

自动化集装箱码头双活数据中心方案研究及应用

杨远标¹ 龙霆斐¹ 秦国峻¹
YANG Yuanbiao LONG Tingfei QIN Guojun

摘要

数据中心网络是支撑码头业务系统的重要基础设施,提升数据中心方案的安全可靠性是提高码头生产作业连续性和效率的关键环节。针对自动化集装箱码头对于数据存储的稳定性、连续性、高算力和高可靠性需求,提出了双活数据中心解决方案。首先基于超融合虚拟化架构,综合网络集群堆叠、SAN 储存、VSAN 和 NSX-T 等技术,实现了双活容灾数据中心“网络双活、应用双活、存储双活”。然后,通过某码头的实际案例,验证了方案的可行性和有效性。

关键词

通信与信息系统;双活容灾;超融合虚拟化;网络冗余;数据存储

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.01.023

0 引言

“十四五”期间,国家提出建设现代化综合交通运输体系,推动交通运输高质量发展的指导方针。港口是水运交通的重要组成部分,加快智慧港口建设,建立智能化港口系统是贯彻国家交通强国战略的重要举措。港口智能化转型的核心载体是自动化码头,加大港作机械装备、自动化集装箱码头操作系统、远程作业操控等技术的研发与推广应用,是提升自动化码头智能化水平的核心环节。

自动化码头的建设离不开数据中心技术的应用和发展,如何保障自动化码头的作业效率和连续性,是自动化码头建设过程中必然面临的重要挑战^[1]。相比传统码头,自动化码头业务系统运行所需要的计算、存储资源都更为庞大,对于系统连续运行能力和数据容灾备份能力有着更高的要求,因此建立一套具备高可靠性的数据中心极为重要^[2-5]。本文研究基于双活架构的数据中心容灾方案,基于超融合虚拟化框架,结合网络集群堆叠、存储区域网络(storage area network, SAN)、VSAN、NSX-T 等一系列技术,构建具备网络、计算、存储双活的数据中心,提高数据中心的 service 能力和灾备能力。

1 问题背景

自动化集装箱码头是指采用现代化的物流技术手段和信息化技术手段,实现集装箱货物的自动装卸、存储、运输和处理等全流程自动化的码头。相较传统的集装箱码头,自动化集装箱码头生产过程自动化程度高、人工参与程度小,因此对生产作业的连续性和系统稳定性要求更加严格。网络、

数据中心、业务系统发生故障可能导致生产作业中断,由此带来的安全隐患和效率下降的影响极为严重。数量众多的自动化作业设备的运作、调度及生产业务系统运行所需的计算、存储资源与数据中心有限的网络、计算、存储、空间、散热、供电等资源的产生矛盾。随着码头业务扩张和业务量的增长,数据中心也将面临交换机、服务器等设备增加扩容的需求,因此传统数据中心已经无法满足自动化集装箱码头对于生产保障的需求。

对于上述数据中心所面临的问题,传统主备模式的数据中心无法解决由于突发灾害、设备故障导致的生产业务系统运行中断、数据丢失等问题。因此,迫切需要在传统主备模式^[6]的数据中心基础上,将多台单节点服务器集群化,实现数据中心的计算、存储、网络等资源的统一管理和调度,建立双活模式的数据中心。

1.1 自动化码头对于数据存储稳定性和连续性的需求

数据是自动化码头最重要的生产资料,自动化码头用机械和系统代替人工,几乎所有的数据都保存在数据中心。在自动化作业过程中,如岸桥与智能导引运输车(intelligent guided vehicle, IGV)的交互作业,轨道吊与 IGV、外集卡的交互作业,都需要依靠稳定、连续的数据交互。关键生产数据如作业指令的丢失、错误等,会导致连续的自动化作业被中断,甚至有可能威胁到人员、设备和车辆安全,影响码头的连续运营。关键业务数据如客户信息、货物信息、财务信息等一旦在存储过程中发生数据丢失或存储错误,将对码头业务造成严重影响,对码头造成经济损失。

数据丢失可以概括为大致三种。

(1) 逻辑错误:包括软件漏洞、病毒攻击、数据块被

1. 广西钦州保税港区盛港码头有限公司 广西钦州 535000

破坏等。

(2) 物理损坏：包括服务器、存储设备、磁盘损坏等。

(3) 自然灾害：火灾、地震等自然灾害对数据中心的摧毁等。

为了应对数据丢失造成的损失，满足自动化码头对于数据存储稳定性和连续性的需求，必须建设完备的数据存储和数据灾备方案存储平台。

1.2 自动化码头对于高算力和高可靠性的需求

自动化码头的正常运行依托于各类信息系统，如码头操作系统（terminal operating system, TOS）、设备控制系统（equipment control system, ECS）、调度系统等，这些系统控制着码头的生产作业和整体资源的调度。其中，TOS 负责整个码头的生产计划编排；ECS 负责接收 TOS 下发的作业指令并解析成岸桥、轨道吊和 IGV 等单机设备控制系统可识别的命令，以执行自动化作业任务；调度系统则是将码头内的机械设备等资源根据作业任务进行合理调度。由此可以看出，这些核心生产系统需要高算力的服务器，尤其是对于堆场堆存计划和 IGV 车辆行进路线，需要综合各种因素进行计算得出最优的结果，而且对于可靠性要求极高，一旦系统由于算力不足、物理或逻辑故障而产生系统错误、卡顿，将直接影响码头生产作业的效率。

