

文章编号 1004-924X(2002)04-0383-05

基于单片机的光纤 Bragg 光栅传感器的解调系统

方福波

(佛山市光电器材公司,广东 佛山 528000)

摘要:长期以来,对光纤 Bragg 光栅传感器反射波长的检测是采用光谱仪,随着光纤 Bragg 光栅传感器应用的不断发展,光谱仪表现出越来越多的局限性。本文利用调谐法布里-珀罗腔多光束传播,当法布里-珀罗腔满足特定条件时其透射光可达到最强或最弱原理,建立了 F-P 腔解调系统模型,通过检测 F-P 腔的相关参数而得到所测的参变量;根据光纤 Bragg 光栅自身特性,建立了匹配滤波法解调系统模型,应用另一光纤 Bragg 光栅跟踪被测光纤 Bragg 光栅的变化,从而得到所测量;论文指出了应用时在这两种解调方案中需要解决的关键问题。为了提高系统测量的准确性和实时性,系统采用单片机系统处理相关数据信息。本文系统详细阐述了在解调系统中单片机的应用及相关接口模型,给出了详细的软硬件设计。

关键词:光纤 Bragg 光栅;法布里-珀罗腔;匹配滤波;单片机

中图分类号:TP212 **文献标识码:**A

1 引言

自 1989 年光栅成栅技术取得重大突破以来,众多国家特别是欧美等发达国家投入了大量的财力和物力用于光纤 Bragg 光栅的研制和应用研究,在理论上已取得较大成果^[1]。美国及欧洲一些国家已将光纤 Bragg 光栅用于对桥梁、建筑体、矿井等结构及状态监测性实验之中^[2]。由于光纤 Bragg 光栅独特的光学特性,其应用前景极为广阔。光纤 Bragg 光栅传感器是利用光纤 Bragg 光栅受温度和应变的作用时反射波长发生偏移的机理而制成的新型光纤传感器,由于其自身所具有的独特特点,Bragg 光栅传感器特别适合于大坝、桥梁的监测以及各种蒙皮结构的检测。但目前对 Bragg 光栅反射波长的解调还只局限于应用传统的光谱仪。由于光谱仪本身的因素,限制了 Bragg 光栅应用的进一步发展。一方面光谱仪价格偏高,不适用于普通用户;二是其精度低,不能满足高精度测量要求;三是其扫描速度慢,不适用于对实时性要求较高的场合;四是光谱仪体积大,携带不方便,不适用于户外现场检测。此外,用光谱仪无法直接获得所测参量大小。因而有必要针

对 Bragg 光栅传感器开发一种高精度的、廉价的、便携的、能进行快速测量且能方便获取所测参变量大小的解调器。本文对此做了必要的探讨。

2 Bragg 光栅传感器解调原理

2.1 法布里-珀罗腔(F-P腔)法

法布里-珀罗腔(Fabry-Perot, F-P腔)的光学原理就是多光束干涉^[3],如图 1 所示,图中 a 为入射光强度, r_1 、 r_2 为相应表面反射率, t_1 、 t_2 为相应表面透射率。其反射光强及透射光强分别由式(1)和式(2)描述。

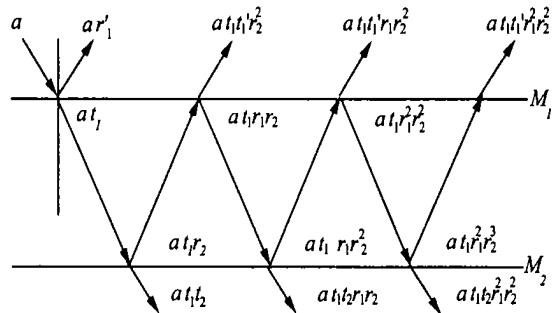


图 1 F-P 腔中光的入射与折射、透射

Fig. 1 Incidence, refraction and transmission light in F-P cavity.

