

本书旨在帮助云计算初学者对云计算的本质问题、基本原理等有较为完整的把握，同时又能掌握基本的云计算技能和实践经验。



云计算导论

——从应用视角 开启云计算之门

□ 韩燕波 王磊 王桂玲 刘晨 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

云计算导论

——从应用视角开启云计算之门

韩燕波 王 磊 王桂玲 刘 晨 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

云计算是一个庞大的技术体系，刚开始学习云计算的读者很容易迷失在宏观的概念或特定的工具中，往往不得其门而入。本书从如何有效利用云的视角，以提问的方式梳理脉络和要点，带领读者登堂入室。区别于市面上侧重于宏观知识和概念介绍或者侧重于某一特定技术或工具讲解的云计算书籍，本书既不停留在远景，也不局限于某一技术和工具的细节，而是在对云计算的本质问题、基本原则、基本结构以及基本的云计算技能、应用实践方法方面下功夫，期冀能够帮助读者既对云计算的技术体系有全局观和深入认识，又能够动手实践掌握具体的技术并明白其背后的道理。

本书可作为高等院校云计算课程教材，也可作为云计算研究开发人员、爱好者的参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

云计算导论：从应用视角开启云计算之门 / 韩燕波等编著. —北京：电子工业出版社，2015.1
ISBN 978-7-121-24797-2

I. ①云… II. ①韩… III. ①计算机网络 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 270103 号

责任编辑：董亚峰

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：三河市鹏成印业有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：18.25 字数：468 千字

版 次：2015 年 1 月第 1 版

印 次：2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价：49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言



互联网的发展和完善催生了云计算，大系统协同以及大数据处理与分析等新发展又进一步推动了云计算。当前，放眼整个计算机和通信（ICT）领域，云计算显得特别重要。

事实上，一种技术从发展到成熟常常要经历所谓的 S 曲线，从一开始不被关注，到成为热点且期望值过高，再到伴随失望跌到谷底，最后回归理性认识和逐渐成熟。云计算正经历着这样的 S 曲线，目前刚刚滑下峰顶，还没到谷底。S 曲线的峰顶阶段往往“超载”严重，被赋予过多的东西，云计算的发展也是如此。

虽然“云”是当前大型应用系统必不可少的基础设施，但它却不能做到像操作系统或中间件那样易操作和易掌控。云计算既非某项单一的技术或方法，亦非一个平台；它不只是一种服务，也不仅仅是某个商业模式的一种实现，却又和这些都紧密相关。云计算对应一个庞大的概念和技术体系，其自身元素还在不断发展和演化，且元素之间的耦合度差异很大（也就是说，在实际应用中，针对某一特定的应用场景，各种元素不一定都要出现，也不一定都要紧密关联起来）。上述特点总令云计算难以掌握。

此外，云计算已得到了实际应用，其发展势不可挡，这点已毋庸置疑。许多高校都开设了或拟开设云计算课程。不仅计算机专业的学生和教师以及 IT 从业者有这方面的学习需求和热情，很多来自政府、企业和应用领域的其他专业人士也有系统了解和应用云计算的迫切需求。当前，合适教材的匮乏成为突出矛盾。编者 2010 年便在中科院研究生院开设了云计算课程。作为国内较早教授这门课程的教师，我们长期以来也被教材问题所困扰。

市面上有关云计算的书籍已经很多，这些书籍有些侧重于云计算的宏观知识和概念介绍，有些侧重于某一特定技术或工具的讲解。刚开始学习云计算的读者很容易迷失在宏观的概念或特定的工具中，往往不得其门而入。读者不希望只停留在远景，也不希望过早地局限于某一技术和工具的细节，而是期望对云计算的本质问题、基本原则和基本结构等有较为完整的认识，同时又能够掌握基本的云计算技能、工具及应用实践方法。

云计算是一个庞大的技术体系，从不同的视角，针对不同的目的，所需要掌握的基础理论和具体技能各有侧重。例如，从使用云的视角，侧重于如何利用云计算技术进行连网设备的使用、管理和维护，如何进行大规模数据的存储和管理，如何进行云服务和云应用开发；而从构建云的视角，则侧重于如何构建云服务的系统、网络和体系结构等。但是二者又不是截然分开的，对云计算技术的利用也会牵扯到其背后系统构建的一些原理知识。

