

卫星通信系统网管主备切换研究

高 杨¹ 周志伟² 王 沛¹ 孙万海¹ 刘 萍¹ 张克龙¹

GAO Yang ZHOU Zhiwei WANG Pei SUN Wanhai LIU Ping ZHANG Kelong

摘 要

针对高通量卫星通信网络管理系统主备切换应用的需求,分别对高通量卫星通信的网络管理系统和主备切换结构进行设计,并根据通信网络节点多、用户终端量大、高可靠性的特点,提出了一种分层、模块化的灵活架构,同时对网管系统进行容灾备份、主备切换,最后提出一种卫星通信系统网管主备切换场景应用。

关键词

卫星通信;高通量;网络管理;主备切换;模块化

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.09.041

0 引言

近年来,我国卫星通信应用范围不断扩大、产业规模化。相较于传统卫星通信方式,高通量卫星通信呈现容量大、覆盖广、速度快、组网便捷等特点,因此更具有价值优势。随着中星 16、中星 19、中星 26 等高通量卫星的成功发射,我国境内及周边区域已具备高通量卫星互联网覆盖能力。伴随着卫星通信网络的深度融合、多层次覆盖、端到端统一编排调度、智能化发展,传统的卫星网络的管理方式已无法满足当前复杂的业务场景。针对目前卫星通信多卫星、多信关站和多频段卫星资源的管理,以及网络设备种类多和用户终端量大、应用场景多样化、用户需求定制化等的现状,需要采

取综合管控手段进行资源调配,这对网络管理体系的集中化、智能化、可视化有较高的要求。针对卫星通信系统目前发展过程中急需解决的问题,本文主要研究卫星通信网络管理系统中的主备切换问题。

1 高通量卫星通信网络管理系统结构设计

卫星通信网络管理系统负责全网的卫星资源统一管理和调度,对卫星通信网络中所有设备进行监视和管理,对终端设备进行控制及资源分配。根据具体的业务场景和用户需求,系统的结构可有所不同,这里以卫星通信系统通用场景为例,设计一种卫星通信网络管理系统结构,主要功能模块包括配置管理、监控管理、故障管理、性能管理、系统管理、用户管理等。同时,为了给业务运营系统提供信息服务,这里通过标准的北向接口,比如告警、流量等相关接口,为维护提供支撑。根据高通量卫星通信网络的特点,结合实际卫星通信网络规模的变化和终端规模不断扩大,以及多星、多信关

1. 航天恒星科技有限公司 北京 100086
 2. 亚太卫星宽带通信(深圳)有限公司 广东深圳 518126
- [基金项目] 课题编号 D010203

- [3] 李丽,梁继元,张云峰,等.基于改进 YOLOv5 的复杂环境下柑橘目标的精准检测与定位方法[J/OL].农业机械学报,1-10[2024-06-07].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.s.20240624.1519.017.html>.
- [4] 陈真,朱嘉晟,陈潇潇,等.水下捕捞机器人视觉系统发展趋势分析[J].造船技术,2024,52(3):49-54+77.
- [5] 赵增辉,唐明.基于深度学习的移动机器人目标自动跟随控制系统设计[J/OL].计算机测量与控制,1-12[2024-06-07].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4762.TP.20240625.1748.002.html>.
- [6] 杨俊秀.基于机器视觉的多视角水面船舶识别方法研究[D].厦门:集美大学,2024.
- [7] 马中静,韩佳蓉,赵祖欣,等.新工科背景下的水下机器人

- 实践教学平台[J].电气电子教学学报,2024,46(1):196-200.
- [8] 艾小锋,吴静,张静克,等.空天目标雷达智能识别仿真系统设计及实现[J].现代防御技术,2024,52(2):151-162.
- [9] 张明容,喻皓,吕辉,等.面向自动驾驶的多模态信息融合动态目标识别[J].重庆大学学报,2024,47(4):139-156.
- [10] 丁士强,梁玉峰,代昌盛,等.基于显著性检测的舰船目标识别方法研究[J].科技视界,2024,14(10):56-59.