2 双活数据中心解决方案设计

提出的双活数据中心解决方案主要从 5 个方面进行考虑。

(1) 计算、存储、网络资源的共享和统一管理，将物理服务器虚拟化、集群化，使其资源池化；(2) 数据存储的多副本，双边同时存储，支持任意时间点数据恢复、数据回滚；(3) 网络通信的层次化、冗余化，避免单节点故障导致数据交互中断；(4) 应用的高可用，支持应用备份和快速切换、快速恢复服务，避免由于应用所在的设备故障导致应用运行中断；(5) 数据中心的冗余和容灾，将资源分别部署在 A、B 两个数据中心，通过网络等技术实现信息、资源共享，跨数据中心同时提供服务。

2.1 资源共享

自动化集装箱码头将计划任务的派发和自动化设备的调度由人工操作转变为各种匹配的业务系统自动执行，业务系统多、对于计算存储等资源的需求量大且各业务系统所需的资源配置不尽相同，一般的物理服务器提供服务的模式难以满足如此巨量且多样化的资源需求。虚拟化技术是在物理服务器的基础上，虚拟出更多的虚拟服务器（称为客户机）。其中，每个客户机可独立运行，配置相应的操作系统，运行独立的应用软件，单个客户机的故障只会影响其本身。超融合技术^[7]则将多台单节点超强性能的物理服务器组成服务器

集群，集群内每个节点服务器的计算存储等资源形成统一的资源池，再在这个基础上创建客户机。客户机所需的资源可以灵活地从超融合集群获取，这就很好地适配了自动化码头所需业务系统多、总体系统资源配置要求高、各系统需求多样化的要求。

2.2 数据存储

数据是自动化码头最重要的生产资料，几乎所有的数据都保存在数据中心。在自动化作业过程中，关键生产数据如作业指令的丢失、错误等，会导致连续的自动化作业被中断，甚至有可能威胁到人员、设备的安全，影响码头的运营效率。关键业务数据如客户信息、货物信息、财务信息等一旦在存储过程中发生数据丢失或存储错误，将对码头业务造成严重影响。

多副本存储是应对单节点存储数据丢失的主要解决手段，物理地点层面上，将数据分别各保存一份在两个数据中心，避免单数据中心由于自然灾害导致数据丢失。设备层面上，对于对数据读写要求较高的业务数据，如 TOS、ECS 等系统数据库的数据，存储设备采用两套相同规格的全闪存阵列，分别部署在 A、B 两个数据中心。结合 SAN 存储网络架构，构建横跨两个数据中心的存储网络，A、B 数据中心的全闪存阵列同时对同一条数据进行读写，任意一边的数据中心或者全闪存阵列遭受破坏，均不影响数据的读写。采用持续数据保护（continuous data protection, CDP）技术^[8]，构建数据回滚机制，可将数据恢复到任意时间点，防止由于逻辑错误或误操作导致的数据破坏，进一步提高数据存储的容错率。对于对数据读写要求一般的业务数据，存储在超融合集群的存储资源内，或者存储在单独的物理服务器的存储资源内。存储策略层面上，采用磁盘阵列（redundant arrays of independent disks, RAID）技术^[9]，将数据分开保存在不同的硬盘内，互为备份，防止单硬盘故障导致的数据丢失。

2.3 网络冗余

自动化集装箱码头设备、业务系统间逻辑严密，信息交互频繁且密切，数据交互的速率、稳定性、可靠性直接影响码头运行效率。整体网络应遵循“核心层—汇聚层—接入层”设计原则^[10]。关键网络节点如核心层，是数据交互量最大、交互频率最密集的区域。核心交换机采用 2 台同规格的框式交换机，分别部署在 A、B 数据中心。交换机之间通过光纤互联，采用链路聚合技术，将互联的几个接口聚合成一个逻辑端口，提高互联链路带宽的同时也提高了接口的冗余性，避免单链路、单接口故障导致互联中断。两边的核心交换机互联后，采用交换机集群虚拟化技术，将两台交换机虚拟成一台逻辑的交换机，同时对外提供网络服务。任意一边的数

据中心或者核心交换机出现故障，都不会中断数据中心的网络通信以及对外提供的网络服务。

2.4 应用高可用

码头绝大部分业务系统运行在虚拟机上，虚拟机运行在横跨 A、B 数据中心的各个超融合服务器节点上。凭借超融合虚拟化平台提供的高可用（highly available, HA）功能，当任一数据中心或超融合集群某些节点服务器发生灾害故障时，业务系统所处的虚拟机会立刻自动迁移到正常运行的节点服务器。重新启动后虚拟机的配置、存储的数据与迁移前一致，节省了故障发生后重新部署虚拟机的时间成本。对于关键的业务系统如 TOS、ECS，凭借超融合虚拟化平台提供的容错（fault tolerance, FT）功能，建立虚拟机镜像，可使虚拟机同时运行在 A、B 两个数据中心的超融合节点服务器上。同一时间只有一台虚拟机的业务系统对外提供服务，当任一数据中心或其中一台虚拟机所处的超融合节点服务器发生故障时，业务系统可无感知地切换到另一台虚拟机，不会中断服务，提升业务系统服务的连续性和可靠性。

