

大型企业集中部署ERP系统高可用方案研究与应用

通过分析大型企业企业资源计划（Enterprise Resource Planing, ERP）系统高可用建设现状，系统技术组件，结合企业信息软件标准高可用技术架构，对ERP集中部署系统从基础设施到应用软件和数据库进行了高可用架构设计，应用软件核心组件采用高可用技术和内存同步技术；数据库软件采用分布式多活集群架构和数据级灾备技术，使ERP集中部署系统实现了信息系统最高水平的高可用性。考虑到当前信息软件技术发展方向，在此架构基础上研究了资源池技术和数据级灾备技术的应用，为未来架构优化升级，实现云平台部署和应用级灾备奠定基础。

顾荣斌/国网上海市电力公司信息通信公司

于鹏飞 张宇 姜勐 刘洋/北京中电普华信息技术有限公司



顾荣斌/工程师

关键词/Keywords

ERP ·
高可用 ·
负载均衡 ·
资源池 ·
灾备 ·

企业资源计划（Enterprise Resource Planing, ERP）源于计算机发明初期应用于制造业自动化的MRP，是建立在信息技术基础上，整合企业管理理念、业务流程及基础数据于一体的企业资源管理系统。作为支持传统工业自动化的核心信息系统，ERP系统技术架构与早期超级计算机技术架构设计理念一致，稳定、高效，将尽可能多的业务流程、基础数据封装成成熟套装软件提供服务，而今随着互联网技术和大数据技术的高速发展，ERP成熟套装软件的技术架构在高可用性、并行运算及柔性扩展等方面面临巨大挑战，本文以国内某大型企业ERP集中部署系统为背景，通过分析ERP系统现状和ERP软件技术组件，结合业内主流高可用技术架构，对ERP系统高可用性和分布式部署方案进行了深入研究。

需求分析

ERP是一套集成了管理理念、业务

流程、人力物力和计算机软硬件于一体的企业资源管理系统，功能范围包括财务管理、成本管理、预算管理、物资管理、设备管理、工程管理、人力资源管理和计划管理等；业务范围覆盖公司总部、省市公司、地市公司以及相关产业单位及海外公司，信息安全等级为三级，按照GB/T 22239—2008《信息安全技术信息系统安全等级保护基本要求》，系统运行期间需降低个别节点故障对业务的影响程度，受高可用保护组件发生故障时能快速切换以降低业务停顿时间。

ERP系统可靠性需求包括：①全冗余的架构设计；②稳定可靠硬件设备；③成熟的软件产品；④故障检测、故障识别和故障转移能力；⑤ERP停机恢复时长不超过1 h；⑥平滑的伸缩能力；⑦具备代码级、数据级的异常处理机制；⑧系统全年正常运行率大于99.99%。

程序计算公式为

$$\% \text{availability} = (\text{Total Elapsed Time} - \text{Sum of Inoperative Times}) / \text{Total Elapsed Time}$$

式中，Elapsed Time为Operating Time + Down Time。

高可用性指标如下表所示。

表 高可用性指标

描述	可用性 (%)	一年中的宕机时间	可行性
基本可用性	99.0	87.6 h	现实的
较高可用性	99.9	8.8 h	现实的
故障自动恢复的可用性	99.99	53 min	现实的
极高可用性	99.999	5 min	可实现的
容错可用性	99.999 9	32 s	不可实现的
容灾可用性	99.999 99	3 s	不可实现的

设计目标及范围

根据公司ERP系统高可用性需求,参考国内外大型企业整合ERP系统的经验完成设计工作,本文设计成果将为建设高性能、更稳定且易扩展的大型企业ERP系统提供技术参考依据和指导,集中部署后ERP系统业务注册用户数265 807,日常在线用户数15 682,为保障ERP系统生产运营,需实现极高可用性。

