

# 2018 年湖北省科技进步奖提名项目公示表

## 一、项目名称

异构统一云存储系统及服务保障技术

## 二、项目简介

主要技术内容、授权知识产权情况、技术指标、应用推广及取得的经济社会效益等(限 1000 字)

本项目属信息存储技术领域。针对高效云存储系统构建方法、存储服务质量保障技术、可靠安全性技术等难题,提出异构统一云存储系统结构,对包括公有云和私有云在内的异构多云系统进行统一管理调度,对用户透明统一的存储访问接口,可满足用户对存储空间的弹性扩展。在此基础上构建高效的异构统一云存储系统 HCloud,同时,在系统内部研究部署重复数据删除技术、保障数据可靠性的容错编码技术以及服务保障技术等,为用户提供高效、可靠和高质量的存储服务。

在 973 课题、863 课题、支撑计划课题、国家自然科学基金等项目支持下,主要在异构统一云存储系统及服务保障技术开展如下创新研究工作:

1. 异构统一云存储架构。提出对多个公有云和私有云存储服务进行统一管理的异构统一云存储架构,利用软件定义的方法实现控制面与数据面分离,提供灵活的用户需求表达模式;提出倾向感知的数据分布、冷热数据自动迁移与移动缓存方法,实现按需适配,使总体性能接近云节点中最高访问性能;提出海量数据存储的高效组织和快速查询方法,相比传统方法性能提升 5-8 倍。

2. 降低带宽和容量需求的数据去重技术。提出基于局部性与相似性结合的数据去重索引技术,保持高数据去重率同时降低内存开销达 50%;提出基于内容的非对称极值分块算法、历史感知重写算法提高去重系统性能。

3. 存储服务质量保障技术。提出适用于大规模虚拟机集群的尾延时服务等级目标精确保障技术,实现高资源利用率;提出面向虚拟机端到端的服务等级目标保障方法,实现 I/O 吞吐率、带宽等多性能指标的近似精确保障,误差小于 1%;提出一种动态的网络流量调度方法,利用 SDN 集中化控制的能力实现跨前、后端网络的流量调度,在保障云存储服务质量的前提下提升存储系统的恢复与重均衡性能。

4. 可靠安全性保障技术。提出一种有限域上矩阵和数据块乘积快速编码计算的方法和一类通用功能性修复再生码 GFR,减少云存储中数据修复产生的数据流量最高可达 1/4;提出一种无需可信第三方的云端数据安全删除方法,保障了用户数据安全性。

本成果共获授权发明专利 47 项,申请软件著作权 7 项,牵头制定行业标准《固态硬盘通用规范》(SJ/T 11654-2016)、国家标准《信息技术 存储管理 第 1 部分:概述》(报批稿)。发表 SCI /EI 论文 100 余篇。成果被国际同行在本领域多种国际权威刊物及重要国际会议正面评价和引用。本项目形成技术应用于海康威视、中兴通讯股份有限公司、深信服科技股份有限公司等的云存储系统产品中。经济和社会效益显著,

应用前景大。

### 三、客观评价

评价结论、检测结果等

#### (1) 检测报告

经国家电子计算机质量监督检验中心测试，与 Azure/阿里云等公有云相比，HCloud 在容忍单一云故障和提高数据可用性的基础上，通过有效的多云节点间调度，使系统性能达到后端最优云存储池的性能，与单一公有云相比，在相同条件下访问延迟可降为 Azure/阿里云等的 10%-52.4%；HCloud 由于使用 GFR 编码，节点故障时数据修复产生的数据流量仅为通用开源云存储平台的 76.7%-79.6%；在多性能指标环境中，采用所提出的存储服务质量保障技术可实现存储 I/O 带宽、I/O 吞吐率以及 I/O 延迟服务等级目标保障，各项性能均值误差控制在  $\pm 1\%$  以内；采用了云端数据安全删除技术保证了用户的数据安全性；采用本项目的数据去重技术能够减少数据传输量 37%-84.1%，减少 35.2%-82.3% 的上传时间，减少 36.9%-83.3% 的下载时间，显著改善访问性能。

#### (2) 部分项目验收意见

第一完成人作为 973 首席科学家主持项目，于 2015 年 11 月通过潘云鹤院士等组成的专家组验收，验收意见为：“…，取得了重要的创新性研究成果，…，在数据去重，…，保障存储可靠性的自愈方法，等方面取得了技术突破，…，已在多个国家应用，促进了自主品牌海量存储产业发展。”

