

嵌入式航天 CCD 相机控制器研制模板

刘 辉, 李云飞

(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: 航天 CCD 相机控制器的研制具有一定的复杂性, 为了提高系统的安全性和可靠性, 符合航天系统的可继承性要求, 降低系统研制风险, 提出了一种嵌入式航天 CCD 相机控制器研制模板。该模板采用了嵌入式的研制手段, 使用自顶向下的研制方法, 使得相机控制器的各个研制阶段都能从系统整体结构角度开展研制工作。将该模板应用到某型号的航天 CCD 相机控制器的研制过程中指导各个阶段的研制工作, 不但可以较好地与航天系统研制过程结合, 降低了可颠覆性风险的发生, 而且取得了较高程度的嵌入式特性。

关键词: 宏观研制过程; 微观研制过程; 迭代过程; 相机控制器

中图分类号: TN919-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2011)22-0055-06

Iterative Process of Controller Design for Embedded Aerospace CCD Camera

LIU Hui, LI Yun-fei

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

Abstract: The aerospace CCD camera controller system has its complicity to be designed. In order to improve the system's safety and reliability, accord with the inheritability principle of aerospace electronic systems, and decrease the risk of the design, an iterative design method is proposed. The embedded approach and top-down design method are adopted in the iterative process. All the steps of the camera controller are designed as viewed from the ensemble structure. A high-performance controller system for embedded aerospace CCD cameras was achieved. The serious subversive risks were avoided in the early design stage by the iterative process.

Keywords: macroscopic developing process; microscopic developing process; iterative process; camera controller

0 引 言

随着 CCD 相机在工业、农业、军事、航天、天文观测等领域的日益广泛的应用, CCD 相机的功能也变得越来越复杂。目前的应用要求 CCD 相机不但要接收来自于卫星平台控制指令成像, 还要具有一定的自我管理, 自我维护, 自我处理等扩展功能。在这种情况下相机控制器在相机整体中的作用越来越重要, 以至于不得不把它作为一个独立的相机子系统来设计。它不但控制相机成像单元的成像参数, 还要协助相机完成更高级功能和辅助功能, 如图像原始信号的处理压缩, 数据存储发送等。CCD 相机控制器与诸多的相机子系统都有联系, 因此相机控制器是一个功能模块多, 关系复杂, 具有多输入多输出的嵌入式系统。对于这样的复杂嵌入式系统需要一套与之相适应的研制模板以指导系统研制的各个阶段, 提高系统研制的效率, 增加产品的安全性和可靠性。

另外, 航天系统研制要求当前型号对以往型号具有很好的继承性, 尽最大程度的使用经过飞行验证过的软件和硬件模块, 以提高系统的可靠性。但是目前航天 CCD 相机控制器的研制往往采用自下向上的设计方法实现的, 功能模块分工不明确, 关系模糊, 不利于后继型号控制器的继承, 因此成为限制可靠性进一步提高的瓶颈问题。

嵌入式航天 CCD 相机控制器设计模板将本为软件的面向对象设计方法应用于系统设计的过程中, 采用自上向下和迭代的系统研制过程, 克服了自下向上设计方法带来的弊端, 又使得功能模块间分工明确, 模块间复用性好, 极易被不同型号产品或同型号产品不同阶段所继承, 从而提高了产品的可靠性。

1 设计模板

1.1 宏观过程研制模板

嵌入式航天 CCD 相机控制器的宏观研制模板依次分为模样阶段、初样阶段和正样阶段。

模样阶段的研制任务首先是通过总体对于相机控制器的任务要求确立研制任务, 编写任务书, 同时还要

收稿日期: 2011-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61036015)

采用恰当的方法测试任务的合理性和全面性。在做好研制任务分析后依需要进行研制需求分析、系统设计和系统详细设计,最终交付相机控制器的原理样机。在模样阶段的工作重点是在于验证相机控制器系统的研制任务和需求分析的全面性和合理性方面,通过该阶段的系统研制过程从系统的完整框架方面对于系统具备一定的把握,确立技术难点或关键技术模块,尽早发现设计缺陷,降低研制风险。

初样阶段的研制任务是根据模样阶段积累的相机控制器设计经验完善修改系统研制的任务和需求,对于更改或新加的任务或需求进行验证,最终完成电性产品交付用户。在初样阶段的大部分的任务和需求都是处于稳定状态,修改、增加的部分较少,因此该阶段的重点在于对相机控制器的功能模块划分和系统结构的设计方面,力求功能内聚在各个模块内,模块间松耦合。另外在该阶段还应进行系统软硬件的划分,确立产品的结构组成,为最终的正样产品打基础。

