

文章编号:2096 - 5389(2018)03 - 0089 - 06

四川气象高性能计算机及模式运行 监控系统应用实践

吕 爽^{1,2}, 马艳军^{1,2}, 陈 琪³

(1. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072;
2. 四川省气象探测数据中心, 四川 成都 610072; 3. 78127 部队, 四川 成都 610011)

摘 要: 为了保障西南区域数值预报业务模式的稳定运行, 四川省气象局基于分布式监控技术, 建设了四川气象高性能计算机及模式运行监控系统。该系统主要包含两个子系统: 省局高性能计算机性能监视子系统以及 SWC - WARMS 数值预报模式自动化监视管理子系统。前者监视承载模式运行的高性能计算机, 保证其为模式提供可靠计算环境; 后者管理数值模式本身, 两个子系统相辅相成, 从模式计算环境到模式本身的业务运行都提供了有力技术支撑。

关键词: 高性能计算机; 数值预报系统; Ganglia; SWC - WARMS; SMS

中图分类号: TP38 **文献标识码:** B

Application Practice of Sichuan Meteorological High Performance Computer and Mode Operation Monitoring System

LV Shuang^{1,2}, MA Yanjun^{1,2}, CHEN Qi³

(1. Plateau and Basin Heavy Rain and Drought - Flood Disasters Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. Meteorological Detection Data Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 3. 78127 troops, Chengdu 610011, China)

Abstract: In order to ensure stable operation of Southwest Regional Meteorological Center numerical model, the Sichuan Provincial Meteorological Bureau constructed the Sichuan meteorological high performance computer and mode operation monitoring system based on distributed monitoring technology. The system mainly includes two subsystems: the high performance computer performance monitoring subsystem of Provincial Bureau and the automatic monitoring management subsystem of SWC - WARMS numerical prediction model. The former monitors the high - performance computers to ensure that it provides reliable computing environment for the mode. The latter manages the numerical mode itself, and the two subsystems complement each other, which provides strong technical support from the mode computing environment to the business operation of the mode itself.

Key words: high performance computer; numerical prediction system; Ganglia; SWC - WARMS; SMS

1 引言

近年来极端天气和极端气候频发, 自然气象灾害增多, 都对气象行业的预报预警业务提出更高、更旺的需求; 预报预警的准确率、时效性、精细化程

度和服务水平都需要大幅度提高。相比传统的经验预报和统计预报, 数值预报能够提供更加客观、定量、精细化的预报结果, 而且能够大幅提高预报过程的自动化^[1-3]。为加强对西南地区精细化天气预报业务的技术支撑, 四川省气象局花费大量精力

收稿日期: 2017 - 10 - 13

第一作者简介: 吕爽(1980—), 女, 硕士, 高工, 主要从事气象通信和高性能计算技术方面的工作研究, E - mail: 765016978@qq.com。

建立了西南区域数值预报模式系统 (South West Center WRF ADAS Real - time Modeling System, SWC - WARMS), 于 2014 年 6 月投入运行, 并将产品面向全省及西南各省提供共享, 且效果良好, 目前产品已经成为预报员不可缺少的参考工具。要保证 SWC - WARMS 业务模式能够持续输出产品, 一方面要保证承载 SWC - WARMS 模式及其备份系统业务运行的 IBM 和曙光高性能计算机系统稳定可靠, 另一方面要保证模式应用系统的稳定性。然而高性能计算机系统架构复杂, 一直以来缺乏一种直观有效的监控管理工具对其进行性能监视和资源管理。同时 SWC - WARMS 系统包括观测资料的预处理、客观分析、模式预报、后处理、气象可视化等多个环节, 其工作流程极为复杂, 需要采用合适的技术对其进行有效的监视和管理。综上所述, 急需建设一套有用的监视管理系统来保证数值预报模式和计算环境的高可靠性和稳定性。

2 技术方法

基于 Ganglia 分布式监控技术进行研发, 实时监控高性能计算机系统每个计算节点的运行状态、进程数量, 按照不同时间粒度实时统计系统的 CPU、内存、存储资源利用率、I/O 负载、进程和内部网络流量情况。使管理员和用户能够方便、快捷的了解和掌握 IBM 和曙光高性能计算机系统的各项性能指标及资源使用情况, 实现对计算资源性能的有效监视, 为资源的合理分配和调度提供科学依据。梳

