性和研制周期，通常会直接使用原来的CPU类型。

（6）供应商的因素

当功能扩展到原来选择的CPU无法满足系统需求时，供应商应提供相应的升级或替换CPU，并提供技术支持。

### 10.1.2.2 智能传感器的硬件电路设计

在选择好微处理器之后，就可以开始进行硬件电路的设计。硬件电路的构成与测量信号的特性、微处理器的情况和对传感器性价比的要求都有直接的关系。

在智能传感器中，微处理器具有强大的功能。这使得许多过去由硬件电路承担的工作，现在可以通过软件来完成。因此，充分利用软件可以简化硬件电路、降低成本、减小体积、提高精度和增加可靠性。然而，有些功能是软件无法实现的。另外，有些功能如果采用软件来完成，可能会使程序变得相当复杂，从而降低运行速度。相反，如果用硬件来完成这些功能，可能会更简单。在这些情况下，仍需要使用硬件来完成。因此，在设计的开始阶段，应反复权衡硬件和软件的比例。合理地将智能传感器的功能划分成若干部分，并确定哪些由硬件实现、哪些由软件完成。这种计划的完成可以节省投资和研制时间。

智能传感器的硬件包括信号调理电路、A/D转换器、微处理器、存储器、I/O接口及其他逻辑电路、数据采集通道、人–机对话装置、输出执行部件和通信接口等。设计过程一般需要经过以下几个步骤：

（1）电路原理图的设计阶段

硬件电路设计的第一步是根据功能要求进行电路原理图的设计。这包括确定电路结构、计算元器件参数等。这一步是整个设计过程的基础，对传感器的性能、成本和精度等方面都有重要影响。在设计时，应考虑技术可行性和经济合理性。如果设计中有重大革新或创新性质的环节，应先通过实验验证其可行性，然后才能在电路原理图中使用。

（2）实验板实验阶段

硬件电路的书面设计是一方面，而保证它能付诸实际工作则又是另一方面。因此，通常需要制作电路实验板进行实验。电路实验板可以是一个功能模块，也可以是整个传感器的硬件电路。在电路实验板上，组件的安装、排列、布置和走线并不是主要的，重点应考虑电气性能。

实验阶段与电路原理图设计阶段往往要反复进行。通过实验发现问题后，需要进行修改设计。重新设计后，又要再次进行实验，直至最终达到完美。

（3）印刷电路板设计与安装调试阶段

在电路设计定型后，就需要设计和制作正规的印刷电路板。在设计印制电路板时，应认真考虑组件的安排和走线等因素，因为印制电路板的合理性对传感器的正常工作有很大影响。

印制电路板安装完成后，首先要进行功能和逻辑检查，确保它能正常工作。然后才能用于整个系统的电路仿真。通过在仿真中发现并排除问题，直到工作正常为止。

（4）软、硬件总调阶段

在硬件与软件分别进行初步调试以后，必须对传感器系统进行总体调试。在总体调试中，将进一步发现硬件和软件两方面的问题，其中最主要的是检验软、硬件能否协调运行。总体调试通过后，设计研制工作才算完成。

## 10.1.3 智能传感器的软件设计

在确定硬件电路之后，传感器的功能将依赖于软件程序来实现。优秀的软件程序不仅能实现强大的功能，而且还应具有结构化、简单易读、调试方便、占用系统资源少和运行速度快等特点。只有掌握正确的软件设计方法，才能高效、高质量地完成智能传感器软件设计任务。

### 10.1.3.1智能传感器的软件系统组成

智能传感器的软件通常由监控程序、测量控制程序、数据处理程序、中断处理程序等组成。

1. 监控程序

监控程序是控制系统按预定操作方式运行的核心程序。它负责引导智能传感器进入正常工作状态，并协调各部分软硬件有序地工作。监控程序的主要功能包括管理键盘和显示器，接收来自输入/输出接口、内部电路等的中断请求信号，并按照中断优先级顺序进入相应的服务程序，以及对定时器进行管理，实现传感器的初始化和自检等。

