高校数据中心的安全防护与审计

于俊清

華中科技大學
HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Map of China

北武汉

斯诺登与棱镜门事件

- 网络与信息安全上升到国家战略

总统窃听门

❖为了“利益”和“安全”，谁都不放过

十八大指明信息化工作方向

从十八大看今后信息化工作方向

发布日期：2013-05-28 来源：信息化建设 作者：马 龙 浏览次数：3540

在十八大报告中，信息化或信息出现了18次，网络出现了8次，以及信息化标志的“超级计算机”，信息化内容共出现了27次，在“新四化”内容中居核心地位。

党的十八大报告（下称“报告”）提出，“坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路，推动信息化和工业化深度融合、工业化和城镇化良性互动、城镇化和农业现代化相互协调，促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展”，即“新四化”。同步发展的“新四化”中，信息化是新增的内容，这表明信息化已被提升至国家发展战略的高度。

信息化居“新四化”核心地位

在报告中，信息化或信息出现了18次，网络出现了8次，以及信息化标志的“超级计算机”，信息化内容共出现了27次。信息化及相关内容出现在报告的第一、三、四、五、六、七、九、十一共八个部分。

工业化	信息化	城镇化	农业现代化	小计
10	27	10	5	52

高度重视网络安全与信息化工作

中共中央网络安全和信息化领导小组办公室

Office of the Central Leading Group for Cyberspace Affairs

WWW.CAC.GOV.CN

高校信息泄露和“被黑”事件频发

高校信息泄露和“被黑”事件频发

千余高校网站存信息泄露风险，如何破?

麦可思研究 2015-05-22 11:48:09 信息 数据 问题 阅读(525) 评论()

据媒体报道，中国高校或成为信息安全泄漏的重灾区，千余高校网站存信息泄漏风险。学校网站掌握着大量集中性人群的个人信息，高校像是信息汇聚的心脏，一旦发生意外，血液般的信息骤然涌出，就会给师生带来无尽隐患，导致高校“大出血”。

很多高校网站的信息安全漏洞都非常低级，一旦不法分子利用这些漏洞，就可以轻而易举地入侵邮件系统，获取科研项目和领导机密，篡改网页，植入任意内容，控制大量电脑并侵入校园网络，窃取账号密码等个人信息等。在信息化时代，高校应该如何应对信息安全问题呢？

新闻链接

高校信息泄露和“被黑”事件频发

新闻中心

千余高校网站存信息泄漏风险 多所顶级学府上榜

2015年05月20日01:54 经济参考报

我国高校或成为信息安全泄漏的重灾区。《经济参考报》记者日前对补天漏洞响应平台的数据梳理发现，自2014年4月至2015年3月的12个月间，补天平台上显示的有效高校网站漏洞多达3495个，涉及高校网站1088个。其中，高危漏洞2611个，占74.7%；中危漏洞691个，占19.8%；低危漏洞193个，占5.5%。

在上述漏洞中，至少有384个漏洞可能造成教职员工或学生个人信息泄漏，一旦这些漏洞全部被恶意利用，至少会导致837万以上的教职员工及学生个人信息泄漏。令人担忧的是，过去一年间，在被告知网站存在漏洞后，会修复漏洞的高校网站只有35个，仅186个漏洞被修复，96.8%的高校网站完全无视安全漏洞的存在，94.6%的高校网站安全漏洞未被修复。

统计结果显示，网站存在严重漏洞的高校中不乏顶级学府，如山东大学、浙江大学、厦

高校信息泄露和“被黑”事件频发

360：黑客攻陷[redacted]官网 植入假淘宝钓鱼页面

2014年06月05日 14:36　来源：中国新闻网　参与互动(1)　0

中新网6月5日电　高考来临，上[redacted]是每个考生梦寐以求的目标，上北大官网却要当心。根据360安全中心检测，近期北大官网遭黑客入侵篡改，网站被植入假冒淘宝的钓鱼页面。如果网友在此页面购物，网银账户将被黑客盗取。

高校信息泄露和“被黑”事件频发

网站被黑 黑客捏造新闻报道

2008-08-25 10:00:50 来源:Solidot 作者: 点击:1257

清华大学网站被黑，黑客宣称现行的大学教育制度就是“在往学生们的脑子里灌屎”。

清华大学网站被黑，黑客宣称现行的大学教育制度就是“在往学生们的脑子里灌屎”。黑客捏造了一篇清华大学校长顾秉林接受采访的新闻报道，批评现行教育制度：顾秉林校长表示，在二十世纪初至40年代，可以说是中国教育界的黄金时期，在这段时间以内中国的大学为社会培养出了大批的优秀人才，他们中有伟大的思想家、 教育家，有革命义士、抗日英雄，有科学骨干、民族精英。而这种盛况自从解放后尤其是九十年代开始衰落。现在的各高校，包括清华与北大在内，已经没有将培养人才作为大学教育的目标。

严重的学术腐败，枯燥且与社会脱节的课程，死记硬背的教育方式，将导致学生们的思想僵化，对课程失去兴趣，对大学乃至整个中国的教育失去信心，退学正是表达他们对大学教育失望的最极端方式.....顾秉林先生表示，中国的高等教育体制改革势在必行，“应该停止再扼杀人才了!应该停止再向学生们的脑子里灌屎了!”

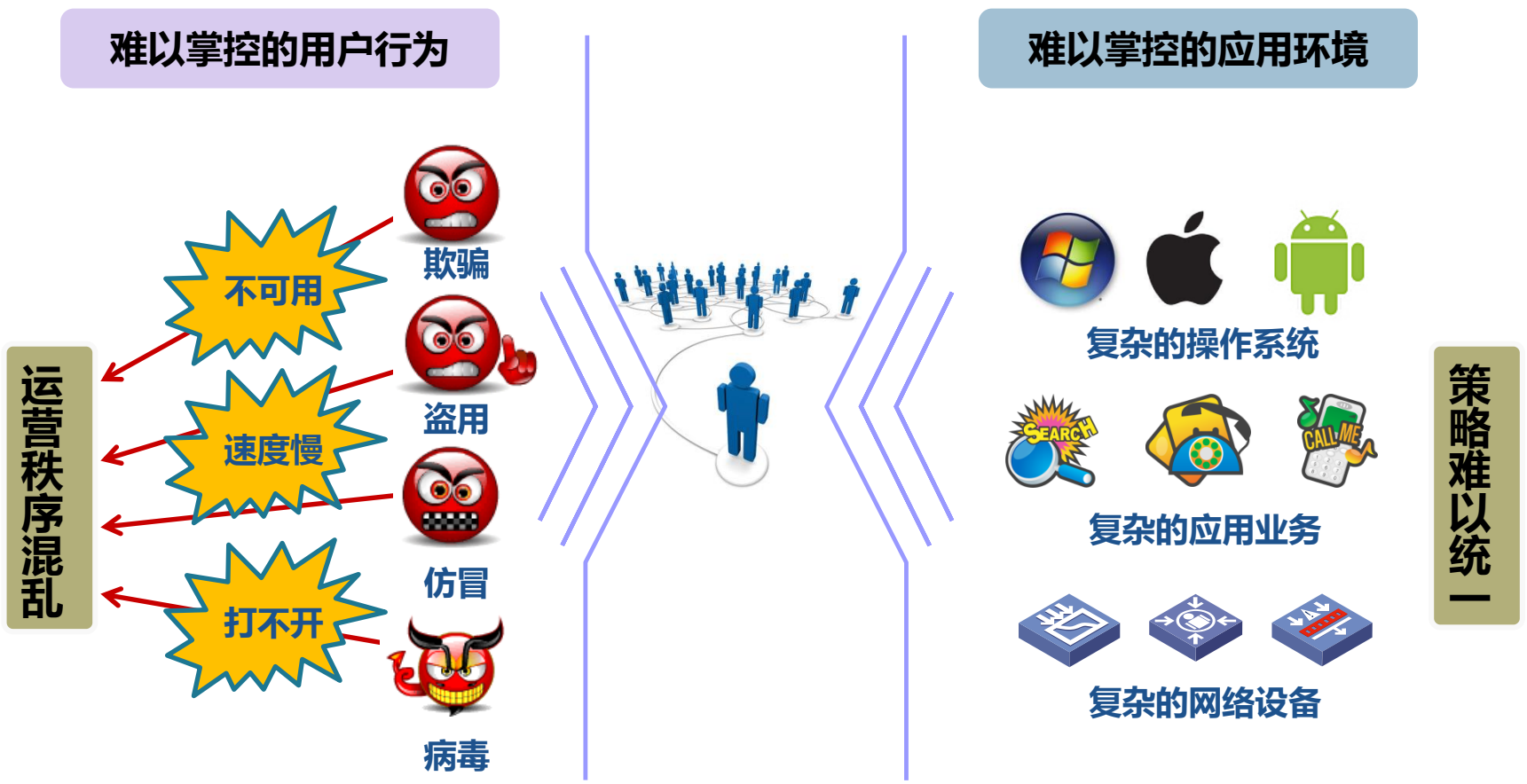
高校信息泄露和“被黑”事件频发

数据安全将成为我们关注的核心

过去：争抢建机房和数据中心

出了问题：推脱责任

现实困难与挑战



❖引不进、留不住，技术人员严重短缺

现实困难与挑战

数字校园的变化

- 学生数量的增长
- 网络应用的发展
- 多媒体与高带宽消耗应用的发展
- 数据共享的需求大、要求高
- 领导要求高、重视程度不够

面临的压力

- 出口带宽利用率过高
- 用户抱怨网速变慢
- 运营商出口带宽收费昂贵难以扩容
- 多个外网出口难以均衡利用
- 应用系统的互联互通困难

现实困难与挑战

- 运营的围追堵截
- 师生的抱怨
- 待遇低、工作强度大，员工的不满意
- 人才流失严重，技术人才缺乏
- 设备更新快，经费投入不足
- ……

现在：希望ITS什么都做？

- 我们该做什么？
- 我们能做什么？
- 我们做什么才能保证数据安全？
- 我们可以保证什么安全？
- ……
- 敢问路在何方？

目录

信息化的目标与定位

- 提高管理服务水平
- 提供科学决策支持
- 促进学科发展

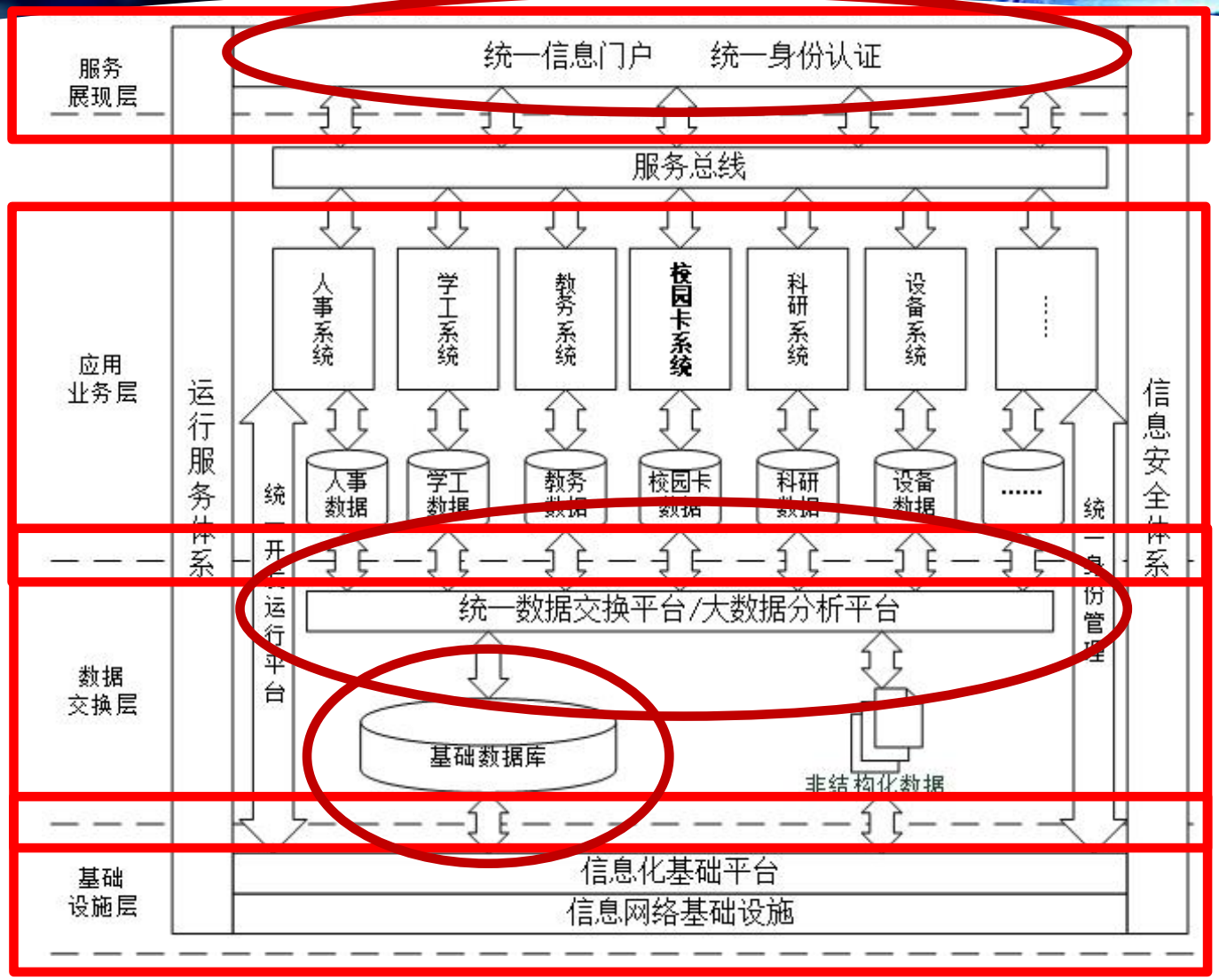
工作机制

- 领导机制
  - 体制机制、游戏规则（领导小组的作用）
- 统筹机制
  - 信息化的制度、规范、发展规划、项目管理（信息办）
  - 基础设施建设与运维（信息技术中心）
- 责任分担机制
  - 职能部门、院系
- 合作机制
  - 银行、运营商、设备提供商

信息技术中心（ITS）职责

- 校园计算机网络建设和运行维护管理
- 学校信息化基础平台建设和运行维护管理
  - 数据中心的硬件和软件
- 学校信息系统的综合集成及安全管理
  - 统一门户、统一身份认证
- 学校基础数据库的建设管理
  - 基础数据库、数据共享与交换平台
- 信息安全技术支持与服务

