

新一代遥感数据中心建设的关键技术

施进明 钱建梅 林曼筠

(中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要 为满足大型业务发展需要,建设新一代数据中心已成为一种共识。根据国际正常运行时间协会(UI)的划分,数据中心从基础级、冗余部件级发展到可并行维护级和容错级,其可用性和可靠性得到明显提高。针对大容量遥感资料对于数据传输和处理高时效、系统计算负载和存储容量高增长的要求,在研究新一代数据中心(NDC; New Data Center)六大关键技术的基础上,重点对自动化动态资源部署、优化资源的利用效率、统一的基础设施管理、完善的资源和数据保护、信息技术架构的可扩展性、节能技术和产品等方面进行了应用与实践,促进了新一代遥感数据中心的成功建设。文章结合新型气象卫星风云三号地面系统的建设实践,阐述了新一代遥感数据处理中心建设中若干关键技术的实现方法。

关键词 卫星遥感数据处理 新一代数据中心 绿色节能

引言

气象卫星地面数据处理系统是集卫星实时监控、遥感资料接收与处理、业务信息管理、数据存储及卫星气象服务于一体的遥感数据中心,它由高速率数据接收系统、大型计算机集群、高性能通信与网络、大型数据库、海量数据存储、高时效预处理和反演应用软件组成。随着遥感卫星对地探测技术的飞速发展,如何可持续性地获得、处理、存储和利用不断增长的遥感数据,在实现业务的连续性、高可用、自动化与海量存储等多方面,给遥感数据中心的建设提出了新要求。

1 国内外气象卫星遥感数据中心发展回顾

20 世纪 60~70 年代,美国发射了几十颗极轨气象卫星,由于没有一个功能健全、技术成熟的应用系统,大量数据得不到处理,未能在天气预报业务中投入应用。70 年代后期,美国在阿拉斯加的 Fairbanks、华盛顿附近的 Wallops 岛和法国的 Lannion 建立了 3 个地面站,并在美国国家环境卫星、数据和信息服务处(NESDIS)资料处理和服务中心用大型计算机建成了资料处理系统,完成了卫星资料实时接收、数据传输、数据处理、存档和分发的一体化,从而使 NOAA 卫星资料在天气预报、气候和环境监测

等领域得到广泛应用,NOAA 卫星的巨大效益在全世界得到了公认^[1]。

我国第 1 个极轨气象卫星遥感数据中心是 1987 年建设的风云一号资料接收处理系统,由设在国家卫星气象中心的数据处理中心和北京、广州、乌鲁木齐 3 个地面站构成。3 个地面站的实时数据通过通信卫星 VSAT 系统汇集到数据处理中心进行处理、存档和服务。该系统采用了当时先进的技术,数据处理中心的计算机系统由 IBM 大型机(main-frame)组成,通过气象局专用通信系统进行产品分发,用磁带手工数据存档,连续正常运行了 10 年以上。1999 年该系统进行了全面改造,更新了接收系统,通信系统由 VSAT 系统改为光纤通信,计算机系统由大型机改为 SMP 系统为节点的 Cluster 系统,以 6 台 4 CPU 的 Unix 服务器为核心,通过网络联接组成分布式系统,使用大型自动磁带库进行数据存档和管理,通过气象局专用通信系统和网络进行数据分发和服务。这一系统不间断业务运行了 5 年多,为我国气象卫星遥感资料的处理与应用发挥了很大的作用。

2008 年前,我国气象卫星遥感数据中心在布局、结构和技术水平上与美、欧接近,但接收卫星的数据量较少,规模较小。2008 年气象卫星风云三号发射后,数据量和处理需求都近百倍增长,每天接收

汇集数据量达到 250 GB、处理原始资料和生成的产品容量达到 2 TB,应用要求和处理复杂度大为增加,已经与国际上气象卫星应用系统对信息处理系统的需求相当,因此设计建立先进的气象卫星遥感数据中心基础支撑架构十分关键。