2.5 物理环境

自动化码头数据中心双活架构的物理基础是两个不同标准、不同物理地点的 A、B 数据中心。A、B 数据中心分别处于有一定距离的不同建筑单体内，通过光纤进行互联。光纤规划设计两条完全不同的路由，避免单条路由光纤由于外部因素被破坏导致数据中心互联中断。对于双活数据中心，两边的设备都同时运行承担业务，但实际上仍然有主数据中心的概念。主数据中心由处于第三物理地点的仲裁中心 witness 决定，当主生产机房由于不可抗拒原因造成整个机房宕机时，容灾机房能够自动切及时并接管所有应用系统。如果互相联系不上对方就会产生“脑裂”现象，导致两边数据中心在互相争夺主控权，造成业务系统宕机，因此 A、B 数据中心完全不同的双路由互联链路非常关键。数据中心内部采用模块化设计理念，满足码头业务迅速扩张的需求，行列式机柜配合冷通道，满足设备空间、电源、散热后期灵活扩容的需求。同时模块化的数据中心更能满足资源的按需设计、按需使用的环保理念，资源得以最大限度地利用，减少建设成本，提高资源利用率，降低能耗。

3 双活数据中心解决方案关键技术

3.1 超融合虚拟化

超融合虚拟化技术是将超融合（hyper-converged infrastructure, HCI）和虚拟化结合，实现在同一套单元设备中具备计算、网络、存储、服务器虚拟化软件和分布式存储软件等资源的技术。HCI 架构如图 1 所示，同一套单元设备内的各个节点可以通过网络聚合起来，支持模块化的无缝横

向扩展。后期如果要增加算力存储等资源，按需增加节点服务器即可快速融入现有集群，不影响集群正在运行的服务。通过延伸集群技术，将 A 机房的超融合节点服务器集群延伸到 B 机房，形成逻辑上横跨 A、B 机房的资源池，便于对资源进行统一管理和分配。在物理上，集群服务器是平均分布在 A、B 机房，在任意一个机房发生灾害性破坏的时候，能保障有一半的集群服务器能持续提供不间断的服务。



图 1 HCI 架构

虚拟化技术，是将计算机的物理资源转变为逻辑上可管理的资源，以打破物理结构之间的壁垒。虚拟化技术一般分为裸机虚拟化和宿主虚拟化，如图 2 所示。裸机虚拟化方式下，虚拟机调用 x86 服务器资源的流程为：虚拟机内核—底层 OS—虚拟层 Hypervisor—x86 服务器硬件，而宿主虚拟化方式调用流程明显更加复杂，因此宿主虚拟化并不彻底，将虚拟层用虚拟软件建立在已经拥有 OS 的服务器上，导致性能降低，资源利用率不高。

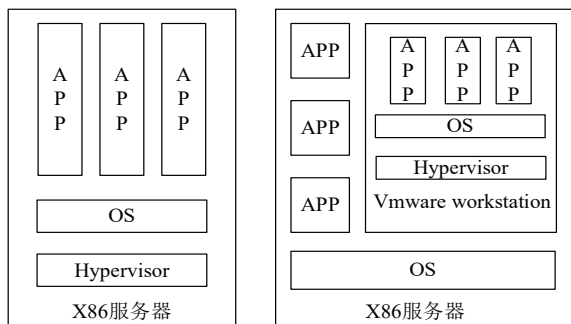


图 2 裸机虚拟化和宿主虚拟化

在裸机型虚拟化中，可以将 Hypervisor 看作是一个很薄的操作系统，能够直接访问计算机的硬件资源，不需要底层操作系统，使得虚拟机能够更快速地调用硬件资源，相比传统 OS，占用硬件资源更少、稳定性更好。因此，采用裸机虚拟化获得更强的性能、更优的扩展性和稳定性。

在超融合的基础上，结合虚拟化技术，构建统一管理的虚拟化平台，将集群内单节点服务器的算力、内存、硬盘、网络等资源进行融合，在平台上直观展示整个集群资源情况。单节点服务器采用裸机虚拟化方式。根据码头实际业务需求，在平台上新建相应数量的虚拟机，虚拟机的计算、存储、网络等资源都来源于集群构建的资源池。虚拟机的核数、内存、硬盘、网络等配置可以自定义，同时支持后期灵活修改，以满足未来业务系统升级所带来的配置要求提高，虚拟机创建

完成后,可自定义运行在 A、B 数据中心两边任意一台节点服务器上。总的来说,超融合虚拟化技术应用于数据中心,既满足了自动化生产作业所需超高的资源需求,也提供了更加灵活的业务系统部署、扩容的方式,实现了资源的最大化利用,也便于后期的运维管理。

