21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

大数据技术原理与应用
——概念、存储、处理、分析与应用

Principles and Applications of Big Data Technology-Big Data Conception, Storage, Processing, Analysis and Application

林子雨 编著

- 搭建起通向“大数据知识空间”的桥梁和纽带
- 构建知识体系、阐明基本原理、引导初级实践、了解相关应用
- 为读者在大数据领域“深耕细作”奠定基础、指明方向

中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

大数据技术原理与应用
——概念、存储、处理、分析与应用

Principles and Applications of Big Data Technology-Big Data Conception, Storage, Processing, Analysis and Application

林子雨 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

大数据技术原理与应用 : 概念、存储、处理、分析与应用 / 林子雨编著. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2015.8
21世纪高等教育计算机规划教材
ISBN 978-7-115-39287-9

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①林… Ⅲ. ①数据处理－高等学校－教材 Ⅳ. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第114600号

内 容 提 要

本书系统介绍了大数据的相关知识，分为大数据基础篇、大数据存储篇、大数据处理与分析篇、大数据应用篇。全书共 13 章，内容包含大数据的基本概念、大数据处理架构（Hadoop）、分布式文件系统（HDFS）、分布式数据库（HBase）、NoSQL 数据库、云数据库、分布式并行编程模型（MapReduce）、流计算、图计算、数据可视化，以及大数据在互联网、生物医学和物流等领域的应用。本书在 Hadoop、HDFS、HBase 和 MapReduce 等重要章节安排了入门级的实践操作，以便读者更好地学习和掌握大数据关键技术。

本书可以作为高等院校计算机、信息管理等相关专业的大数据课程教材，也可供相关技术人员参考。

◆ 编　　著　林子雨
责任编辑　邹文波
执行编辑　吴　婷
责任印制　焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京中新伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：16.25　　2015 年 8 月第 1 版
字数：423 千字　　2015 年 8 月北京第 1 次印刷

定价：45.00 元

读者服务热线：(010)81055256　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315

前　言

大数据作为继云计算、物联网之后IT行业又一颠覆性的技术，备受人们关注。大数据无处不在，包括金融、汽车、零售、餐饮、电信、能源、政务、医疗、体育、娱乐等在内的社会各行各业，都融入了大数据的印迹，大数据对人类的社会生产和生活必将产生重大而深远的影响。

大数据时代的到来，迫切需要高校及时建立大数据技术课程体系，为社会培养和输送一大批具备大数据专业素养的高级人才，满足社会对大数据人才日益旺盛的需求。本书定位为大数据技术入门教材，为读者搭建起通向“大数据知识空间”的桥梁和纽带。本书将系统梳理、总结大数据相关技术，介绍大数据技术的基本原理和大数据的主要应用，帮助读者形成对大数据知识体系及其应用领域的轮廓性认识，为读者在大数据领域“深耕细作”奠定基础、指明方向。在本书的基础上，感兴趣的读者可以通过其他诸如《Hadoop权威指南》等工具书，继续深入学习和实践大数据相关技术。

本书紧紧围绕“构建知识体系，阐明基本原理，引导初级实践，了解相关应用”的指导思想，对大数据知识体系进行系统梳理，做到“有序组织、去粗取精、由浅入深、渐次展开”。本书共分四大部分，包括大数据基础篇、大数据存储篇、大数据处理与分析篇和大数据应用篇。在大数据基础篇中，第1章介绍大数据的基本概念和应用领域，并阐述大数据、云计算和物联网的相互关系；第2章介绍大数据处理架构Hadoop，由于Hadoop已经成为应用最广泛的大数据技术，因此，本书的大数据相关技术主要围绕Hadoop展开，包括Hadoop MapReduce、HDFS和HBase，本章