2 新一代气象卫星遥感数据中心的 功能要求

气象卫星风云三号 A 星遥感数据中心有 3 方面的数据处理任务:数据通信处理、数据预处理和产品生成处理。数据通信处理将北京、广州、乌鲁木齐、佳木斯、瑞典基律纳 5 个地面站接收到的风云三号卫星及国外多颗卫星各种实时、延时的全球、全天候、三维、多光谱的探测资料,经过逐帧优选后在最短时间内转发到数据处理和服务中心。数据预处理完成各种传感器原始数据的质量检验,对各传感器每个空间探测单元(像素)进行地理定位与定标,计算出相应的卫星与太阳的天顶角、方位角和地表反射率或辐射率。产品生成处理生成反映大气、云、地表及海表等特征的各种地球物理、大气物理参数,生成供气象、海洋、环境、农林渔业、交通运输等部门应用的各种图像、图形及数值产品。

为完成上述 3 方面的任务,遥感数据中心对数据自动处理与时效、数据存储与服务 and 系统可靠性等方面有着很高的要求。数据自动处理与时效方面,要求卫星资料接收后自动实时传送至资料处理和服务中心,在限定时间内自动处理成产品,将产品分发至用户,尤其是为数值天气预报模式提供的卫星同化资料,时效要求更高。数据存储与服务方面,每天新增约 2 TB 数据,包括原始观测数据、预处理后的 1 级数据集、卫星图像产品、卫星数值产品以及卫星遥测数据、卫星工况数据资料等。这些数据要求长期保存,并可以随时方便快捷地供各类用户调用。由于卫星观测数据量的巨大,不能给每个独立处理单元(如一台处理机)提供一份数据拷贝,需要多台处理机对一次观测数据进行共享。在系统可靠性方面,要求从卫星交付使用开始的设计寿命期内,系统运行成功率达到 97% 以上。从卫星观测数据开始直至数据处理完毕并完成数据和产品存档或分发,分解到各分系统,要求各分系统的运行成功率在 99% 以上。为避免系统中出现单点故障,每一个独立的设备单元都应使用高可用技术。

此外,遥感数据中心与卫星、测控系统及外部用

户接口种类繁多,与卫星有 3 个载波信道传输包接口、11 种有效载荷源包数据接口,与测控系统有多个轨道参数、数千个遥测波道数据接口,与外部用户有多级数据与产品数据接口,对接口处理流程的可靠性要求很高。如遥感数据中心与 4 个国内地面站和一个国外地面站的数据传输接口,包括了分块文件多路并行传输接口、文件对帐接口、自动重传接口和降级数据汇集接口等,通过规范的接口控制确保了多站数据按时、完整、高质量传输到遥感数据中心,通过气象卫星资料处理软件工程化提高产品处理系统可靠性^[2]。为实现风云三号上、下午星组网观测和接收、处理其他多颗国内外的卫星数据,适应风云三号卫星应用领域的增加和新产品不断研发和投入业务,要求系统具备很强的可扩充能力,以适应未来极轨气象卫星的业务运行需要。

3 新一代遥感数据中心建设的关键技术

在风云三号 A 星遥感数据中心的建设中,构筑了新型的服务器系统、网络系统、存储系统、空调制冷系统,部署了网格调度、广域网加速、服务器虚拟化、全系统高可用等技术,引入 1280 个 CPU 的 SGI 系统与 128 个 CPU 的 IBM 的 System p595 Unix 系统,峰值性能达到 10 万亿次,裸容量 360 TB 磁盘阵列的在线存储空间和 2.5 PB 自动磁带库的近线存储能力。该系统分为地面站、网络与传输、资料与产品处理以及存档和服务 4 层架构,风云三号 A 星遥感数据中心架构如图 1 所示。

同时,为了建设新型国际水平的气象卫星应用系统,设计者遵从新一代数据中心或称为绿色数据中心的理念,通过对自动化动态资源部署、优化资源的利用效率、统一的基础设施管理、完善的资源和数据保护、架构的可扩展性、采用能够实现节能的技术和产品等六大关键技术的深入研究和探索,在气象卫星遥感数据中心的建设中取得了很大的进展^[3]。