系统现状

目前,公司各个省市单位ERP系统高可用方案是采用操作系统级集群软件实现软件的高可用保护,如图1所示。

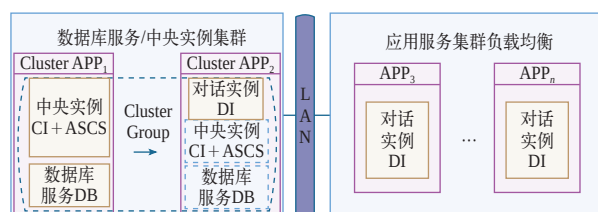


图1 系统高可用现状

该架构已实现冗余的架构设计,包括主机冗余、接入网络冗余、存储网络冗余和供电冗余;采用具备RAS特性的稳定硬件设备和业界最成熟的SAP ERP软件产品,可保证硬件级别的高可用性。

ERP系统软件在执行单点故障切换时,需要重启软件服务,具备较高可用性,但切换时间不稳定,随在线业务量增长,省市公司ERP系统切换可长达30 min,省市数据库服务无法横向扩展,该软件架构无法满足集中部署后的ERP系统可用性需求。

ERP系统高可用方案设计

ERP系统的高可用方案包括基础设施高可用和信息软件高可用。

1. 基础设施高可用方案设计

ERP系统基础设施包括网络设备、存储设备、服务器和操作系统。

1) 网络设备。采用冗余拓扑设计,网络交换

机、IO接口均采用双链路架构,前端网络访问采用双节点硬件负载均衡器。

2) 存储设备。共享磁盘阵列采用RAID 0+1技术,本地磁盘采用Mirror技术,光纤通道卡采用双链路架构。

3) 服务器。应用服务器和数据库服务器均采用冗余备用和集群架构。

4) 操作系统。部署操作系统高可用集群软件。

2. 信息软件高可用方案设计

(1) ERP软件技术组件分析

ERP软件技术可划分为应用层和数据层,分布式部署时可部署成独立的应用软件和数据库软件。技术组件如图2所示。

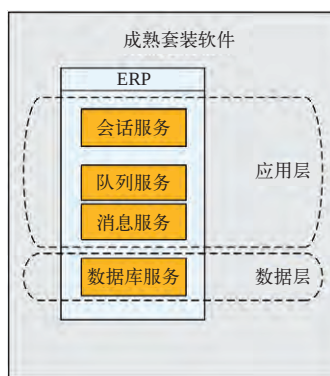


图2 技术组件

1) 会话服务。包含所有ERP功能模块及基础中间件模块,处理用户事务并提交至数据层。

2) 队列服务。为多用户多任务并发操作提供锁服务,用户事务由应用层提交后锁数据释放。

3) 消息服务。为多用户多任务并发操作提供消息分配及反向代理服务。

4) 数据层支持多种数据库服务,如Oracle、DB2和SQL server等。

(2) ERP应用软件高可用方案设计

应用软件是用户可以使用各种程序设计语言,以及用各种程序设计语言编制的应用程序的集合,技术架构包括应用软件包和基础中间件软件包。应用软件常用的高可用技术包括以下内容。

1) 守护进程技术。通过操作系统或操作系统集群软件对应用服务进程进行监控保护,保

证始终存在一个软件实例对外提供服务，服务中断时会对相关资源进行单点切换。

2) 负载均衡技术。通过虚拟IP技术，多个应用软件实例通过同一个访问入口同时对外提供服务。

ERP应用软件会话服务可并行处理用户事务，可选择负载均衡技术，可平行扩展服务节点，高可用性和并发处理能力随节点数量的增加而增加。

队列服务和消息服务为应用层中央控制组件，只能采用守护进程技术，保证服务的稳定性，为提高服务高可用性，可采用集群文件系统，单点切换控制在秒级。

(3) ERP数据库软件高可用方案分析

数据库指的是以一定方式储存在一起、能为多个用户共享、具有尽可能小的冗余度且与应用程序彼此独立的数据集合。数据库软件技术的发展，已经成为先进信息技术的重要组成部分，是现代计算机信息系统及计算机应用系统的基础和核心。