3.2 基于 SAN 架构的存储

针对核心生产系统如 TOS、ECS 的数据库,其数据存储和读写采用 SAN 技术。SAN 技术是通过光通道交换机,将传统服务器解耦成专门的存储设备 and 应用服务器,形成“服务器—光纤通道交换矩阵—存储矩阵”的架构,提高了数据读写和应用服务的性能。码头核心生产系统 TOS 和 ECS 的数据是结构化数据,采用数据库的方式进行存储,存储的数据是自动化生产作业过程中最重要也是最具价值的,其他生产运营相关的系统通常通过单独的数据库账号连接数据库进行查询。因此,数据库存在多连接和高并发需求,同时对存储的安全性、冗余性和容错率要求极高。SAN 架构的存储模式,将数据库单独部署在应用服务器上,服务器不需要承担数据传输和数据存储的工作,可以将全部性能用来提供数据库服务,数据传输集中在由光通道交换机上组成的光纤通道交换矩阵上,所有与之相连的设备都可以实现数据互通和拥有高速通道,同时便于拓展,存储矩阵为专门的全闪存存储阵列,以满足数据库高速读写的性能要求。在 A、B 机房两边各部署一套规格相同的应用服务器、全闪存存储阵列、光通道交换机、存储网关,如图 3 所示。

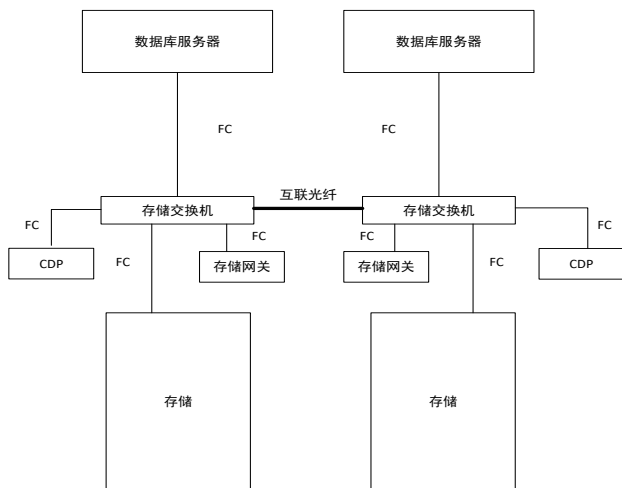


图 3 基于双活架构 FC SAN 存储

数据库采用 Oracle RAC^[11] 集群技术, TOS 和 ECS 的数据库各采用两台应用服务器组成一套数据库服务器集群,任意一节点故障,不影响数据库正常运行。存储网关通过虚拟网关的方式,将数据库服务器存储的单据数据同时存储到两边的全闪存存储阵列,同时允许应用从不同的数据中心同时访问单个数据副本,支持应用对两边的全闪存存储阵列进行同步

的 I/O,打破了数据中心的物理壁垒,形成一个横跨双数据中心的 SAN 存储网络。数据库在对 A 机房的全闪存存储阵列进行数据写入的同时,也将数据写入在 B 机房的全闪存存储阵列,并且时刻保证两边写入的数据一致,一旦 A 机房的全闪存存储故障或网络中断,数据库也能从 B 机房的全闪存存储进行数据读写。全闪存存储阵列提供优秀的 I/O 性能及庞大的存储容量,连接在光通道交换机的 CDP 则可以为全闪存存储提供任意时间点的数据恢复,将对存储进行的所有写操作记录在 CDP 日志里,可防止由于存储或网络故障导致某个时间点的写操作丢失,进而导致数据不准确或者由于误操作导致数据丢失,可利用 CDP 进行数据回滚,将存储的数据回滚到错误发生前的状态,进一步增强了数据的安全性和容错率。基于 SAN 架构的存储方案,可以满足自动化码头高吞吐量数据的高速存储需求,能够保障最核心的数据库和应用数据读写的连续性和稳定性,为应用业务连续性提供最底层数据层面的保障,并最大限度地缩短了恢复时间目标 (recovery time objective, RTO)。除此之外,基于 SAN 架构的存储方案还具备一定的数据容灾备份和恢复能力,进一步保障了数据存储的安全。

3.3 应用热迁移与高可用

自动化码头对于应用系统的连续性要求极高,关键生产业务系统一旦因为各种原因导致中断,将会对码头造成难以估量的效率降低和经济损失。常见的情况如服务器突发故障或该服务器需要进行计划性维护,其承载的虚拟机或应用系统会中断运行。在 HCI 架构构建的服务器集群基础上,利用 VMware 推出的 VMotion 和 vSphere HA^[12] 技术能很好地解决单节点服务器中断运行的问题。VMotion 热迁移^[13] 是一项用于在计划性停机情况下实现应用热迁移的技术。在集群内各节点服务器资源池化的前提下,VMotion 可以计划性地将虚拟机以极快的速度从一台需要关机维护的服务器上,迁移到另一台正常的服务器上运行,而在虚拟机上运行的应用系统不会在迁移过程中被中断或受到影响。VMotion 热迁移如图 4 所示。