3.1 负载均衡推动数据中心自动化动态资源部署

风云三号 A 卫星遥感数据中心的输入数据是卫星不断实时探测到的各种气象遥感数据,输出的是几十种大气、海洋、陆地图像和定量应用产品,这是一个非常复杂的过程,需要多台服务器协同工作。因此必须制定好严格的作业流程,要根据预先制定的工作流程和调度策略启动,自动地、有条理地、像流

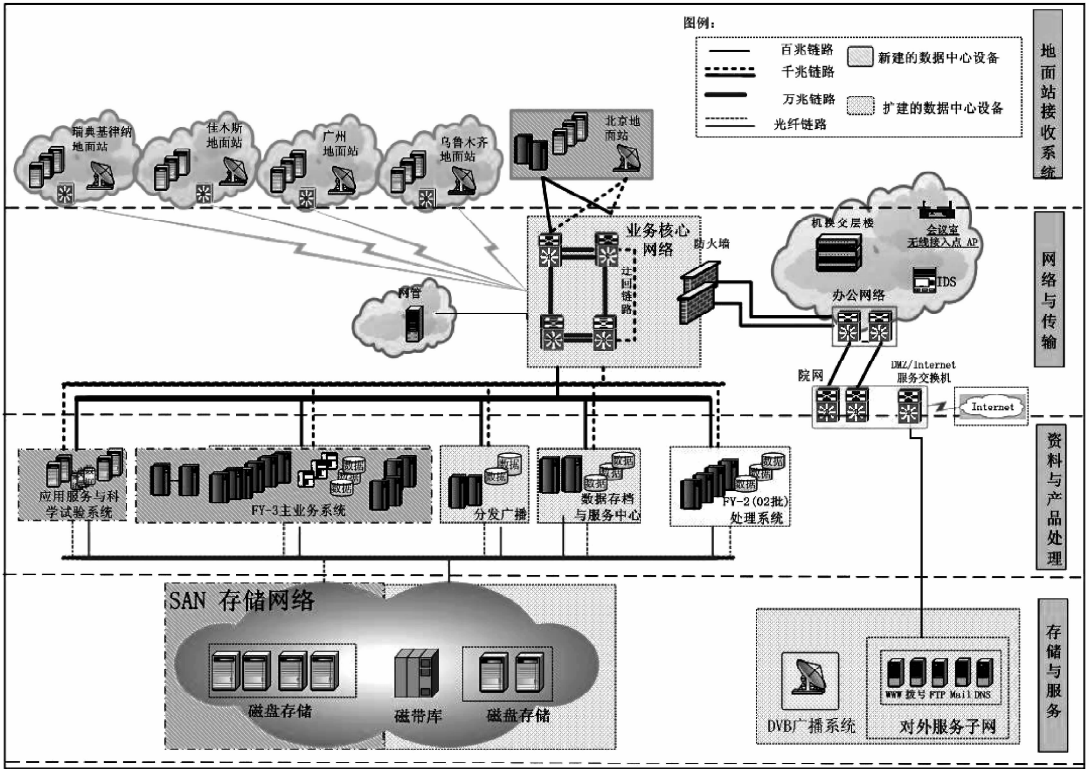


图 1 风云三号 A 星遥感数据中心架构

流水线一样井然有序地处理和运行。

这就需要配置一种自动化的作业调度系统,进行自动分配计算资源,实现资源调度的自动化。系统选择了网格计算公司 Platform 的多平台处理管理器(Platform Process Manager)实现多卫星数据处理的自动化、复杂流程和子流程的实时控制和管理,同时,通过集群负载均衡软件 Platform LSF 实现计算资源的共享和负载平衡,确保计算资源的高可靠和高可用,并且将其作为数据中心自动化运作的重要基础支撑工具。设计者按照数据处理的不同特点,设计了高时效型、时间驱动型、数据驱动型、数据密集型、计算密集型等多类数据处理流水线,每类流水线中根据产品生成的先后次序及逻辑关联设计了多个 workflow,作业调度系统根据服务器的负载情况分层均衡并发提交作业。每日调度运行的资料处理作业达 6000 多个,多机负载均衡度高达 80% 以上^[4]。