本书在自编研究生教材的基础上，结合北方工业大学云计算研究中心暨大规模流数据集成与分析技术北京市重点实验室研究团队的教学及应用项目实践，归纳总结了云计算的概念体系及其背后的基础理论与核心技术。本书以提问的方式梳理脉络和要点，从如何有效利用云的视角，展开讨论。本书坚持理论结合实际，针对云计算的几个核心问题给出了具体应用案例，将云计算的基础理论与具体实践相结合，力图使有志于服务计算、云计算的学生、青年教师、科学工作者、IT 从业者能够在云计算的技术和研究领域少走弯路，尽快登堂入室。

全书内容共分为 10 章：第 1 章回顾了云计算的产生背景，并结合交通领域实际问题讨论了云计算的用武之地和好处；第 2 章对云计算发展的历史沿革、定义和基本特征、体系架构与关键技术等方面进行了阐述，力争使读者对云计算有直观的了解；第 3~9 章分别介绍了云计算的核心技术，包括服务器虚拟化的关键技术、大规模数据的存储原理、海量多元数据的管理机制、大规模数据的并行分析和处理方法、云服务的开发方法、基于服务组合的云应用开发方法、云计算各个层次的安全问题及保障方法等，回答了书中提出的关键问题；第 10 章是本书的实践部分，结合交通领域的一个实际应用，展示了一个完整云端应用的构建方法和开发过程。本书最后还提供了 3 个附录，分别介绍了 OpenStack、Hadoop 和 HBase 的安装和配置知识。

本书在撰写过程中，得到了许多人的帮助。实验室李寒老师为本书校对花费了大量心血，博士研究生朱美玲、张仲妹以及硕士研究生姜永、南海京、张帅、张赛、刁玺、王岗、肖丙闲、李悦、李青等参与了本书的实验整理和绘图工作。电子工业出版社的董亚峰老师为本书的最终面世提供了帮助。在此，对他们表示衷心的感谢！

由于时间和水平有限，书中的不妥之处在所难免，衷心希望广大读者和同行批评指正。

编者

2014 年 8 月于北京

目 录



第 1 章 绪论	1
1.1 摩尔定律	1
1.2 云计算的出现	3
1.3 从领域应用需求看云计算	5
1.3.1 城市交通系统概述	5
1.3.2 信息处理基础设施需求	6
1.3.3 海量数据集成和处理的需求	7
1.3.4 多应用系统集成和协同的需求	8
1.3.5 传统技术面临的挑战	10
1.4 云计算能带来什么	14
1.5 如何尽快学好云计算	15
1.6 思考题	16
第 2 章 云计算初探	17
2.1 云计算的定义和基本特征	17
2.2 云计算的发展动因和沿革	19
2.2.1 计算模式的演变	20
2.2.2 互联网基础设施的演变	21
2.2.3 数据管理的演变	22
2.2.4 应用软件形态的演变	24
2.2.5 人机交互方式的演变	25
2.3 云基础设施体系架构与核心技术	27
2.4 搭建和使用云基础设施所要解决的核心问题	29
2.5 小结	31
2.6 思考题	31

第 3 章 如何实现连网设备的优化利用与弹性伸缩	32
3.1 引言	32
3.2 虚拟化	33
3.2.1 虚拟化的定义	34
3.2.2 虚拟化的历史沿革与分类	35
3.3 服务器虚拟化	36
3.3.1 核心概念	36
3.3.2 关键特性	37
3.3.3 面临的问题	38
3.4 服务器虚拟化关键技术	39
3.4.1 服务器虚拟化的实施过程	39
3.4.2 动态资源优化	41
3.4.3 虚拟机迁移	42
3.5 虚拟化资源环境建设与管理	43
3.5.1 虚拟化资源管理平台体系架构	44
3.5.2 虚拟化资源管理平台模块功能	45
3.5.3 虚拟化资源管理平台管理流程	47
3.6 小结	48
3.7 思考题	49
第 4 章 如何实现大规模数据的弹性存储	50
4.1 引言	50
4.2 弹性存储的核心问题	51
4.2.1 命名空间	52
4.2.2 元数据管理	54
4.2.3 故障和错误处理	55
4.2.4 性能和效率	61
4.3 HDFS	62
4.3.1 HDFS 的目标和基本假设条件	62
4.3.2 HDFS 体系架构	63
4.3.3 性能保障	65
4.3.4 访问接口	68
4.4 HDFS 的管理与应用	69
4.4.1 基于命令行的管理与应用	69
4.4.2 基于 Java API 的管理与应用	73
4.5 应用实例：视频文件管理系统	76