正样阶段,在这个阶段中的研制过程中的研制任务和需求不会改动,产品处于生产状态,工作集中在测试和验证方面,通过全面的测试验证系统的正确性,如果发现产品缺陷在全面的分析其影响域的基础上采取相应的修改措施,然后再做相应的测试,最终的正样产品交付用户。

以上介绍了宏观的航天相机控制器的研制模板,不同的产品阶段决定了相应的工作要点的重心,阶段间的工作按时间顺序连贯的,是一个螺旋上升的过程。对于各个阶段中如何开具体开展研制工作,应当参照下面的微观研制工作过程模板。

1.2 微观过程研制模板

以上所述的宏观过程的不同阶段都需要相应的产品交付用户,并且这些产品在结构、功能和性能上应当是依次继承,不断迭代完善的。因此组成这些产品的软硬件模块组件必需具有可复用、可配置的嵌入式特点。为了达到这些目标嵌入式航天 CCD 相机控制器的系统微观研制过程模板包括需求分析过程、设计过程和验证实现过程。

1.2.1 需求分析过程

通过应用需求分析过程的主要目标明确本研制阶段设计任务和需求。首先,通过分析相机控制器系统发生关系的使用者明确相机控制器系统的系统边界,得到系统所需完成的任务。然后,通过对任务的进一步的分析,形成系统设计需求。对于系统设计任务和需求的描述本模板引用了 UML 语言的用例图^[1]方法来表示。用例图清楚的描述了系统外部的参与者以及系统为参与者所提供的功能^[1-2],通过该方法可以直观的表达系

统的使用者、系统任务和系统边界,实践证明用例图是系统研制过程中描述设计任务和研制需求的有力工具,它可以消除采用自然语言文字描述所产生的奇异、片面、繁琐和过于抽象化的弊端。

1.2.2 设计过程

设计过程中的主要目标是完成系统的结构设计和软硬件划分。结构设计也就是确定组成系统的功能模块和功能模块间的联系的过程。对于嵌入式系统,功能应当尽量内聚在各个模块中,系统所有的功能都有相应的模块与之对应;系统功能模块间信号联系也应为最简洁,且尽量采用松耦合方式。在完成了系统结构设计后可以根据模块的功能,并结合系统实现的技术指标将模块配置到软件或硬件中实现。

模板中采用 UML 的活动图和顺序图的手段来完成系统需求分解。所谓活动图就是由标注节点和流程表示符号构成的描述运算、处理等过程步骤的图示。活动图类似于程序流程图,但是其功能远远强于流程图。活动图不但包含过程的执行顺序,和分支,而且包含并行等功能。使用活动图作为工具可以方便的分析设计需求的模块构成和实现。对于更加详细的模块功能及模块间的信号联系得分析可以采用顺序图进行描述。系统的静态结构则采用类图进行记录。对于软硬件划分结果则采用配置图进行描述^[1]。

1.2.3 实现过程

实现过程也就是通过实际的技术手段完成上面所述的系统结构的过程。目前业界广泛使用的高效分析、设计工具是 UML 语言,但因其是半可执行的语言,所以基于 UML 描述的系统模型的执行验证必移植到可执行平台上才能实现,从而导致了分析、设计方法不能直接应用到系统实现过程中,造成了分析过程和设计过程脱节。再有,航天 CCD 相机控制器这样典型的嵌入式系统软件硬件的联系程度非常大,几乎所有的软件功能都需要依靠控制 I/O、外设等实际的硬件来实现,可以认为软件节点在系统结构中是高于硬件节点的,上层管理者,因此系统的结构极大的取决于软件节点实现的情况,下层的硬件结构在某种程度上隐藏于系统驱动程序之中。可见选择一种恰当的系统实现平台是关键。

本模板采用专门针对嵌入式系统,以事件驱动为设计手段的 QP(Quantum Leaps)平台框架策略为系统实现方法,真正的解决了实现和验证过程中的瓶颈问题。以 QP 为基础进行系统实现和验证的方法如图 1 所示。

QP 平台主要包括 QHsm, QEQueue, Thread, QEvent, QTimer 等管理类。其中 QHsm 为层次化状态机类,定义了状态机的转换,事件接收等机制。QEQueue 定义了消息队列机制,用于接收触发事件,缓