【作者简介】

丁琰(1989—),通信作者(email:dingyanht@hotmail.com),男,山东济南人,硕士,工程师,软件架构师,研究方向:机器学习。

(收稿日期:2024-07-08)

站、多频率卫星资源调度,考虑网络管理服务节点运行可靠性、安全性等因素,本文设计的卫星通信网络管理系统结构如图1所示。

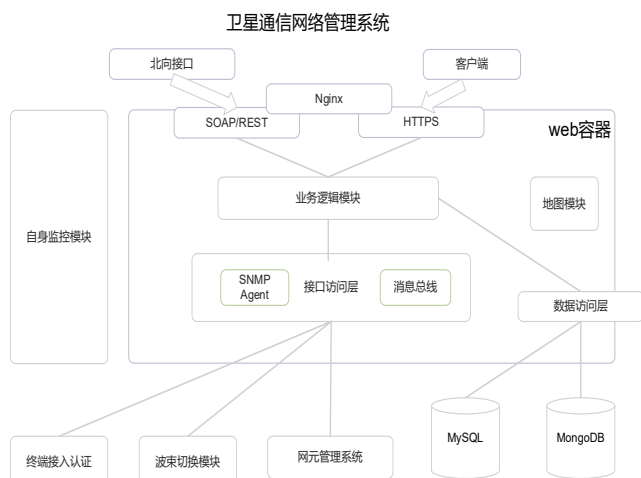


图1 卫星通信网络管理系统结构设计

1.1 网络管理系统结构设计

本文网络管理系统设计主要包括网络管理、网元管理和数据库三个部分。

网络管理部分:设计一个Web应用程序,主要提供统一的界面访问服务,用户通过程序进行配置和查询等操作,同时通过北向接口向运营系统提供服务,包括网络管理模块、自身监控模块、波束切换模块、终端认证模块、地图模块等服务节点。

网元管理部分:主要负责主站与远端站的接口管理,网络管理软件通过SOAP接口调用,下发对中心站和远端站的控制命令至网元管理软件,网元管理软件通过网络协议SNMP、UDP等实现对中心站和远端站设备的管理。

数据库部分:主要记录系统的持久化数据,如资源数据、配置数据、性能数据等。通过数据库实现网络管理软件与网元管理软件数据的共享。

网络管理系统数据流向如图2所示。

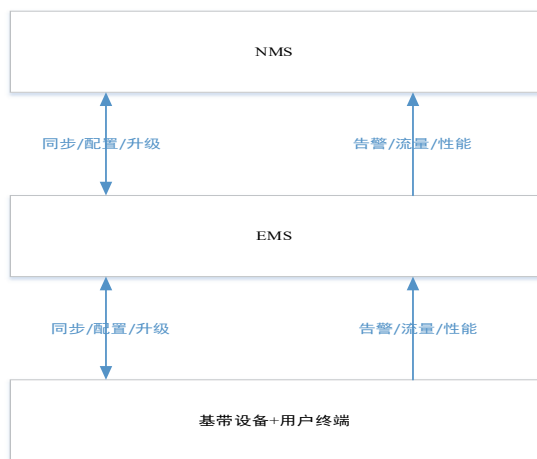


图2 网络管理系统数据通信

1.2 网络管理系统高性能设计

卫星通信业务场景中可能会出现业务负载过高的情况,比如用户终端在线数量突然增高,这时就需要系统能够在短时间内提高系统的处理性能。本文在设计网络管理系统时,采用容器虚拟化技术,进行了进程级别的虚拟化,容器具有轻量化、高性能、敏捷的特点,占用非常少的系统资源。利用容器编排功能,实现容器之间的关系处理、编排以及水平扩展、监控、备份、灾难恢复、应用发布和回滚等一系列运维的能力,实现应用的弹性伸缩。当业务量激增时,可以动态创建新的应用,通过负载均衡分发业务至新的节点,从而达到提高系统的处理性能的目的。同时,大量使用了线程池和异步框架,保证业务处理的效率减少系统对资源的阻塞,提升系统的处理性能。

1.3 网络管理系统可扩展性设计

为了提高系统的可扩展性,本文采用以下几种方式实现系统的高可扩展性。

将有状态业务与应用分离,这样网络管理系统的应用可以方便地横向扩展,当系统的网络规模和终端数量增加时,根据系统信关站和机箱的规模增加部署网络管理的应用,通过业务网关和负载均衡技术使得业务均匀分发至不同的网管应用上。

