

文章编号 1004-924X(2011)05-1082-06

基于 SOC 单片机的高集成度光电编码器电路设计

王显军

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:提出了减小光电编码器电路部分空间,缩小其结构尺寸的方法,并对编码器的电路处理进行了研究。介绍了光电编码器的基本原理、光电信号特点和信号处理的要求,分析了传统电路处理方案的特点,说明了基于放大器和比较器的传统方案是造成电路结构设计体积较大的原因。为改变传统方案,提出了用 AD 直通处理和分时驱动光电信号采集技术来代替传统硬件设置从而有效压缩电路部分空间的方法。介绍了编码器高集成度电路设计的实现原理,并设计了一种 16 位小型编码器,其电路板面积为 415 mm^2 ,编码器体积仅为 $\Phi 25\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ 。设计实验表明,基于 SOC 单片机的高集成度光电编码器电路设计技术使用元器件少、电路简单、集成度高,可有效压缩传感器电路部分的空间。

关键词:光电编码器;电路设计;AD 直通处理;分时信号采集

中图分类号:TP212.1;TN762 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111905.1082

Circuit design for high integrated photoelectric encoder base on SOC singlechip

WANG Xian-jun*

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding author, E-mail: yh8875@yahoo.com.cn

Abstract: A circuit design method was proposed to compress the space of circuit in a photoelectric encoder and to reduce its size, then the signal processing of the circuit was studied. The basic principle, signal characteristics and signal processing requirements of the photoelectric encoder was introduced and the characteristic of traditional process circuit was analyzed. It points out that the traditional scheme based on amplifiers and comparators is the reason that the circuit structure is larger. To improve the traditional scheme, the methods of A/D through processing and time sharing driving photoelectric signal acquisition were proposed to replace the traditional hardware scheme to compress the space of circuit. The design principle of high integrated circuit of encoder was explained, then a 16-bit smaller encoder with the circuit board area of 415 mm^2 and the volume of $\Phi 25\text{ mm} \times 16\text{ mm}$ was designed. Obtained results demonstrate that the circuit design technique for high integrated photoelectric encoders based on SOC single-chip is a better way to compress the circuit space, for it has fewer components, simple circuits and higher integration.

收稿日期:2010-06-13;修订日期:2010-08-11.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2009AA8080603)

Key words: photoelectric encoder; circuit design; AD through processing; Time sharing signal acquisition

1 引 言

光电轴角编码器是一种具有代表性的角位移传感器,是一种集光、机、电于一体的数字测角装置^[1]。

光电编码器的研究热点主要有光栅码盘的制造,编码图案的设计,光电信号的提取,而对于解码处理电路的研究关注度较低。光栅码盘的制造技术受限于行业基础设施的能力、规模和工艺水平。目前,国内专业从事光电编码器的研究单位虽然较多,但致力于高精尖的研究单位却很少,综合实力落后。而在国外,德国 HEIDEHAIN 公司已具有世界最先进的光栅尺的光刻工艺和光栅信号提取技术,这些基础决定了 HEIDEHAIN 成为业界老大^[2-3]。近几年,国内有关编码器方面的报道多关于编码图案的设计以及不同编码的解码原理,并在学术上有所创新^[4-6]。

随着编码器技术的研究深入,编码器解码处理电路正朝着具有小体积、标准化、模块化、信号自适应、高速处理、高分辨率、高精度等特点的方向发展。

依据编码方式,传统光电编码器主要分成两种类型,增量式和绝对式。增量式编码器码道少,需要处理的信号少,处理电路相对简单。绝对式编码器码道多,体积大,处理电路复杂,绝对角位置直接从码盘读出,提高了测量的可靠性^[7]。但是绝对式编码器的应用也受到体积大、质量较重的限制。因此,减小电路部分空间,对改善结构设计作用很大。小型的绝对式编码器有较好的应用前景,特别是在某些有重量轻、体积小等需求的特殊环境中^[8]。