#### (3) 论文被引用评价（部分）

提出的固态硬盘并行调度方法，被 IEEE/AAAS Fellow、美国明尼苏达大学教授 David J. Lilja 等在高性能计算领域著名会议 ICS 文章中 3 次引用，评价为“we design our data allocation scheme based on the one proposed by Hu et al [20] with modifications.”（基于胡等提出的方案设计了我们的数据分配方案）；以及被 IEEE/ACM Fellow、加州大学洛杉矶分校的校长讲座教授 Jason Cong 等在著名会议 EuroSys2014 文章中评价为“By effectively exploiting internal parallelism, the I/O performance of SSDs can be significantly improved. Hu et al. further explore the four levels of parallelism inside SSDs [26].”（通过有效地挖掘固态硬盘的内在并行性，其 IO 性能可以获得极大的改进。Hu 等人提出了挖掘固态硬盘内在的四个层次的并行性）。

提出 SiLo 方法，总引用达 131 次 (Google Scholar)，其中被 EMC 首席技术执行官 (CTO) Windsor Hsu 在存储领域顶级期刊《ACM Trans. on Storage》(2012) 中评价为“[Xia et al. 2011]…tends to have patterns that correspond to an earlier stream, which can be leveraged for effective caching”（[Xia et al. 2011]…利用早期流数据的特征来设计有效的缓存策略）。

提出的服务质量保证技术，被美国范德堡大学教授 A. Gokhale 等在权威期刊《IEEE Trans. on Services Computing》(2016) 中评价“Zeng et al.[15] propose some improvements for the first version of Xen’s credit scheduler”（Zeng 等人针对

Xen 的信用调度器初始版本提出了优化方法)。

提出的基于异构带宽的可靠性保障技术，发表于信息理论领域著名会议 ISIT2016，被 IEEE Fellow、美国 MIT 大学教授 Muriel Medard 在信息领域著名会议 Allerton2016 文章中评价为“Further the authors of [3] permit pooling of intra-rack helper data to decrease inter-rack bandwidth.”（进一步的，作者在文中允许利用机架内的数据聚集去减少机架间带宽消耗）。

#### 四、主要完成人情况

姓 名	冯丹	排 名	1
行政职务	计算机学院院长/武汉光电国家研究中心信息存储与光显示功能实验室主任	技术职务	教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>提出总体思路与方案，申请立项和组织实施。提出总体架构，组织实施，解决其中的访问高效、服务保障、存储可靠性问题，对本项目第 1、2、3、4 创新点做出了贡献，参与了共计 20 余项发明专利的工作，占本人总工作量的 90%。</p>			

姓 名	陈俭喜	排 名	2
行政职务		技术职务	副教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>负责存储可靠性及服务质量保障技术与开发工作，提出了基于固态硬盘阵列的数据快速重建方法以及高性能高可靠固态硬盘的实现方法，从存储组织架构和数据快速重建等方面为异构统一云存储系统提供可靠性保障。提出一种利用固态硬盘作为存储缓存的缓存管理方法以提高系统的 IO 响应速度，保障存储服务质量。对技术创新点中 3、4 做出了创新性贡献。</p>			

姓名	谭支鹏	排名	3
行政职务		技术职务	副教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>针对异构统一云存储系统架构及管理调度技术开展研究，提出一种对象数据服务器读写请求的调度方法和一种基于副本的动态元数据集群系统，提出访问倾向感知的数据布局策略，对技术创新点 1、4 做出创造性贡献。</p>			

姓名	浦世亮	排名	4
行政职务	高级副总裁	技术职务	首席专家
工作单位	杭州海康威视数字技术股份有限公司		
完成单位	杭州海康威视数字技术股份有限公司	联系电话	0571-88075998
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>针对海康威视云存储产品在视频监控领域的实际需求，开发了一种图像存储方法及装置，并获得授权专利。该技术成果已经应用于海康威视视频云存储系统产品，实现视频功能、图片功能、系统管理及运维管理功能。所研发产品质量稳定，功能齐全，受到一致好评。负责本项目部分技术成果的应用推广。</p>			