数据库软件技术发展过程中，形成了三种成熟的高可用方案，包括冷备、热备和多活集群。

1) 冷备架构。通过操作系统高可用集群软件守护、网络和硬盘等资源，实现双机网络资源、磁盘资源（日志、数据文件）和服务资源共享管理，省市单位ERP系统数据库软件采用此种架构。冷备架构如图3所示。

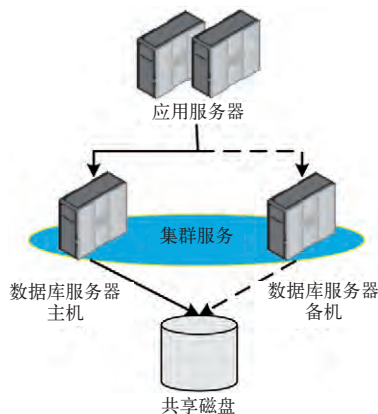


图3 冷备架构

2) 热备架构。数据库软件通过基于日志的数据库复制技术进行数据同步，事务前滚实现备库

与主库事务一致性，包括同步模式和异步模式：同步模式为备库日志在备库磁盘保存后，消息通知主库进行事务提交；异步模式为主库日志写入磁盘，并向备库发送日志后，进行事务提交，不等待备库完成接收日志的消息，备库异步完成日志接收，写入磁盘的操作。软件层面实现高可用性，有效实数据与应用服务的高可用，同时实现数据级容灾；节点可扩展，主备库可以是单机也可以是双机。同步模式实现了数据保护的最大化，可应用于同城灾备；异步模式对源数据库影响最小，可应用于异地灾备。热备架构如图4所示。

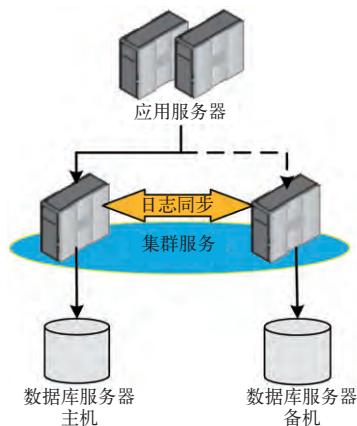


图4 热备架构

3) 多活集群架构。数据库软件多个实例共享一个数据库，实例间通过分布式内存通信保持事务一致性：数据层数据文件建立在磁盘原始设备或集群文件系统上，可被多个实例同时读写；实例层数据库集群软件通过心跳网卡通信，分布式缓存、锁管理，进行事务同步；网络层每个节点分配一个虚拟IP，通过同时访问多虚拟IP实现网络负载均衡。该架构实现了数据库充分共享，多个实例同时提供服务，多实例同时提供服务实现可用性最大化，有效应对高并发事务处理。多活集群架构如图5所示。

(4) 整体高可用架构

结合ERP应用软件和数据库软件高可用设计，系统整体高可用方案设计关键点有：应用软件与数据库软件分离，采用松耦合架构，有利于软件维护和升级扩展；应用会话服务采用负载均衡式集群部署，提升高可用性及其并发处理能力；应用

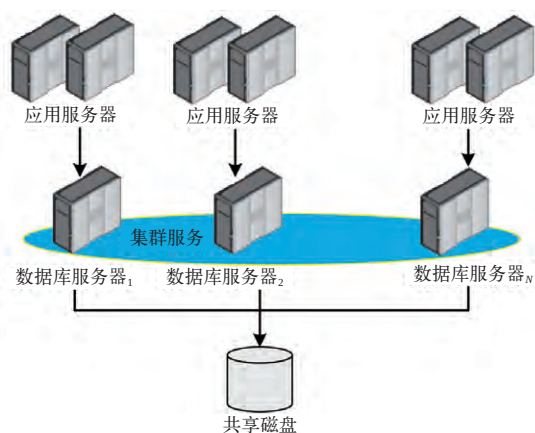


图5 多活集群架构

控制服务（消息服务和队列服务）采用高可用软件保护，保证组件稳定性；数据库服务采用多活集群架构；队列服务和数据库服务采用内存同步技术，实现业务数据零丢失。整体物理架构图如图6所示，整体逻辑架构图如图7所示。