4.5.1	需求分析	76
4.5.2	系统设计	77
4.5.3	系统实现	78
4.6	小结	82
4.7	思考题	82
第 5 章	如何实现海量多元数据的高效管理	83
5.1	引言	83
5.2	NoSQL 数据库	84
5.2.1	NoSQL 数据库设计原理	84
5.2.2	NoSQL 数据库数据模型	86
5.2.3	NoSQL 数据库的数据划分技术	90
5.2.4	NoSQL 数据库及其分类	94
5.2.5	NoSQL 数据库的优势和劣势	95
5.3	HBase 数据库系统	99
5.3.1	数据模型	99
5.3.2	系统架构	100
5.3.3	HBase 访问接口	105
5.4	HBase 的管理与应用	106
5.4.1	基于命令行的管理与应用	106
5.4.2	基于 Java API 的管理与应用	111
5.5	应用实例：交通监控图片管理	116
5.5.1	需求分析	116
5.5.2	系统设计	116
5.5.3	系统实现	117
5.6	小结	122
5.7	思考题	122
第 6 章	如何实现大规模数据的并行分析与处理	123
6.1	引言	123
6.2	MapReduce 的由来和原理	124
6.2.1	一个朴素的单词计数程序	124
6.2.2	多线程并行化单词计数程序	124
6.2.3	使用分块存储的单词计数程序	125
6.2.4	在多台计算机上并行运行的单词计数程序	126
6.2.5	MapReduce 的提出	127
6.2.6	MapReduce 的设计思想	129

6.3	MapReduce 的开源实现——Hadoop	131
6.3.1	Hadoop 运行环境	131
6.3.2	Hadoop 工作流程	132
6.3.3	Hadoop 作业运行机制	133
6.4	Hadoop 中的数据类型和格式	140
6.4.1	文件输入	141
6.4.2	其他输入格式	143
6.4.3	输出格式	143
6.5	Hadoop 编程案例	143
6.5.1	单词计数程序例子回顾	143
6.5.2	数据去重	146
6.5.3	数据排序	149
6.6	小结	153
6.7	思考题	153
第 7 章	如何利用云中的各类资源	154
7.1	引言	154
7.2	服务计算基础	155
7.2.1	服务的基本概念	155
7.2.2	SOA 基本原理	156
7.2.3	Web 服务的两种基本形态	157
7.3	云服务与一切皆服务的交付模式	160
7.3.1	云服务的定义和分类	160
7.3.2	XaaS 与一切皆服务的交付模式	162
7.3.3	云服务案例	163
7.4	服务开发实践	165
7.4.1	Java 与 Web 服务开发	165
7.4.2	SOAP 服务开发实践	166
7.4.3	REST 服务开发实践	170
7.5	小结	172
7.6	思考题	172
第 8 章	如何进行云应用开发	173
8.1	引言	173
8.2	面向多租户的云应用设计	174
8.2.1	多租户与应用交付模式	174
8.2.2	多租户应用的设计要求	175

8.2.3 多租户应用的实现方法	176
8.2.4 业界现状	177
8.3 基于服务组合的云应用开发方法	178
8.3.1 面向 IT 开发人员的服务组合	178
8.3.2 面向最终用户的服务组合	187
8.4 云应用的部署	198
8.5 小结	201
8.6 思考题	202
第 9 章 如何保证安全	203
9.1 引言	203
9.2 云基础设施安全	204
9.2.1 网络硬件安全	204
9.2.2 主机系统安全	206
9.2.3 安全管理	209
9.3 云数据安全	211
9.3.1 数据存储安全	212
9.3.2 数据访问安全	213
9.3.3 数据管理安全	214
9.4 云应用安全	215
9.4.1 用户认证	215
9.4.2 应用授权	216
9.5 云安全标准和法律法规	219
9.6 小结	221
9.7 思考题	221
第 10 章 综合实践：交通流量监控	222
10.1 引言	222
10.2 需求分析	222
10.3 基础环境搭建	224
10.4 数据准备	228
10.5 数据统计和索引	233
10.6 查询接口封装	236
10.7 应用界面开发	238
10.8 云应用开发总结	239
10.9 思考题	241

