

美国天气公司应用云服务的经验与借鉴

朱定真¹ 李强²

(1 中国气象局公共服务中心, 北京 100081; 2 华风气象传媒集团有限责任公司, 北京 100081)

摘要: 美国天气公司 (The Weather Company, TWC) 通过云服务, 实现了非常高效的数据计算、存储和发布功能, 每天可以处理上百亿次的数据为全球用户提供服务。简单介绍了美国天气公司的云服务策略以及其云计算、云存储、云平台数据分析与云平台研发等业务的情况。美国天气公司的云服务应用经验可以为国内气象服务云服务的推广和应用提供技术、观念、安全和成本等方面的借鉴。

关键词: 美国天气公司, 云服务, 气象服务, 亚马逊云服务

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.03.003

Experiences and References from the Application of Cloud Services in The Weather Company

Zhu Dingzhen¹, Li Qiang²

(1 China Meteorological Administration Public Meteorological Service Center, Beijing 100081

2 Huafeng Meteorological Media Group, Ltd., Beijing 100081)

Abstract: The Weather Company (TWC) in USA supplies its weather services to global customers through the cloud computing services. It can finish tens of billions of data processing, storage and distribution through Amazon web service in an high-efficiency way. In this paper, we introduce its cloud service strategies, its services on cloud storage, data analysis and its R&D on cloud computing platform. These experiences could help us on the utilization of cloud service. We can form our own technology, concept, security policy and cost concept on cloud service by referring to the cloud computing service experiences from TWC.

Keywords: The Weather Company in USA, cloud service, weather service, Amazon web service

0 引言

云计算是一种动态的、易扩展的, 且通常通过互联网提供虚拟化资源的计算方式, 用户不需要了解云内部的细节, 也不必具有云内部的专业知识或直接控制基础设施。根据全球领先的信息技术研究与咨询公司Gartner的报告^[1], 全球云服务市场规模在2012年超过千亿美元, 2016年有望达到2100亿美元, 年平均增长率接近18%。国内的云服务市场也在快速发展, 根据中国信息通信研究院2015年发布的《中国云计算发展调查报告》, 2015年我国公共云服务总收入预计将达到102.5亿人民币, 同比增长46%。

云服务具有强大的计算、存储和分析能力, 为海量数据的处理服务提供了手段, 美国天气公司 (The Weather Company, TWC) 在亚马逊云服务 (Amazon web service, AWS) 上构建了强大的服务体系, 其对于

气象服务具有极强的参考意义。

作为美国200多家气象公司中最大的气象服务公司^[2], 美国天气公司在全球拥有超过1.63亿的用户, 包括电视用户、网络和手机应用用户、第三方服务商、商业用户以及政府合作等。TWC服务的广播电视频道超过500家, 在航空、能源行业具有领先地位, 并在保险行业快速成长。为了为其庞大的用户提供准确的预报, TWC需要收集、处理、发布大量的数据^[3], TWC在2014年天气点数据增长14倍, 数据增长3倍, 应用部署增长20倍, 视频源从1增长到了7, 视频数据增长1倍, 社交内容增长5倍。同时, 快速变化的天气和越来越多的极端事件也促使TWC在IT技术方面必须做出改变。可以说, TWC本质上是一家数据公司, 寻找、应用最强大的数据处理方式是TWC发展的关键问题。

云服务为TWC提供了传统方式所不可想象的能力, 是TWC保持气象服务领先地位的技术保障。本文针对TWC目前在AWS的云服务策略和应用技术进行了介绍, 期望对中国气象服务提供借鉴。

收稿日期: 2015年3月4日; 修回日期: 2015年9月23日

第一作者: 朱定真 (1957-), Email: zdz@tvhf.com

资助信息: 国家科技支撑计划 (2012BAH05B00)

