

未来互联网的 思考与研发

王兴伟
东北大学

提 纲

- 未来互联网的由来
- 未来互联网面临的重大挑战
- 未来互联网研发现状
- 关于未来互联网发展的基本认识
- 东北大学未来互联网研发简介



■ 未来互联网的由来

未来互联网的由来

■ Internet的出现和发展

- Internet创始于1969年
- 最初是由美国国防部高级研究计划局（**DARPA**）建设的军用网**ARPANET**
- 1982年，**TCP/IP**被**DARPA**接受并认可
- 1983年，**ARPANET**被划分为两部分—**MILNET**（军用）和**ARPANET**（民用）
- 1988年，由美国国家自然科学基金会（**NSF**）建立的**NSFNET**取代**ARPANET**成为**Internet**的主干网
- 1989年，**ARPANET**被撤销，**Internet**正式从军用转为民用

■ Internet的出现和发展

□ 当今的Internet规模巨大

- 到**2015年1月**，全球网民达到**30.1亿**，平均互联网渗透率达到**42%**，发达地区超过**80%**
- 到**2015年1月**，全球将近三分之一人口拥有社交网络账号，活跃社交媒体用户达**20.78亿**，
- 仅在中国大陆，到**2015年1月**，互联网普及率**47%**，网民**6.42亿**；手机**3G**和**4G**的普及率达**46%**，手机网民**5.65亿**；微信用户**6.2亿**；通过网络购物比例达**37%**

未来互联网的由来

■ 未来互联网的提出

- 现有的**Internet**基于**IPv4**
- 用户数量不断增长，新型应用不断涌现
- 用户在地址空间、服务质量（**Quality of Service, QoS**）支持、移动支持以及安全支持等方面提出更高要求
- 促使人们展开对下一代互联网（**Next Generation Internet, NGI**）乃至未来互联网（**Future Internet**）的研究与开发



■ 未来互联网面临的重大挑战

未来互联网面临的重大挑战

■ 理论落后于工程

- 难题：测量，建模，分析

■ 自适应

- 网络缺乏认知能力和智慧
- 网络体系结构缺乏进化能力
- 难以适应上层应用和底层通信技术的飞速发展

■ 扩展性

- 联网对象：机机互联→人机物互联→人机物融合
- 网络规模、功能、服务、安全……

未来互联网面临的重大挑战

■ 高性能

- 更高的传输速率→更高性能的应用

■ 服务质量QoS (Quality of Service) 保证

- 网络QoS控制→用户体验质量QoE (Quality of Experience) 保障

■ 单播为核心，缺乏对组播等的内在支持

■ 可用资源

- 地址

- IPv4 → IPv6

- 频谱

未来互联网面临的重大挑战

■ 动态性

- 满足移动支持、生存/容错能力、节能等需求

■ 安全性

- 安全事件频发
- 确保实体、运行、数据、内容安全
- 确保信息的真实性、机密性和可用性
- 行为可信，事件可追
- 第五维空间——网络空间
 - 陆、海、空、天、网
 - 领土、领海、领空、领天、领网
 - 陆权、海权、空权、天权、网权
- 网络空间可管可控 → 网络安全可信

未来互联网面临的重大挑战

■ 高效运行

□ 运行低效→绿色节能

- ICT产业已经是全球第五大耗能产业
- ICT设备二氧化碳排放已经占全球的2%—2.5%

■ 经济性

□ 商业模式

- 基础网络运营商投资巨大、盈利甚微乃至亏损
- 增值业务开发商投资少、盈利丰

□ 公平合理的多方盈利模式

■ 管理

□ 体制、流量、内容→版权和隐私

- 美国5%的网民消耗全网50%的带宽，其中的90%是非法下载

□ 严密的管理体系和齐全的管理手段→精细管理



■ 未来互联网研发现状

未来互联网研发现状

■ 国外相关研发项目

- **1992**年美国提出“信息高速公路”