附录 A OpenStack 的安装与配置	242
A.1 总体规划	242
A.2 操作系统准备	243
A.3 安装 OpenStack 组件	244
A.4 Keystone 的配置、运行与测试	247
A.5 Glance 的配置、运行与测试	249
A.6 Nova 的配置、运行与测试	251
A.7 horizon 的配置、运行与测试	255
A.8 安装与配置计算节点	257
附录 B Hadoop 的安装与配置	261
B.1 环境准备	261
B.2 配置在单节点（伪分布式）环境下运行 Hadoop	262
B.3 在多节点（分布式）环境下运行 Hadoop	266
B.4 运行 wordcount 词频统计程序	269
附录 C HBase 的安装与配置	272
C.1 单机版	272
C.2 伪分布模式	273
C.3 完全分布模式	274
参考文献	277



1.1 摩尔定律

从 20 世纪 70 年代第一台 PC 诞生到现在只有短短几十年的时间，但其普及程度和对人类社会的影响早已超出预期。互联网的发展进一步加剧其普及并推动了智能手机等移动终端的发展。互联网和大量的终端设备已成为社会生产和生活中不可或缺的工具，带来了技术和社会结构的变革。

让我们先来看看有关 PC、移动终端、上网用户、连网服务器、网站、域名等的一组统计数字。

市场调研机构 Gartner 的研究报告称，全球使用的 PC 数量 2008 年就已经超过了 10 亿台大关，到 2014 年全球使用的 PC 数量将达 20 亿台¹。

2013 年，美国调研公司 Flurry 发布报告称，当前全球活跃连网设备（主要指智能手机和平板电脑）数量超过 10 亿部。按照当前的发展速度，2014 年将达到 20 亿部²。

根据瑞典互联网市场研究公司 Royal Pingdom 发布的 2011 年全球互联网产业发展状况报告：

2011 年全球网站数量为 5.55 亿个；

2011 年全球域名总量为 2.2 亿个；

2011 年全球互联网用户总数为 21 亿人，互联网普及率约为 33%；

¹ <http://digi.163.com/08/0624/09/4F6NJLOJ001628BV.html>.

² <http://www.askci.com/news/201306/13/1391185470.shtml>.

2011 年全球活跃移动宽带用户数量为 12 亿人；

2011 年全球移动用户数量约为 59 亿人，移动终端普及率已超 90%。

中国互联网络信息中心（CNNIC）发布的《第 32 次中国互联网络发展状况统计报告》数据显示，截至 2013 年 6 月底，国内互联网普及率为 44.1%，我国网民数量达到 5.91 亿人，其中手机网民达到 4.64 亿人³。

据 Data Center Knowledge 的统计和估算，2010 年全球运行的服务器数量超过 5000 万台。其中，Google 拥有超过 100 万台的服务器，占全球服务器数量的约 2%⁴。

上面的数据很震撼，并且还在不断扩大。人类社会已经无法适应没有计算机、没有互联网的状态。

计算机硬件成本和连网成本的降低是上述发展的主要原因。摩尔定律指出，集成电路芯片上所集成的晶体管的数目，每隔 18 个月就翻一番，同时性能也提升一倍。计算机从诞生起发展至今，计算机核心硬件设备的能力，不管是处理器的速度、网络带宽还是磁盘存储量，始终以指数级速度发展。随着以太网交换机、光通信网络、3G 和 4G 网络及无线传输网络（Wireless Fidelity, WiFi）的大规模建设和使用，连网的带宽成本也已经非常低廉，通过互联网访问各类资源的用户需求日益旺盛。随着计算机、移动终端、互联网的普及，人们通过连网计算机和移动终端能够做的事情越来越多。越来越多的人通过计算机处理数据，进行网络交易，开展企业管理业务等，其规模已经非昔日可比。通过下面的一些数据和事实可见一斑。