冲事件。Thread 为线程管理类,管理线程优先级、线程切换机制。QEvent 为事件类,定义了 QP 程序框架中的触发事件类型。Qtimer 定时器类型,管理程序框架中的定时机制。每个应用程序活动对象都是 QActive 类型的泛化类型,QActive 又是 QHsm 的泛化类并包含了一个 QQueue 和一个 Thread 及 QTimer。也就是应用程序划分为若干个活动对象,每个活动对象具有层次状态机的特性和线程特性,有一个用来接收触发事件的消息队列。基于 QP 的系统实现和验证过程,主要具有如下的特点^[3] :

(1) 系统是完全使用 UML 语言进行描述的,可以直接应用到系统分析模型中。由此克服了无法直接使用系统分析和设计所得结构模型的瓶颈问题,实现了无缝结合。

(2) 系统模块使用事件进行联系,每个活动对象不直接对事件的投送、接收进行直接管理,因此活动对象间是完全的松藕合状态。活动对象间的关系正是完全的实现了前文提到的模块化的特性。

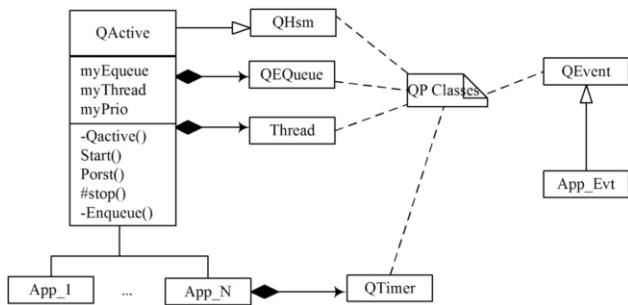


图 1 基于 QP 的系统实现和验证方法

(3) 系统模块具有线程特性的同时具有状态机特性,因此可以完全的克服基于传统操作系统自由多线程程序设计的难调试,难测试的缺点。十分适合于应用在对可靠性要求高的航天及军用领域。

(4) 系统实现和验证过程中的硬件的时序特性可以利用框架特性方便的融入到系统结构当中,克服了嵌入式系统的软硬件关系紧密的问题。

(5) 系统的模块特性和松耦合特性方便了对于系统模型的验证。

1.2.4 验证过程

采用了以上类似于面向对象的自顶向下的分析和实现法,验证过程必需与之相适应。研制过程不再是按照先模块在整体的顺序,而是按照先整体再模块的顺序,因此验证过程也应当遵循从系统任务、需求、整体框架结构直到功能点的顺序进行,而非传统的先节点后整体的顺序。

1.3 宏观和微观研制过程的交互迭代

实际研制过程中,将微观的迭代过程应用于每一个

宏观的研制周期中,使产品的研制过程呈现螺旋上升发展趋势。随着宏观过程的不同,微观过程的工作侧重点也有变化,表 1 表述了宏观过程和微观过程的交互关系。

表 1 宏观模板与微观模板迭代关系 %

微观过程	宏观过程		
	模样阶段	初样阶段	正样阶段
需求分析	60	20	≤5
设计	20	40	≤10
实现和验证	20	40	≥85

如前所述宏观的模样阶段的工作重点是分析研制任务的全面性和合理性,并在此基础上得到研制需求,因此微观模板的需求分析占据了模样阶段的大部分时间。该阶段的设计主要集中在系统框架和关键技术的设计上。通过对上面的框架和关键技术的实现和验证来判断设计的正确性的同时也检验了研制任务和需求的全面性和合理性。因此设计阶段和实现验证阶段的工作在该阶段占少部分。

初样阶段是对任务需求的修补过程和对结构关键技术的完善过程。这阶段的需求分析只限于对少部分的、任务需求的补充,大部分任务和需求不会改变,因此工作量只占一小部分。在研制任务较为确定的情况下可以扩大模样阶段的结构框架,得到较为稳定系统结构,从而可以进行大范围各个模块内部详细设计。所有的新增设计都需要实现和验证。所以设计和实现验证占据了近 80% 的工作量。

正样阶段的工作重点集中在对于系统缺陷的修改阶段。该阶段研制任务和需求整体上不会有变化,变化部分也仅限于个别小范围内,因此需求分析工作量很少。系统的大部分也处于稳定状态,修改仅限于极小范围内。大部的工作量和精力放在系统的验证结构框架和系统级的验证上。

当然以上的迭代过程是一个动态的过程,根据实际的工程需要可以灵活应用。比如初样阶段可以分为若干电性阶段,每个电性阶段又有各自的微观过程等。

2 研制模板的应用

为了说明问题方便下面以航天 CCD 相机控制器的实际研制过程为例说明上面所述模板的应用过程。我们假设产品状态处于模样研制阶段,研制输入条件是设计任务书和设计需求。