3.2 深度共享数据提高资源利用

在一个小规模集群和数据传输压力不大的体系结构中,用户不大关注服务器之间的传输延时,但当

系统规模超过数千个处理器、日数据传输量达到数百 GB 以上时,就必须采用低度(low-degree)互连或网格(grid)互连,因为此时传输延时将变成一个非常重要的问题。为实现集群之间深度共享数据提高虚拟化资源利用程度,风云三号系统遥感数据中心设计中尤其重视基本架构、支撑软件平台和应用软件三者的结合,取得了很好的应用效果。

在为风云三号所部署的新系统中,包括了多台 SGI 高性能计算机以及 IBM 的 p595 Unix 服务器。IBMp595 服务器机群负责数据的预处理,SGI 高性能计算机机群负责产品生成。为了避免 I/O 瓶颈,在多个层面上进行共享数据。在每个计算节点内,采用共享内存的方式,实现多个 CPU 共享一份数据拷贝。在服务器机群内,采用共享文件系统方式,实现多台服务器的数据读取共享。其中 IBM 服务器机群使用 GPFS 共享文件系统,SGI 服务器机群使用 ADIC SNFS 共享文件系统。服务器之间通过 Infiniband 高速通道和多块千兆网络光纤捆绑互连技术,将一台服务器共享内存中的数据用 SOCKET 编程方式直接传送到另一台服务器的共享内存。这

种跨节点的内存到内存的传输,大容量的本机内存共享,极大地提升了各个节点内存使用效率,高峰时内存使用率可达到 90%。基于上述技术,数据处理中心的业务流程是将原始数据全部读入 p595 的内存进行预处理,所生成 1 级数据采用内存直送方式送到 SGI 服务器的共享内存,各个 SGI 服务器内存中的 1 级数据又被几十种产品处理进程进行共享,最终产品写到共享文件系统供数据存档与分发,这样使得数据的整个处理过程变得极为迅捷。

3.3 混合同行算法优化网格计算利用率

在作业调度系统的基础上进行并行处理算法设计,针对巨大数据量传输、储存、加工一体化的需求,对风云三号气象卫星地面系统的架构和处理方法采用了数据分块、分段和分格点技术,通过计算方法级、进程级和作业级的混合同行算法,对传统的单作业流调度模式进行突破。

针对不同数据特点制定不同的数据处理流程和策略,是风云三号 A 星数据处理的另一个特点。中分辨光谱成像仪和扫描辐射计两个大数据量、高时效要求的仪器数据,将数据切割成 5 min 的数据段,采用多个 5 min 数据段并行处理的方式,在卫星过境 10 min 之内,处理出中国区域的 1 级中间产品,15 min 后生成相应的反演产品,经过质检后发送给有高时效需求的用户。对于全球范围 250 m 高分辨率的产品,采用在多台计算机上进行网格并行计算的方法,即将数据按经纬度切割成 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 的数据块,每一块的处理都可以并行在多台计算机的不同 CPU 上进行同时计算,这样一方面实现大规模的多机网格并行计算,另一方面减小了单个产品文件的存储容量,为用户提供精细化的数据服务。经统计,混合同行计算模式下单机 CPU 计算性能的利用率达到了 85% 以上。

3.4 WAN 加速器和多线程并行传输提升网络效率

遥感数据中心与各地面站的网络连接,除北京地面站使用专用光纤直连之外,乌鲁木齐、广州和佳木斯 3 个国内地面站和 1 个在瑞典的国外站都是租用电信线路。它们与数据处理中心之间需要传送大量的卫星资料,对网络传输效率、可靠性和可监视性提出了极高的要求^[5]。

由于资金等各方面的因素,目前使用 66 M 带宽的线路连接国内地面站,45 M 带宽的线路连接国外地面站。面对提升大批量的卫星数据传输时效和

有效应对突发事件的需求,采用硬软件两个层面的方法。硬件层面上,在国内各站部署了 WAN 加速器,使用硬件增加广域网带宽的占用效率。软件层面上,将要传输的观测资料切割成 10 s 一个小文件,采用网络多线程并行传输技术,加大单位时间内数据的输送量。经过实际数据测试,地面站到数据中心的数据传输能够 100% 占用广域网带宽,即使对苛刻的压缩数据文件,传输速度也能提高 70% 以上,对于处理后的产品传输效果尤其突出。