理和研究 SWC - WARMS 数值预报系统的业务流程, 基于 SMS (Supervisor Monitor Scheduler) 技术, 实现对数值预报模式系统流程化的调度, 对其整个运行过程实施有效的监控, 在无人值守的情况下能够记录模式运行过程中各个关键节点状态, 确保用户和管理员能够在第一时间准确的进行故障定位, 保证业务模式的时效性要求。

3 技术实现

四川气象高性能计算机及模式运行监控系统包含两个子系统: 省局高性能计算机性能监视子系统以及 SWC - WARMS 数值预报模式自动化监视管理子系统。

3.1 高性能计算机性能监视子系统

省局 IBM PureFlex P460 是刀片式高性能集群系统, 其计算节点浮点峰值能力为 26.35 万亿次/s^[4]。省局曙光 TC5000 集群系统包括 28 个计算节点, 其计算节点理论浮点峰值性能为 11.83 万亿次/s^[5]。

Ganglia 是 UC Berkeley 发起的一个开源集群监视项目, 设计用于测量数以千计的节点^[3]。Ganglia 的核心包含 gmetad、gmond 以及 Web 前端 3 部分, 这 3 部分之间通过 XDL (xml 的压缩格式) 或者 XML 格式传递监控数据, 达到监控效果^[6]。RRD-tool 是一个基于 Perl 的功能强大的数据存储和图形生成工具^[4], 使用 RRD 以所谓循环的格式来存储时间序列数据^[7]。

3.1.1 技术路线和结构设计 结合省局 IBM 和曙

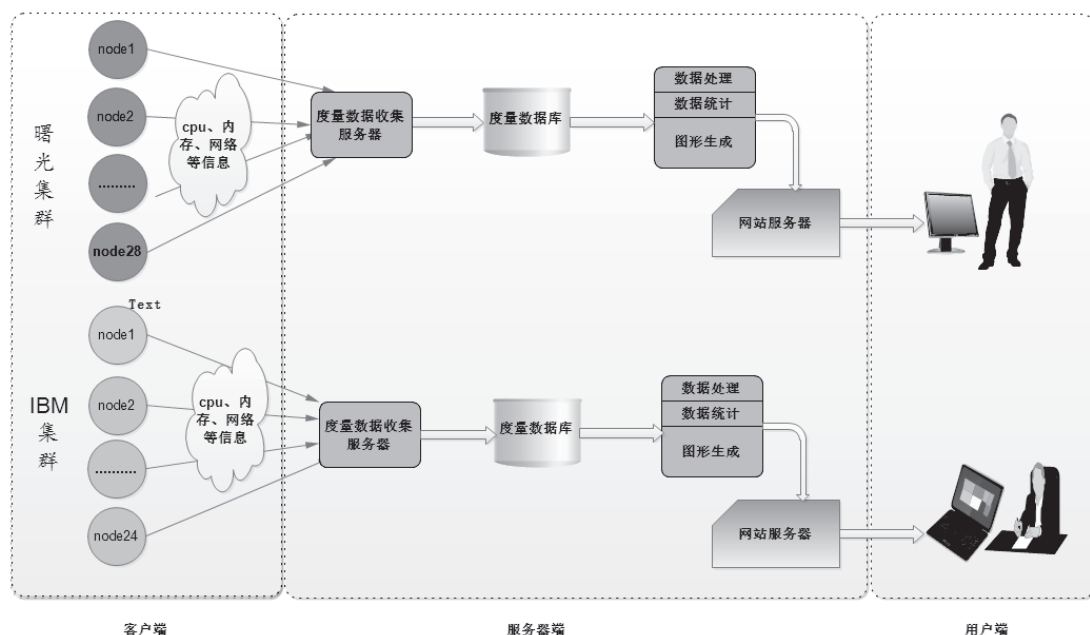


图1 高性能计算机性能监视子系统软件结构

Fig. 1 The software structure of high performance computer performance monitoring subsystem