1998 年图灵奖获得者 Jim Gray 提出数据增长的“新摩尔定律”：每 18 个月全球新增信息量是计算机有史以来全部信息量的总和。由 EMC 赞助的题为“从混乱中挖掘价值”的 IDC “数字宇宙”研究结果表明，2009 年数据信息量达到 0.8ZB，而 2011 年则将达到 1.8ZB，其增长速度超过摩尔定律。预计到 2020 年，全球将总共拥有 35ZB 的数据量，相较于 2010 年，数据量将增长近 30 倍⁵。

淘宝“双十一”销售活动 2013 年 11 月 11 日当天总交易额达 350.19 亿元，相当于 9 月份中国社会零售总额的一半。支付宝成功支付 1.88 亿笔，其中无线支付达到 4518 万笔，最高每分钟支付 79 万笔。

Salesforce 交易量 [该公司数据库调用应用编程接口（API）的次数] 在 2004—2007 年的 3 年内已从 5 亿次/季度蹿升到 54 亿次/季度。

³ http://www.cnnic.net.cn/hlwfzyj/hlwxyzbg/hlwtjbg/201307/t20130717_40664.htm.

⁴ <http://servers.pconline.com.cn/news/1004/2103301.html>.

⁵ http://vip.stock.finance.sina.com.cn/q/go.php/vReport_Show/kind/search/rptid/1177879/index.phtml.

1.2 云计算的出现

大规模的交易和数据处理需要越来越高的计算能力和存储能力。获取更高计算能力和存储能力的一种途径是使用高性能服务器；另外一种途径是将多个独立的普通服务器通过交换机互连起来，构成一个组，并以单一系统的模式加以管理，称为“集群”，集群就像一个独立的服务器一样与客户交互。如今，采用低端服务器作为基本单元构建集群来获取更高的计算能力和存储能力已经成为主流的选择。这有着多方面的原因，其中最主要的原因是，较以往应用于高性能计算领域的高端服务器，低端服务器具有明显的性价比优势。

关于低端服务器的性价比优势，可以通过表 1.1 及其分析进行说明。事实上，由于价格波动、测试标准的局限性等因素，很难对硬件的性价比做出有意义的比较。TPC-C 评测⁶是目前业界公认的一个评测标准，同时包括了对硬件成本及应用程序级的性能评测。表 1.1 中列出了 TPC-C 对 2007 年性能最好的系统惠普 Integrity Superdome-Itanium 2 和性价比最高的系统惠普 ProLiant ML350 G5 进行的评测。根据这个评测结果，一个低端服务器平台与高端的共享存储器结构的高性能服务器平台相比，其性价比大约高 4 倍。在仅考虑服务器硬件的情况下（不计存储子系统的开支），低端服务器平台的性价比优势将增加 3~12 倍。而如果不考虑系统折扣，低端服务器性价比大约高出高性能服务器近 20 倍（Barroso and Hoelzle, 2009）。

表 1.1 服务器性价比评测

系 统 要 素	惠 普 Integrity Superdome-Itanium2	惠 普 ProLiant ML350 G5
处理器	64 sockets, 128 cores (双线程), 1.6 GHz, Itanium2, 12MB, last-level cache	1 socket, quad-core, 2.66GHz, X5355 CPU, 8MB last-level cache
内存	2048GB	24GB
磁盘存储	320974GB, 7056 drives	3961GB, 105 drives
TPC-C 价格/性能比	\$2.93/tpmC ⁷	\$0.73/tpmC
价格/性能比 (仅考虑服务器硬件)	\$1.28/tpm	\$0.10/tpm
价格/性能比 (仅考虑服务器硬件, 不考虑折扣)	\$2.39/tpm	\$0.12/tpm

在这种背景下，越来越多的机构或组织使用低端服务器作为基本单元来构建集群。随着服务器成本的进一步降低和连网技术的进步，集群的规模从早期的 1000 台左右的物理

⁶ TPC 全称为 Transaction Processing Performance Council，即事务处理性能委员会，<http://www.tpc.org>。

⁷ TPC-C 使用三种性能和价格度量，其中性能由 TPC-C 吞吐量衡量，单位是 tpmC，tpm 是 transactions per minute（每分钟处理的交易量）的简称，C 指 TPC 中的 C 基准程序。tpmC 值广泛用于衡量计算机系统的事务处理能力。