信息化的技术架构


服务展现层
统一信息门户
统一身份认证
服务总线
应用业务层
人事系统
学工系统
教务系统
校园卡系统
科研系统
设备系统
……
运行服务体系
信息安全体系
人事数据
学工数据
教务数据
校园卡数据
科研数据
设备数据
……
统一开发运行平台
统一身份管理
数据交换层
统一数据交换平台/大数据分析平台
基础数据库
非结构化数据
基础设施层
信息化基础平台
信息网络基础设施

工作重点

- 师生关注的热点
  - 一卡通、一张表
- 学校关注的重点
  - 数据交换、共享与填报，统一门户，统一身份认证
- 领导心中的痛点
  - **信息安全**、报账、欠费、填表

应用系统的开发与管理

- 鼓励优先采购安全、成熟、应用面广和售后服务优良的商业软件
- 没有相应商业软件，或商业软件不适应我校实际管理需求时，可以通过软件开发（包括定制软件开发）建设应用系统

软件采购与开发安全管理

- 业务管理部门撰写需求分析报告，明确详细的功能和性能需求
  - 如果是购买商业软件，还需考察并确定一个或多个候选商业软件提供商
- 信息技术中心负责软件所需的数据中心资源、协助制定技术方案
  - 包括硬件、运行平台软件和基础数据等
- 信息办组织对技术方案进行论证和审批，确定信息安全保护等级

软件采购与开发安全管理

- 购买商业软件
  - 业务管理部门根据论证和审批通过后的方案按照学校相关规定采购和实施
- 委托开发
  - 务主管部门在学校认定的软件系统开发商中，按照学校相关规定委托一家软件系统开发商开发
- 自主开发
  - 若业务管理部门具有应用系统开发维护能力，可自行组织开发

软件采购与开发安全管理

- 学校认定的软件系统开发商
  - 由信息技术中心按照学校相关规定，采用公开招标的方式遴选资质和信誉良好的软件企业，以提高软件的安全性和可维护性
- 业务管理部门为应用系统的主管部门
  - 应指定专门人员负责系统的建设、运行维护和安全管理
  - 制定应用系统运维和安全管理方案，明确运行维护部门
  - 应用系统原则上由业务管理部门运维，特殊情况可委托网络与计算中心运维

队伍建设

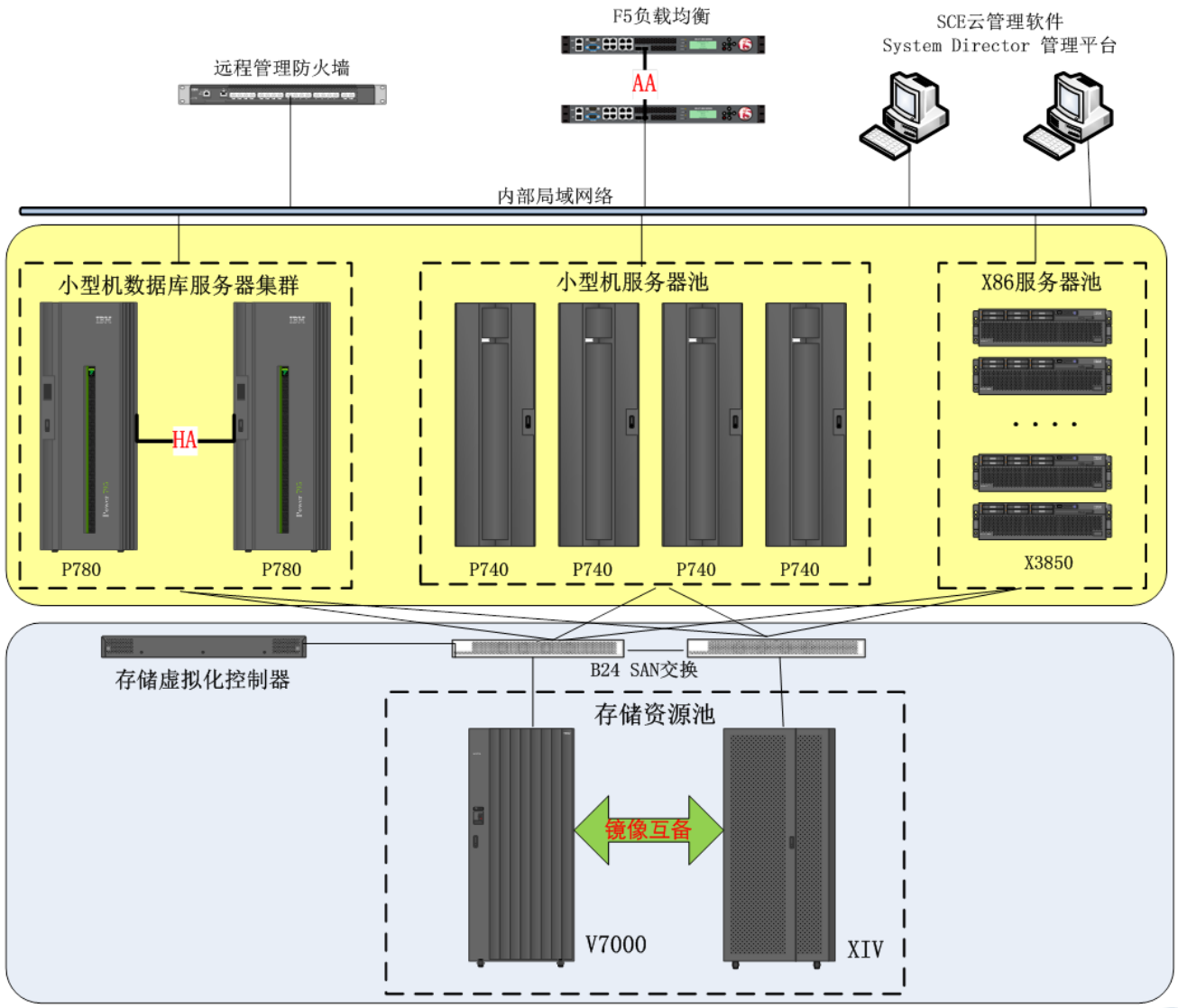
- 拟建设一支30-50人的开发与运维队伍
  - 三分之一核心人员：学校引进、不唯学位和出身
  - 三分之一服务外包：以服务的形式购买软件公司的技术人员
  - 三分之一业务部门的IT运维人员：财务、人事、教务、图书馆、远程教育

目录

数据中心的任务与面临的问题

- 主要任务
  - 为学校信息化建设提供稳定安全可靠的运行环境
  - 为学校应用系统的互联互通提供基础条件和技术保障
    - 三大平台、通讯平台等基础信息系统
- 面临问题
  - “以应用需求为核心”和“应用数据大集中”对信息化基础设施提出了更高的要求
  - 可靠性、安全性、可用性、随需应变
  - 信息化基础设施运维与应用系统运维的边界问题
  - 信息化基础设施的日益复杂与人手短缺的矛盾

一级（核心）数据中心 硬件架构



技术特点

❖混合架构，适合多种应用

- 采用X86和小型机两种架构服务器，分别适用VMWare和PowerVM实现服务器资源虚拟化
- 可为基于不同技术架构开发的应用统一提供服务

❖ 按需分配，弹性管理

- 平台采用了云计算技术，可根据应用的需求分配计算资源
- 当应用某段时间访问量较大时，可按需为该应用分配所需的计算资源，过后回收，确保平稳过峰

❖应用隔离，确保核心业务

- 关键核心应用与高并发应用的数据库使用LPAR技术实行物理隔离，即使在某系统高峰等出现的情况下，也不影响其他业务系统运行

技术特点

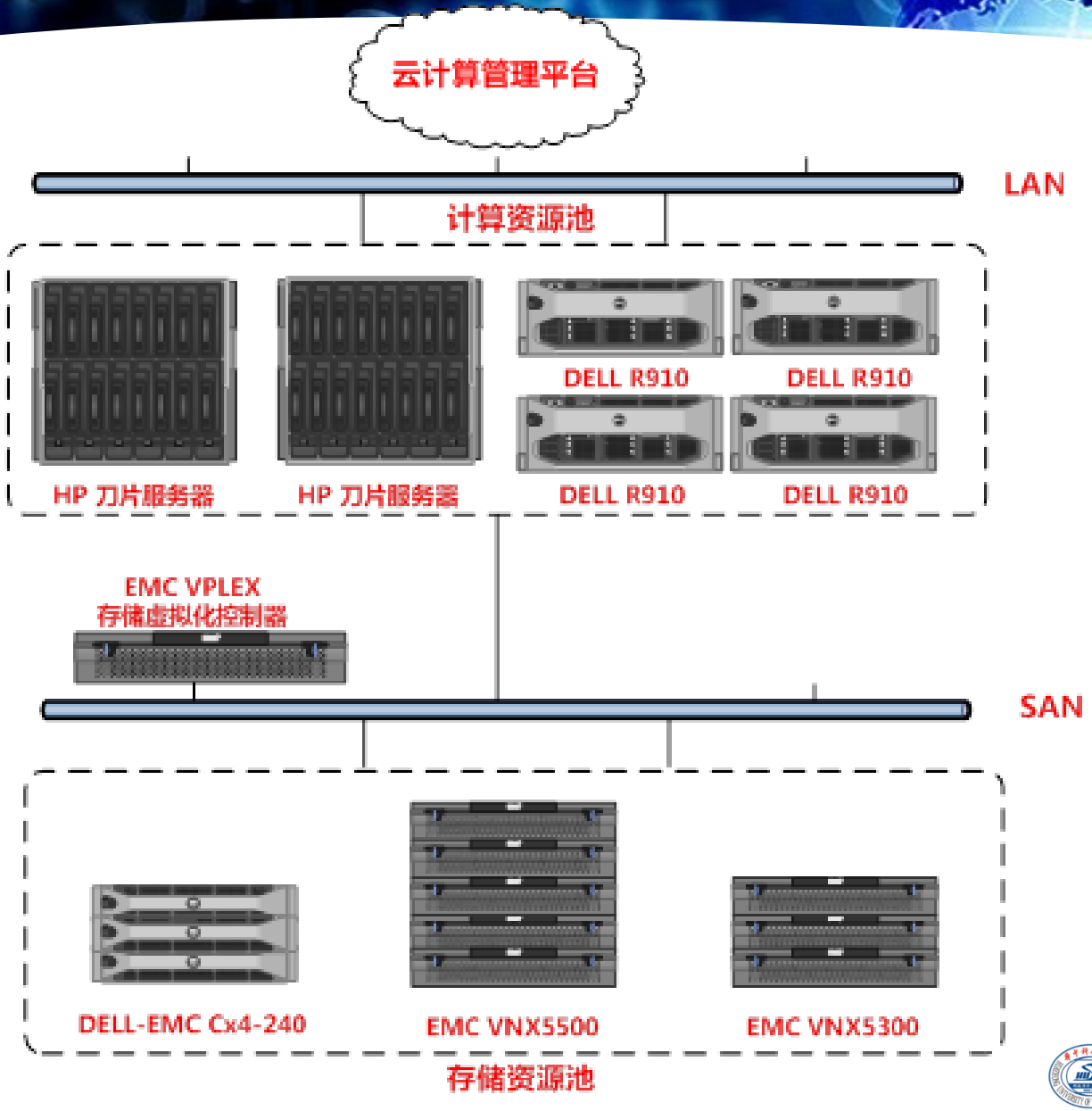
❖ 全冗余配置，高可靠保障

- 所有硬件全部为冗余配置，任何单个设备的损坏不会影响系统的运行
- 应用全部实行虚拟机集群，可根据物理机负载进行虚拟机自动迁移，确保资源合理利用，保障应用正常服务

❖ 高性能，高可扩展

- 数据库服务器为IBM高端小型机服务器780，单台32C/256GB,可承受大规模并发访问
- 应用服务器和存储均采用虚拟化技术，易扩展增加新设备

二级数据中心硬件架构


云计算管理平台
LAN
计算资源池
HP 刀片服务器
HP 刀片服务器
DELL R910
DELL R910
DELL R910
DELL R910
EMC VPLEX
存储虚拟化控制器
SAN
DELL-EMC Cx4-240
EMC VNX5500
EMC VNX5300
存储资源池

技术特点

- **成本较低，易于扩展**
  - 采用全X86服务器及中低端存储设备满足二级院系大量非关键性应用需求，刀片服务器可进一步提高空间使用率和降低管理成本
- **虚拟资源，易于管理**
  - 服务器端采用VMware实现计算资源虚拟化，存储采用EMC Vplex实现存储资源虚拟化，极大地降低管理复杂度
- **利旧资源，循环使用**
  - 由于使用了服务器虚拟化技术和存储虚拟化技术，使得设备利旧使用变得非常简单，极大地提高了设备使用效率

安全威胁

- WEB应用攻击
  - 据统计，目前Web应用（HTTP 80/HTTPS 443端口）已替代 Microsoft-DS（445端口）成为黑客攻击的目标首选
- 弱密码利用
  - 远程桌面、SSH、网站、ftp、数据库
- 操作系统、应用软件漏洞利用
  - 远程代码执行，提升权限，安装后门

安全威胁

中国2013年常用弱口令密码排行TOP26

Rank	Password	CnSeu Change from 2013(China)
1	123456	New (7209600 1.2025%)
2	123456789	New (2844526 0.4744%)
3	111111	New (1702673 0.2840%)
4	123123	New (753937 0.1257%)
5	12345678	New (720459 0.1201%)
6	a123456	New (703253 0.1173%)
7	000000	New (642288 0.1071%)
8	5201314	New (543464 0.0906%)
9	11111111	New (394726 0.0658%)
10	wodima123	New (392865 0.0655%)
11	a123456789	New (351198 0.0585%)
12	zxcvbnm	New (287326 0.0479%)
13	123456a	New (284992 0.0475%)
14	123321	New (280061 0.0467%)
15	qq123456	New (273882 0.0456%)
16	woaini1314	New (263592 0.0439%)
17	123456789a	New (248726 0.0414%)
18	passport	New (232022 0.0387%)
19	1234567890	New (226778 0.0378%)
20	1314520	New (226509 0.0377%)
21	abc123456	New (221113 0.0368%)
22	123123123	New (220421 0.0367%)
23	1234567	New (218516 0.0364%)
24	7758521	New (211192 0.0352%)
25	666666	New (206565 0.0344%)
26	woaini	New (200170 0.0333%)