光高性能计算机架构现状,采用 Ganglia + RRDTOol + Apache 开源架构,进行研发,实现对曙光 TC5000 和 IBM PureFlex P460 的性能监视。省局高性能计算机性能监视子系统从结构上分为客户端、服务端和用户端 3 部分。如图 1 所示,将省局 IBM 和曙光高性能计算机被监视的计算节点作为客户端,系统研发多个脚本实时采集客户端的 CPU、内存、硬盘、网络流量等度量数据以及服务器类型、操作系统版本信息,并发送给服务端;服务端将数据实时存储到 rrdtool 数据库中,并为数据统计和页面展示提供访问接口,在 Web 页面中通过提取并解析数据库中的数据,以图形方式实现对集群计算节点各项指标进行监控,从而直观的反映整个集群的性能。用户使用的个人计算机作为用户端,通过用户端的浏览器可以查看各个计算节点和整个高性能计算机系统的运行情况。系统功能主要包含两个方面:监视

和统计。监视功能主要是监视每个计算节点的运行状态和资源使用情况,能够实时自动刷新;统计功能主要是统计不同时间粒度下集群及每个计算节点的计算、存储、网络流量等各种资源使用情况。

3.1.2 技术实现及监视结果 在省局曙光 TC5000 集群中选择登陆节点 node33 作为 Gmetad 程序运行节点,即服务节点;node1 至 node28 共计 28 个计算节点作为被监控节点,运行 gmond 程序,即客户端。在省局 IBM PureFlex P460 集群中选择 cda01n02 作为 Gmetad 程序运行节点,即服务节点;cda01n[02 - 14] 和 cda02n[02 - 14]共计 26 个计算节点作为被监控节点,运行 gmond 程序,即客户端。由于曙光和 IBM 集群处理器结构和操作系统不同,故在两个集群中需要部署不同版本的 Ganglia,并根据不同集群的编译环境进行本地化和二次开发。系统能够监视高性能计算机的 34 个性能指标,如下表 1 所示。

表 1 高性能计算机性能监视子系统监视指标
Tab. 1 The index of high performance computer performance monitoring subsystem

监控项	说明	监控项	说明
Load_one	One minute load average 一分钟的系统平均负载	cpu_nice	Percentage of CPU utilization that occurred while executing at the user level with nice priority 用户进程空间内改变过优先级的进程占用 CPU 百分比
Load_five	Five minute load average 每 5 min 的系统平均负载	cpu_system	Percentage of CPU utilization that occurred while executing at the system level 内核空间占用 CPU 百分比
Load_fifteen	Fifteen minute load average 每 15 min 的系统平均负载	cpu_num	Total number of CPUs CPU 线程总数
mem_total	Total amount of memory displayed in KBs 物理内存总量 (KBs 显示)	cpu_speed	CPU Speed in terms of MHz CPU 速度 (MHz)
mem_cached	Amount of cached memory 缓存内存大小	cpu_wio	Percentage of time that the CPU or CPUs were idle during which the system had an outstanding disk I/O request Cpu 空闲时的最大 I/O 请求
mem_free	Amount of available memory 空闲内存大小	part_max_used	Maximum percent used for all partitions
mem_buffers	Amount of buffered memory 内核缓存的内存总量	disk_total	Total available disk space 磁盘总大小
swap_total	Total amount of swap space displayed in KBs 交换分区总量 (KBs 显示)	disk_free	Total free disk space 剩余磁盘空间
swap_free	Amount of available swap memory 空闲交换分区大小	boottime	The last time that the system was started 系统启动时间
mem_shared	Amount of shared memory 共享内存大小	pkts_in	Packets in per second 每秒进来的包
proc_run	Total number of running processes 运行的进程总数	pkts_out	Packets out per second 每秒出去的包
proc_total	Total number of processes 进程总数	bytes_in	Number of bytes in per second 每秒进来字节数
cpu_idle	Percentage of time that the CPU or CPUs were idle and the system did not have an outstanding disk I/O request 空闲 CPU 百分比	bytes_out	Number of bytes out per second 每秒出去字节数
cpu_aidle	Percent of time since boot idle CPU 启动的空闲 CPU 百分比	machine_type	System architecture 系统版本 (X86 或 64)
cpu_user	Percentage of CPU utilization that occurred while executing at the user level 用户空间占用 CPU 百分比	os_name	系统名字
		os_release	系统版本
		gexec	gexec available
		disk_free_rootfs	Disk space available on