服务器，逐步发展为如今 10 万台甚至更多物理服务器的规模。随着集群规模的扩大，一些运营大规模集群的机构或组织意识到，得益于规模经济效应（所谓规模经济效应，是指随着规模的扩大，单位生产成本和经营费用都得以降低，从而能够取得一种成本优势），构建和运维更大规模的集群，其提供同样硬件能力的单位性价比将得到更大的提升。此外，若将大规模的集群与众多中小机构和公司共享，将提高集群的资源利用率，从而使单位成本和开销得到进一步降低。而中小单位和机构构建和运维自己的小规模集群，其单位成本和开销也远远高于大规模集群，对它们来说，一种更经济的选择是租用大规模集群中的硬件资源。

因此，一些有研发实力的机构或组织开始使用大量廉价的普通服务器甚至 PC（而非使用昂贵的单个高性能计算机），在制冷和能源等较为便宜的地方集中起来，以 pay-as-you-go（按使用量付费）的方式提供相关的计算、存储、平台、软件等服务，让更多的客户共享其资源，从而获取更高的资源利用率和单位硬件资源的性价比。这就是云计算的起源。

商业机构第一个以“云”来命名的服务是 2006 年亚马逊公司发布的 EC2（Elastic Compute Cloud）产品的 Beta 版。使用 EC2 服务，用户可创建一个亚马逊机器镜像（Amazon Machine Image, AMI），它包含操作系统、应用程序及其配置。AMI 使得用户可以根据自己的需要来使用虚拟机，用户无须安装、部署、维护自己的服务器，而是按使用镜像的小时数、网络带宽等付费。用户还可以根据 CPU 和带宽的使用率来动态启动或关闭 AMI 实例，从而更加经济地使用计算资源。亚马逊还提供了名为 S3（Simple Storage Service）的数据存储服务，提供不受限的在线存储。用户可以将数据存放在 S3 中，而不需要安装、部署和维护自己的数据库服务器。亚马逊推出的这些服务就是后来所说的“云计算”服务，但它当时并没有明确提出“云计算”的概念。

2006 年 8 月 9 日，Google 董事长兼 CEO 埃里克·施密特在一个搜索引擎大会（SES San Jose 2006）上提出了“云计算”的概念。2007 年 10 月初，Google 和 IBM 联合与 6 所大学签署协议，提供在大型分布式计算系统上开发软件的课程和支持服务，帮助学生和研究人员获得开发网络级应用软件的经验。这个项目的主要内容是讲授 Google 的 MapReduce 算法和 GFS 文件系统等核心技术。在这个合作中，云计算作为一个新概念被明确提出，此后由于 IBM 和 Google 公司在 IT 领域的影响力，越来越多的媒体、公司、技术人员和研究人员开始关注云计算。各大 IT 巨头从不同角度推出自己的云计算系列产品，包括 Google 的基础设施 [包括基于廉价 PC 的集群系统 Google Cluster（Barroso, Dean and Holzle, 2003）、文件系统 GFS（Ghemawat, Gobioff, Leung, 2003）、数据的分布存储系统 BigTable（Chang, Dean, Ghemawat, et al., 2006）、编程模型 MapReduce（Dean, Ghemawat, 2008）]、微软的 Windows Azure（<http://azure.microsoft.com/en-us/>）、IBM 的云计算 IBM Cloud（<http://www.ibm.com/cloud-computing/us/en/>）以及亚马逊的基础设施服务（包括存储服务 S3、计算服务 EC2 和数据库服务 SimpleDB 等）（Murty, 2008）等。云计算也引起了各国政府的高度重视，被认为具有一定的战略意义。

1.3 从领域应用需求看云计算

本章的目的是让读者初步认识云计算，特别是认识它能够解决的实际问题。云计算相关书籍多以互联网应用为背景讨论云计算的用武之地和优点。本章带读者从领域应用视角审视一下，我们今天面临的哪些问题是传统技术很难解决的，而云计算又能解决哪些问题。交通与我们的生活紧密相关，下面结合和我们每天出行息息相关的智能交通领域的应用需求，分三个层面初步认识云计算。

