

# 导弹平台测试系统设计方法研究

张磊, 肖凡, 刘丙杰

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266019)

**摘要:** 运用建模的技术对导弹平台测试系统进行模型设计过程中, 关键是实现测试系统需求描述模型、结构模型和行为模型等的设计; 首先对导弹平台测试系统的工作流程进行了分析, 然后在此基础上利用 UML 建模方法进行测试系统的各项模型设计, 通过分解用例图说明测试系统的需求描述模型, 分析系统的结构体系及关联关系建立了测试系统的结构模型, 运用序列图建立了测试系统的行为描述模型; 最后, 根据上述模型设计提出了系统的结构及布置关系的设计方案, 并且在实际导弹平台测试系统开发中得到了应用, 实现了测试系统的各项测试功能; 结果表明, 采用该建模方法不但能够有效提高系统设计的效率, 而且系统在实用性的基础上, 还具有复用性及拓展性。

**关键词:** 导弹平台; 测试系统; UML; 模型

## Research of Design Method for Missile Platform Test System

Zhang Lei, Xiao Fan, Liu Bingjie

(Third Dep., Navy Submarine Academy, Qingdao 266019, China)

**Abstract:** In the process of model design for missile platform test system by modeling technology, the key is to realize the requirements description model design, structure model design and behavior model design of test system. Firstly, the working procedure of test system is analyzed. Then, the model design of test system are carried by UML (unified modeling language) modeling technology. The requirements description model of system is showed by using decomposition of use-case diagram, the structure model of system is built on the analysis of structure system and relevance relation. The behavior model of system is constructed by using sequence diagram. At last, the system structure and arrangement relation of test system are designed based on above-mentioned model design. This design is applied to real developing for missile platform test system and all test function is realized. The result shows that this modeling method can improve design efficiency, and the test system possesses reuseability and expansibility also based on the practicability.

**Keywords:** missile platform; test system; UML; model

## 0 引言

导弹惯性平台(以下简称平台)是导弹控制系统的核心仪器,也是控制系统惯性测量部件,用来测量导弹在惯性坐标系 3 个方向的视加速度和弹体坐标系的三个姿态角信号,供导弹制导系统与姿控系统使用,是导弹重要的技术保障装备之一。一般采用陀螺、速度计、二次集成电路、微组装机电路、双通道姿态角传感器、动压电机、计算机控制、数字输出等新技术,其结构复杂、新技术密集,其性能测试是设备日常维护的重要工作,文献[1]阐述了平台产生倒台的基本原理和某型惯性平台的测角原理,提出了防倒台保护电路的设计思想,给出了具体的设计过程,实验验证了保护电路的有效性;文献[2]确定的测试方法可测试出惯性平台动态漂移性能,该方法为解决传统动态测试中人工操作误差大、自动化程度低的问题提供了新的方案;文献[3]在深入研究了某型号平台调平原理的基础上,设计了一套全新的嵌入式调平系统;文献[4]分析了平台瞄准稳定的工作原理,解析了平台坐标系的数学模型;文献[5]根据平台系统的稳定工作原理,通过建立平台系统的动力学方程,详细分析了摇摆条件下平台的动态特性,从平台动力学的角度详细分析了产生摇摆漂移的机理。上述研究成果从不同侧重点出发,涉及了导弹平台的某一特性或者机理,但对于平台测试系统设计的研究成果却鲜有报道。

随着导弹平台测试项目与测试分析的逐步丰富,对平台测试系统设计方法的实用性、复用性等需求日益显现。文中将对此进行探讨和研究,以满足需求的不断变化,为提高平台测试系统设计的实用性、复用性等提供了技术途径。

## 1 测试系统工作流程分析

导弹平台测试系统可以实现在各种工况下对平台三轴各姿态角的测量、3 个方向上加速度的输出测量以及 3 个轴端力矩电机的输出测量,通过计算分析出平台的性能和精度,具体应该完成平台稳定回路测试、调平回路测试、加速度输出测试、方位对准回路测试、漂移系数测试、保护电路测试、姿态角测试等多项测试,目的就是评定平台的性能状态,为整个导弹测试做准备。

根据上述要求,平台测试系统可设计为如下实体:惯性平台、三轴摇摆台、驱动电源、信号采集装置、测试控制装置和方位对准装置。整个测试系统的基本工作流程如下:平台安装在三轴摇摆台上以进行各种测试;三轴摇摆台模拟导弹飞行过程中弹体的三维运动;驱动电源提供平台以及三轴摇摆台工作所需的各种交流和直流电源;信号采集装置采集平台输出的各种姿态角、加速度等信号;对准装置提供平台对准的基准并进行对准时的角度测量;测试控制装置进行测试项目、过程的控制,管理驱动电源的启闭,并且对测试数据进行管理。