为改善编码器处理电路,满足高集成度的设计要求,本文对电路处理方法进行了研究,设计了一种基于 SOC 单片机的高集成度光电编码器处理电路,提出了 A/D 直通处理方法和分时驱动光电信号采集处理技术,该方案有效地压缩了电路部分的空间。

2 传统光电编码器的特点

2.1 基本原理

如图 1 所示,绝对式光电编码器的结构由轴系、光源、光电接收器、光栅副(主光栅和指示光栅)和电路等部分组成^[1,7]。通常,码盘尺寸、光源和接收器的数量及处理电路的集成度,对编码器的体积影响较大。

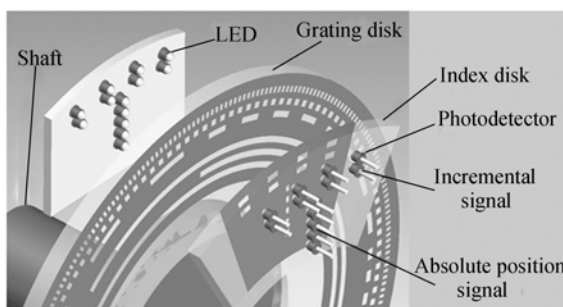


图 1 绝对式光电编码器结构

Fig. 1 Structure of absolute photoelectric encoder

目前,本课题组研制的绝对式编码器,当最终角度代码达到 18 位以上时,光电信号最少要 20 路,多时可达 40 多路。电路部分至今仍采用处理电控箱的方案,如图 2 所示。

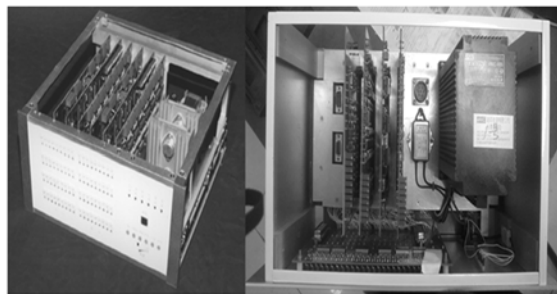


图 2 编码器电控箱

Fig. 2 Electrical control box of encoder

有些分辨率稍低的编码器,机电一体化整装结构,处理电路在壳体内。图 3 所示是一种 16 位编码器,外壳 $\Phi 65$ mm。由于采用相同的电路处理方案,都有电路体积较大的特点。这种方案原理框图如图 4 所示,采用这种原理处理 20 路光电信号要用到的元器件有:电位器 20 只,四运放 5 只,