反射光强：

$$I_R = \frac{I_0}{1 + \frac{1 - R^2}{4R \sin^2(\delta/2)}} \quad (1)$$

透射光强：

$$I_T = \frac{I_0}{1 + \frac{4R \sin^2(\delta/2)}{1 - R^2}} \quad (2)$$

其中, I_0 为入射光强, R 为 F-P 腔壁反射率, 为相邻两光束光相位差, 满足：

$$\delta = 2\pi \frac{2nh}{\lambda} = 4\pi n h / \lambda \quad (3)$$

上式中 δ 为两相邻光束光程差, n 为 F-P 腔折射率, h 为 F-P 腔长, λ 为光波长。由以上两式可以看出, 当 R 越大, 反射光越强, 但透射光总是存在。当 $\delta = 2k\pi$, 即：

$$nh = k \times \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, 3 \dots), \quad (4)$$

时, 反射光为 0, 入射光完全透射, 透射光最强。由上式还可得, 相位差 δ 与 F-P 腔折射率 n 及 F-P 腔长 h 有关。相应的可采取两种方法来调谐法布里—珀罗腔: 调谐腔长^[4]或调谐折射率。

用可调谐法布里—珀罗腔(调谐腔长)解调的原理如图 2 所示。

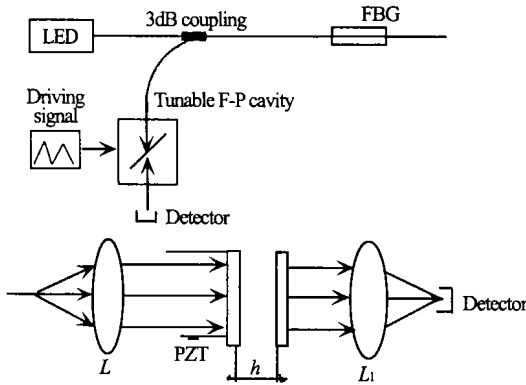


图 2 F-P 腔解调模型

Fig. 2 Demodulation model of the F-P cavity.

从 FBG(Fiber Bragg Grating, 光纤 Bragg 光栅)传感器反射回来的光经过一个 3db 耦合器引入到可调谐 F-P 腔。从光纤入射的光经自聚焦透镜 L 变成平行光入射到 F-P 腔, 出射光经自聚焦透镜 L_1 汇聚到探测器上。构成 F-P 腔的两个高反射镜中的一个固定, 另一个可在外力的作用下移动。由于 PZT(Pieoelectric Ceramics, 压电陶瓷)具有很好电能 - 机械能的转换特性, 在外加电

动势的作用下可产生形变, 因此可用 PZT 做为 F-P 腔腔长变化的驱动元件。给 PZT 施加一个扫描电压, PZT 产生伸缩, 从而改变 F-P 腔的腔长, 使透过 F-P 腔的光的波长发生改变。由以上分析可知当探测器探测到最大光强时给 PZT 施加的电压就对应着 FBG 的反射波长, 通过检测透射光强即可得到反射波波长, 进而得到所测量变量。

2.2 匹配滤波法

匹配滤波法是利用另一个 FBG, 在驱动元件的作用下跟踪测量 FBG 的波长变化, 使得接受 FBG 的反射波长在某个时刻或某段时间内和测量 FBG 的反射波长一致。测量 FBG 的反射光入射到接收 FBG 上, 当接收 FBG 反射波长与测量 FBG 反射波长一致时, 光被反射而没有透射; 检测反射光强度或透射光强度, 反射光最强或透射光最弱之时即表明接收 FBG 和测量 FBG 反射波长一致, 此时驱动元件驱动信号对应着测量 FBG 的反射波长。图 3 为检测反射光原理图。

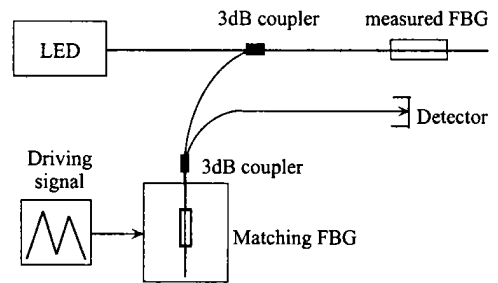


图 3 匹配滤波法原理图

Fig. 3 Model of the matching filter.

