

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.06.019

伺服系统的安全控制策略

汪进

(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 郑州 450007)

摘要: 针对因环路中反馈信号丢失或异常而引起整个系统工作不正常, 造成系统损坏或人员受伤的问题, 设计一种高精度三环伺服系统安全控制策略。以某型光电跟踪设备的伺服控制系统为例, 对系统进行介绍, 分析安全控制策略, 并给出原理图。该设备已成功应用于某型光电跟踪设备上, 使用结果表明, 该策略能有效提高伺服系统的可靠性和控制安全性。

关键词: 伺服; 闭环; 反馈; 安全控制

中图分类号: TP277 **文献标志码:** B

Security Control Strategies of Servo System

Wang Jin

(No. 27 Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: If the feedback signals lose or abnormal in the loop, it may causing whole system abnormal of work and cause system damage or people injured. Aiming at the proposed problem, introduce a security control strategy design realization of high accuracy triple-loop servo system. Taking the servo system of some type of electro-optical tracking device as an example, proposes an introduction of the system, an analysis of security control strategies and the principle chart. This device has been applied to certain type of electro-optical tracking device, and the practice results show that the strategies can improve the reliability and control security of the servo system effectively.

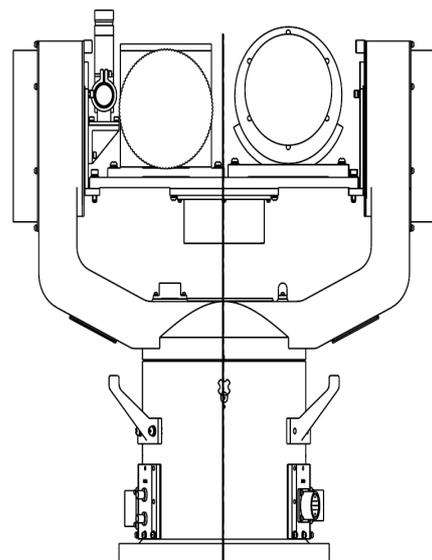
Key words: servo; closed-loop; feedback; security control

0 引言

伺服系统亦称随动系统或跟随系统, 是自动调整系统中的一种类型, 已广泛应用到 360° 监控摄像头、数控机床、机器人、军民用雷达系统、光电跟踪设备等领域。伺服系统是闭环控制系统。高精度伺服控制系统中往往包含有位置环、速度环和电流环, 每一环路都有控制信号和反馈信号共同参与, 可以对位置、速度和力矩进行精确控制。环路中反馈信号相当重要, 如果反馈信号丢失或出现异常, 就会引起整个控制系统的工作不正常。例如: 三环中位置反馈信号丢失或异常, 就会导致位置环开环或反馈信号无效, 使系统无法精确控制或者出现抖动现象; 速度环反馈信号丢失, 将导致无法控制速度, 如果此时功率驱动仍然有效, 将使整个伺服系统不可控地高速动作, 俗称“飞车”, 将会使伺服系统结构组件猛烈地撞击机械限位装置而导致负载损毁, 甚至出现人员受伤。因此, 笔者以某型光电跟踪设备的伺服控制系统为例, 设计一种高精度三环伺服系统安全控制策略, 以保证伺服系统的可靠性和控制的安全性。

1 系统简介^[1-2]

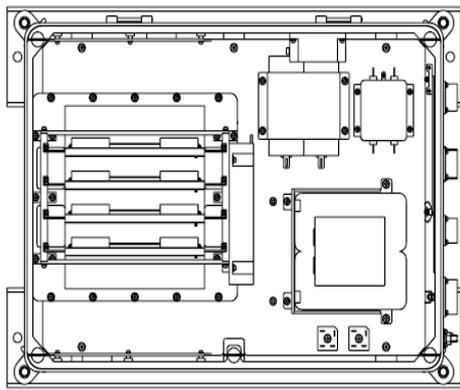
该伺服系统是某型电视监视系统的重要设备, 作为各种不同用途摄像机的载体, 驱动摄像机运动, 监视、跟踪飞机起降轨迹。该伺服系统由机械转台和控制机箱组成, 如图 1 所示, 二者通过电缆连接。