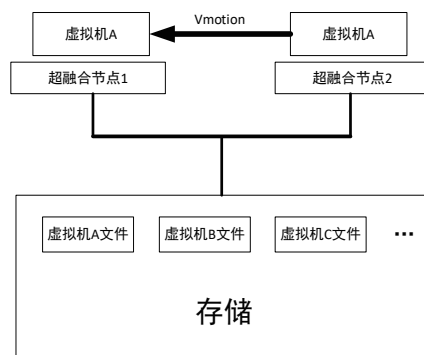


图 4 VMotion 概念图

相较于应用冷迁移而言,在进行 VMotion 时服务器将不用关闭正在运行的虚拟机,而是将整个虚拟机状态全部封装在共享存储器上,虚拟机的系统、内存、网络、存储等全部形成一组文件,共享存储器由虚拟机文件系统 VMFS 进行管理,而原节点服务器和目标节点服务器可以同时访问 VMFS 内的虚拟机文件,VMFS 通过运行在每一台节点服务器上,直接管理文件系统的命名空间来达到协调管理客户端对文件的访问权限。同时虚拟机的活动内存以及精确执行状态都通过集群内部的高速稳定网络进行快速传输,虚拟机将在应用系统无感知的情况下由原节点服务器切换到目标节点服务器上运行。网络层面,虚拟机的网络标识信息以及网络连接状态也得以保存。因此,VMotion 可以实现计划性的服务器停机情况下,将虚拟机及其运行的业务系统迁移到另一台正常运行的服务器上,期间不中断虚拟机运行,虚拟机上运行的应用系统也无感知地进行切换,以确保不影响自动化生产作业。

vSphere HA 则是在节点服务器由于断电、故障等非计划性停机情况下,通过在集群内的其他节点服务器上重新启动该虚拟机,如果是虚拟机本身出现故障时,则在原节点服务器重启该虚拟机,因此只需要一段虚拟机重启的时间,应用系统便可重新运行,大大降低了应用系统的 RTO,同时虚拟机上的应用或服务设置为开机自启动,业务系统就能重新跑起来。vSphere HA 如图 5 所示。

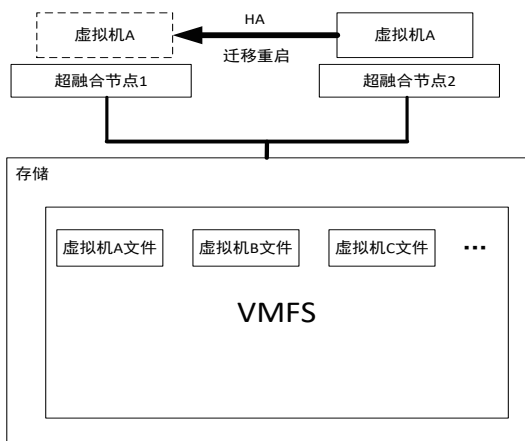


图 5 vSphere HA 概念图

当集群启用 HA 功能时,系统会自动选举一台节点服务器作为 Master 主机,预先设置其余的节点服务器作为受保护的 Slave 主机,如图 6 所示。Master 主机通过心跳检测信号监控所有受保护的 Slave 主机的状态,同时使用管理网络和数据存储检测信号来确定故障的类型。当 Master 主机在设定的时间内没有收到来自 Slave 主机的心跳信号,将会认为 Slave 主机故障,Master 主机检测故障类型并相应地进行处理,尝试在预先指定的故障切换主机上重新启动其上面运

行虚拟机,由于前文提到的虚拟机状态全部封装在集群内的共享存储器,因此其他主机可以进行读取和运行。如果故障切换主机发生故障或者资源不足时,vSphere HA 会尝试在群集内的其他主机上自动重新启动该虚拟机。当 Master 主机本身出现故障时,Slave 主机重新选举产生新的 Master 主机。同时,本地运行的虚拟机或虚拟机运行的业务系统可通过虚拟机上安装 vMware tools,实时向 Slave 主机发送心跳检测信号,实现 Slave 主机实时监视本地运行的虚拟机或虚拟机运行的业务系统状态,并将其运行状态的显著变化发送给 Master 主机,在检测到虚拟机或应用系统发生故障时,Master 主机可在原来的 Slave 主机上自动重新启动该虚拟机。通过在应用系统上将软件或服务设置开机自启动,便可实现由于设备硬件故障或软件系统故障导致的生产业务系统中断,仅需一小段虚拟机重启的时间,通过实时监测、自动迁移重启虚拟机以达到最快恢复业务的效果。因此,VMotion 和 vSphere HA 可分别实现计划内和计划外的应用级高可用,搭配应用可满足自动化码头对于业务连续性的要求。

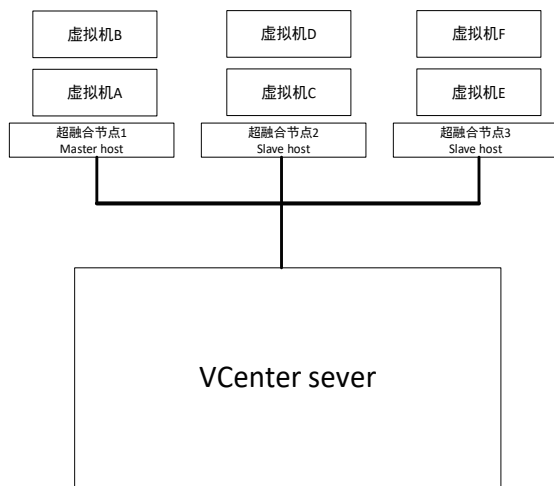


图 6 Master 与 Slave 机制

3.4 网络虚拟化

HCI 架构构建的服务器集群,其网络资源也进行了融合,通过网络虚拟化技术为集群上运行的虚拟机提供了网络通信相关服务。NSX-T 是基于软件定义网络^[14](software defined network, SDN)专用于虚拟化的网络平台,可以实现完全的网络虚拟化,以软件形式为虚拟机提供第 2~7 层的网络服务,包括交换、路由、访问控制、防火墙、负载均衡等一系列功能,以及对虚拟化网络更先进的防护。

