

互联网技术发展白皮书

第一卷：发展脉络与体系架构

信息产业部电信研究院

2007 年 7 月

版权声明

本报告版权属于信息产业部电信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：信息产业部电信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。

前言

互联网是人类 20 世纪最伟大的基础性科技发明之一。作为信息传播的新载体、科技创新的新手段,互联网的普及和发展改变了人类的生活和生产方式,引发了前所未有的信息革命和产业革命,也必将进一步引发深刻的社会变革。

互联网已经成功走过了实验科研阶段和社会化应用启动阶段,正处于社会化应用发展阶段。在互联网逐步成长为国家信息基础设施的过程中,集中体现互联网理念、技术和属性的体系架构已经受到了严峻挑战,导致与体系架构密切相关的网络安全、服务质量、商业模式等问题长期难以解决。

本报告研究了互联网的理念、体系架构、技术特征、外在属性及其应用历程,展望了未来互联网的体系架构和技术发展趋势等。

互联网从技术到应用都处在发展初期。对于互联网,人们的已知远不如未知,未来互联网将会有更大的发展空间和更广泛的影响力。

目 录

互联网的理念和相关特性	1
互联网的理念	1
互联网的体系架构	2
互联网的典型技术特征	2
互联网的外在属性	3
互联网的应用历程	4
互联网应用的阶段划分	4
互联网不同应用阶段的典型特征	6
互联网发展面临的挑战与问题	7
应用场景变迁带来挑战	7
体系架构引发问题	8
未来互联网的理念和相关特性	10
未来互联网的理念	10
未来互联网的体系架构	10
未来互联网的典型技术特征	11
未来互联网的外在属性	11
未来互联网的技术演进思路	12
“改良”思路	12
“整合”思路	12
“革命”思路	13
未来互联网技术演进思路的案例分析	14
“改良”思路的代表性技术:IPv6	14
“整合”思路的代表性技术:重叠网技术	14
“革命”思路的代表性技术:GENI 计划	15
附录:缩略语	16



互联网的理念和相关特性

随着社会的发展和技术的进步,人们渴望更加开放、平等、自由的信息交流。20 世纪诞生的互联网,正是这样一个可以打破时空局限、交流各种信息的互动平台,使所有人都可能通过网络充分共享全社会的智慧。图 1 概括了互联网的理念、体系架构及其具有的相关特性。

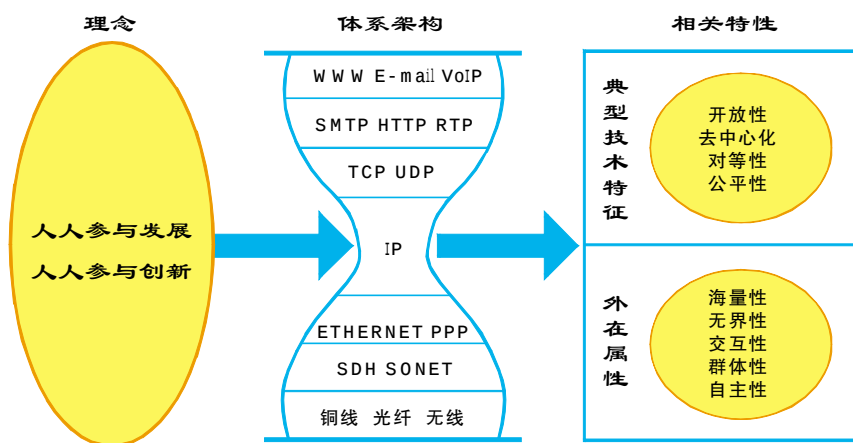


图 1 互联网的理念、体系架构和相关特性

互联网的理念

互联网在其发展历程中一直秉承着“人人参与”的理念,即

人人都能够参与互联网的发展和创新。与传统电话和广播电视等信息网络的用户只能被动接受服务商提供的特定服务不同，互联网的每个用户既可以是信息服务的消费者，也可以是信息服务的提供者。



