

# 测控应用软件系统资源复用研究

陈 晓 孙 军 刘志芳

(北京航天飞行控制中心 北京 100094)

**摘 要** 随着我国航天任务执行密度和并发度不断加深,测控软件准备实施的高效率能力面临考验。如何在缩短准备周期的同时保证软件高质量输出成为当前必须解决的问题。针对上述问题,结合测控任务需求特点,采用当前解决软件危机的研究热点“软件复用技术”的思想和方法,对测控应用软件系统进行复用构件提取以及复用行为实施,进而减轻软件负担,提升软件质量,保障航天器飞控实施。

**关键词** 测控应用软件系统,需求,架构,软件复用,构件

## Study on Reuse of TT&C Application Software System

CHEN Xiao SUN Jun LIU Zhi-fang

(Beijing Aerospace Control Center, Beijing 100094, China)

**Abstract** As China launches more space missions with a higher frequency, the efficiency of its TT&C software in space mission preparation is being put to test. How to shorten the preparation cycle while ensuring high-quality output is an issue that urgently needs to be tackled. Based on the framework of “software reuse technology” which currently is a hot research topic, this paper takes into consideration the demand features of TT&C tasks and proposes to ensure spacecraft flight control by retrieving reusable components from TT&C application software system and putting them into reuse in order to relieve software burden and improve quality.

**Keywords** TT&C application software system, Demand features, Framework, Software reuse, Component

## 1 前言

随着交会对接、空间实验室、探月工程、深空探测等一系列任务的全面展开,任务软件准备实施的高效率能力面临前所未有的考验。各类产品的高质量输出以及有效缩短准备周期是保障多任务密集、并发的必备条件,二者缺一不可,又相互牵扯和影响。针对二者的改进措施渗透在软件准备的各个环节中。

近年提升软件产品质量、提高开发效率、缩短研发周期,大致可从两方面入手——软件规范管理和软件技术改进。软件规范管理从近年的 9000 质量体系认证、5000 软件过程改进以及软件工程化等各层面都对软件研发周期中的所有环节和产品进行了标准规范,测控应用软件的规范管理日益成熟,不断改进。

另一方面,谈到技术改进“提高软件开发的效率和质量”,其中一个重要技术就是软件复用。本文结合各类测控任务自身需求特点,对测控应用软件系统资源进行复用分析,对复用技术在测控任务软件中的有效应用进行初步研究。

## 2 基本思想

复用概念最早于 1968 年在 NATO 软件工程会议上提出,近几十年,面向对象技术日益成熟,成为主流,为软件复用提供基本支持,被视为提高软件生产效率和质量的现实可行的途径。

软件复用是在软件开发中避免重复劳动的解决方案,其出发点是应用系统的开发不再采用一切“从零开始”的模式,以已有的工作为基础,充分利用过去应用系统开发中积累的知识和经验,将开发的重点集中于应用的特有构成成分。软件复用减少重复劳动,从而降低开发成本,提高开发效率;同时,通过复用高质量软件,降低开发风险,提高软件质量以及软件的可维护性。

以往的飞控任务按部就班,一、两年一次,任务准备周期相对较长,存在软件“从零开始”的可能。随着后续一年多次并发的严峻形势,最直接的结果就是准备周期缩短。时间的缩减会不会影响软件产品的质量进而影响任务的执行呢?如何有效缩短准备周期,同时确保软件质量并提高软件开发效率成为当下必须思考的问题。

准备时间缩短,最直接的第一反应就是减少重复劳动。基于多年软件开发的惯有思路,自然产生:“提取大家共有的成为产品后进行共用;充分利用已有成熟的并经过验证的软件,必要时进行优化、封装成为产品;特定任务专有应用的实现应该成为后续软件准备的重点”等思想。而这些解决思想也正好与上面简述的“软件复用”概念完全吻合。

目前,“软件复用”作为一种有效解决软件危机的手段,成为软件工程中的研究热点。

## 3 测控应用系统软件复用研究

软件复用的核心活动包括两部分:可复用资源的制作与

陈 晓(1972—),女,高级工程师,主要研究方向为航天测控、软件工程,E-mail:fk@bjedu.gov.cn;孙 军(1971—),研究员,主要方向为航天测控、软件工程。

