



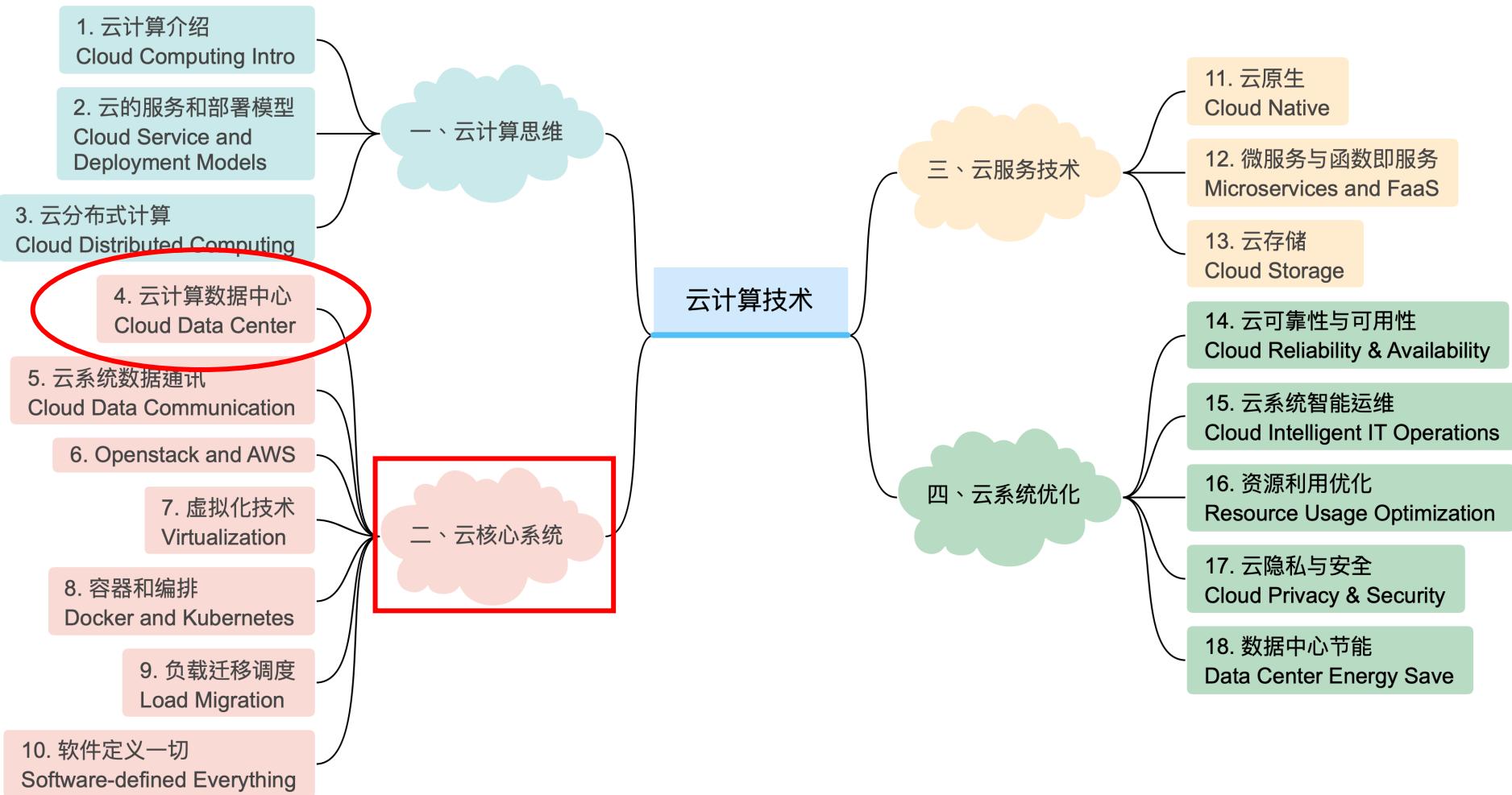
Lecture 04: 云计算数据中心

SSE316: 云计算技术
Cloud Computing Technologies

陈壮彬

软件工程学院

chenzhb36@mail.sysu.edu.cn



Today's topics

- 商用硬件

- 数据中心物理架构

- What's inside the data center?

- 数据中心供电与散热

- 数据中心自动化管理

中国基建

中国最复杂立交桥 – 重庆黄桷湾立交桥



新基建 – 大数据中心



中华人民共和国中央人民政府

www.gov.cn

简 | 繁 | EN | 注册 | 登录



国务院

总理

新闻

政策

互动

服务

数据

国情

国家政务服务平台

首页 > 新闻 > 滚动

新基建，为数字经济注入新动能

2020-03-12 07:39 来源：光明日报

【字体：大 中 小】 打印

分享

今年是我国决胜全面建成小康社会、决战脱贫攻坚之年。目前，中共中央政治局常务委员会研究部署了统筹推进新冠肺炎疫情防控和经济社会发展工作，提出要加快5G网络、数据中心等新型基础设施建设进度。新型基础设施建设究竟是什么，将会带动哪些产业发展，是否能够支撑起高质量发展？

大数据中心

疫情的出现，我国经济的下行压力进一步加大。新型基础设施建设进度。新型基础设施建设究竟是什么，将会带动哪些产业发展，是否能够支撑起高质量发展？

新型基础设施究竟新在哪儿

在人们的印象里，传统的基础设施主要包括铁路、公路、机场、桥梁等，但随着数字时代的到来，基础设施的内涵也在改变。

“在传统基础设施建设方面，整体来看我国已经处于相对完善的阶段。”中泰证券分析师冯胜表示，区别于传统基建，新基建主要立足于科技端，主要包括5G基站建设、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网七大领域。

大数据中心、人

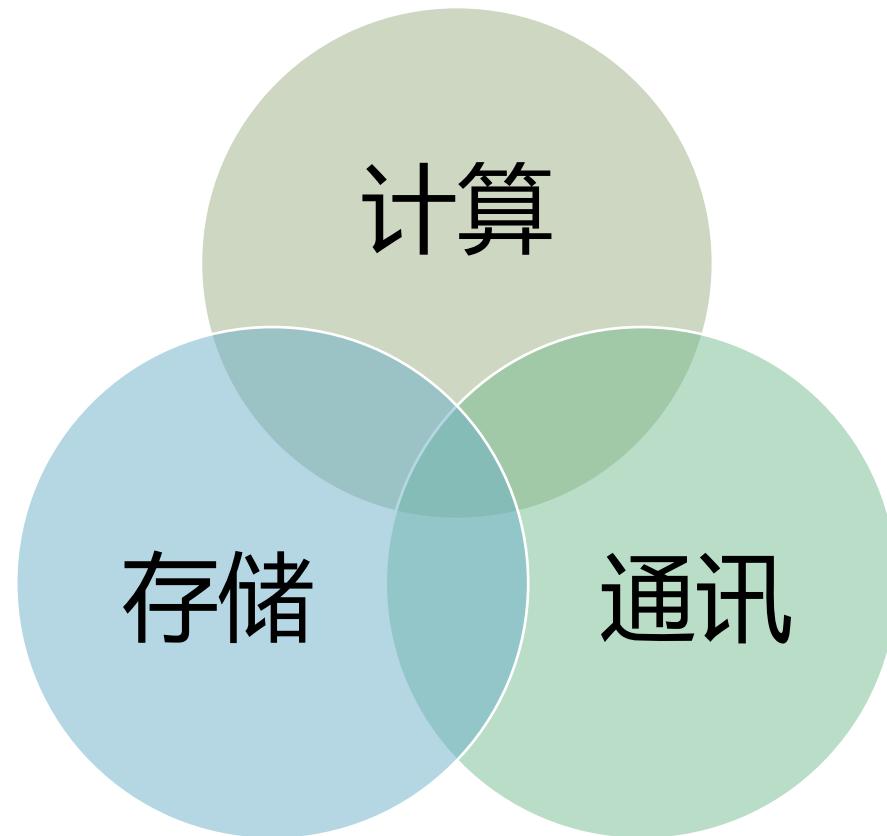
仓库级计算机



仓库级计算机 (WSC) : 支撑云的机器
路易斯·巴罗索, Google 核心基础设施VP

数据中心特点

云数据中心三大“主要功能”概括



Motivation: Google Example

- 25+ billion web pages * 20KB = 500+ TB
- 1 computer reads 30-35MB/sec from disk
 - ~4 months to read the webs
- ~1,000 hard drives to store the webs

**Takes even more to do something useful
with the data!**

**How do we support
scalable, mission-critical
computing services
in a
cost-effective manner?**

**Use many low-cost and
faulty Servers!**

使用商用 (Commodity) 硬件

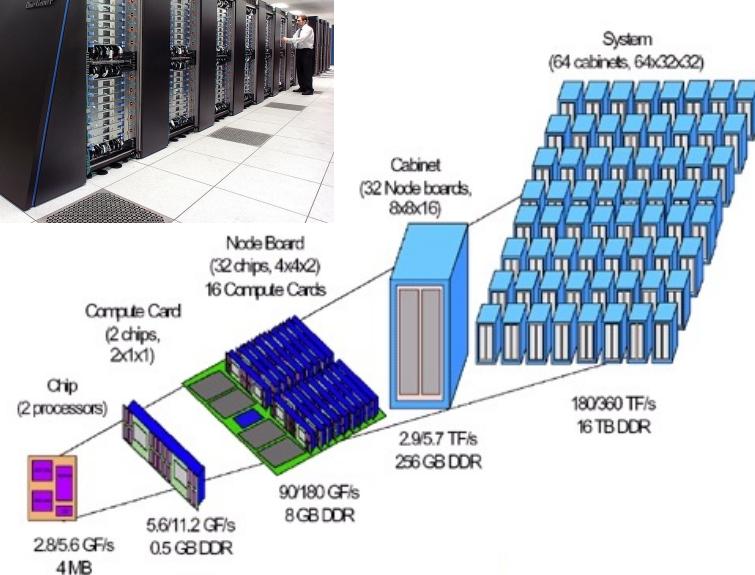
□ 80-90 年代：高性能计算

- 科学计算
- 高可靠，定制化，非常昂贵



□ 现在：消费者硬件

- 大众应用
- 便宜，高效，易于复制
- 但并不非常可靠 (reliable)
- 以软件的方式解决！

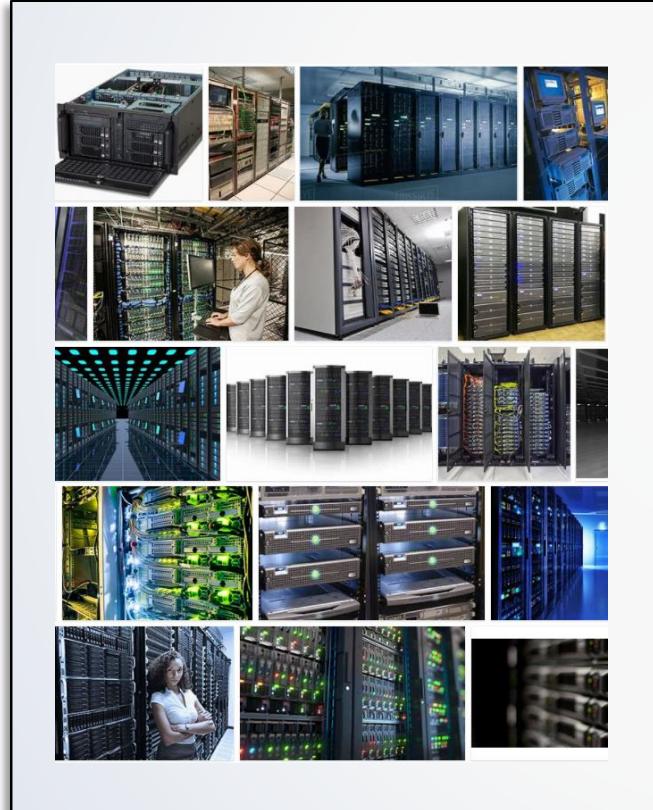


Why commodity machines?

	HP INTEGRITY SUPERDOME-ITANIUM2	HP PROLIANT ML350 G5
Processor	64 sockets, 128 cores (dual-threaded), 1.6 GHz Itanium2, 12 MB last-level cache	1 socket, quad-core, 2.66 GHz X5355 CPU, 8 MB last-level cache
Memory	2,048 GB	24 GB
Disk storage	320,974 GB, 7,056 drives	3,961 GB, 105 drives
TPC-C price/performance	\$2.93/tpmC	\$0.73/tpmC
price/performance (server HW only)	\$1.28/transactions per minute	\$0.10/transactions per minute
Price/performance (server HW only) (no discounts)	\$2.39/transactions per minute	\$0.12/transactions per minute

数据中心特点

IDC 使用商用设备(Commodity hardware)降低成本



价格相对低廉

易于大量获取

可替代性较好

灵活性较高

优势

市面现成的硬件设备 commodity off-the-shelf (COTS) hardware

数据中心物理架构

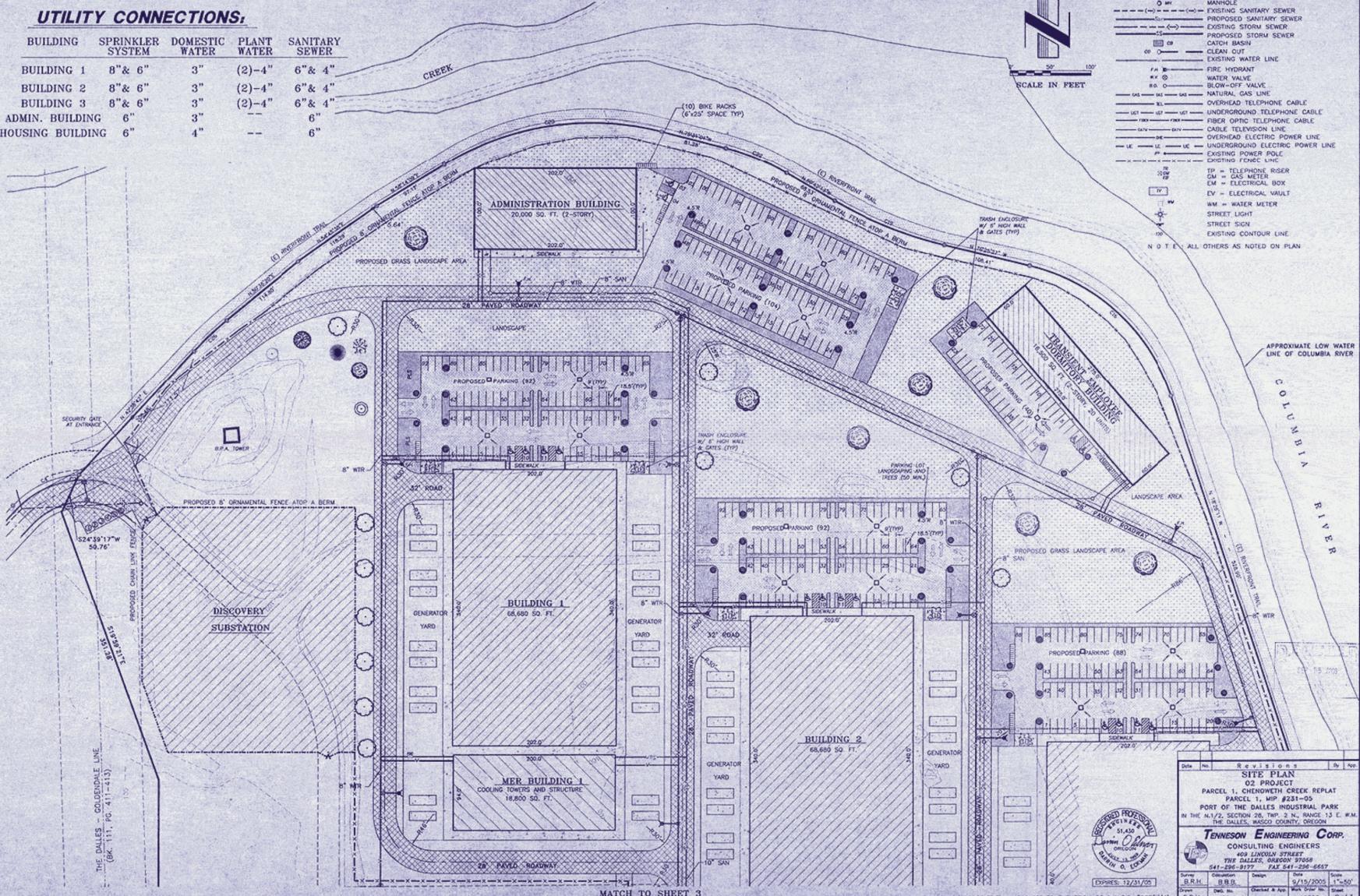


俄勒冈州达拉斯市 The Dalles, Oregon



UTILITY CONNECTIONS:

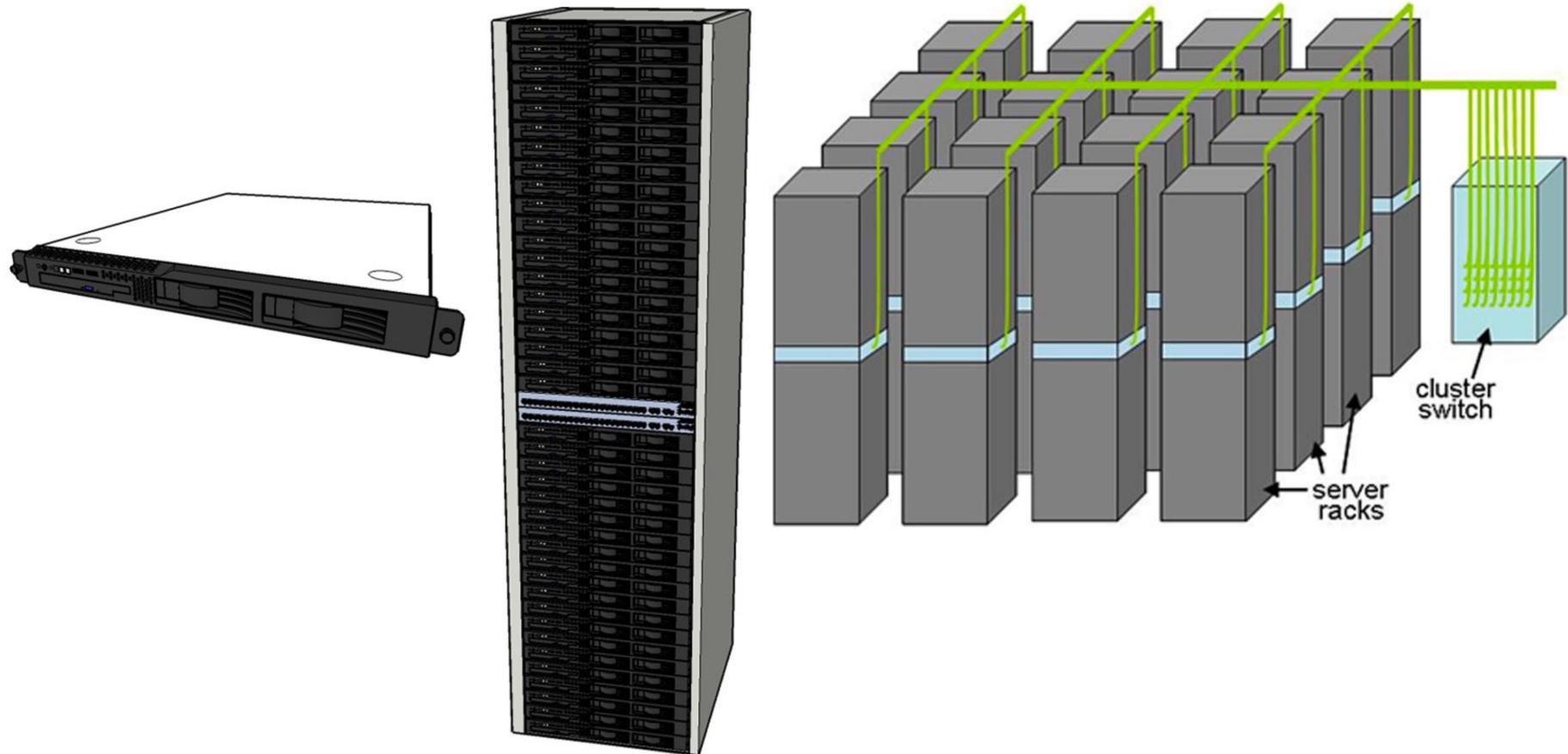
BUILDING	SPRINKLER SYSTEM	DOMESTIC WATER	PLANT WATER	SANITARY SEWER
BUILDING 1	8" & 6"	3"	(2)-4"	6" & 4"
BUILDING 2	8" & 6"	3"	(2)-4"	6" & 4"
BUILDING 3	8" & 6"	3"	(2)-4"	6" & 4"
ADMIN. BUILDING	6"	3"	--	6"
HOUSING BUILDING	6"	4"	--	6"







构建块 Building blocks



服务器高度单位1U， $1U=4.445$ 厘米
一般机架服务器宽19英寸；标准机柜高42U

服务器 Server

- 服务器是向**客户**提供**服务**的计算机
- 一个组织通常需要**许多物理服务器**来提供各种服务
(Web、电子邮件、数据库等)
- 服务器硬件越来越**强大**和**紧凑**

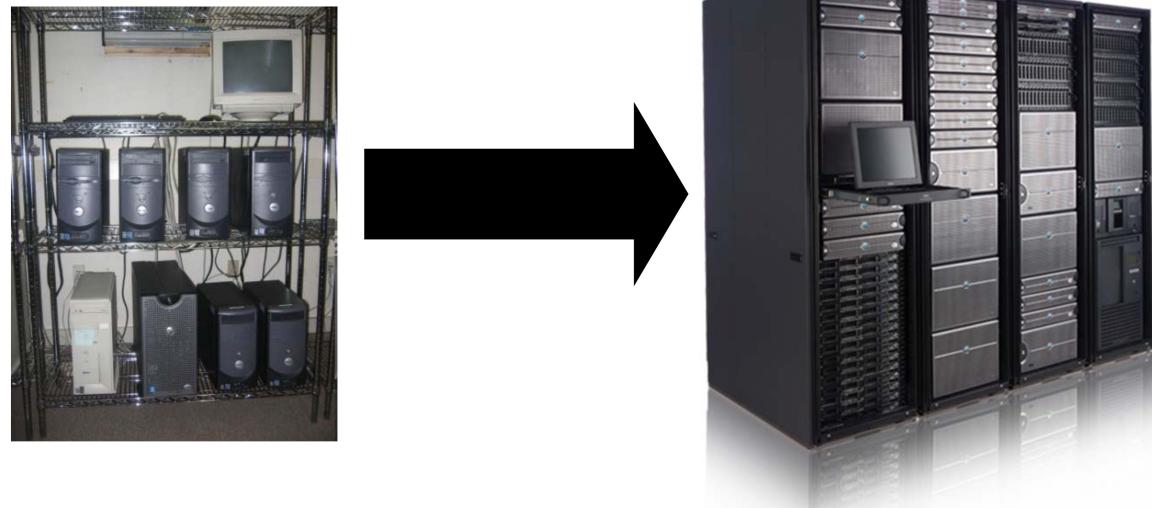


紧凑型服务器 Compact servers

□ 各组织希望节省计算基础设施的占地面积

□ 对于大规模安装，使用紧凑型服务器有助于

- 占地面积 (Floor space)
- 可管理性 (Manageability)
- 可扩展性 (Scalability)
- 电源和冷却 (Power and cooling)



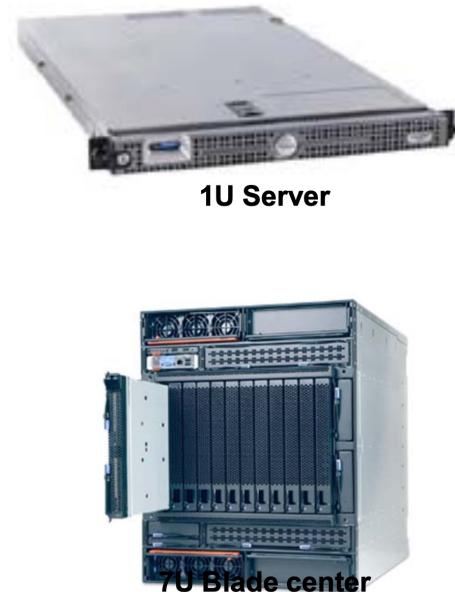
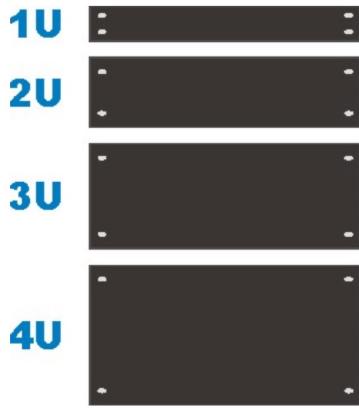
刀片和刀片机箱 Blades and Blade Enclosures

- 刀片服务器是一种模块化设计的**精简型计算机**
- 刀片机箱可容纳多个刀片服务器，并为各个刀片服务器提供**电源、接口和冷却系统**



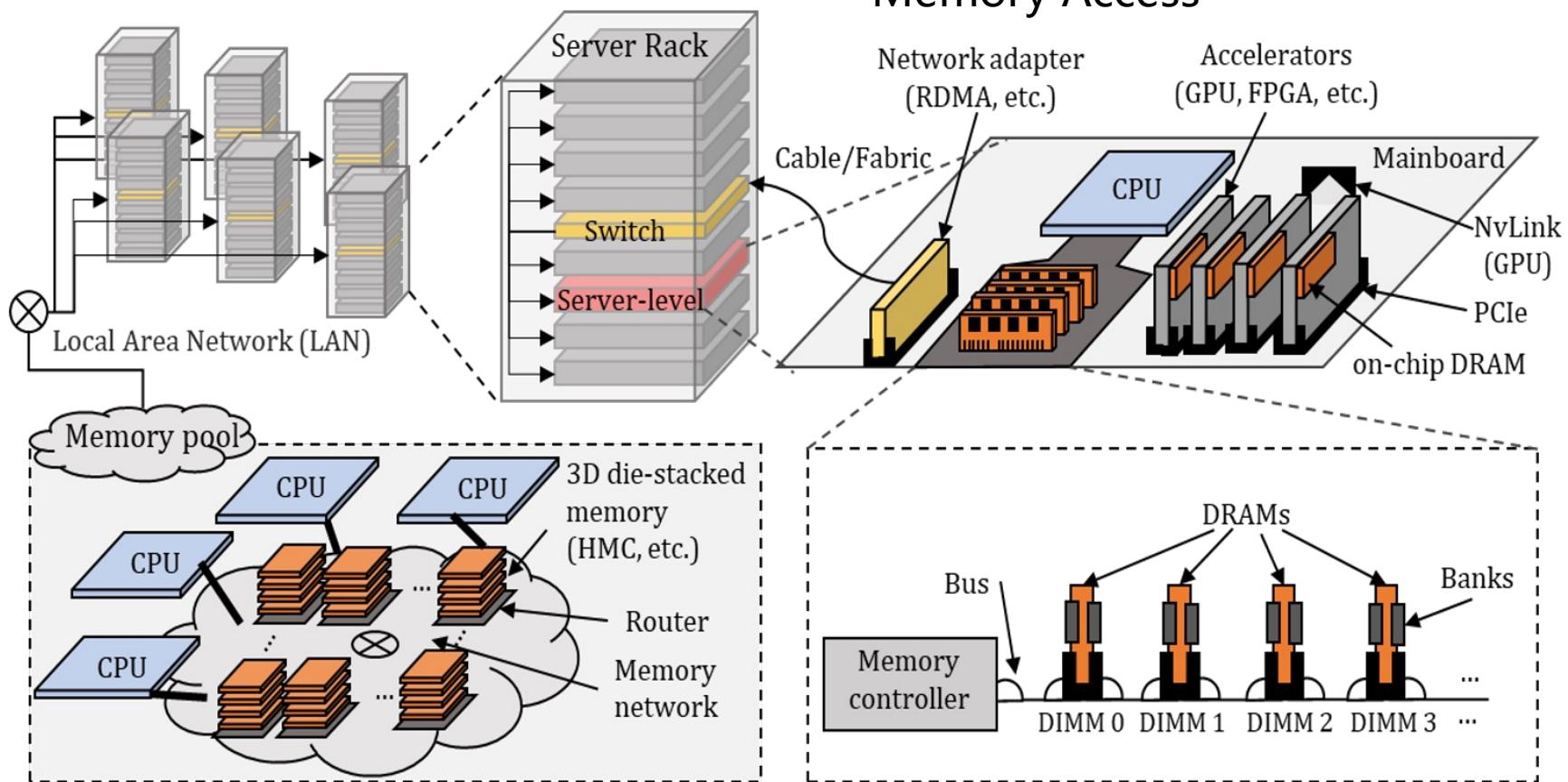
机架 Racks

- 设备（如机架式服务器）通常放置在机架中
- 设备以模块化方式设计，可安装在机架单元中
- 一个标准机架最多可容纳 42 台1U服务器



机架资源池

RDMA: Remote Direct Memory Access



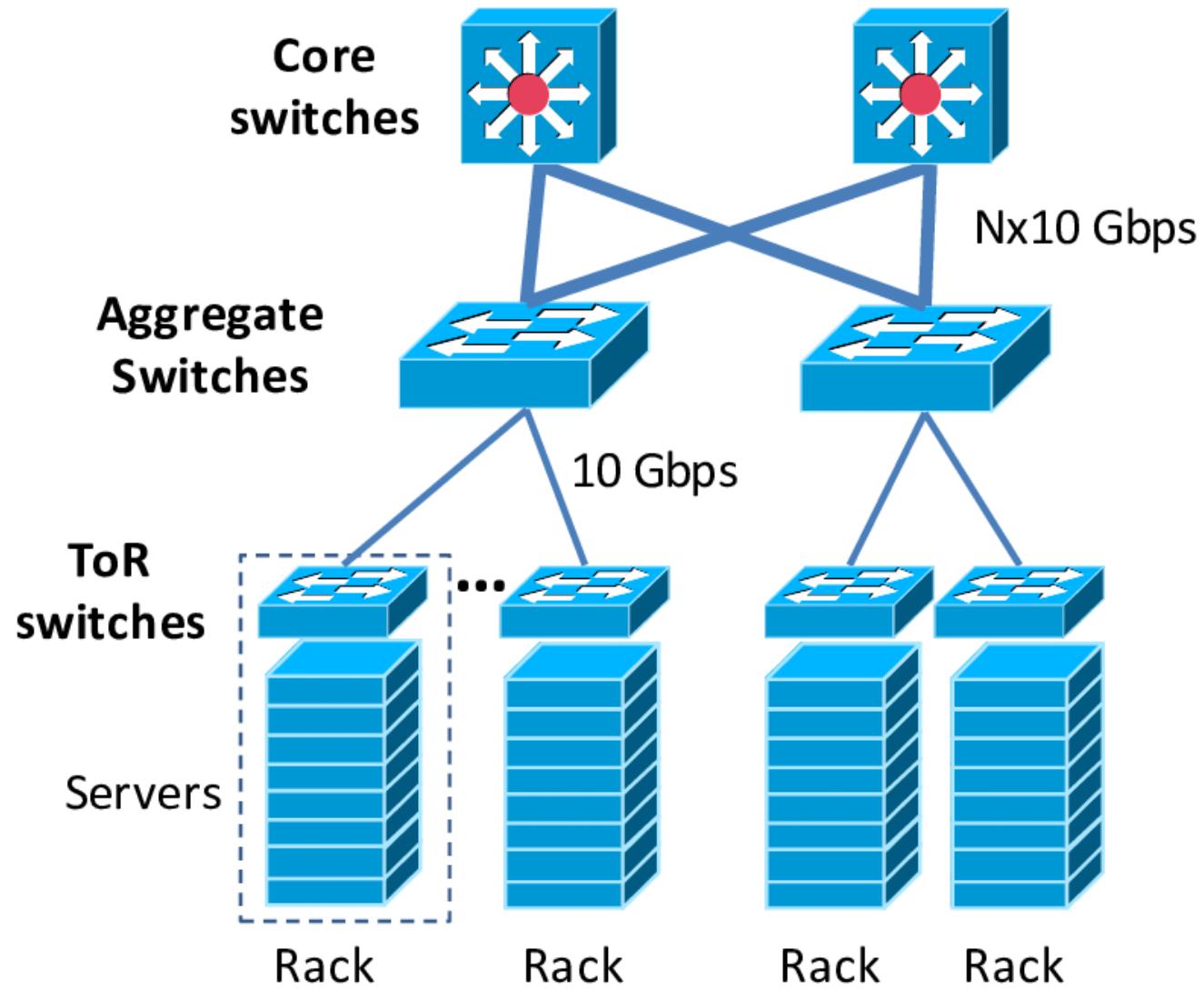
从服务器和机架不同层面管理存算资源
资源聚合成池 (resource pool)

数据中心三层架构

核心层
Core Layer

汇聚层
Aggregation Layer

接入层
Access Layer



The Joys of Real Hardware

Typical first year for a new cluster:

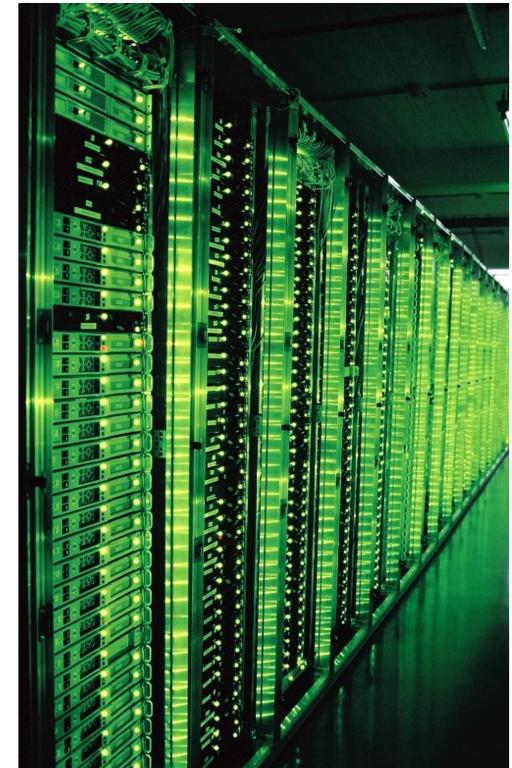
- ~0.5 **overheating** (power down most machines in <5 mins, ~1-2 days to recover)
 - ~1 **PDU failure** (~500-1000 machines suddenly disappear, ~6 hours to come back)
 - ~1 **rack-move** (plenty of warning, ~500-1000 machines powered down, ~6 hours)
 - ~1 **network rewiring** (rolling ~5% of machines down over 2-day span)
 - ~20 **rack failures** (40-80 machines instantly disappear, 1-6 hours to get back)
 - ~5 **racks go wonky** (40-80 machines see 50% packetloss)
 - ~8 **network maintenances** (4 might cause ~30-minute random connectivity losses)
 - ~12 **router reloads** (takes out DNS and external vips for a couple minutes)
 - ~3 **router failures** (have to immediately pull traffic for an hour)
 - ~dozens of minor **30-second blips for dns**
 - ~1000 **individual machine failures**
 - ~thousands of **hard drive failures**
- slow disks, bad memory, misconfigured machines, flaky machines, etc.**



What's inside the Data Center?