## 2 系统模型设计

导弹平台测试系统设计的关键是实现系统中各项模型的设计,这需要对平台测试系统的测试需求、系统结构组成和系统工作任务进行仔细的分析,在此基础上有针对性地提出相应的

收稿日期:2016-11-22; 修回日期:2016-12-15。

作者简介:张磊(1973-),男,山东广饶人,硕士,讲师,主要从事导弹控制、测试方向的研究。

模型。本文利用 UML (unified modeling language) 基于面向对象技术领域的可视化建模方法应用于导弹平台测试系统设计, 可以方便快捷的构建测试系统。

采用 UML 建模方法设计导弹平台测试系统, 主要工作包括需求描述模型设计、结构模型设计以及行为模型设计。对应上述三种模型设计, UML 方法采用三类不同的图形来分别实现: 测试系统的需求描述模型设计具体采用用例图来实现, 测试系统的结构模型设计具体采用静态结构图中的对象类图来实现, 测试系统的行为模型设计具体采用动态行为图中的顺序图来实现。

### 2.1 需求描述模型

对于导弹平台测试系统, 需求描述就是系统测试项目或者功能的描述, 即用户能够运用系统提供的测试项目实现各种平台测试。用例图能够体现系统用户 (使用者) 与系统提供的用例 (测试项目) 之间的某种联系<sup>[6-7]</sup>, 借助用例图可以明确测试系统的各项测试需求、应用范围等。在具体的需求描述模型设计中, 采用椭圆表示用例即测试功能, 采用“人形”图符表示系统的用户, 用例和用户之间的连线表示二者之间的关联和信息交流。测试系统需要提供能够满足用户测试需求的各种平台测试, 包括稳定回路测试、调平回路测试、方位对准测试、漂移系数测试、姿态角测试、加速度等测试, 系统用例模型图如图 1 所示。

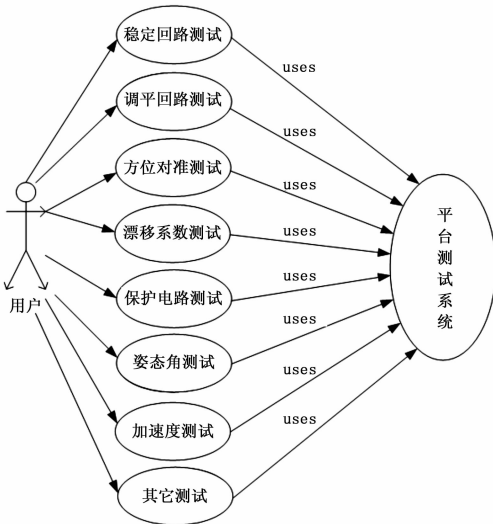


图 1 系统用例模型图

### 2.2 系统结构模型

平台测试系统涉及的硬件设备众多, 包括惯性平台、三轴摇摆台、驱动电源、信号采集装置、测试控制装置和方位对准装置等, 设备间相互关联。类 (Class) 是面向对象技术中最基本的元素, 类模型揭示了系统的结构。因此可以采用类模型进行系统结构建模, 具体方法如下: 首先细化用例模型, 提取系统中的类, 然后对类的属性和操作进行描述。

由需求描述的用例图可知, 各项测试依托测试系统进行, 因此, 可以建立测试类模型 (Test) 来统管不同子类, 各子类描述相应的平台测试项目, 具体而言, 根据图 1 的系统需求描述可设计为稳定测试类 (Sta-test)、调平测试类 (Hor-test)、对准测试类 (Aim-test)、漂移测试类 (Shift-test)、保护测试类 (Safe-test)、姿态角测试类 (Gtest-test)、加速度测试类 (Acc-test) 和用于功能拓展的其它测试类 (Oth

test)。另一方面, 根据测试系统的硬件设备组成建立不同的实体类模型, 包括惯性平台类 (Inertia-platform)、三轴摇摆台类 (Swing-rack)、驱动电源类 (Driving-force)、信号采集装置类 (Signal-collection)、对准装置类 (Aiming-device)、测试控制装置类 (Control-device)。测试类 (Test) 系统结构体系及相互关系如图 2 所示。