是第3、4、7章的基础。在大数据存储篇中，用4章（第3～6章）的内容介绍了大数据存储相关技术的概念与原理，包括分布式文件系统（HDFS）、分布式数据库（HBase）、NoSQL 数据库和云数据库。在大数据处理与分析篇，首先在第7章介绍了大数据处理和分析的核心技术——分布式并行编程模型 MapReduce，然后，在第8章和第9章分别介绍了大数据时代两种新兴的数据分析技术——流计算和图计算，最后在第10章简单介绍了可视化技术。在大数据应用篇，用3章（第11章～第13章）内容介绍了大数据在互联网、生物医学和物流等领域的典型应用。

本书面向高校计算机和信息管理等相关专业的学生，可以作为专业必修课或选修课的教材。在教学过程中，建议安排32学时，16个教学周，每周2学时。每章的具体学时分配如下：第1、2、5、6、8、10、11章每章安排2学时；第3、4、9章每章安排4学时；第7章安排6学时；第12、13章这两章内容由学生自学完成。

本书由林子雨执笔。在撰写过程中，厦门大学计算机科学系硕士研究生刘颖杰、叶林宝、蔡珉星、李雨倩、谢荣东、罗道文以及本科生黄梓铭、李粲等做了大量辅助性工作，在此，向这些同学的辛勤工作表示衷心的感谢。

本书官方网站是 http://dblab.xmu.edu.cn/post/bigdata，提供教学 PPT 和相关资料的下载，并接受错误反馈和发布教材勘误信息。

本书在撰写过程中，参考了大量国内外的教材、专著、论文和资料，对大数据知识进行了系统梳理，有选择地把一些重要知识纳入本书。本书也是笔者多年在数据科学领域从事教学、科研、产业方面工作的系统总结。由于笔者能力有限，本书难免存在不足之处，望广大读者不吝赐教。

林子雨
厦门大学计算机科学系数据库实验室
2015年3月

作者介绍

林子雨（1978－），男，博士。厦门大学计算机科学系助理教授，主要研究领域为大数据、数据库、数据仓库和数据挖掘。

主讲课程：《大数据技术基础》。

个人主页：http://www.cs.xmu.edu.cn/linziyu。

E-mail: ziyulin@xmu.edu.cn。数据库实验室网站：http://dblab.xmu.edu.cn。

林子雨博士，厦门大学计算机科学系助理教授，中国高校首个“数字教师”的提出者和建设者。于2001年获得福州大学水利水电专业学士学位，2005年获得厦门大学计算机专业硕士学位，2009年获得北京大学计算机专业博士学位。主要研究方向为数据库、数据仓库、数据挖掘、大数据和云计算，发表期刊和会议学术论文多篇。曾作为志愿者翻译了《Google Spanner》、《BigTable》和《Architecture of a Database System》等英文学术资料，并与广大网友分享，深受欢迎。2013年在厦门大学开设了《大数据技术基础》课程，并因在教学领域的突出贡献和学生的认可，成为2013年度厦门大学教学类奖教金获得者。

