

学术中国·院士系列  
未来网络创新技术研究系列

# 未来网络体系与核心技术

人民邮电出版社



“十二五”

国家重点图书出版规划项目

学术中国·院士系列

未来网络创新技术研究系列

# 未来网络体系 与核心技术

■ 兰巨龙 胡宇翔 张震 江逸茗 王鹏 邬江兴 编著

Future Network Architectures  
and Core Technologies

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

未来网络体系与核心技术 / 兰巨龙等编著. — 北京:  
人民邮电出版社, 2017.2

(学术中国. 院士系列. 未来网络创新技术研究系列)  
ISBN 978-7-115-43918-5

I. ①未… II. ①兰… III. ①计算机网络—网络结构  
—研究 IV. ①TP393.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第269793号

## 内 容 提 要

本书在介绍未来网络体系发展背景、基本概念和演进路线的基础上,通过对比分析现有国内外典型网络体系结构,总结提炼和详细阐述了未来网络体系结构和核心技术,并讨论了未来网络试验床。基于对未来网络的体系结构、运行机理和作者所从事工作的实践经验,本书最后给出了一种可重构可演进的网络功能创新平台开发实例。

本书取材新颖、内容翔实、实用性强,反映了国内外未来网络体系结构研究的现状与未来,适合于从事通信、计算机网络体系设计与研究的广大工程技术人员阅读,也可作为大专院校通信、计算机等专业和相关培训班的教材或教学参考书。

---

◆ 编 著 兰巨龙 胡宇翔 张 震 江逸茗

王 鹏 邬江兴

责任编辑 代晓丽

责任印制 彭志环

◆ 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>

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 23

2017 年 2 月第 1 版

字数: 451 千字

2017 年 2 月北京第 1 次印刷

---

定价: 138.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

随着网络技术和应用的不断发展，特别是大数据、云计算、人工智能的出现和运用，互联网迎来了裂变式的新一轮革命，正催使社会各方面发生许多颠覆性变化，并深刻改变着人类世界的空间轴、时间轴和思想维度。互联网业已成为与国民经济和社会发展高度相关的重大信息基础设施，其发展水平是衡量国家综合实力的重要标志之一。

现行互联网是以主机互联和资源共享为设计目标而实现的，只能够提供尽力而为的数据分组转发服务，其自身体系结构的局限性阻碍着应用和服务的进一步发展，包括可扩展性、安全性、服务质量、移动性、内容分发能力、绿色节能等一系列问题，难以通过增量式的研究模式彻底解决。在此背景下，未来网络体系及其核心技术研究成为当前全球关注的热点领域。

本书主要内容包括：第1章概述了未来网络体系的发展背景、基本原理和演进路线，总结提炼了未来网络体系的核心技术和发展趋势；第2章以SDN为切入点，深入分析未来网络的开放可编程技术，包括SDN的体系框架、核心思想和应用案例；第3章介绍了网络虚拟化技术及相关网络体系和技术；第4章介绍了基于内容寻址的未来网络体系，包括基本概念、典型网络以及内容命名、路由转发、缓存与QoS等；第5章介绍了面向服务的未来网络体系的基本原理和核心技术；第6章从移动性的角度，对未来网络的支撑技术进行了梳理；第7章详细阐述了Choicenet、播存网、XIA、空天地一体化信息网络等新型网络体系；第8章介绍了国内外典型的未来网络试验床；第9章结合本书作者研发团队的实际工作，重点介绍了一种可重构可演进的网络功能创新平台和验证环境实例。

本书在编写过程中得到了国家自然科学基金创新群体项目“网络空间拟态防御基础理论研究”（编号：61521003）、国家“973”计划课题“网络组件模型与聚类机制”（编号：2013CB329104）、国家“863”计划课题“软件定义网络体系结构与关键技术研究”（编号：2015AA016102）、国家自然科学基金课题“不依赖网络的内容之特征及其网络功能抽象”（编号：61372121）、“流媒体网络多模式协同模型研究”（编号：61309019）和“虚拟网络自适应管理技术研究（编号：61502530）”