将这些资源有效运用到新系统的开发中。存在大量可复用的构件是有效使用复用技术的前提。

在复用概念出现之前,子程序的概念已初步体现出复用的思想,进而出现了通用子程序供程序员编程时使用,最直接的软件复用资源就是源代码复用。实际上,软件系统的开发过程贯穿需求分析、设计、编码、测试、维护等各阶段,每个阶段都可能存在重复劳动。

分析传统工业和计算机硬件产业成功的模式,人们逐渐认识到,实现软件的工业化生产解决软件复用的最基础因素就是软件构件,亦即软件工业化生产线上的产品。随着的对软件复用理解的深入,构件的概念已不仅仅局限于源代码构件,而是延伸到需求、软件的规则约、系统构架、文档、测试等对开发活动有用的信息。这些信息可统称为可复用软件构件。

### 3.1 需求复用

首先,任务需求。测控应用软件系统是各类飞控任务的基础保障。测控软件的更动来源主要有两类:(1)任务需求变化;(2)软件本身技术优化。其中任务需求变化是最直接、最主要的因素。而软件优化中的部分工作也是为了满足任务新需求。

纵向来说,同类任务的需求是阶梯式递进的,后一次在前一次验证成功的基础上增加新的需求。由此,上一次已验证过的任务需求即是可以复用。

横向比较,不同任务之间的测控任务需求同样存在复用的元素。测控系统作为分系统,在任何一个任务中都是必不可少的,核心都是完成上下行数据传输与处理,上行用于航天器控制,下行用于航天器状态监视,每种任务存在数据内容、格式的不同而已。由此,下行:数据接收、处理、分发;上行:遥控组帧、发送、比判;任务数据的存储、显示、查询等任务需求其实是共性的,是各类任务共有的,完全可以复用或者部分复用的。

因此,任务需求变化是源头,直接影响、牵扯到软件需求变化,直至后续一系列的软件活动。从开始的软件架构,需求、设计、编码直至测试,都是因任务需求变化而引起的连锁更动。由此想到,既然任务需求是软件变化的源头,那它的复用也应该能带来下游系列软件活动的连锁复用。

### 3.2 系统构架复用

需求明确后的软件架构至关重要,对于进行高效的软件工程具有非常重要的意义。通过对软件构架的研究,有利于发现不同系统在较高级别上的共同特性;在基于复用的软件开发中,软件构架可以作为一种大粒度的、抽象级别较高的软件构件进行复用。软件架构是对系统整体结构设计的刻画,包括全局组织与控制结构,构件间的通讯、同步和数据访问的协议,设计元素间的功能分配,物理分布,设计元素等。

(1)系统组成复用。基于上述分析的各类任务在系统级别的共有特性(都必须完成的任务需求),软件系统的组成是可以部分复用的。如嫦娥三号任务测控应用软件的架构组成中,前端数据分发、调度监控、数据收发、遥测遥控、显示、轨道计算等软件组成都被继承下来,只增加了完成巡视器遥控操作任务新需求的遥操作软件子系统。

(2)多任务/多目标软件分层架构的复用。在后续各类飞控任务中,多目标甚至多任务并发成为必然。遵循测控应用

软件复用继承,持续发展思想,满足多任务/多目标需求,提出软件分层思想,设计构建多任务/多目标地面测控软件体系,尝试解决多目标协同控制任务并发的任务软件支持问题。不同层次的软件对任务的支持能力不同,实现航天测控业务软件实时、动态组建,易配置、可扩充,如图1所示。

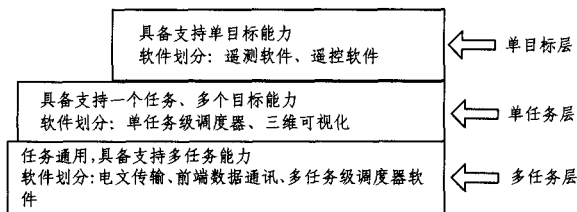


图1 多任务/多目标分层架构

目前,这种分层架构软件体系在载人航天交会对接测控应用软件系统的应用中,得到了很好的验证。探月工程测控软件体系复用上述架构,支持两个目标探测器的控制。

(3)测控应用软件系统软件工作模式复用。这里主要有两个元素:

1)系统运行模式复用。基于飞行程序的计划驱动一直是测控应用软件系统执行任务的工作调度模式。软件系统采用基于统一调度的时间计划驱动方式运行。尽管存在编排繁琐、调整不灵活等弊病,但这种模式在历次各类任务中应用,围绕计划展开的各个软件运行环节相对磨练成熟。因此在任务总体工作模式不变的情况下,其被复用。嫦娥三号任务测控应用软件系统中,两器分离前以及分离后着陆器控制的软件工作方式复用上述模式。

2)测控应用软件系统通讯机制复用。测控应用软件系统中部件间通讯手段主要有3种:电文传输、文件传输、全局段访问。这部分软件是系统中各个部件间信息交互的核心。上述通讯机制实现是脱离具体任务内容的,由专业软件进行统一封装和管理,并提供公共服务调用,充分体现了封装、继承的复用思路。这套通讯机制甚至在各类任务中都可以直接复用。

(4)测控数据接口描述处理模式复用。

1)测控数据接口定义、描述机制的继承和复用。以往采用二进制数据块或者高级语言数据结构方式进行接口定义,存在很多弊病:“平台依赖性强”、“不具备自描述性”、“数据交换存在不安全性”、“接口与软件的耦合性高”,使得软件系统的适应性和扩展性很差。不同任务异构环境接口复用风险大。以自描述性标记语言XML为基础,结合测控数据自身特点,设计采用测控标记语言(TTCLM)的接口定义和处理机制很好地解决了上述问题,同时使得不同任务异构环境下的测控数据复用成为可能,如图2所示。

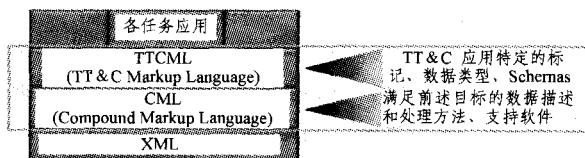


图2 TTCLM测控标记语言

2)为配合测控标记语言(TTCLM)的接口定义和处理机制更好地得到应用,实现了完全支持该模式的开发库软件,统一接口使用的同时解决了传统测控数据接口模式的效率和安全性问题。

上述测控标记语言(TTCLM)的接口定义和处理机制复用于交会对接以及探月工程的测控应用软件系统中。

### 3.3 软件部件复用

上述两节的复用都是系统层面的软件复用。进一步分析在各个软件组成(这里称为软件部件)的功能实现中有哪些是可复用的。

#### (1)部件整体架构复用

在提高软件多任务/多目标支持能力的过程中,不仅仅对测控应用软件系统进行系统构架改革,各部件在完成各自专业领域工作时,也会面临相同问题。为满足任务新需求,势必对部件的全局组织、控制机制、数据结构进行重新设计、实现。

如:指挥显示子系统,引入“数据处理和页面显示分离”新思想,采用全新的“平台+插件”的软件体系结构(见图3),将通用的、相对固定的功能设计为平台,将任务相关的部分设计为插件。在面对不同任务时,平台部分可以保持不变,只需要重新编写或修改任务相关的插件部分即可。