1 云服务及AWS介绍

云服务就是通过互联网来提供一切应用资源的服务方式，云服务以云计算架构为支撑，按需提供可计量的IT服务。云服务可以分成三种类型：软件即服务（Software-as-a-Service, SaaS）、平台即服务（Platform-as-a-Service, PaaS）及基础设施即服务（Infrastructure-as-a-Service, IaaS）。三个层次的服务在灵活性和控制方式上不同，其中SaaS允许用户使用在线的应用，如在线文档、在线相册、Gmail等；PaaS允许用户根据特定的开发工具和语言在云端创建自己的应用，如Google app, MicroSoft Windows Azure Platform等；IaaS允许用户根据自己的需要在云端使用任何服务，如AWS等。对于气象服务来说，其技术框架复杂，并没有现成的框架可用，需要的资源也非常多样，SaaS和PaaS的服务方式无法满足应用的需要，只有IaaS这种灵活的方式才能解决气象服务的各方面需求。

亚马逊的云平台AWS于2006年开始向客户提供云计算服务，目前提供超过50类不同的服务，包含1500余种功能。AWS的客户覆盖全球190多个国家和地区，其中公开发布的气象行业的典型案例有TWC等。在Gartner、Forrester、IDC等第三方咨询机构的评测中，AWS在IaaS和PaaS方面都是业界第一。在Gartner评测的全球15家云服务提供商中，AWS的计算容

量是其他14家提供商总和的10倍以上。如图1所示，亚马逊AWS的服务架构可以分为4部分，最底层是部署于全球各地的基础设施，AWS云服务在全球不同的地方都有数据中心，比如北美、南美、欧洲和亚洲等，根据地理位置可以把某个地区的基础设施服务集合称为一个区域（region），在每个区域内有多个可用区（availability zone），可用区一般是由多个数据中心组成，可用区之间相互独立，提升了用户应用程序的高可用性；其上是核心服务，实现计算、存储、数据库、网络管理等功能；接着是安全与管理服务，包括各类接口和监控、权限控制功能；最后是应用平台服务，提供内容分发、消息管理、分布计算和开发包等功能；同时AWS还提供一些企业级的应用，如虚拟桌面、协同共享等。AWS的服务有弹性云计算（elastic cloud computer, EC2）、伸缩云存储（S3）、关系数据库（RDS）、弹性缓存（ElasticCache）、弹性NoSQL（DynamoDB）等，这些服务构成了完整的服务生态，为用户构建并部署应用提供了强大的支撑，借助这些服务，用户短时间内就可以推出新的业务化应用，弹性计算可以满足灾害天气突然增长的服务需求，因此使用AWS对气象服务来说是非常理想的选择，TWC与亚马逊的密切合作，帮助其迅速建立了云服务体系，气象服务得到了快速发展。



图1 亚马逊AWS服务架构

Fig. 1 Services architecture of Amazon's AWS

2 TWC云服务策略

和天气一样，TWC的商业需求也在快速变化，在这个变化的时代，为了继续提供最准确的天气预报，

TWC针对云服务进行了组织、技术等方面的变化，在IaaS上建立了全部的服务。TWC使用AWS提供的云服务完成了数据收集、计算、发布等方面的工作，目

前TWC的业务基本都在云端进行，TWC数据中心从13个整合到4个（依赖于公有云的提供者），75%的工作量转移到IaaS云。还针对云服务建立了快速开发小组，新建了电视传输系统，将575个接口（APIs）和20个数据平台整合为1个平台，采用2500多个本地化服务器。根据TWC首席信息官的介绍^[3]，SUN（storage utility network）系统获取的数据量从传统平台的每小时4次的220万个数据点增长到每小时15次的22.5亿个。现在TWC每天有100亿次数据处理，相当于每秒15万次，产生4 GB的数据。