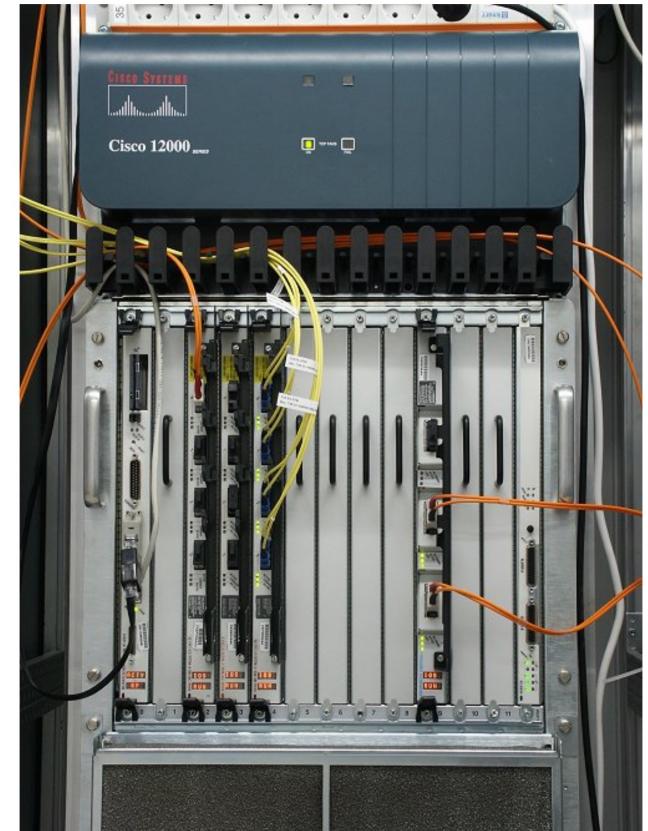
What's in a data center?

- Hundreds or thousands of racks



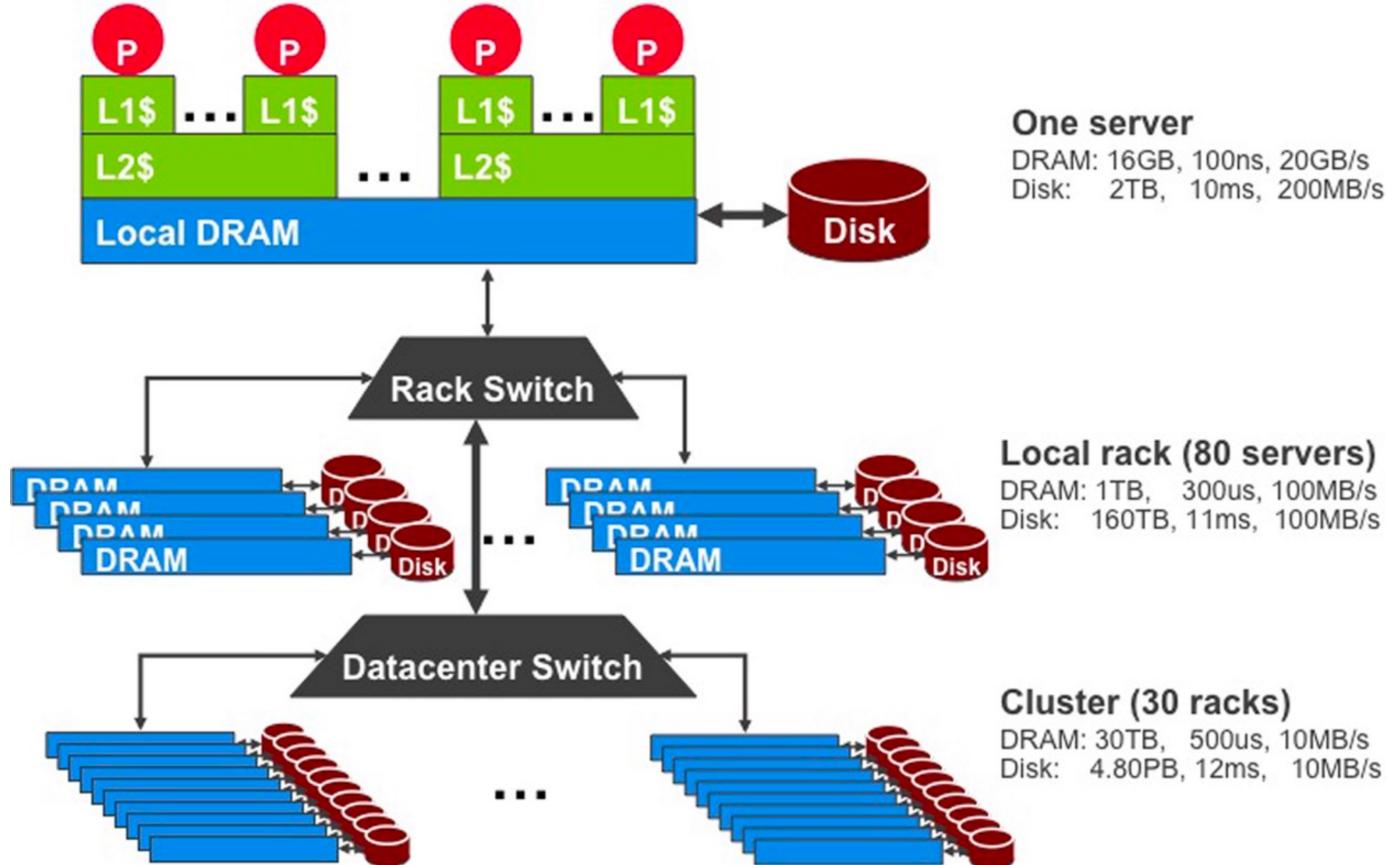
What's in a data center?

- Massive networking



What's in a data center?

存储层次结构 Storage Hierarchy

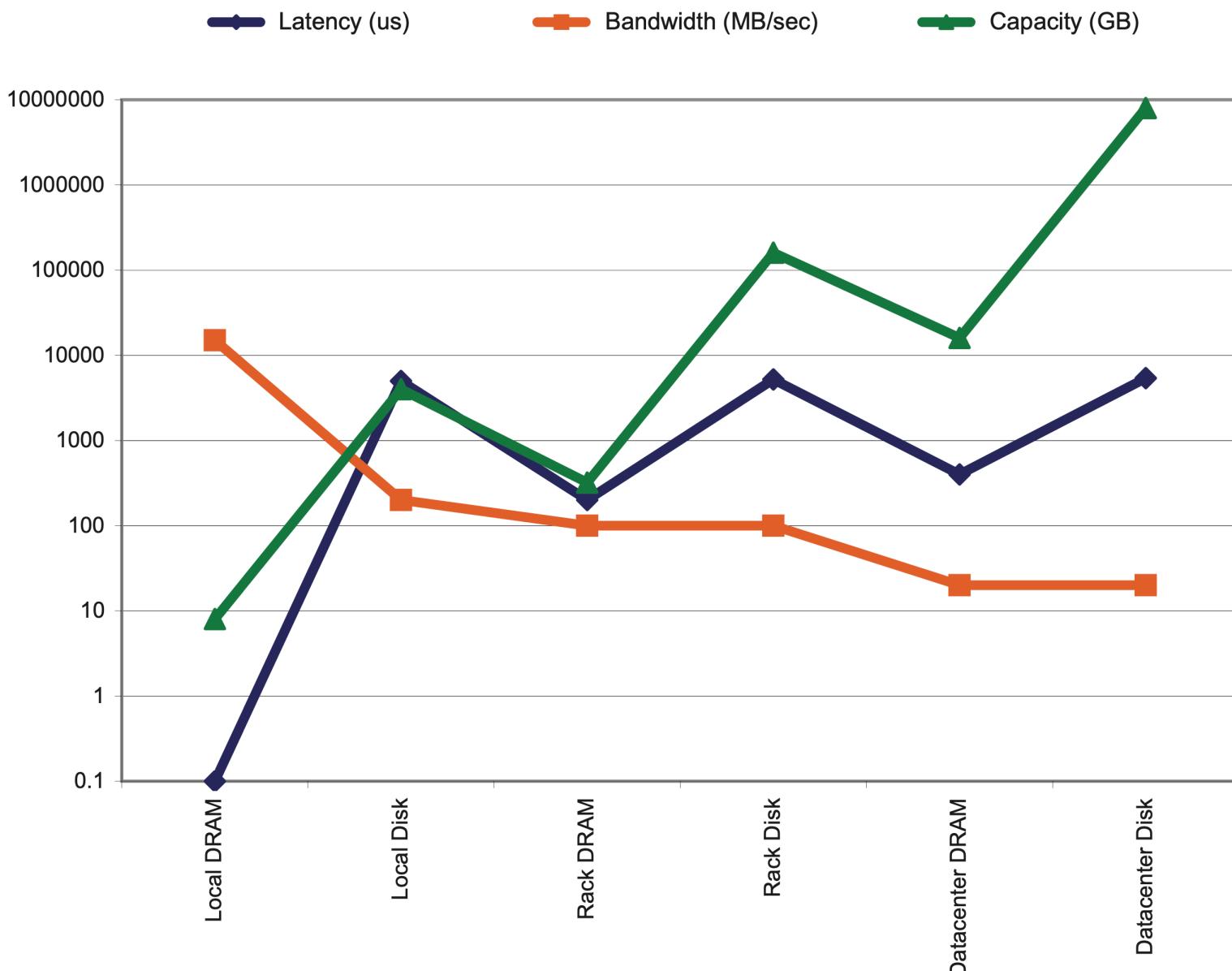


What is an industrial “Commodity Machine”?

2009: 8 cores, 16GB RAM, 4x1TB Disks

2012: 16+ cores, 48-96GB RAM, 12x(2~3)TB Disks

存储层次结构



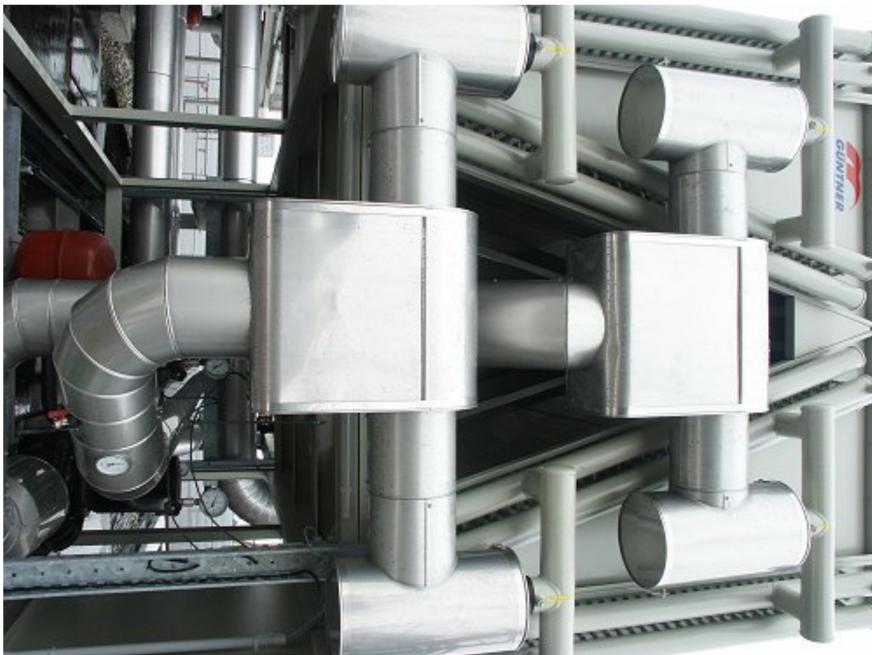
What's in a data center?

- Emergency power supplies



What's in a data center?

- Massive cooling

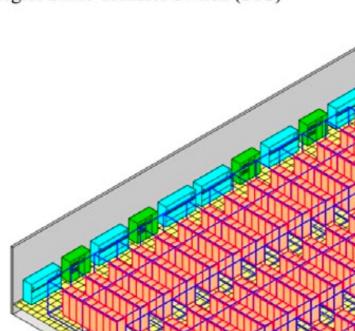


数据中心剖析

电力分配单元

Power Distribution Unit (PDU)

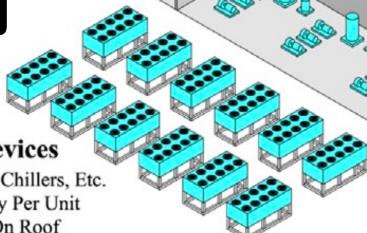
- Typical Capacities Up To 225 kVA Per Unit
- Redundancy Through Dual PDU's With Integral Static Transfer Switch (STS)



Colocation Suites

- Modular Configuration For Flexible Suite Sq.Ft. Areas.
- Suites Consist Of Multiple Cabinets With Secured Partitions (Cages, Walls, Etc.)

机架托管套间



Heat Rejection Devices

- Drycoolers, Air Cooled Chillers, Etc.
- Up To 400 Ton Capacity Per Unit
- Mounted At Grade Or On Roof
- N+1 Design

热量排放设备

计算机空气处理单元

Computer Air Handling Unit (CRAC)

- Up To 30 Ton Sensible Capacity Per Unit
- Air Discharge Can Be Upflow Or Downflow Configuration
- Downflow Configuration Used With Raised Floor To Create A Pressurized Supply Air Plenum With Floor Supply Diffusers

Individual Colocation Computer Cabinets

- Typ. Cabinet Footprint (28"W x 36"D x 84"H)
- Typical Capacities Of 1750 To 3750 Watts Per Cabinet

个体机柜

应急柴油发电机

Emergency Diesel Generators

- Total Generator Capacity = Total Electrical Load To Building
- Multiple Generators Can Be Electrically Combined With Paralleling Gear
- Can Be Located Indoors Or Outdoors At Grade Or On Roof.
- Outdoor Applications Require Sound Attenuating Enclosures

燃油储存罐

Fuel Oil Storage Tanks

- Tank Capacity Dependant On Length Of Generator Operation
- Can Be Located Underground Or At Grade Or Indoors

不间断电源系统

UPS System

- Uninterruptible Power Supply Modules
- Up To 1000 kVA Per Module
- Cabinets And Battery Strings Or Rotary Flywheels
- Multiple Redundancy Configurations Can Be Designed

Electrical Primary Switchgear

- Includes Incoming Service And Distribution
- Direct Distribution To Mechanical Equipment
- Distribution To Secondary Electrical Equipment Via UPS

电气主开关设备

泵房

Pump Room

- Used To Pump Condenser/Chilled Water Between Drycoolers And CRAC Units
- Additional Equipment Includes Expansion Tank, Glycol Feed System
- N+1 Design (Standby Pump)

扩容 Scaling up

- What if even a data center is not big enough?
 - Build additional datacenters



全球部署 Global distribution



□ 数据中心通常分布在全球

- 例如上图谷歌数据中心的位置

□ 为什么？

- 需要在物理上更接近用户
- 更便宜的资源
- 故障保护

数据中心特点

仓库级计算机等于超级计算机吗？



HPC vs. IDC

高性能计算数据中心 (HPC) : 特殊任务、以算为主



TIANHE 2
17.6 MW



TITAN
8.2 MW



Sequoia
7.8 MW



The K
6 MW



MIRA
3.6 MW

互联网 / 云数据中心 (IDC) : 面向大众、综合应用



百度IDC



阿里IDC



腾讯IDC



华为IDC

数据中心供电与散热

数据中心特点

数据中心“三大件”



ICT设备机房

制冷设施

cooling
towers

power substation

供电设施

数据中心的两级视角

计算层面

支撑层面

两级视角：ICT 和 DCI

Part 1: Information and Communication Technology

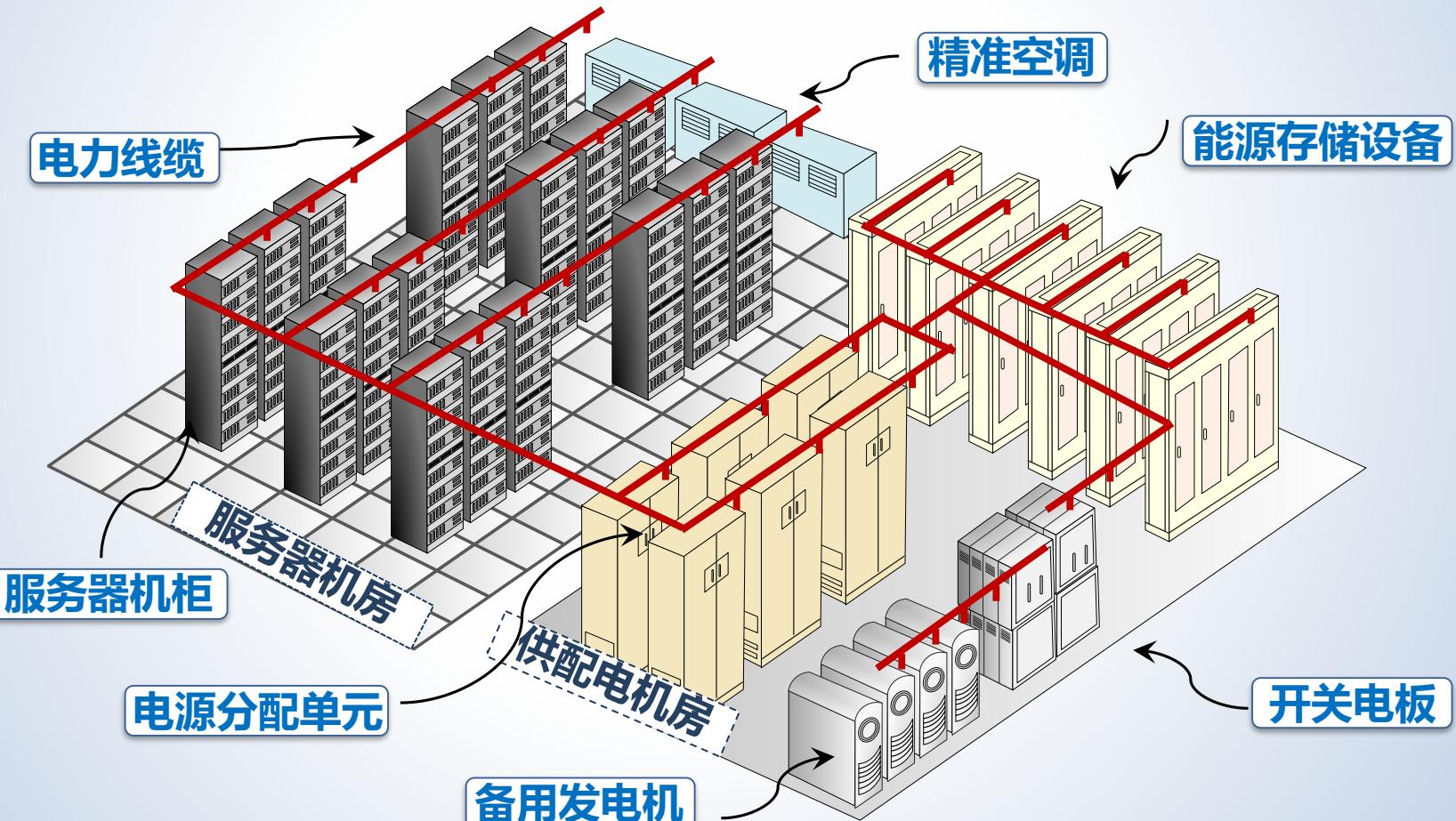
请求层面	服务器接受大量用户请求
线程层面	处理器并行处理多条线程
指令层面	流水线同时执行多条指令
数据层面	并行的数据访问和处理
硬件层面	并行执行的逻辑门电路