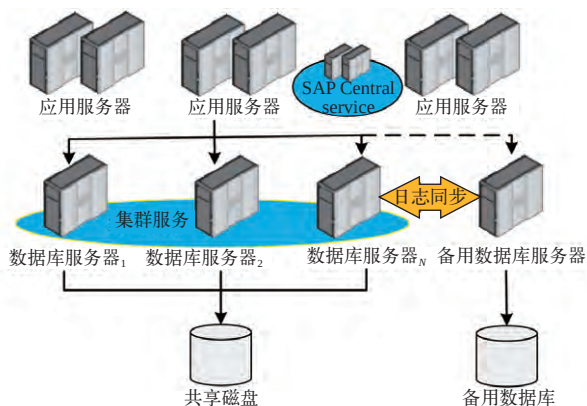


图6 整体物理架构图

总结如下。

- 1) 应用层会话服务。采用负载均衡实现高可用，可平行扩展，实现 $(N-1)$ 节点容错运行。
- 2) 应用层消息队列服务。文件系统采用集群文件系统，采用操作系统集群软件保护服务进程，队列服务通过队列复制服务将内存数据存储到备用节点文件系统，单点切换秒级完成，内存数据零丢失，业务操作无中断。
- 3) 数据库服务。采用业界成熟的分布式数据库架构，多节点同时提供服务，实现 $(N-1)$ 节点容错。

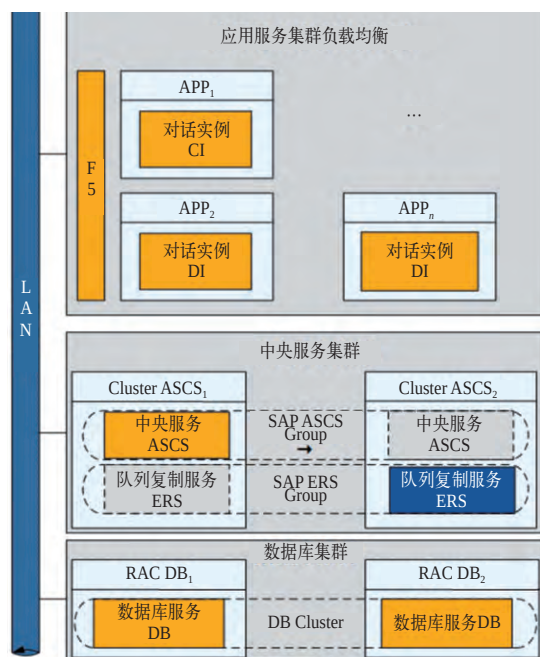


图7 整体逻辑架构图

资源池技术应用

ERP集中部署系统可考虑充分利用资源池和虚拟化技术，资源池和虚拟化可以降低管理的复杂度，实现最大化的资源利用和灵活调度，提升设备利用率。基于区域划分和基于功能模块的资源池分别如图8和图9所示。

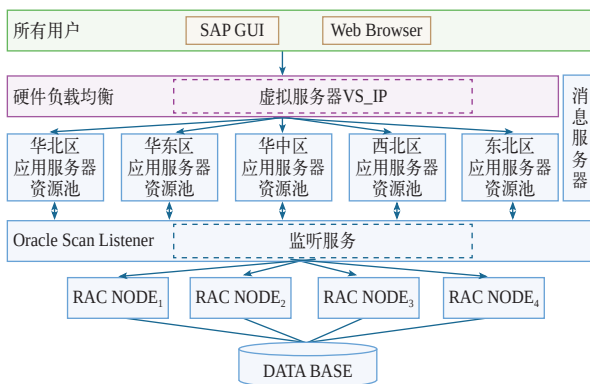


图8 基于区域划分的资源池

结束语

1) 本文提出了一种ERP系统高可用架构体系，为各技术组件应用了最成熟可靠的高可用技术，实现了ERP系统极高可用性。

(下转第31页)