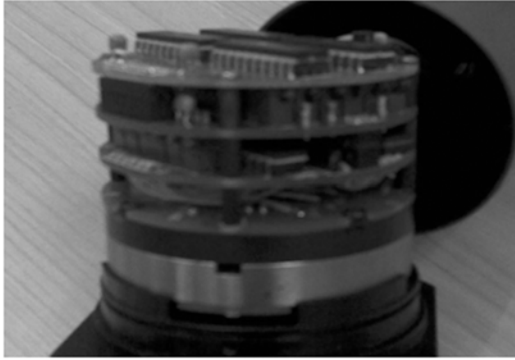


图 3 整装编码器

Fig. 3 Whole mount encoder

四比较器 4 只,锁存器、A/D、三态门若干,另有 51(或 16 位)单片机、接口等。可见,处理电路的体积比较庞大。

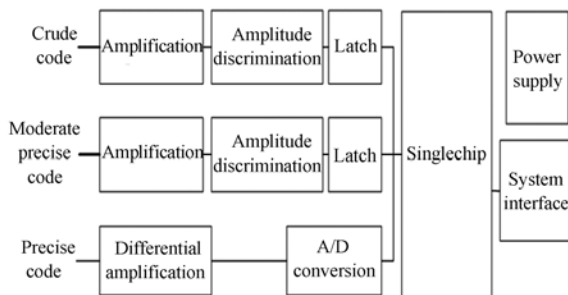


图 4 编码器基本电路原理

Fig. 4 Principle of encoder circuit

2.2 信号特点和处理要求

绝对式光电编码器的光电信号来源于光电接收器,属电流信号,电流范围毫安级,通常分为粗码、中精码和精码,经负载电阻采样其波形分别为梯形波、三角波或正弦波^[7]。

根据图 4,粗码梯形波经放大调整,再经比较器鉴幅成为等角度空度的方波,经锁存器进入单片机。三角波处理与粗码相同。正弦波经差分放大调整,通过 A/D 采样进入单片机。单片机将读入的数字信号,按码盘编码规则译码,最后成为最终代表角度数据的数字代码。这样各模块完成了放大、比较、锁存、采样、译码等功能。按照这种处理原理构成的硬件电路,各个功能模块俱全,但基于放大器和比较器的传统方案会使所设计的电路结构体积较大。

3 分时驱动信号采集和 A/D 直通处理原理

分析表明,采用基于 SOC 的 AD 直通处理的方法和分时驱动信号采集技术是改变上述基于放大器和比较器的处理方案,压缩电路空间的较好办法。

由图 5 所示分时驱动电路原理可见,光电接收器电流输出端连接在一起,使用同一采样负载电阻,接收器偏压分时驱动,被驱动接收器信号被 A/D 采集,未被偏压驱动使能的接收器没有电流输出。这种针对编码器光电信号的处理方法,即分时驱动接收器偏压,顺序读取光电信号的方法称为分时驱动信号采集。

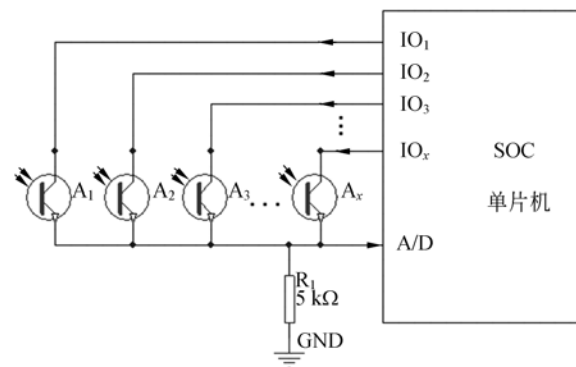


图 5 分时驱动电路原理

Fig. 5 Principle of time sharing driving circuit

所谓 A/D 直通处理的方法:即将光电接收器的电流在负载电阻上产生的电压信号直接接入 A/D 转换器,所有光电信号均可如此处理。对于粗码,将 A/D 结果经软件进行等空度二值化处理,取代放大调整和比较器电路。对于精码,同样通过软件来完成差分调整的运算。适当选择负载电阻参数和 A/D 的分辨率,用软件运算代替传统的硬件处理,从而可以保证信号的转换精度和效果。

传统方案差分处理电路原理如图 6 所示,其输出与输入的传递函数为:

$$V_o = V_s + (V_p - V_n) \cdot \beta, \quad (1)$$

其中 β 为放大倍数。显而易见,采用 A/D 直通处理的方法, V_p 和 V_n 即接收器电压信号的 A/D 采样值,按传递函数模型编制软件获得输出结果,即可取消放大器硬件电路,从而使等空度二值化处理软件更加简单。

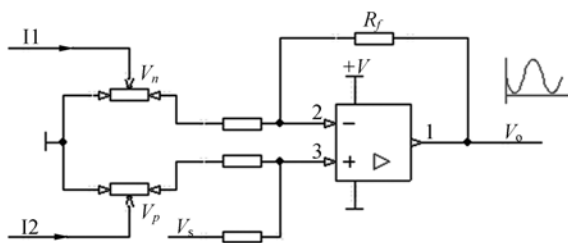


图 6 差分处理电路

Fig. 6 Differential processing circuit

实际上,本设计以软件运算代替了运算放大器和比较器,即二制化了 A/D 转换器。采用 SOC 的 A/D,直接获得原始光电信号的数字量,再通过软件“运算—比较—差分”处理,实现 A/D 直通处理。本文的设计原理基于图 4,但对电路结构进行了简化,从而减小了电路体积。