2. 测量控制程序

测量控制程序主要完成测量以及测量过程的控制等任务。例如，多路切换、采样、A／D转换、D／A转换、超限报警、程控放大器增益控制等。这些程序可以由若干程序模块实现，供监控程序或中断服务程序调用。

3. 数据处理程序

数据处理程序主要实现各种数值运算（算术逻辑运算和各种函数运算）、非数值运算（如查表、排序等）和数据处理（非线性校正、稳定补偿、数字滤波和标度变换等）。

4. 中断处理程序

数据处理程序用来处理各种中断服务请求，可能会调用测量控制程序或数据处理程序。

### 10.1.3.2 智能传感器软件设计的内容

1. 量程自动转换

如果传感器和显示器的分辨率一定，而仪表的测量范围很宽，为了提高测量精度，智能传感器应能自动转换量程。在多传感器检测系统中，为保证计算机的信号一致（0～5V)，也必须能够进行量程的自动转换。量程自动转换是指采用一种通用性很强的可编程增益放大器PGA，根据需要通过程序调节放大倍数，使A／D转换器满量程信号达到一致化，从而大大提高测量精度。

2. 标度变换

在实际应用中，各个被测参数通常有着不同的量纲和数值。根据不同的检测参数，采用不同的传感器，就会有不同的量纲和数值。例如，在检测温度时，常用的热电偶有铂铑-铂热电偶和镍铬-镍铬热电偶，它们在不同温度下输出的热电动势各不相同。测量压力时，常用的弹性元件有膜片和膜盒等，它们的压力范围不尽相同。所有这些参数都经过传感器和检测电路转换成A/D转换器所能接受的0～5V统一电压信号，然后由ADC转换成12位数字量，以便CPU进行各种数据处理。为了进一步进行显示、记录、打印和报警等操作，必须将这些数字量转换成带有量纲的数据供输出。这样，操作人员就能够对生产过程进行监视和管理。这个过程称为标度变换或工程量变换。被测参数和传感器的类型不同，标度变换的方法也不同。因此，应根据实际情况选择适当的标度变换方法。

3. 数字调零

在传感器系统的输入电路中，通常会出现零点漂移、增益偏差和器件参数不稳定等现象。这些现象会对测量数据的准确性产生影响。因此，需要对它们进行自动校准。在实际应用中，通常会通过各种程序来实现偏差校准，这种技术被称为数字调零。此外，还可以定期自动测量基准参数，以实现自动校准。

4. 非线性补偿

在测试系统中，往往期望传感器具有线性特性。因为这样不但读数方便，而且能使传感器在整个刻度范围内灵敏度保持一致，便于对系统进行分析处理。然而，传感器的输人/输出特性往往具有一定的非线性。为此，必须对其进行补偿和校正。

5. 温度补偿

环境温度的变化可能对测量结果产生显著影响。在智能传感器系统中，首先，需要建立一个数学模型（例如，多项式）来表达温度变化。接着，使用温度传感器测量传感器周围的环境温度，并将温度传感器的输出信号经过放大和A/D转换后，送入微处理器进行处理。最后，将两个传感器的输出信号代入模型，并使用插值或查表等数据处理方法进行温度补偿，从而实现温度误差的校正。

6. 数字滤波

当传感器信号经过A/D转换输入微处理器时，可能会混入随机噪声信号。尤其在传感器的输出电压很低时，这种干扰更不可忽视，必须予以消除。对于周期性的工频（50Hz）干扰，采用积分时间等于20ms整数倍的双积分A/D转换器，可以有效地消除其影响。对于随机干扰信号，需采用软件数字滤波技术解决。而采用数字补偿技术可以使传感器的精度提高一个数量级。

### 10.1.3.3 智能传感器常用的软件设计方法

常用的软件设计方法有自顶向下的程序设计、模块化程序设计和结构化程序设计。这三种设计方法通常被综合使用，通过自顶向下、逐步细化、模块化设计、结构化编码来保证软件的快速实现。