Part 2: Data Center Infrastructure

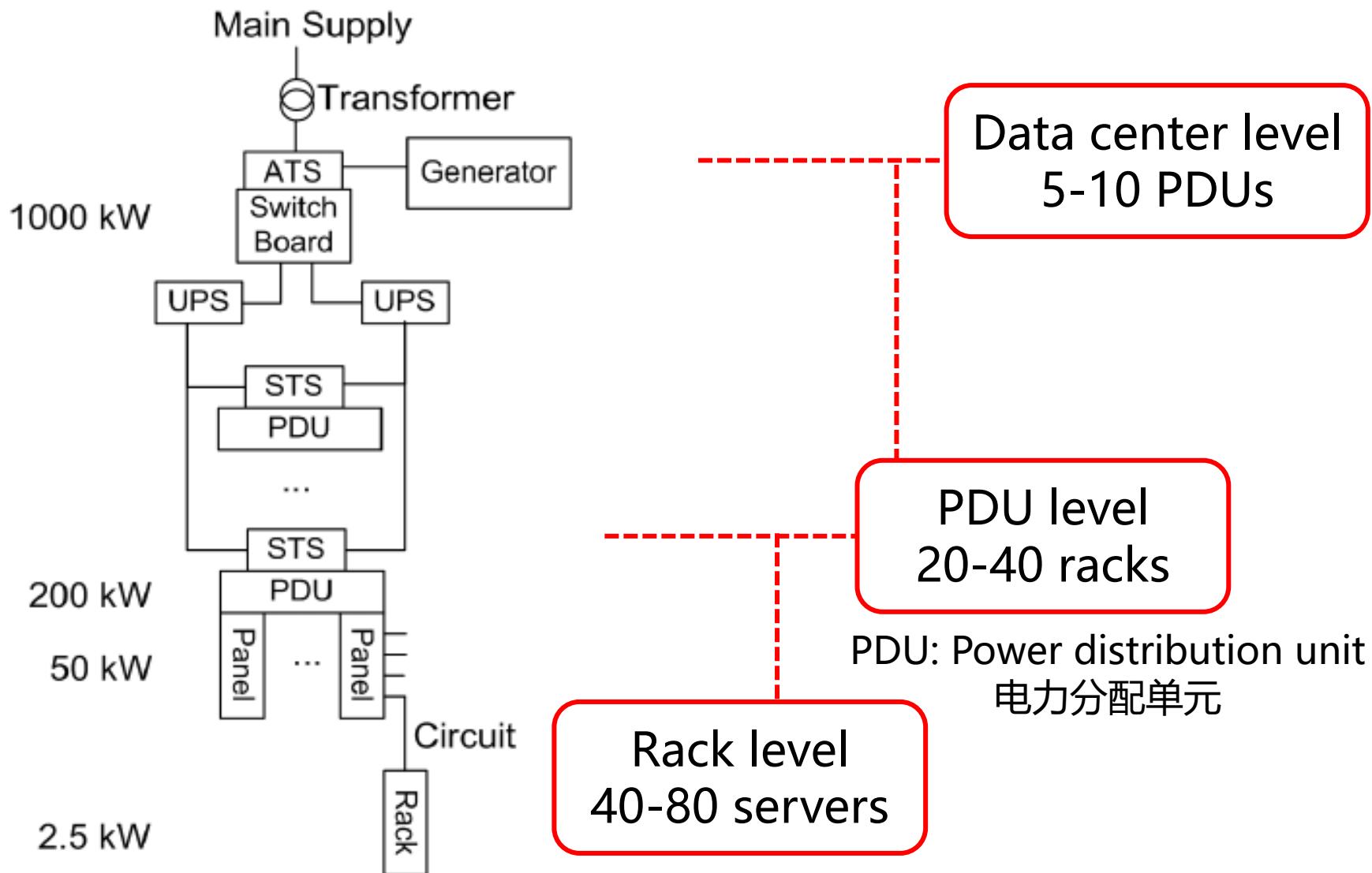
供电层面	为各类设备提供充足的电力
散热层面	满足各类设备对温度的需求
其它层面	消防、安防、湿度、照明等

数据中心供电

数据中心各层供电设施



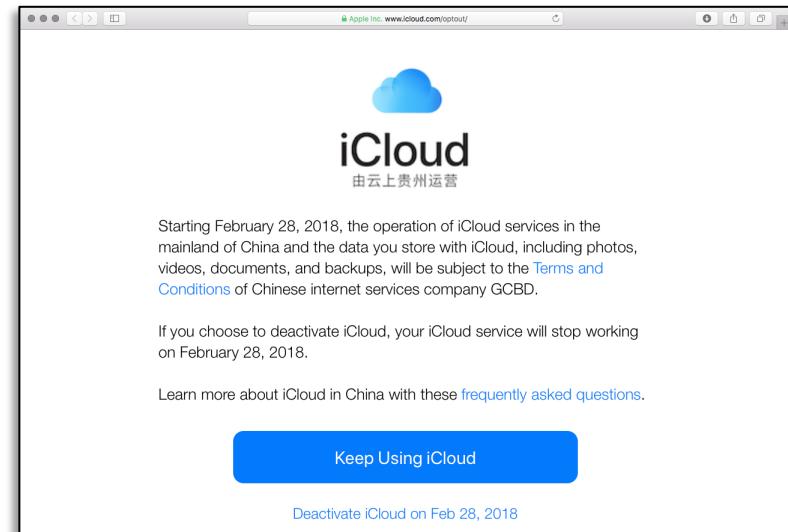
数据中心供电



数据中心供电

口数据中心非常耗电

- 将数据中心建造在廉价电力附近
- 大多数能量都被转换成热量
- **散热是个很重要的问题！**



Company	Servers	Electricity	Cost
eBay	16K	$\sim 0.6 \times 10^5$ MWh	$\sim \$3.7M/yr$
Akamai	40K	$\sim 1.7 \times 10^5$ MWh	$\sim \$10M/yr$
Rackspace	50K	$\sim 2 \times 10^5$ MWh	$\sim \$12M/yr$
Microsoft	>200K	$> 6 \times 10^5$ MWh	$> \$36M/yr$
Google	>500K	$> 6.3 \times 10^5$ MWh	$> \$38M/yr$

USA (2006)