目 录

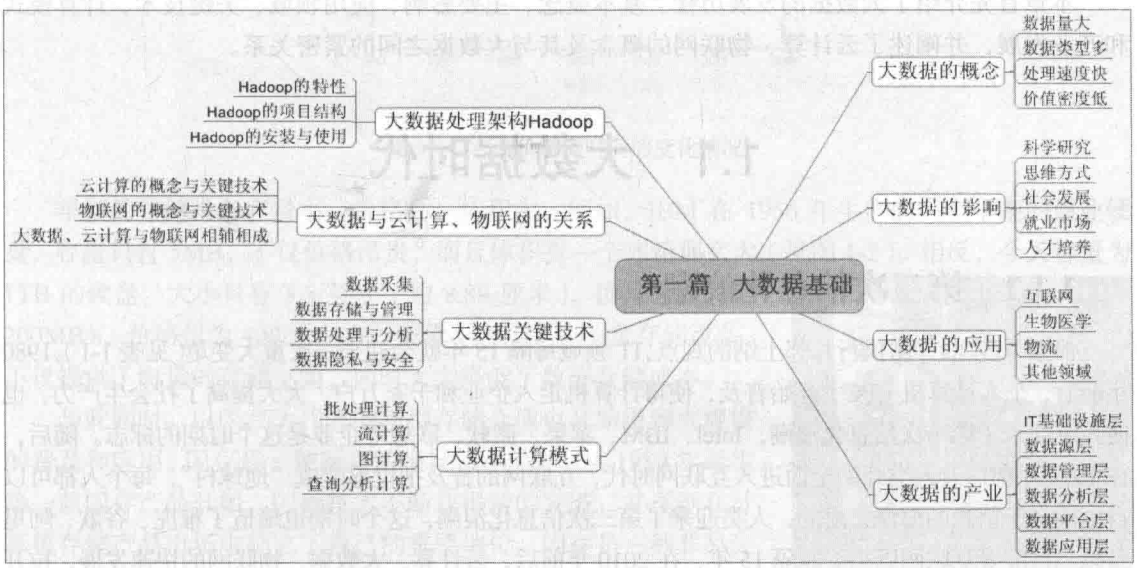
第一篇
大数据基础

本篇内容

本篇介绍大数据（Big Data）的基本概念、影响和应用领域，并阐述大数据、云计算和物联网的相互关系，还介绍了大数据处理架构 Hadoop。由于 Hadoop 已经成为应用最广泛的大数据技术，因此，本书的大数据相关技术主要围绕 Hadoop 展开，包括 Hadoop MapReduce、HDFS 和 HBase。本篇内容是学习后续内容的基础。

本篇包括两章。第 1 章介绍大数据的概念和应用，分析了大数据、云计算和物联网的相互关系；第 2 章介绍大数据处理架构 Hadoop。

知识地图



重点与难点

重点为理解大数据的概念，大数据对科学研究、思维方式和社会发展的影响，以及大数据处理架构 Hadoop。难点为掌握 Hadoop 的安装与使用方法。

第1章 大数据概述

大数据时代悄然来临，带来了信息技术发展的巨大变革，并深刻影响着社会生产和人民生活的方方面面。全球范围内，世界各国政府均高度重视大数据技术的研究和产业发展，纷纷把大数据上升为国家战略加以重点推进。企业和学术机构纷纷加大技术、资金和人员投入力度，加强对大数据关键技术的研发与应用，以期在“第三次信息化浪潮”中占得先机、引领市场。大数据已经不是“镜中花、水中月”，它的影响力和作用力正迅速触及社会的每个角落，所到之处，或是颠覆，或是提升，都让人们深切感受到了大数据实实在在的威力。

对于一个国家而言，能否紧紧抓住大数据发展机遇，快速形成核心技术和应用参与新一轮的全球化竞争，将直接决定未来若干年世界范围内各国科技力量博弈的格局。大数据专业人才的培养是新一轮科技较量的基础，高等院校承担着大数据人才培养的重任，因此，各高等院校非常重视大数据课程的开设，大数据课程已经成为计算机科学与技术专业的重要核心课程。

本章首先介绍了大数据的发展历程、基本概念、主要影响、应用领域、关键技术、计算模式和产业发展，并阐述了云计算、物联网的概念及其与大数据之间的紧密关系。

1.1 大数据时代

1.1.1 第三次信息化浪潮

根据IBM前首席执行官郭士纳的观点，IT领域每隔15年就会迎来一次重大变革（见表1-1）。1980年前后，个人计算机（PC）开始普及，使得计算机走入企业和千家万户，大大提高了社会生产力，也使人类迎来了第一次信息化浪潮，Intel、IBM、苹果、微软、联想等企业是这个时期的标志。随后，在1995年前后，人类开始全面进入互联网时代，互联网的普及把世界变成“地球村”，每个人都可以自由徜徉于信息的海洋，由此，人类迎来了第二次信息化浪潮，这个时期也缔造了雅虎、谷歌、阿里巴巴、百度等互联网巨头。时隔15年，在2010年前后，云计算、大数据、物联网的快速发展，拉开了第三次信息化浪潮的大幕，大数据时代已经到来，也必将涌现出一批新的市场标杆企业。