(a) 伺服转台

收稿日期: 2012-01-06; 修回日期: 2012-02-21

作者简介: 汪进(1979—), 男, 重庆人, 硕士, 工程师, 从事伺服系统工程设计研究。



(b) 伺服控制机箱

图 1 伺服系统示意图

该系统是包括位置环、速度环、电流环的高精度三闭环控制系统，能够准确地控制摄像机转动位置和速度，同时也具有驱动多种摄像机载体的能力。图 2 为该系统的工作原理图，系统中外环(位置环)是数字环路，以旋转变压器作为测角传感器元件，内两环(速度环、电流环)是模拟环，其中速度环以陀螺为反馈元件，具有稳定功能，电流环的反馈信号则是通过对电机电流的取样得到。

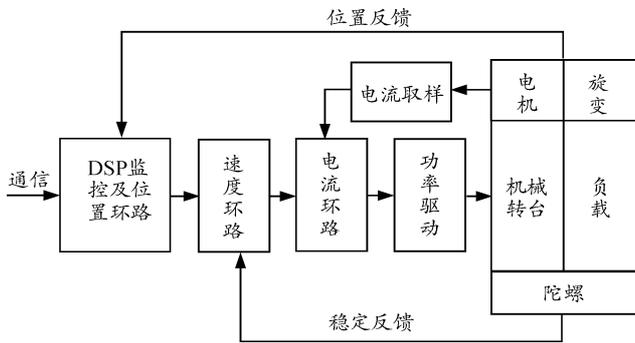


图 2 系统工作原理图

该系统中控制器以数字信号处理器(DSP)为核心，负责监控、状态信息检测及数字环路的闭环处理，同时与外部接口通信；驱动器则是连接控制器和执行机构的桥梁，负责功率放大驱动负载动作。系统中二者的供电方式有所不同，控制器是由外部交流电源通过变压整流后，再经过 DC/DC 变换得到多种所需要的低压直流电源以满足其需求，而驱动器因需求的功率较大，在低压隔离后单独供电。

2 安全控制策略^[3]

在系统设计时，笔者将驱动器的供电加入控制开关，并将三环所有的反馈信号变换后引入检测，通过 DSP 监控检测到环路反馈信号的状态后及时做出判断，决定其对驱动器电源的开关操作，防止

转台因失控对设备及人员造成的损伤，同时将状态信息实时上报，对上级人工决策提供有效的数据参考，此外，由于以上措施均有 DSP 参与判断决策，对 DSP 芯片自身的工作状态也做出了及时有效的监控和保护，提高了系统的控制安全性。系统安全控制策略的原理如图 3。