3.5 统一的基础设施管理

风云三号 A 星数据中心共有几十台大型服务器、上百台 PC 机、多个大容量存储局域网(SAN)、自动磁带库以及多台网络设备。对这些设备进行了统一的基础设施管理:配置了集中控制管理软件,通过 DSR® KVM over IP 交换机设备和 Cyclades® ACS 控制台服务器,实现了服务器和网络设备的本地或者远程集中运维管理。通过运维平台的单一控制台,管理人员即可完成对任一服务器或网络设备的运维操作,实现了单一的控制台上完成对数据中心内所有服务器和网络设备的操作。对网络设备的操作方式为达到设备串行 Console 端口的带外管理方式,操作能力不受设备的运行状态和健康状况的影响。

3.6 重视基础架构的可扩展性和数据保护

系统中配置了 IBM 的服务器微分区虚拟化技术,使得不同应用可以共享 CPU 资源,部署了跨 SAN 的文件系统,提高了存储资源的可用性和可扩展性。通过自动存档与服务系统,对在线、近线存储采用自动迁移、数据标准化和双份存储等技术确保了数据的安全性和长期可用性。在对用户的数据服务方面,既要保证数据安全,也要方便用户获取数据,采用了基于角色的多重安全控制策略;实时监测重要服务器上只开通必要的服务,并保证所配置的服务是合法的;保证接收和发送的数据完全一致,并保证不同系统之间数据交换的及时性和准确性;需要在 Internet 上传递的敏感信息比如卫星遥测数据等,使用安全的加密机制进行加密传输。

3.7 有效的网络安全与管理

系统中部署了网络防病毒系统,通过防火墙实现业务网与办公网隔离,时刻监测系统安全状况,提升了网络的安全级别。定制的网络管理系统与设备厂商的网管系统相结合,对关键的主机、网络资源进

行监控,具备详尽的系统操作日志信息,实时告警通知等功能。通过与业务相结合的子网和 IP 地址规划,确保组网方式灵活、高效和可扩展支持 Modem 方式的带外链路,在网络中断情况下能完成对设备的检测和修复。

3.8 重视数据中心节约能源

对数据中心中节能和绿色的要求,已经对新一代遥感数据中心构成了实实在在的压力。对于风云三号 A 星遥感数据中心来说,不仅每年 500 多万元的电费是一个相当严峻的运营成本,而且现在数据中心已经消耗了所在大楼的 60% 以上的电力,2008 年数据中心电费已超过 300 万元,如果继续扩展计算机网络设备,需要申请更多电力和运行经费,甚至需要对整个供电系统进行改造。

数据中心的散热问题也相当严峻。目前风云三号系统已经为新设备的引入而更新、增加了空调设

备,同时也在考虑有关水冷空调设备、水冷机柜等方面的问题,以便提升制冷效率,在后续批次卫星系统的扩充中还将通过迁移机房到远离热源的楼层,进一步节约能源、提升数据中心绿色指数。

3.9 新一代数据中心指数

2008 年 12 月,经过网络世界报社、中国计算机用户协会机房建设分会、中国电子学会节能推进委员会等部门联合采用定性而非定量的原则,从“绿色节能”、“智能化”、“安全性、稳定性、有效性”、“运维与管理”和“设计与规划”方向,参考现有的数据中心建设和运维国际标准,对国家卫星气象中心数据处理系统的 NDC 指数进行了测评,认为已经达到较高水平,被评为“优秀新一代数据中心 2008”。国家卫星气象中心的“新一代数据中心”的主要指数见表 1^[6]。