在采用云服务的过程中TWC采取了以下四方面策略。

1) 在云上构建新的应用和服务

云端应用包括构建快速、易于维持、运行成本低和高可靠的发布体系等优势，这为企业的快速发展提供了可能。

2) 构建混合云

构建混合云，充分利用云资源，通过云来使企业内部的应用具有更强大的功能，如数据分析这样的工作就可以充分利用云服务强大的计算能力。

同时，TWC将云端应用与企业内部部署应用相结合，TWC预报平台与国家有线电视网分发系统结合（混合应用向后整合天气之星、电视网）。

3) 将已有的应用和数据迁移到云端

TWC第一个迁移到AWS的项目是wunderground.com实时雷达地图显示系统，每天点击达到1亿次，每天共有10亿个点的数据。对比两种方案下服务器的负载情况（图2），AWS的服务数量（AWS中称为实例）、CPU负荷都可以根据请求动态变化，没有上限，而传统方式下CPU负荷会有最大值的限制，这就导致二者的响应时间产生了数量级的差别，在“桑迪”飓风期间，AWS服务的响应时间非常稳定地保持在5~15 ms，而传统方式的响应时间在高峰时期最高达到6000 ms。

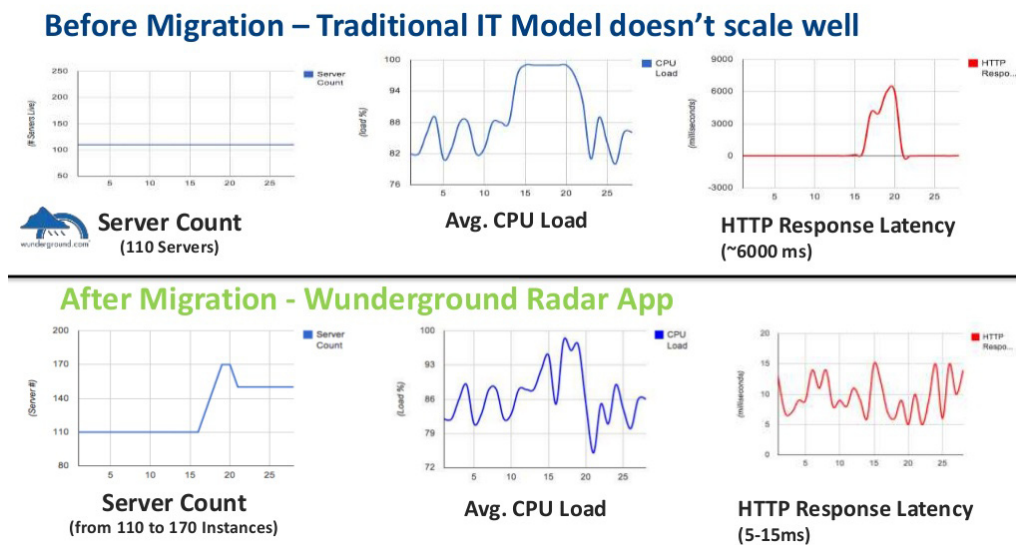


图2 传统服务与云服务资源（左）、负载（中）与响应（右）对比

（上为传统服务方式，下为云服务方式，可以看到云服务资源消耗动态调整，CPU负载没有瓶颈，响应延时非常低）

Fig. 2 Comparisons of the resources consuming (left), CPU load (middle) and response time (right) between traditional service and the cloud service

(The up and down rows are traditional service and cloud service respectively. The cloud service system shows the ability of resources consuming dynamic adjustment, CPU load without bottlenecks and the very low response delay)

4) 所有业务都部署在云端上

通过所有业务都部署在云端上，TWC可以每天在全球传输TB级的天气数据，在全球管理TB级的数字内容，处理1 TB/s的峰值数据，每天处理10亿个请求，产品更新速度提高20倍，降低30%的主机成本。

3 TWC云端业务

由于云端提供了强大的计算功能，有可靠的系统

支持，并提供了大量的基础服务，在云端构建服务框架比本地更加容易。TWC所有新应用以仅在云上运行为目标，包括新的weather.com和其他网站，新的天气分析系统，新的航空、能源预测应用，新的数据获取和发布应用。