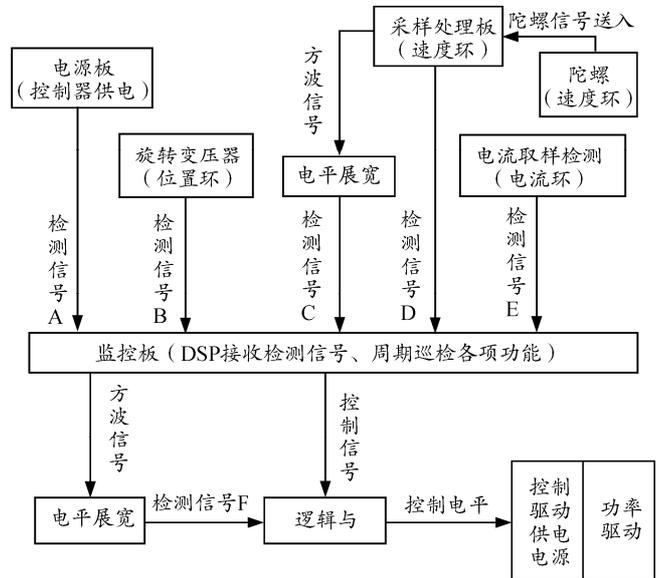


图 3 安全控制策略原理图

1) 电源检测保护。

控制器需要+5 V 和 ±15 V 3 种低压直流电源，最终由 DC/DC 模块转换得到，此 3 种电源由同一功能板(电源板)管理分配，其中任一路电源缺失都将会导致控制器不能正常工作。因此，在系统设计中，将三路电源信号分别通过光电耦合器转换得到有效的 TTL 检测电平信号，三路检测信号通过逻辑或组合成一路(检测信号 A)送出给监控板，监控板以 200 Hz 的频率循环检测，三路信号中任一路出现故障时，电源板都将自动送出故障电平信号，DSP 及时检测到电源故障后将送出故障控制信号，此控制信号将与检测信号 F 相与(逻辑运算)，只要其中一路有故障，将最终送出关断驱动器供电电源的控制电平以切断功率驱动，保证转台不会因控制器故障而失控。与此同时，DSP 将通过通信的方式将故障上报，以便操作人员采取相应的措施。

2) 位置环检测保护。

位置环由旋转变压器提供测角位置反馈信息。旋变安装在转台的机械轴上，信号经过线缆连接至控制机箱，通过数字转换模块转换后得到高精度的测角值送入位置环路。如果不能正常转换或转换出来的测角值有误，将会使转台无法准确控制到位，甚至出现位置闭环抖动现象，因此，需要引出检测

信号,实时监控测角转换模块的工作情况。在本系统中,转换模块自身带有检测位,转换出现异常时将自动送出故障信号(检测信号 B),将此信号接入监控板,通过 DSP 周期循环检测其信号状态,一旦出现故障,系统将做出相应的处理并上报。此外,对于位置环的测角信息正确性的检测,可以通过软件滤波的方式,软件通过固定的周期获取当前的测角信息,根据转台的最大转速和获取测角信息的周期,可以计算得到连续 2 次获取测角信息差值的最大值,以此最大值作为软件判据门限值,如果超出,可以判断为当前获取的测角数据异常,将其滤掉或做其他处理。

需要说明的是,在本系统中,此类故障虽使位置闭环控制不正常,但不会造成系统“飞车”现象,故对其故障的处理可以通过软件选择控制关断驱动器使其不能动作,或者是断开位置环路,在只需要速度、电流环的工作模式下继续工作。

3) 速度环检测保护。

速度环的检测保护是最重要的安全控制策略之一,因为一旦速度环的反馈信号丢失或出现异常,将会导致系统“飞车”,极大地威胁设备和人员的安全。本系统中,速度环的反馈信号由数字光纤陀螺仪提供,由于系统中速度环为模拟环路,进入速度环的反馈信号需要的是模拟信号,因此,将陀螺送出的数字信息做 D/A 转换后再接入环路。为此,笔者在系统设计时专用一块功能板(采样处理板)来采集转换陀螺信号。由于速度环路上有采样处理板参与,因此对速度环的保护如下:

① 陀螺信号检测。

系统中陀螺的数字信息里面已包含有故障状态信息,故只需在采样处理板接收端进行信息解析后就可知陀螺是否工作正常;此外,由于陀螺与采样处理板之间通过通信线缆连接,一旦通信线缆断开或者接触不可靠,将会导致通信物理连接的中断,因此,在采样板的软件处理中加入通信物理连接的判断处理,只要陀螺的通信中断或者收到的状态显示故障,采样板都将会送出故障信号(检测信号 D)给监控板进行处理。

② 采样处理板自身工作检测。

由于采样处理板是包含有软件参与的独立功能板,除了能转换和监控陀螺信息及状态以外,其自身的工作状态也是非常重要环节之一。如果陀螺工作正常而采样处理板自身出现故障(比如软件失