此种方案的关键点在于: 确定恰当的驱动元件和驱动方式; 确定驱动信号和 FBG 反射波长的对应关系。与前一种方案相比, 此方案中无论是检测反射光强还是检测透射光强, 对探测器及检测环境的要求较高, 因为这种方案易受环境噪声干扰。

3 单片机控制的光纤 Bragg 光栅解调系统

3.1 硬件系统设计

检测过程实际上是一个信息处理过程, 如采

用人工处理,其工作烦琐且测量精度难以保证,用单片机则可以很方便的实现数据的采集和处理。单片机扫描检测系统模型如图 4 所示。单片机的主要工作是从光电探测器提取光强信号,并根据光强的强弱变化控制 PZT 的工作电压,使 PZT 产生相应的形变,从而使 F - P 腔腔长发生适当的改变。

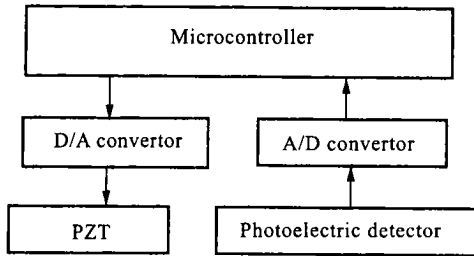


图 4 自动扫描系统模型

Fig. 4 Model of automatical processing.

对于单一波长的检测,为了减少数据的存储量,可采用定时提取光电探测器信号的方法:由单

片机控制 D/A 转换器给 PZT 提供适当的驱动电压。光电探测器探测到的光强信号通过 A/D 转换器送到单片机,单片机根据光电探测器的信号确定提供给 PZT 的电压大小。通过比较,当光电探测器获得最大光强时对应的透射波长即为 Bragg 反射波长。而对于分布式系统波长的检测可以采用先提取并存储光电探测器信号而后处理的方式,这样就需要对整个驱动电压区域进行扫描,即使 PZT 从最小形变到最大形变或进行相反方向的变化,此时光电探测器和 PZT 的动作顺序与检测单一波长时相反,先使 PZT 产生形变,然后提取光电探测器的信号。单片机、A/D 转换器和 D/A 转换器的选取可根据测量的精度要求和实时性要求来选择。本系统采用 8051、ADC0809 和 DAC0832 作为硬件组成。对显示接口和扩展存储器接口部分,暂不做讨论。由于 PZT 要做伸缩形变,因此 D/A 转换器提供的电压应是双极性的。8051 和 ADC0809、DAC0832 接口电路如图 5 所示。

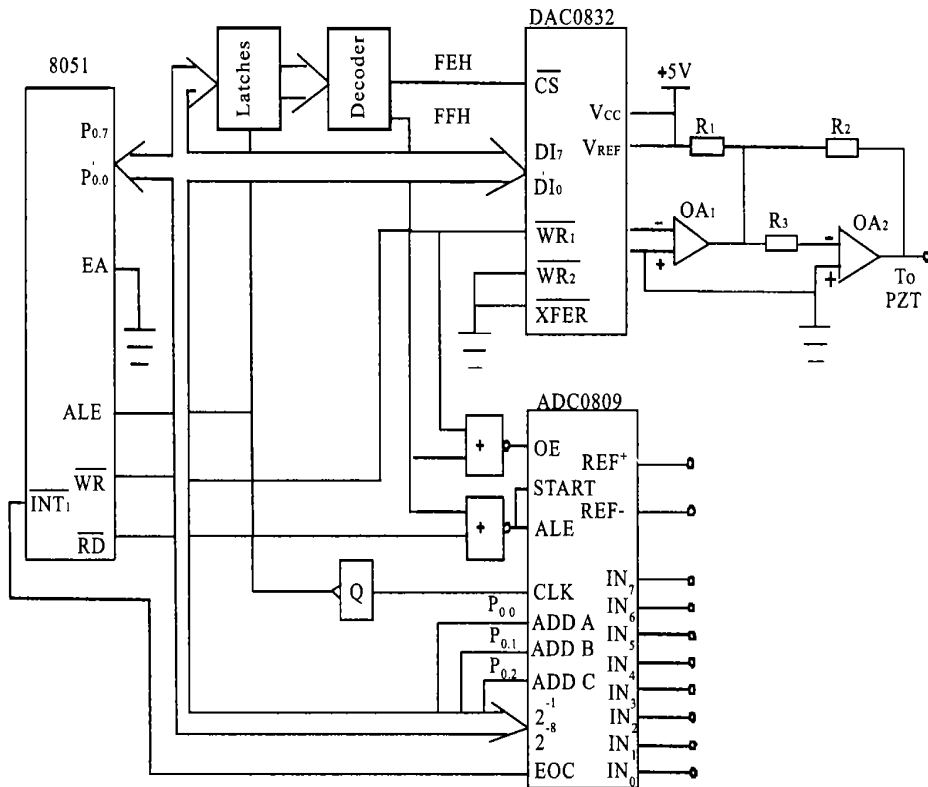


图 5 单片机与 A/D 及 D/A 转换器接口

Fig. 5 Interface between the microcontroller and A/D and D/A converters.