2.1 需求分析模板应用

模样阶段的航天 CCD 相机控制器,产品处于首轮研制周期,工作重点应集中在理解、验证研制任务和需求上,采用 1.2.1 节所述的需求分析方法过程如下

所述。

首先是通过分析研制任务确定系统的参与者(使用者)确定系统的边界,具体如下:

(1) CCD 相机电源子系统。CCD 相机的成像采用各种类型的 CCD 器件,通常 CCD 器件的驱动不但需要多种类型的电源供电,而且不同电源的上下电顺序也需要严格控制,否则可能会损坏 CCD 器件。因此对于控制相机成像的相机控制器需要对 CCD 驱动电源进行管理。

(2) CCD 成像子系统。成像系统功能包括 CCD 器件的驱动时序发生,CCD 信号放大及处理和最终的图像数据的传输。相机控制器的主要功能就是为成像系统提供所有的控制及工作参数设置。

(3) 热控子系统。因为 CCD 器件的成像原理,CCD 相机焦平面在绝大多数的工作状态下需要控制其温度。对于热控系统的控制及热控系统的状态采集由相机控制器来完成。

(4) 标定子系统。标定系统是被用来标定相机系统的标准感光的。在摄像前由相机控制器来控制其动作。

(5) 调焦子系统^[4]。对于一些具有调焦需求的相机,还需要控制其调焦动作。

(6) 相机承载平台上位机。对于大多数的 CCD 相机都要与承载平台进行控制信息上的交互,因此,上位机也应作为控制器的参与者存在。

在确定了所有的系统参与者后,系统的边界也就确定下来。通过系统与参与者所发生的关系进而得到相机控制器系统功能:

系统控制 根据注入命令执行来自于承载计算机的控制命令完成相应的动作。其中包括各个子系统初始化、电源管理、热控、调焦和成像等指令。

工程参数采集 打包各个子系统的遥测数据返回给承载平台。这些遥测数据包括有电源电压值遥测,热控参数^[7],焦平面位置,成像参数及指令等。

系统时标 合成与承载平台一致的时间。比如对于某些 CCD 相机的应用来说摄像开始、结束时间十分关键,因此需要相机控制器具有与承载平台相一致的时间系统。

电源管理 维持 CCD 相机工作需要十多种电源种类,其电源的供给方式也较为复杂。有些 CCD 相机采用分级结构,有的采用直流供电,有的采用交流稳压后再供电等等。因此 CCD 相机控制器需要对这些电源进行管理,主要是管理电源分配,及上电顺序等。

当然对于不同应用领域的 CCD 相机其工作方式、工作环境还有差异,因此对于这些相机的控制器功能可

能还有其它的要求,本文由于篇幅所限仅给予忽略,总结上面分析的参与者与系统用例后我们得到用例图如图 2 所示。

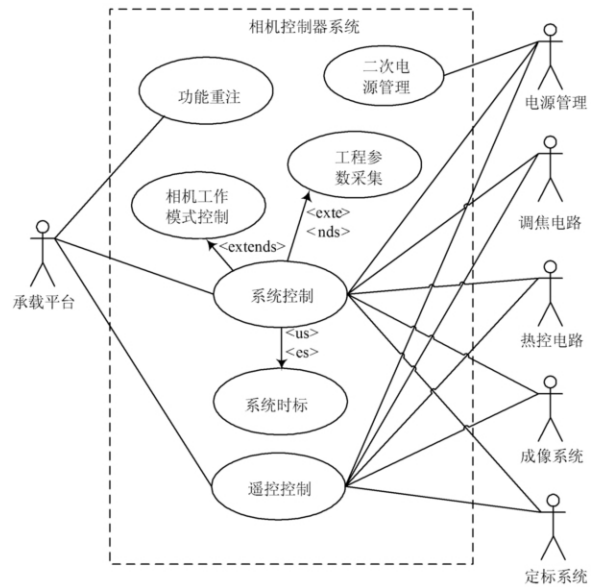


图 2 相机控制器系统用例图

通过上面的过程可见,用例图的方法可以较为直观的看到哪些是系统的边界,那些是系统需要提供的功能,方便与用户进行沟通和修改,逐步完善。

2.2 设计模板应用

采用自下向上的设计方法时,在获得系统研制任务和需求后,马上进入到对于各个功能的详细设计过程。但是对于较大的结构复杂系统,这种方法无法对系统整体结构具有较清晰的把握,结果是系统功能模块之间的关系耦合严重,给后面的继续设计带来了很大的风险,系统的调试也会因为紧耦合而变得十分困难。