通过负载均衡器将客户端请求分发至NMS集群的NMS服务器上,由NMS服务器给客户端或者BOSS系统返回响应。NMS集群同时还包含波束切换模块、终端认证模块以及GIS模块等多个服务。这些服务均为无状态应用,通过消息队列或者内部接口分发至每个应用的不同实例,从而实现应用的横向扩展。

网络管理系统的容量可通过增加机箱进行扩展,网络管理应用的EMS服务作为有状态的服务,为每个基带机箱提供设备和终端实时配置和监控管理、升级管理等功能。每个EMS与一个机箱对应,假设系统建设初期开启了20个波束,如果每个机箱配置10个波束,那么需要2个机箱以及对应的2个EMS服务即可保证正常使用;当系统使用过程中需要支持50个波束时,则只需要增加3个机箱以及3个EMS服务即可实现系统的业务扩容。

2 网络管理系统主备切换结构设计

网络管理系统主要通过主从节点多副本机制实现冗余备份机制。如图3所示,网络管理系统的主节点允许写入和读取,从节点仅允许写入。从节点采用同步或半同步的方式,将主节点数据复制过来并更新当前数据,以保持和主节点数据的一致性。同时,当主节点与其他应用节点之间10s以上没有通信时,网络管理系统将自动选择一个优先级高的从节点作

为新的主节点，这里主要通过 Keepalived 高可用故障转移技术、NMS 集群部署、EMS 的 1:1 主备以及 MySQL 双向主从设计，实现网络管理系统的主备切换。

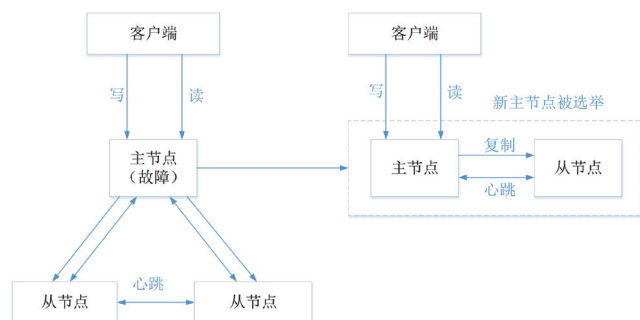


图 3 网络管理系统主备切换结构设计

2.1 Keepalived 高可用故障转移原理

Keepalived 在服务发生故障转移时的原理主要是通过 VRRP 协议实现的。系统正常运行时，Keepalived 主节点会向备节点不间断地发送心跳信息，通过心跳告诉备节点当前主节点处于激活状态。如果主节点因服务器故障或者其它原因导致无法持续向备节点发送心跳时，备节点就无法正常收到来自主节点的消息，那么备节点就会主动调用自身接管程序，将主节点的 IP 资源和服务接管。传统的 Keepalived 配置状态分为主路由器和备路由器，而当主节点服务恢复时，备节点会释放自身接管的 IP 资源及服务，恢复到原来的备用角色，这样会导致新的主备切换。本文基于原有的 Keepalived 路由设计，为了降低主备切换导致服务短时间不可用的影响，将主节点和备节点的路由状态均设置为备路由器，路由器的优先级主备节点设置为相同，当发生一次主备切换转移后，主节点恢复服务时，备节点不再释放接管权，只有当备节点故障时，才会进行下一次的主备切换。

2.2 NMS 组件集群方式部署

NMS 由多个服务组件组成，组件间通过 Activemq 进行消息通信，NMS 管理模块、波束切换模块、终端认证模块、自身监控模块等节点分别承担不同的业务，使用负载均衡策略，使每个节点均衡分担访问压力和运算负载，提高整个集群的性能和效率。负载均衡实现的核心在于使用一定的算法和策略，把用户请求分发到不同的节点上，使得所有节点的访问量基本相等。为了保障发生故障的节点能够快速切换到备用节点，不影响整个系统的业务，集群部署的节点均采用主备的方式，假设有两台服务器 A 和 B，NMS 集群分别部署在这两台服务器上，A 服务器的集群节点和 B 服务器的集群节点互为备，当 A 服务器发生故障时，自动切换至 B 服务器，确保网络管理服务不会长时间停用。