效),同样不能将速度环的反馈信号有效地送入环路。因此,笔者在设计中将控制芯片的一个 I/O 口在软件正常运行的同时送出 50 Hz 的方波信号,再通过 54LS123 芯片将其展宽成正常的电平信号(检测信号 C)送入监控板,一旦采样板软件工作失效,将 I/O 口就不能送出方波信号,不管此时 I/O 口送出的是高电平还是低电平信号,54LS123 芯片都将送出故障信号给监控板,此时通过监控板的软件逻辑对其进行实时控制。

对于速度环路的保护策略中,只要检测信号 C 和检测信号 D 其中有一路发生故障,监控板都将及时送出故障控制信号来关断驱动器电源以切断功率驱动,确保其不会失控飞车,同时上传故障信息。

4) 电流环检测保护。

电流环中的检测信号由电流取样得到,随着系统工作时产生力矩大小的变化,电机电流随之而改变,根据系统中电机性能及负载的大小将其电流值设定一个上限,一旦取样检测到当前电流值超过设定门限时开始启动计时,电流在一定时间内(该系统设定为 10 s)连续超过设定门限值时,系统将自动切断功率驱动电源,以防止长时间电流过大而烧毁功率驱动模块,同时产生故障信号(检测信号 E)送给监控板。

电流环的过流保护功能会自动切断功率驱动以保护系统损毁,故当监控板检测到电流环故障时只需要上报故障信息即可。需要说明的是,此故障是属于可自恢复型故障,即产生故障后将系统断电再加电故障自动消失。

5) 监控板自身防护。

系统中所有的故障信号都最终汇聚到监控板,由监控板检测判断,并根据故障的性质及其危害程度来决策,是否立即切断功率电源或做其他处理等。另一方面,由于监控板是以 DSP 为核心处理芯片,如果 DSP 自身工作不正常,就无法对各种检测信号做出正确的判断及处理,因此,对监控板自身的保护和故障时的及时处理显得尤为重要。

在本系统设计中,要想产生有效的控制驱动器电源打开电平,必需满足控制信号和检测信号 F 同时有效,缺一不可。其中控制信号由 DSP 的软件逻辑通过对检测信号 A~E 的判断及决策而产生的,而检测信号 F 则由 DSP 的 I/O 口产生方波信号后,接入芯片 54LS123 后转换得到(如同检测信号 C)。如果监控板上 DSP 工作不正常或软件失效,都将会

失去 I/O 口产生的方波信号，经过硬件转换后将产生无效的检测信号 F，此时系统将实时地自动切断功率驱动电源，以有效地防止系统失控^[4]。

3 软件实现

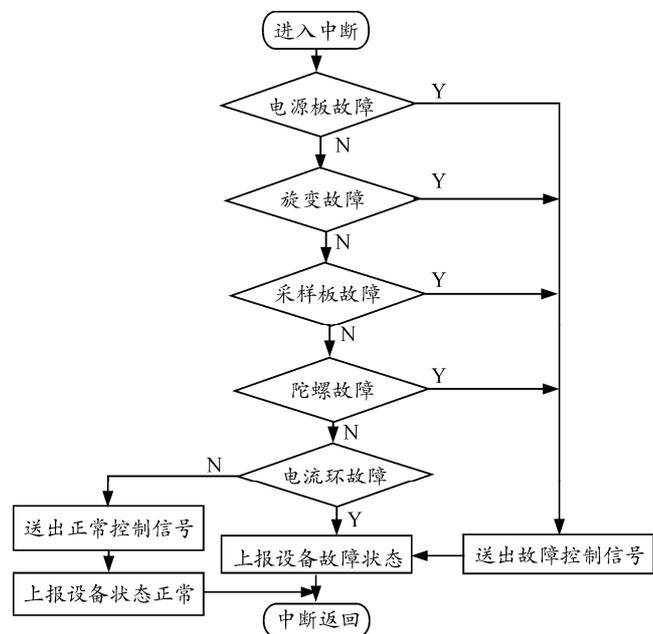


图 4 安全控制策略软件流程图

系统中的安全控制策略需要配以监控板中 DSP

(上接第 61 页)