互联网的体系架构

为了实现“人人参与”的理念，互联网采用了“端到端透明性”^[1]的核心设计原则，即用户可以利用计算机、手机等终端的智能性产生各种信息，网络只是简单、“尽力而为”地传递信息而不做任何记忆与控制。这种俗称为“智能终端+傻网络”的体系架构有效简化了网络的功能，把信息处理和控制的复杂性最大限度地交给终端节点（包括服务器和用户），使用户拥有了更大的自主性和更广阔的创新空间，从根本上提供了人人参与互联网发展和创新的机会。

互联网的典型技术特征

在“人人参与”理念和“端到端透明性”设计原则的指导下，今天的互联网呈现出了以下典型技术特征。

1. 开放性：互联网支持端到端的业务与承载分离，提供标

[1] 参见 rfc 2775:Internet Transparency



准的、开放的网络层接口,所有人可以利用相关开放接口设计和提供任何业务和应用。

2. 去中心化:互联网是局部自治的,没有集中的资源管理和控制中心。

3. 对等性:互联网的网络节点与终端节点是对等的,终端节点之间也是对等的。

4. 公平性:互联网对不同用户、不同业务和应用的流量都提供“尽力而为”的公平服务。

互联网的外在属性

从用户的视角和感受来看,互联网特有的体系架构使其呈现出信息的海量性,网络服务的无界性,用户的交互性、群体性和自主性等鲜明的外在属性。

互联网的应用历程

互联网应用的阶段划分

互联网从出现到今天,其发展历程可分为三个阶段,如图 2 所示。

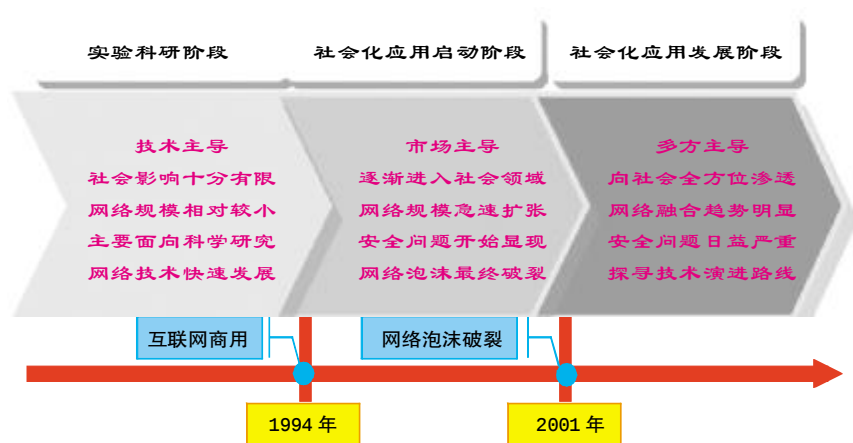


图 2 互联网应用的三个阶段

第一阶段:实验科研阶段(1969~1994 年)。出于与前苏联争霸的需要,为了保证在核打击下军事通信的畅通,美国国防部于 1969 年建立了由 4 台计机构成的、分布式控制的分组交换网——阿帕网。1983 年,为了满足更大规模网络互联的需求,阿帕网采用了新型数据封包和选路协议(TCP/IP),并被正



式命名为“互联网(Internet)”。1986年美国国家科学基金会出资在全美建立了全国性的互联网络(NSFnet),并在随后发展为互联网的主干网络。这一时期的互联网由政府出资建设,主要面向科学研究,网络开放给科研人员免费使用,网络规模和用户规模小、数据传输速率低。互联网网络技术快速发展并逐步成熟,但应用技术相对单一,主要是文件传输和电子邮件,操作也较为繁复。