如图 2 所示,省局曙光集群性能监视 Web 主界面上方,实时展示了集群的 CPU 核总数,在线主机和下线主机;最近 15 min、5 min 和 1 min 系统平均负载百分比。页面主体部分实时显示了整个集群所有被监控的计算节点状态,包括每个计算节点上个小时 CPU 资源使用情况、内存空间使用、网络流

量、运行的进程数量等,系统管理员可以将这些监视结果信息作为参考依据,结合各个节点的资源使用情况,安排各个作业的提交顺序,避免出现大量节点繁忙,而部分节点完全空闲的状态,从而有效避免了用户排队等待时间过长问题,提高了集群使用效率。



图 2 省局曙光集群性能监视主页面

Fig. 2 The monitoring page of Provincial Bureau Dawnning Cluster performance

如图 3,展示了过去 1d 中,2017 年 3 月 27 日 03 时—2017 年 3 月 28 日 00 时(GMT)时间段内,曙光集群 node1 计算节点 CPU 利用率,可以看到,最高利用率达到 89.34%,最低利用率为 85.71,可以推断,此时间段内曙光集群 node1 一直处于高度繁忙状态。

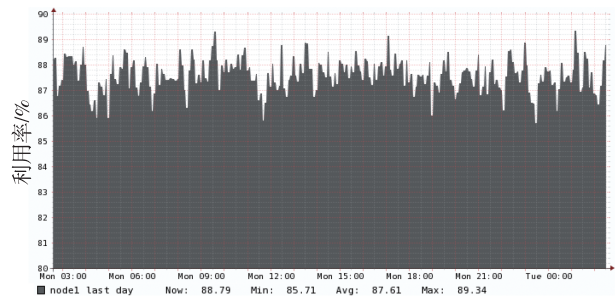


图 3 曙光集群 CPU 利用率

(2017 年 3 月 27 日 03 时—2017 年 3 月 28 日 00 时(GMT))

Fig. 3 CPU utilization of Dawnning Cluster

(March 27, 2017 03:00—March 28, 2017 00:00(GMT))

如下图 4 所示,IBM 集群性能监视界面实时呈现了整个集群各个计算节点上个小时平均负载状况。如图 5 所示,性能监视界面展示了 IBM 高性能集群 cda02n14 计算节点上个时次运行的进程数量和整个集群的进程数量,从而系统管理员可以直观

的掌握各个计算节点在整个集群中的忙闲度,合理和客观的为用户分配资源。

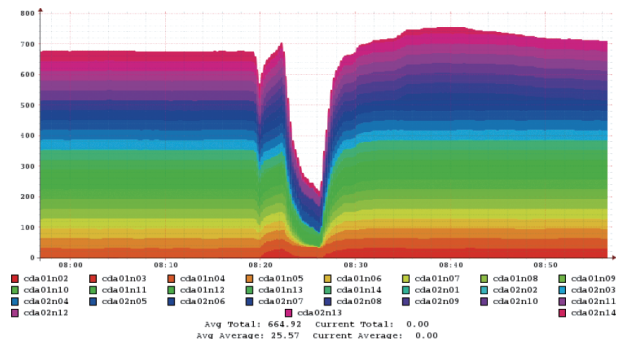


图 4 IBM 高性能集群系统监视页面

Fig. 4 The monitoring page of Provincial Bureau

IBM Cluster performance

3.2 SWC – WARMS 数值预报模式自动化监视管理子系统

3.2.1 SMS 技术 SMS (Supervisor Monitor Scheduler) 软件是一种功能化编程语言,是欧洲中心中期天气预报(ECWMF)开发的主要用于数值预报系统运行的一个基础软件。它提供了一个面向工作流的开发组件,用于描述工作过程,调度运行和监控管理。