1.3.1 城市交通系统概述

图 1.1 所示是某市交通指挥中心大厅，每天的早晚两个交通高峰直接考验着交通管理部门的协调指挥能力。交通指挥中心不仅需要市区各主要交叉路口的闭路电视图像，还需要在电子地图上显示道路实时状况、警力分布以及交通警情处置等情况，整个功能需要覆盖接处警、案件管理、电子地图系统、电视监控、动静态数据采集管理、车驾信息、电子警察、治安卡口系统管理、交通信号控制、交通诱导、应急调度指挥、计算机辅助交通拥挤疏导和指挥决策调度、交通预案仿真、交通流显示、信息统计查询等。



图 1.1 某市交通指挥中心大厅

图 1.2 以协同布控业务为例，展示了交通指挥中心背后的交通系统涉及的具体应用场景。在该应用场景中，警方要追捕若干驾驶某车牌号的某型号车（车辆有可能多于一辆）逃窜的逃犯，这需要交通部门利用城市建立的专用车辆视频监控网络及时甄别监测出逃犯车牌，指挥中心能够及时接到警报并在电子地图上提示该车牌的详细相关信息，包括车辆

经过的路段及周边的监控图像。系统还能够预测逃犯可能经过的路口节点，并在指挥中心的电子地图上显示，方便交通部门与警方进行合作，合理调配警力资源进行布控。同时，指挥中心可通过指挥调度系统进行简单操作，将布控路段现场外围的道路预报信息及时传送到道路交通提示屏上，司机们看到信息后可马上绕道，以配合警方抓捕，避免交通拥堵。

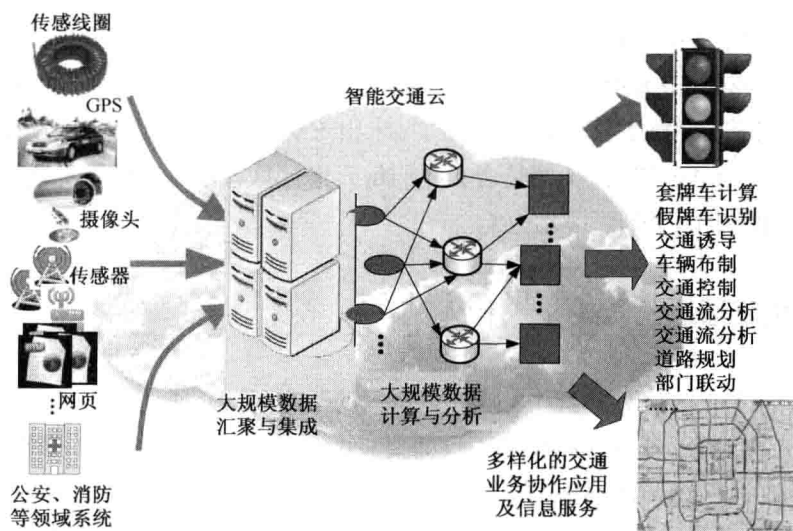


图 1.2 智能交通中的协同布控业务应用场景

事实上，目前在各大城市都建立了专用的车辆视频监控网络。在这个系统中，车辆监测点所传送的车辆监测数据是经过机动车车牌号码识别后的数据，每条车辆监测数据包括车牌号码、监测点号码、监测时间以及其他辅助信息。若一个城市仅按 1000 个监测点 180 天计，就将产生约 36 亿条车辆识别数据。来自各个监测点的数据以 1000 条/秒的频率汇聚到监管系统的处理中心，则此处理中心至少须承载约 3TB 左右的结构化数据以及 PB 级图片数据的存储、集成、管理和分析等需求。

1.3.2 信息处理基础设施需求

交通指挥中心的上述业务，对计算的实时性要求高，计算量大，所要采集、存储和处理的数据规模越来越大，瓶颈环节多，对信息处理基础设施的服务能力要求越来越高。这类信息处理基础设施通常不是单个服务器能够满足的，往往涉及多台服务器协同作业，形成人们通常所说的数据中心。

为了便于维护，将多个服务器和通信设备在物理上放在同一个位置，它们具有相同的物理环境。这些设备连同其物理环境被称为数据中心。数据中心提供专门的计算机房间，有基本的计算机系统设备和关联组件，包括电源、通信、存储系统、环境控制（如空调、灭火器）和安全设备等，它一般还包含冗余和备份电源、冗余数据通信连接等。

随着各行各业 IT 系统建设的规模扩大和发展完善，对数据中心的需求与日俱增，出