故障测试方案：开环点504断路器，浮断线 L_1 永久故障，站内备自投动作失败，网络备自投动作。

现场测试时，为保证各变电站遥测、遥信数据变化的一致，采用GPS时钟信号同步触发测试仪，模拟变电站或线路故障后的断路器变位情况及电压、电流等数据量的变化，由常规测控、远动装置传送至主站。为减小传输延时，故采用实时性更强的104通道，且为防止变电站全站失电压时产生大量遥信信号阻塞传输通道，应对协议流程进行规范，加入数据过滤器，使网络备自投需要的遥信、遥测数据优先传送。

系统测试结果显示上述故障方案下，从发生故障到网络备自投动作恢复供电，仅需56 s，避免了故障发生时长时间全站失电压，有效提高了供电可靠性。

结束语

本文网络备自投以软件功能模块方式嵌入调度EMS，共享EMS的全网模型和数据，并从总体结构、动作逻辑、投退机制和安全校核方面进行设计说明，解决了110 kV链式串供电网接线中变电站就地备自投应用的局限，消除了串供设备发生故障可能造成变电站失电压隐患，弥补了就地备自投的缺陷^[7]。同时也可作为就地备自投的后备，为调度员提供正确的电网异常后自动恢复供电规则，是智能电网建设中智能化调度的重要技术手段。

(上接第27页)

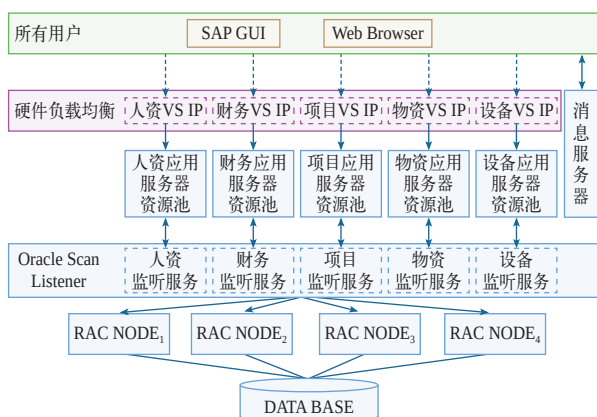


图9 基于功能模块的资源池

段之一，有效提高供电可靠性，将带来巨大的安全经济效益。

参考文献

- [1] 杨合民, 路小俊, 王军, 等. 一种适用于串联电网接线的远方备自投装置 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35 (20): 94-97.
- [2] 周伊琳, 孙建伟, 陈炯聪. 区域网络备自投及其测试关键技术 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (23): 109-113.
- [3] 余涛, 胡细兵, 黄炜, 等. 地区电网广域备自投控制系统研制 [J]. 电力自动化设备, 2011, 31 (3): 121-125.
- [4] 杨浚文, 吴文传, 孙宏斌, 等. 一种基于EMS的广域备自投控制系统 [J]. 电力系统自动化, 2010, 34 (11): 61-65.
- [5] 徐希, 韩韬, 杜红卫, 等. 主站集中式广域备用电源自动投入系统 [J]. 电力系统自动化, 2010, 34 (21): 112-115.
- [6] 陈勇, 姚玉斌, 夏翔, 等. 考虑备自投的地区电网静态安全分析设计与应用 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (19): 84-88.
- [7] 黄芸生. 基于能量管理系统的广域备用电源自动投入装置控制策略研究 [J]. 广东电力, 2011, 24 (10): 25-29.

(收稿日期: 2014-04-14) EA

2) 应用层面应用了内存数据保护机制, 数据库层面采用了灾备保护机制, 实现了从内存到硬盘的数据高可用。

3) 应用服务器和数据库服务器可平行扩展, 采用灵活的虚拟化技术和资源池技术, 为将来实现云服务奠定基础。

参考文献

- [1] Evan Marcus, Hal Stern. 高可用性系统设计 [M]. 汪青青, 卢祖英, 译. 北京: 清华大学出版社, 2005.

(收稿日期: 2015-02-04) EA