等的资助。同时，本书在编写过程中也得到了许多国内外研究团队和同行专家的指导和帮助，在此也表示最衷心的感谢。

兰巨龙教授和邬江兴院士负责本书的统筹规划并编写了第1章，胡宇翔博士编写了第2章和第9章，江逸茗博士编写了第3章和第7章，张震博士编写了第4章、第6章和第8章，王鹏博士编写了第5章。另外，项目组谢立军、张少军、张果、陈龙、段通、周桥、古英汉、赵丹等为本书的文字校阅、插图绘制等做了大量工作。

限于笔者水平，且各种未来网络体系结构和核心技术研究仍在快速发展和完善之中，本书难免存在缺点甚至错误之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 未来网络体系概述 .....          | 1  |
| 1.1 未来网络的提出 .....             | 1  |
| 1.1.1 网络创新的根本动力——需求的发展 .....  | 1  |
| 1.1.2 未来网络的基本概念和认识 .....      | 4  |
| 1.2 未来网络创新的两种路线 .....         | 6  |
| 1.2.1 演进性路线 .....             | 6  |
| 1.2.2 革命性路线 .....             | 6  |
| 1.3 未来网络体系的研究实践 .....         | 8  |
| 1.3.1 国内外研究现状 .....           | 8  |
| 1.3.2 核心思路与技术 .....           | 17 |
| 1.4 未来网络发展趋势 .....            | 24 |
| 1.4.1 柔性化可重构网络组织结构 .....      | 24 |
| 1.4.2 多样化寻址与路由方式的多模多态共存 ..... | 26 |
| 1.4.3 辐射与对流耦合的抵近式缓存技术 .....   | 29 |
| 1.4.4 支持主动防御的网络安全技术 .....     | 31 |
| 参考文献 .....                    | 32 |
| 第 2 章 开放可编程的未来网络体系 .....      | 34 |
| 2.1 开放可编程思想的提出 .....          | 34 |
| 2.1.1 早期开放可编程思想 .....         | 34 |
| 2.1.2 控制与转发分离 .....           | 35 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 2.1.3 软件定义网络 .....              | 36         |
| 2.2 基本结构与原理 .....               | 37         |
| 2.2.1 体系框架 .....                | 37         |
| 2.2.2 基本运行原理 .....              | 39         |
| 2.2.3 典型应用案例 .....              | 40         |
| 2.3 核心技术分析 .....                | 53         |
| 2.3.1 数据平面可编程技术 .....           | 53         |
| 2.3.2 控制平面可编程技术 .....           | 59         |
| 2.3.3 接口技术 .....                | 69         |
| 2.4 基于多级流表的动态编程机制 .....         | 100        |
| 2.5 小结 .....                    | 103        |
| 参考文献 .....                      | 103        |
| <b>第3章 网络虚拟化技术与未来网络体系 .....</b> | <b>107</b> |
| 3.1 网络虚拟化技术概述 .....             | 107        |
| 3.1.1 发展历程 .....                | 107        |
| 3.1.2 核心技术思路 .....              | 108        |
| 3.1.3 虚拟网映射问题 .....             | 111        |
| 3.1.4 虚拟网的动态重构 .....            | 119        |
| 3.1.5 虚拟网管理 .....               | 121        |
| 3.2 基于虚拟化的未来网络体系架构 .....        | 130        |
| 3.2.1 早期实现方案 .....              | 130        |
| 3.2.2 PlantLab .....            | 131        |
| 3.2.3 4WARD .....               | 132        |
| 3.2.4 Nebula .....              | 133        |
| 3.2.5 FlowVisor .....           | 138        |
| 3.3 网络功能虚拟化 .....               | 139        |
| 3.3.1 发展历程 .....                | 139        |
| 3.3.2 网络功能虚拟化架构 .....           | 140        |
| 3.3.3 网络功能虚拟化设计考虑因素 .....       | 142        |
| 3.3.4 后续研究面临的挑战 .....           | 143        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 参考文献 .....                     | 146        |
| <b>第4章 基于内容寻址的未来网络体系 .....</b> | <b>154</b> |
| 4.1 内容寻址的基本概念与意义 .....         | 154        |
