

# 基于观察者模式的气象卫星数据接收 与预处理调度机制研究

程朝晖<sup>1</sup> 朱杰<sup>1,2</sup>

(1. 中国气象局国家卫星气象中心 北京 100081; 2. 南京信息工程大学 南京 210044)

**摘要:** 针对多颗气象卫星数据在国内外地面站兼容接收及统一自动批量预处理的业务需求,基于观察者模式,设计了系统总体架构,构建了数据接收任务、质量文件传输、预处理与分发作业运行调度机制,实现了有效协同各种资源,对气象卫星多个有效载荷观测数据进行同步自动批量接收、传输、预处理与分发。经过实践检验,该机制简化了设计,降低了耦合度,增强了系统健壮性,满足业务调度的灵活性、可靠性、时效性要求,同时监视界面直观明了,可操作性强,为气象与气候领域的科学研究提供了持续有效的海量数据支撑。

**关键词:** 观察者模式;气象卫星;数据接收与预处理;调度机制

**中图分类号:** TP391.9; TN919.6 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.52040

## Study on scheduling mechanism of acquisition and preprocessing of meteorological satellite data based on observer pattern

Cheng Zhaohui<sup>1</sup> Zhu Jie<sup>1,2</sup>

(1. National Satellite Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China;

2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** According to the business requirements for the meteorological satellites data acquisition and automatic batch preprocessing, a new scheduling mechanism on acquisition and preprocessing of meteorological satellite data based on observer pattern is proposed and implemented, and the overall architecture of the system is designed. The results of application test prove that the design is simplified and the degree of coupling is reduced, the robustness of the system is enhanced, and can meet the performance requirements (flexibility, reliability and timeliness). It realizes the automation of acquisition, transmission, preprocessing and dissemination of meteorological satellite data, and the monitoring interface is in good visualize and can be manipulated easily, providing effective and continuous meteorological observation data for scientific research.

**Keywords:** observer pattern; meteorological satellite; acquisition and preprocessing; scheduling mechanism

## 0 引言

气象卫星,通过搭载多种技术领先的有效载荷,为军民用户持续提供全球多种气象与气候观测数据<sup>[1]</sup>,并支撑相应的科学研究。目前,我国采用“多站一中心”的地面数据接收及预处理格局,由分布在国内外的多家地面站完成卫星广播原始数据的接收任务<sup>[2]</sup>,同时将接收到的数据通过网络传输到位于北京的集成运行控制中心,实现数据的汇集、预处理、分发与存档<sup>[3]</sup>。随着气象卫星成系列成批次的发展,业务规模不断扩大,数据量激增、数据预处理质量和时效要求越来越严格<sup>[4]</sup>,给地面数据接收与预处理调度系统的设计带来前所未有的挑战。

在面向对象(object-oriented)软件设计开发过程中,遵循“对程序修改关闭,对程序扩展开放”的原则<sup>[5]</sup>可以保证软件开发质量,提高软件开发效率,增强系统的健壮性。观察者模式是符合此设计原则的经典模式,因而广泛应用于各类软件架构设计中。刘小凡等人<sup>[5]</sup>介绍了观察者模式在监测软件开发中的应用,由于主题和观察者之间采用松耦合的方式结合,因而有效简化了开发难度,同时增强了系统健壮性。欧阳宏基等人<sup>[6]</sup>对观察者模式在Java事件处理中的应用进行研究,分析了此种设计模式各组成部分和应用场景,探讨了各种角色之间的3种转换关系,有利于构建具有良好扩展性的系统。将观察者模式的设计理念,应用

于气象卫星数据接收与预处理调度的实例还不多见,因此本文以实际业务需求为背景,将观察者模式应用于气象卫星数据接收与预处理调度机制的设计中,构建了相应的数据接收与预处理分发作业调度机制。通过简化设计,降低耦合度,协同调度多种资源,实现了卫星数据接收任务规划、分布式多家地面站接收卫星数据及质量文件的批量传输与拼接、数据解包与预处理、数据存档与分发全流程的自动运行,同时具备人工干预能力且可对运行关键节点跟踪监视和报警,满足业务考核的灵活性、可靠性、时效性要求,并可推广至其他气象卫星数据接收和预处理的调度设计中,增强了集成运行控制中心对国内外分布式地面站的一体化管控能力,为气象与气候领域的科学研究提供持续有效的海量观测数据。

## 1 观察者模式

观察者(observer)模式又称发布-订阅(subscribe)模式,通过建立一对多的依赖关系,当“一”变化时,依赖这个“一”的“多”也随之同步改变。“一”被称之为主题或目标(subject),“多”被称之为观察者(observers)<sup>[6]</sup>。在实现上,多个观察者对象同时监听某一个主题对象,若该主题对象状态发生变化,则会通知所有观察者对象,观察者对象们会随之自动更新自身相应的状态和数据,对主题的变化做出响应。