姓名	罗圣美	排名	5
行政职务	产品总工程师	技术职务	首席架构师
工作单位	中兴通讯股份有限公司		
完成单位	中兴通讯股份有限公司	联系电话	13905160680
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			

负责异构云存储系统架构设计和产品研制工作，研究高速存储网协议及实现方法，提升数据传输速率，采用局部性特征感知方法提升查找性能。采用产学研合作成果，将服务保障、容错转换技术和数据去重技术等用于分布式存储等云存储系统产品中，以较低的成本实现了高性价比的分布式存储系统，并在运营商和智慧城市等市场得到规模应用。

姓名	夏文	排名	6
行政职务	无	技术职务	技术专家
工作单位	深信服科技股份有限公司		
完成单位	深信服科技股份有限公司	联系电话	18575530070

对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）

围绕数据去重和压缩技术开展了创新性研究：针对数据去重磁盘索引瓶颈问题，提出一种近乎精确的数据去重索引算法 SiLo，挖掘和利用备份数据流中的相似性和局部性以极低的内存开销获得高数据去重率和高索引吞吐率；提出了一种数据去重感知的相似数据检测和增量压缩方法 DARE，进一步消除冗余，提高数据压缩率，并有效地减少相似数据检测的计算和索引开销；提出了一种基于收敛分块的算法 FastCDC，简化了去重分块中的指令计算，数倍地加快了数据分块处理速率。

姓名	胡燊翀	排名	7
行政职务		技术职务	副教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450

对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）

针对私有云存储系统可靠性保障技术，设计面向数据中心的基于双层网络编码架构，该架构利用私有云机架内部充沛带宽资源快速恢复数据，从而降低传统恢复策略因耗费大量机架间带宽资源而恢复较慢的缺陷，该架构还适用于混合云间的带宽异构性，即利用私有云内部的充沛带宽和公有云之间的有限带宽之间的权衡，实现修复性能的提升，从而提高数据可靠性。对技术创新点 4 做出创造性贡献。

姓 名	施展	排 名	8
行政职务		技术职务	副教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>研究云存储系统中的海量数据组织与资源共享方法，提出了基于集群存储的空间元数据分组方法、云环境下海量数据管理资源管理框架、基于数据块的自适应数据存储管理方法及系统等存储虚拟化管理调度技术。</p>			

姓 名	谢雨来	排 名	9
行政职务		技术职务	副教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>围绕溯源元数据的高效存储管理及利用溯源在数据的可靠性保障及分析入侵行为方面展开了深入研究：针对溯源占据大量存储空间的问题，提出结合 web 压缩和字典编码的混合压缩方法；针对传统数据重建方法在重建单个文件时的不足、不能设置重建文件优先级以及重建的并行性不高等问题，提出利用溯源来重建数据的方法；针对传统入侵检测方法误检率高、检测率低且不能准确分析出入侵路径的问题，提出一种采用溯源信息来分析入侵攻击的方法。</p>			

姓 名	王芳	排 名	10
行政职务	武汉光电国家研究中心信息存储与光显示功能实验室副主任	技术职务	教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>针对系统可靠性问题、元数据管理、数据去重等开展研究工作，提出元数据访问优化技术，加快 RAID 数据重建恢复的算法等，对技术创新点 1、2、3 做出创造性贡献，参与了共计 9 项发明专利的工作。</p>			

姓名	华宇	排名	11
行政职务		技术职务	教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>提出面向关联感知的存储系统和数据组织模式，构建局部性特征灵敏的哈希识别算法和数据组织结构等，通过分析元数据多维属性间和属性自身存在的语义特征进行融合表示，支持面向海量数据的语义关联和聚类分析，简化数据处理的复杂度，提升数据分析和存储系统性能。提出面向数据去重的、基于数据局部性特征的“重复删除，相似压缩”机制，以提高网络存储系统远程备份的可靠性。</p>			

姓名	秦磊华	排名	12
行政职务	计算机学院副院长	技术职务	教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			
<p>为了减轻并行系统 IO 瓶颈，提出了一种基于多线程的重删结构 Multi-dedup 和一种并行缓存队列结构，在保持数据内部一致性同时，具有较小的一致性开销并有效保证各并行线程内部的数据相似性。在不同的数据集测试中，该结构能够将已有的经典算法提高 3~5 倍的时间效率。同时，相对传统基于锁机制的一致性策略而言，减少 1.5~2 倍时间开销，提高了存储服务质量。对技术创新点 3 做出创造性贡献。</p>			