表1-1 三次信息化浪潮

信息化浪潮	发生时间	标志	解决的问题	代表企业
第一次浪潮	1980年前后	个人计算机	信息处理	Intel、AMD、IBM、苹果、微软、联想、戴尔、惠普等

续表

信息化浪潮	发生时间	标志	解决的问题	代表企业
第二次浪潮	1995 年前后	互联网	信息传输	雅虎、谷歌、阿里巴巴、百度、腾讯等
第三次浪潮	2010 年前后	物联网、云计算和大数据	信息爆炸	将涌现出一批新的市场标杆企业

1.1.2　信息科技为大数据时代提供技术支撑

信息科技需要解决信息存储、信息传输和信息处理 3 个核心问题，人类社会在信息科技领域的不断进步，为大数据时代的到来提供了技术支撑。

1. 存储设备容量不断增加

数据被存储在磁盘、磁带、光盘、闪存等各种类型的存储介质中，随着科学技术的不断进步，存储设备制造工艺不断升级，容量大幅增加，速度不断提升，价格却在不断下降（见图 1-1）。

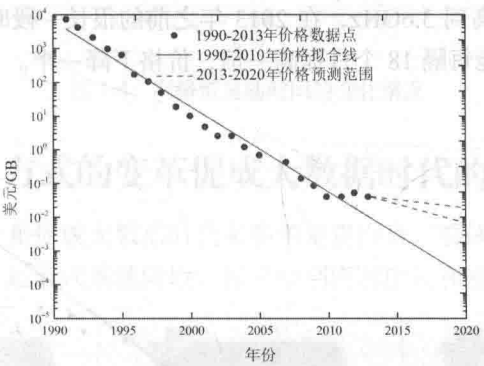


图 1-1　存储价格随时间的变化情况

早期的存储设备容量小、价格高、体积大，例如，IBM 在 1956 年生产的一个早期的商业硬盘，容量只有 5MB，不仅价格昂贵，而且体积有一个冰箱那么大（见图 1-2）。相反，今天容量为 1TB 的硬盘，大小只有 3.5 英寸（约 8.89 厘米），读写速度达到 200MB/s，价格仅为 400 元左右。廉价、高性能的硬盘存储设备，不仅提供了海量的存储空间，同时大大降低了数据存储成本。

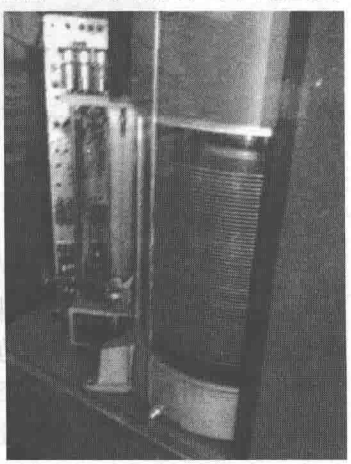


图 1-2　IBM 在 1956 年生产的一个早期的商业硬盘

与此同时，以闪存为代表的新型存储介质也开始得到大规模的普及和应用。闪存是一种新兴的半导体存储器，从 1989 年诞生第一款闪存产品开始，闪存技术不断获得新的突破，并逐渐在计算机存储产品市场中确立了自己的重要地位。闪存是一种非易失性存储器，即使发生断电也不会丢失数据，因此，可以作为永久性存储设备，它具有体积小、质量轻、能耗低、抗震性好等优良特性。

闪存芯片可以被封装制作成 SD 卡、U 盘和固态盘等各种存储产品，SD 卡和 U 盘主要用于个人数据存储，固态盘则越来越多地应用于企业级数据存储。一个 32GB 的 SD 卡，体积只有