| 4.1.1 内容寻址的基本概念 .....          | 155        |
| 4.1.2 内容寻址的意义 .....            | 155        |
| 4.2 典型内容寻址网络体系 .....           | 157        |
| 4.2.1 DONA .....               | 158        |
| 4.2.2 PSIRP .....              | 160        |
| 4.2.3 4WARD .....              | 162        |
| 4.2.4 NDN .....                | 163        |
| 4.3 命名机制 .....                 | 170        |
| 4.3.1 扁平化命名机制 .....            | 170        |
| 4.3.2 层次化命名机制 .....            | 171        |
| 4.3.3 二者的结合 .....              | 174        |
| 4.4 路由和转发机制 .....              | 174        |
| 4.4.1 路由机制 .....               | 175        |
| 4.4.2 转发机制 .....               | 176        |
| 4.4.3 路由和转发的关系 .....           | 177        |
| 4.5 缓存机制 .....                 | 178        |
| 4.5.1 节点缓存规划 .....             | 178        |
| 4.5.2 缓存决策算法 .....             | 179        |
| 4.5.3 缓存替换算法 .....             | 181        |
| 4.5.4 缓存、路由和转发的关系 .....        | 182        |
| 4.6 QoS 机制 .....               | 182        |
| 4.6.1 分类传输机制 .....             | 182        |
| 4.6.2 拥塞控制机制 .....             | 183        |
| 4.7 基于内容寻址的网络发展前景 .....        | 183        |
| 4.7.1 与现有网络兼容 .....            | 183        |
| 4.7.2 当前硬件处理速度和空间约束 .....      | 184        |
| 4.7.3 具体应用探索 .....             | 184        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 4.7.4 构建基于内容寻址的服务承载网 .....    | 185        |
| 参考文献 .....                    | 185        |
| <b>第5章 面向服务的未来网络体系 .....</b>  | <b>191</b> |
| 5.1 服务的基本概念 .....             | 191        |
| 5.2 典型面向服务的网络体系 .....         | 193        |
| 5.2.1 SOI .....               | 193        |
| 5.2.2 NetServ .....           | 196        |
| 5.2.3 COMBO .....             | 199        |
| 5.2.4 SONA .....              | 201        |
| 5.2.5 SILO .....              | 204        |
| 5.2.6 SLA@SOI .....           | 206        |
| 5.2.7 智慧协同网络 .....            | 206        |
| 5.2.8 服务定制网络 .....            | 209        |
| 5.3 面向服务的未来网络核心技术 .....       | 210        |
| 5.3.1 服务标识定义与管理 .....         | 211        |
| 5.3.2 服务注册与查询 .....           | 214        |
| 5.3.3 服务动态感知方法 .....          | 216        |
| 5.3.4 服务标识与位置的映射 .....        | 217        |
| 5.3.5 服务寻址与路由 .....           | 220        |
| 参考文献 .....                    | 227        |
| <b>第6章 面向移动性的未来网络体系 .....</b> | <b>228</b> |
| 6.1 移动性技术概述 .....             | 228        |
| 6.2 传统网络的移动性技术 .....          | 229        |
| 6.2.1 MIPv6 .....             | 230        |
| 6.2.2 HMIPv6 .....            | 231        |
| 6.2.3 FMIPv6 .....            | 231        |
| 6.2.4 PMIPv6 .....            | 231        |
| 6.3 新型移动性技术 .....             | 232        |
| 6.3.1 LISP .....              | 232        |
| 6.3.2 HIP .....               | 233        |