在观察者模式中,有3种基本的操作,即注册、通知和注销<sup>[7]</sup>。注册即是指观察者类调用主题的注册方法,在主题类中登记;通知即是指当主题的状态或数据变化时,主题会自动向已注册的观察者发送通知消息;注销即是指当观察者不需要继续观察主题时,执行主题类的注销操作,解除对主题的观察。

如图1所示,主题对象中含有需要监测的实时变化的数据,对象1、对象2和对象3均已注册成为了观察者对象,对象4没有注册成为观察者对象。随着主题对象中的数据实时改变,系统会自动通知所有已注册的观察者对象(即对象1、对象2、对象3),使其知悉现状并做出响应。由于目前对象4没有注册成为观察者对象,因此主题状态变化时,系

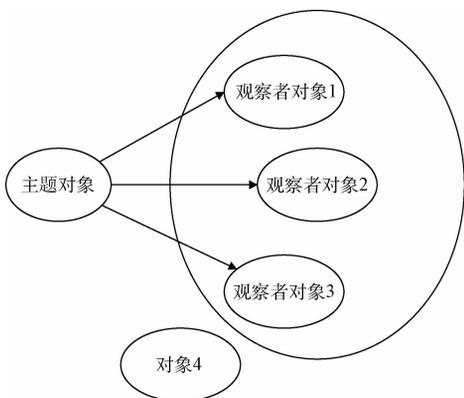


图1 观察者模式示意图1

统不会通知对象4。随着业务的需求变化,可灵活更改对象的“身份”,如图2所示,对象4注册成为了新的观察者对象,而对象3此时注销了观察者对象,成为了普通的对象。在观察者模式中,改变主题或者观察者的其中一方,并不会影响另外的一方,随时增加或减少观察者而主题自身不受影响,从而将观察者对象和主题对象解耦,实现了交互对象之间的松耦合设计,有效减少了对对象之间的依赖关系,使系统具备较高的可靠性、可扩展性、可复用性和可维护性。

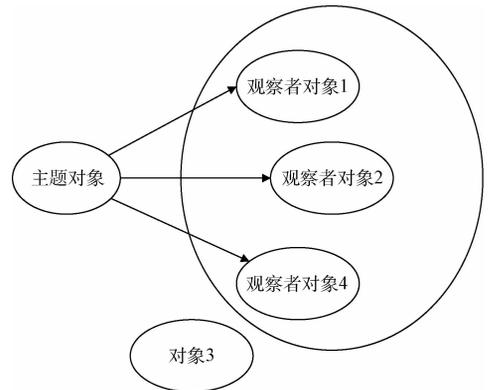


图2 观察者模式示意图2

## 2 基于观察者模式的气象卫星数据接收与预处理调度机制

### 2.1 总体架构设计

气象卫星地面数据接收与预处理分发作业调度需要完成对分布于国内外的多家地面站接收卫星数据任务计划时间表的制定与发送、接收卫星原始数据和质量文件的自动批量传输、拼接、解包、预处理、存档及向目标用户定制分发等任务,同时还具备对系统运行关键节点的状态实时监视的功能,且能够对异常进行报警,便于业务运行维护,总体架构如图3所示。

如图3所示,气象卫星数据接收与预处理总体调度实现了对如下4个子系统作业运行的自动集成调度与管理:

1) 多家地面站数据接收子系统:总体调度将制定好的卫星轨道接收时间表派发给多家地面站数据接收子系统,作为数据接收作业执行的唯一输入和依据。多家地面站数据接收子系统按照接收任务时间表完成对气象卫星数据接收、解调、进机<sup>[8]</sup>以及将卫星载荷源包数据(.org)及质量文件(.QUA)批量自动传输至预处理子系统;

2) 数据预处理子系统:完成对接收到的卫星载荷源包数据拼接、解包(组帧、排序、去重复等处理),生成L0级数据(.h5),经质检、定位定标等预处理操作<sup>[9]</sup>(需要定时下载外部辅助数据及调用第三方算法软件包<sup>[10]</sup>,C-SDR\_SPA1.4),生成包含多个有效载荷信息的L1级数据(.h5);