传统的网络分为管理、控制、数据层面,如图 7 所示,在控制平面和数据平面高度耦合,路由器既运行控制平面的路由协议,同时也关心数据平面的路由转发。而基于三层平面的传统网络架构带来的弊端就是无法进行流量路径的灵活

调整，加之网络协议的复杂，使得网络工程师的运维难度加大，在对网络进行业务升级时进度缓慢。

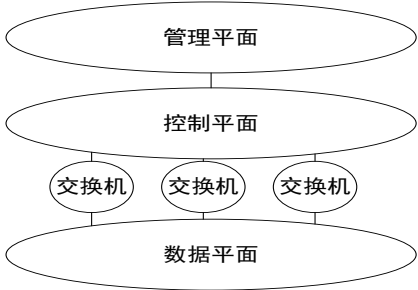


图 7 传统网络三大平面

NSX-T 同样分为管理、控制、数据三个层面，这三个层面是作为位于管理器、控制器和传输节点三种类型节点上的一组进程、模块和代理实现的。管理平面为系统提供了一个 API 入口点，负责处理查询、修改和永久保留用户配置，而控制层面则负责将这些配置下发至正确的数据层面子集，使用网络封装协议创建覆盖网络，以承载跨物理网络各个部分的虚拟网络流量，数据层面根据控制层面的控制信息执行数据包转发或转换，同时向控制层面报告数据包统计信息以及拓扑和状态物理数据。与传统网络三层界面不同，NSX-T 创建和配置网络是独立于底层硬件的，在创建和配置网络的时候，是通过类似于编程的方式，组合所需要的网络服务，平台便可自动化地进行相应配置部署。

因此，数据中心大量的虚拟机可根据业务需求和网络规划，通过 NSX-T 实现网络的快速搭建和配置管理，并且可以根据后期需求变化进行灵活调整，同时通过配置虚拟

机网络在一定程度上实现网络逻辑隔离，提高了虚拟网络的安全性。NSX-T 通过横跨不同数据中心构建 overlay（节点和逻辑链接）的二层网络实现双活数据中心的资源池化，资源可以根据需要实现在不同数据中心的迁移、资源扩容、应用灾备等无需修改任何网络配置。NSX-T 的分布式防火墙和 ips/ids（入侵监测和入侵防御）可以实现不同数据中心统一的、基于应用的动态安全策略，以保护虚拟机容器和物理机的安全。

4 方案应用验证

4.1 测试案例设计

为验证所提出的解决方案的有效性，本文采用钦州自动化集装箱码头双活数据中心机房在建成搬迁后进行的真实验证测试数据。码头双活数据中心机房分别位于两处不同地理位置的 A、B 机房，仲裁中心 witness 在第三物理地点 703 变电所。超融合集群总共 16 节点，TOS 和 ECS 各自采用独立的数据库服务器，以 RAC 数据库集群方式部署。

设备连接拓扑图如图 8 所示，超融合集群 1～8 节点、TOS 数据库服务器 A 节点、ECS 数据库服务器 A 节点、存储网关 vplex-1、光交换机-1、全闪存存储 powerstore-1 在 A 机房。超融合集群 9～16 节点、TOS 数据库服务器 B 节点、ECS 数据库服务器 B 节点、存储网关 vplex-2、光交换机-2、全闪存存储 powerstore-2 在 B 机房。测试业务以 TOS 为例，在进行测试时，观察 TOS 后端服务和数据库的运行情况。