3.2.2 结构和设计 基于 SMS (Supervisor Monitor

Scheduler) 技术,采用客户端/服务器结构进行设计。服务器端:定义数值预报模式的业务流程,对这些

作业进行调度和管理,收集所需要的监视信息,并通过远程调度的方式将数值预报模式提交到高性能

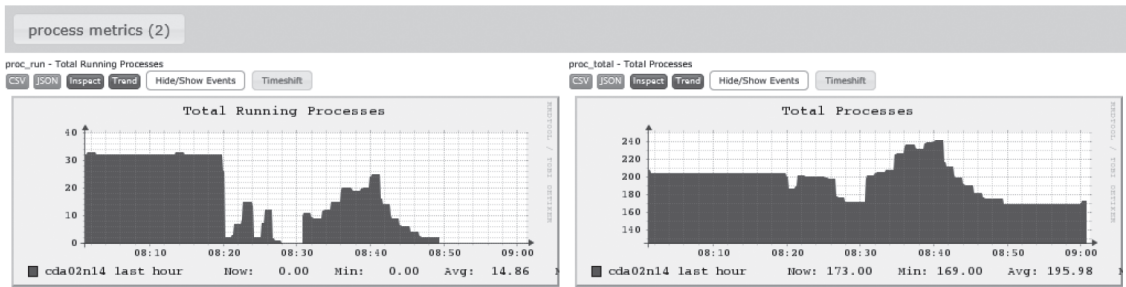


图 5 IBM 高性能集群系统运行进程监视

Fig. 5 IBM high performance cluster system running process monitoring

计算机系统上运行。客户端:根据配置的参数对被控系统进行监控,用户通过客户端界面管理和监视数值预报模式业务系统的运行状态,出现异常情况则报警。

统。在重启 SMS 后,启动作业包。通过 SMS 图形化窗口 XCDP 查看 SWC – WARMS 模式运行如图 6 所示。

设计思想是利用 SMS 技术,对 SWC – WARMS 数值预报的流程做详尽的划分,将功能类似的 SWC – WARMS 模式模块组合在一起,将复杂单一模块拆分成多个任务,设计程序实现 IBM 高性能计算机 loadlevel 作业调度系统与数值预报自动化接口的紧密结合,以图形化界面直观的显示模式运行流程,在出错的情况下,向维护人员提供模式系统出错的详细信息,从而将模式出错的概率和损失程度降低到最低,进而降低维护人员的工作强度。

3.2.3 技术实现 SWC – WARMS 是西南区域气象中心最为重要的业务模式系统,该系统基于 WRF (3.5.1) 和 ARPS5.3.3 (ADAS) 建立,中心经纬度: (32°N,100°E),分辨率为 9 km,预报时效 72 h,每 6 h 输出一次结果。对 SWC – WARMS 模式流程进行详细梳理:模式在世界时 04 时、10 时、16 时和 22 时自动启动,每次运行都包括预处理 (preprocess)、资料预处理 (arps)、adas 同化观测和 wps 分析同化及主模式 wrf 运行和后处理 postprocess。结合 SWC – WARMS 的实际业务特点,完成 SWC – WARMS 模式的流程化调度开发,运用了 SMS 触发机制 (triggering),各模块之间密切相关,后一作业模块的运行依赖于前一模块的完成,只有在前一作业模块正常完成的情况下,才进行下一模块作业。SWC – WARMS 模式自动化运行流程如下:SWC – WARMS 模式定义文件 SWCWARMs.def,定义了一个任务包 (suite),包括 sms 文件和 h 文件,sms 文件详细定义了模式的相关作业,h 文件定义相关变量。用户通过 CDP 登录 SMS 服务器后,提交任务包定义文件 SWCWARMs.def,即编译 def 文件,并发送给 SMS 系