3) 数据存档与分发服务子系统:完成对数据预处理子系统生成的气象卫星数据的存档及对国内外目标用户的定

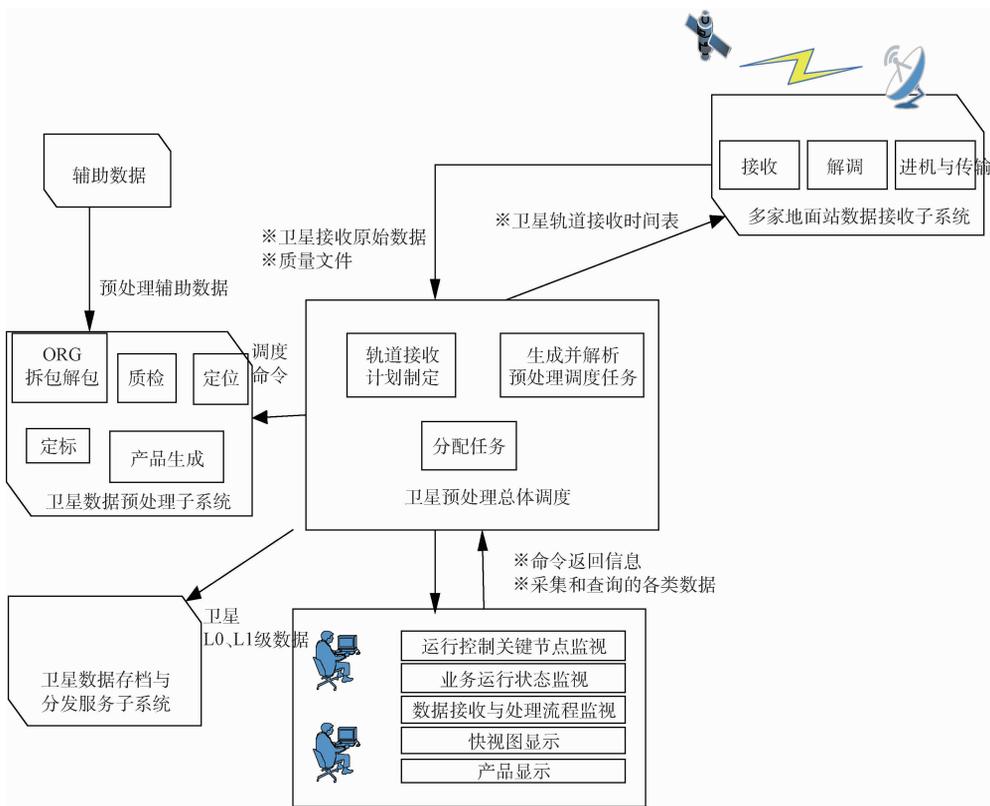


图 3 气象卫星数据接收与预处理作业调度系统总体架构

制分发服务；

4) 客户端人机交互子系统：完成对气象卫星数据接收及预处理各环节运行质量的统计分析等辅助功能，具备卫星多轨拼接投影快视图像及预处理产品历史/实时显示功能，同时对系统运行软硬件环境、运行关键节点的状态实时跟踪监视，且能够对异常进行报警。

气象卫星数据接收与预处理分发调度涉及的数据信息流程如图 4 所示。构建统一的数据字典，在上述子系统间按照业务逻辑自动调度卫星过境轨道接收时间表文件、地面站接收的原始卫星数据和质量文件、经过解包后的多载荷 L0 级数据(Level-0)、经过质检、定位后的 L1 级数据(Level-1)<sup>[11]</sup>、快视图及多轨拼接投影产品、运行关键节点监视信息、存档及分发数据等各类数据信息，满足业务要求的功能。

### 2.2 关键技术分析

基于上述对气象卫星数据接收与预处理调度总体架构和数据信息流程的设计，在技术实现上，如图 5 所示，主要提炼出以下 3 点关键技术：

1) 采用观察者设计模式，符合高内聚、低耦合的设计原则，提高系统可靠性。

以 Eclipse Java EE IDE for Web Developers (Version: Luna Service Release 1 (4.4.1)) 为开发平台，在数据驱动下，以业务运行状态模型(statusmodel)作为“主题对象”，