中国2013年泄漏数据中取的6亿明文密码所得出的常用弱密码排行榜及百分比

左表统计数据是某论坛对在2012年12月至2013年11月间收集的**几十亿泄漏密码**中的**6亿明文密码**进行统计排序的结果

面对如此巨大的密码泄漏问题，“弱密码”的定义甚至可以延伸至您曾经使用的所有密码了！

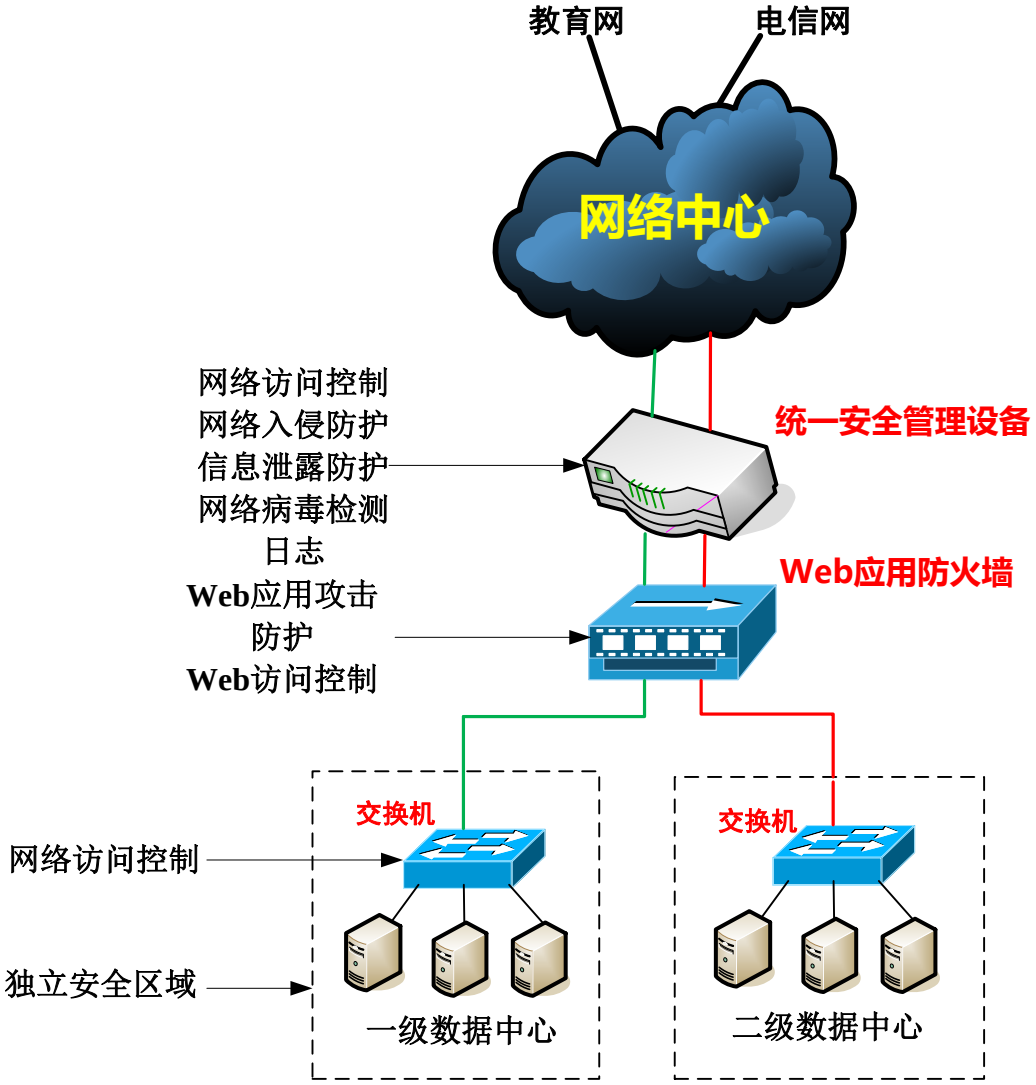
安全威胁

- **现实问题**：攻击无法避免
- **根本原因**（苍蝇不盯无缝的蛋）：各种安全隐患长期存在
  - **管理因素**：单位没有相关管理制度，造成网站或服务器的基本安全维护工作缺失，导致服务器长期存在各种漏洞
  - **人员因素**：管理员和普通用户计算机技术及安全意识薄弱（使用弱密码、主动安装恶意软件等）
  - **技术因素**：很多网站和应用服务在设计实现时就存在各种应用逻辑漏洞

信息安全保障：物理安全

- **防盗**：设置门禁、监控系统
- **防火**：配置自动气体灭火装置
- **防雷**：配置机房安装防雷设施
- **环控**：专用空调或精密空调、设置环境（温度、湿度、烟感、红外等）监控设备
- **供电保障**：采用双路市电、双路UPS及应急柴油发电机保证供电安全
- **人防**：24小时有人值守、每天6次安全巡视

信息安全保障：网络安全



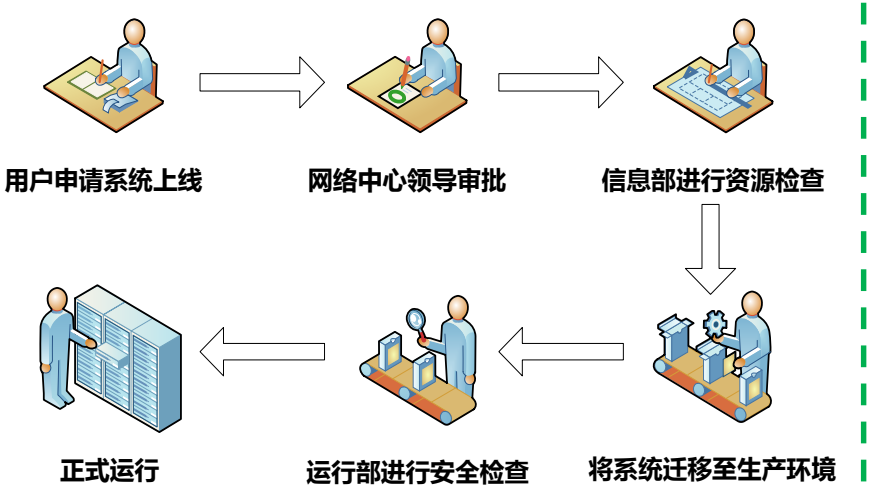
- 专业网络安全设备
- 专职网络安全人员
- 多级网络安全域结构
- 访问控制、安全审计、入侵检测防护

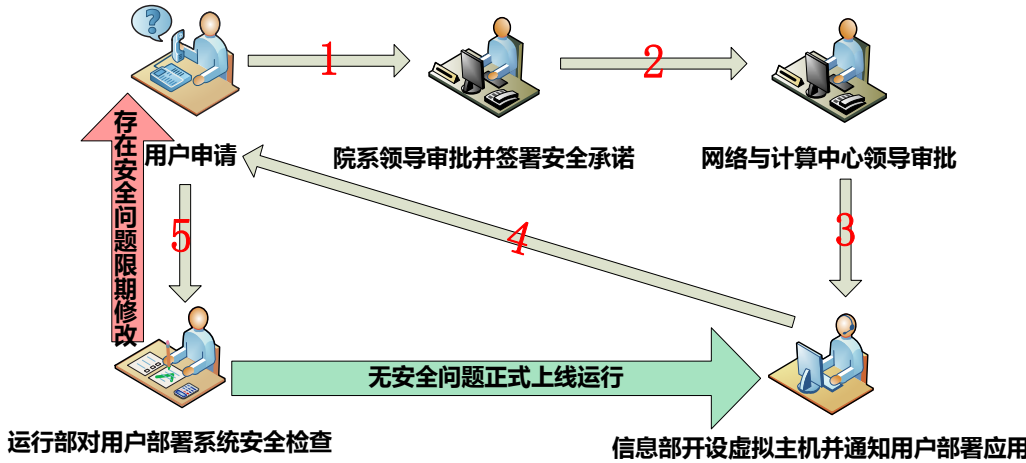
信息安全保障：主机安全

- 专人负责，操作系统及数据库密码设置复杂度高及定期更换密码，核心主机必须通过VPN内网登陆
- 启用资源访问控制策略，操作系统与数据库特权用户分离，核心主机（数据库）超级用户口令采用多人分段设置
- 操作系统及数据库用户实施安全审计，设置专人进行审计
- 操作系统遵循最小安装原则、及时更新

信息安全保障：应用安全

- 应用开发前，对技术架构、安全等级提出明确要求
- 应用上线前进行安全漏洞扫描，通过方可上线运行
- 应用运行过程中实时监控与保护





信息安全保障：数据安全

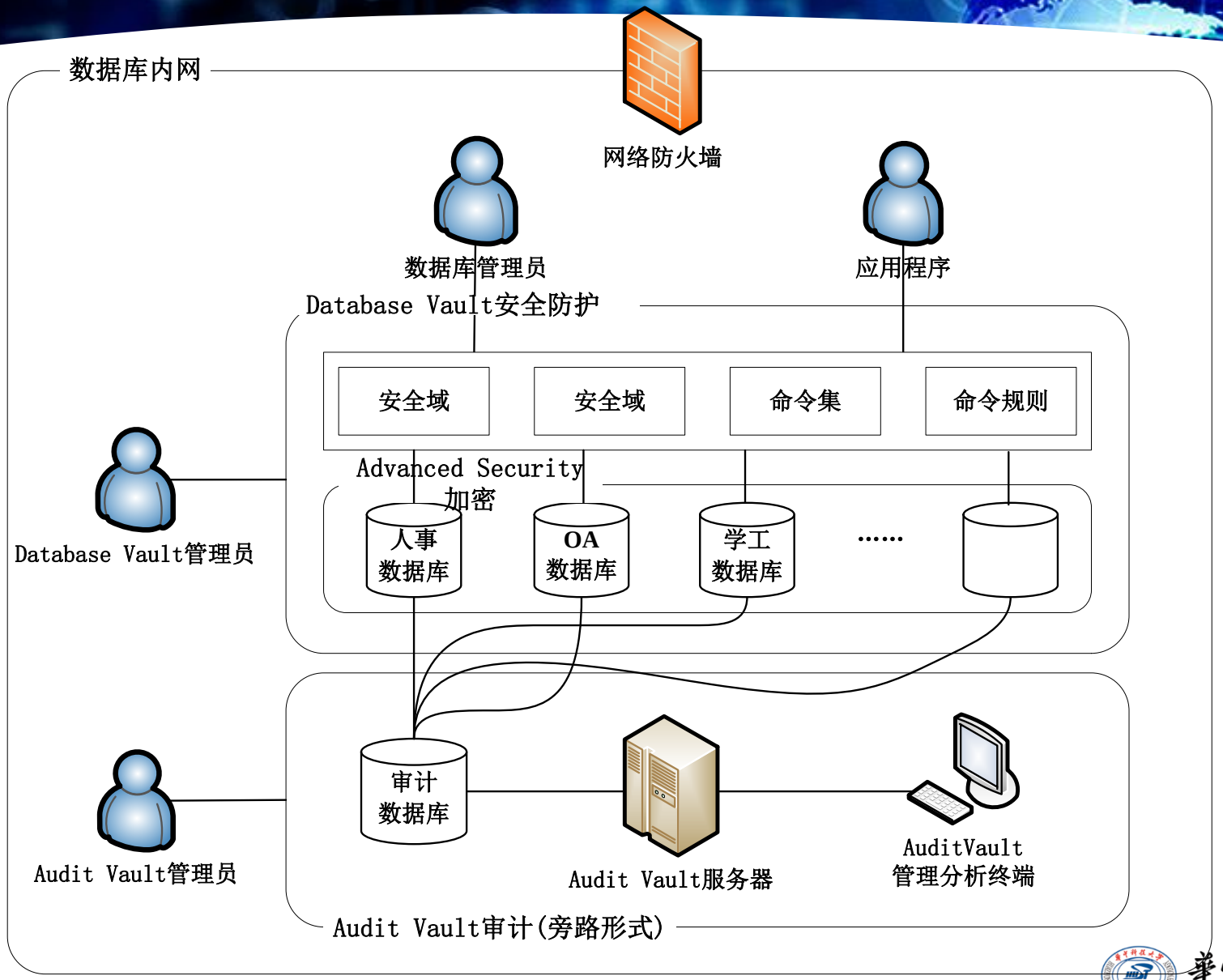
- 敏感数据 “**看不见**”
- 核心数据 “**拿不走**”
- 运维操作 “**能审计**”

信息安全保障：数据安全

❖数据泄露的原因、方式及应对措施

- 专业网络罪犯
  - 网络隔离、安全扫描、防火墙、入侵检测、及时更新安全补丁
- 合作伙伴（开发商、运维服务商）
  - 建立系统交付规范、运维服务规范、签署保密协议等管理制度来加强管理，合理的权限分配、审计管理
- 善意的内部人员
  - 建立安全管理制度，加强安全管理意识和进行安全技术培训
- 恶意的内部人员
  - 加强内部人员管理，建立完善的分权机制（安全员、系统管理员、审计员进行人事分工）
  - 采用先进的技术手段（Oracle Database Vault、Oracle Advanced Security、DB Firewall等软件）

信息安全保障：数据安全


数据库内网
网络防火墙
数据库管理员
应用程序
Database Vault安全防护
安全域
安全域
命令集
命令规则
Advanced Security
加密
人事
数据库
OA
数据库
学工
数据库
.....
Database Vault管理员
审计
数据库
Audit Vault管理员
Audit Vault服务器
AuditVault
管理分析终端
Audit Vault审计(旁路形式)

安全域的划分与隔离

- 同一安全域中的系统应该具有相似的安全防护需求
- 每个安全域具有完全独立和封闭的物理及逻辑网络
- 安全需求高的安全域应只具有唯一出口与外网相连，且与外网的联系方式越简单越好
- 每个安全域都应在所有出口上根据实际情况设计并实现完整的网络访问控制策略控制