3.1 数值预报与云计算

气象服务中最关键、最基础的就是数值模式预报

系统，以前数值模式一直是在高性能计算机上进行，通过云计算服务，不仅可以降低成本，还可以获得更高的性能。TWC业务体系中最核心的系统——按需预报系统（forecast on demand, FoD）成为了AWS上最大的应用，FoD使用2650个核，200 TB内存，每秒生成4 GB数据，平均每个预报创建时间为10 ms，部署在亚马逊全球4个AWS区域。

云计算除了提供强大的计算能力外，由于其弹性特征，增多或减少资源的配置非常方便，其在成本控制上也非常有优势，企业不需要考虑硬件的预算，完全可以根据实际情况在云端调配。云的弹性还使得企业把更多的精力投入到市场、技术和业务发展中，而不是被基础的软硬件设施所困扰。

图3对比了本地和云端的资源配置，以红线表示实际服务需要的资源情况，在传统的方式下，根据业务情况预先配置的服务器数量，在一定时间内总是固定的（蓝线），这就会造成资源过剩（蓝线高于红线）或不足（红线高于蓝线）情况。亚马逊上一个EC2实例就相当于一台服务器，通过设置，EC2实例的数量（黄线）可以完全根据实际服务需要的数量进行上下变化。

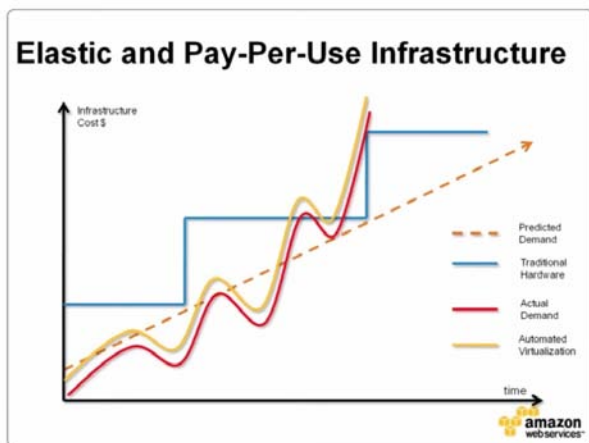


图3 本地资源配置与云端资源配置对比

(虚线表示对服务需求的预判，蓝线表示传统部署硬件服务器的方式，红线表示实际需求，黄线表示云服务方式；云服务可以根据实际需求动态实时调整)

Fig. 3 Comparison of local resources configuration to the cloud resources configuration

(The dotted line indicates the pre-judgment of the service demand; the blue line indicates the way of the traditional deployment of the hardware servers; the red line indicates the actual demand; the yellow line means the cloud service mode; the cloud service can be dynamically adjusted according to the actual demand)

这一功能在亚马逊上由弹性负载均衡（elastic load balancing, ELB），CloudWatch，Auto Scaling等

服务配合实现，ELB能根据负载情况自动调配EC2实例，实现负载均衡。CloudWatch从ELB和EC2实例上收集性能指标，当指标超过阈值时，CloudWatch就会通知Auto Scaling增加或减少EC2实例，Auto Scaling根据策略调配EC2实例后会告诉ELB有EC2实例的变化，ELB再根据EC2实例个数来分配负载（图4）。



图4 亚马逊的弹性架构

(ELB把任务均衡分配到EC2实例上，CloudWatch监视资源的消耗情况，Auto Scaling在资源不足时自动启动配置EC2实例)

Fig. 4 Amazon's resilient architecture (ELB assigns tasks to EC2 instances evenly; CloudWatch monitors resources consumption; Auto Scaling starts and configures EC2 instances automatically when resources are low)

亚马逊的弹性框架，可以消除网络堵塞的情况，在任何情况下都能为用户提供最佳的体验。例如TWC的雷达地图页面，平时有20个EC2实例提供服务，在“桑迪”飓风期间，雷达页面在AWS上的实例个数增长到了175个，这些完全都由AWS自动调配完成，不需要任何额外的工作。弹性机制同时为企业节约了费用。基于AWS的服务架构可以使企业把70%的精力投入到核心技术的研发和市场推广上，而传统的方式导致企业70%的精力都被基础软硬件环境的构建占用，只有30%的精力真正用在了企业的发展上。