第二阶段:社会化应用启动阶段(1994~2001年)。1994年,美国允许商业资本介入互联网建设与运营,互联网从实验室进入了面向社会的商用时期,开始向各行业渗透。万维网(WWW)技术的发明大大降低了信息交流和资源共享的技术门槛,为互联网迅速普及提供了技术基础。这一阶段,互联网的发展主要体现为网络的扩张、用户的增加、大批网站的涌现、以及VoIP和综合新闻网站等应用的出现和繁荣。同时,病毒和垃圾邮件等的泛滥导致用户间出现信任危机。由于商用初期的互联网没能找到合理有效的盈利模式,市场又存在过度的投机行为,因而最终导致世纪之交全球性“网络泡沫”的出现与破灭。

第三阶段:社会化应用发展阶段(2001年至今)。进入21世纪,宽带、无线移动通信等技术的发展,为互联网应用类型的丰富和应用领域的拓展创造了有利条件。在网络规模和用户数量持续增加的同时,互联网逐渐应用到金融、商贸、公共服务、社会

管理、新闻出版、广播影视等经济社会生活的各个领域。IP 技术以其强大的包容性和渗透力,促进了互联网与电信网、广电网等的融合。以博客、播客等为代表的具有自组织、个性化特征的 Web2.0 技术使普通用户可以轻松成为互联网内容的提供者,促进了网络内容的日益繁荣。然而伴随着新技术的涌现及其应用领域的扩张,互联网的安全问题也日益严重,开始影响其可持续健康发展,互联网治理提上了各国政府的议事日程。

互联网不同应用阶段的典型特征

表 1 汇总了互联网不同应用阶段的典型特征。

表 1 互联网不同应用阶段的典型特征

时间段 特征	实验科研阶段 1969~1994 年	社会化应用启动阶段 1994~2001 年	社会化应用发展阶段 2001 年至今
核心驱动力	技术	市场	多因素
用户特征	少量用户 (相互信任的科研人员和 政府工作人员)	大量用户 (用户群多样化,用户 间出现信任危机)	海量用户 (用户彼此不信任,机器间 通信需求出现)
应用情况	应用于科研教育 (E-mail、BBS、FTP 等)	开始向各行业渗透 (Web 应用,VoIP)	全面渗透各行业(Web2.0 应用,视频应用)
资金来源	政府科研基金	商业资本	商业资本为主
政府作用	资金支持	促进产业发展	发展与治理并重



互联网发展面临的挑战与问题

互联网由实验科研应用向社会化应用的发展过程中,出现了很多与体系架构密切相关的问题,使得原来理想化的“端到端透明性”的互联网核心设计原则遇到了极大的挑战。

应用场景变迁带来挑战

1. 用户群体的变化

互联网最初由具有共同爱好的技术专家设计开发,在一个规模很小、关系密切、对终端具有很强操控能力的用户群体中使用,因此互联网的体系架构也就建立在了用户自律和彼此信任的重要假设之上。然而随着互联网应用范围的不断扩大,用户构成日益复杂,非专业人员成为主体,普遍缺乏安全防护技能,用户之间信任度降低,甚至不同用户间可能存在利益冲突。互联网用户自律和彼此信任的基本假设在用户群体发生变化的今天已经不复存在,而网络的“端到端透明性”为安全攻击、病毒和其他有害信息的传播打开了方便之门。

2. 应用目的变化

互联网初期是由科研团体或政府机构管理的非商用的实验网,应用种类较少,主要为教育科研服务;而现在互联网已经进

入社会化应用阶段,新技术新应用层出不穷,并快速向国民经济各部门渗透,已经成为国家信息基础设施的重要组成部分。互联网的规模化应用使得互联网的安全、商业模式和服务质量等问题成为其可持续健康发展的瓶颈。

3. 产业链的变化



目前互联网产业链各环节之间缺乏有效的利益分配和协调机制。端到端的业务与承载分离使得网络基本成为透明的传输通道,业务实现与控制的权利和责任完全推向业务/服务提供商和用户。这一方面使得业务/服务提供商和用户承担过多的责任;另一方面导致业务的开发部署不需要网络服务商的参与,没有使网络服务商成为“利益攸关方”,打击了投资积极性,因而很多与网络属性密切相关的业务无法顺利开展。