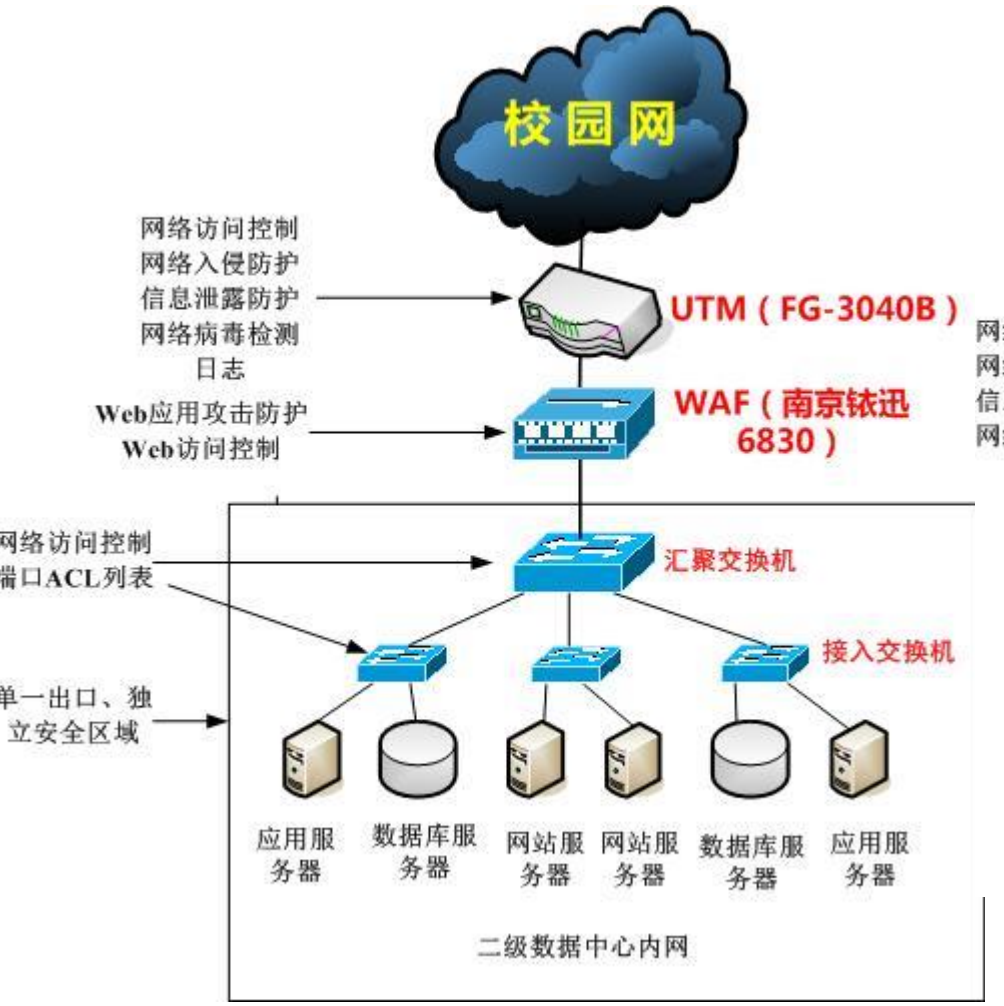
安全域的划分与隔离

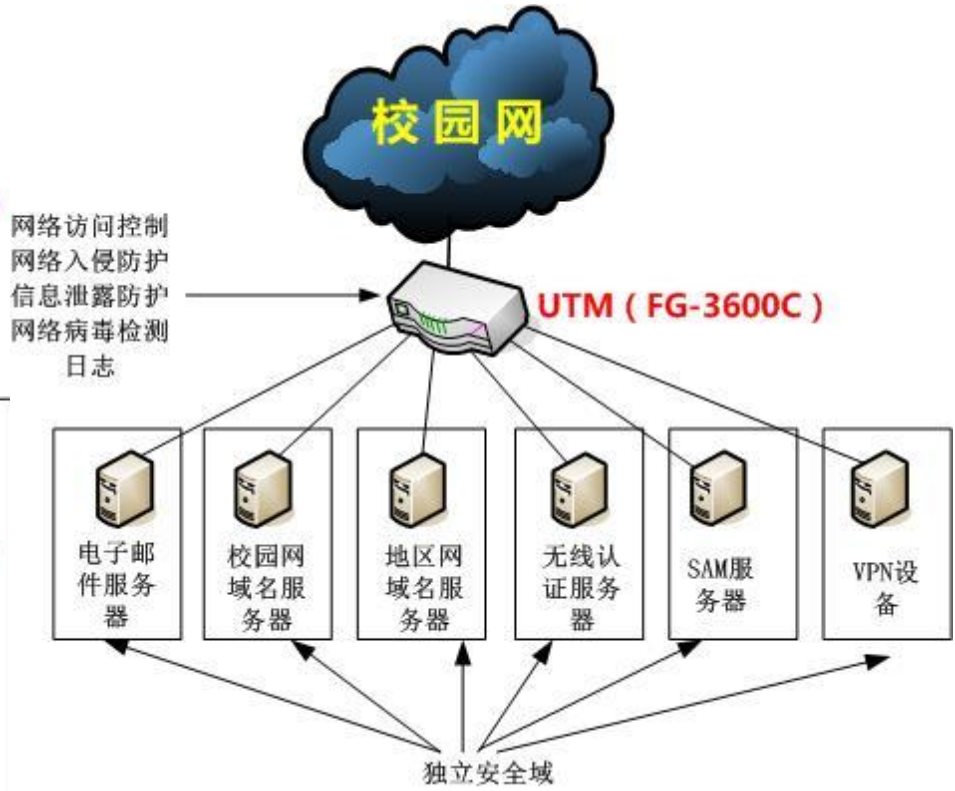
- 同一安全域中的系统应该具有相似的安全防护需求
- 每个安全域具有完全独立和封闭的物理及逻辑网络
- 安全需求高的安全域应只具有唯一出口与外网相连，且与外网的联系方式越简单越好
- 每个安全域都应在所有出口上根据实际情况设计并实现完整的网络访问控制策略控制

安全域的划分与隔离

- 访问控制策略的设计原则
  - 无需提供服务的监听端口一律关闭
  - 无需对全网提供服务的监听端口就一定进行严格的访问IP地址范围

安全域和安全设备的结合





几点经验

- **必须坚持的经验：有所不为**
  - 不要大包大揽，不做保姆
  - 不要唯命是从，凡事以安全为重
- **建立规则、守护好规则（依法治国，立法更要守法）**
  - 规则的好坏是水平问题，守护规则是品质问题
- **转变观念**
  - **优质服务**求生存、**服务创新**求发展

几点经验

- 不要大包大揽，不做保姆
  - 安全的问题是复杂的，就算给计算机系统加上了铜墙铁壁，也难以防止从内部开始的瓦解
  - 对用户的行为必须加以严格规范，制定完善的安全管理及操作规定，发生问题时要有据可查
  - 权责一定要划分清晰，对于不属于亲自管理的计算机系统就一定不能负责到底，并且制定相关规定，有据可查

几点经验

- 不要唯命是从，凡事以安全为重
  - 规定就是规定，安全的原则不能因为领导的一句话或者用户的一个请求就轻易放弃，因为那样会后患无穷
  - 商量沟通后，采取其它变通的安全方式实现
    - 外网通过VPN的方式远程登录校内计算机系统，而不是向外网完全开放
  - 如果确实没有其它可变通的方式，又无法拒绝时，请一定让当事人或单位留下书面承诺书，出现问题时有据可查

目录

安全审计

安全审计

- 审计是模拟社会监察机构，在计算机系统中用来监视、记录和控制用户活动的一种机制
  - 使影响系统安全的访问和访问企图留下线索以便事后分析和追查
- 审计系统是现代信息安全系统必不可少的组成部分
  - 在身份鉴别、访问控制、数据加密等多种安全措施基础上，进一步增强系统安全性

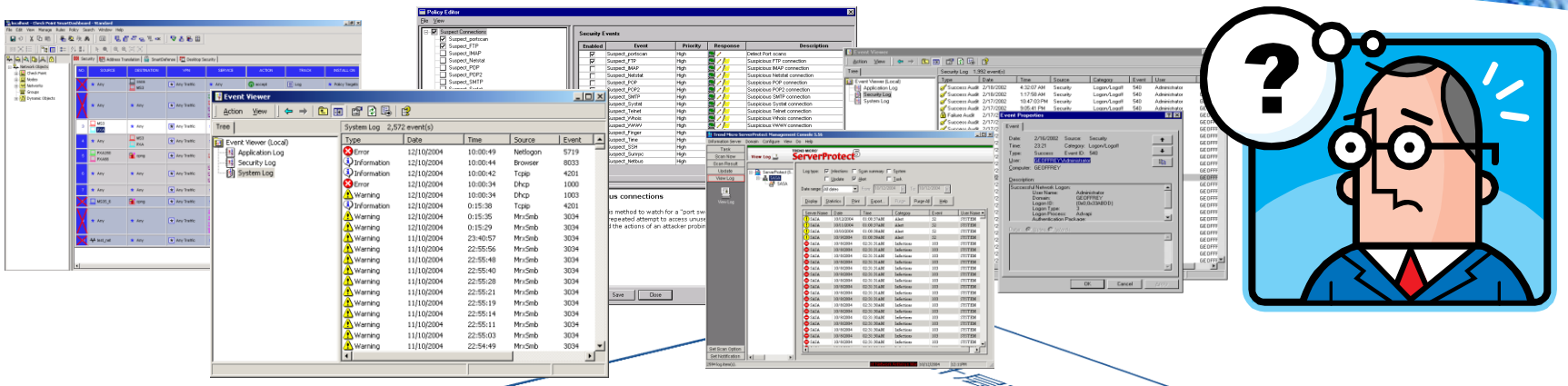
安全审计的重要性

- 完备的审计系统对攻击者具有强大的威慑作用
  - 所有安全防线被攻克，只有通过审计系统进行事后追查
- 国家信息安全等级保护条例中，对审计功能具有明确的技术要求
  - 网络安全审计——应对网络系统中的网络设备运行状况、网络流量、用户行为等进行日志记录
  - 主机安全审计——审计范围应覆盖到服务器上的每个操作系统用户和数据库用户
  - 应用安全审计——应提供覆盖到每个用户的安全审计功能，对应用系统重要安全事件进行审计

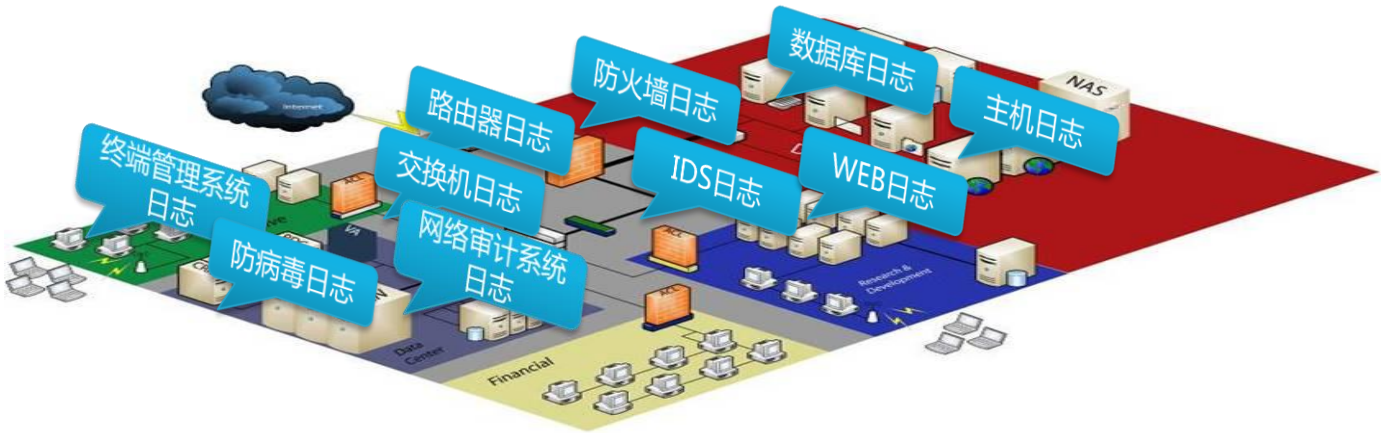
安全审计的现状

- 设备种类繁多，审计日志记录分散，格式不统一
- 日志记录量大（每日审计数据上百G）

安全审计的现状



日志分散　　日志格式不统一　　日志量大



安全审计的现状

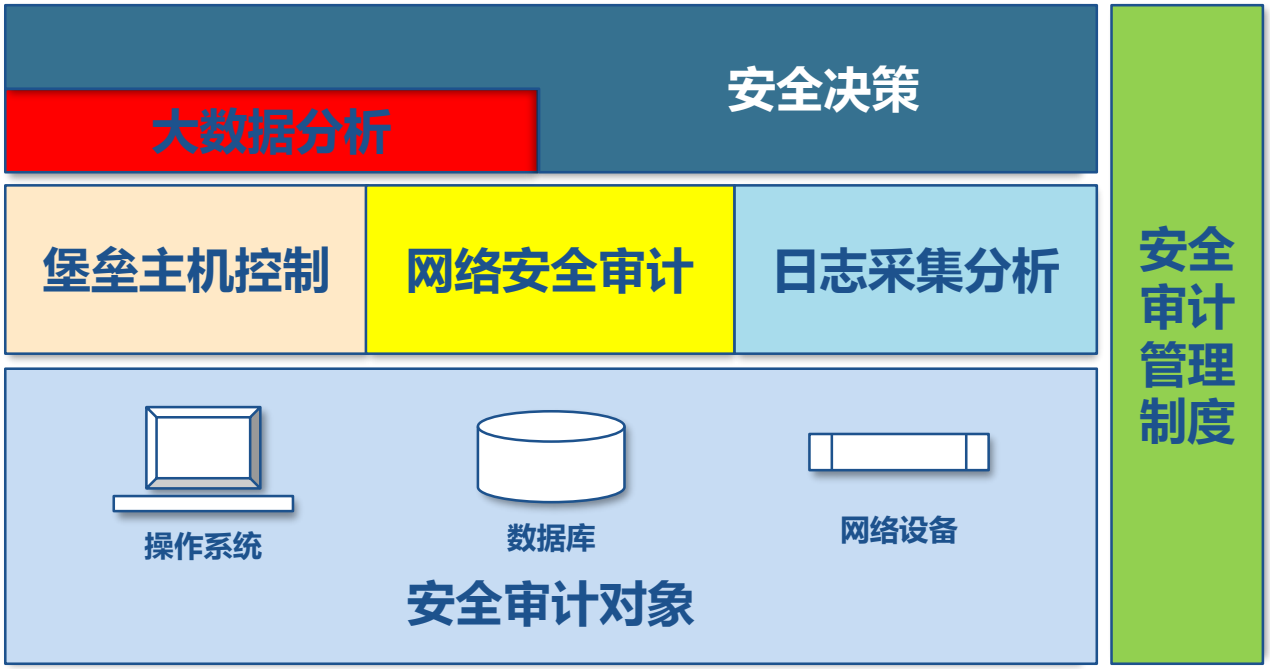
- 设备审计功能非强制开放，审计信息不全
- 设备审计记录缺乏保护，对超级管理员缺乏约束
- 设备审计信息相对孤立，缺乏有效的审计事件关联分析手段
- 无专值安全审计员，多由管理员兼任
- 安全审计管理制度不健全