KF 校正算法需要存储一个帧块的图像，而 SKF 校正算法只需存储一帧图像，大大节省了空间。由此可见，SKF 校正算法在时间和空间复杂度方面都得到了降低，有利于实现非均匀性校正的实时性处理。

5 结论

仿真实验结果证明：SKF 算法克服了传统方法不能实时性校正的缺点，其校正效果与传统的 KF 校正算法相当，并大大减少了存储空间。

参考文献：

[1] 张建奇, 方小平. 红外物理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

[2] 袁祥辉. 固体图像传感器及其应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.

[3] 周建勋, 王利平, 刘滨. 红外图像非均匀性产生原因分析[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(3): 11-13.

[4] Torres S N, Hayat M M. Kalman Filtering for Adaptive Non-uniformity Correction in Infrared Focal Plane Arrays[J]. Optical Society of America, 2003, 20(3): 470-480.

[5] Sergio N. Torres, Jorge E. Pezoa, Majeed M. Hayat.

的软件逻辑才能得以有效的实现，DSP 软件在定时器周期(1 ms)中断服务程序中，以 1 000 Hz 的频率巡检所有的检测信号并做出相应的处理，很好地满足了系统的实时性。系统中软件逻辑确保了上述多处监测点只要有一处出现故障都将切断功率驱动以保证系统不会失控，软件逻辑如图 4。

4 结束语

伺服系统安全控制策略已成功应用于某型光电跟踪设备中。该设备在生产调试、系统试验及后期的交付用户使用过程中均达到了预期的效果，没有出现任何系统失控或是“飞车”的现象，很好地满足了控制设计要求和系统总体要求。该策略也可为其他伺服系统或控制系统的安全控制提供参考。

参考文献：

[1] 章云, 谢莉萍, 熊红艳. DSP 控制器及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

[2] 教荣庆, 袁坤. 伺服系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 2006.

[3] Bernd Appel, 王庚. 基于 SICK 安全型伺服马达反馈系统的速度和位置检测[J]. 工厂自动化, 2010: 36.

[4] 许可, 刘建都, 李晓鹏. 一种新型伺服系统智能 PID 控制器的设计[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(5): 19.

Scene-based non-uniformity correction for focal plane arrays by the method of the inverse covariance form E[J]. Applied Optics, 2003, 42(29): 5872-5881.

[6] 简耀波, 阮双琛, 周慧鑫, 等. 改进的基于卡尔曼滤波的非均匀性校正算法[J]. 光电工程, 2008, 35(1): 131-135.

[7] 李庆, 刘上乾, 赖睿, 等. 一种基于场景的红外焦平面阵列非均匀性校正算法[J]. 光子学报, 2006, 35(5): 720-723.

[8] Harris J G, Chiang Y M. Non-uniformity correction of Infrared Image Sequences Using the constant-Statistics Constrain[J]. IEEE Transactions on image processing, 1999, 8: 1148-1151.

[9] John G. Harris, Yu-Ming Chiang. Minimizing the “Ghosting” Artifact in Scene-Based Non-uniformity Correction Infrared Imaging Systems[J]. Design, Analysis, Modeling, and Testing IX, 1998, 3377: 106-113.

[10] Hayat M. M, Torres S.A.N, Armstrong L E E, et.al. Statistical algorithm for non-uniformity correction in focal plane arrays[J]. Appl. Opt., 1999, 38(8): 772-780.

[11] 刘永进, 朱红, 赵亦工. 基于稳态卡尔曼滤波的红外焦平面阵列非均匀校正算法[J]. 光学学报, 2008, 28(9): 1697-1702.