2.3 EMS 组件 1:1 主备形式部署

网元管理软件（EMS）是一个机箱的管理单元，管理该 ATCA 下的所有基带设备、所有网络段和所有终端。NMS 通过 EMS 与基带设备和用户终端交互。ATCA 的设备、网络、终端等资源由 EMS 进行统一管理。EMS 和 ATCA 是 1:1 的关系。根据业务量的需求，EMS 可以是一主一备，也可以是多个一主一备。实际部署中，考虑硬件成本等因素，EMS 多采用虚拟机的方式进行部署，每一组主 EMS 和备 EMS 部署在不同的服务器上。当主 EMS 出现故障时，自动切换至备 EMS 上，继续提供服务。

2.4 MySQL 数据库双向主从模式

卫星通信系统运行中会产生大量的告警信息、历史数据和日志文件等信息，因此对数据储存的高性能、高可靠性有较高的要求。本文设计的网络管理系统采用分布式架构，对系统产生的海量历史数据和日志进行存储和归档，分布式缓存系统用以提升系统的并发和访问性能，分布式数据库和时序型数据库能够提升系统的数据写入和读取性能。

对于卫星通信系统中的热点数据，例如监控数据和告警数据等，为了避免客户端频繁访问、直接查询数据库，将其存储在分布式缓存服务器上。由于数据库访问需要访问盘，IO 操作不仅时间相对比较慢，而且会占用较大的系统资源，缓存的有效命中将能大幅提升系统的查询性能和效率，以及降低系统的资源利用率。

系统中主要的配置和管理数据被存储在分布式关系数据库上，系统将对不同的业务应用数据进行存储和管理。分布式数据采用主从的模式，通过异步的方式同步主从节点的数据。配置管理数据查询多、写入少，因此采用读写分离的方式，提高系统的查询效率。分布式数据库采用热备架构，物理服务器出现故障后服务秒级完成切换，整个切换过程对应用透明。

MySQL 主从复制的原理，主要有三步。

第一步：主数据库的 binlog 二进制文件，记录所有数据操作的 SQL 语句。

第二步：从数据库同步主数据库的 binlog 文件的 SQL 语句，并将其记录到从数据库的中继日志 relaylog 中。

第三步：从数据库的 relaylog 重做日志文件，并再次执行 SQL 语句，从而达到同步主数据库的目的。

3 卫星通信系统网管主备切换应用

网络管理系统由多个功能模块组成，主备方案设计中，每个模块均需要进行主备结构设计，如图 4 所示。

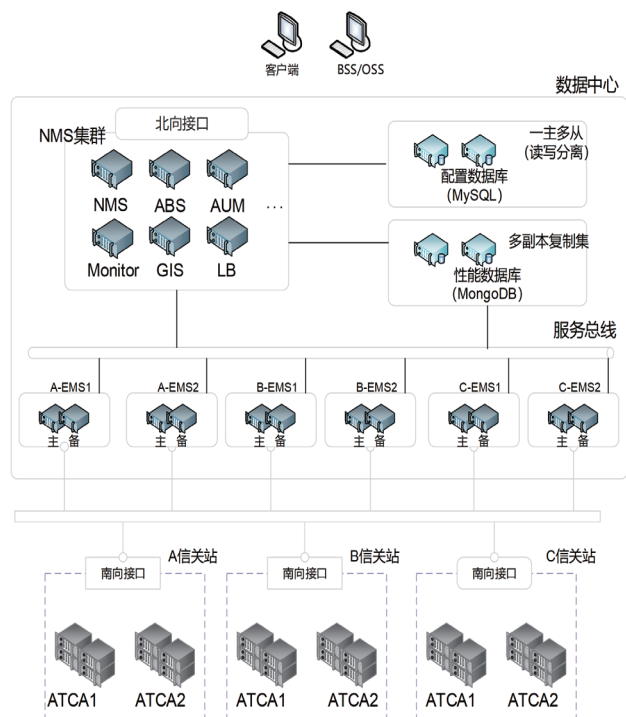


图4 网络管理系统主备切换应用

其中，网元管理模块、波束切换模块、终端认证模块、自身监控模块采用自研主备方案，以 Keepalived 主备切换通知进行部署包主备漂移，保持部署包主备状态和 Keepalived 一致。Tomcat、Nginx、Activemg 采用热备方式，以 Keepalived 进行浮动 IP 漂移，浮动 IP 漂移到哪个节点，就访问哪个节点。MySQL 采用双向主从配置，Mongo 采用多节点选举。