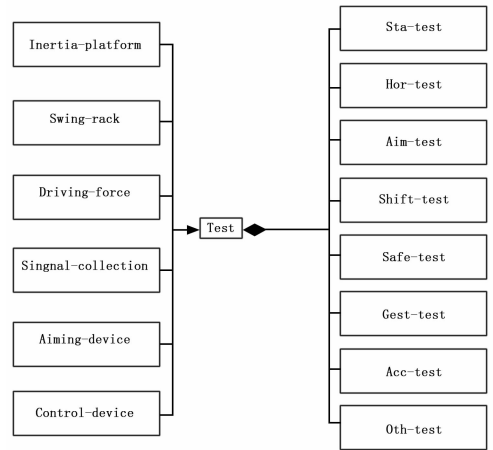


图 2 系统结构体系及关联关系

### 2.3 行为描述模型

厘清平台测试系统测试项目间的行为关系是建模的重要环节, UML 的顺序图也称序列图, 能够很好的描述系统系统内部和设备之间的交互情况, 体现设备间消息传递的时间顺序, 有利于快速建模和反复重用, 提高系统开发效率和设计效果。

平台测试系统工作时的行为顺序如下: 测试管理器将平台测试步骤转化成控制模型; 测试控制装置根据不同的测试控制模型制定相应的测试控制规则, 启动相应的电源输出电路驱动对准装置、惯性平台、信号采集装置等硬件设备; 三轴摇摆台给惯性平台提供三维空间位置, 模拟弹体飞行时各种姿态运动状态; 对准装置将基准对准信号传递给惯性平台; 惯性平台完成稳定、调平、漂移、对准等测试, 其输出信息由信息采集装置采集, 信息采集装置将信息转化后发送给测试控制装置, 测试控制装置对测试信息进行结果分析。这一行为过程如图 3 所示。

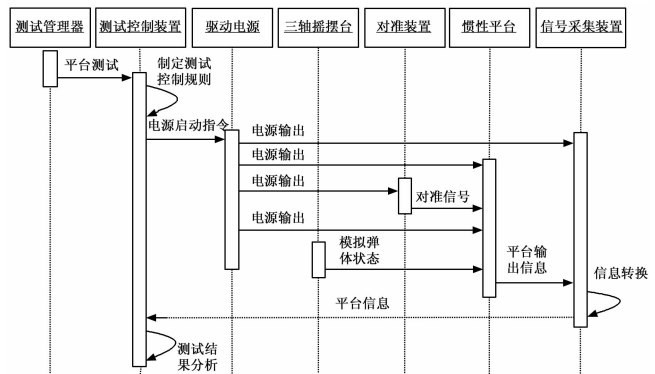


图 3 平台测试行为顺序图

## 3 系统结构设计

根据前文所建立的系统结构模型及行为描述模型, 平台测试系统的硬件支撑环境可设计为如下部分: 测试控制台、三轴摇摆台、惯性平台和对准装置。软件包括测试管理软件和测试软件两部分。系统结构如图 4 所示。

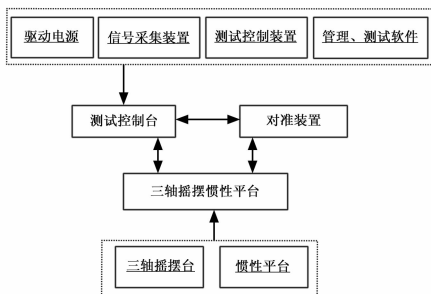


图 4 系统结构设计图

### 3.1 硬件结构设计

测试控制台是整个测试系统的核心，运行测试管理软件和测试软件，由对外接口、控制设备、供电控制、信号测试及人机交互等几大部分组成，通过测试电缆分别与平台、摇摆台以及对准装置连接。在平台测试过程中，由测试控制台中的嵌入式计算机发出各种控制指令与测试命令，用于操控测试进程，给系统提供各种工作电源、测试平台数据、显示测试数据和分析测试结果。其中供电控制电路将 AC220V 的输入电源根据一定的变换关系产生所需的各种电压，驱动平台、摇摆台工作；同时，给光路对准装置和人机交互设备提供电源。

三轴摇摆惯性平台为系统的重要部分，平台固定于三轴摇摆台上。三轴摇摆台是机电设备，由元器件、控制电机、角度传感器、机械安装支架等组成，能够实现三个方向上的转动。三轴摇摆台采用线性控制理论，使用电流传感器作为电流反馈器件、增量式光电码盘作为数字位置反馈器件、码盘信号经过 F/V 变换作为模拟速度反馈以实现典型的三回路闭环控制。摇摆台三轴均采用直流力矩电机直接驱动，采用光电编码器为测角元件，并装有寻零开关用于摇摆台的寻零操作。借助此摇摆台，平台测试系统可以提供地基座条件下的平台测试。平台采用导弹实装平台设备，由台体组合件、框架系统、基座、安装架及线路安装板等组成，在测试控制台的控制下闭合不同的平台测试回路，输出姿态角或者加速度信号给测试控制台采集，配合三轴摇摆台完成平台的各项测试。

