主 题：未来网络学术发展与产业进展（18日上午）

时 间：2017年4月18日上午

地 点：南京上秦淮假日酒店3楼宴会厅A

（第一部分致辞）

（主持人：中国通信学会副秘书长朱峰）

主持人：尊敬的邬江兴院士、韦乐平主任，尊敬的各位专家、各位领导、各位代表，大家上午好！

由工业和信息化部、中国科协、江苏省人民政府指导，中国工程院、南京市人民政府主办，中国经济学会、江苏省经信委、江苏省通信管理局等五部门联合主办的2017年全球未来网络发展峰会，在美丽的江宁区召开，请允许我代表中国通信学会热烈欢迎大家的光临！

2017年全球未来网络发展峰会，本峰会一天的主论坛、十个分论坛，未来网络学术发展与产业进展分论坛，由中国通信学会具体承办，江苏省通信学会协办。

出席今天论坛的领导、专家有：

中国工程院院士 邬江兴

工业和信息化部科技委常务副主任 韦乐平先生

中国通信学会副理事长兼秘书长 衣雪青

江苏省通信管理局副局长 王鹏

重庆邮电大学校长刘宴兵

北京邮电大学教授 张平

西安电子科技大学教授 马建峰

北京交通大学教授 张宏科

美国西北大学电气工程与信息系统教授 陈焰

中国工程院院刊FITEE总编 张月红

华中科技大学教授 金海

南京航空航天大学教授 吴启晖

中国信息通信研究院总工程师 余晓晖

中国通信学会副秘书长 宋彤

卡尔顿大学教授 F.Richard Yu

圭尔夫大学教授 Simon X.Yang

清华大学教授网络技术研究所所长 崔勇

北京邮电大学教授 黄韬

中国电信集团大数据平台负责人 李亚锋

中国电信研究院网络发展与运营支持部SDN技术研发中心 孙琼

大家鼓掌欢迎他们的到来！

出席今天大会的，还有政府领导、学术界、产业界相关单位的知名学者和企业家，以及来自全国各地高校的青年学子，这是未来网络领域学术发展与产业进展的一次高端学术盛会，感谢大家出席参加此次会议。

接下来，有请中国通信学会副理事长兼秘书长衣雪青致辞，有请！

衣雪青：尊敬的邬江兴院士、韦乐平主任，各位专家、女士们、先生们，新闻界的朋友们，大家上午好！首先代表中国通信学会欢迎各位专家、各位来宾来莅临这次论坛。也借此机会感谢江苏省通信管理局、江苏省通信学会，还有南京市的有关方面，对这次论坛的举办所做出的贡献。

昨天我们成功地举办了开幕式，主论坛也进行完毕，应该说开这个论坛意义、目的，昨天该讲的都讲了。我总的说一点感受，昨天一天下来，总的感受是我们这次这个论坛还是群贤毕至、高朋满座、气氛热烈、精神昂扬。再多说，也不好多说，我就想到北宋的诗人苏东坡先生，写的一首诗叫《春江晚景》，大家都很熟悉。这首诗，一种说法，是在我们邬院士老家开封那边写的。但是也有一种说法，这首诗在江苏的江阴，离这儿也就是一百多公里。我宁愿他是在这儿写的，我们可以触景生情吧。

“竹外桃花三两枝，春江水暖鸭先知。蒌蒿满地芦芽短，正是河豚欲上时”。“春江水暖鸭先知”，我感觉到我们信息通信科技工作者，所面临的领域，信息通信网络，正面临着变革重构，蓄势待发，正待突破的这么一个阶段。我们也明显地感觉到我们的科技各个方面，特别是我们的信息通信领域，在各个方面，由过去的跟跑到现在的并跑，甚至在很多领域正在向领跑迈进。科技兴，则国家兴。我们科技领域这么兴旺发达，我们大家都感觉到，中华民族的伟大复兴离我们并不是很遥远，而且正在降临。

处在这样一个时期，后面两句叫“蒌蒿满地芦芽短，正是河豚欲上时。”我稍微改一下，“未来网络待突破，正是我辈奋发时。”借此机会，也预祝本次论坛，能够取得圆满成功。预祝各位来宾、各位专家、各位领导，在论坛期间，工作顺利、生活愉快。谢谢大家！