姓名	童薇	排名	13
行政职务		技术职务	副教授
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学	联系电话	027-87792450
对本项目主要科技创新的创造性贡献（限 300 字）			

提出虚拟机 IO 负载调度方法，优化存储资源与 IO 带宽配置，保障云存储服务质量；研制高速存储网协议及硬件，提升数据传输速率，采用局部性特征感知方法提升查找性能，在提高资源利用率的同时实现共享存储的服务等级保障。

## 五、主要完成单位及创新推广贡献

单位名称	华中科技大学				
排 名	1	法人代表	丁烈云	所在地	湖北武汉
单位性质	大专院校		传 真	027-87558731	
联 系 人	陶端华	办公电话	027-87558732	移动电话	13307118227
通讯地址	武汉市洪山区珞喻路 1037 号 航空航天学院大楼 407 室				
电子信箱	tto@mail.hust.edu.cn			邮政编码	430074
对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况（限 300 字）					
<p>组织 973 项目“面向复杂应用环境的数据存储系统理论与技术基础研究”的实施，承担“云计算关键支撑软件研发与产业化（云存储服务）”、“面向服务的大规模网络存储系统理论与方法”等多个项目研究工作，为项目顺利执行提供了必要的人员及实验平台等条件保证。开展“异构统一云存储系统及服务保障技术”研究，在异构统一云存储体系架构及管理调度、数据去重技术、可靠安全性保障技术、服务质量保障技术方面取得创新性成果，发表论文 100 余篇，获得 47 项授权发明专利。与多个企业合作共同推进本项目成果的产业化，取得了较好的社会效益和经济效益。</p>					

单位名称	杭州海康威视数字技术股份有限公司				
排 名	2	法人代表	陈宗年	所在地	浙江省杭州市
单位性质	国有企业		传 真	0571-86475625	
联 系 人	吕珊珊	办公电话	0571-88075998	移动电话	17681880333
通讯地址	浙江省杭州市滨江区阡陌路 555 号				
电子信箱	lvshanshan5@hikvision.com			邮政编码	310051
对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况（限 300 字）					
<p>在项目建设过程中，杭州海康威视数字技术股份有限公司与华中科技大学合作研发，形成具有自主知识产权的云存储核心技术，减少对国外技术和产品依赖，产业发展带动性强，将有助于整体安防监控行业的发展，带动科技进步，并明显在国民公共安全、人生安全等各方面提供保障。</p>					

单位名称	中兴通讯股份有限公司				
排 名	3	法人代表	赵先明	所在地	广东省深圳市
单位性质	国有企业		传 真	0755-26770000	
联 系 人	罗圣美	办公电话	025-88013379	移动电话	13905160680
通讯地址	南京市雨花台区软件大道 50 号				
电子信箱	luo.shengmei@zte.com.cn			邮政编码	210012
对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况（限 300 字）					

中兴通讯股份有限公司联合华中科技大学，对分布式存储的关键技术进行深入研究，重点针对异构存储系统架构进行优化设计，所研制的元数据技术采用局部性特征感知方法提升查找性能，云存储服务保障技术在高资源利用率的同时实现共享存储的服务等级保障，数据去重技术对内存占用少且去重率高，多种容错技术按冷热数据自动转化部署，以较低的成本实现了高性价比的存储系统。

该系统目前已经在中国移动云存储项目、中国电信视频监控项目、智慧城市数据共享交换等多个项目中得到广泛应用。

单位名称	深信服科技股份有限公司				
排 名	4	法人代表	何朝曦	所在地	广东省深圳市
单位性质	股份制及有限公司		传 真	075586627999	
联 系 人	夏文	办公电话	075586725959	移动电话	18575530070
通讯地址	深圳市南山区学苑大道 1001 号南山智园 A1 栋				
电子信箱	xiawen@sangfor.com.cn			邮政编码	518055

对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况（限 300 字）

深信服科技股份有限公司联合华中科技大学开展产学研合作，围绕数据去重和压缩技术开展了技术工程化研究，将数据去重分块算法、去重索引技术、SSD 缓存去重和压缩技术以及优化方法等用于超融合 HCI、桌面云 aDesk、广域网优化 woc 等云存储系统产品，进行技术推广与产业化工作。