3.2 软件设计

检测单一波长时,时钟中断服务程序开启 A/D 转换器,在外部中断服务程序中读取转换后的数据,对数据进行处理,根据数据处理的结果启动 D/A 转换器。具体的流程如图 6 所示。

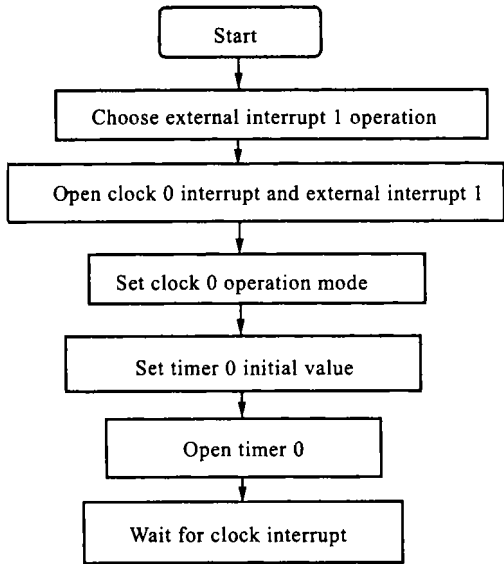


图 6 主程序流程图

Fig. 6 Flow process diagram of the main program.

数据处理过程包含若干中断服务子程序,其中定时器 0 中断服务程序流程和外部中断 1 中断服务程序流程分别如图 7 和图 8 所示。

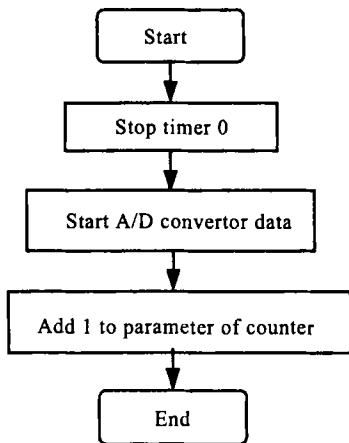


图 7 定时器 0 中断服务程序流程图

Fig. 7 Flow process diagram of timer 0 interrupting service routine.