云计算数据中心的耗能越来越大

解决云计算数据中心的高能耗问题已经成为一个环境问题，构建绿色节能的云计算数据中心也是一个重要的研究热点。

google.com/datacenters

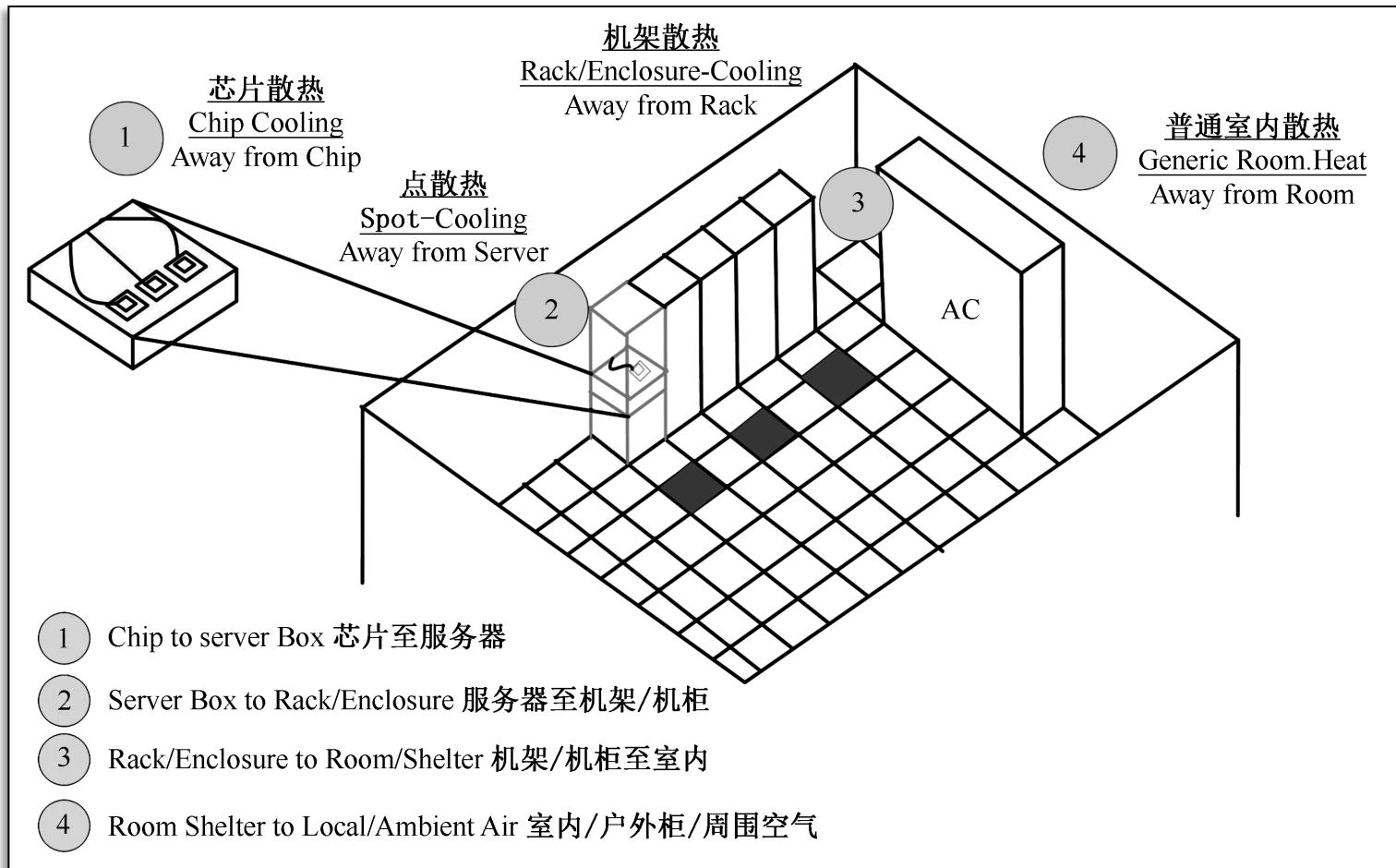
Google公司云数据中心



空调系统节能技术

口在数据中心运行过程中，不同设备时刻产生着热量：

- 服务器节点、网络设备、办公环境等





云计算数据中心空调系统的核心理念

注重IT设备的温湿度要求，高效解决区域化的制冷

是机架级别甚至是IT设备级别的制冷解决方案，而非着眼机房环境温湿度控制。

空调系统节能技术

1. 高温回风空调系统

根据不同出水温度下的制冷和能耗，对应的出水温度（即空调回风温度）提高1°C，空调系统约节能3%。

2. 低能耗加湿系统

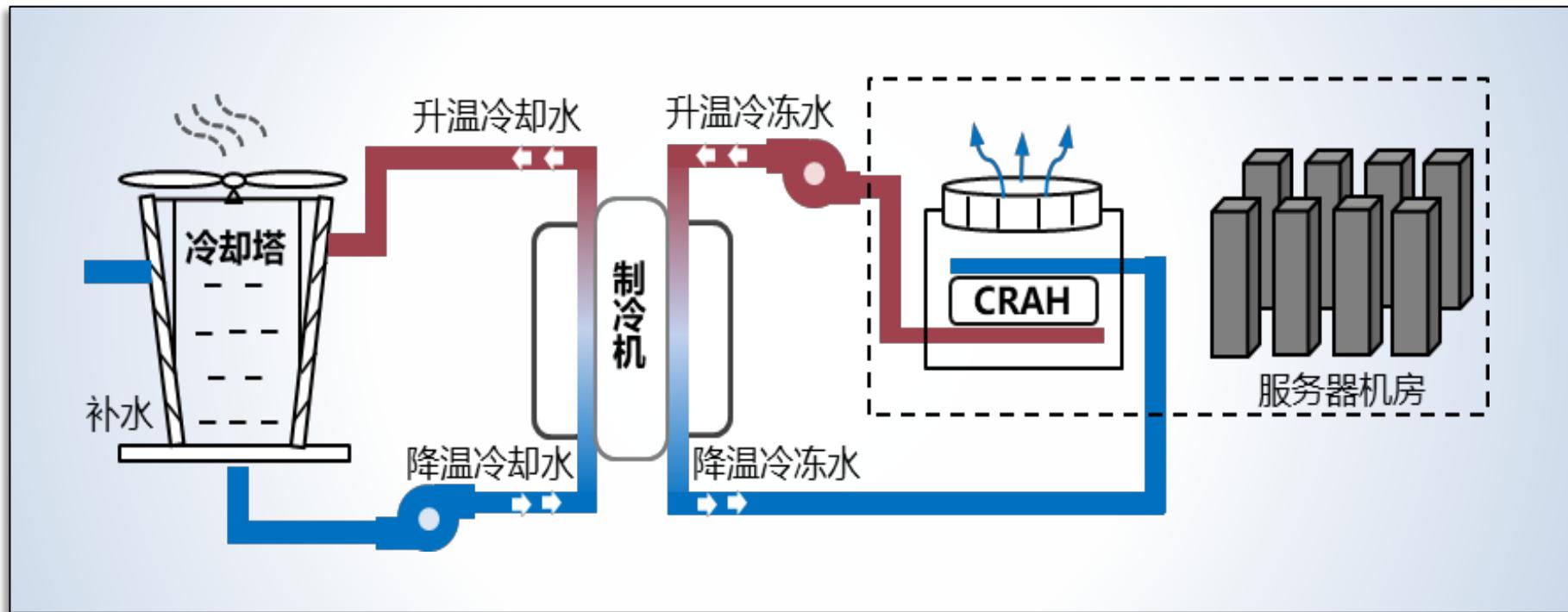
将纯净的水直接喷洒在多孔介质或者空气中，形成颗粒极小的水雾，由送风气流送出。

3. 自然冷空调系统

使用室外自然冷风直接带走机房的IT设备的散热，减少了机械制冷系统中最大的压缩耗能环节，压缩机制冷系统的EER由2~3.5提高到10~15，节能空间巨大。

数据中心散热

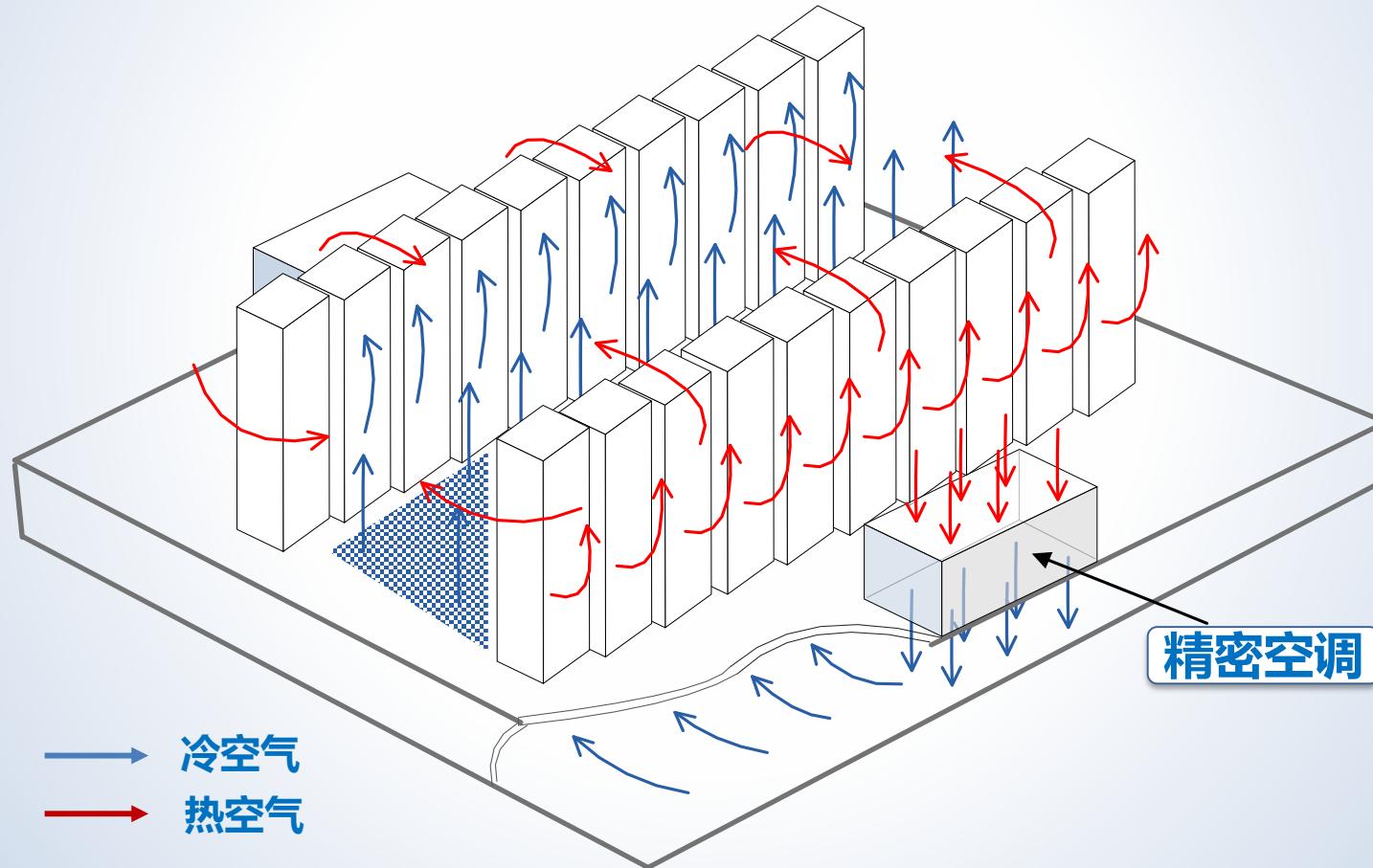
数据中心水冷系统机制介绍



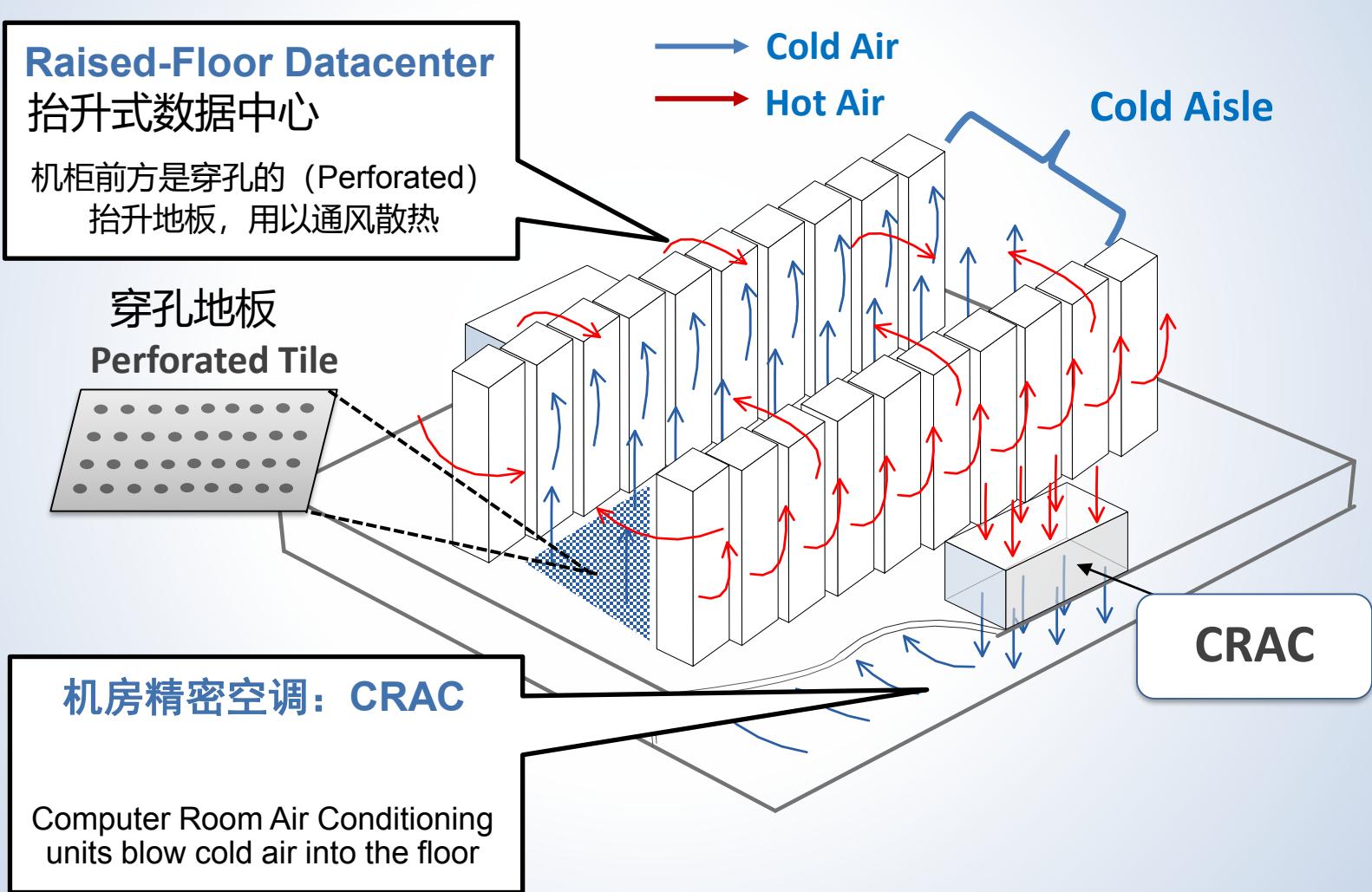
主要有两条水循环：与机房 CRAH (Computer Room Air Handling) 相关的冷冻水循环，以及与冷却塔相关的冷却水循环。

数据中心散热

数据中心机房空调制冷



数据中心散热



抬升式地板设计



抬升式地板设计



机房用电效率评估

用电效能

邮箱登录 | 移动版网站 | 工信微报 | RSS订阅

中华人民共和国工业和信息化部
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China

看新闻 找文件 查办事 提意见 查数据 要投诉

统一搜索

工业和信息化部 新闻动态 信息公开 政务服务 公众参与 工信数据 专题专栏

加强供配电系统等面向的绿色化设计指导

发文机关：工业和信息化部 国家机关事务管理局 国家能源局

标 题：工业和信息化部 国家机关事务管理局 国家能源局关于加强绿色数据中心建设的指导意见

发文字号：工信部联节〔2019〕24号

2022年新建数据中心PUE值降到1.4以下

三部门关于加强绿色数据中心建设的指导意见

工业和信息化部 国家机关事务管理局 国家能源局关于加强绿色数据中心建设的指导意见

工信部联节〔2019〕24号

各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设兵团工业和信息化、机关事务、能源主管部门，各省、自治区、直辖市通信管理局，有关行业组织，有关单位：

用电效能

数据中心能源效率衡量标准：用电效能 PUE



绿网联盟

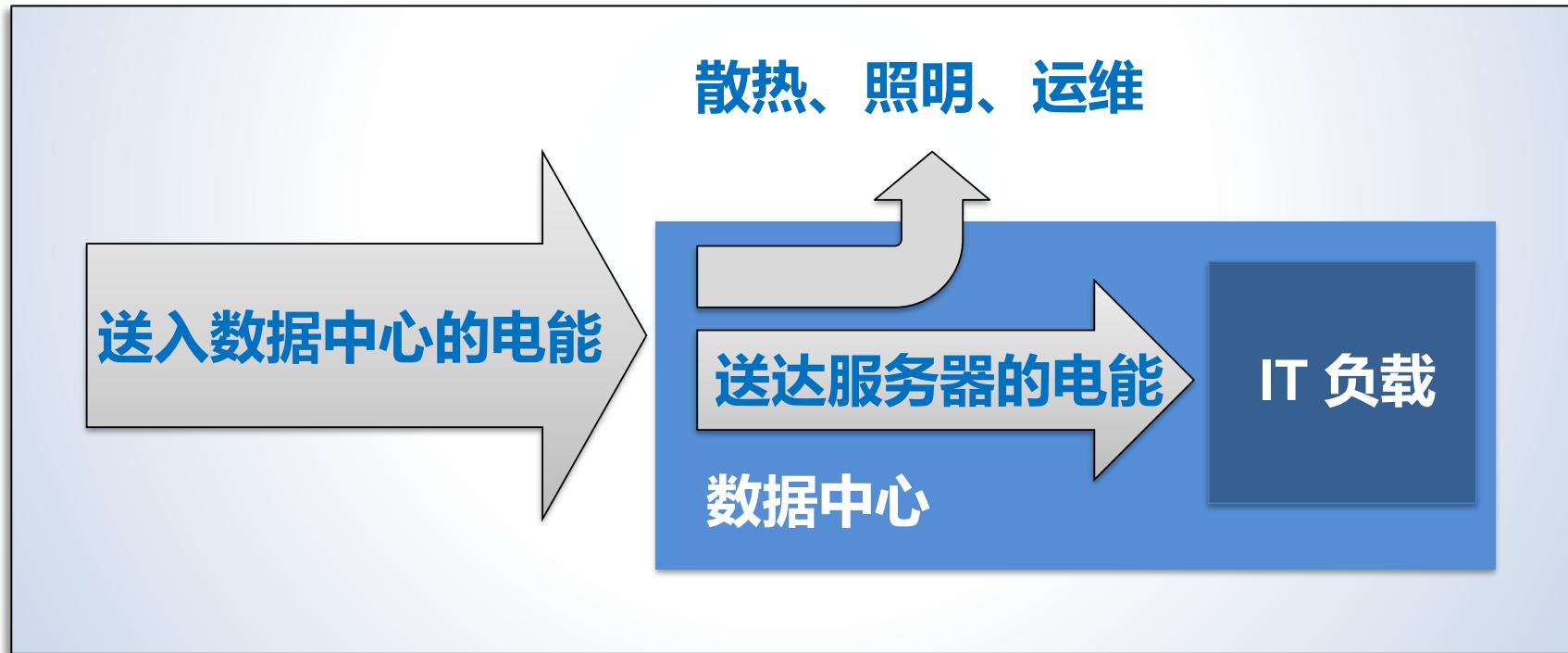
Power Usage Effectiveness (PUE)