应用本文所述的研制模板,在在获得系统研制任务和需求后并不进入详细设计过程,而是进一步分析每个用例(功能),将其按照功能进行分解为若干功能内聚的功能点,然后分析所得的所有功能点之间的横向关系,统一进行优化,裁剪,形成系统结构。由此可见,当系统需求改变时,已有的大部分系统功能点及结构仍然可用,仅需更改最小范围的相关功能点点,变更相关关联即可实现^[2],最大限度的实现了系统结构的松耦合,及组件的复用性。

2.2.1 航天 CCD 相机控制器用例分解

对于相机控制器系统,首先从决定其功能的主要用例入手,分析系统结构。可以选择系统控制、工程参数选择、系统时标。其他用例对于系统主要结构作用不大,可以在未来的设计过程中逐步加入。

图 3 是采用 UML 活动图描述的用例分解结果,其中的每条泳道即为一个功能点。通过对于指令接收用

例的分析,可得到的指令注入总线、指令协议、相机控制器工况管理、内部总线协议和内部总线几个功能点。显然系统控制功能的控制命令输入来自于 CCD 相机的承载平台。通常该通信端口采用的方式为 RS 232, RS 422, CAN, 1553B 和 ethernet 等。该功能的出口是各类控制指令相关子系统的输出接口, CCD 相机系统内部常见通信总线有 RS 232, RS 422 等。在这里可以分别假设输入输出通道为平台输入总线和内部通信总线。

其中的控制指令会涉及到相机姿态控制指令,内务管理指令、相机工作方式配置指令和图像数据传输管理指令等。对于承载平台来说 CCD 相机可能不是惟一的载荷,因此对其发送的指令需要在整个系统范围内由一个通信协议来进行管理。因此, CCD 相机控制器需要根据该协议对于 CCD 相机输入指令进行解译,产生各类相机控制器的内部数据结构,按照一定规律分类处理。对于 CCD 相机各个子系统,相机控制器同理需要一个系统内通信协议,对输出指令进行管理。各个功能点间的关系详见图 3 上半部分的指令接收阶段。

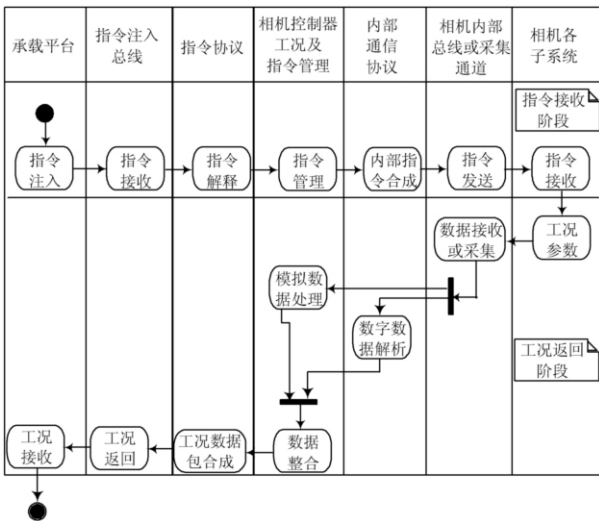


图 3 系统指令注入及工程参数采集用例分解活动图

采用如上所述分析技术,可将系统中的所有用例逐一分解,每个用例都可能对系统结构产生一些新的功能点,则将新功能点加到系统中,可逐步得到系统的所有功能点。

2.2.2 系统结构的产生

应用以上的分析步骤,不但可得到组成系统的功能点,而且还能从不同的活动图中各功能点间的关系总结出系统的结构,从而得到 CCD 相机控制器系统结构如图 4 所示。

通过对所有的系统用例的分解,最终系统结构趋于稳定,也即图 4 所示的系统结构中功能点具有很好的封装性,功能点间的关联具有很明确的含义且松耦合,在

系统用例有所该变时,整个系统的功能,结构不会有很大变化。例如 485 总线功能点的功能完成将注入指令分发到相机内部各子系统,轮询各子系统返回工况。假如当系统需求相机系统内部通信要求采用 CAN 总线时,改变仅限于 485 总线功能点内部,其它功能点无需改变。