安全审计系统建设目标

- 有效监控可能影响信息安全的用户和管理员行为
- 建立有效的安全事件预警、追踪平台
- 对分散的日志数据进行集中存储，建立统一的安全审计监控平台
- 建立日志信息大数据分析平台
- 健全安全审计管理制度

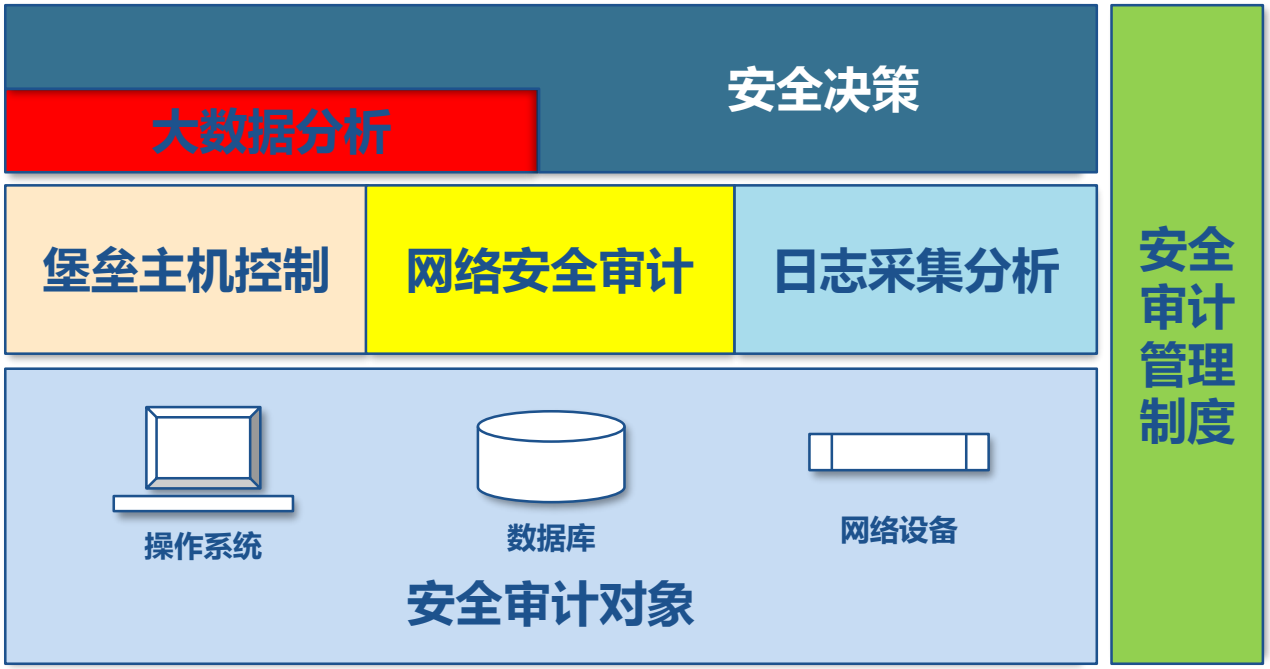
安全审计系统建设目标

- 建立以堡垒主机控制、网络安全审计、日志采集分析为技术手段，以安全审计管理制度为政策保障，以大数据分析为决策支持的安全审计中心



安全审计系统建设目标

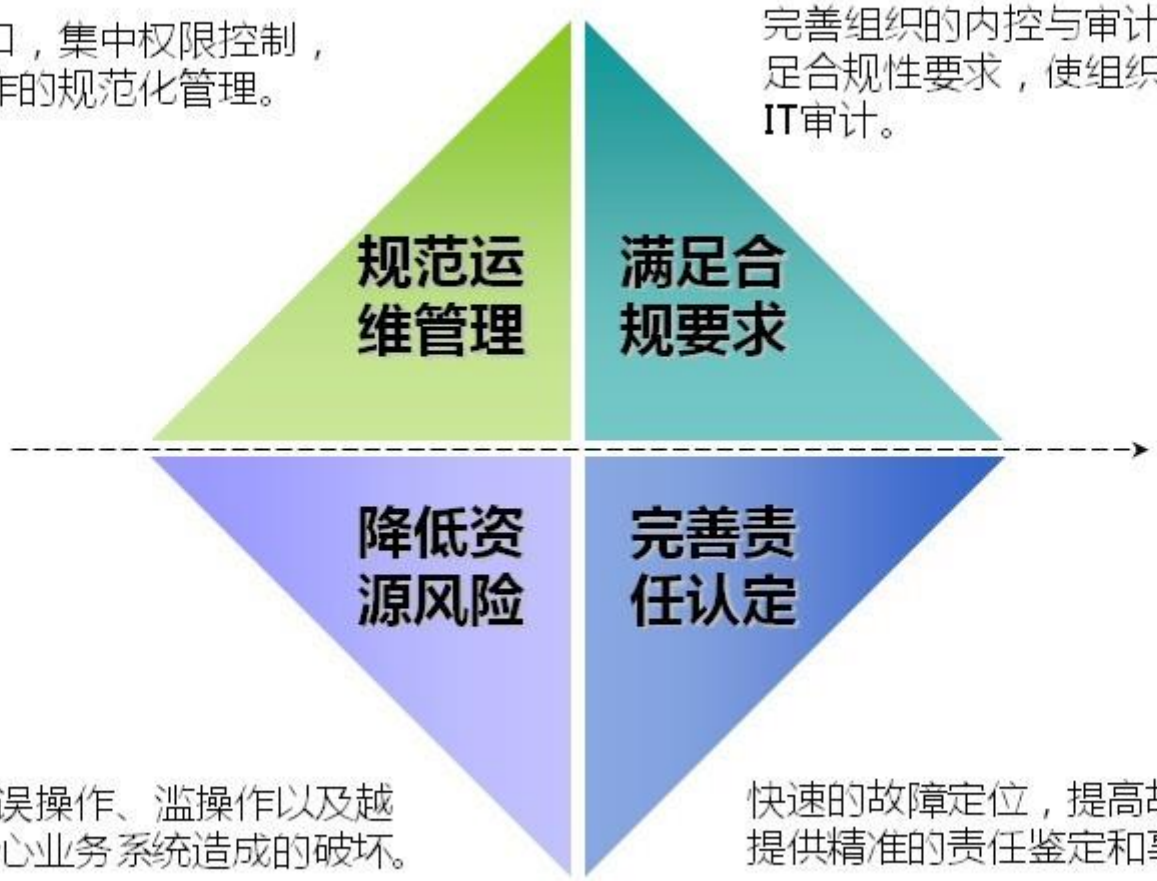
- 建立以堡垒主机控制、网络安全审计、日志采集分析为技术手段，以安全审计管理制度为政策保障，以大数据分析为决策支持的安全审计中心



堡垒主机控制

统一访问入口，集中权限控制，实现运维操作的规范化管理。

完善组织的内控与审计体系，从而满足合规性要求，使组织能够顺利通过IT审计。



有效防止了误操作、滥操作以及越权访问对核心业务系统造成的破坏。

快速的故障定位，提高故障处理效率；提供精准的责任鉴定和事件追溯。

堡垒主机控制

- 应用场景
  - 内部运维人员行为监控
  - 托管服务器用户行为监控
  - 运维厂商行为监控
  - 内部人员远程操作监控

堡垒主机控制

❖部署方式

- 物理旁路，逻辑串接

堡垒主机控制

- 相关产品
  - 启明星辰天玥网络运维安全管控系统
  - 帕拉迪运维操作审计系统
  - 杭州安恒明御运维审计与风险控制系统

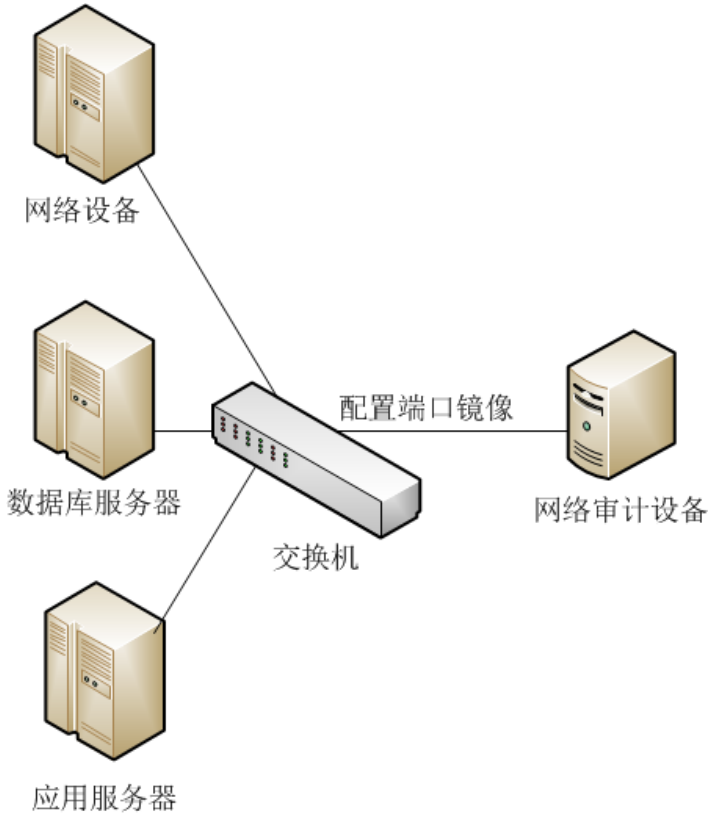
网络安全审计

- 主要功能
  - 对交换机上所有出入数据包进行分析
  - 通过协议分析可对流量内容进行还原
- 应用场景
  - 舆情监控
  - 账号破解
  - 数据库操作分析

网络安全审计

❖部署方式

- 通过配置端口镜像进行部署



网络安全审计

- 相关产品
  - 启明星辰天玥网络安全审计系统
  - 明御数据库审计与风险控制系统

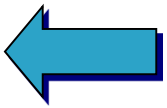
数据库审计（DBAudit）

- 实时记录网络上的数据库活动，对数据库操作进行细粒度审计的合规性管理，对数据库遭受到的风险行为进行告警，对攻击行为进行阻断
- 对用户访问数据库行为的记录、分析和汇报，帮助用户事后生成合规报告、事故追根溯源
- 加强内外部数据库网络行为记录，提高数据资产安全

数据库审计（DBAudit）

- 主要功能
  - 多层业务关联审计
  - 细粒度数据库审计
  - 精准化行为回溯
  - 全方位风险控制
  - 职权分离

目录



日志采集

- 自动采集各类设备产生的运维日志
- 对各类日志进行集中存储和分析
- 通过关联分析追踪安全事件

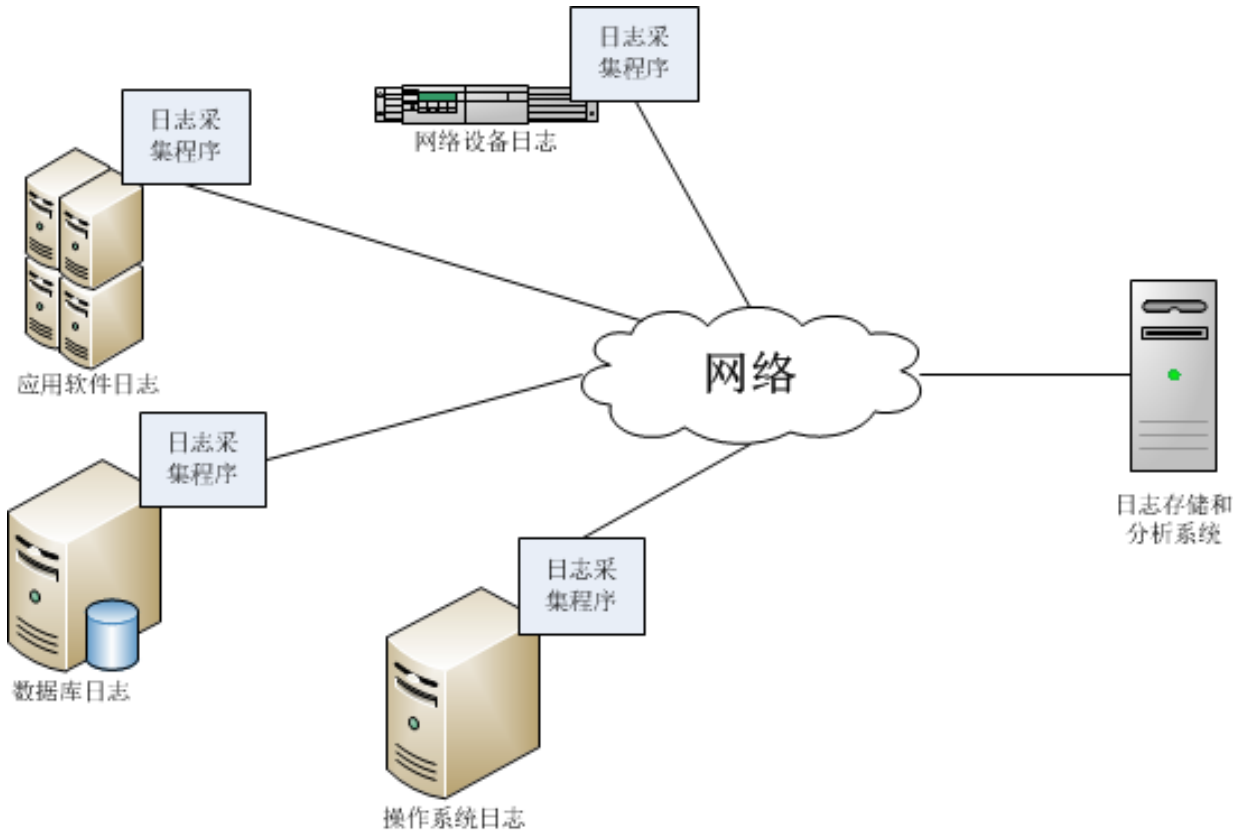
日志采集

- 应用场景
  - 安全事件追溯
  - 日志综合分析
  - 安全预警
  - 系统管理员操作监督

日志采集

❖部署方式

- 灵活部署，网络可达即可



日志采集

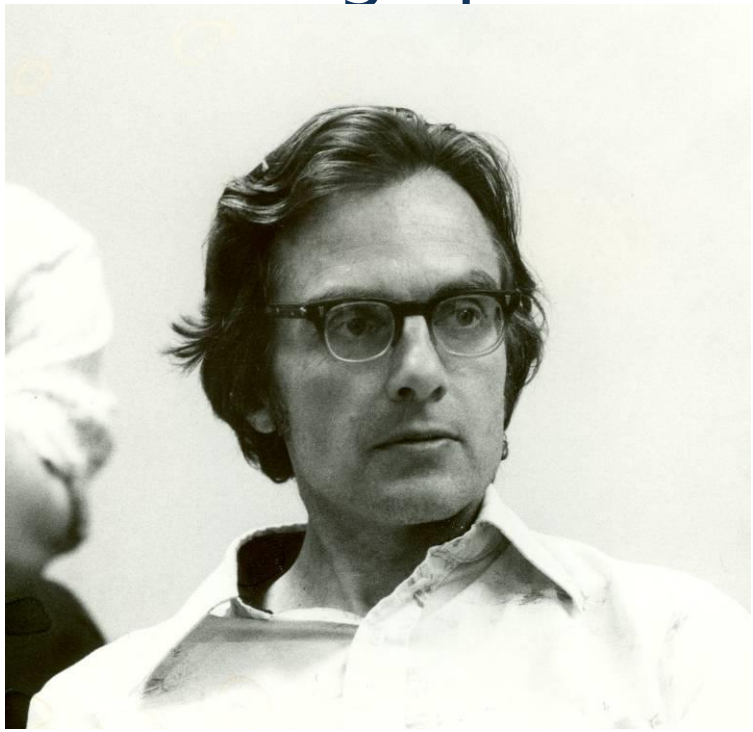
- 相关产品
  - 启明星辰TSOC-SA泰合安全日志审计系统
  - 明御综合日志审计平台
  - HP ArcSight
  - Splunk日志分析系统