对准装置通过激光发光器提供红色基准光路，设置光电传感器感知反射光位置。对准装置的核心器件是光源发射器，内含 1 个激光发射器和 4 个光电开关。装置外表面有 5 个光线收发孔，中间为基准光线发射孔（对应 1 个激光发射器，半径为 1 毫米），左右两边各均布 2 个孔（半径为 1 毫米），分别是正、负扫描接收孔和准直接收孔（对应 4 个光电开关），激光发射器、光电开关与接口导线联通。在进行平台瞄准测试时，基准光线发射孔里发出 1 束基准激光射向平台对准轴上的反射棱镜，当平台上的方位轴转动时，带动方位轴上的反射棱镜一起转动，将基准光线反射到对准装置上相应的接收孔里，使接收孔里的光电开关由断开到接通，此动作信号通过测试电缆传输到测试控制台中，给出平台扫描或者准直等信号，完成瞄准测试。

### 3.2 软件结构设计

系统软件由嵌入式计算机和数据采集测试两个不同运行环境中的软件组成。

嵌入式计算机软件作为测试管理软件，是整个软件结构的中心，包括主控制软件、通讯软件和显示软件，采用了层次化、结构化的程序设计方法。软件采用 MCGS 嵌入版组态软件操作系统，开发平台采用 Visual C++ 7.0。数据采集测试

软件实现平台具体信号的采集与测试，以用户管理接口为主线程，将指令接收、实时采集、数据存储设定为子线程，在嵌入式计算机的控制下采集数据，通过串口通讯把测试结果传送给嵌入式计算机进行可视化显示。

## 4 试验结果与分析

为了验证设计的平台测试系统的测试效果，进行验证性测试。连接好设备间电缆，启动测试控制台、三轴摇摆惯性平台，登录用户界面，选择姿态角测试项目，系统开始自动测试，通过人机交互界面查看测试结果。为了模拟导弹飞行的空中姿态，测试控制台控制三轴摇摆台按照某种摇摆规律摇摆，使三轴摇摆台稳定工作于正弦波扫描方式。在控制三轴摇摆台动作的同时，测试控制台同时采集平台三轴上姿态角传感器发出实时姿态角，并且通过人机交互界面实时显示结果。姿态角测试界面如图 5 所示，测试界面包括 3 个方向陀螺仪、3 个方向姿态角传感器、3 个方向姿态角测量值、两个调平加速度计、平台瞄准阶段等信息。结果显示，测试系统实时测试出平台俯仰角 ( $\phi$ ) 与偏航角 ( $\varphi$ ) 的数值，同时也显示了俯仰姿态角传感器与偏航姿态角传感器处于工作状态，实现了平台姿态角的测试功能。

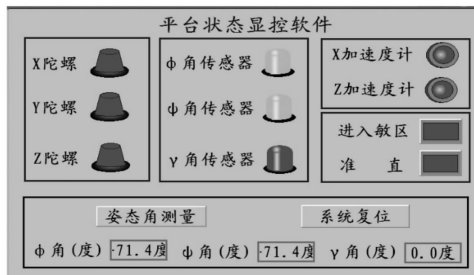


图 5 平台姿态角测试界面

## 5 结论

为了满足导弹平台测试的需要，本文将 UML 建模方法应用于导弹平台测试系统设计，在分析系统工作流程的基础上，构建了系统需求描述模型、结构模型和行为描述模型，并对系统的结构及实体布置关系进行了设计，有效提高了系统设计效率。设计出来的系统在实用性的基础上，还具有复用性及拓展性，能对其他多种型号导弹平台的性能参数进行测试。平台工作过程转化为测试控制模型是系统研制中的关键环节，尤其是测试控制模型应该具有可扩展性，这一方面的具体设计工作还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 翟兆松, 毛端海, 李世平. 惯性平台防倒台保护电路设计 [J]. 电子科技, 2010, 23 (11): 77-79.
- [2] 吴双磊, 刘洁瑜, 盛立昊, 等. 基于 PSD 的平台动态漂移测试新方法 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (9): 2394-2396.
- [3] 高迎彬, 胡昌华, 何华锋. 基于 FPGA 的惯性平台 嵌入式调平系统设计 [J]. 电子测量技术, 2011, 34 (6): 60-63.
- [4] 张建民, 韩根甲. 下视惯性平台瞄准线稳定的数理分析 [J]. 光学与光电技术, 2004, 2 (6): 55-58.
- [5] 刘 静, 朱志刚. 摇摆条件下惯性平台系统动态特性分析 [J]. 宇航学报, 2011, 32 (9): 1878-1883.
- [6] James Rumbaugh, Ivar Jacobson, Grady Booch. UML 参考手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [7] 李 欣, 贾 炯. 用例建模技术在需求获取中的应用研究 [J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27 (3): 251-253.