主持人：谢谢秘书长的讲话。下面有请江苏省通信管理局副局长王鹏先生致辞，有请！

王鹏：尊敬的各位领导、各位专家、各位嘉宾，大家上午好！

非常高兴参加2017年全球未来网络发展峰会——未来网络学术发展与产业进展分论坛，与大家一起探讨交流。本论坛由中国通信学会承办，江苏省通信学会协办，充分体现了中国通信学会对江苏信息通信业的信任和支持。

首先，我谨代表江苏省通信管理局、江苏省通信学会和江苏信息通信业，对论坛的举办表示热烈的祝贺。对长期以来关心支持江苏信息通信业发展的各位领导、各位专家、各界嘉宾，表示最衷心的感谢！

经过多年来的发展，特别是近年来的大智集云为代表的信息通信技术的迅猛发展，江苏市场上催生出以省内四家基础电信企业，2500余家互联网企业和近千家跨域互联网企业有序竞争、竞相发展的趋势。4G网络和光纤宽带网覆盖全省所有的行政村，NGLT正加快布局。去年全省完成电信业务总量2765亿，实现电信业务收入891亿。今年前两个月全省完成电信业务总量240亿，实现电信业务收入153亿。全省电话用户总数达到10078万户，电话普及用户达到每百人126部，其中移动电话用户达到8412万户，互联网固定宽带用户达到2966万，移动互联网用户达到7700万。省内电信企业和互联网企业达到2606家，备案网站超过45万个，IPTV用户达到818万，物联网用户超过1100万。电信业务总量、业务收入和互联网用户数、电话用户总数均居全国第二位。

伴随着网络规模和用户的不断扩大，新兴业务快速迭代更新，对网络本身的安全性、可靠性、扩展性以及服务质量，都提出了更高的要求。加快构建智能化的未来网络，通过增强网络智能、优化网络资源使用、提升网络计算、传输和存储能力，有效满足网络发展需求，更好地向用户提供按需的服务，推动互联网产业发展，成为行业转型发展的关键和迫切的需要。

当前，江苏正处于爬坡过坎的关键时期，面临着稳定经济运行和加快转型发展的双重任务，互联网正成为新常态下江苏争创竞争新优势，推动转型升级的强大动力。江苏省委省政府高度重视信息通信业的发展，3月31号，省委省政府首次召开了全省基础建设推进大会，省委书记李强指出，随着大数据、人工智能、物联网、移动互联网的快速发展，信息基础设施不仅本身成为一种重大的战略性基础设施，而且也成为其他交通、能源、水利等各类基础设施的基础性支撑，创造出巨大的经济价值和社会价值。省委省政府近期出台了《关于加快新一轮基础建设的意见》，提出要围绕未来发展、需要和方向进行布局，实现实时网络强省、数据强省、制造强省建设，在继续致密网络、加大带宽、提升数据的同时，把发展重点放在提供更多面向社会需求的信息服务上，通过泛载网络需求，满足泛载需求，让数据发挥更大的价值。

即将出台的《江苏省“十三五”基础设施建设发展规划》明确提出，积极推进网络智能化演进和发展，深度融合电信、互联网和IT技术在现有网络中注入SDN、云计算等技术，以数据中心为核心，构建新型的泛载、宽带、敏捷、安全的智能型网络。同时，把开展未来网络关键技术攻关，列入“十三五”时期加快信息技术演进升级的一项重要任务。同时提出了要加大力推进国家未来网络实验设施建设，到2020年建设一个先进、开放、灵活、国际化、可持续发展的大规模通用未来网络实验设施，为研究网络创新、体系结构，提供简单、高效、低成本的实验验证环境。

本次论坛邀请了邬院士和韦主任等一批知名的专家和产业界的知名人士，聚焦5G、云计算、大数据、车联网、SDN等前沿领域和热点话题展开交流，是一次思想交织、思维互动、观念碰撞的机会，相信各位的真知灼见和精彩报告，必将为促进未来网络发展，加快网络信息通信业的发展，带来新的启发和新的思路，也必将有力地促进江苏信息通信业的发展。江苏信息通信业要以本次论坛为契机，认真学习借鉴各位专家学者的新思路、新观点，进一步秉承开放合作的理念，加强同国内外有关科研机构和产业链的交流和合作，加快为未来网络的研究、实验和应用提供更加良好的环境和服务。为加快推进江苏网络强省、数据强省和智能制造强省，汇聚更多、更好、更大的力量，努力将江苏建成未来网络研发和产业发展的创新高地。