3.2 云存储

TWC在云服务上构建了点数据和格点二进制数据PNG，GRIB2，NetCDF等的快速接入平台，通过云端计算得到结果再直接按需求对外进行分发。

大量的数据意味着更准确的天气预报。TWC在AWS上运行Basho's Riak的NoSQL数据库，同时用Google Compute Cloud作为备份。Riak具备Cassandra，MongoDB，Hadoop等所不具备的优势，包括其简单易用和很强的弹性。当在全球范围内分发大量数据时，配置和使用上的简单性是非常重要的，Cassandra是非常好的数据分发系统，但其非常复杂。Riak是针对在云端进行大量数据的迁移、复制、同步

和全球发布而设计的平台。

同时，由于AWS提供了可用区的服务，数据在不同的可用区内互为备份，这就使得数据非常可靠、安全，即使某个可用区出现了问题，别的可用区也可以提供完全一样的服务。

TWC同时还要决定有多少数据需要缓存，以及为生成新预报而要进行的数据更新次数，这些设定不是静态的，当有突发的暴风雪天气时，次数都会改变。虽然有这么多优势，TWC仍然需要不断探索如何把系统调整到最好，如何更好地监视系统，以及当系统出现问题时如何快速响应。

3.3 数据分析

TWC针对企业和政府的大数据分析平台（Weather FX，图5）目前已迁移到了AWS上，其数据仓库集群（Redshift Cluster）包括自2005年来超过6亿条的天气预报数据，2004年4月以来超过7亿条的实况观测记录，1970年以来国际城市航空组织（International Civil Aviation Organization）超过11亿条的观测数据，1950—2012年积累的TB级风暴数据。通过AWS，TWC可以实现10亿量级的数据记录在36 min内载入到Bulk中（Bulk是亚马逊提供S3存储用来存储对象的容器，称为桶）。

Weather's Big Data Analytics Platform for Enterprises and Government

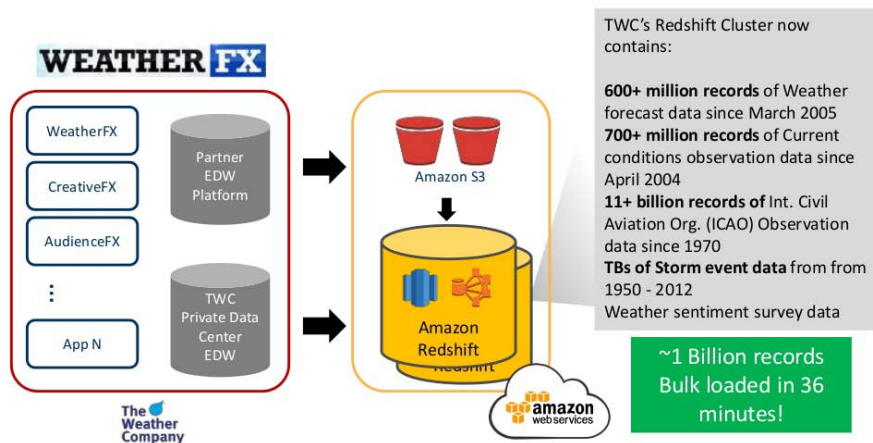


图5 TWC针对企业和政府的大数据分析平台

（Weather FX海量数据的存储主要使用AWS的S3和数据仓库（Redshift），在大量数据快速存储的同时实现了高效的查询）

Fig. 5 TWC's big data analytics platform (Weather FX) for enterprises and government

(Weather FX uses AWS S3 and Redshift to store massive data, achieving quickly storage and an efficient query)

3.4 云服务的研发

与传统方式相比，TWC在云端的开发有了巨大的变化：从一个高度紧密组织的开发小组每月完成一个发布到8~10个松散的开发小组一天完成4个发布。实现这一提高的主要原因是，AWS额外提供了大量的资源包括开发资源、承包组、远程小组等对开发工作产生了极大的帮助。TWC仅有核心开发小组参与即可。