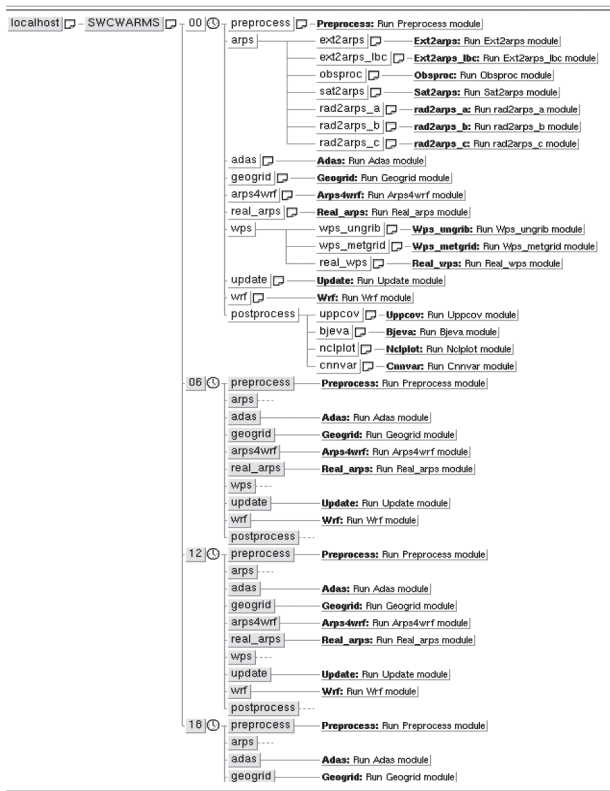


图 6 SWC – WARMS 模式自动化管理流程图

Fig. 6 SWC – WARMS model automation management flow chart

4 应用效果分析

四川气象高性能计算机及模式运行监控系统自 2016 年 1 月投入业务使用后,运行稳定。系统研发成果目前是系统管理员和数值模式运维人员管理高性能集群和业务模式的重要工具。表 2 中各项指标是每年省局向中国气象局上报的高性能计算资源使用评估效益指标。从各项指标值来看,自从

2016 年初四川气象高性能计算机及模式运行监控系统上线之后,系统年平均可用率和 CPU 年平均利用率有所提高,同时由于监视工具的使用,使得系统软硬件故障能够得到及时发现和定位,2016 年前后,高性能计算机系统故障影响业务时间明显有所下降。全国区域业务模式统一检验平台对四川 SWC - WARMS 模式检验的结果数据显示,2014—2017 年,四川 SWC - WARMS 模式系统发生故障使

产品推迟生成时间在 30 min 以上的几率分别为 2.95%、2.83%、1.38%、1.23% 呈逐年下降的趋势,自 2016 年开始,模式自动化监视管理工具的使用,实现了对 SWC - WARMS 流程化的调度监视,不仅能够快速发现故障,还可以从故障点实现断点续作,大大降低了业务模式的故障率,使得该项指标与 2016 年之前相比,大幅下降。

表 2 高性能计算资源使用评估效益指标

Tab. 2 Performance evaluation index of high performance calculation of resource consumption

高性能计算机	指标	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
IBM	系统年平均可用率	94.32%	95.47%	99.01%	99.26%
	CPU 年平均利用率	10%	32%	47%	50%
	系统故障影响业务时间月平均值(min)	96	88	52	40
曙光	系统年平均可用率	95%	95.56%	99.08%	99.32%
	CPU 年平均利用率	40%	52%	69%	81%
	系统故障影响业务时间月平均值(min)	102	85	40	37

5 结束语

四川气象高性能计算机及模式运行监控系统的研发和使用有效保障了省局高性能计算机和数值预报模式的业务运行,对于充分发挥省局高性能计算资源使用效益具有重要的意义,保证了模式能够在规定时间内高效的向预报员提供产品,对于省局预报预测业务水平的提高也起到了一定的作用。

参考文献

[1] 胡萍,冉仙果,杨群,等. 三种数值模式温度预报能力对比与误差分析[J]. 贵州气象,2017,41(3):30-31.

[2] 周永水,齐大鹏,吴古会. 贵阳 14 时气温数值预报检验及拟合订正分析[J]. 贵州气象,2016,40(2):45-46.
[3] 丑纪范. 在 2010 年数值预报学术交流会议闭幕式上的讲话[J]. 贵州气象,2011,35(1):4-5.
[4] 吕爽,衡志,马艳军. 西南区域中心 IBM 高性能计算机管理及应用[J]. 高原山地气象研究,2015,35(2):71-76.
[5] 吕爽,马渝勇,马艳军. 西南区域气象中心曙光 TC5000 集群系统的简介及管理应用[J],计算机技术与自动化,2013,32(3):225-228.
[6] 用 Ganglia 监控 hadoop 集群,http://blog.csdn.net.
[7] 江魁,黄云森. 基于 RRDtool 的网络性能检测系统实现[J]. 中山大学学报:自然科学版,2002,41(增刊):16-19.