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{IT Equipment Power}}$$

基准是2，比值越接近1，表示数据中心的能源利用率越高

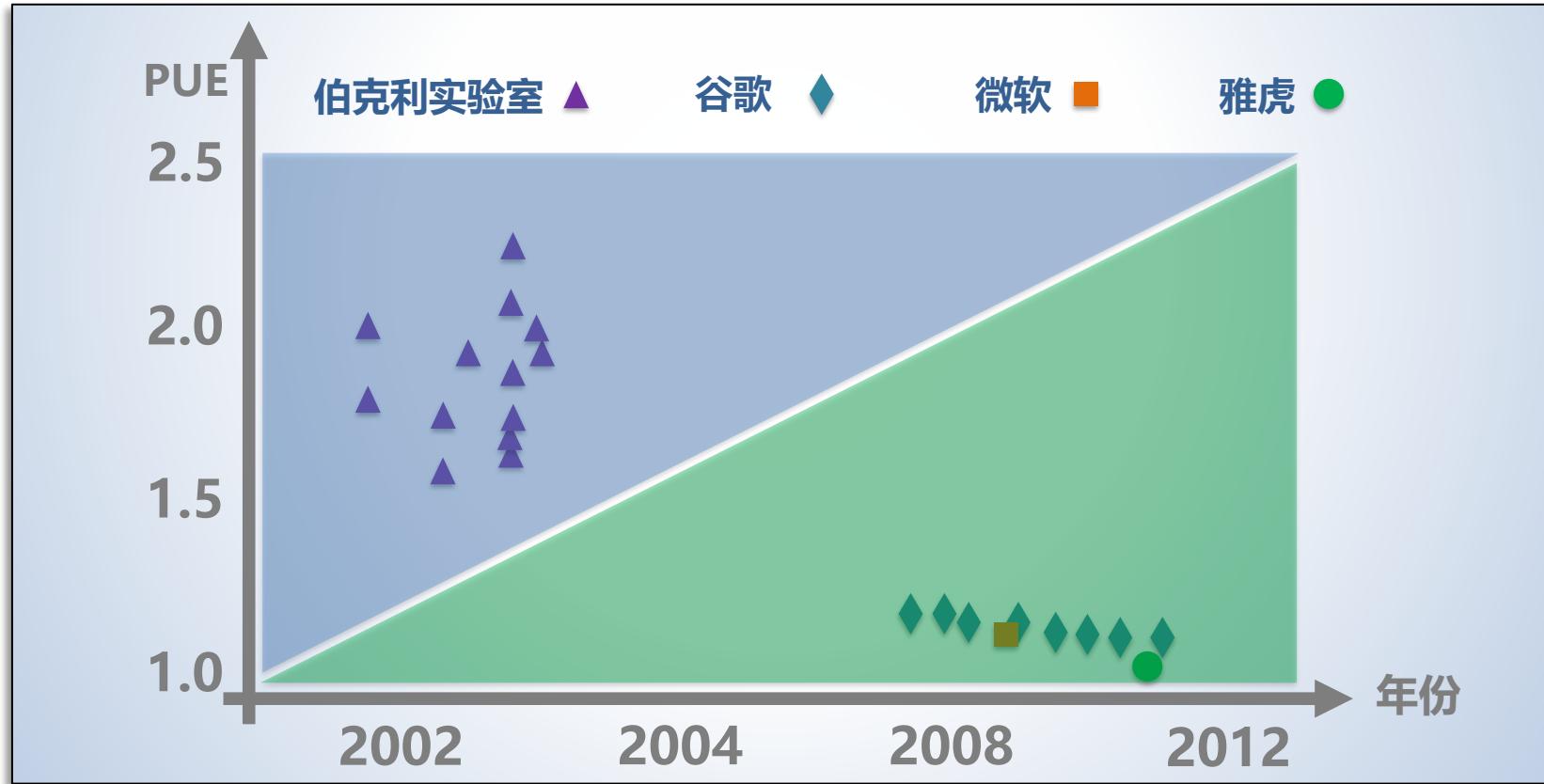
用电效能

数据中心能源效率衡量标准：用电效能 PUE



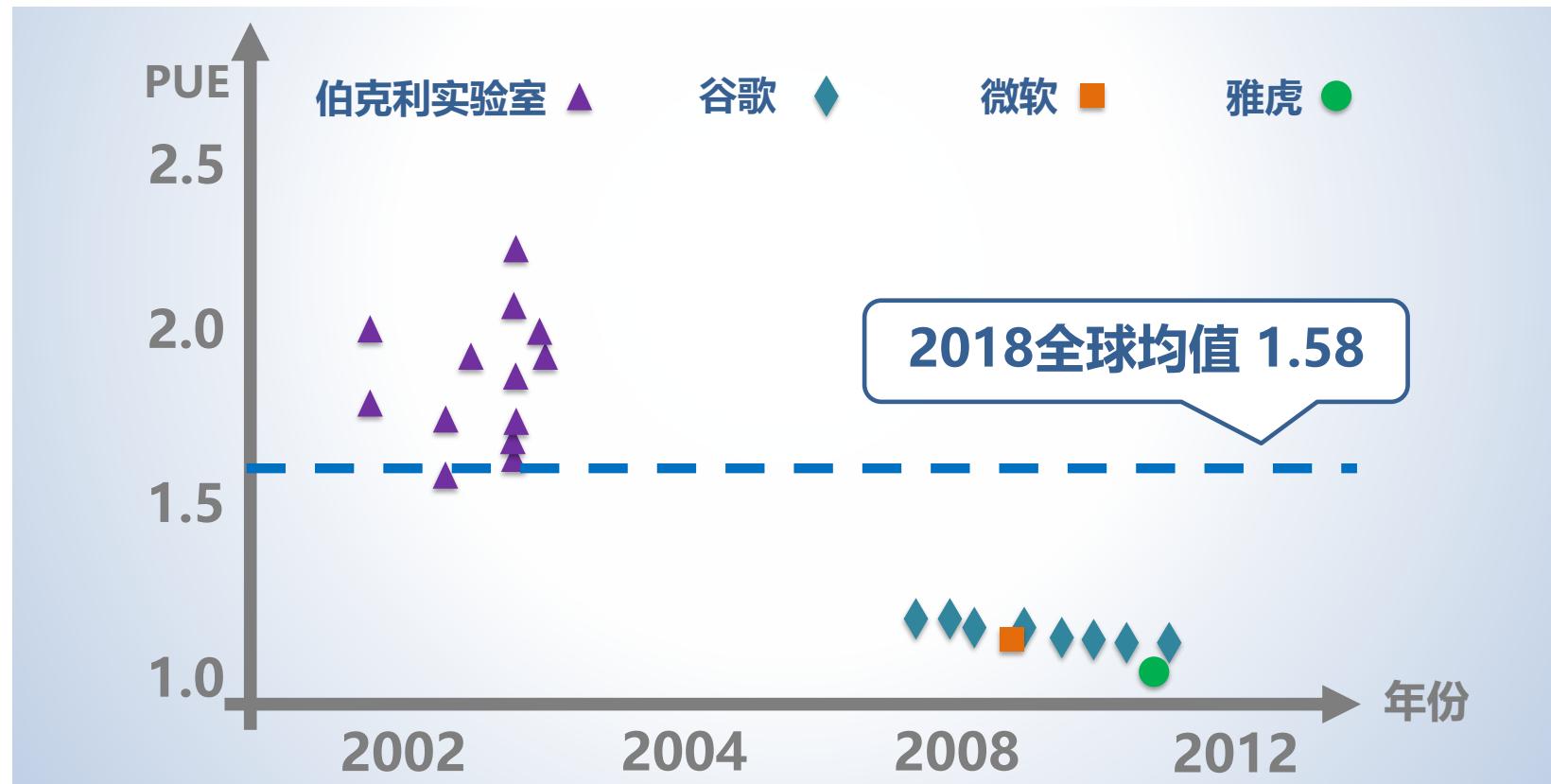
用电效能

PUE已为数据中心业界广泛采用



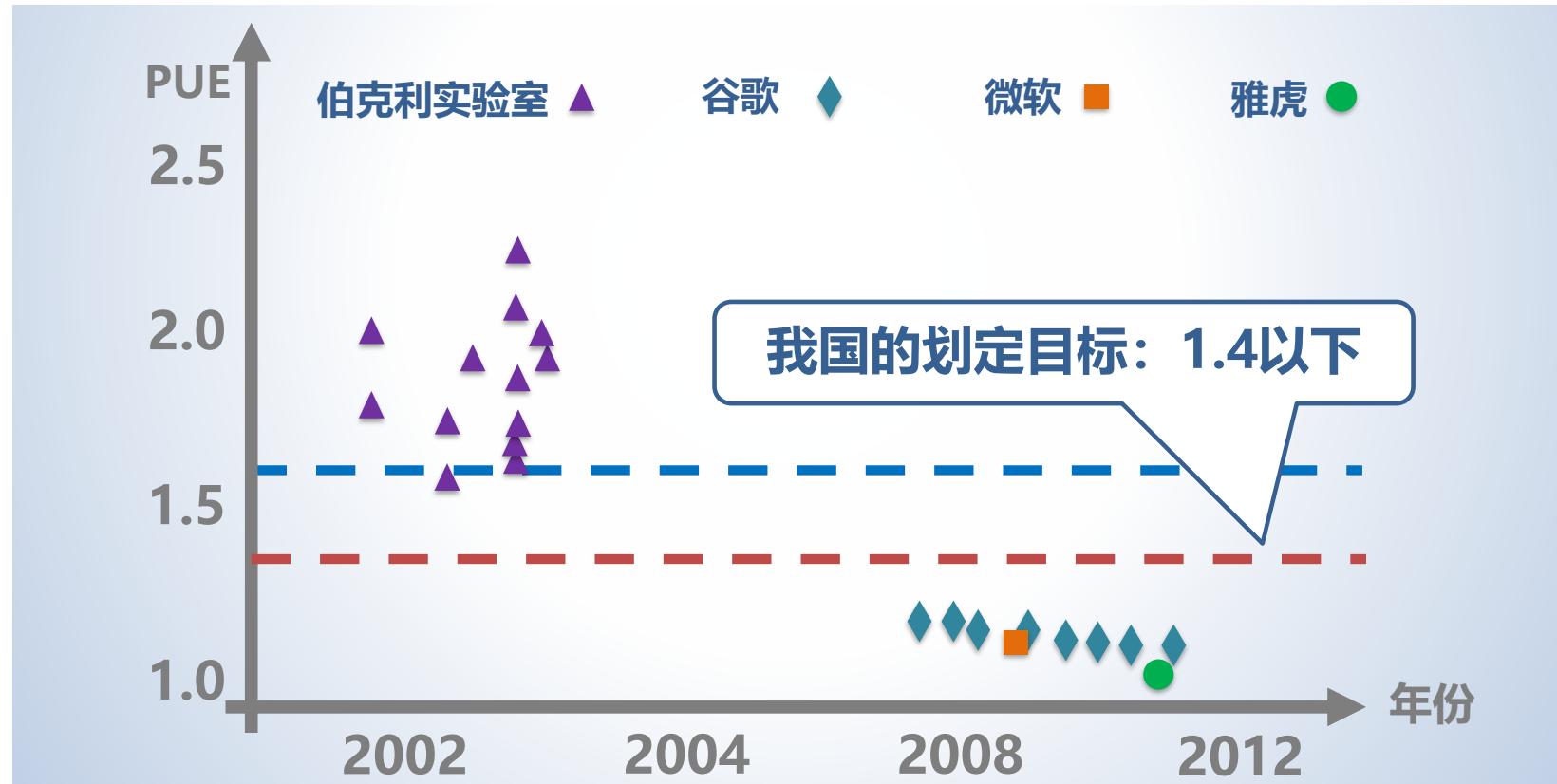
用电效能

PUE已为数据中心业界广泛采用



用电效能

PUE已为数据中心业界广泛采用



高效设计案例 – Project Natick



海底数据中心能耗
可以降低约70%！



高效设计案例

被美国能源部选作示范性案例

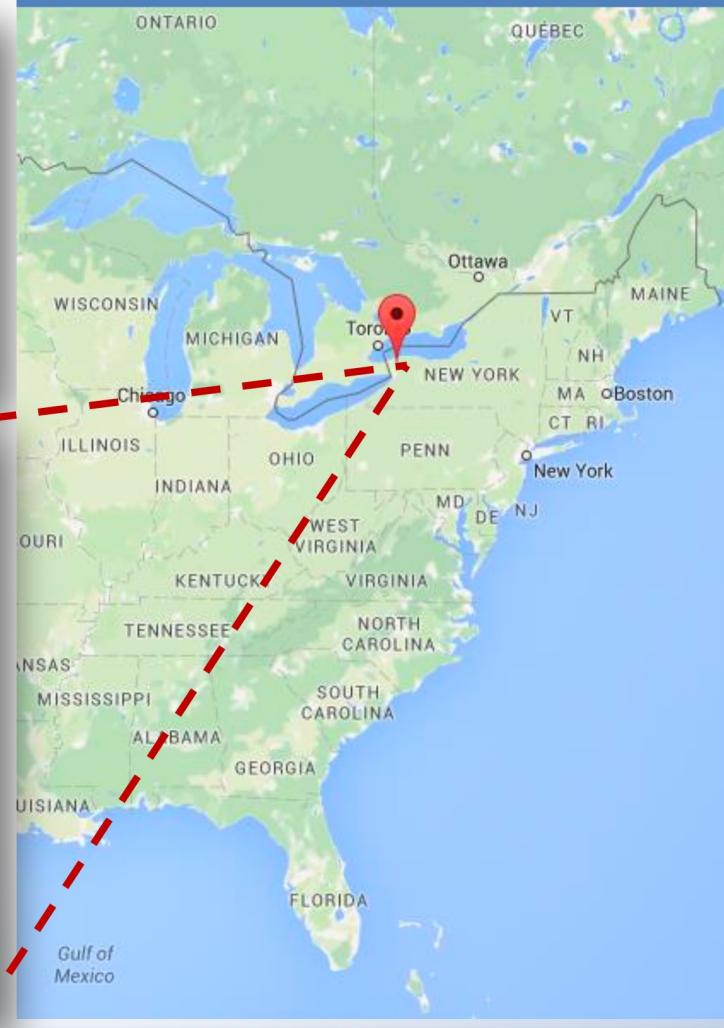
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy INDUSTRIAL TECHNOLOGIES PROGRAM

Yahoo! Compute Coop Next Generation Passive Cooling Design for Data Centers

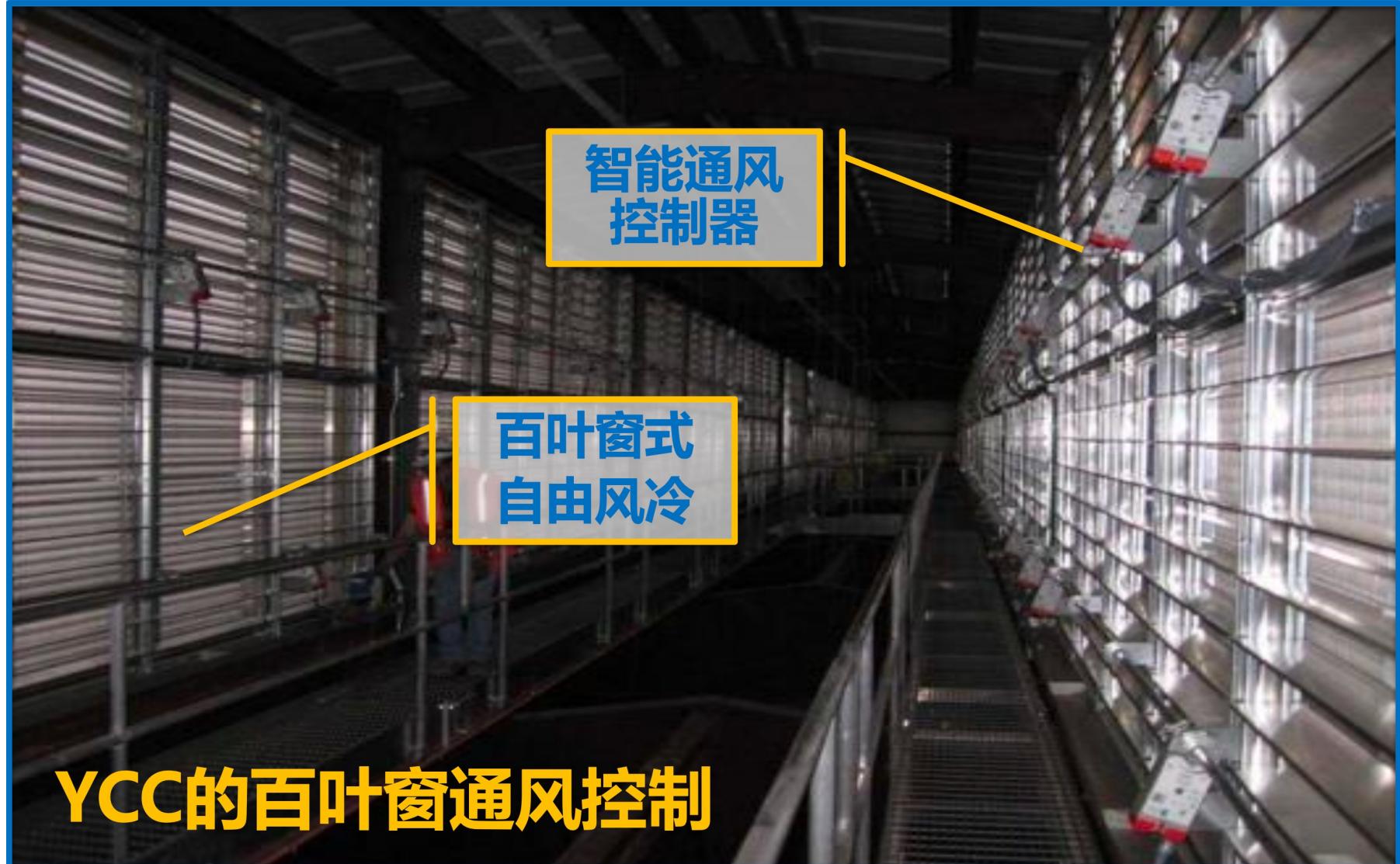
Using outside air to cool data center equipment.