4 经验借鉴

不同厂商进入市场的路径有着根本性的差别，以AWS为代表的新兴厂商以公有云为主，希望颠覆性地创新IT市场；传统服务提供商（含运营商）多采取私有云/混合云战略，将公有云作为传统业务的外延。中国云服务市场进入多元竞争阶段，格局并不稳定，互联网巨头、运营商和跨国服务商是主要的竞争力量。阿里客户群集中在中小互联网领域，政企行业正

在布局；百度、腾讯主要专注于PaaS，打造互联网应用生态圈。云计算是中国电信业向未来转型的基础，战略定位高。服务延伸，资金投入具备资源、品牌、运营、线下优势。IDC厂商由IDC托管服务向云计算转型的公司技术实力一般。一些本土初创企业技术能力强，但在基础资源、线下渠道、品牌等方面劣势明显。而跨国公司进入中国需要2~3年适应期，且其安全受限。

据统计，2013年阿里云收入约为6亿人民币，2014年度收入为12亿人民币，2015年度收入达到23.4亿人民币。根据《中国公有云服务追踪研究》阿里云是目前中国云计算领域市场占有率最大的厂商，市场占有率为22.8%。阿里云产品定位于“公有云+大型私有云”，中小型私有云服务较弱。其产品较为成熟，稳定性较好，数据库应用、安全、网络质量等方

面有优势。阿里客户群目前以阿里生态圈客户、中小互联网游戏、电商、移动应用为主。

中国联通的沃云基础设施机房资源丰富，机房动力、环境保障级别高，安全性高；网络接口资源丰富，能提供互联网、VPDN接口（3/4G网络互通）、计费接口、NGN接口、短信接口；机房、网络等资源成本低；线下销售服务能力强，线下服务团队涉及各个行业各个地区；可为客户提供定制化个性化云服务；联通为国有企业，云上承载数据的安全性高。目前沃云可以提供弹性云主机、块存储、虚拟私有云、云桌面等的服务。

目前国内也有研究工作围绕气象业务、服务在云平台的构建进行，如云计算的资源调度^[4-5]，基于Hadoop、HBase的云计算与存储等^[6-8]。随着观测数据、精细化模式数据的迅速增长^[8]，国内各行业对气象服务要求的迅速增长，气象服务也开始在云端发展，2014年中国气象局与阿里云开展了合作^[10]，近期中国天气网（www.weather.com.cn）的服务器迁移到了阿里云的云服务器（elastic compute service, ECS），使用ECS降低了成本，并提升了应对分布式拒绝服务（distributed denial of service, DDoS）攻击的能力。在中国气象局《气象信息化行动方案（2015—2016年）》中，也对国家层面的气象云提出了规划——以气象云建设为核心的“金云”工程，工程按统一标准、统一数据和基础设施资源，以分布式存储、分布式计算和统一管理相结合的方式，构建逻辑上一朵气象云，国家、省两级云内节点的功能布局（图6）：由国家级中心（含同城备份中心）、国家级异地应急备份中心（上海）、省级中心等组成，各中心之间，统一管理、统一监视，逐步实现统一调度。