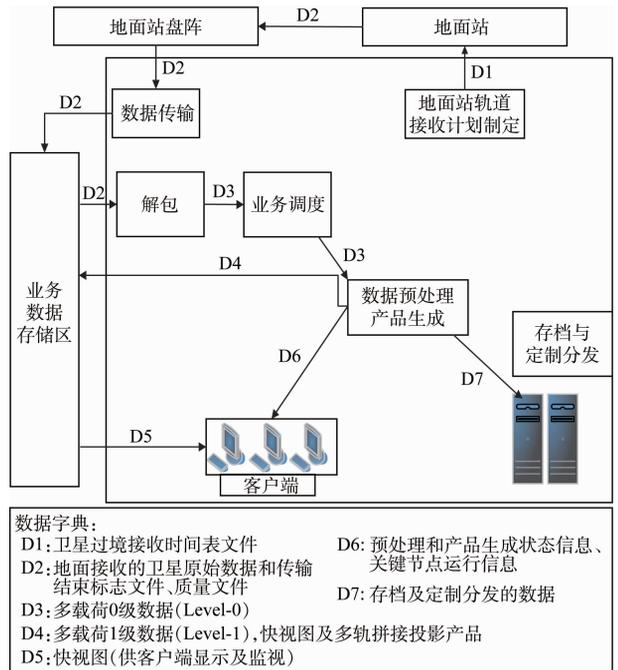


图 4 气象卫星数据接收与预处理调度数据信息流程

其中含有需要监测的实时变化的数据，即业务运行状态，包含等待、正在运行、错误、成功、取消 5 种场景状态字；以

创建的工作流(workflow)中的每项工作(即 job,分别定义卫星数据接收任务调度、卫星接收数据及质量文件传输调度、质检及定位定标数据预处理及定制分发调度3个核心环节)作为观察者对象,以数据产生时间戳(精确到秒级)作为每个工作流 job 唯一 ID,多个观察者对象(多个 job)采用“观察(订阅)”的方式同时监听主题对象,后一 job 需要观察前一 job 执行结果来决定是否开始执行,而前一 job 无需关心后面有哪些 job“观察(订阅)”它;若该主题对象状态发生变化,即业务运行状态发生变化,则会通知所有观察者对象,观察者对象们会随之根据针对不同卫星载荷分别配置好的处理策略(模板)自动完成自己的工作,更新自身相应的状态和数据,对主题的变化做出响应。每个观察者对象同时需要上报自身作业执行状态,统一在工作状态显示文件 WorkflowStatus.xml 中动态更新,以便在客户端人机交互子系统进行显示监视。

2)调度策略参数配置可插拔,提升系统灵活性。

调度策略参数采用 XML 文件可插拔配置的方式设计,例如,卫星接收原始数据传输切块粒度参数,可根据网络带宽变化灵活配置,通过动态调整切换文件的大小,提高带宽利用率,高效传输数据;接收卫星优先级选择、地面站多套天线服役调度、接收设备参数配置等信息,同样均可通过配置文件灵活设置,以满足不断变化的业务应用需求。

3)设计超时管理机制,增强系统鲁棒性。

若某一流程节点运行异常,无法在规定的时间内完成任务,则调度系统会在运行时间超过设定的阈值后,放弃等待,直接取消后续未完成的作业,并给出警告,避免了全系统的瘫痪。

通过上述3点关键技术,简化了设计,降低了各环节间的耦合度,实现了配置可插拔,在可靠性与灵活性方面满足了业务需求,通过超时管理增强了系统健壮性,使得系统可以有序协同多种资源,高效率完成海量卫星数据接收与预处理分发任务。