日志大数据分析平台

- Splunk、Hadoop、Spark

数据流（Dataflow Model ）

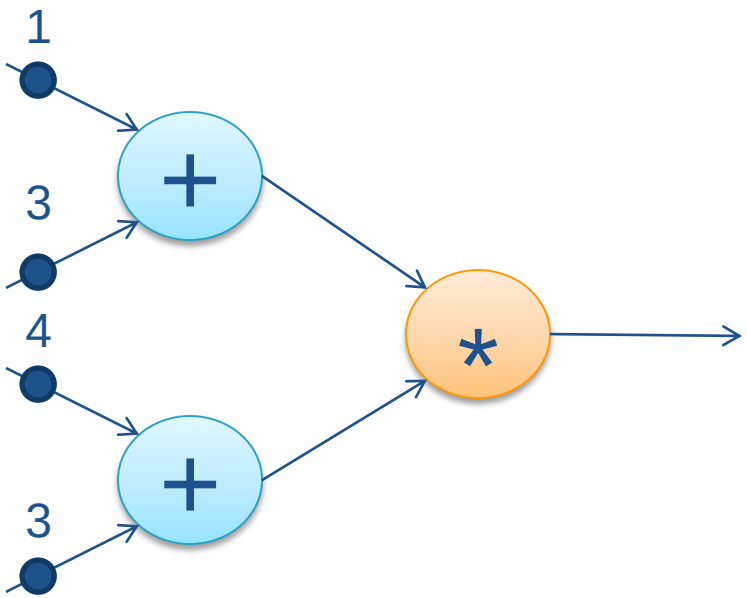
- Inspiration: Jack Dennis, 1970s
- General purpose parallel machines based on a dataflow graph model of computation



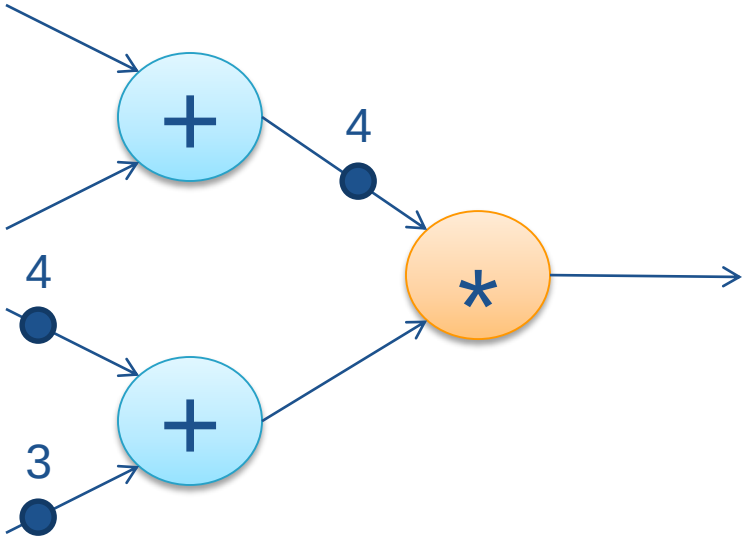
Inspired all the major players in dataflow during seventies and eighties, including Kim Gostelow and I @ UC Irvine

[2013年荣获IEEE冯诺依曼勋章]

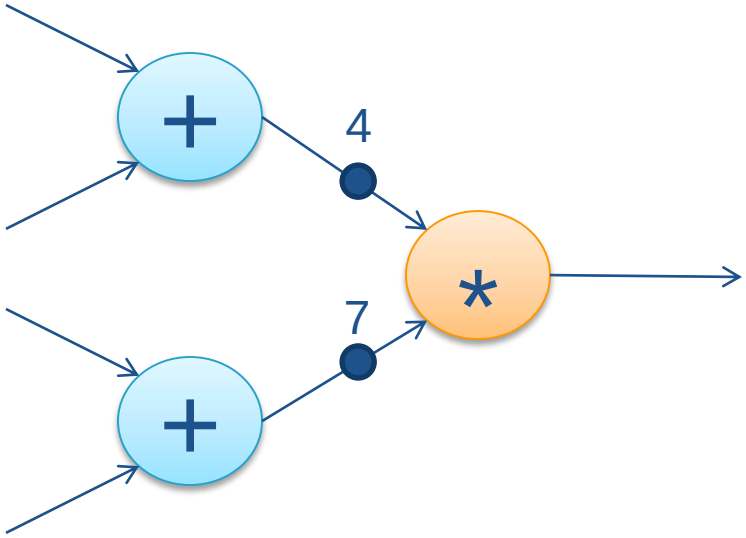
Dataflow Model of Computation



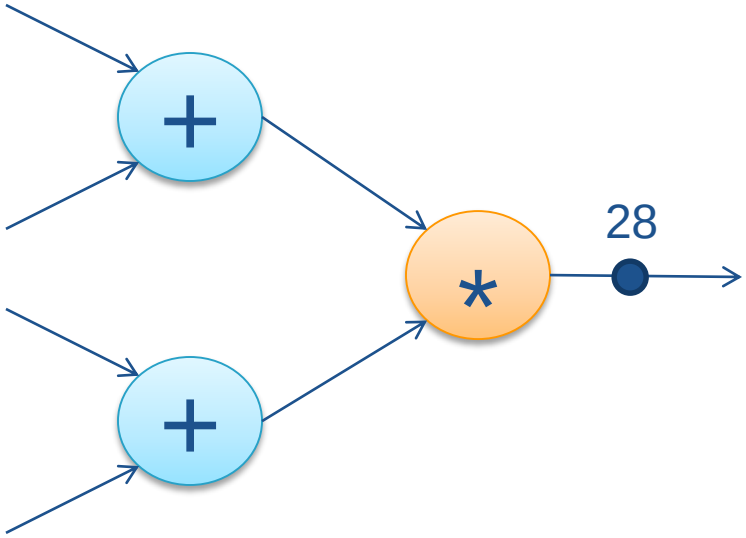
Dataflow Model of Computation



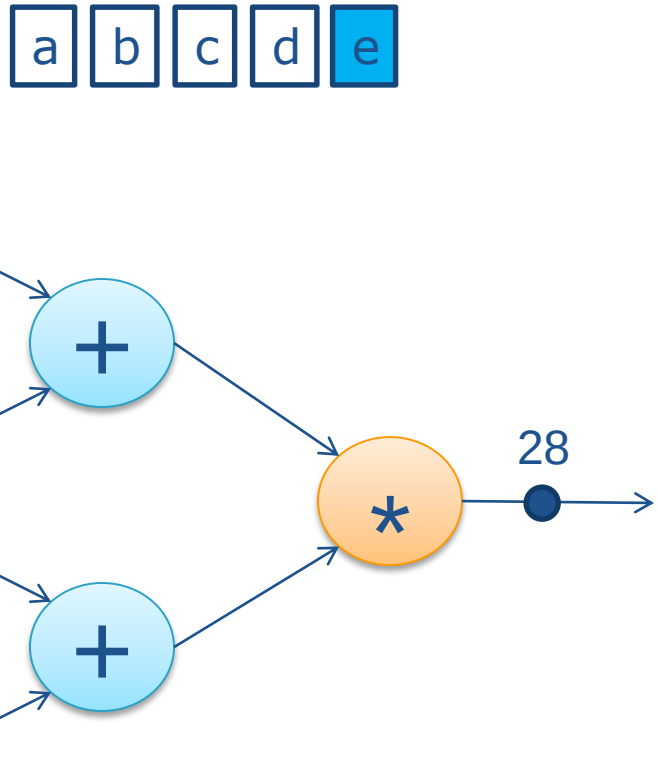
Dataflow Model of Computation



Dataflow Model of Computation

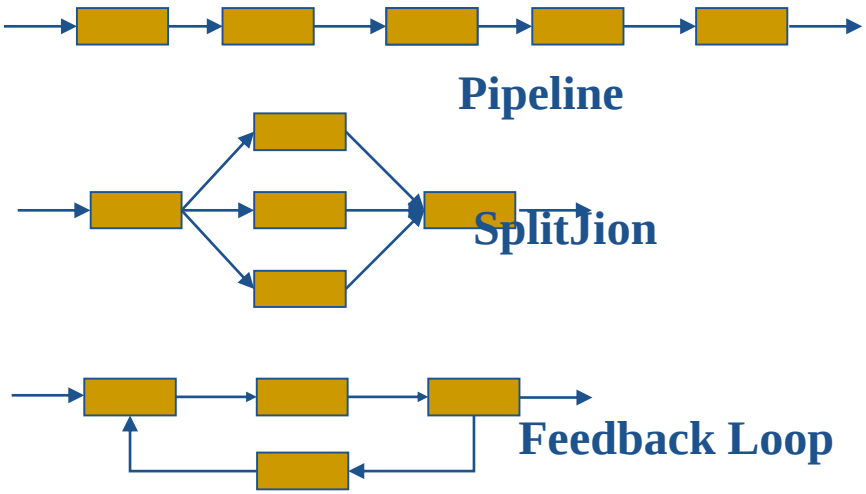


Dataflow Model of Computation

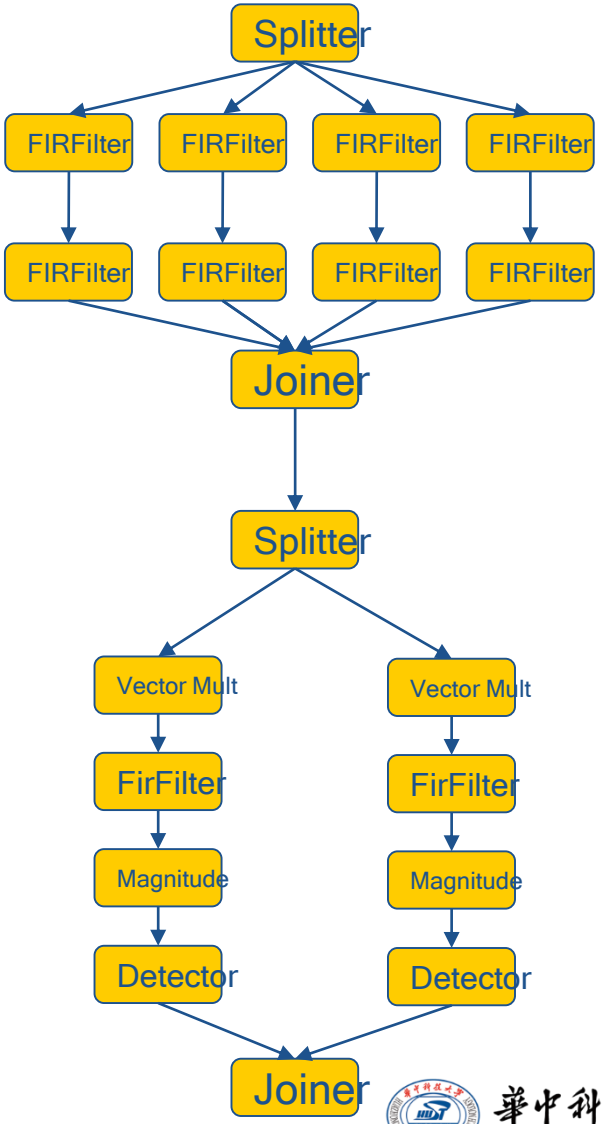


Dataflow Software Pipelining

流编程描述日志处理



流应用的三种程序结构



数据流模型的优势

- 打破了 “两墙一锁” (美国特拉华大学高光荣教授)
  - 打破了并行度的限制“墙”（ barrier ）
  - 打破了传统冯诺依曼模型的CPU-Memory瓶颈 ，提供了处理和数据的结合，memory概念上是分布的，是无处不在的, 是与处理紧密耦合的（ processing-in-memory ）
  - VM/OS对硬件资源利用的管理方式不能提供数据流程序执行模型所需要的高度灵活的并行性，而虚拟机（ VM ）又“锁”住了用户（包括compiler和runtime ）直接管理（在bare-metal层面）所需硬件资源的任何途径，