相比国外成熟的应用经验，在国内还有很多可以借鉴的方面。

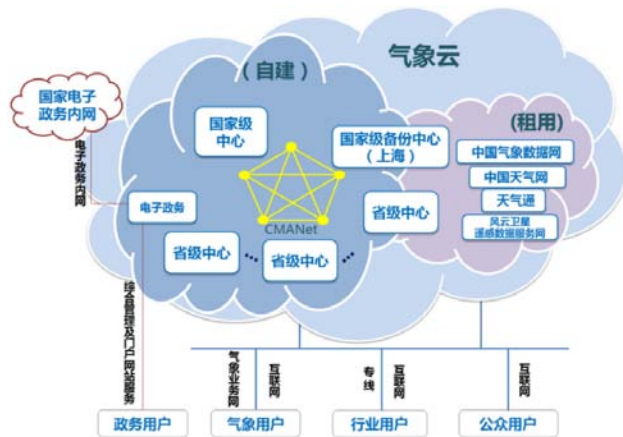


图6 国家级气象云总体布局

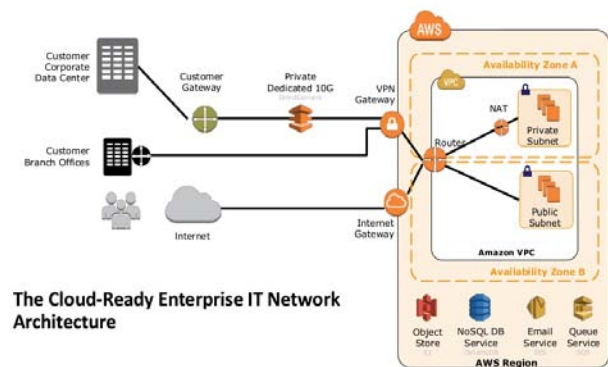
Fig. 6 The overall layout of the CMA's meteorological cloud

1) 充分利用云服务商提供的资源与服务

国内的云服务商与亚马逊、谷歌、微软等公司相比，还存在很大差距。通过AWS和TWC的发展告诉我们，云服务的发展应该是一个不断尝试、创新的过程。AWS上有50多种云服务，包含上千种功能，这些都是通过不断解决用户需求而积累起来的，是通过需求引导的。充分使用这些服务和功能，可以使企业投入更少，产出更多。不过虽然有很多云服务功能可以选择，但到底哪一个最合适自己的需求，还需要一定的尝试才能知道。TWC在AWS上也是通过多次尝试才找到了适合自身的技术体系。同时，他们在尝试中既找到了自己的解决方案也培养出了技术人才，这对云服务的可持续应用无疑是长久之计。

2) 建立实用的安全机制

云端完全可以构建非常安全的环境。如图7所示，亚马逊的AWS提供了公有和私有子网，公有子网和私有子网处于不同的区域内，企业通过VPN网关可以访问私有云，亚马逊管理非常严格，没有人能够同时具备物理和系统管理两方面的权力，这为企业在云端提供了安全方面的保障。其强大的功能超过了传统的企业防火墙，通过配置合理的安全策略，企业完全可以放心其在云端的数据和资源的安全。这就需要我们传统的对数据安全策略进行重新规划，充分利用服务商提供的安全管理机制，解放硬件对数据的约束，将气象数据真正转化为生产力。



The Cloud-Ready Enterprise IT Network Architecture

图7 AWS企业云网络框架

（AWS的虚拟私有云VPC把企业的数据中心、客户信息等与Internet组成一个虚拟私有云，并划分为私有和公有子网，通过路由的访问控制可以保证资源的绝对安全）
Fig. 7 AWS's enterprise cloud network architecture and the Internet separates into private and public subnet, through the router access control to guarantee the absolute security of resources)

3) 把精力投入自己的专业领域

实际上，云服务可以为企业节约大量的使用成本和精力，TWC通过其业务到云服务上的迁移，技术

人员不再为系统维护等问题而花时间，技术人员可以将精力集中在其核心价值理念上：科学、安全、服务和生动（science, safety, services and storytelling）。TWC的气象专家可以借助云服务专心发展、改进模式，与系统有关的任何问题都可以交给AWS来完成，某种意义上AWS的技术人员正成为TWC模式发展的基础系统支撑团队。

4) 准确计算成本

当然，迁移到新的平台上并不是没有挑战，最主要的障碍是可预见的成本。与传统方式不同，云上服务有不同的计费方式，有些是根据运行时间，有些是根据占用的存储空间，有些是根据使用的网络带宽，有些是根据响应的读写请求数。TWC非常明白每一笔处理的准确成本，公司每天会有150亿次的数据处理，因而累积量是非常大的，他们通过合理的构架，实现了成本的降低。同时，亚马逊帮助TWC进行成本分析，实现经济的架构。