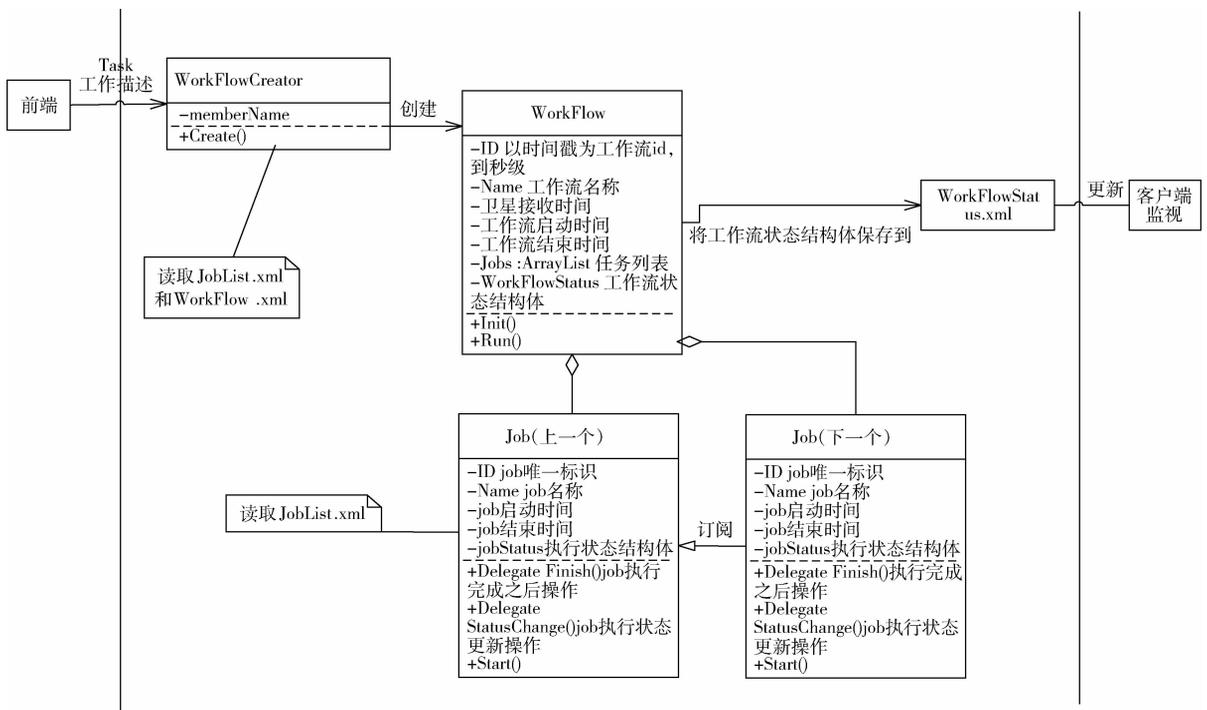


图5 气象卫星数据接收与预处理分发调度设计

调度软件层级结构分为业务逻辑层、数据采集层和人机交互管理层,如图6所示。

业务逻辑层是运行控制的核心载体,实现系统运行调度,完成卫星轨道接收任务时间表生成与发送,并实现对各子系统的通信和各类状态数据的管理等功能。

数据采集层是业务逻辑层和人机交互管理层之间的桥梁,实现各类业务运行状态数据的采集,并将对应的信息发送到相应的客户端,同时对命令控制提供可靠的通信链路。

人机交互管理层满足各级别用户对系统的监视和管理要求,实现计划和时间表显示、系统运行状态监视、数据处理状态监视、数据和产品监视等功能。同时通过严格的安全控制实现系统管理功能。对于系统运行情况提供检索和统计分析的功能,实现对系统运行状态的全面把握。

在上述对调度总体架构、各子系统的功能、接口关系、数据信息流程、层级结构和运行模式设计与分析的基础上,进一步研究了卫星数据接收任务、卫星数据及质量文件传输、卫星数据预处理与分发3个核心环节的调度

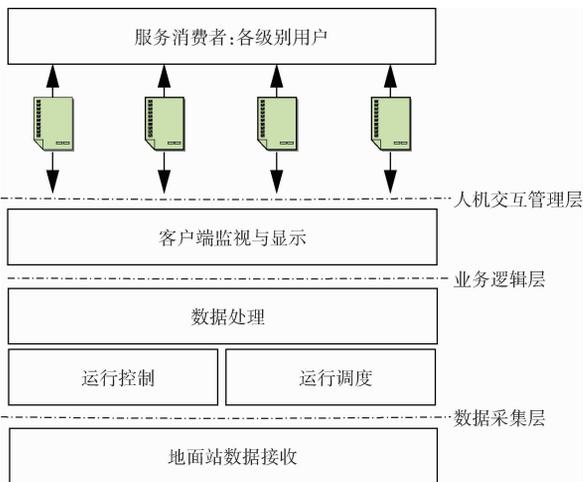


图 6 气象卫星数据处理与分发调度软件层级结构

策略。

### 2.3 卫星数据接收任务调度

卫星接收任务时间表是各地面站接收设备对卫星广播数据自动、准确接收的依据和前提, 通过从官网<sup>[12]</sup> (ftp://is. sci. gsfc. nasa. gov/ancillary/ephemeris/tle), 每天自动定时下载最新的两行轨道报文件<sup>[13]</sup> (two line elements, TLE), 结合卫星轨道运动理论和坐标几何转换, 进行气象卫星过境国内多家地面站接收圈的逐条轨道信息预报, 包含卫星代号、接收轨道号、升降轨标识、地面站站标、接收使能标志、过境接收起止时间、数据传输起止时间、出入境方位、俯仰角度、是否与其他卫星接收冲突等内容, 最终生成数据接收任务时间表文件(示例如图 7 所示), 对数据接收计划做出预报, 并通过 FTP 方式定时自动推送给各地面站, 作为地面站数据接收的输入和指导。

```
<Schedule>
<Num>17</Num>
<SatID>NPPA</SatID>
<OrbNum>29066</OrbNum>
<ADFlag>A</ADFlag>
<GrndStaID>JM</GrndStaID>
<RecvFlag>1</RecvFlag>
<GrndStaLevel>1</GrndStaLevel>
<TransferMode>
<Name>HRPT_MPT</Name>
<BeginTime>2017-06-07 03:22:03</BeginTime>
<EndTime>2017-06-07 03:34:28</EndTime>
<TransBeginTime>2017-06-07 03:22:03</TransBeginTime>
<TransEndTime>2017-06-07 03:34:28</TransEndTime>
<OverlapFlag>0</OverlapFlag>
<TopAzi>67.020</TopAzi>
<TopElv>45.227</TopElv>
<BeginAzi>141.782</BeginAzi>
<BeginElv>5.000</BeginElv>
<EndAzi>353.674</EndAzi>
<EndElv>5.000</EndElv>
<BlockFlag>>false</BlockFlag>
```