- **2005**年美国启动两项未来互联网研究计划

- **FIND(Future Internet Design)**

- 满足未来15年社会需求的新型网络

- **GENI (Global Environment for Network Innovations)**

- 崭新的、高安全的、能够连接一切设备的互联网

- **2007**年欧盟启动第七科技框架计划（**FP7**）

- **未来互联网研究和实验（Future Internet Research and Experimentation）**

未来互联网研发现状

■ 国外相关研发项目

□ 2010年美国启动**FIA(FUTURE INTERNET ARCHITECTURE)** 研究计划

■ **Named Data Networking**

■ **MobilityFirst**

■ **NEBULA**

□ cloud-computing-centric network architecture

■ **XIA(eXpressive Internet Architecture)**

□ Addresses the growing diversity of network use models, the need for trustworthy communication, and the growing set of stakeholders who coordinate their activities to provide Internet services.

■ **ChoiceNet (2012设立, 小)**

□ Enabling new applications and business models through choice and competition

未来互联网研发现状

■ 国外相关研发项目

□ **2014年美国启动FIA-NP(Next Phase)**

■ **MobilityFirst-NP**

■ **Named Data Networking-NP**

■ **XIA(eXpressive Internet Architecture)**

未来互联网研发现状

■ 国内相关研发项目

- 20世纪90年代后期开始，中国启动了一系列相关研发计划
 - 教育部建设了**CERNET-IPv6**试验网
 - 国家自然科学基金委员会资助建设了中国高速互联研究试验网络（**NSFCNET**）
 - **863**计划支持了高性能宽带信息网 **3TNET**等重大专项
 - Tbps级的路由、交换、传输
 - 中科院组织“**IPv6**关键技术以及城域示范网”项目
 - 原国家计委组织“下一代互联网中日**IPv6**合作项目”

未来互联网研发现状

■ 国内NGI的相关研究

□ 2003年CNGI正式启动

■ 中国NGI示范项目

(China Next Generation Internet)

■ 6个主干网

■ CNGI-CERNET2是CNGI中唯一的学术网，也是其中规模最大的主干网

■ 2004年3月CNGI-CERNET2试验网开通并提供服务

■ 2008年依托CNGI-CERNET2建成100个IPv6高校驻地网，IPv6用户约30万

未来互联网研发现状

■ 国内相关研发项目

□ 教育科研基础设施IPv6技术升级和应用示范

- **2008**年底，国家发改委、教育部启动，国拨经费**4**亿元
- **2010**年底，**100**所学校（**97**所大学+**3**所中学）实现**IPv6**技术升级
- **2011**年底，**IPv6**用户达到**100**万，**100**×**10**个校园信息系统**IPv6**升级
- **2012**年通过了国家验收

■ 未来互联网研发现状

- 国家自然科学基金

- **973**

- **863**

- 国家科技支撑计划

- 发改委

- 工信部

-



■ 关于未来互联网发展的基本认识

关于未来互联网发展的基本认识

- 互联网经过**40**余年的发展取得了巨大成功，已经从只有少数高端用户才能使用的通信平台发展成为当今世界的信息基础设施
- 同建设之初相比，互联网的运行与应用环境已经发生了巨大变化
- 主要用途已经从主机间分组提交模式转变为围绕服务、内容、数据和用户而非围绕主机通信的更为多样化的模式，

关于未来互联网发展的基本认识

- 现有互联网体系结构中存在的先天设计缺陷导致其面临诸多亟待解决的问题
 - IP作为互联网体系结构的“细腰”难以适应网络使用范型发生的重大改变
 - 巨大的网络规模和丰富的网络应用导致网络的时空复杂性急剧提高，网络管理面临严重挑战，现有网络地址空间也濒临枯竭
 - 网络与信息安全事件造成巨大的经济损失和严重的社会影响