24mm×32mm×2.1mm，质量只有 0.5 克。以前 7 200r/min 的硬盘，一秒钟只有 100 个 IOPS（Input/Output Operations Per Second），速率只有 50MB/s，而现在的基于闪存的固态盘，每秒钟有几万甚至更高的 IOPS，访问延迟只有几十微秒，允许我们以更快的速度读写数据。

总体而言，数据量和存储设备容量二者之间是相辅相成、互相促进的。一方面，随着数据的不断产生，需要存储的数据量不断增加，对存储设备的容量提出了更高的要求，促使存储设备生产商制造更大容量的产品满足市场需求；另一方面，更大容量的存储设备，进一步加快了数据量增长的速度，在存储设备价格高企的年代，由于考虑到成本问题，一些不必要或当前不能明显体现价值的数据往往会被丢弃，但是，随着单位存储空间价格的不断降低，人们开始倾向于把更多的数据保存起来，以期在未来某个时刻可以用更先进的数据分析工具从中挖掘价值。

2. CPU 处理能力大幅提升

CPU 处理速度的不断提升也是促使数据量不断增加的重要因素。性能不断提升的 CPU，大大提高了处理数据的能力，使得我们可以更快地处理不断累积的海量数据。从 20 世纪 80 年代至今，CPU 的制造工艺不断提升，晶体管数量不断增加（见图 1-3），运行频率不断提高，核心（Core）数量逐渐增多，而同等价格所能获得的 CPU 处理能力也呈几何级数上升。在 30 多年里，CPU 的处理速度已经从 10MHz 提高到 3.6GHz，在 2013 年之前的很长一段时期，CPU 处理速度的增加一直遵循“摩尔定律”，性能每隔 18 个月提高一倍，价格下降一半。

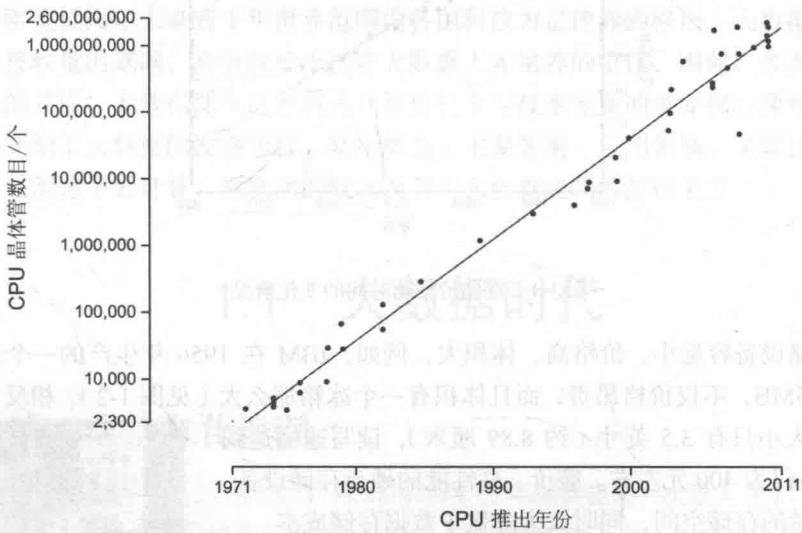


图 1-3　CPU 晶体管数目随时间的变化情况

3. 网络带宽不断增加

1977 年，世界上第一条光纤通信系统在美国芝加哥市投入商用，数据传输速率为 45Mbit/s，从此，人类社会的信息传输速度不断被刷新。进入 21 世纪，世界各国更是纷纷加大宽带网络建设力度，不断扩大网络覆盖范围和传输速度（见图 1-4）。以我国为例，截至 2012 年 6 月，92.6% 的固定宽带用户接入速率达到或超过 2Mbit/s，国际互联网出口带宽达到 1.48Tbit/s，是 2005 年的 11.4 倍。与此同时，移动通信宽带网络迅速发展，3G 网络基本普及，4G 网络覆盖范围不断加大，各种终端设备可以随时随地传输数据。大数据时代，信息传输不再遭遇网络发展初期的瓶颈和制约。