COStream数据流编程语言

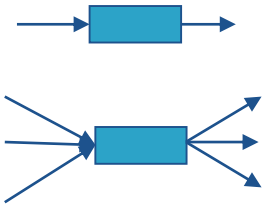
❖语言的构成

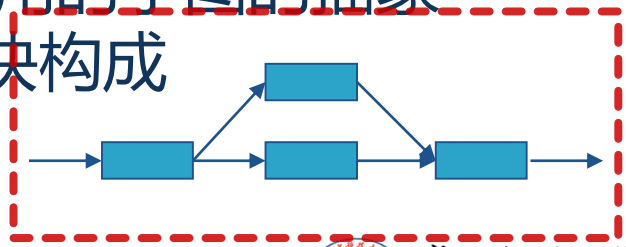
COStream数据流编程语言的文法是在C语言文法基础上加入了表征数据流图结构的文法，实现对数据流图最基本的抽象，方便数据流程序的编写

- Stream
  - 数据流（stream）是由一系列数据流成员（token）组成的序列，作为通信载体连接数据流图中各个计算单元（actor），它是对数据流图中通信边的抽象，为计算单元提供可并行操作的数据对象
  - 数据流分为输入数据流和输出数据流两种类型，一般来说，一个stream是一个actor的输入数据流同时又是另一个actor的输出数据流
  - 以先进先出（FIFO）的方式进行访问

COStream数据流编程语言

- 语言的构成
  - Operator
    - COStream语言最基本的计算单元
    - 一个operator可以有多个输入流和多个输出流
    - operator体包括需要用到的变量声明和定义、init、work和window四个部分
  - Composite
    - 为了将不同节点连接构造数据流图，COStream定义了composite结构
    - 代表一个由一个或若干operator组成的可重用的数据流图结构，它是对SDF图中可复用的子图的抽象
    - 流程序由1个或多个composite块构成





COStream数据流程序

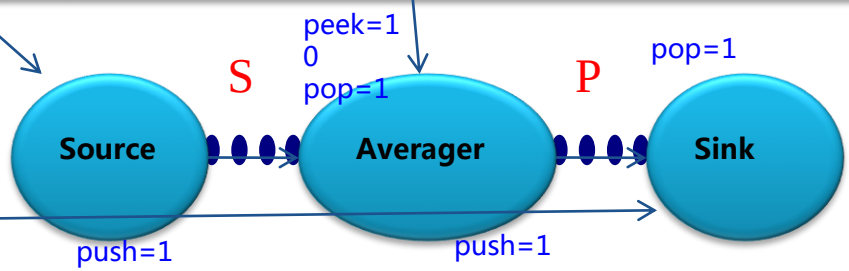
```
composite Main{
    int N = 10;
    stream<int i> S =  Source(){
        int x;
        init {x=0;}
        work {
            S[0].i = x;
            x++;
        }
        window {
            S tumbling(1);
        }
    };
    stream<int i> P = MyAverage(S)(N);
    Sink(P){
        int r = 0 ;
        work {
            r = P[0].j;
            println(r);
        }
        window {
            P tumbling(1);
        }
    };
}
```

stream

operator

composite

```
composite MyAverage(output Out ; input  In){
    param
        int pn;
    Out = Averager(In){
        work {
            int sum=0,i;
            for(i=0;i<pn;i++)
                sum += In[i].j;
            Out[0].j = (sum/pn);
        }
        window  {
            In sliding( 10, 1);
            Out  tumbling(1);
        }
    }
}
```

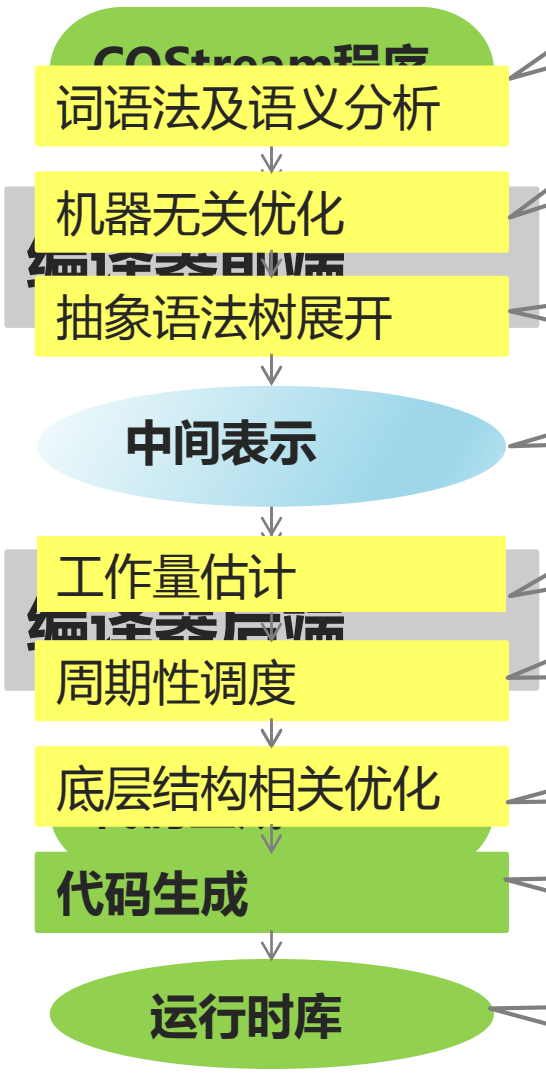


COStream数据流编程语言

❖COStream数据流语言的特点

- 复合数据流类型的定义，支持类似于C语言中struct类型的数据流类型定义，可以实现复杂的数据操作
- actor之间采用参数传递方式实现连接，增强了actor的复用，采用类似于C语言参数传递方式实现actor之间依赖关系的建立
- 采用窗口机制实现对数据流的访问，窗口的长度定义了actor每次执行生产或消耗数据的码率，另外，在actor内部支持对窗口内数据的随机访问
- 支持层次性数据流图的构造，层次性流图是对SDF图中子图的抽象，通过层次性流图文法的设计支持层次性流图的构造，方便编程

COStream数据流编译优化框架



对COStream数据流程序进行词语法分析和语义分析，建立抽象语法树(AST)结构

对抽象语法树进行数据流分析做机器无关优化：活跃变量分析，死代码消除，常量传播

分析composite调用和stream依赖关系，将AST中composite调用进行实例化和深层次展开

采用同步数据流图（SDF）作为中间表示

对SDF中运算结点（actor）和通信边开销进行估算（读取profile），作为流图调度划分依据

采用单出现调度（SAS）算法，COStream周期调度分为两个阶段：稳态调度和初态调度

根据目标系统结构特性，进行底层结构相关优化

设计目标系统上能够并行运行的目标代码生成框架

为目标代码在运行时提供通信和同步支持

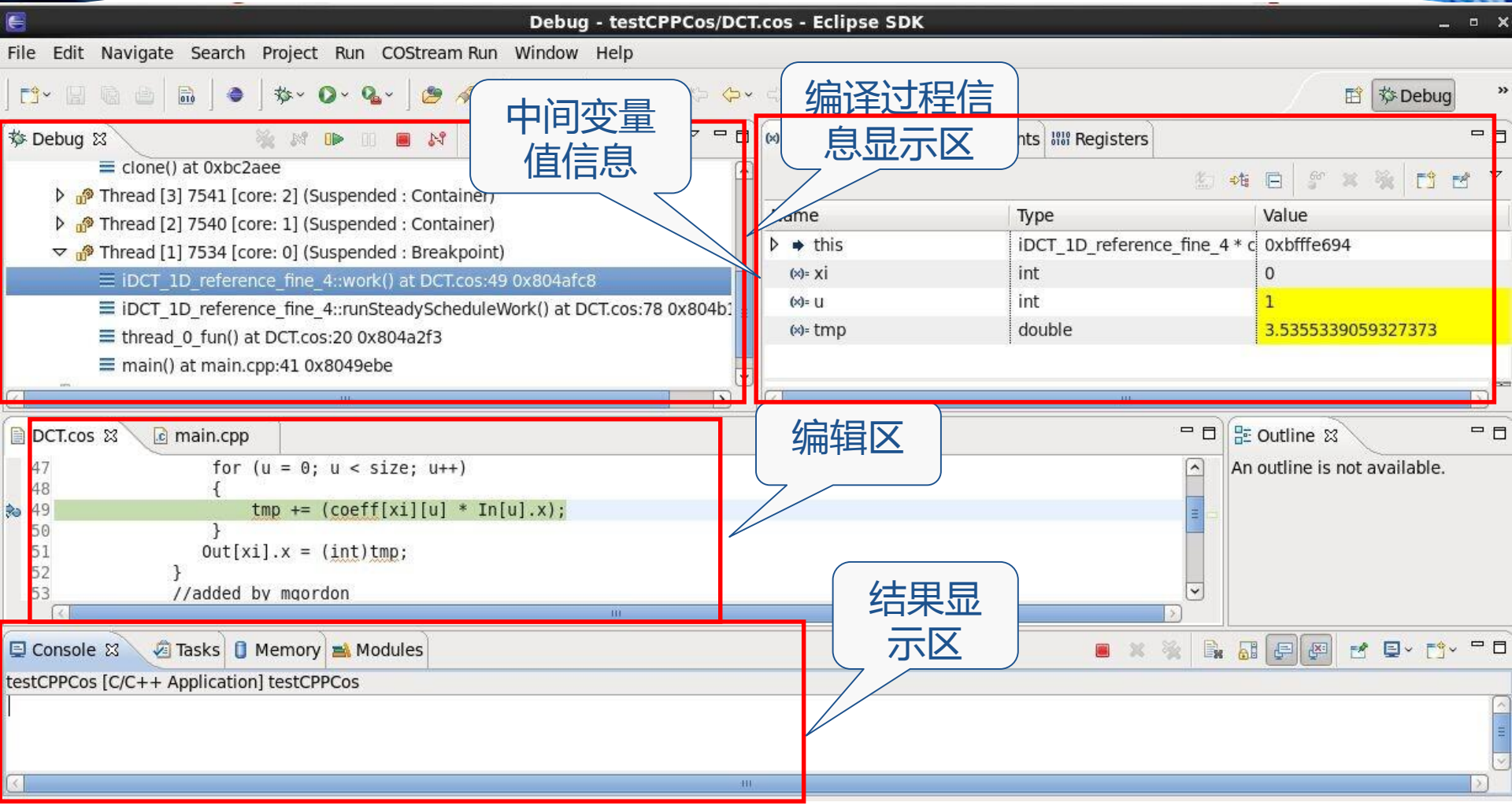
COStream插件介绍

- 目的
  - 为提高编写COStream程序的便捷性和高效性，现使用Eclipse平台编写了一个基于COStream语言的插件
- 简介
  - 插件提供COStream程序语法的高亮显示，错误提示，编写及调试COStream程序，参数设置，数据流图显示，性能分析等功能

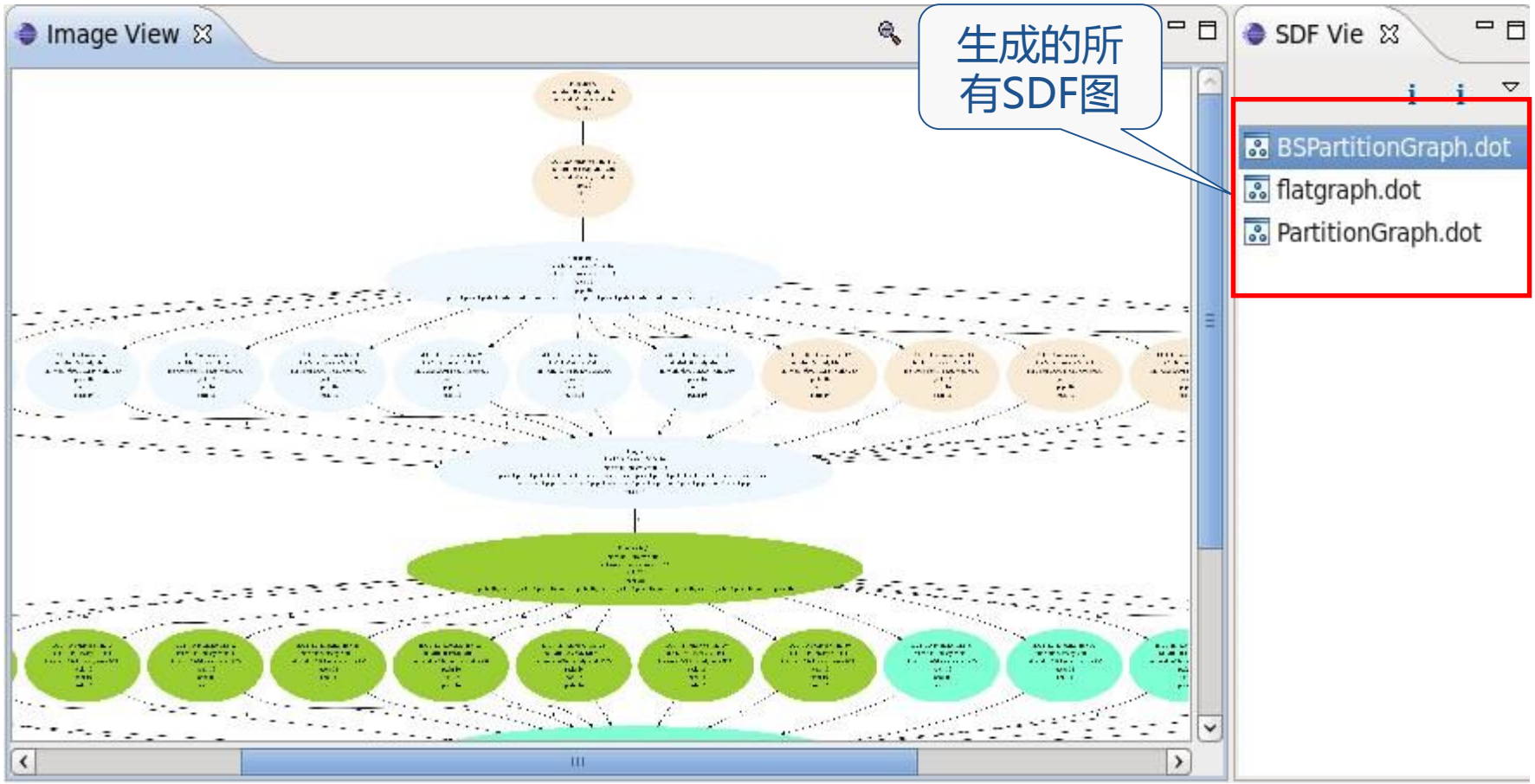
COStream插件介绍

- 各模块功能
  - 工程向导：新建COStream工程及文件
  - 代码编辑器：编写COStream语言代码，能够高亮COStream语法，给出错误信息提示
  - 视图工具：显示COStream工程生成的所有SDF图并在插件中显示
  - 性能分析工具：分析程序运行的计算时间，同步时间等数据，并给出加速比
  - 首选项：设置工程的运行参数
  - 调试工具：设置断点，调试COStream程序，给出运行时的变量值