关于未来互联网发展的基本认识

- 现有互联网体系结构中存在的先天设计缺陷导致其面临诸多亟待解决的问题
 - 基于固定端点互联而设计并发展起来的现有互联网难以满足日趋普及的移动上网设备与移动网络应用的实际需要
 - 网络耗电量与温室气体排放量快速增长，节能减排需求强烈
 - 网络空间与物理空间、社会空间分离，难以支持数字世界和物理世界、现实社会的集成，普适联网和遍在访问能力还需提高

关于未来互联网发展的基本认识

- 现有互联网体系结构中存在的先天设计缺陷导致其面临诸多亟待解决的问题
 - 计价和商业模型不很合理，难以协调网络运营方、服务提供方和用户等之间的利益诉求
 - 灵活性不够，对云计算、物联网等的内在支持尚待提高
 -
- 构建和发展未来互联网，以适应变化了的网络运行环境和层出不穷的新型网络应用的需要

关于未来互联网发展的基本认识

■ 未来互联网的基本需求和关键特征

- 网络体系结构的变革可以是革命式的，但其实现应该是渐进式的
- 未来互联网应该是软件定义的，多形是其基本属性，虚拟化和云联网是其应该具备的基本能力
- 联网规模巨大与范围广阔，从微观世界的毫微网络到浩瀚宇宙的深空网络无所不在，逐渐向全域覆盖的一体化网络发展

关于未来互联网发展的基本认识

■ 未来互联网的基本需求和关键特征

- 网络向用户提供的是服务，未来互联网应以服务为中心，服务应该成为未来互联网体系结构中的“细腰”，围绕内容等构建网络（**DATA or CONTENT or INFORMATION or SERVICE CENTRIC NETWORKING**）
- 联网的本质是协作，未来互联网应是自感知和自管理的，能够感知网络、感知应用、感知情景、感知服务、感知内容、感知数据、感知环境、感知社会和感知经济等（**X-AWARE**），具备自我管理、自组织、自配置、自适应、自定位、自保护、自愈合、自优化和自进化等能力（**SELF-X**）

关于未来互联网发展的基本认识

■ 未来互联网的基本需求和关键特征

- 移动支持应该成为未来互联网的内在属性，支持设备、服务、用户、情景、网络等的移动
- 隐私保护、信任管理、安全性等应该成为未来互联网的基本属性，具备防入侵、抗攻击甚至反制能力
- 存储和计算成为网络的基本能力，网内缓存和网内计算成为网络的基本特征
- 考虑经济因素，具有灵活、合理的计价和商业模型，平衡供方与需方利益
- 内在支持QoS，提供QoE和SLA（**Service Level Agreement**）保障
- 内在支持组播，网络服务构建以组播为核心

关于未来互联网发展的基本认识

■ 未来互联网的基本需求和关键特征

- 未来互联网应该是绿色的，节能减排成为对网络建设与发展的基本要求，能量高效型设计成为网络硬软件研发需遵循的基本准则
- 社交关系对联网模式的影响日益增强，社交网络与物理网络的联系日益紧密
- 网络空间与物理空间、社会空间的无缝衔接成为未来互联网的重要发展方向，支持数字世界和物理世界、现实社会的有机集成应该成为未来互联网的重要能力→**Cyber-Physical-Social**
- 从**E2E**（端到端）到**T2T**（信任到信任）



■ 东北大学未来互联网研发简介

背景

研究和发新型路由、保护和疏导等技术

… 支持服务质量 提高生存能力 改善工作效率 …

未 来 互 联 网

战略高技术领域

优先主题

世界各国竞相发展和全力争夺

国家中长期科学和技术发展规划纲要
(2006-2020年)



CCTV 13 温家宝主持召开国务院常务会议

- 研究部署 加快发展我国下一代互联网产业

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)》中指出
下一代网络关键技术与服务——重点开发高性能的核心网络设备与传输设备、接入设备,以及在可扩展、安全、移动、服务质量、运营管理等方面的关键技术,建立可信的网络管理体系,开发智能终端和家庭网络等设备和系统,支持多媒体、网络计算等宽带、安全、泛在的多种新业务与应用。