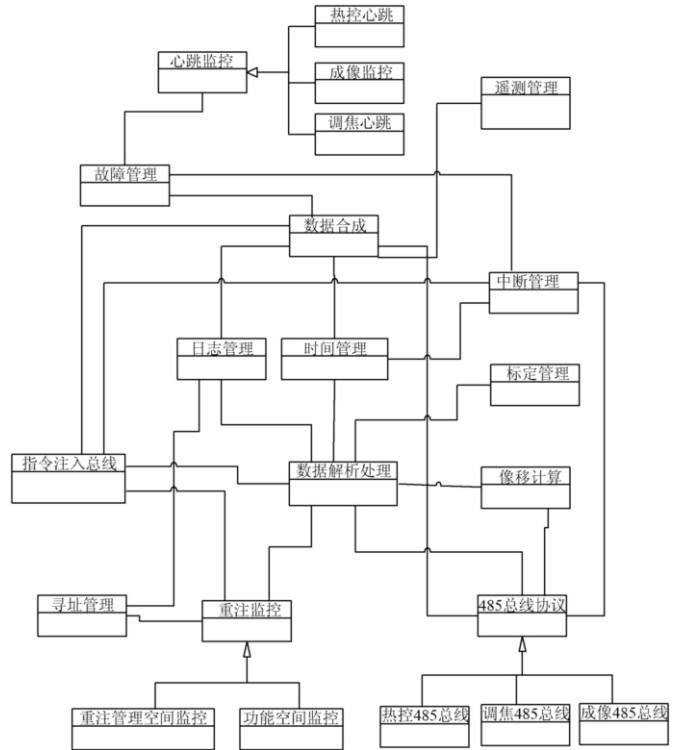


图 4 系统结构图

2.2.3 软硬件划分

在得到了系统功能结构模型的基础上,通过分析不同的功能点的特点,结合系统设计时的技术实际情况,器件选择约束,系统性能要求等限制,将功能点划分为软件实现和硬件实现,采用部署图^[1]来表示配置方案,如图 5 所示。其中的节点及节点间的关联代表硬件系统,组件代表软件功能点。

参照图 4 将日志管理、数据解析处理、数据合成、像移计算^[4,6]、重注控制等功能部署到 MCU 中使用软件实现。时间管理、心跳监控、指令注入总线、内部系统总线、定标管理、中断管理等具有明显硬件性质的功能点部署为硬件实现,对于纯数字的电路可以部署到 FPGA 中实现。

如此部署后,图 4 中的功能点间的关联有的转化为纯软件间的关系,有的为硬件间的关系,有的为混合关系。比如数据解析处理功能与像移计算功能间的关联即为纯软件关系,具体使用信号量,队列,事件来表达。再如数据解析处理功能与时间管理的关联转化为软硬件间的接口,具体使用地址指针,指向具体的寄存器地

址,数据交互由寄存器来传递。当然软硬件接口也可有其他形式。

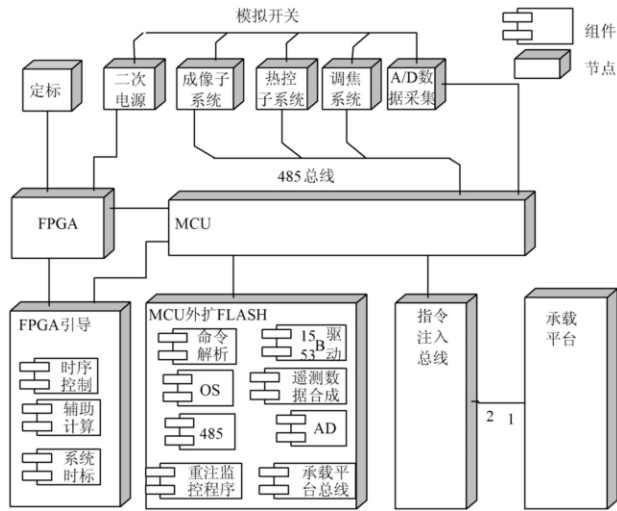


图 5 系统功能部署图

2.3 实现模板应用

QP 平台的软件实现手段可以直接将系统需求分析和设计所得到的图 4 和图 5 的系统结构中的功能点直接映射为 QP 应用程序下的活动对象,功能点的具体实现内容映射为状态机,功能点间的关联映射为的事件机制。硬件功能点使用活动对象定时、延迟和消息队列等线程机制来模拟。比如图 5 中配置在 FPGA 中实现的辅助计算功能,在模样阶段具体计算内容还无法全面的确定,因此未来的初样和正样的计算规模和计算性质会有变化,也就使得该功能模块在整个系统中的时序表现具有一定的差别,如果此时采用传统设计手段必然会使软件强烈的依赖硬件,无法被后续研制阶段所复用。但是如果将该功能点映射为活动对象,利用 QP 将之纳入到整个系统框架中进行管理,从而能够有效的仿真和验证该节点功能变化对于整个系统影响。