雅虎YCC数据中心
9MW, PUE 1.08

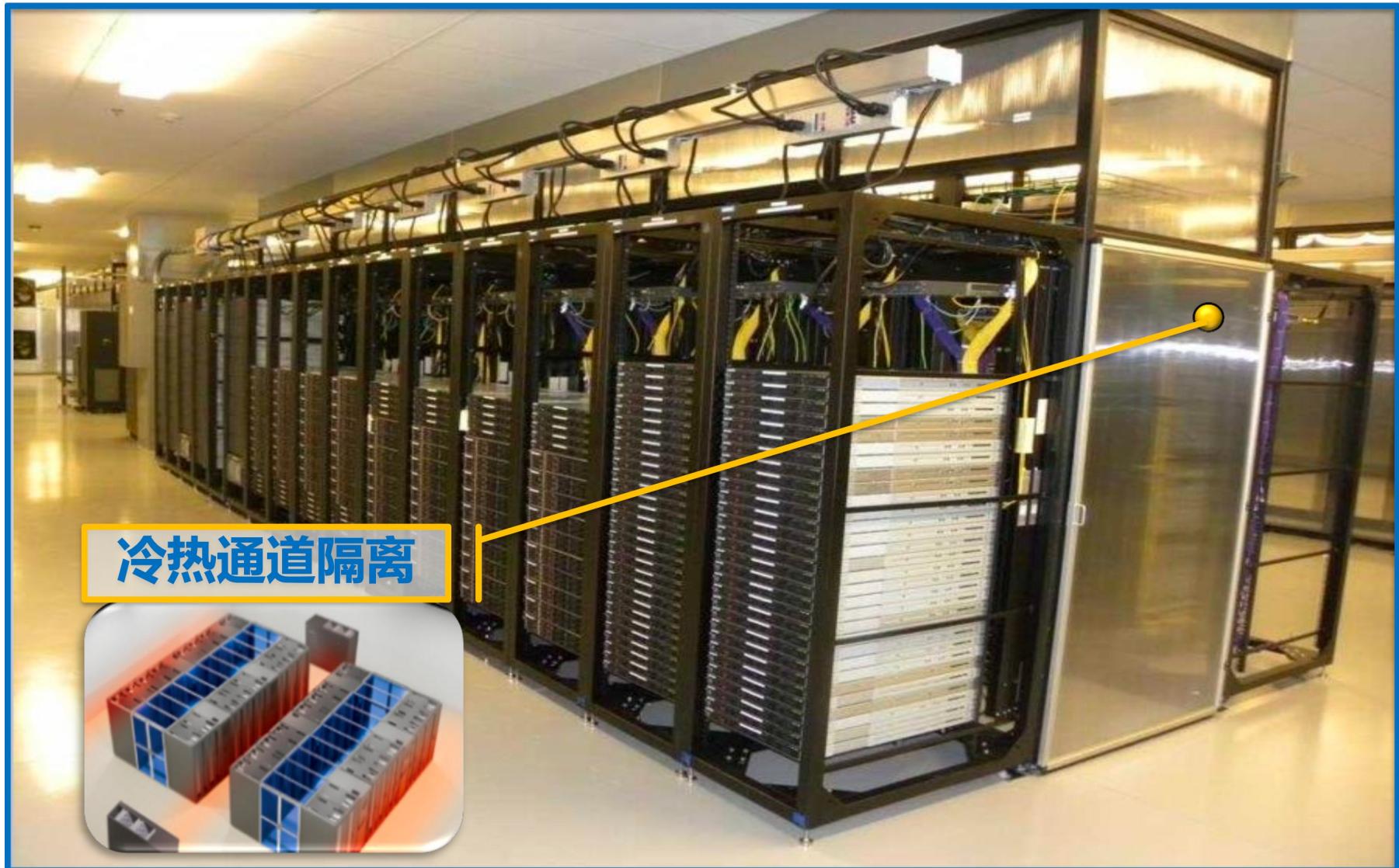
位于纽约州Lockport市



高效设计案例



高效设计案例



全球最节能的 5 个数据中心

1. 雅虎“鸡窝”式数据中心

PUE = 1.08

2. Facebook 数据中心

PUE = 1.15

3. 谷歌比利时数据中心

PUE = 1.16

4. 惠普英国温耶德数据中心

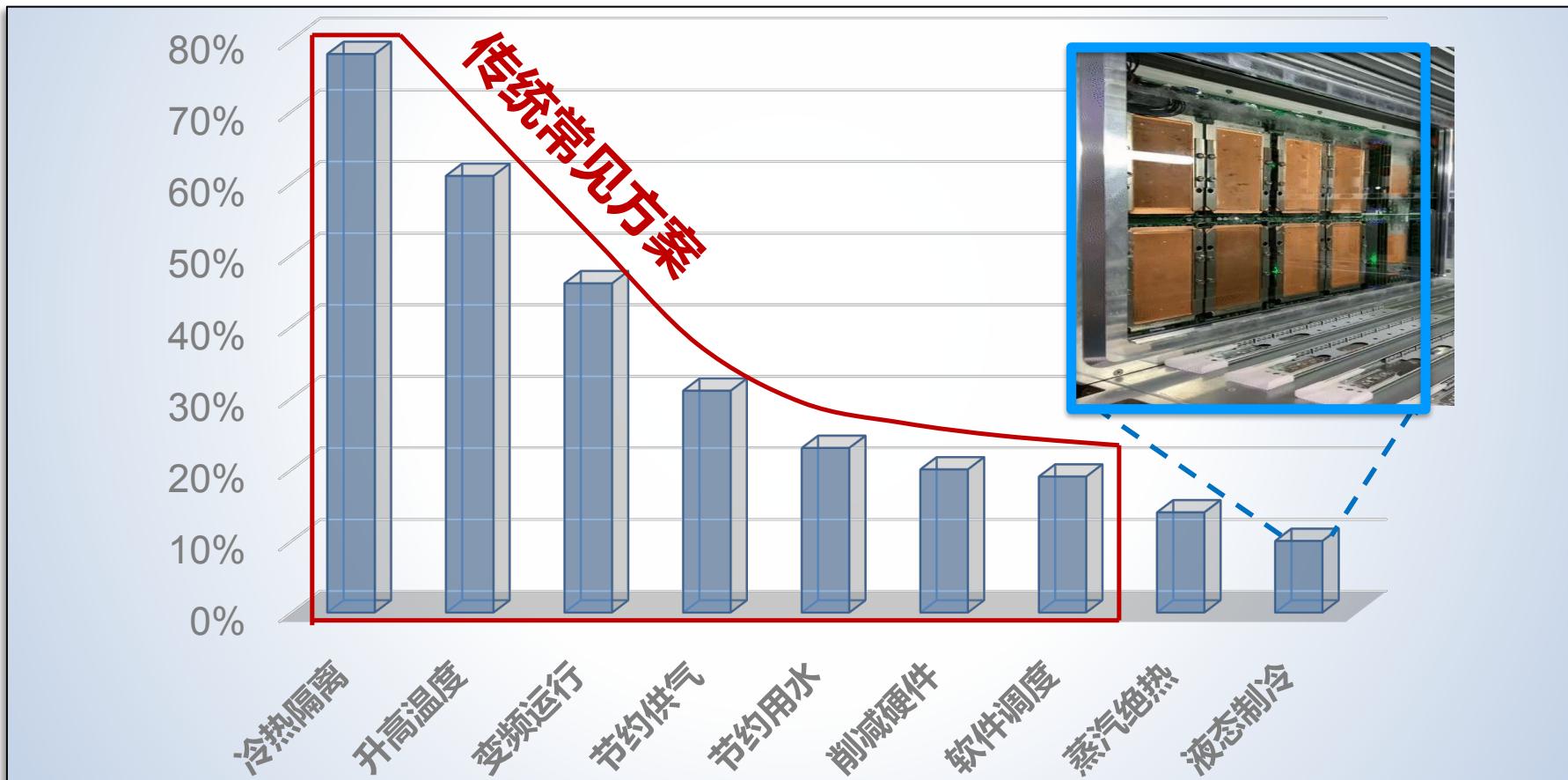
PUE = 1.16

5. 微软都柏林数据中心

PUE = 1.25

高效设计案例

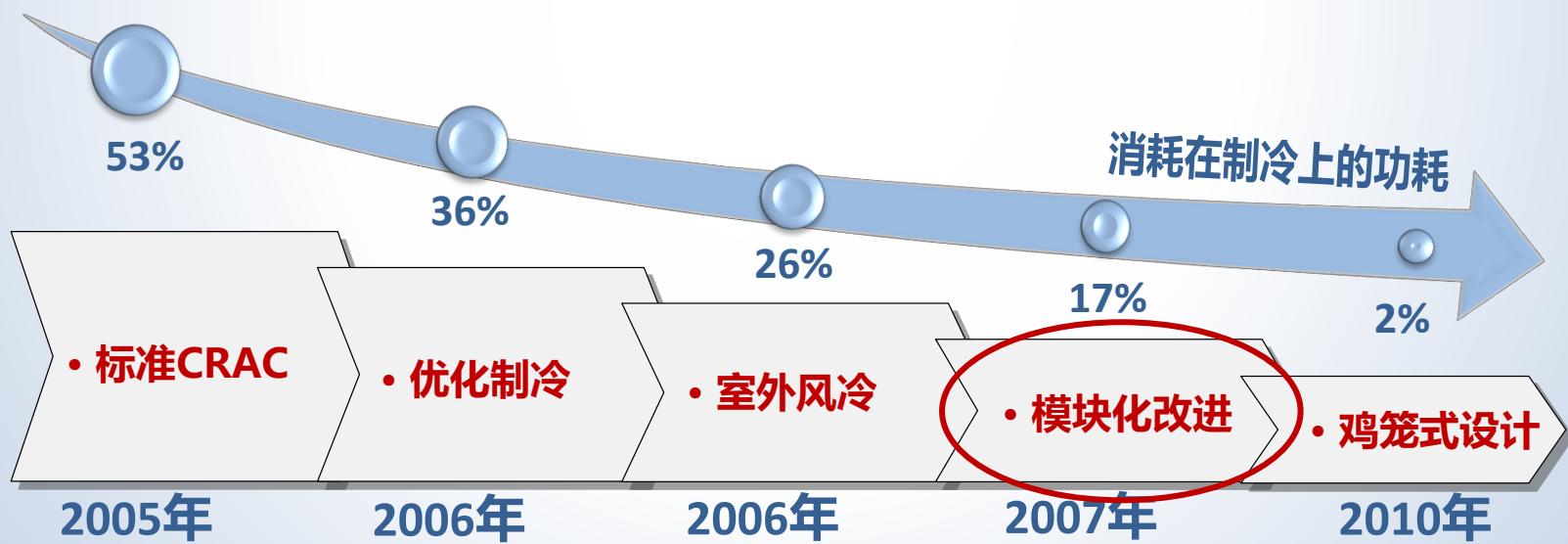
优化PUE：新型散热致冷优化方法



参考：数据中心调研报告，Uptime Institute, 2014

高效设计案例

	硅谷, 2006年	华盛顿州, 2007年	纽约州, 2010年
计算供电成本	6,438	2,529	2,489
空调电力成本	2,285	434	46
总成本	8,722	2,963	2,535
PUE	1.62	1.27	1.08



集装箱数据中心节能技术

定义

将数据中心的服务器设备、网络设备、空调设备、供电设备等高密度地装入固定尺寸的集装箱中，使其成为数据中心的标准构建模块，进而通过若干集装箱模块网络和电力的互连互通构建完整的数据中心。

集装箱数据中心

Microsoft芝加哥
数据中心

Google俄勒冈州
Dalles数据中心

Amazon俄勒冈州
Perdix数据中心

集装箱数据中心节能技术

相关的集装箱数据中心模块化产品解决方案

微软拖车式集装箱数
据中心

Active Power集装箱
数据中心

SGI ICE Cube

惠普“金刚”集装箱数
据中心

浪潮云海集装箱数据
中心SmartCloud

华为赛门铁克
Oceanspace DCS

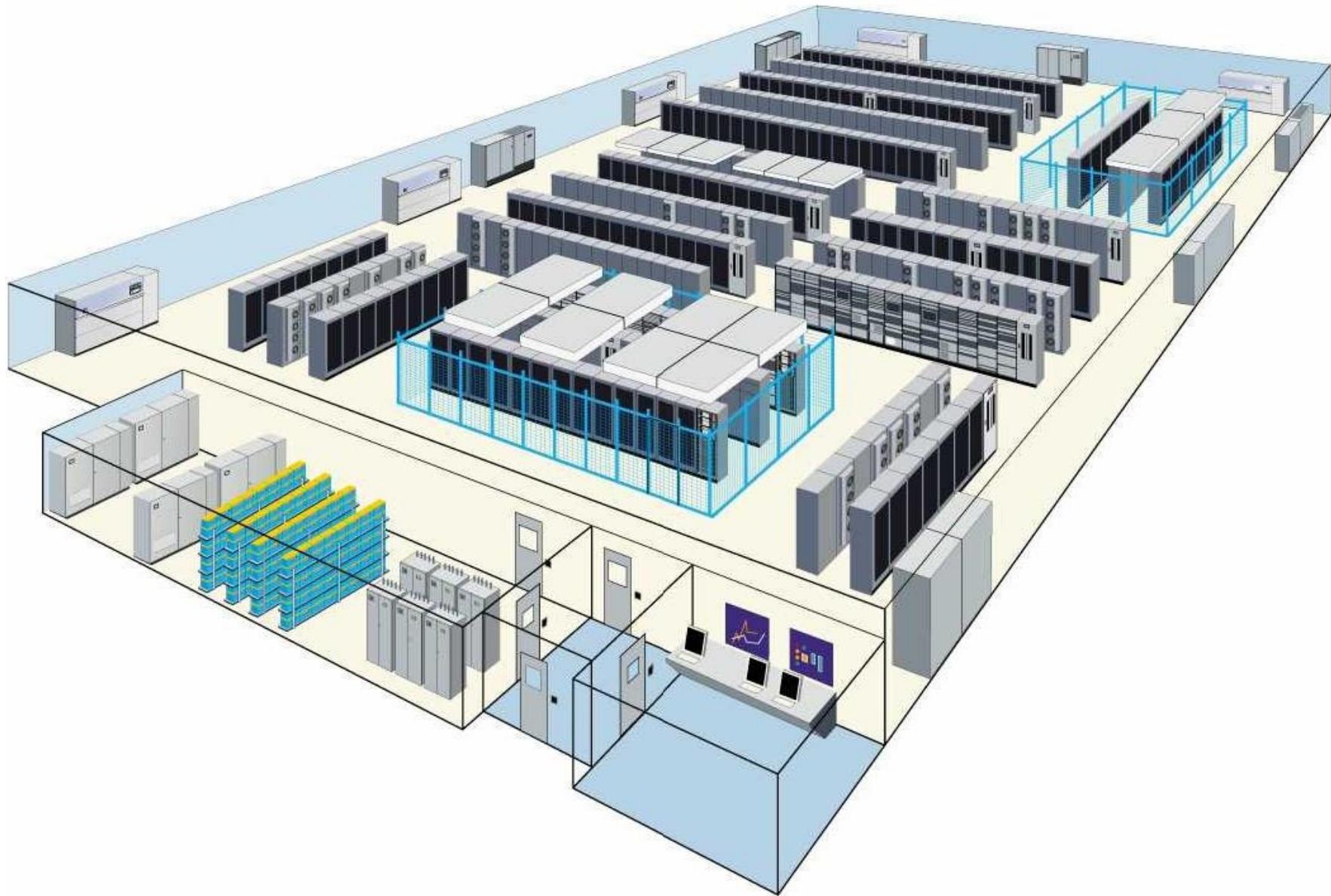
曙光CloudBase

世纪互联云立方

... ...



集装箱数据中心模块内部结构



集装箱式数据中心部署示意图

集装箱数据中心节能技术

1 高密度

集装箱数据中心模块可容纳高密度计算设备，相同空间内可容纳**六倍**于传统数据中心的机柜数量。

2 模块化

建立一个最优的数据中心生态系统，具有恰如所需的**供电、冷却和计算能力**等。

3 按需快速部署

集装箱数据中心不需要企业再经过空间租用、土地申请、机房建设、硬件部署等周期，可大大**缩短部署周期**。

4 移动便携

集装箱数据中心的**安装非常容易**，只需要提供电源连接、水源连接（用于冷却）和数据连接即可。

集装箱数据中心节能技术

从绿色节能的角度看，集装箱数据中心也采用了诸多良好的设计提高数据中心的能效比

1 缩短送风距离

2 提高冷通道温度

3 冷/热通道完全隔离

4 隔热保温材料

5 自然冷却功能



PUE 反思

华为模块化数据中心



通过 i3 (iPower, iCooling, iManager) 全面提升综合效率)

模块化设计

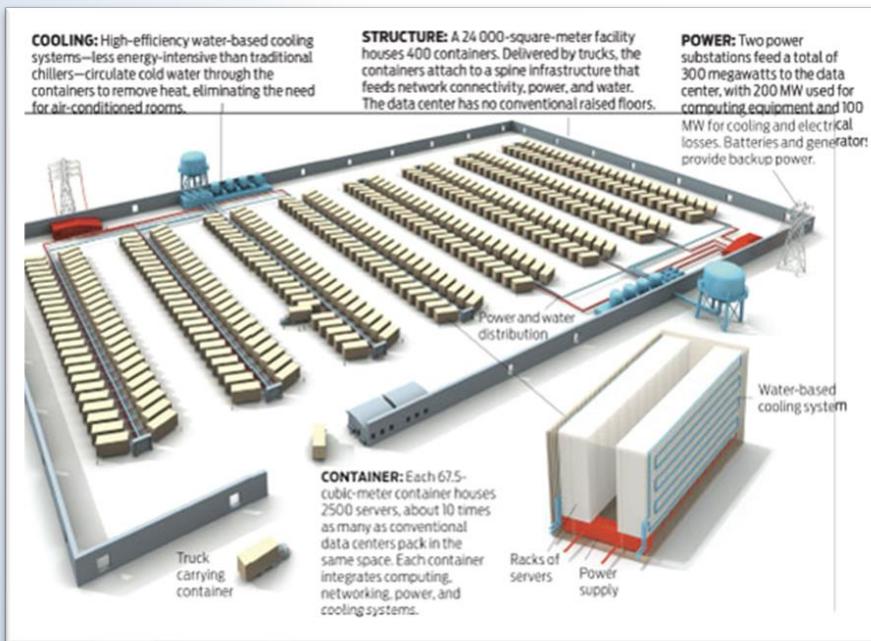
Data Center Container

Portable Data Center

Mobile Data Center

Micro Data Center

...



ISO Standard

Enclosure

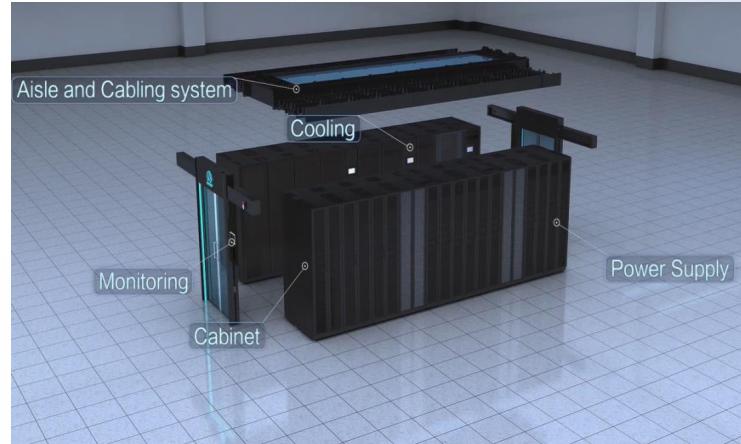
模块化设计

1. Prefabricated Modules (预制模块) that allow plug and play installation of computing systems



模块化设计

2. **Unified systems** that contain IT equipment, power systems, cooling facilities



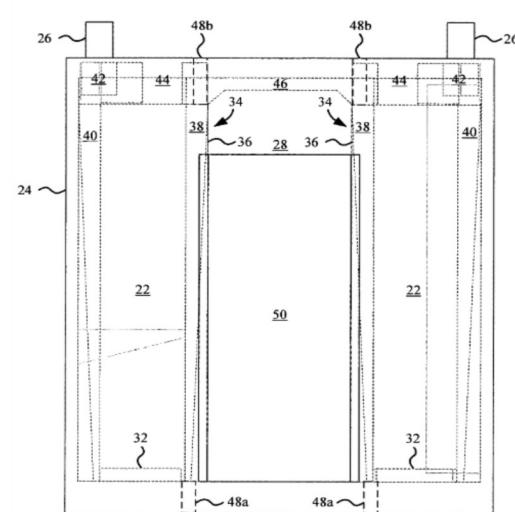
模块化设计

Google filed a patent application for modular data center in 2003

Modular data center

Abstract

Modular data centers with modular components suitable for use with rack or shelf mount computing systems, for example, are disclosed. The modular center generally includes a modular computing module including an intermodal shipping container and computing systems mounted within the container and configured to be shipped and operated within the container and a temperature control system for maintaining the air temperature surrounding the computing systems. The intermodal shipping container may be configured in accordance to International Organization for Standardization (ISO) container manufacturing standards or otherwise configured with respect to height, length, width, weight, and/or lifting points of the container for transport via an intermodal transport infrastructure. The modular design enables the modules to be cost effectively built at a factory and easily transported to and deployed at a data center site.



模块化设计

Several companies proposed container-based data center in 2008

Sun Modular Datacenter



HP POD Datacenter

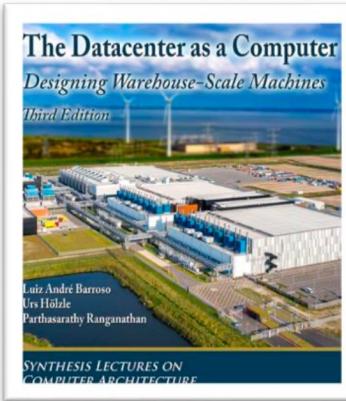


模块化设计

Researchers started to explore modular data center design in 2009



Dr. Luiz Barroso
Google VP
IEEE/ACM Fellow



Modular Data Centers: How to Design Them?

Kashi Venkatesh Vishwanath, Albert Greenberg, and Daniel A. Reed
Microsoft Research, Redmond, WA, USA
(kashi.vishwanath,albert.reed)@microsoft.com

ABSTRACT

There has been a recent interest in modularized shipping containers as the building block for data centers. However, there are no published results on the different design tradeoffs it offers. In this paper we investigate a model where such a container is never serviced individually, but rather is aggregated into larger, functional units. Instead, the hardware is over-provisioned at the beginning and failures are handled gracefully by software. The reasons vary from ease of monitoring and management to increased design flexibility and lower cost.

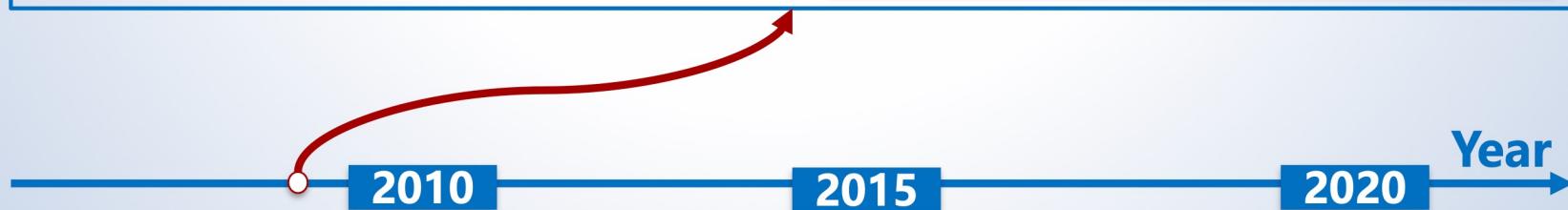
We present a preliminary model for performance, reliability and cost for such service-less containerized solutions. There are a number of interesting tradeoffs between these three metrics. For instance, as a function of deal-servers and incoming workload we could decide which servers to selectively turn off while still maintaining a desired level of performance. While evaluating each case, we also consider the cost of failure and the cost of repair, and worse-case design is recyclable. We further demonstrate that projected lifetimes of these extreme cases are very close (within 10%) to each other. One way to interpret this stability number is, the cost of keeping one server idle will exceed the cost of repair in anticipation of server failures, is not too different than starting out



Figure 1: Container units for data centers.
Keywords: Containers, Data Centers, Performance, Reliability