智能路由机制

问题由来

难点所在

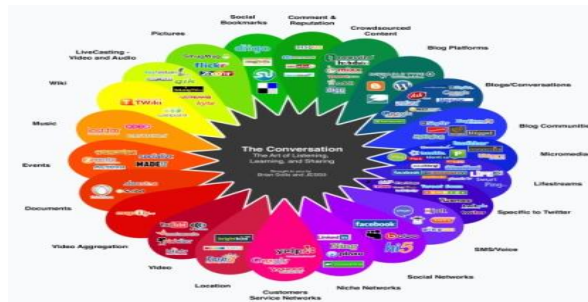
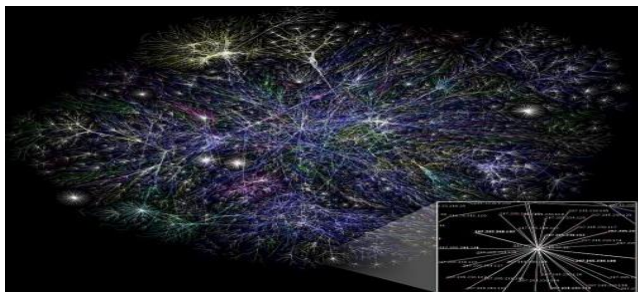
主要研究

路由机制是网络的核心技术

- 随着网络发展，新型网络应用呈现多样化QoS需求
- 拓扑复杂等使路由依赖的状态难以精确测量
- 用户QoS需求难以准确表达
- 网络商业化运营要求兼顾各方利益

- 传统路由机制
 - 不支持QoS
 - 基于精确状态信息
 - 不考虑成本和收益
- 多加性或乘性参数QoS单播路由问题、QoS组播路由问题是NP完全的

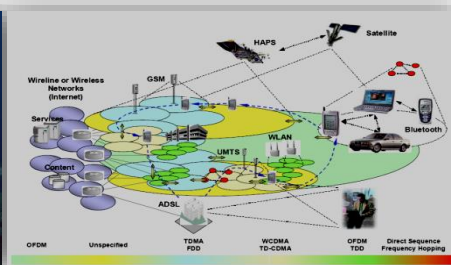
采用智能方法在不精确信息和经济约束下寻找满足应用QoS需求的路由



智能路由机制

智能路由模型

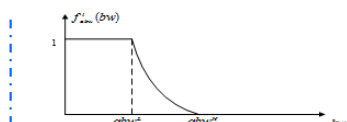
- 受生物演化和群体自组织现象启发
- 支持网络自组织
- 支持总最佳连接



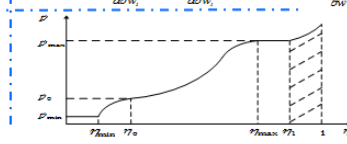
不精确信息和经济约束处理方法

- 链路适合隶属度
- 用户QoS满意度
- 资源定价
- 用户效用
- 网络提供方效用

$$f_{abw}^l(bw) = \begin{cases} 1 & , bw \leq abw_i^l \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{abw_i^H - abw_i^l} \left(bw - \frac{abw_i^l + abw_i^H}{2} \right) & , abw_i^l < bw \leq abw_i^H \\ 0 & , bw > abw_i^H \end{cases}$$



$$p = \begin{cases} c_b \times \frac{p_{\min}}{1 + \alpha \cdot \eta_0^{-2}} & \eta < \eta_{\min} \\ c_b \times \frac{1 + \alpha \cdot \eta^{-2}}{2 - e^{-\delta(\eta - \eta_0)}} & \eta_{\min} \leq \eta < \eta_0 \\ c_b \times [2 - e^{-\delta(\eta - \eta_0)}] & \eta_0 \leq \eta < \eta_{\max} \\ p_{\max} & \eta_{\max} \leq \eta < \eta_1 \end{cases}$$



$$un_i = \frac{(Pay_i - Cost_i)}{Cost_i}$$

$$uu_i = (W_i) \cdot \frac{p_i - Pay_i}{p_i}$$

■ 智能路由机制

□ 启发式和智能优化相结合的QoS路由算法

■ 链路博弈

$$\left\{ \begin{array}{l} uu_{x^*y^*}^l \geq uu_{xy}^l \quad x = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