|              |                   |            |
|--------------|-------------------|------------|
| 6.3.3        | LIN6              | 235        |
| 6.3.4        | Six/One           | 236        |
| 6.3.5        | MobilityFirst     | 236        |
| 6.4          | NDN 对移动性的支持       | 241        |
| 6.4.1        | NDN 对移动性支持的优势     | 241        |
| 6.4.2        | NDN 支持移动性时仍存在的问题  | 243        |
| 6.4.3        | NDN 的移动性支持方案      | 245        |
| 6.5          | 分布式移动性管理技术        | 248        |
| 6.5.1        | 分布式移动性管理的产生及发展    | 248        |
| 6.5.2        | 典型分布式移动性管理方案      | 249        |
|              | 参考文献              | 253        |
| <b>第 7 章</b> | <b>其他典型未来网络体系</b> | <b>256</b> |
| 7.1          | ChoiceNet         | 256        |
| 7.1.1        | ChoiceNet 项目概述    | 256        |
| 7.1.2        | 支持用户选择的基本原则       | 257        |
| 7.1.3        | ChoiceNet 互联网架构   | 258        |
| 7.2          | 播存网               | 260        |
| 7.2.1        | 播存网的特点            | 261        |
| 7.2.2        | 体系架构及其关键要素        | 261        |
| 7.3          | XIA               | 263        |
| 7.3.1        | XIA 设计理念          | 263        |
| 7.3.2        | XIA 体系结构          | 264        |
| 7.3.3        | XIA 实现机理          | 265        |
| 7.4          | 空天地一体化信息网络        | 267        |
| 7.4.1        | 概述                | 267        |
| 7.4.2        | 研究现状              | 269        |
| 7.4.3        | 体系结构              | 270        |
| 7.4.4        | 主要技术挑战            | 274        |
|              | 参考文献              | 276        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第8章 未来网络试验床 .....         | 279 |
| 8.1 未来网络试验床概述 .....       | 279 |
| 8.2 未来网络试验床分类 .....       | 280 |
| 8.2.1 基本分类 .....          | 280 |
| 8.2.2 按试验要素分类 .....       | 281 |
| 8.2.3 按服务模型分类 .....       | 282 |
| 8.2.4 按网络元素分类 .....       | 283 |
| 8.3 未来网络试验床关键技术 .....     | 284 |
| 8.3.1 实验描述技术 .....        | 284 |
| 8.3.2 控制框架技术 .....        | 285 |
| 8.3.3 网络虚拟化技术 .....       | 288 |
| 8.4 国外典型未来网络试验床 .....     | 290 |
| 8.4.1 PlanetLab .....     | 290 |
| 8.4.2 GENI .....          | 293 |
| 8.4.3 FIRE .....          | 303 |
| 8.4.4 AKARI .....         | 305 |
| 8.4.5 Global X-Bone ..... | 307 |
| 8.4.6 Emulab .....        | 308 |
| 8.4.7 VINI .....          | 309 |
| 8.4.8 CORONET .....       | 311 |
| 8.4.9 CABO .....          | 311 |
| 8.4.10 FIRST .....        | 312 |
| 8.4.11 JGN .....          | 314 |
| 8.5 国内典型未来网络试验床 .....     | 314 |
| 8.5.1 CNGI-CERNET2 .....  | 314 |
| 8.5.2 NGB-3TNet .....     | 316 |
| 8.5.3 可重构柔性试验网 .....      | 319 |
| 8.5.4 未来网络体系结构和创新环境 ..... | 323 |
| 8.5.5 未来网络试验设施 .....      | 325 |
| 8.6 小结 .....              | 326 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 参考文献 .....                           | 327        |
| <b>第9章 可重构可演进的网络功能创新平台开发实例 .....</b> | <b>330</b> |
| 9.1 系统开发背景与需求分析 .....                | 330        |
| 9.2 可重构可演进的网络功能创新平台总体方案 .....        | 332        |
| 9.3 支持灵活编程的平台数据平面 .....              | 333        |
| 9.3.1 软件设计方案 .....                   | 334        |
| 9.3.2 硬件设计方案 .....                   | 336        |
| 9.4 动态适配的平台控制平面 .....                | 338        |
| 9.4.1 功能描述 .....                     | 338        |
| 9.4.2 拓扑维护和节点管理 .....                | 340        |
| 9.4.3 跨域通信 .....                     | 344        |
| 9.4.4 负载均衡 .....                     | 347        |
| 9.4.5 主备切换 .....                     | 348        |
| 9.5 小结 .....                         | 348        |
| 参考文献 .....                           | 348        |
| <b>中英文对照 .....</b>                   | <b>349</b> |
| <b>名词索引 .....</b>                    | <b>352</b> |