体系架构引发问题

基于“端到端透明性”的网络体系架构有很多优点,是互联网蓬勃发展的决定性因素。因为只有这种端到端的业务与承载分离,才能够提供完全开放的网络层应用开发接口,让用户都可以参与到互联网的发展和创新中去,同时大大提高网络的可扩展性。

但任何事物都是辩证的。“端到端透明性”在为互联网带来巨大发展优势的同时,也为互联网后来出现的很多问题埋下了



几乎难以克服的隐患。在互联网应用场景发生巨变的情况下,现有体系架构使得网络缺乏可控性的弊端日渐凸现。

1. 网络安全问题

互联网体系架构支持端到端的业务与承载分离,专注于数据包传递的傻瓜型网络为上层应用提供统一的 IP 接口,将几乎所有控制能力以及安全责任都推到了网络边缘的用户手中。网络对于上层应用不感知、不限制,缺乏奖惩机制,使得用户行为不可控,溯源成本极高,肇事者普遍有恃无恐。另外,这也进一步增加了对互联网内容实施合法监听的困难。

2. 服务质量问题

互联网缺乏必要的资源控制管理机制,只能提供“尽力而为”的服务,服务质量的改善只能依赖于网络资源的增加和用户资源使用行为的自律。实际上,互联网不对上层业务和应用提供任何服务质量承诺,导致一些对实时性要求较高的应用(如视频)很难在互联网上规模化开展。此外,互联网的动态路由也在很大程度上增加了互联网服务质量问题的解决难度。

未来互联网的理念和相关特性

未来互联网的理念



作为国家信息基础设施的重要组成部分,互联网必将继续向国民经济各部门快速渗透,更加深刻地影响人类的生活和生活方式,大大推动社会信息化的发展进程。同时,互联网在面向新的应用需求和发展中暴露出了一些问题,虽然未来的互联网在很多方面可能都需要进行改变,但应该继续坚持一直崇尚的“人人参与”理念。否则,互联网将失去前进的动力和方向,也就不能再被称为“互联网”。但需要注意的是,坚持互联网的理念并不是要将“人人参与”所衍生出来的“开放”、“平等”、“自由”和“创新”等精神绝对化和教条化。

未来互联网的体系架构

由于互联网的应用目的发生了很大变化,而且“用户自律”的假设不再适用,因此未来互联网应对现有的体系架构做相应的修正和发展,以便在新的历史发展阶段适应新的应用需求。未来互联网仍将坚持“端到端透明性”的体系架构,但应满足一



定的约束条件,即“有条件的端到端透明性”。在保证人人能够继续参与互联网发展和创新的前提下,网络中应内嵌一些对用户透明的管理和控制机制,抑制用户的不自律行为,平衡产业链不同角色之间的职责和利益。

未来互联网的典型技术特征

基于“有条件的端到端透明性”核心设计原则的未来互联网体系架构,将具有如下典型技术特征:

1. 继续坚持“开放性”原则,但应增加网络对应用的感知和控制能力。网络对“利益冲突性”或“不受欢迎”的应用将有能力和相应的机制进行协调、控制和惩罚。
2. 继续“去中心化”原则,但需要一些全球性的协作机制来解决网络安全和垃圾信息等问题。
3. 继续坚持“对等性”原则。
4. 鼓励网络提供差异化的服务,设法抑制资源滥用的行为,以满足商业模型的多样化需求。

未来互联网的外在属性

在海量性、无界性、交互性、群体性、自主性等现有外在属性的基础之上,未来互联网将使所有用户体验到一个更加安全可信的、更高服务质量的、无所不在的和谐网络虚拟社会。

未来互联网的技术演进思路

现有互联网向未来互联网的技术演进方式目前大致有“改良”、“整合”和“革命”三种思路。

“改良”思路

“改良”思路认为,考虑到现有互联网的巨大存量,可以利用新技术对现有互联网进行修补,例如使用地址翻译、资源控制、安全监控等技术来解决互联网体系架构中暴露出来的问题,以满足互联网的社会化应用对其不断增长的各种需求。