图 7 气象卫星数据接收任务时间表示例

随着业务规模的不断扩大, 多卫星多地面站数据接收任务优化匹配愈发重要, 对提高卫星数据接收质量和地面站设备资源利用效率都有重要意义。卫星数据接收任务

可抽象为如下 7 元组的形式描述:

$$J = (id, sat, station, start, end, confliction, value) \quad (1)$$

式中:  $id$  为数据接收任务唯一代号;  $sat$  为卫星标识;  $station$  为地面站标识;  $start$  和  $end$  分别表示数据接收任务的起止时间;  $confliction$  表征数据接收任务间的冲突情况。基于业务实际, 定义当前轨道的数据接收起始时间与上一轨道数据接收任务的结束时间差  $< 5 \text{ min}$  为冲突(即  $start_i - end_{i-1} < 5 \text{ min}$ )<sup>[14]</sup>;  $value$  表示地面站执行当前数据接收任务所获得的收益。

设数据接收任务集合为 JOB, 任务规划调度的目的就是 从 JOB 中选出一个子集 JOB\_DO, 并确定 JOB\_DO 中各个任务的数据接收起始时间  $start$ , 使得 JOB\_DO 中所有数据接收任务不冲突, 且接收任务集合综合收益(benefit)最大, 即建立如下目标函数<sup>[15]</sup>:

$$Benefit = \sum_{j \in \text{JOB\_DO}} j \cdot value \rightarrow \text{MAX} \quad (2)$$

鉴于目前我国气象卫星业务系统应用需求, 数据接收任务调度设计中, 依旧采用基于地理位置、电磁环境、设备资源配置和数据接收质量等因素综合评定出的各地面站固定优先级。

### 2.4 接收数据及质量文件传输调度

从分布式多家地面站的共享盘阵上将接收到的气象卫星载荷源包数据(.org)和质量文件(.QUA)通过专有网络传输到集成调度中心, 其信息流程如图 8 所示。

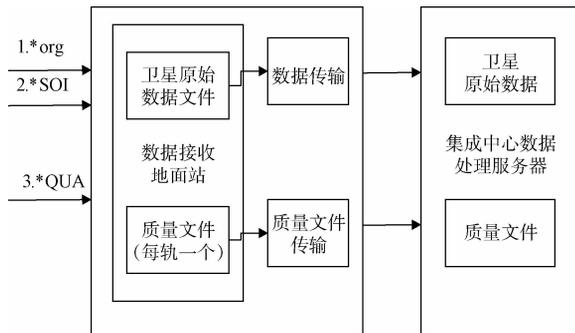


图 8 气象卫星载荷源包数据和质量文件传输信息流程图

多家地面站接收的卫星原始数据和质量文件传输问题描述所示如式(3)所示。

地面站  $k$  的所有数据传输任务集合可以表示成  $GS^k$ ,  $\forall i \in GS^k$  均可以表示为:

$$i = (t_s^i, t_e^i, size^i, rank^i, band^i) \quad (3)$$

式中:  $t_s^i$  表示数据传输任务  $i$  的开始时间;  $t_e^i$  表示数据传输任务  $i$  的结束时间;  $size^i$  表示数据传输任务  $i$  中数据量的大小;  $rank^i$  表示数据传输任务  $i$  的重要程度;  $band^i$  表示为数据传输任务  $i$  建立的通信链路带宽。

技术实现上, 目前基于业务应用需求, 将卫星数据接收任务划分为核心主线业务和辅助支线任务两类, 即传输

任务重要程度参数固定;为高效利用有限的带宽,数据传输程序主要负责将分布于国内外的各家地面站接收的气象卫星下行链路原始数据传输到调度中心,传输机制按照“切块并行传输再组合拼接”的策略设计,同时切块粒度可在配置文件中灵活设定,将拼接后并按照多个有效载荷格式解包生成的L0级数据(.h5)作为后续数据预处理环节的输入文件;质量文件传输程序则负责将各地面站各轨的接收质量文件(包含接收总包数、好包数、坏包数、接收成功率等信息)传输到调度中心,以备客户端人机交互子系统监视数据的接收质量。这两个程序都是自动运行,通过实时扫描盘阵相应目录读取文件,以数据传输结束标识文件(.SOI)为驱动实现传输的终止。