# 未来网络体系概述

## 1.1 未来网络的提出

### 1.1.1 网络创新的根本动力——需求的发展

自互联网诞生以来，互联网具有的开放透明、结构分层和互通互联等特性使其遍布全球。可以说，互联网已成为现代信息社会的支柱。但是，“尽力而为”“一切基于 IP”和“瘦腰”结构（如图 1-1 所示）等“先天的基因缺陷”，使传统互联网在可扩展性、移动性、安全性、可管可控、绿色节能等方面存在很大不足，这些问题很难在现有架构下得到有效解决。另一方面，随着互联网与人类生活的深度融合，用户对互联网的使用需求已经从简单的端到端模式转变为对海量内容的获取，并发展出移动互联网、物联网、云计算等新的需求模式，现有的互联网难以有效满足这些需求<sup>[1]</sup>。

为了针对性地消除传统网络 IP 承载的能力瓶颈，解决服务适配扩展性差、基础互连传输能力弱、业务普适能力低、安全可管可控性差等问题，我们对传统网络体系结构的固有缺陷进行了以下总结。

#### （1）可扩展性

由于服务和应用数量的急剧增加，可扩展性

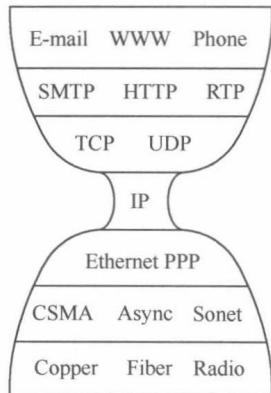


图 1-1 传统网络的“瘦腰”结构

问题是目前网络最需要解决的问题，主要表现在以下两个方面。

① 网络范围的可扩展性。核心网中边界网关协议（BGP）路由器中转发信息表（FIB）条目数增长过快，路由器的能力极大地限制了网络的可扩展性<sup>[2]</sup>。

② 网络功能的可扩展性。目前大量的网络服务基于专有硬件提供，服务种类和服务能力受制于硬件的配置，无法支持灵活的业务更新和扩展。

### （2）服务质量

近年来，网络服务质量保障需求日趋强烈，而现有网络架构不灵活，无法根据业务需求灵活配置网络资源，导致网络服务也无法多样化的服务质量。另外，现有网络运营方案无法从全网整体性的角度提供定制化服务。因此，运营商应构建具有差异性服务能力的网络体系，根据用户个性化需求，实现计算、存储、传输等网络资源的灵活调度，构建具有不同服务能力和服务网络，进而推动形成新的产业生态链。

### （3）安全性

网络地址欺骗、数据泄露、拒绝服务攻击、异常流量等频发的网络安全问题使得互联网疲惫不堪。特别是美国“棱镜门”事件，揭示了互联网在安全设计方面的重大缺失，给人们带来了极大的震撼，使人们对网络安全问题带来威胁的广泛性和严重性印象深刻。互联网存在的安全问题本质上是由网络原始设计的缺陷造成的：互联网完全透明<sup>[3]</sup>，使得情报窃取和被他人监控变得方便易行；互联网安全缺乏顶层设计<sup>[4]</sup>，贴膏药式的安全技术和一事一议的安全方案，投入大产出小，越来越难推行；互联网技术受制于人，资源受制于人，管理受制于人，标准受制于人，使我国的网络基础设施成为被攻击、窃取和严控的对象。

### （4）绿色节能

TCP/IP 网络“核心简单，边缘智能”的特点导致网络自身缺乏感知、管理、控制的能力，从而导致网络资源利用率低下。研究表明，由于休眠、自适应、按需定制等智能机制的缺失，目前网络设备（如路由交换节点、数据中心服务器等）能耗巨大，当前互联网骨干网链路的平均利用率仅为 30%~40%<sup>[6]</sup>。据预测，如果维持当前低效能的现状，2015 年仅我国数据中心的能耗就将达到 1 000 亿 kW·h 左右，相当于三峡电站 1 年的发电量<sup>[6]</sup>。

### （5）移动性

在早期计算机网络中，网络节点的位置相当固定，网络协议首先要考虑的是两个固定节点之间正常的连接，并不注重网络移动性的要求，网络节点的位置本身也就很自然地用作网络节点的标识符<sup>[7]</sup>。体现在传统的 TCP/IP 网络体系架构中，IP 地址既扮演着节点标识符的角色，又扮演着节点定位符，即路由的选择依靠 IP 地址，这常常被称为 IP 地址语义过载问题<sup>[8]</sup>。IP 地址语义过载问题影响了计算机网络对移动性的支持，不仅限制了核心路由的扩展性，降低了现有安全机