也真诚地恳请各位专家和业界同仁，对江苏信息通信业的发展提供宝贵意见和建议。最后，预祝本次论坛圆满成功，祝各位专家、院士、嘉宾，身体健康、工作顺利，谢谢大家！

主持人：感谢王局长的致辞。下面进入主旨演讲环节。今天上午有六场精彩的学术报告，非常值得期待。下面现场交给主持报告环节的主持人——重庆邮电大学副校长刘宴兵先生。

（第二环节：主旨演讲）

（主持人：重庆邮电大学副校长刘宴兵先生）

主持人：尊敬的各位专家、各位领导、各位代表，大家上午好！

很高兴主持2017全球未来网络发展峰会——“未来网络学术发展与产业进展”分论坛上午的主题报告。今天上午，共有六场精彩的报告值得大家期待。

第一位作报告的是工业和信息化部科技委常务副主任/中国电信科技委主任韦乐平先生，主要研究领域是光纤通信、SDH、宽带网、传送网、接入网、承载网、NGN、NGI和网络发展战略。他今天为大家带来报告主题是“未来网络的灵魂是网络架构的变革”。

韦乐平：各位早上好，我的题目叫做“未来网络的灵魂是网络架构的变革”。因为这次大会主题是未来网络。讲未来网络肯定是对现代网络不满意，对现代网很满意就没必要搞未来网络，现代的网络到底有什么问题，我从架构角度来看有四个大问题：

1、网络刚性，一旦建成了，不能动了，要动起来，起码花半年、一年时间再重新来，这肯定不行。互联网公司对我们的要求，阿尔卡特的很简单，要求分钟级，我们现在都几个礼拜，甚至几个月都搞不定，所以肯定这是最大的毛病，不适合互联网时代。

2、从设备角度封闭，历来我们买黑盒子，设备专用，软件昂贵，基本上是厂家锁定的。买了它的，下一步扩容，五年、十年都是他的，不能动了。

3、从业务角度，是一大堆烟囱，我们业务平台烟囱多的不得了，十几年前，当时我领导开始搞中国电信业务网时，那个时候统计有2200个。我们希望搞一个水平集成的业务平台。我去年问了一下相关部门，还有700个。所以可以想像，这仅仅从业务平台的角度。从网管角度又是一大堆业务平台，有集团、省公司的。资源不能共享，业务不能融合，新业务提供非常难，要跨这么多平台，工作很多。

4、运营复杂，规划、建设、运维都十分复杂，运维成本高居不下。听技术部门讲，当时CDMA过来时，一个功能要搞互操作，就一个月、半个月，一个功能的更新就要折腾这么长时间。所以现代网络架构有很致命的弱点，这些东西靠现有架构是解决不了的，所以才要搞未来网络。

未来网络到底是什么东西？未来网络不是学术上的定义，按照我个人的理解有两个维度：

第一，满足未来老百姓不断变化的信息通信和娱乐消费的需求。

第二，满足企业不断变化的信息通信和生产需要的网络。

显然这样一个网络应该是网络质量要足够好，网络质量四个指标：丢包、延时、抖动和可用性。响应要足够快，分钟级，这就是互联网时代的要求；组网足够灵活、敏捷，要快；覆盖足够宽，所谓泛在，能够连接人和万物；性价比足够好的一个庞大的基础设施。

要能够支持这样一个复杂多变的要求，首先必须打破现有刚性的网络架构的制约，构筑一个简洁、敏捷、开放和集约的新的网络架构才有可能。我们现在搞的无论是IP、光通信、移动，都是技术，一种实现技术，真正灵魂性的东西是架构。这是架构的重要性。所谓灵魂就是隐藏在内部核心的，但是又起决定性重要作用的。所谓架构是确立了技术方向和后续技术设计的基础，架构不仅是一套抽象的准则和目标，而且是用于每一个技术决定的基础。