1. 自顶向下的程序设计

程序设计主要有两种方法：“自顶向下，逐步细化”和“自底向上，逐步积累”。 “自顶向下”的设计方法首先明确整体目标，然后将其分解成各个子任务，逐层细化，直到每个任务都可以单独处理。 “自底向上”的设计方法首先解决细节问题，然后将这些细节整合起来，实现整体任务的完成。“自底向上”的设计方法可能没有对整体任务进行透彻的分析。一旦出现未预料到的情况，需要进行修改和重新设计。因此，通常推荐使用“自顶向下”的设计方法。

2. 模块化程序设计

在明确了软件设计的总体任务之后，通常采用“自顶向下”的方法，将总任务逐步细分，直到可以具体处理的基本单元。如果一个基本单元的定义明确，并且可以独立地进行设计、调试、纠错及移植，那么就称它为“模块”。每个模块都是独立开发和测试的，最后再组装成整个软件。这种开发方法是“分而治之”原则在软件工程领域的具体应用，它通过分解任务来降低软件开发的复杂性。模块化的结构具有清晰的结构概念、灵活的组合方式以及易于调试和纠错的优点。在处理故障或改变功能时，通常只需要修改局部模块，而不会影响整体。因此，模块化设计是一种常用的理想结构。

（1）模块化设计的目的

模块是一个单独命名的元素，可以组合成层次结构形式，形成一个可执行的软件。模块化设计的目的是降低软件的复杂性，简化软件设计、调试和维护的过程。一个模块具有四个特性：输入/输出、功能、内部数据和程序代码。输入/输出是模块需要的和产生的信息，功能是模块所做的工作，程序代码用于完成这些功能，内部数据是模块内部使用的数据。对于模块的外部环境，只需了解模块的输入/输出和功能。在软件设计阶段，通常先确定这些外部特性，然后再确定模块的内部数据和程序代码。

（2）模块化设计方法的规则

模块化设计方法的关键是如何将系统分解成模块，以及在模块设计中应遵循的规则。把系统分解成模块，应遵循以下规则：

1）最高的模块内聚性，即模块内部有最大限度的关联，只实现单一功能的模块具有很高的内聚性。

2）最低的耦合度，即尽可能减弱不同模块之间的关系。

3）模块间的链深度不可过多，即模块的层次不能过高，一般应控制在7层左右。

4）接口清晰，信息隐蔽性好。

5）模块大小适度。

6）尽量采用已有的模块，提高模块重用率。

3. 结构化程序设计

进行程序设计时，一般先根据程序的功能编制程序流程图，然后用汇编语言或高级程序语言根据流程图编写程序。对于中小规模的程序，这种方法可行。但是，对于规模较大、结构复杂的程序，画出完整的程序流程图是困难的。虽然可以将程序分解成小模块并连接起来，但在复杂的连接中容易出错。程序流程图一般只表示算法的过程，不提供数据的详细信息。在连接程序段时，信息接口非常重要。如果后一段程序不能从前一段程序获得必要的正确数据，程序就无法正常运行。结构化编程是一种清晰易懂的方法，用于表示程序文本与其对应过程之间的关系，从而组织程序的设计和编码。

结构化程序设计方法的核心原则是，一个模块只有一个入口和一个出口。这意味着，一个模块只能被其他模块调用一次，并且只有一个地方可以退出模块。根据这一原则，如果一个模块有两个或两个以上的入口或出口，应该重新划分为两个或两个以上的模块。结构化程序具有清晰明了的脉络，而非结构化程序则网状交织，条理不分明。

在结构化程序设计中，仅允许使用三种基本结构，即顺序结构、选择结构和循环结构。

# §10.2 智能传感器设计实例

前面已经介绍了智能传感器的设计原则和方法，包括系统分析、硬件结构设计、硬件电路设计和软件设计。接下来，将通过一个实例—分布式温度传感系统的设计与应用来进一步了解智能传感器的设计过程。希望这个实例能够帮助更好地理解智能传感器的设计方法和应用。