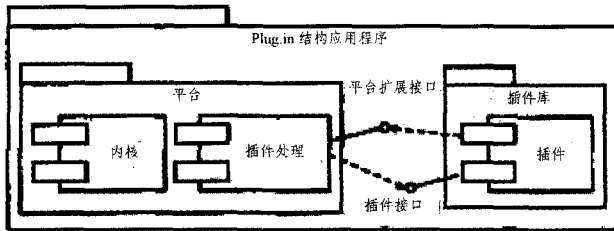


图3 “平台+插件”的软件体系结构

此设计也很好体现了软件复用的真正含义:“为了支持软件在应用层的演化,重复使用‘为了复用目的而设计的软件’的过程”。

#### (2)部件功能组成以及处理流程复用

测控应用软件是服务于飞控任务的,任务需求直接产生软件需求。而软件需求分派在各软件部件里也就是软件功能。如上行控制(遥控),从任务流程上来说,一条指令的上行经过如下几个最主要的环节:输入指令→加密→组帧发送→执行效果比判→相应结果显示,由此产生遥控软件的基本功能组成和各功能组成之间的数据流和控制流的主线:指令序列管理+加密+组帧发送+执行比判+监控显示。每个任务的上述遥控基本流程类似,因此这些任务共性类的功能组成以及部件数据流和控制流主线是被复用的。

#### (3)部件内部成熟处理机制复用

在做软件概要设计时,为提高软件效率、减少重复劳动,需设计实现一些处理机制。

如:遥测软件的参数统一装订机制,使频繁变化的遥测参数信息只在数据库描述表中进行更动,软件程序无需进行修改,以减少软件更动负担以及不安全性。

再如:指挥显示软件的统一任务数据描述模型,将多任务、多目标、多来源数据以统一方式进行描述,对用户屏蔽任务数据的细节,增强页面编辑的可操作性,同时保证系统的安全性。

这些都是为了复用目的而设计实现的优化处理机制,经过任务实战验证,技术相对成熟,复用于不同任务中。

#### (4)公共服务

公共服务顾名思义,完成共用功能实现后产生统一接口,提供给大家调用。在公共层面上建立的软件实现必然是被复用的。

## 4 后续需进一步研究的问题

以往在历次飞控支持软件的准备过程中,软件复用技术基于碰到问题、解决问题的改进方式也在点点滴滴地积累与提高。但总体感觉,缺乏一个统一的指导思路,对以往积累的改进点也没有系统地进行整理分析与提炼而最终形成规范的可继承的产品。多年积累的宝贵资源没有最大限度发挥出应有的功效。

我们对软件的复用行为早期仅仅是重复使用“并非为了复用目的而设计的软件”的过程,或者在一个应用系统的不同版本间重复使用代码的过程。如:使用上次任务版本的软件作为基础,根据任务需求加入新的软件功能来适应任务需求变化,是软件维护或者软件改造。又如:以某个平台软件为基础,修改平台相关部分,运行于新的平台是软件移植等等,这些实际是“软件重复使用”的概念,不是真正的复用行为。

近年,才逐渐将复用的本质概念贯穿于软件准备中:真正的复用行为是为了支持软件在应用层的演化,是将软件(或其中的构件)用于其他应用系统中,且新系统具有不同功能和用途。复用是指重复使用“为了复用目的而设计的软件”的过程。

本文结合测控任务自身特点,仅对当前测控应用软件系统的复用应用做了初步的分析和总结,离真正系统有效地将复用技术应用于航天测控领域还有距离。

软件复用过程其实包含了多项关键技术因素:软件构件技术、领域工程、软件架构、软件再工程、软件过程、CASE技术等等。每一个关键因素都是一类专项技术。

学习运用复用关键技术,结合测控应用特点,如何系统地进行测控软件复用资源(构件)的获取;设计与实现以复用为目的的构件;统一管理复用构件从而形成相对稳定的产品以及如何有效地将其应用到各类测控应用软件系统中都是后续需要研究的重点内容。

## 参考文献

- [1] 杨美清,梅宏,李克勤. 软件复用与软件构件技术[J]. 电子学报, 1999(2):69-71
- [2] 杨美清,王千祥,梅宏,等. 基于复用的软件生产技术[J]. 计算机科学, 2001,4(21):363-370
- [3] 陈菲,刘克勤. 计算机软件复用技术研究[J]. 现代电力, 2002,19(6):95-101
- [4] 史浩辉,何炜. 基于构件的指控软件复用[J]. 计算机技术与发展, 2011,2(21):160-165
- [5] 刘述忠. 软件复用-提高计算机软件质量与效率的途径[J]. 中国金融电脑, 2002(2):20-22
- [6] 刘艳艳,罗克露. 基于特定领域软件体系结构的软件复用[J]. 计算机信息, 2011(1):173-174