制的效能,还限制了其他新技术的发展。

总之,互联网是在人类信息社会中存在并占据主导地位、可靠、可信、安全、坚固、高性能、高可用、无处不在、无缝集成并具有规模化商业运营能力的全球开放信息基础设施。作为人类信息社会的主流组成部分,它综合了多种现有网络系统的优势,并能支撑世界各国政治、经济、科技、文化、教育、国防等各个领域的全面信息化。通过总结传统网络的固有缺陷,我们对未来网络体系结构的主要需求包括以下几个方面。

① 全方位开放性:未来网络体系结构必须具有更全面的开放性,不但对技术、服务、应用开放,而且对全球网络用户、网络运营商、服务提供者等全方位开放,保证对投资、研究、建设、访问、使用、技术更新、服务增值、新应用开发等的公平开放性。

② 促进多网融合:未来网络体系结构必须能够从总体结构上纳现存各种代表性网络系统于一体,从应用类型和服务功能上集现存各种代表性网络系统的成型特色应用与服务于一身,并能够支持以渐进式演进的方式,渐次实现多种网络系统的逐步融合。

③ 多维度可扩展:未来网络体系结构必须具有多个维度上良好的可扩展性,在网络规模上应保证容量、协议、算法、命名、编址等方面的可扩展性,在网络功能上应保证传输、控制、管理、安全等方面的可扩展性,在网络性能上应保证在各种差异环境中系统具有优雅的升/降级(Graceful Degradation/Upgradation)特性。

④ 动态适应能力:未来网络体系结构必须具有能依据不同情况及需求进行适应性调整的动态适应能力,这种动态适应能力不仅反映在对于不同的网络技术、异构的运行环境的适应性上,而且反映在对于用户个性化服务定制需求的适应性上。

⑤ 服务无处不在:未来网络体系结构必须能够提供无处不在的服务,支持通用移动性和普及计算,确保多样化的联网终端更易于连接入网和访问服务,所提供的网络服务具有更广阔的服务范围、更丰富的服务类型和更灵活的服务形式。

⑥ 可靠、坚固、可控:未来网络体系结构必须可靠、坚固和可控制,既能较好地抵御、消减和弥补由于人为破坏、自然灾害、环境干扰、软/硬件故障等因素所带来的各种影响,又能对用户的行为、各种资源的分配与使用、网络演进中的复杂性增长等有较好的控制能力,从而提高未来网络系统的抗毁性、生存性、有效性、顽健性和稳定性。

⑦ 高性能、高可用:未来网络体系结构必须具有高性能和高可用特性,前者指网络能提供高速网络传输、高效协议处理和高品质网络服务,以支持大量具有各种不同服务质量要求的应用;后者指网络能高效整合各种资源,为授权用户提供便捷易用的服务和丰富多样的应用,并能在网络部分受损或出现故障时以降级

方式继续保证网络的可用性。

⑧ 安全、可信、可管：未来网络体系结构必须安全、可信和可管理，保证网络系统的运行以及信息的保密、传播和使用等方面的安全性，能够较好地建立、维护和约束用户之间、用户与网络系统之间的信任关系，提供更加全面、高效的 用户管理、资源管理、系统管理和运营管理。

⑨ 成本—效益较高：未来网络体系结构必须具有较高的成本—效益，不但要减少协议、服务、应用等的处理开销和优化其性能，而且支持采取成本较低、代价较小、具有长期效益的技术路线或过渡方案，推进网络的渐进式演进，实现网络的持续、稳妥、良性发展。

⑩ 适合商业运营：未来网络体系结构必须支持网络的规模化商业运营，必须具有合理的盈利模型、完善的商业运营管理、有效的计费手段和积极的投融资措施，从而促进公平竞争、鼓励私有投资和推动技术创新。