## 10.2.1 分布式温度传感系统的性能指标

评估分布式温度传感系统的关键性能指标包括：温度分辨率、空间分辨率和时间分辨率。在系统设计过程中，这三项指标是相互影响的。因此，优良的系统应综合考虑这三点，以实现性能最优化。此外，温度传感距离和温度传感范围也是重要的性能指标。

本系统的主要性能指标包括：①温度分辨率：；②空间分辨率：1m；③时间分辨率：15s；④温度传感距离：≥5km；⑤ 温度传感范围：-100～600℃。

为实现上述性能指标，在电路设计过程中有许多注意事项，主要的设计要求如下：①光源系统产生光脉冲宽度不大于10ns；②高性能的温度控制电路；③高压电路产生300～600V直流电压；④高速数据采集电路不小于100M；⑤高质量的光纤。

## 10.2.2 分布式温度传感系统的总体结构

分布式温度传感系统总体结构如图10-1所示。

  
图10-1 分布式温度传感系统总体结构

由图10-1所示，分布式温度传感系统主要由主处理器、单片机、脉冲驱动电路、温度控制电路、激光器、掺铒光纤放大器、光耦合器、Anti-Stokes光滤波器、Stokes光滤波器、高压电路、光电转换与信号放大电路和高速数据采集电路等构成。

主处理器是分布式温度传感系统的核心，通过IIC总线向各个电路发送指令并处理返回的数据，控制整个系统。在系统运行过程中，主处理器控制脉冲驱动电路使激光器产生稳定的、固定波长的、脉冲宽度可调的光脉冲信号。激光器产生的光脉冲波长会随温度变化而有一定的漂移，为保证产生波长稳定的光脉冲，需设计温度控制电路，保证激光器处于稳定温度状态。

光脉冲经过掺铒光纤放大器后，其功率会得到放大。放大后的光脉冲耦合进入光纤。在光纤内传输时，光脉冲会产生拉曼散射。在这些散射光中，后向拉曼散射光会沿着光路返回到光耦合器。拉曼散射包含了两种频率的光—斯托克斯光和反斯托克斯光，两者的频率分布在入射光频率两侧。光滤波器可以分离出带有温度信息的反斯托克斯散射光和作为参考信息的斯托克斯散射光。然后，这两种光会进入不同的光路进行处理。

斯托克斯光和反斯托克斯光分别通过雪崩光电二极管进行光电转换。由于雪崩光电二极管需要在高压环境下才能正常工作，需设计高压电路控制雪崩光电二极管端的电压值。由于雪崩光电二极管在光电转换过程中会受到温度的影响，也需要设计温度控制电路。光信号转换成电信号后，由于电信号十分微弱，必须将信号放大。放大后，电信号由高速数据采集电路采集，经主处理器处理可计算出温度值。再经过光时域反射技术确定发生散射的位置点，这样就可以将光纤中的位置点与其温度值相对应。如此多次计算，确定光纤上多个点的温度值，就能分布式地展现整个光纤上的温度分布情况，这就是基于拉曼散射的分布式温度传感系统的基本结构与工作过程。

在电路设计过程中，整个系统被分为以下几个子系统，每个子系统的组成部分如下所示：

（1）光源系统。它由脉冲驱动电路、单片机、温度控制电路和激光器组成。

（2）光传输与分光系统。它由掺铒光纤放大器、光耦合器、反斯托克斯光滤波器和斯托克斯光滤波器组成。

（3）光接收系统。它由高压电路、单片机、温度控制电路、光电转换与信号放大电路和高速数据采集电路组成。

## 10.2.3 分布式温度传感系统的硬件设计

### 10.2.3.1 光源系统设计

光源系统结构如图10-2所示。

  
图10-2 光源系统结构

由图10-2可见，FPGA产生的信号通过光脉冲驱动电路产生光脉冲驱动信号。该信号进一步驱动激光器，从而产生具有稳定波长的光脉冲。此过程需要温度控制电路控制激光器处于恒温状态，保证光脉冲的质量。光源系统控制电路以单片机为微控制单元与主处理器通信，实现对光脉冲驱动电路与温度控制电路的控制。