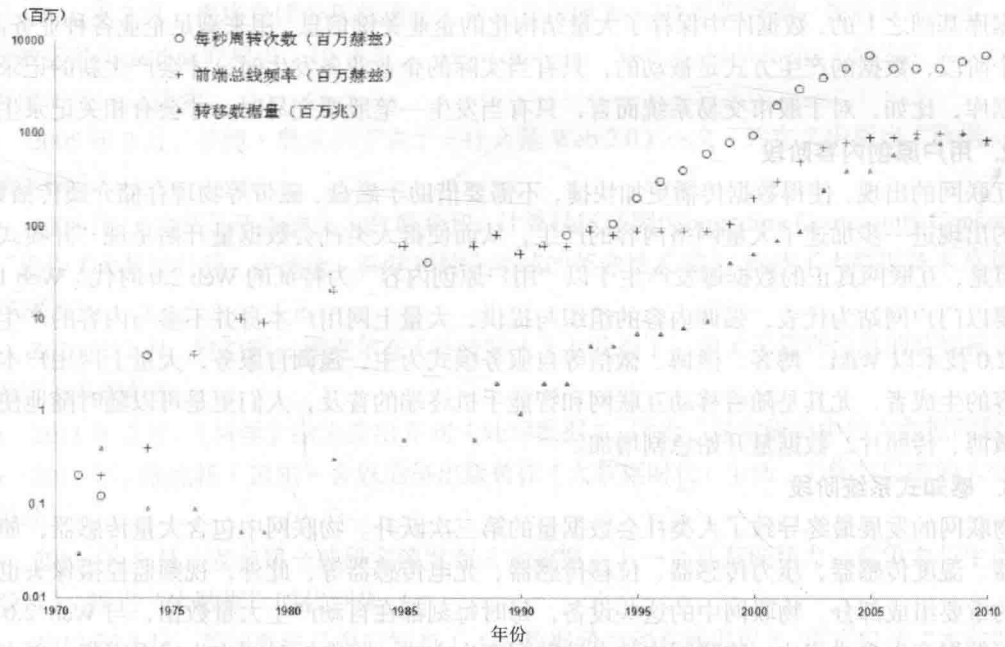


图 1-4　网络带宽随时间的变化情况

1.1.3　数据产生方式的变革促成大数据时代的来临

数据产生方式的变革，是促成大数据时代来临的重要因素。总体而言，人类社会的数据产生方式大致经历了三个阶段：运营式系统阶段、用户原创内容阶段和感知式系统阶段（见图 1-5）。

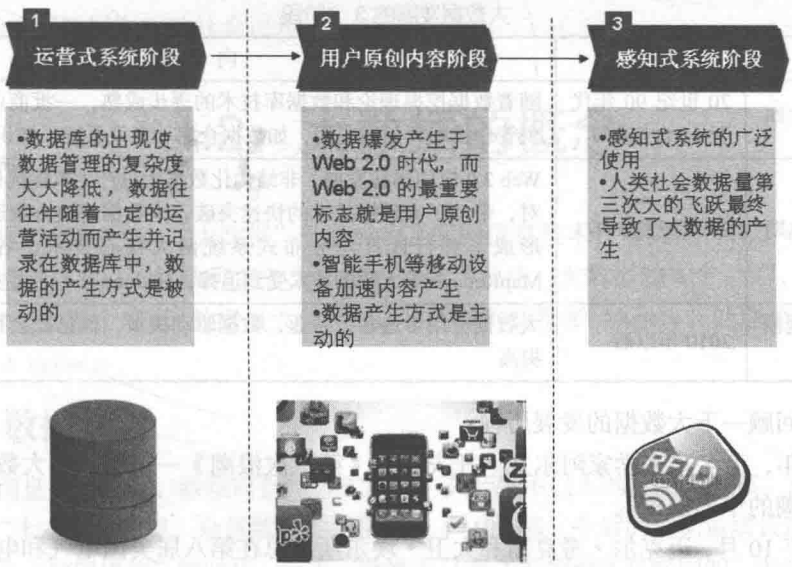


图 1-5　数据产生方式的变革

1. 运营式系统阶段

人类社会最早大规模管理和使用数据，是从数据库的诞生开始的。大型零售超市销售系统、银行交易系统、股市交易系统、医院医疗系统、企业客户管理系统等大量运营式系统，都是建立