采用本模板的基于 QP 平台的实现手段不但可以增强了系统结构在各个研制阶段中的复用性,使最终的正样产品必然也会较为容易的应用到其他型号的产品中,而且还能够在硬件还不完备的初样阶段很好的模拟硬件的各个特性。

2.4 验证模板应用

对于系统级的验证手段较多,其中较为重要的是时序调度情况取的验证,对于模样阶段,系统结构刚处于稳定状态,系统任务才具有初步的模型,因此仅需进行粗略可调度的估算。实际中,采用速率单调调度(RMS)法进行验证。速率单调调度算法最初由 Lui 和 Lenyand 在 1973 年提出。在基本的 RMS 模式中,任务的优先级依赖于其周期,周期越短,任务的优先级越高。在 RMS 中,优先级是在设计的时候确定的,并且在系

统执行期间保持不变。这类系统被称为使用静态或者固定的调度策略。可以认为目前相机控制器中所有活动对象是固定调度的。RMS 调度算法如下。

$$\sum_{j=1}^n (C_j/T_j) \leq n(2^{1/n} - 1) \quad (1)$$

式中: C_j 和 T_j 分别是任务的执行时间和执行的周期; n 为需要调度的是任务数量。以下是对于航天 CCD 相机控制器的常见功能的实测 RMA 数据^[7]。

表 2 RMA 结果

活动对象	C_j/ms	T_j/ms	C_j/T_j
模拟量遥测	3×3	500	0.018
QP 平台	1.49	10	0.149
数据合成	1.6	130	0.012
1 553 B 输出	0.7	250	0.003
轮询控制	17.4	200	0.087
热控控制	92	2 000	0.046
1 553 B 输入	0.2	200	0.001
成像轮询	25.2	167	0.151
命令解译	2.4	80	0.03
成像控制	10	167	0.06
Σ			0.557

根据上表可知式(1)的左边为 0.577,右边为 0.71,因此不等式成立,可见系统在一个有效的工作周期内的时序关系是完全可以调度的,系统框架时序安排可靠,有效,整个初样阶段的研制过程得到了完成。

3 结 语

通过将嵌入式研制模板应用到模样阶段航天 CCD 相机控制器研制过程的实践可知,该模板是一套完整的、切实可行的航天 CCD 相机控制器的嵌入式研制过程。使用该模板指导研制工作具有以下意义:

(1) 该模板中所涉及的研制方法是完全的嵌入式的和自顶向下的,应用该模板所研制的产品也将是一个嵌入式的系统,从而满足了航天系统对于型号可继承性的要求。

(2) 采用该模板指导研制过程始终对于系统整体结构始终具有清晰的把握,可以有效的规避颠覆性的缺陷的发生,提高研制效率。

参 考 文 献

- [1] RUMBAUGH J, JACOBON I, BOOCH G. The unified modeling language reference manual [M]. Second Edition. [S. l.]: Addison-Wesley, 2004.
- [2] BOOCH G, MAKSIMCHUK R A. Object-oriented analysis and design with applications [M]. Third Edition. [S. l.]: Pearson Education, 2007.
- [3] SAMEK Miro. Practical UML statecharts in C/C++ [M]. 2nd ed. [S. l.]: Elsevier, 2009.

(下转第 64 页)

在 soapUI 中模拟多个用户线程对系统进行 90 min 的压力测试, 每个线程每次的请求间隔随机分布在 0.5~1 s 之间, 图 4 给出了 10 个用户线程下系统的平均响应时间曲线, 其中横轴表示经过的时间(单位: s), 纵轴表示线程个数以及 SOAP 请求平均响应时间(单位: ms)。由于系统同一时间只处理一个 SOAP 请求, 当多个用户线程同时连接时, 未处理的请求会被排队, 其处理时间也会相应延长。受网络环境变化和连接并发情况的影响, 平均响应时间会出现波动, 在 10 个线程的情况下平均响应时间介于 30~50 ms 之间, 整个系统保持稳定, 没有内存泄露或者连接丢失现象发生。