表 1 国家卫星气象中心新一代数据中心指数

	指数描述
基本信息	占地面积:数据中心 1000 m ² ,应用中心 500 m ² 服务器数量:46 台,计算性能峰值 10 万亿次 存储容量:364 TB 在线,2.5 PB 磁带 管理人员数量:12 人
安全	网络安全:部署了 IDS、防火墙、业务网与办公网之间的隔离管理、即将部署 CA、IPS 数据安全:数据在线存储、近线备份两份磁带,计划在二期工程建设灾备中心
自动化	设备自动监控:部署了 OpenView、DSView [®] 3 和 Netcool 等网络和设备管理软件,自行开发了运行控制系统 OCS 资源自动调度:通过 Platform 的网格技术进行作业自动调度、资源的自动调用和负载均衡
绿色节能	服务器:通过高性能计算机实现优化的计算、二期考虑采用更为节能的服务器 空调:对机房进行了局部改造和扩充,正考虑有关水冷空调的技术
性能优化	网络性能:部署了 WAN 加速技术,提升了地面站与北京数据中心之间的传输能力 计算性能:采用了 Infiniband 技术,通过服务器之间的内存直接传输、大容量共享内存技术,使得计算数据始终在内存中进行,加快了计算时效
虚拟化	服务器虚拟化:采用了 IBM p595 中的 PowerVM 技术,实现了计算资源的动态分配和调用,提高了 CPU 利用率

4 展望

针对遥感资料大容量数据量的传输、储存、加工一体化的需求,对气象卫星地面系统的架构和处理方法进行多种技术优化,是一项需要长期开拓与实践的工作。气象卫星地面系统面临的需求不断增长,架构和计算方法、能耗方面的难题,也是我国的资源卫星、嫦娥卫星、海洋卫星等数据处理中心的共

性问题,未来的系统扩充和建设中需更加重视绿色数据中心的建设路线,有以下一些技术重点:①优化数据中心环境,将数据中心迁移到远离热源的楼层,尽量不让阳光直射数据中心,实现绿色建筑;②改善数据中心内部风道设计,提升散热效率;③应用高效率精密制冷设备和新风系统提高制冷效率;④采用高效供电设备,提升电源转换效率,降低电源损耗;⑤设计高效照明系统,减少照明系统损耗;⑥整合存

储、服务器,提升设备使用效率;⑦利用远程管理,减少进入数据中心的次数,减少散热损耗;⑧购置新设备时,优先考虑更为节能的设备。

参考文献

- [1] 杨军,董超华.风云三号气象卫星地面应用系统一期工程可行性研究报告[R].国家卫星气象中心,2004.
- [2] 施进明,王素娟.气象卫星资料处理软件再工程方法与实践[J].气象科技,2006,34(5):542-645.

- [3] 朱伟.新一代数据中心应用探析[J].金融电子化,2008,(11):55-57.
- [4] 贾树哲,杨军,施进明,等.新一代气象卫星资料处理系统并行调度算法研究与应用[J].气象科技,2010,38(1):96-101.
- [5] 刘爱民,孙安来.数据收集系统的数据处理和运行监视[J].气象科技,2007,35(5):759-761.
- [6] 祁金华.风云卫星背后的IT风云[J].网络世界,2008,(15):24-25.

Key Technologies for Construction of New-Generation Remote Sensing Data Center

Shi Jiming Qian Jianmei Lin Manyun

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: To satisfy the sustainable operation development, the establishment of new-generation data centers has becoming a common sense. According to the definition of the Uptime Institute (UI), the availability and reliability of data centers will be improved obviously when they evolve from basic, component redundancy level to the concurrently maintainable and fault-tolerant level. To meet the increasing demands on the time effectiveness for the large volume of remote sensing data transmission and processing and the fast growing requirements for system computing and storage capabilities, the six key technologies for the New-generation Data Center (NDC) are investigated. Based on these technologies, the application and practice put their emphases on the dynamic resource deployment automation, resource effective usage optimization, unified infrastructure and facilities management, solid resource and data protection mechanism, scalable information technical architecture, energy conservative or green computing technologies, product adoption, etc, which will facilitate the successful construction and operation of a new-generation remote sensing data center. In combination with the implementation of the FY-3A ground application system, the best practice is presented for the implementation of six key technologies to set up a new-generation remote sensing data center.

Key words: satellite remote sensing, data processing, new-generation data center, green energy saving