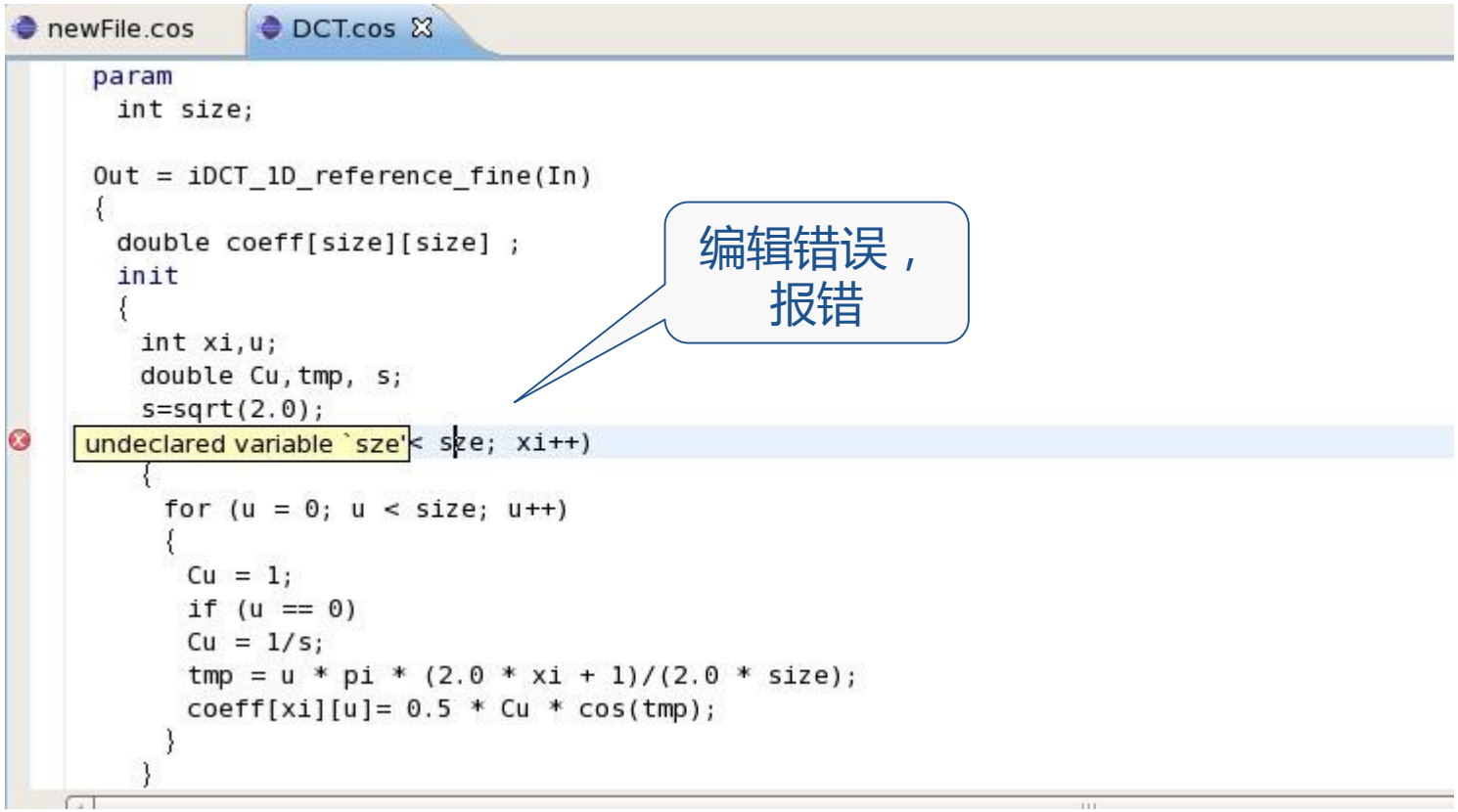
COStream插件介绍



COStream插件介绍



COStream插件介绍



研究成果

- 项目支持
  - 国家863计划重点项目子课题
  - 国家自然科学基金
  - 教育部博士点基金
  - 武汉市重点项目

研究成果

❖发明专利与著作权

- 一种面向片式多核处理器的流编译优化方法（专利申请号：201210265612.4，申请日：2012.7.27）
- 一种面向X86多核处理器的数据流程序调度方法（专利申请号：201410185971.8，申请日：2014.5.5）
- 一种面向多核集群的数据流编译优化方法（专利申请号：201410185945.5，申请日：2014.5.5）
- 一种基于GPU/CPU混合架构的流程序多粒度划分与调度方法（专利申请号：201510429763.2，申请日：2015.7.21）
- 基于COStream数据流语言的可视化编程环境软件（ COStreamDE，2015）

研究成果

❖发表论文

- Haitao Wei, Junqing Yu, Huafei Yu, Guangrong Gao. Minimizing Communication in Rate-Optimal Software Pipelining for Stream Programs, CGO2010, 2010， 210~217
- Haitao Wei, Junqing Yu, Huafei Yu, Mingkang Qin and Guang R. Gao. Software Pipelining for Stream Programs on Resource Constrained Multi-core Architecture, TPDS, 2012, 23(12): 2338-2349
- Haitao Wei, Mingkang Qin, Junqing Yu, Dongrui Fan and Guang R. Gao. StreamTMC: Stream Compilation for Tiled Multi-core Architectures, JPDC, 2013, 73(4): 484-494

研究成果

❖发表论文

- 魏海涛, 于俊清, 余华飞, 秦明康. 一种面向数据流程序的软件流水并行化方法, 计算机学报, 2011, 34(5): 889~898
- 张维维, 魏海涛, 于俊清, 李鹤, 黎昊, 杨秋吉. COStream：一种面向数据流的编程语言和编译器实现, 计算机学报，2013, 36(10):1993 -2006
- 刘小宪, 魏海涛, 于俊清. 面向X10的数据流程序编译优化算法研究, 小型微型计算机系统，2013, 34(10): 2239-2245

研究成果

❖发表论文

- 魏海涛, 秦明康, 于俊清,范东睿. 一种面向众核架构的数据流编译框架, 计算机学报, 2014, 37(7): 1560-1569
- 于俊清, 余华飞, 魏海涛, 秦明康. 多核环境下编译器辅助消息驱动的动态调度, 计算机学报, 2014 , 37(7): 1633-1637
- 于俊清, 张维维, 陈文斌, 涂浩, 何云峰. 面向多核集群的数据流程序层次流水线并行优化方法研究, 计算机学报, 2014, 37(10): 1-13

搜球网

足 球 篮 球 网 球 乒乓球 羽毛球 排球 台球 百科

搜一下

搜球网

足球 篮球 网球 乒乓球 羽毛球 排球 台球 百科

搜球

搜索

登录 注册 帮助 Download

热点搜索： 足球 德甲 西甲 梅西

世界杯 直播 欧冠联赛 英超联赛 意甲联赛 西甲联赛 德甲联赛 法甲联赛 中超联赛 国家队赛事 球星风采 搜球空间

今日推荐

MORE

▶ 2014/15赛季曼联十大最佳进球—在线播放—优酷网，视频高清在..
时间：2015-6-13 点播：0 来源：优酷

2015女足世界杯 泰国3-2科特迪瓦 斯里曼..
时间：2015-6-13
来源：优酷

2015女足世界杯 德国1-1挪威 米耶尔达漂..
时间：2015-6-13
来源：优酷

2015女足世界杯 加拿大0-0新西兰 安博尔..
时间：2015-6-13
来源：优酷

【黑哥 实况足球2015】6月14号 美洲杯 ..
时间：2015-6-13

用户登录

登录

注册

记住我 两周内自动登录 忘记密码

上升最快

1. 3月9日德甲精华
2. 德甲第23轮集锦
3. 11月9日 西甲第10轮 皇家马德里V..
4. 【德甲第18轮】拜仁慕尼黑0：1汉..
5. ［穆斯莱拉扑救秀］7月17日 Arge..
6. 埃托奥国际米兰“10佳进球”
7. 有实力没运气，沙尔克再遭挫绩_0
8. AC米兰到京

搜球网

搜球

足球 篮球 网球 乒乓球 羽毛球 排球 台球 百科

搜 索

登 录 注 册 帮助 Download

热点搜索： 足球 德甲 西甲 梅西

世界杯 直播 欧冠联赛 英超联赛 意甲联赛 西甲联赛 德甲联赛 法甲联赛 中超联赛 国家队赛事 球星风采 搜球空间

当前位置：首页 > 搜索页面

搜索结果（共搜索到128条信息，耗时0.109375秒）

相关程度 最新发布 最多播放 最多评论

所有时长 视图


梅西2014年度震撼十佳球 世界杯补...
时间：2014-12-26
点播：10
来源：优酷


献给全世界的梅粉们：圣诞快乐！ __...
时间：2014-12-26
点播：10
来源：优酷


2014赛季中超联赛上海申鑫进球全记...
时间：2015-1-1
点播：6
来源：优酷


梅西2014年度震撼十佳球 世界杯补...
时间：2014-12-26
点播：10
来源：优酷


英超-铁卫进球被吹引争议RVP失良机...
时间：2014-12-30
点播：9
来源：优酷


红蓝风暴！梅西内马尔


2014赛季中超联赛上海


英超-铁卫进球被吹引


英超-范佩西法尔考错


英超-铁卫进球被吹引

您输入的查询图片：

温馨提示：如果您在享用搜球网服务的过程中发现bug(或者您有好的建议)，敬请将bug截图(或建议)发送到邮箱：yjqhust@qq.com，谢谢合作，祝您冲浪愉快！

搜球网

关键字 本地图片 网络图片

搜 索 登 录 注 册 帮助

热点搜索： 足球 德甲 西甲 梅西

世预赛 欧冠联赛 英超联赛 意甲联赛 西甲联赛 德甲联赛 法甲联赛 中超联赛 球星风采 搜球空间

当前位置：首页 > 视频播放

视频：『英超第7轮』兰帕德戴帽斯图里奇两球 切尔西5-... 来源：优酷

视频预览

『英超第7轮』兰帕德戴帽斯图里奇两球 切尔西5-1大胜博尔顿. f1v

精彩镜头

镜头时长:2分18秒

镜头时长:1分6秒

搜球网

足球 篮球 网球 乒乓球 羽毛球 排球 **台球** 百科

搜 索 登 录 注 册 帮 助

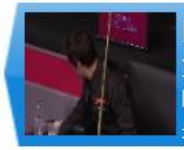
热点搜索： 奥沙利文 丁俊晖 塞尔比 中式八球

首 页 | 直 播 | 斯诺克 | 花式撞球 | 中式八球 | 赛事导航 | 台球教程 | 球星风采 | 搜球空间

当前位置：首页 > 斯诺克

精彩视频

more



[HD斯诺克]奥沙利文VS罗伯逊 下...
时间：2015/5/19
来源： 优酷

斯诺克世锦赛 傅家俊暂时落后...
时间：2014/4/30
来源： 优酷

2014世锦赛 奥沙

赛事查询

近期赛事

日期	名称	级别	举办地

赛程查询

今日赛程

时间	名称	轮次	对阵

斯诺克最新动态

more

搜球网

[HD斯诺克]奥沙利文VS罗伯逊 下半场录像 2015伦敦大师赛半决赛

来源：优酷

视频预览

局

第5局 时长10分49秒

ROBERTSON 胜，比分72:5，3:1⇨4:1

第6局 时长21分2秒

ROBERTSON 胜，比分79:12，4:1⇨5:1

单杆高分

搜球网

鱼头 设置 帮助 退出

搜球微博
t.showball.net

我的首页 我的微博 我的微群 微博广场

有什么新鲜事想告诉大家?

还能输入140字

表情 图片 视频 话题 发布

全部微博 我的微博 我的微群

全部 原创 图片 视频

鱼头V：祝大家新年快乐，心想事成!
2013年1月26日 9:59 搜球网微博 删除 | 收藏 | 转发 | 评论

LokiV：分享图片

关注 1
粉丝 15
微博 12

鱼头
湖北 武汉

我的首页
我的微博
提到我的
我的收藏
我的通知

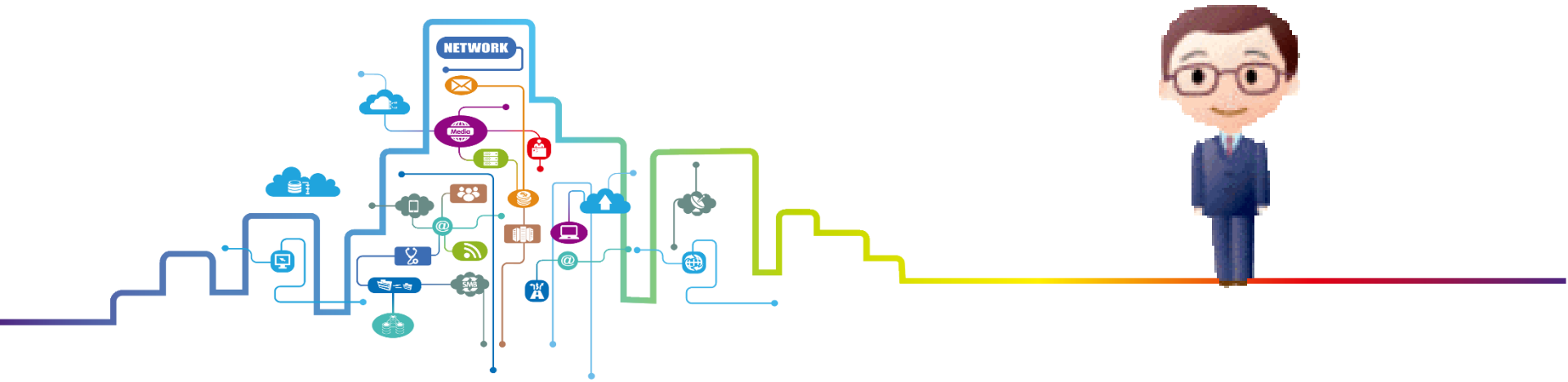
热门话题

1 trytryrtytry

致谢

- 感谢ISAC大专院校资讯服务协会、感谢黄理事长、李校长
- 感谢国立中兴大学
- 感谢逢甲大学、东海大学的热情接待，收益匪浅

致 谢



Email: yjqing@hust.edu.cn