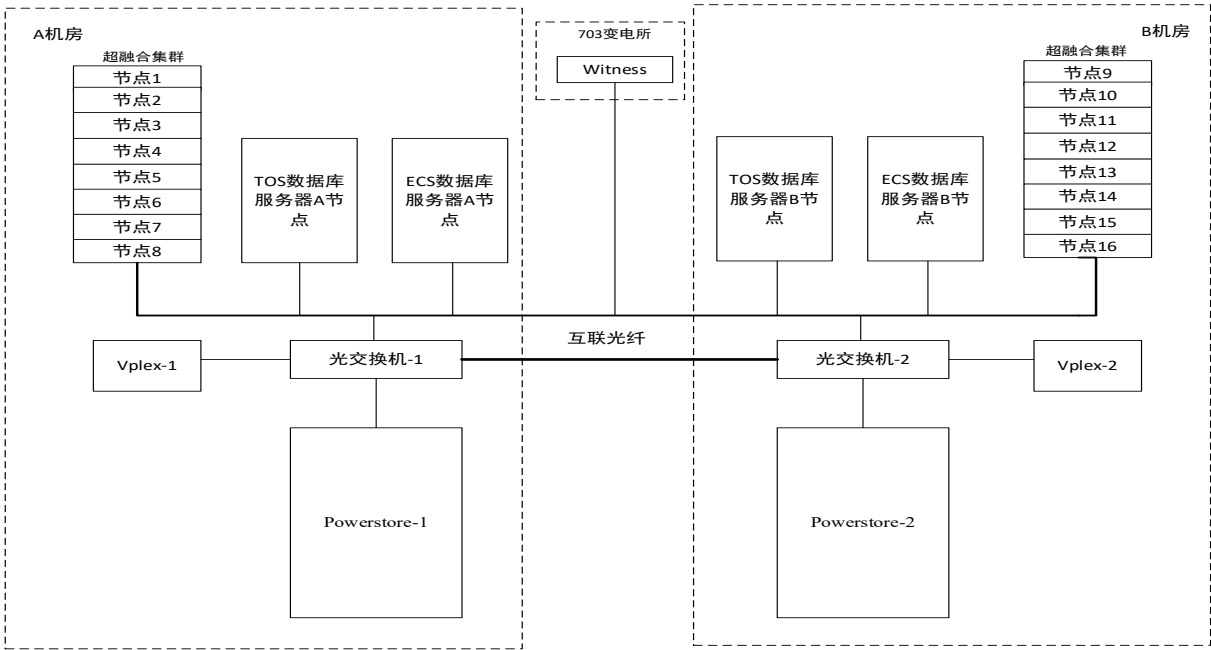


图 8 设备连接拓扑图

4.2 测试结论

本次测试在双活数据中心机房架构下进行。整个 TOS 由多台虚拟机所运行的服务集群构成，TOS 运行正常的主要观察指标为 TOS 后端监控平台内监控的各项服务运行的情况。运行故障的服务将会以“红色告警”显示出来，并通过查询 TOS 系统日志文件，检查在 TOS 客户端操作后的指令是否正常下发。TOS 数据库正常运行的主要观察指标为 Oracle 数据库管理平台数据库 RAC 集群运行状况、I/O 状况，以及通过查询 TOS 系统日志文件，检查在 TOS 客户端操作后的指令是否正常下发，数据查询结果是否正常获取，数据写入是否成功。

由表 1 可以看出，A、B 机房两边双活运行的设备，在单机单一主控故障下，由于双主控设计，不影响单机本身运行。在单台设备本身故障的情况下，另一边的机房的设备都能无缝承担起业务，保障 TOS 等关键生产业务系统服务运行正常，数据读写正常。在超融合集群节点上运行的虚拟机，在手动热迁移过程中，虚拟机及其承载的生产业务系统运行正常。在集群节点故障时，虚拟机及其承载的生产业务系统会在极短的时间内，自动迁移到其他正常运行的节点上，重启后业务恢复。通过在物理空间上将资

源进行均分、切割，放置于两个不同地理位置的数据中心机房，可实现数据中心的双活运行，业务系统可自由、自动地横跨双数据中心，最大限度保障运行的连续性、稳定性及可靠性。

5 总结与展望

针对自动化集装箱码头的双活数据中心方案进行研究和验证，分析出码头对于生产作业连续性的需求，提出了利用资源共享、数据存储、网络冗余、应用高可用、物理环境 5 个方面的解决思路，利用超融合虚拟化、SAN 存储架构、应用热迁移及高可用、网络虚拟化等技术，实现了码头生产业务系统的连续运行和灾备恢复，保障了自动化作业的稳定高效。

进行验证的测试没有进行完全的单数据中心灾害模拟，仅通过分解单数据中心内的资源节点，进行相应的灾害模拟，通过条件累加验证数据中心机房的双活运行特性，下一步研究可考虑从单数据中心整体上进行更深层次的双活设计和灾害模拟验证，增加双活方案整体的耦合度，以实现更加整体、更能满足实际生产作业容灾需求的双活数据中心方案应用。

表 1 测试案例及测试结果

序号	测试案例	测试步骤	测试结果
测试 1	模拟超融合集群单节点故障	手动将 TOS 所在的 A 机房超融合集群节点断电，观察其运行的 TOS 虚拟机业务状态和 I/O 访问状况，验证超融合集群的冗余性。	对该台 TOS 虚拟机进行长 ping，超融合集群节点断电后，其运行的 TOS 虚拟机中断，并随后立即自动迁移到另一节点重启，通过 ping 包的断网时间，判定迁移重启的时间约为 2 ~ 3 min，重启后 TOS 虚拟机业务恢复正常。
测试 2	模拟单台 vplex 单个主控故障	手动将一台 vplex 其中一个主控的光纤线全部断开，观察数据库的 I/O 路径和 I/O 访问状况。	vplex 由于采用双主控设计，单主控断网未影响数据持续读写，数据库的数据访问和 I/O 读写正常，TOS 数据查询正常。
测试 3	模拟单台 vplex 故障	手动将 A 机房整台 vplex-1 的光纤线全部断开，观察数据库的业务状况和 I/O 访问状况。	vplex 由于是双活运行，断开 A 机房的 vplex-1 网络，数据库切换到 B 机房的 vplex-2 进行存储的数据访问，数据库的数据访问和 I/O 读写正常，TOS 数据查询正常。
测试 4	模拟单台光交换机故障	手动将 A 机房一台光交换机断电，观察数据库的业务状况和 I/O 访问状况。	光交换机采用的跨机房互联的方式，当 A 机房光交换机断电后，数据库直接切换到 B 机房光交换机进行数据访问，数据库的数据访问和 I/O 读写正常，TOS 数据查询正常。
测试 5	模拟单台全闪存存储 powerstore 故障	将 A 机房 powerstore-1 的光纤线全部断开，观察数据库的业务状况和 I/O 访问状况。	存储网络由于采用 SAN 方案，A 机房单台存储断网后，数据库直接通过光交换机和 vplex 切换到 B 机房进行数据访问，数据库的数据访问和 I/O 读写正常，TOS 数据查询正常。
测试 6	模拟单台全闪存存储 powerstore 故障	将 A 机房 powerstore-1 的光纤线全部断开，观察数据库的业务状况和 I/O 访问状况。	存储网络由于采用 SAN 方案，A 机房单台存储断网后，数据库直接通过光交换机和 vplex 切换到 B 机房进行数据访问，数据库的数据访问和 I/O 读写正常，TOS 数据查询正常。
测试 7	应用热迁移	将正在运行的 TOS 其中一台虚拟机进行 VMotion 操作，迁移到另一台超融合集群节点上，观察虚拟机在迁移过程中的运行状况及 TOS 客户端的运行情况。	对该台 TOS 虚拟机进行长 ping，在 VMotion 过程中，虚拟机网络没有中断，通过观察 TOS 后端监控平台，对应服务运行正常，TOS 指令下发正常。