### 10.2.3.2 光接收系统

光接收系统结构如图10-3所示。

  
图10-3 光接收系统结构

由图10-3可见，光电转换与信号放大电路将反斯托克斯光信号与斯托克斯光信号转换成反斯托克斯电信号与斯托克斯电信号，并将信号强度放大。光电转换过程由高压偏置电路提供偏置电压，并由温度控制电路保证光电转换元件工作于恒温状态。转换后的电信号被采集并进行数据处理，减少数据中的噪声干扰。

## 10.2.4 分布式温度传感系统的程序设计

光源系统与光接收系统的总线通信控制由ATmega16单片机实现。ATmega16单片机通过IIC总线接收主处理器的指令，完成相应的操作，并将对应的数据再通过IIC返回给主处理器。本节的主要内容是：设计ATmega16的IIC通信程序，使其具有数据收发功能，并能根据收到的指令完成对应的操作。

|  |  |
| --- | --- |
| * 价值观 | 友善 |
| 在智能传感技术中，友善精神体现在多个方面。  从设计理念来看，智能传感技术旨在为人们的生活提供便利和帮助，使人们的生活更加舒适和安全。例如，智能家居中的智能传感器可以自动调节室内温度、照明和湿度，以适应居住者的需求，体现了对人的关怀和友善。在医疗领域，智能传感器用于监测患者的生命体征，及时向医护人员发送警报，为患者的健康提供保障。这种应用体现了对患者的友善，致力于减轻病痛和拯救生命。智能传感技术在环境保护方面也有所贡献，通过监测空气质量、水质和土壤状况等，为改善生态环境提供数据支持，这是对整个地球生态系统的友善之举。  此外，在智能交通系统中，传感器可以帮助优化交通流量，减少拥堵和事故，提高出行效率，这是对广大出行者的友善。而且，智能传感技术在工业生产中的应用，能够提高生产效率，减少资源浪费，降低对工人身体的潜在危害，体现了对劳动者的友善。  总之，智能传感技术以其多种应用和功能，展现了对人类、对环境、对社会的友善精神，致力于创造一个更美好的世界。 | |

# 习题10

1. 在智能传感器硬件结构的设计过程中，选取微处理器时应综合考虑的主要因素包括（ ）。

A. 价格和品牌 B. 处理速度和功耗

C. 外观和尺寸 D. 软件兼容性

2. 在智能传感器设计中，软件设计的主要目的是（ ）。

A. 降低硬件成本

B. 减少软件的调试时间

C. 增加硬件的复杂性

D. 提高系统的灵活性和可扩展性

3. 智能传感器设计时，量程自动转换的目的是（ ）。

A. 增加传感器的测量范围 B. 降低传感器的成本

C. 提高测量精度 D. 减少传感器的功耗

4. 智能传感器的硬件部分通常由传感器及信号调理电路、、ROM、RAM、I/O接口、定时/计数电路、人-机联系部件和接口电路及串行或并行数据通信接口等组成。其中， 是智能传感器的核心所在。

5. 智能传感器的软件设计通常由 、测量控制程序、数据处理程序、中断处理程序等组成。其中， 是控制系统按预定操作方式运行的核心程序。

6. 简述智能传感器系统分析的目的及要解决的问题。

7. 请简述智能传感器设计时标准微处理的选择原则。

8. 请简述智能传感器设计时嵌入式微处理器的选用原则。

9. 简述智能传感器软件设计的方法和主要内容。

10. 简述分布式温度传感器系统的设计过程。