## 2.5 数据预处理与分发调度

数据预处理与分发实现对气象卫星从L0级数据至L1级数据及产品的处理(包括质检、定位、定标等处理)与分发全过程<sup>[14]</sup>的整体调度和控制管理,同时跟踪关键任务节点的执行状态,生成对应的状态信息文件,以供监视。为提高系统的灵活性,在技术实现时,按照“以自动调度为主、人工命令调度为辅”的原则设计,常规业务场景下均是自动进行每项工作流程的调度,当异常出现时,启用人工命令调度模式,系统可以根据满足权限要求的操作员的命令实现处理流程的人工管理和控制。调度以串行方式进行,采用数据驱动与超时限制双重控制方式。

以NPP(national polar-orbiting partnership)卫星ATMS(advanced technology microwave sounder,先进技术微波探测器)载荷<sup>[4]</sup>为例,预处理命令示例如图9所示。

```
$ ./wrapper/ATMS_C-SDR/run \
atms.rdr \
./testdata/input/RATMS-RNSCA_npp_d_20150828_11948177_e1956177_b19869_c20150829015641940338_ncaa_ops.h5 \
atms.fatms ./testdata/output/FATMS.h5 \
atms.gatmo ./testdata/output/GATMO.h5 \
atms.satms ./testdata/output/SATMS.h5 \
atms.tatms ./testdata/output/TATMS.h5 \
sdr.lut ./testdata/input/ATMS-SDR_BE_LUTs_150416.tar.gz \
tle ./testdata/input/drl.tle.2015082813 \
polar ./testdata/input/off_USNO-Polar/Wander-UT1-ANC_Ser7_USNO_000_20150828_2015082800002_20150828000032_eo201508041200002_rp.asci \
leapsec ./testdata/input/leapsec.2015083101.dat \
compress off
```

图9 气象卫星数据预处理命令示例

## 3 业务实例

基于上述设计方案,以NPP气象卫星为例,开发了可以跨Windows和Linux平台运行的气象卫星数据预处理与分发调度业务软件,界面示例如图10所示,主界面显示内容涵盖了卫星轨道号、卫星过境数据接收及预处理时间区间、数据量、卫星多载荷多家地面站预处理及分发作业状态、载荷L1级数据快视图、硬件支撑环境监视、预处理及分发作业流监视及日志等信息,子界面包括选项配置、数据接收监视和数据处理监视3个模块。其中,选项配置

可基于业务需要,对数据接收与预处理分发过程的部分环节涉及的参数进行约束条件下的用户自主设置,且具备数据完备性检验机制;数据接收监视子界面如图11所示,主要包含全天内佳木斯(JM)、广州(GZ)、新疆(XJ)3家地面站接收NPP卫星的全部轨道信息(包含轨道号和轨道出入境时间、当前轨道接收状态以及数据接收质量评价等内容的显示);数据处理监视子界面如图12所示,用浮窗的方式显示NPP卫星当天全部轨道各有效载荷数据处理与分发各个作业的处理状态信息,并可对异常进行告警以及导入日志,便于值班人员监视和统计分析。



图10 气象卫星数据接收与预处理调度软件主界面示例

站名	站号	轨道号	入境时间	出境时间	接收状态	作业状态	分发文件数/包数	文件数	字节数	环境数
NPPA	JM	2949	2017-07-04 03:15:51	2017-07-04 03:28:05	成功	成功	--	147800	147800	1
NPPA	GZ	2950	2017-07-04 04:50:45	2017-07-04 05:02:37	成功	成功	100.00%	1385440	1385440	1
NPPA	JM	2950	2017-07-04 04:56:18	2017-07-04 05:08:14	成功	成功	--	1451520	1451520	0
NPPA	XJ	2950	2017-07-04 05:00:53	2017-07-04 05:08:04	成功	成功	--	978880	978878	2
NPPA	GZ	2951	2017-07-04 06:11:33	2017-07-04 06:42:04	成功	成功	100.00%	1310680	1310680	1
NPPA	XJ	2951	2017-07-04 06:13:16	2017-07-04 06:30:03	失败	成功	100.00%	1446220	1446199	1
NPPA	XJ	2952	2017-07-04 08:19:16	2017-07-04 08:29:24	成功	成功	100.00%	1279320	1279320	0
NPPA	JM	2956	2017-07-04 15:31:59	2017-07-04 15:40:31	成功	成功	100.00%	1042720	1042720	0
NPPA	JM	2957	2017-07-04 17:10:48	2017-07-04 17:23:44	成功	成功	100.00%	1558880	1558880	0
NPPA	GZ	2957	2017-07-04 17:28:34	2017-07-04 17:30:24	成功	成功	100.00%	1426320	1426320	0
NPPA	JM	2958	2017-07-04 18:51:56	2017-07-04 19:02:41	成功	成功	100.00%	1233680	1233680	0
NPPA	XJ	2958	2017-07-04 18:54:31	2017-07-04 19:05:41	成功	成功	100.00%	1353000	1353000	1
NPPA	GZ	2958	2017-07-04 18:59:04	2017-07-04 19:09:46	成功	成功	100.00%	1311520	1311520	0