接着进行本文卫星通信网络管理系统的结构设计。系统因异常造成切换导致服务中断时，虽然不会对卫星地面通信系统的业务产生影响，但是会造成系统无法监控和配置，同时系统的历史采集数据将会造成短时间的数据丢失。网管发生切换时，服务中断的时间大约 10 s。因此，在进行 Keepalived 配置时，按前文 Keepalived 的方式进行配置，尽可能避免不必要的切换。

网络管理系统冗余备份，支持本地备份和多运营中心异地备份。假设网管应用部署在 A 和 B 两个运营中心，其中 A 作为主运营中心。A 运营中心网管的节点支持热备，当主节点故障后，网络管理系统会优先切换至备份节点。当 A 运营中心出现断电、断网或者自然灾害等情况时，网管系统会从 A 运营中心切换至 B 运营中心。

本文运营中心采用多节点云计算服务器作为硬件平台，搭建云平台，为运营中心网络管理系统提供计算、存储等服务。存储层数据基于 SAN 的异地复制，运营中心云管理节点通过数据库同步服务来实现，使用云灾难恢复组件配置容灾保护和灾难恢复管理，实现云服务器的容灾功能。运营中心各种日志文件应至少能联机保存六个月的时间。

4 结语

本文针对高通量卫星通信网络管理系统和主备切换结构进行设计，结合卫星通信网络节点复杂、用户终端多、系统稳定性和可靠性要求高等特点，提出了一种卫星通信网管管理系统主备切换场景应用，使得卫星通信网络管理能够实现多卫星、多信关站和多频段卫星资源统一规划和监管，具备可扩展性高的特点，能够根据网络规模的变化灵活部署，支持多终端管理，支持双机或多机热备，有力地支撑系统日常运营管理。

参考文献：

- [1] 庄雄, 黄旭峰. 烽火设备省级集中异地互备网管系统建设[J]. 光网络, 2016(1):8-11.
- [2] 包励. 民航空管系统异地容灾 NCE-T 网管改造设计[J]. 信息通信, 2021(9):91-93+96.
- [3] 胡天骄, 郭旭静, 王祖林. 网管软件主备切换协议的设计和验证[J]. 测试测量技术, 2011(7):26-29.
- [4] 张志军. 卫星传输系统双星并发网络的设计与实现[J]. 无线发射与节传, 2023(4):86-89.
- [5] 庞立新, 李杰, 冯建元. 高通量通信卫星发展综述与思考[J]. 无线电通信技术, 2020, 46(4):371-376.
- [6] 张晨, 张更新, 王显煜. 基于跳波束的新一代高通量卫星通信系统设计[J]. 通信学报, 2020, 41(7):59-72.
- [7] 孙晨华, 章劲松, 赵伟松, 等. 高低轨宽带卫星通信系统特点对比分析[J]. 无线电通信技术, 2020, 46(5):505-510.
- [8] 武玉良. 基于 B/S 架构的卫星网络管理技术研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2011.

【作者简介】

高杨（1988—），男，河南信阳人，硕士，工程师，研究方向：卫星通信终端及计算机技术应用。

周志伟（1981—），男，广东梅州人，学士，工程师，研究方向：卫星通信。

王沛（1989—），男，陕西榆林人，硕士，工程师，研究方向：卫星通信系统及网络协议化。

孙万海（1984—），男，山东德州人，硕士，工程师，研究方向：卫星通信系统及网络协议化。

刘萍（1989—），女，陕西西安人，硕士，工程师，研究方向：卫星通信终端及计算机技术应用。

张克龙（1989—），男，陕西西安人，硕士，工程师，研究方向：卫星通信终端及计算机技术应用。

（收稿日期：2024-06-12）