### 1.1.2 未来网络的基本概念和认识

未来网络是目前网络界的热门话题，但是对未来网络的概念、目标 and 需求则缺乏明确的讨论和定义，对于未来网络的理解还显得过于遥远和抽象。这里需要指出的是，互联网是一种随着新缺陷和新需求的出现而不断发展的事物。未来网络并不是未来的网络形态或网络应用，也不是完全脱离现有计算机网络发展基础而重新建立的全新网络，而是为了解决当前网络存在的迫切问题和满足当前不断涌现的新需求，不断革新网络架构和技术，推动互联网向前演进，是互联网发展的一个新阶段。研究未来网络不是一种超前的准备，而是最紧迫的需求。

未来网络具有重要的研究意义，但是在具体的研究方向上还处于百家争鸣的阶段。为了推动未来网络的研究，必须建立基本的设计原则。当前对未来网络研究已经形成了以下认识<sup>[9]</sup>。

#### (1) 未来网络应处理好革新式架构与演进式部署的关系

未来网络中革新式体系架构的思想，核心意义是不受到现有互联网架构的束缚和限制，但是其部署实施必须是一个循序渐进的过程。目前互联网链接了数十亿节点并且拥有数以百万计的应用程序，因此，研究的未来网络架构必须也具备这种特质，即传统的网络节点和应用程序应该要能够在新的架构上进行通信，同样新的节点和应用程序也要能够在现有互联网架构上通信。因此，新旧设备之间在边界点需要提供特殊的设施，保证能够兼容各种版本的底层通信协议，通过小规模部署不断扩大新架构的规模。

#### (2) 未来网络架构应遵循简单开放的基本原则

互联网的使用模式已经从端到端的通信转变为未来网络以内容、数据为中心

的模式，设计目标的变化自然导致了设计规则的变化。然而，网络简单开放的特征是网络能够繁荣发展的基础，未来网络的设计目标可以继续探讨，功能可以更加多样，但是形成的架构一定要简单开放，才能推动广泛的使用。

### （3）未来网络架构设计应注重应用驱动的因素

网络的大规模发展从来都是以应用为驱动的，无论是推动电话网发展的电信业务，还是推动互联网发展的万维网技术，都是鲜活的实例。事实证明，当有足够重要的应用出现时，兼容性、最优性等因素都不会成为问题。因此，未来网络的研究既要定位于优化现在的网络，更要努力寻找一个可以颠覆当前网络架构的新应用类型。

### （4）未来网络架构设计应内嵌安全性等需求

未来网络应当具备安全性、移动性、自管理、中断容忍等一些关键功能。现有的不同项目都是各自偏重某一些问题展开的研究，单一的一个项目无法解决当前出现的种种挑战。目前像 FIA 这种合作计划正在整合各种先前的研究成果，转化成一个连贯的、融合的项目组。如何整合这些不同的需求和由此产生的架构仍然是一个悬而未决的问题，但这样的趋势已经产生。

### （5）未来网络架构应具有天然服务分发能力

过去 10 年推动互联网发展的主要趋势就是服务的多样性，如 Google（谷歌）、Facebook、YouTube 以及产生大量的互联网流量的类似服务，而云计算和移动设备的增值导致了互联网服务的进一步增长。因此，面对大量的服务需求，未来网络的一个基本属性就是高效的服务分发能力，支撑多种多样的应用服务提供商提供增值业务的能力，满足负载均衡、容错、复制、多宿、移动性、强安全性、定制应用等各种需求，也就是说，服务有可能成为新的细腰层，而内容和 IP 都是它的一种特例。

### （6）未来网络架构设计应考虑引入利益相关者之间的博弈关系

未来网络体系架构需要在多个利益相关者（用户、互联网服务提供商、应用服务提供商、数据拥有者和政府）之间提供可扩展灵活的接口进行交互，未来网络的设计必须要综合考虑社会和经济因素，来平衡和调节各利益相关者之间的利益。

### （7）未来网络架构验证应考虑建设大规模网络

目前，不同国家的未来网络体系架构研究的测试床都是专门基于先前的研究项目建设的，具有不同的功能和重点。因此，从长远的角度来看，如何建立一个可控可管、能够实现资源虚拟化共享的实验平台是未来网络研究的一个重点方向。另外，虚拟共存、资源动态分配、架构优胜劣汰的实验平台特征，也很可能成为未来网络运营的一种基础模式。