■ 优化寻路

$$\left\{ \begin{array}{l} nu_{x^*y^*}^l \geq nu_{x^*y}^l \quad y = 1, 2, \dots, m \end{array} \right.$$

□ 跨层联合，集成优化

■ 负载感知型链路选择

■ 旁通分流转发

□ QoS路由请求成功率明显提高

■ 保护机制

问题由来

■ 随着网络承载业务量急剧增加，网络一旦发生故障可能导致大量业务中断，造成严重影响

■ 传统保护机制

- 备份资源消耗多
- 故障恢复时间长
- 多故障保护能力弱

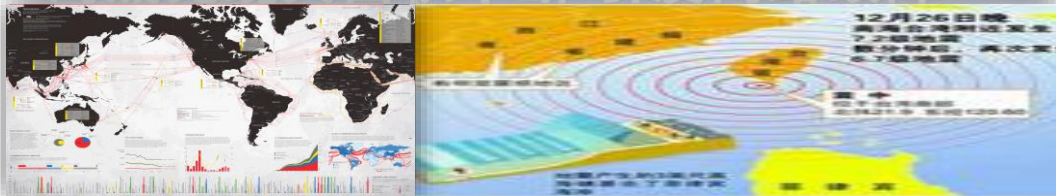
难点所在

如何使用尽可能少的备份资源，尽可能地提高网络生存能力、满足故障恢复时间约束、降低业务阻塞率

主要研究

如何在条件允许情况下为尽可能多的业务提供多路径/多子路径保护，尽可能共享保护资源

海底光缆大面积中断 引发网络故障



■ 保护机制

□ 全局和局部汉密尔顿圈多域路由保护方法

- 受汉密尔顿圈在物流配送等领域应用的启发

- 多域逻辑拓扑

 - 域间全局保护圈

 - 域间故障保护

- 单域物理拓扑

 - 域内局部保护圈

 - 域内故障保护

- 备份资源与工作资源之比明显下降

■ 保护机制

□ 多子路径多故障路由保护机制

- 将工作路径划分成可部分重叠覆盖的子工作路径
- 为子工作路径分配链路分离的子保护路径
- 故障恢复时间约束满足率大为提高

□ 基于区分共享风险链路组(SRLG)的子路径保护算法

- 把具有相同风险属性的链路归入同一SRLG
- 不同风险对应不同SRLG等级
- 对不同需求业务, 按需分配子保护路径
- 业务阻塞率显著降低

■ 疏导机制

□ 多粒度路由疏导方法

- 在提出的波长和波带路由疏导算法基础上，进一步提出了多粒度路由疏导方法
- 对不同粒度业务按需疏导，选出与已有通道最“顺路”的路由
- 联合优化，一体化解决路由、疏导和资源分配问题
- 业务阻塞率和业务占用端口数明显下降

■ 疏导机制

□ 节能型路由疏导机制

- 建立网络能耗模型
- 构建能耗约束多粒度集成疏导辅助图
- 提出节能型路由疏导策略
- 业务能耗显著降低

展望

■ 网络技术与系统不断融合与发展

- 固定与固定的融合

- 无线与无线的融合

- 固定与无线的融合

- 陆地与空天的融合

- 物理与虚拟融合

- 从消费到生产


展望

■ 普惠泛在的网络体系

- Internet of Things (物联网)
- Internet of Media
- Internet of Services
- Internet of Enterprises
- Internet of Communities
- Internet in the Space
- Universal 、 Ubiquitous 、 User-oriented and User-Centric

■ 网络论/网络科学

- 系统论、信息论、控制论



谢谢！