“整合”思路

“整合”思路认为,对现有互联网技术直接进行零敲碎打式的修补无法真正解决问题,但对互联网进行彻底革新还需要一个很长的过程。面对迫切需要解决的各种问题,应当寻求一个介于零星修补和彻底革新之间的折衷方案,即做系统性的、大范围的、整体性的修补。

互联网采用“覆盖(Overlay)”的方法设计了路由器网络,



覆盖在各种需要互联的异构网络之上,因此其本身是一种重叠网(Overlay Network)。在现有体系架构的基础上,可以仍然遵循重叠网的思想,在互联网承载层之上、应用层之下增加一个垫层,系统性地在这个垫层中实现承载层中个性化和应用层中共性化的功能,在尊重互联网现实存量的基础上让互联网更加健康地持续发展。

“革命”思路

“革命”思路认为,无论是零星的修补还是系统性的修补,只会让互联网的发展负担更重,现有的互联网体系架构都已经无法承担未来国家信息基础设施的重任,因此需要确定一个长期的目标,设计全新的互联网。目前新型互联网体系架构的研究正逐步成为一个全球性研究热点,各种新思路、新技术不断涌现,如美国麻省理工学院的 FARA 模型、加州大学的 I3 网络、美国国家科学基金会的 GENI 计划等,但是技术方向尚未明朗,各种技术需要进一步碰撞与融合。

未来互联网技术演进思路的案例分析

“改良”思路的代表性技术:IPv6



IPv6 设计于上世纪 90 年代,互联网当时面临的主要问题是地址短缺。但在 IPv6 尚未大规模推广使用的今天,人们逐渐发现互联网面临的核心问题已经由原来的地址短缺变成了网络安全、商业模型和服务质量等问题,而这些恰恰是 IPv6 设计中没有系统考虑的“弱项”。用户和网络服务商对 IPv6 的好处并不敏感,这导致 IPv6 的市场推动力不足。因此,虽然十多年前 IPv6 被选择作为下一代互联网(NGI)协议,但目前 IPv6 继续沿用了 IPv4 的体系架构,难以给互联网的发展带来革命性的影响,只是改良性的“下一个版本”而不是“下一代”的互联网协议。

“整合”思路的代表性技术:重叠网技术

重叠网技术的基本思路是在互联网承载层之上、应用层之下增加一个“垫层”,为上层业务和应用提供有针对性的服务。这种方式不必改变目前已经广泛应用的 IP 承载网技术,不抑制用户创新,只对已有的应用和业务进行适当控制,是对现有



互联网体系架构的“系统性”修补。重叠网技术可以最大程度地降低由现实存量网络所造成的承载层问题的解决难度,充分兼容现实存量网络和设备,提高方案可行性并减小实施成本。

“革命”思路的代表性技术: GENI 计划

为了给新技术提供充分发展和公平竞争的机会,美国的 GENI 计划期望构建一个全新的、安全的、能够连接所有设备的、能够灵活适应多种新型网络体系架构的互联网络,其目的是通过建设基于“资源片”有效调度的试验网络,为各种新型网络方案提供个性化的、开放的试验床。各种新型的网络体系架构都可以在这个开放的试验网络上快速配置,从而实现一个物理网络支撑多个逻辑网络,可以试验验证多种不同的新型网络实现方案的目标。其主要研究内容包括网络分布式体系架构、资源片调度管理机制、各种网络实现方案向试验床的适配机制等。

附录：缩略语

缩略词	英文全称
BBS	Bulletin Board System
FARA	Forwarding Directive, Association, and Rendezvous Architecture
FTP	File Transfer Protocol
GENI	Global Environment for Network Innovations
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
I3	Internet Indirect Infrastructure
IP	Internet Protocol
NGI	Next Generation Internet
PPP	Point-to-Point Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SONET	Synchronous Optical Network
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VoIP	Voice over IP
WWW	World Wide Web