图11 气象卫星数据接收监视子界面示例

经过业务实际检验,基于观察者模式的气象卫星数据接收与预处理调度机制实现了系统的“高内聚、低耦合”,可以协同多种资源,对气象卫星多个有效载荷观测原始数据进行自动批量传输、预处理与分发,并对异常告警,同时可通过友好的人机交互界面,方便值班员实时监视系统运行状态,满足业务调度的灵活性、可靠性、时效性要求。



图 12 气象卫星数据预处理及分发监视子界面示例

## 4 结 论

本文基于观察者模式,构建了气象卫星数据接收与预处理作业调度机制,对分布于国内外不同位置的多家地面站接收任务统筹规划、卫星接收原始数据及质量文件传输、卫星数据预处理与存档及定制分发全流程的调度与控制进行了系统设计,给出了总体架构和数据信息流程,提炼了关键技术,使得各环节实现了松耦合关系,从而增强了系统的健壮性,并通过了业务检验,在灵活性与可靠性上均满足业务要求,提高了多资源协调运行的时效性,为气象与气候领域的科学研究提供了有效的观测数据。未来,动态优先级场景下的数据接收和传输任务规划将成为工作的重点,使得调度更加智能化、科学化。

## 参考文献

- [1] 蔡菲菲,阎振宇,郎宏山. 卫星云图修复方法研究与实现[J]. 电子测量技术,2017,40(6):109-112.
- [2] National polar-orbiting operational environmental satellite system (NPOESS). NPOESS common data format control book-external volume VII-Part I-NPOESS downlink data formats[R]. D34862-07-01 Rev C. California, Northrop Grumman Space & Mission Systems Corporation, May 2010.
- [3] 张月维,单海滨,李楚洲. Suomi NPP 卫星直接广播

数据接收和预处理[J]. 气象科技,2015,43(1):53-58.

- [4] 胡民达,单海滨,李楚洲,等. 利用风云 3 号气象卫星接收系统实现 NPP 卫星数据的接收[J]. 广东气象,2017(1):71-76.
- [5] 刘小凡,俞金平,刘小会. 监测类软件设计中观察者模式浅析[J]. 仪器仪表与分析监测,2016(4):5-8.
- [6] 欧阳宏基,杨卫忠,赵蕾. 观察者模式在 Java 事件处理中的应用研究[J]. 微处理机,2013(8):77-79.
- [7] 范振钧,巩小东,王增强. 委托与事件在观察者模式中的应用[J]. 通化师范学院学报(自然科学版),2013(4):27-29.
- [8] 李楚洲,胡民达,肖华,等. 风云三号气象卫星接收天线的安装与标校[J]. 气象水文海洋仪器,2009,6(2):71-74.
- [9] Goddard Space Flight Center. International Polar Orbiter Processing Package (IPOPP) User's Guide Version 2.1[G]. Mayland: Goddard Space Flight Center, Feb 2013.
- [10] Goddard Space Flight Center. Real-time Software Telemetry Processing System (RT-STPS) User's Guide Version 5.3[G]. Mayland, May 2012.
- [11] 王晋年,顾行发,明涛,等. 遥感卫星数据产品分类分级规则研究[J]. 遥感学报,2013(3):566-577.
- [12] 李丹,于洋,刘小刚. 基于轨道根数的低轨卫星轨道预测算法[J]. 光学精密工程,2016(10):2540-2548.
- [13] 田思维,屈兴之,张媛媛,等. FY3 地面业务系统关键信息短信报警平台的设计及实现[J]. 气象科技,2016,44(6):907-912.
- [14] 王义,吴成茂,罗锦. 基于高分辨率卫星的影像预处理研究[J]. 铁道勘察,2015,4(8):11-14.
- [15] 姜维,郝会成,李一军. 对地观测卫星任务规划问题研究评述[J]. 系统工程与电子技术,2013,35(9):1878-1885.

## 作者简介

朱杰(通信作者),高级工程师,主要研究方向为卫星数据接收及处理。

E-mail:juliet0411@126.com