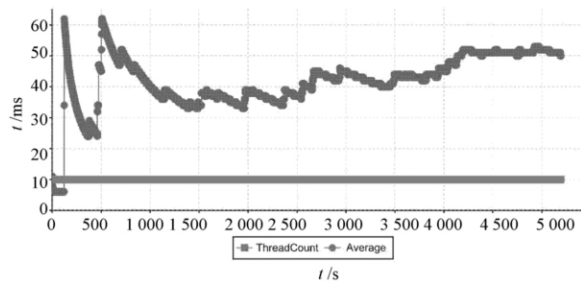


图 4 SOAP 请求平均响应时间

3 结 语

本文基于 32 位微处理器 ARM Cortex-M3 以及小型实时操作系统 FreeRTOS, 在资源极其受限的情况下完成了 XML 语言的解析以及 SOAP 和 HTTP 协议的绑定, 实现了不易实现的嵌入式 Web Service 技术。XML 语言强大的表达能力和 SOAP 协议的灵活性, 有效地解决了嵌入式设备与异构平台间的信息交换问题, 大大降低了系统集成的难度。随着网络化思想的进一步深入以及硬件成本的逐步下降, 面向服务的编程思想

所代表的新一代软件架构技术会逐渐渗透到越来越多的嵌入式系统当中。

参 考 文 献

- [1] 董丽丽, 祁飞, 罗婵. 基于 SOAP 的 Web 远程监控系统[J]. 微电子学与计算机, 2006(10): 84-86.
- [2] 柴晓路, 梁宇奇. Web Services 架构、技术和应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 顾宁, 刘家茂, 柴晓路. Web Services 原理与研发实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] W3C. SOAP specifications [EB/OL]. [2000-05-08]. <http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508>.
- [5] MITRA N. SOAP version 1.2 part 0: primer [EB/OL]. 2nd ed. [2007-04-27]. <http://www.w3.org/TR/soap12-part0>.
- [6] STMicroelectronics. STM32F107VC quick view [EB/OL]. [2011-04-07]. <http://www.st.com/internet/mcu/product>.
- [7] YIU Joseph. ARM Cortex-M3 权威指南[M]. 宋岩, 译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [8] 刘滨, 王琦, 刘丽丽. 嵌入式操作系统 FreeRTOS 的原理与实现[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2005(7): 8-11.
- [9] 孔栋, 郑建宏. 嵌入式 TCP/IP 协议栈 LWIP 在 ARM 平台上的移植与应用[J]. 通信技术, 2008(6): 38-40.
- [10] W3C. Hypertext transfer protocol-HTTP/1.1. RFC 2616 [EB/OL]. [2004-09-01]. <http://www.w3.org/Protocols/Rfc2616/rfc2616.html>.
- [11] 李发英. 基于 DOM 与 SAX 的数据存取技术研究与实现[J]. 信息技术, 2009(2): 51-54.
- [12] 于海磊, 陈锋, 郑勤生, 等. 低温推进剂液位监测系统[J]. 火箭推进, 2010, 36(3): 54-57.
- [13] 张磊昂, 房少娟, 张瑜, 等. 雷达嵌入式大气折射修正仪[J]. 探测与控制学报, 2009(4): 23-26.

作者简介: 王海立 男, 1987 年出生, 江苏人, 硕士研究生。主要研究方向为智能仪器与信息化系统。

周杏鹏 男, 1951 年出生, 江苏人, 教授, 博士生导师。研究方向为智能化仪器、水处理和环境监测自动化。

(上接第 60 页)

- [4] 翟林培, 刘明, 修吉宏. 考虑飞机姿态角时倾斜航空相机像移速度计算[J]. 光学精密工程, 2006, 7(3): 490-494.
- [5] 罗志涛, 徐抒岩, 陈立恒. 大功率焦平面器件的热控制[J]. 光学精密工程, 2008, 9(11): 2187-2192.
- [6] 孔德柱, 刘金国, 吕世良, 等. 空间相机像移速度计算方法及 DSP 实现[J]. 光学精密工程, 2009, 10(8): 1935-1941.
- [7] 刘辉. 嵌入式空间遥感相机控制器设计方法与实现[D]. 长春: 中科院长春光学精密机械与物理研究所, 2007.
- [8] 陈佳豫, 邢宝忠, 刘金国, 等. 星载嵌入式软件测试过程模型的研究[J]. 光学精密工程, 2008(9): 1654-1659.
- [9] 丁亚林, 田海英, 王家琪. 空间遥感相机调焦机构设计[J]. 光学精密工程, 2001, 11(1): 35-38.

作者简介: 刘 辉 男, 1974 年出生, 工学博士。现主要从事空间 CCD 相机电子学系统及嵌入式系统设计。

李云飞 男, 1971 年出生, 工学博士, 副研究员。现主要从事空间 CCD 相机电子学系统设计。