5) 全球化服务非常便捷

由于亚马逊在全球不同区域内提供AWS服务，覆盖了美洲、欧洲、亚洲等地区，区域相互独立，但服务可以相互复制，在区域内资源的访问非常快速，这为企业的全球化服务提供了极大的便利。借助这一手段，企业在走向全球的过程中可以节约大量的费用，甚至一些小的团队，用3~5个人就可以维护其在全球上百台服务器的管理和维护。云服务的开放性、便利性，有助于企业在海外的发展，同时加剧了市场的竞争，当地企业的本地优势正在逐渐丧失。正是由于云服务的便捷性，TWC和美国Accuweather等技术雄厚的公司从美国发展到了欧洲市场，并在全球积极拓展。

5 结论

通过对TWC云服务应用经验的分析可以看到，随着互联网云计算技术的发展，云服务的优势越来越显著，气象服务借助云计算服务可以得到更快速的发展。

1) 使用公有云服务是发展趋势，企业不需要再为硬件设备投入预算和人力。

2) 云服务的弹性机制非常适用于应对突发灾害天气的信息服务，面对突然增长的不可预知的数据计

算、信息发布任务，传统手段无法解决，而云服务的弹性机制能完全保证信息及时发布。

3) 云服务的数据从技术角度来看是非常安全的，其安全性高于企业自己建立的防火墙，且可以通过混合云进一步保证数据在内部的可控和私有性。

4) 使用云服务开发成本更低，部署和维护更方便，有利于企业把精力集中在专业服务产品开发上。

5) 云服务的计算能力越来越强大，其性能可以水平扩展，与传统高性能计算的垂直扩展相比更加灵活，并且和大数据技术有非常好的结合，发展前景非常光明。

现在，云平台的服务能力已远远超过企业内部所能构建的平台，越来越多的企业把业务和服务迁移到了云服务，以前人们关心的是为什么要用云服务，现在人们要问的是为什么不用云服务。云计算既是一种技术发展趋势，更是一种能为企业解决实际问题，适应未来发展并节约成本的手段，充分利用这一技术才能让企业在未来的发展中处于有利位置。

参考文献：

- [1] Columbus L. Gartner predicts infrastructure services will accelerate cloud computing growth. (2013-02-19).
- [2] <http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2013/02/19/gartner-predicts-infrastructure-services-will-accelerate-cloud-computing-growth/>.
- [3] Evans M. Weather costs US economy hundreds of billions annually. (2011-06-30). <http://www.accuweather.com/en/weather-news/weather-costs-the-us-economy-h-1/51526>.
- [4] Baldwin C. CIO interview: Bryson Koehler, CIO of The Weather Company. (2014-09-09). <http://www.computerweekly.com/news/2240228147/CIO-interview-Bryson-Koehler-CIO-of-The-Weather-Company>.
- [5] 储雅, 马廷淮, 赵立成. 云计算资源调度: 策略与算法. 计算机科学, 2013, 40(11): 8-13.
- [6] 王俊松, 郝永生. 气象环境下的云计算调度算法. 计算机与现代化, 2013, 11: 68-73.
- [7] 曾乐, 陈东辉, 肖卫青, 等. 基于Hadoop的气象数据存储检索应用研究. 信息系统工程, 2014, 8: 138-140.
- [8] 陈东辉, 曾乐, 梁中军, 等. 基于HBase的气象地面分钟数据分布式存储系统. 计算机应用, 2014, 34(9): 2617-2621.
- [9] 张建. 基于Hadoop的云计算模型研究及气象应用. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [10] 沈文海. 气象数据的“大数据应用”浅析——《大数据时代》思维变革的适用性探讨. 中国信息化, 2014, 11: 20-31.
- [11] 张遥. 气象数据“上云”: 中国气象局公共气象服务中心联手阿里云开展大数据合作. (2014-05-27). http://news.xinhuanet.com/tech/2014-05/27/c_1110883802.htm.