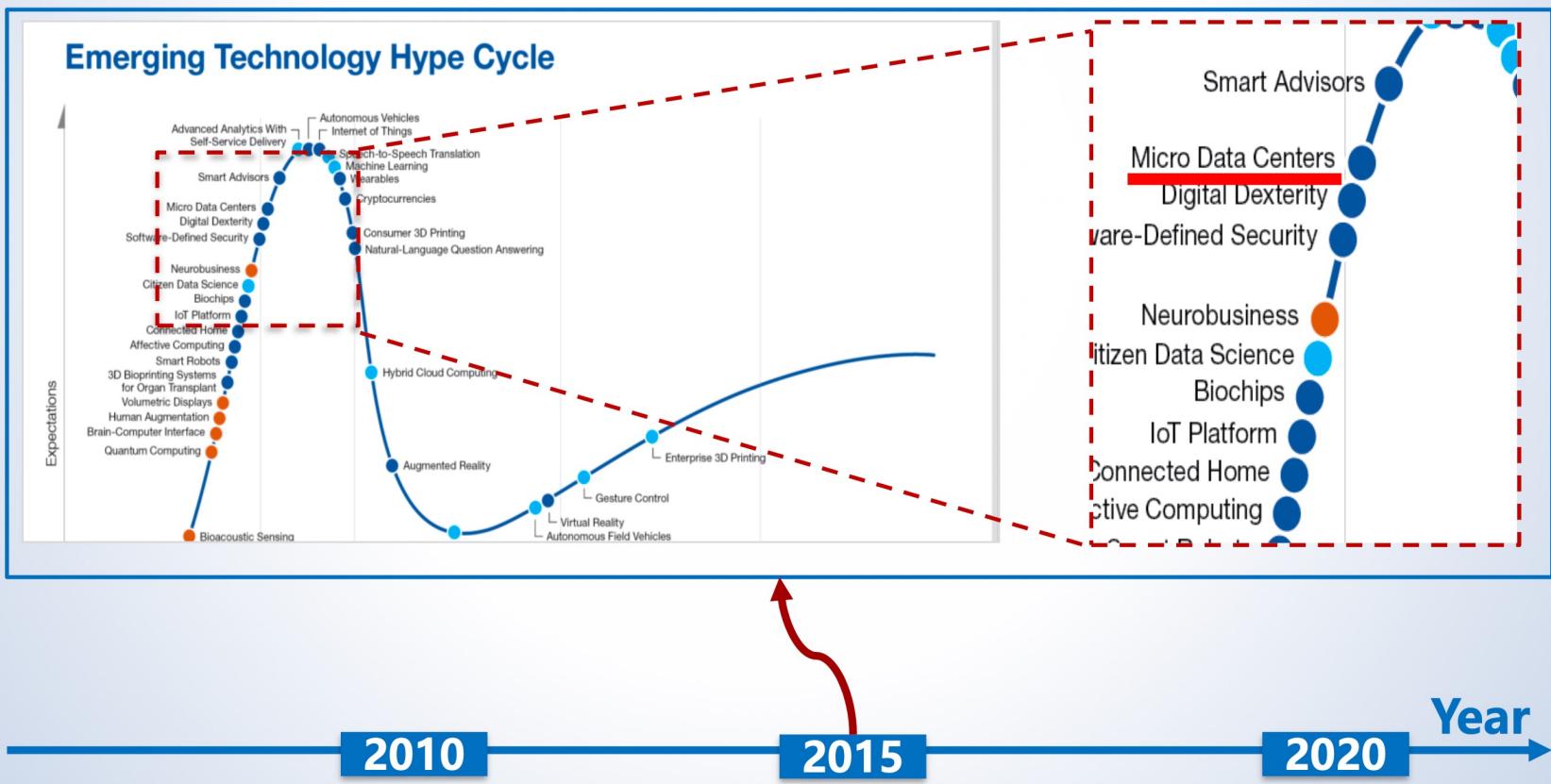


Prof. Daniel A. Reed
NSB Board of Directors
IEEE/ACM/AAAS Fellow



模块化设计

Gartner: MDC is expected to become mainstream within 10 years



模块化设计

MDC is expected to play an important role in the future



News Analysis Conferences On-Demand Opinions Videos Webinars Resources Magazine Awards



[HOME](#) > [OPINIONS](#) > [NORTH AMERICA](#)

Brussels, 19.2.2020
COM(2020) 66 final

The future of data center design is modular www.datacenterdynamics.com

COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN
PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL
COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS

A European strategy for data



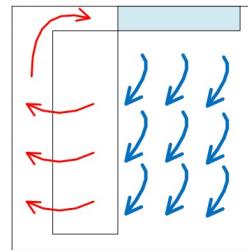
模块化设计

Overhead Cooling

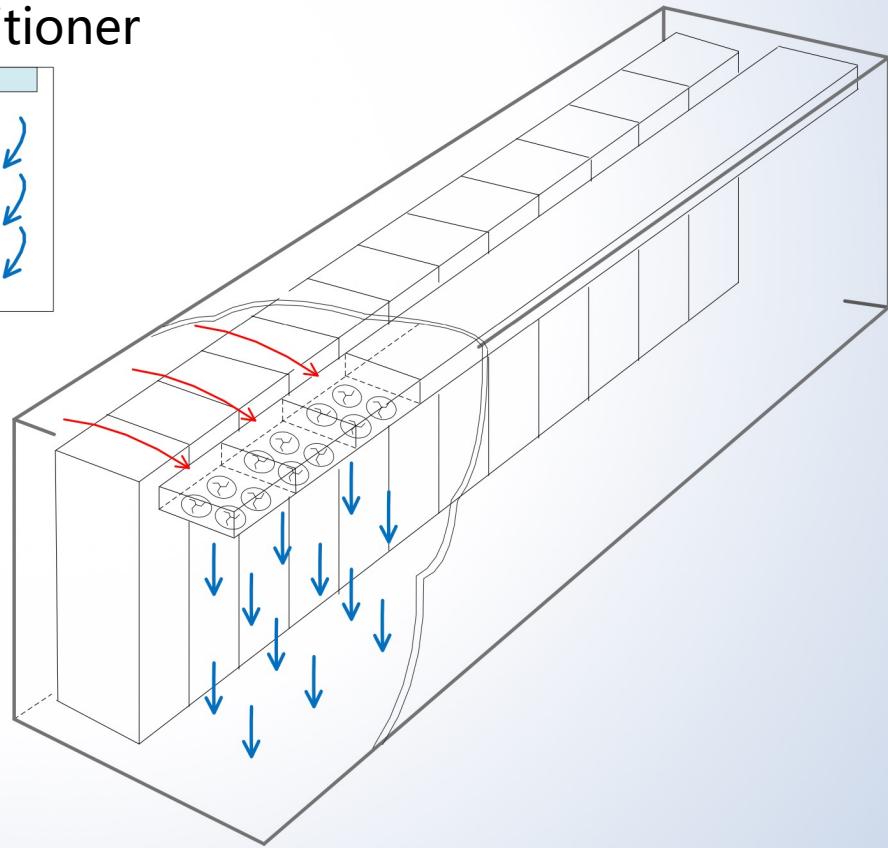
CRAC units installed on top of the racks

CRAC: Computer Room Air Conditioner

Front View



HP POD

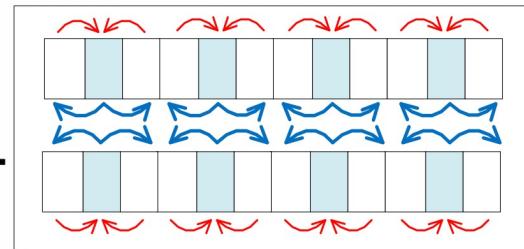


模块化设计

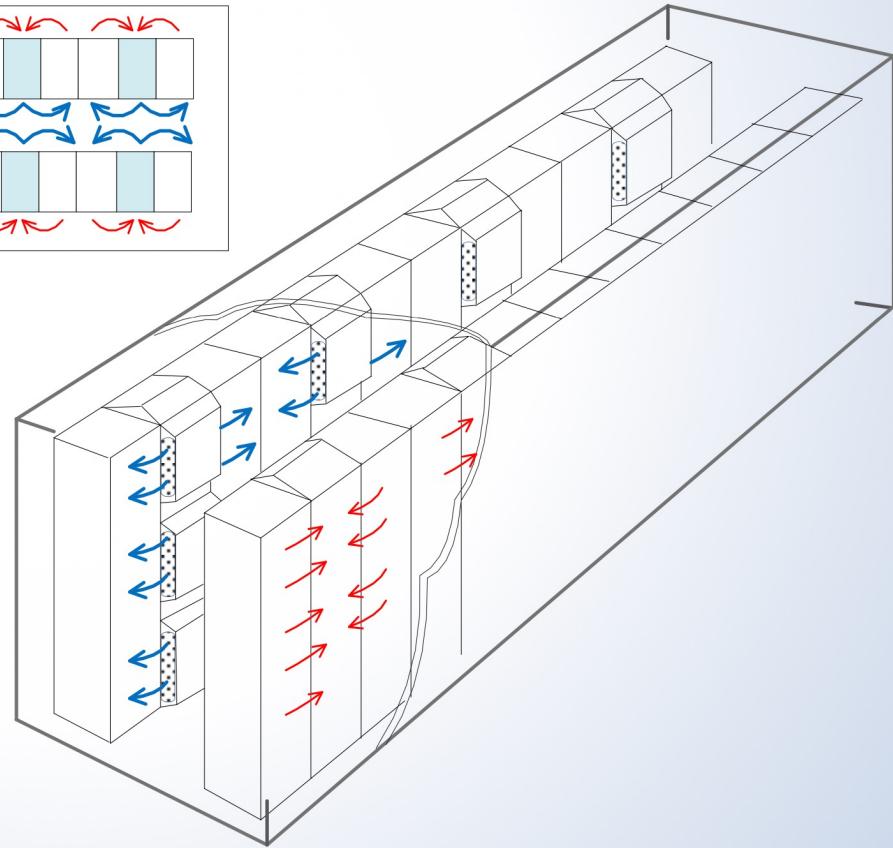
Typical In-Row Cooling

CRAC units interspersed among the racks

Top View



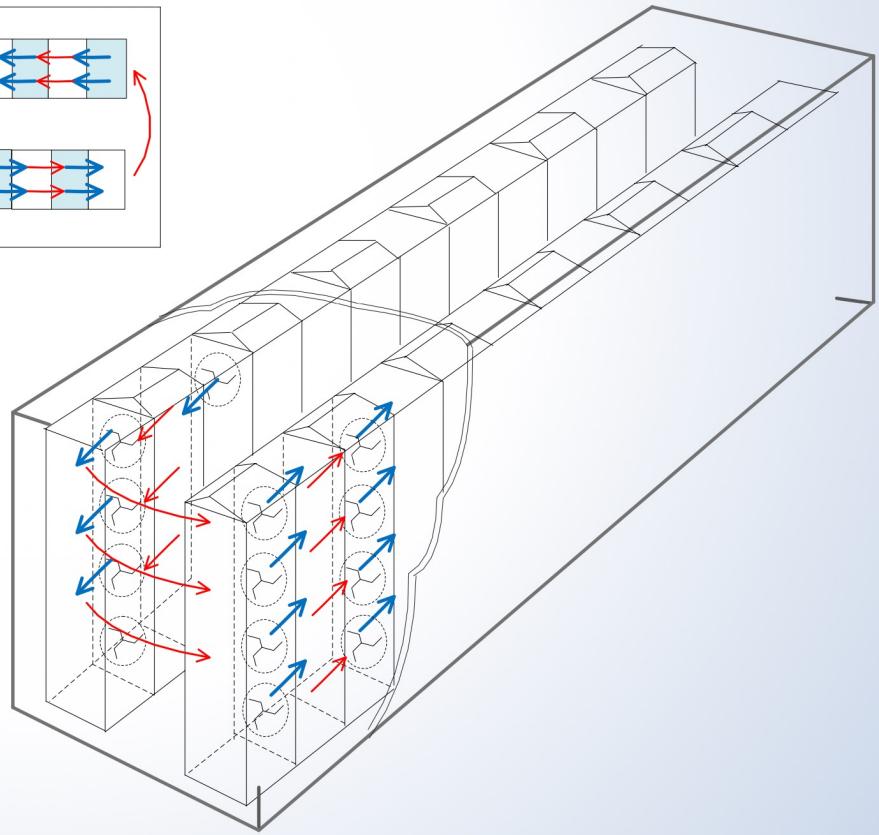
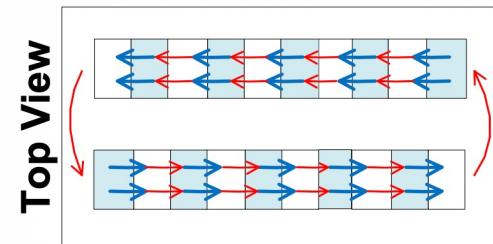
Sun MDC



模块化设计

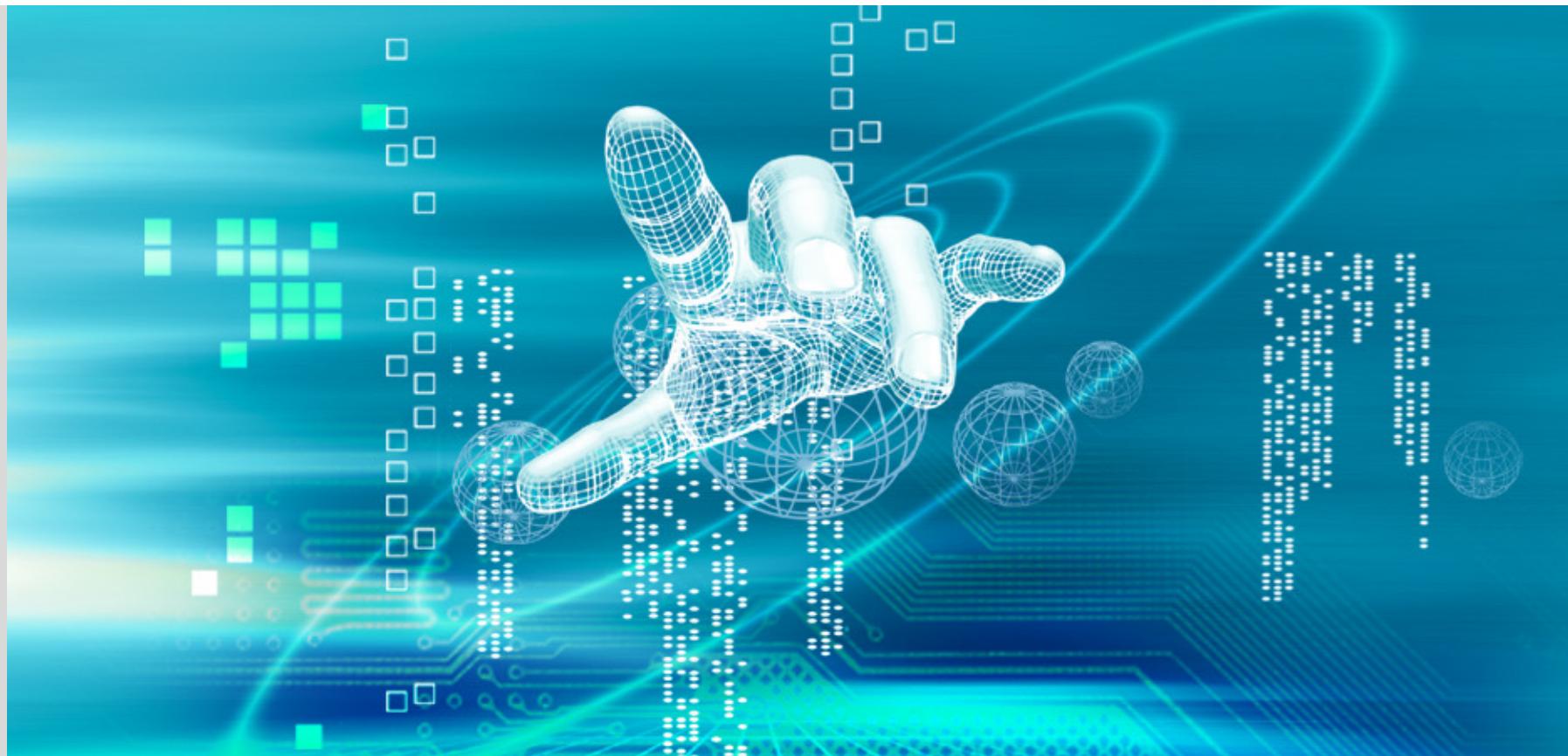
Circular In-Row Cooling

CRAC unit sandwiched in between (the rack)



SGI ICE Cube

数据中心自动化管理



自动化管理

云计算数据中心的自动化管理使得在规模较大的情况下，实现**较少工作人员**对数据中心的**高度智能管理**。



自动化管理的特征

云自动化



按需分配和收回服务器、存储、网络、应用程序

数据中心的管理需要**资源的自动化调度**和对**业务的灵活响应**，即需要单个业务能自治管理，也需要一个负责全局控制和协调的中心，对业务和资源进行统一监控、管理和调度。

自动化管理的特征



全面的
可视性



自动的控
制执行



多层次的
无缝集成



综合与实
时的报告



全生命周
期支持



自动化管理的特征



环境设备（如供配电系统、冷却系统、消防系统等）的智能监控

统一的资源可视化管理虚拟化网络

自动监测虚拟机的创建和迁移



每个Facebook数据中心的运维工作人员管理了至少
20,000 台服务器，
其中部分员工会管理数量高达 **26,000** 多个系统

Facebook 的自动化管理

□ Facebook对硬件设备自动化管理给出了具体规则，主要关注四个方面的内容：

固件的生命周期

提供一个统一界面，独立地对固件的二进制文件和配置进行部署和更新

事件告警和日志

对产生的机器事件和日志消息进行格式统一

远程管理

远程控制机器配置和执行系统操作，并打开一个远程控制台

策略技术

遵循和鼓励有潜在利益的产品和标准，探索未来的开放计算规范

Facebook 的自动化管理



数据中心监控

Facebook 的自动化管理 – 例子

口当输入一个创建服务器集群的命令时，会完成如下工作：

- 
- 1 初始话虚拟机实例；
 - 2 配置一个新的安全组；
 - 3 定义一个用户友好的主机名（如node001）；
 - 4 创建一个非管理员的用户账号；
 - 5 为密码登录配置SSH；
 - 6 定义跨集群的网络文件系统（NFS）文件共享；
 - 7 配置Oracle网格引擎排队系统以实现跨服务器集群的任务管理。



中山大學 软件工程学院
SUN YAT-SEN UNIVERSITY SCHOOL OF SOFTWARE ENGINEERING

谢谢

陈壮彬
软件工程学院
[chenzb36@mail.sysu.edu.cn](mailto:chenzhb36@mail.sysu.edu.cn)