4 设计实验结果

目前,市场上流行的单片机种类较多,比如 MSC1210、C8051F 系列^[9],都是高性能 SOC 单片机处理器;其 IO 端口的驱动能力均可满足光电接收器的偏压要求,且片上集成了 A/D,仅此两项功能就为编码器的 A/D 直通处理和分时驱动信号采集技术的实现提供了极为方便的条件。同时,也可缩短硬件软化的处理时间。

选择 A/D 转换器时,应采用输入阻抗高的 A/D 转换器,避免采用低阻抗输入的 A/D 转换器,因为低阻抗输入会使光电接收器的电流产生分流效应,造成转换精度的偏差。

分时驱动要考虑光电接收器的偏压建立时间,在偏压稳态后再采样。经过试验,稳态建立时间 $> 1 \mu s$ 。对于多路光电接收器可以分成几组,每组对应一个 A/D 转换器,灵活控制各组偏压驱

动和转换顺序,可以提高数据采集效率。

如果编码器原始光电信号少,SOC 的 A/D 转换器通道足够多,即可将每路光电信号各对应一路 A/D 转换器,不必分时驱动,只做顺序数据采集。如 C8051F410 内部有 24 通道的 A/D 转换器,比较适合于编码器信号 A/D 直通处理的方法。

编码器信号 A/D 直通处理方法和分时驱动信号采集技术,对光电信号的采集不是同时的,当编码器转动时,分时顺序数据采集会产生相移,随着转速的增加,相移对最终角度代码精度的影响增加,直至错码。与传统的处理方法相比,这是一个明显的缺点,所以,实际工作中要充分考虑到转速。由于绝大多数编码器应用系统的转速不是很高,因此分时采样能够满足多数情况下的应用要求。

图 7 所示为一种 16 位小型编码器^[10],采用了 A/D 直通处理方法,设计完成的电路部分仅有一圆硬币大小,编码器体积为 $\Phi 25 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$,总重量为 21 g。

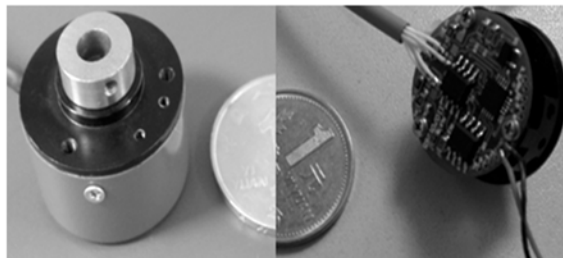


图 7 高集成度编码器处理电路

Fig. 7 Processing circuit of high integrated encoder

目前,市场上流行的单片机,其程序存储器、RAM 比较大,且运算速度较高,具备了编码器数据后处理的条件,可以嵌入一些误差补偿处理^[11],使数据精度得到进一步的提高。

5 结 论

自编码器光电信号 A/D 直通处理方法和分时驱动信号采集技术出现以来,编码器电控处理方案有了更多的选择,使编码器的电路变得更加

简洁,集成度提高。本文基于这种方法设计了一种小型编码器,其电路板面积为 415.2 mm^2 ,编码器体积为 $\Phi 25 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 。采用新方法对一种六关节传感器使用的 16 位编码器进行了改造设计,

使处理电路从 4 层电路板压缩到 $\Phi 62 \text{ mm}$ 单层 PCB 板上。设计实验结果表明,基于 SOC 单片机的高集成度光电编码器电路设计技术,使用元器件少、集成度高,有效地压缩了电路部分。

参考文献:

- [1] 叶盛祥. 光电位移精密测量技术[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003.
- YE S X. *Photoelectric Displacement Precision Measuring Technology* [M]. Chengdu:Sichuan Science and technology press, 2003. (in Chinese)
- [2] 刘逊. 机床用光栅测量技术的最新发展[J]. 世界制造技术与装备市场,2004,3:75-78.
- LIU X. Latest development of grating measuring technology for machine tool[J]. *World Manufacturing Engineering & Market*. 2004,3:75-78. (in Chinese)
- [3] HAGL R. 空心轴未装轴承的角度编码器[J]. 制造技术与机床,2003,4:12-15.
- HAGL R. Angular encoder with non-bearing hollow shaft [J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*. 2003,4:12-15. (in Chinese)
- [4] 罗长洲,陈良益,孙岩,等. 一种新型光学编码器[J]. 光学精密工程,2003,11(1):104-108.
- LUO CH ZH, CHEN L Y, SUN Y, *et al.*. A new optical encoder [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003,11(1):104-108. (in Chinese)
- [5] 罗世魁,王国强,王继新,等. 伪随机码在绝对式光电轴角编码器中的应用[J]. 光学精密工程,2003,11(6):596-601.
- LUO S K, WANG G Q, WANG J X, *et al.*. Application of pseudorandom code in absolute photoelectric angle encoder [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003,11(6):596-601. (in Chinese)
- [6] 邱成,王阳,朱衡君. 基于卡诺图的均布式绝对位置编码[J]. 仪器仪表学报,2007,28(6):1080-1086.
- QIU C, WANG Y, ZHU H J. Absolute encoder based on Karnaugh map [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*. 2007,28(6):1080-1086. (in Chinese)
- [7] 李葆勇,王显军. 光电轴角编码器的原理及应用[J]. 伺服控制,2008,(12):39-41.
- LI B Y, WANG X J. Principle and application of photoelectric angle encoder [J]. *Servo Control*, 2008,(12):39-41. (in Chinese)
- [8] 万秋华,孙莹,王淑杰,等. 双读数系统的航天级绝对式光电编码器设计[J]. 光学精密工程,2009,17(1):52-57.
- WAN Q H, SUN Y, WANG SH J, *et al.*. Design for spaceborne absolute photoelectric encoder of dual numerical system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(1):52-57. (in chinese)
- [9] 潘琢金. C8051Fxxx 高速 SOC 单片机原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- PAN ZH J. *Principle and application of C8051Fxxx high speed SOC singlechip* [M]. Beijing:Beijing University of Aeronautics and Astronautics press, 2002.
- [10] 刘长顺,王显军,韩旭东,等. 八矩阵超小型绝对式光电编码器[J]. 光学精密工程. 2010,18(2):326-332.
- LIU CH SH, WANG X J, HAN X D, *et al.*. Ultra miniature absolute optical encoder based on eight-matrix coding [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(2):326-332. (in Chinese)
- [11] 洪喜,续志军,杨宁. 基于径向基函数网络的光电编码器误差补偿法[J]. 光学精密工程. 2008,16(4):598-604.

HONG X, XU ZH J, YANG N. Error compensa-
tion of optical encoder based on RBF network[J].

Opt. Precision Eng., 2008, 16(4):589-604. (in
Chinese)

作者简介:



王显军(1965—),男,吉林长春人,研究员,1988年于天津大学获得学士学位,主要从事电子应用技术方面的研究。
E-mail: yh8875@yahoo.com.cn

● 下期预告

高光谱遥感系统的调制传递函数在轨测试

赵慧洁,秦宝龙,贾国瑞

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院 精密光机电一体化技术教育部重点实验室,北京 100191)

为了实现对高光谱遥感系统调制传递函数的在轨测试,以色散推扫型高光谱遥感系统为例对系统的像质退化因素进行了分析,对 MTF 检测方法和流程进行了研究。首先,分析了色散型高光谱遥感系统 MTF 三维可分性原理。然后,针对高光谱遥感图像信噪比一般较低的特点,提出了一种抗噪声的 MTF 检测方法;针对高光谱遥感图像波段众多的特点,提出了高光谱图像刀刃法 MTF 测试区域的选择标准。最后,以 PHI 遥感图像为例对所提出的方法进行了检验。用本文提出的方法对 PHI 图像进行 MTF 提取,利用提取出的 MTF 对原退化图像进行了恢复,各波段图像平均梯度平均提高了 67.1%,细节信号能量提高了 65.2%,实验结果证明了 MTF 检测方法的有效性。