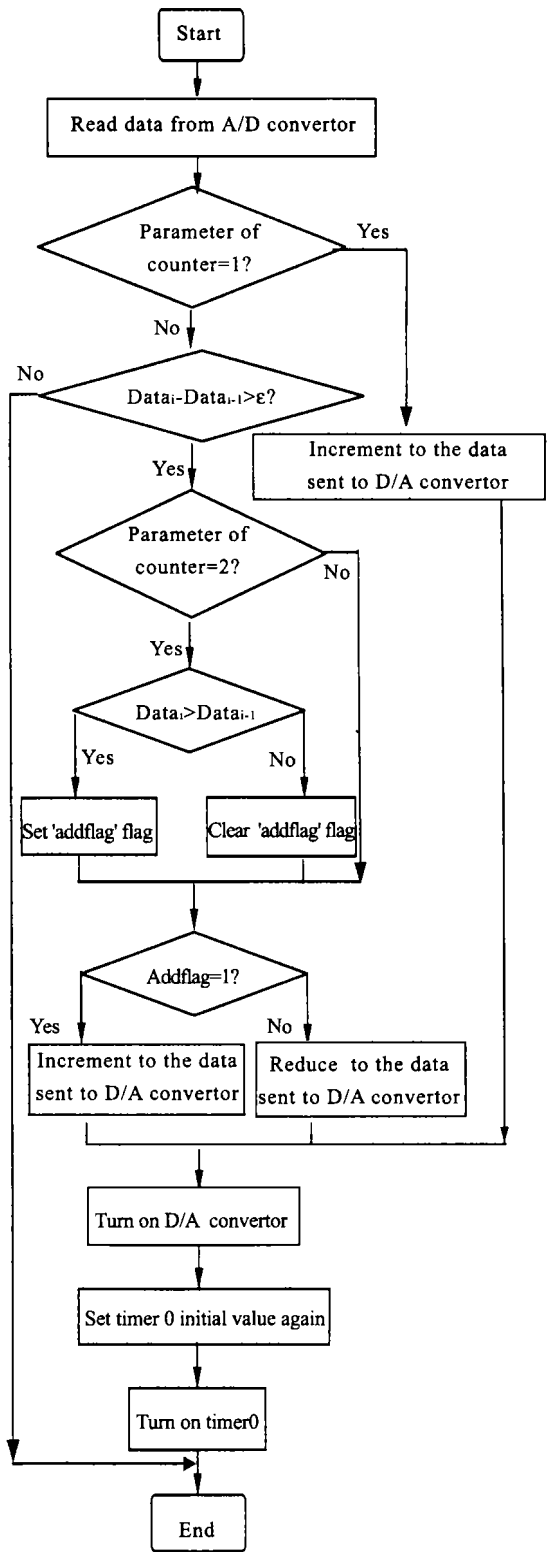


图 8 外部中断 1 中断服务程序流程图

Fig. 8 Flow process diagram of external interrupting 1 service routine.

图8所示为数据的采集和处理过程,C-51系列单片机数据存储器可扩展到64k字节^[5],如果每一数据占用32位,则一单片机最多可存储 16×1024 个数据,最多可对PZT和光电探测器采集8000组数据,可以确保测量精度;单片机要实现的操作是几条数据传送、比较及跳转操作,如果采用时钟频率为12M的单片机,则其时钟周期为1 μ s,一个指令周期最多为四个时钟周期,故一条指令最多用时4 μ s,一次扫描用时不会超过100 μ s,可以确保数据处理速度。单片机采集数据时采用定时采集的方法,间隔时间 T 采集一次,可根据整个系统对实时性的要求而改变 T 的大小。图中的 T 由测量精度确定,原则上是精度要求越高, T 越小。 T 及 $\Delta\lambda$ 的大小可通过实验调试最终确定。

施加给PZT的电压与腔长的关系目前无法由理论知识推导得到,可以通过实验,用数理统计

的方法找出变化规律从而找出它们之间的对应关系。利用此对应关系,在单片机中就可以直接处理有关数据,从而得到所测量值。

以上所述为应用单片机对调谐F-P腔腔长解调FBG反射波长的实现,应用于匹配滤波法时只需要对软件实现部分的跳转判别条件做相应的调整,而硬件部分完全适用。

4 结束语

FBG光栅有广阔的应用前景,在通讯、建筑、机械、医疗、航天、航海、矿业都能发挥重要作用。FBG光栅的理论研究到目前为止已取得了很大成就,有关其实用性方面的研究还需要进一步深入。实用性的研究离不开实验,本文所阐述的方案还需要在实验中不断完善。

参考文献:

- [1] Ferreira L A, Santos J L, Farahi F. Pseudoheterodyne demodulation technique for fiber Bragg grating sensors using two matched gratings[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1997, 9(4): 487 - 489.
- [2] 张明德. 欧洲光纤光栅感测器的应用与发展[J]. 光讯, 1999, 76: 23 - 29.
- [3] 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1983.
- [4] 贾宏志, 李育林, 忽满利. 用可调法布里-珀罗腔测量光纤光栅波长[J]. 激光杂志, 2000, 21(2): 58 - 61.
- [5] 李华. MCS-51系列单片机实用接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993.

Application of a single chip microprocessor in the optical fiber Bragg grating sensor

FANG Fu-bo

(Foshan Optoelectronic Equip. Corp., Foshan 528000, China)

Abstract: For a long time, a spectrograph is used to inspect the reflective wavelength of a fiber Bragg grating sensor. But with the wide application of the fiber Bragg grating sensor, the spectrograph gradually brings more and more limitation. The text introduces regulating the cavity length according to the principle of Fabry-Perot cavity multiple light beam transmission. When Fabry-Perot cavity meets given conditions, its transmitted light will become the strongest or weakest, thus the model of cavity demodulation system is established. And relevant variables can be obtained by checking F-P parameters. According to the characters of a fiber Bragg grating, a matching filter demodulation model is established, in which another fiber Bragg grating is used to follow the change of the measured fiber Bragg grating and then the measured parameters are obtained. The paper points out the key issues to be solved when the demodulation projects are used. To improve the accuracy and real time capability of the demodulation system, a single clip processor is used to deal with related data information of the system. Its applications in the demodulation system and related interfaces are expatiated, and the design of hardware and software are presented in detail.

Key words: fiber Bragg gratings; Fabry-Perot cavity; matching-filters; single chip processors

作者简介:方福波(1977-),男,湖北省人,硕士,2002年3月毕业于武汉理工大学,研究方向为机电系统智能化CAD。