在数据库基础之上的，数据库中保存了大量结构化的企业关键信息，用来满足企业各种业务需求。在这个阶段，数据的产生方式是被动的，只有当实际的企业业务发生时，才会产生新的记录并存入数据库，比如，对于股市交易系统而言，只有当发生一笔股票交易时，才会有相关记录生成。

2. 用户原创内容阶段

互联网的出现，使得数据传播更加快捷，不需要借助于磁盘、磁带等物理存储介质传播数据，网页的出现进一步加速了大量网络内容的产生，从而使得人类社会数据量开始呈现“井喷式”增长。但是，互联网真正的数据爆发产生于以“用户原创内容”为特征的 Web 2.0 时代。Web 1.0 时代主要以门户网站为代表，强调内容的组织与提供，大量上网用户本身并不参与内容的产生。而 Web 2.0 技术以 Wiki、博客、微博、微信等自服务模式为主，强调自服务，大量上网用户本身就是内容的生成者，尤其是随着移动互联网和智能手机终端的普及，人们更是可以随时随地使用手机发微博、传照片，数据量开始急剧增加。

3. 感知式系统阶段

物联网的发展最终导致了人类社会数据量的第三次跃升。物联网中包含大量传感器，如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、光电传感器等，此外，视频监控摄像头也是物联网的重要组成部分。物联网中的这些设备，每时每刻都在自动产生大量数据，与 Web 2.0 时代的人工数据产生方式相比，物联网中的自动数据产生方式，将在短时间内生成更密集、更大量的数据，使得人类社会迅速步入“大数据时代”。

1.1.4 大数据的发展历程

从大数据的发展历程来看，总体上可以划分为 3 个重要阶段：萌芽期、成熟期和大规模应用期（见表 1-2）。

表 1-2　　大数据发展的 3 个阶段

阶段	时间	内　容
第一阶段：萌芽期	20 世纪 90 年代至 21 世纪初	随着数据挖掘理论和数据库技术的逐步成熟，一批商业智能工具和知识管理技术开始被应用，如数据仓库、专家系统、知识管理系统等
第二阶段：成熟期	21 世纪前十年	Web 2.0 应用迅猛发展，非结构化数据大量产生，传统处理方法难以应对，带动了大数据技术的快速突破，大数据解决方案逐渐走向成熟，形成了并行计算与分布式系统两大核心技术，谷歌的 GFS 和 MapReduce 等大数据技术受到追捧，Hadoop 平台开始大行其道
第三阶段：大规模应用期	2010 年以后	大数据应用渗透各行各业，数据驱动决策，信息社会智能化程度大幅提高

这里简要回顾一下大数据的发展历程。

- 1980 年，著名未来学家阿尔文·托夫勒在《第三次浪潮》一书中，将大数据热情地赞颂为“第三次浪潮的华彩乐章”。
- 1997 年 10 月，迈克尔·考克斯和大卫·埃尔斯沃思在第八届美国电气和电子工程师协会（IEEE）关于可视化的会议论文集中，发表了《为外存模型可视化而应用控制程序请求页面调度》的文章，这是在美国计算机学会的数字图书馆中第一篇使用“大数据”这一术语的文章。
- 1999 年 10 月，在美国电气和电子工程师协会（IEEE）关于可视化的年会上，设置了名为“自动化或者交互：什么更适合大数据？”的专题讨论小组，探讨大数据问题。