基于 BP 神经网络和 HOG 特征的茶小绿叶蝉识别

吴 鹏¹
WU Peng

摘 要

为解决茶小绿叶蝉在复杂环境中快速识别的问题,提出了一种基于 BP 神经网络和 HOG 特征提取算法的茶叶病虫害识别方法。首先对采集的茶叶病虫害图片进行数据增强,用来扩充样本数量,并将样本尺寸大小统一到 256×256,以方便网络模型训练。然后使用 HOG 算法提取图片的局部边缘特征,以减少光照变化造成的影响和降低噪声。最后将提取的特征数据输入到 BP 神经网络进行训练,并使用随机梯度下降法(SGD)减少模型训练的时间。实验结果表明,基于 BP 和 HOG 的茶小绿叶蝉识别方法,准确率为 0.94,所提出的模型具有较高的识别能力和鲁棒性,可以为茶叶病虫害智能诊断提供参考。

关键词

病虫害识别; BP 神经网络; HOG; 随机梯度下降; 数据增强

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.01.024

0 引言

茶小绿叶蝉是国内茶园的重大虫害之一,会严重影响茶叶的质量和产量,通常使用喷洒农药的方式来治理茶园病虫害,因此探索快速识别茶叶病虫害的技术手段,及时掌握茶小绿叶蝉虫情,可以有效减少化学农药的使用和对环境污

染,提高茶叶的产量和品质^[1]。基于原始的人工识别农业病虫害方法存在识别一致性差、主观性强等问题,目前基于图像处理和机器学习的识别技术得到了广泛的应用。马佳佳等人^[2]针对传统虫害识别智能化水平低,采用 HOG 特征描述符提取草地贪夜蛾成虫图像特征信息,通过粒子群算法优化 SVM 模型,该算法模型对简单背景下虫害图像的识别率达 100%,对复杂背景下虫害图像的识别准确率达 93.89%。梁习卉子等人^[3]以植保期间的棉花作物为研究对象,提出了基于 HOG 和支持向量机实现棉田的棉花行动态计数方法,识

1. 信阳农林学院信息工程学院 河南信阳 464000

[基金项目] 信阳农林学院青年教师科研基金资助项目 (QN2021058)

参考文献:

- [1] 代晶,鲍兵,张新颜,等.基于虚拟化技术的双活数据中心建设实践[J].西南军医,2021(4):479-481.
- [2] 张伟伟.基于“集群+堆叠”无环网络的设计与研究[J].电脑与电信,2016(3):35-37.
- [3] 董子渔.基于 SAN 技术的网络数据安全存储系统设计[J].信息与电脑,2021(18):209-211.
- [4] 夏畅.VMware vSAN 分布式存储技术研究[J].数据通信,2018(1):4-7.
- [5] 钟敦远.关于机场数据中心部署 NSX 虚拟化网络的探讨[J].现代信息科技,2020(6):110-112.
- [6] 路海燕.容灾系统建设中的主备中心切换问题探讨[J].中国传媒科技,2011(9):58-60.
- [7] 鞠进,杨潇,黄炳林,等.超融合技术在广州港全自动化集装箱码头中的应用[J].水运工程,2022(10):176-180.
- [8] 冯侠.浅析 cdp 卷镜像数据保护技术[J].电子世界,2021(24):134-135.

- [9] 居万军,傅元,单旭彪.基于 RAID 磁盘阵列的安全备份设计[J].信息系统工程,2018(9):165-166.
- [10] 李亚方.基于层次化的网络设计与实践[J].科技资讯,2010(34):14-15.
- [11] 吴秋兵,李丽,赵晓峰.基于 Oracle RAC 数据库集群系统研究与实现[J].宿州学院学报,2020(11):12-15.
- [12] 张麦龙.基于 vsphere HA 的高可用企业数据中心建设探究[J].计算机产品与流通,2018(1):243-244.
- [13] 张岐.虚拟机在线迁移技术综述[J].农业网络信息,2012(2):20-22.
- [14] 张兰兰,冯影.SDN 与 NFV 技术在数据中心建设中的应用及发展探析[J].企业科技与发展,2023(5):21-23.

【作者简介】

杨远标(1996—),男,广西梧州岑溪人,学士,助理工程师,研究方向:网络与通信技术。

(收稿日期:2023-10-25)