但是我觉得我们多数人大概都没有这个概念，都是针对解决某个网络问题，解决安全问题，地址不够，搞Net；为了信息安全，搞防火墙，解决某一个具体问题上的措施都是对的，但是遗憾的是所有这些解决方案彼此不兼容，而且这么十几年下来以后，形成十分复杂、纠缠不清、僵硬的网络，于网络架构的长期演进目标是矛盾的。尽管解决地址问题、安全问题是有效的，但是跟网络安全长期目标是矛盾的。十几年下来，形成今天互联网得了“动脉硬化症”，已经堵塞75%了，再往上到85%就该动手术了，到了90%就堵死了。所以网络架构必须重新审视、重新架构、重新设计、重新定义。

动脉硬化症可不是我下的定义，是国际上IETF网络架构专家组的结论，都是世界顶级网络架构的专家坐在一起讨论，是搞互联网的老祖宗得了的结论，叫做动脉硬化症。当然没有说堵塞多少，现在来说堵塞了70%多，还能活两年。所以必须重新审视、重新架构、重新设计、重新定义。

网络架构重构的内涵。我们现在的架构就是电话网时代搞的，那个时候电话业务占了90%多，过了二十年，我们电话业务不到1%，全是数据，全是IP流量，但是架构没什么大动，所以这是很大的问题。当时建网的这些前提条件、准则都不在了，或者失效了，所以必须要重新架构。当然网络架构有很丰富的内涵，不仅是我们所说的SDN/NFV，包括层级的减少、核心节点的转移，网络的可编程和虚拟化等等，但是这么多内涵中间，其中基于SDN/NFV的新架构是网络重构的主线，特别是以网络控制与转发以及网元软硬件双解耦，为基本特征的新架构是全局性、革命性的架构。这个架构的创新有三个技术支撑：

1、网络层面，就是SDN，打破控制转发一体的封闭架构，实现网络软件可编程的新纪元。将来创造一个网元，一个指令下去，2分钟搞定，同样一个设备可以是交换机，也可以是路由器，可以是别的，不需要我们现在那么多种类的网元，这是网络层面。

2、从网元层面，最重要的是NFV打破软硬件一体化的封闭网元架构，实现网络资源虚拟化。不是黑盒子，将来变成白盒子，过渡一下的话，从黑盒子过渡。不是黑盒子，给你一个设备什么都不知道，软件架构不知道，硬件具体特性都不知道，就知道外特性怎么用。

3、Clouding，资源的变革。打破网络与IT资源分离的局面，构筑统一云化的虚拟资源池。网络跟IT到现在为止，中国电信还是两张皮，两个部门在管，数据也不通，谁也看不见谁的，还是一道高墙在竖着。谈云网协同、云网融合，数据都看不见，怎么协同，最重要把这堵墙推翻。最近我在内部协调这件事情，这堵墙要推倒不容易，但是必须要有统一的资源池。

下面主要跟大家报告一下最新运营商关于SDN调研结果。

上个礼拜我刚好见了IHS（国际上著名咨询公司），它的奠基人霍华德给我一个报告，看了里面最新的调研结果，跟大家共享一下。其中75%的运营商在2010年就开始部署SDN，89%会在今年部署SDN，几乎全球的运营商没有人不部署，只是时间上的差别，高潮应该是2017年几乎90%的人都开始部署。2016-2017年，多数运营商都会从概念验证和评估走向商用部署阶段。运营商希望在网罗大部分领域都部署SDN，所以SDN不是单向技术，是横跨所有专业领域的。

2017年三个最大的重点：DCI（数据中心之间的链路），DC（数据中心内部）、商用接入。

NFV调研结果，81%的运营商将在2017年部署，100%运营商会在合适的时间部署。也是百分之百认可的，历史上这个技术能得到这么高度一致地认可不容易，2016-2018年期间，使用最多的案例有企业利用软件NFV管理业务，这是第一位的，在我们国家的次序不是这样的，重视程度还不够；引导流量通过所选的VNF；vCDN，服务器上运行的软件化的CDN；vIMS，这是我们国家共同认可的，几大运营商都在做这件事情；vEPC，软件化的EPC功能，我们国家也有争议，但是达成一致，对于物联网的vEPC是一致的，现在开始干了，但是对于普通的通信业务，似乎没有放在优先级。

下面跟大家分享中国电信关于CTNet2025的战略考虑。当时考虑要完成三个根本性的转变：

1、从互联网应用被动地来适应网络向网络主动、快速、灵活适应互联网应用的转变，这是很快甲乙方的变化，原来都是上层应用在球联网络，给我一个带宽，多长时间，现在变成网络去主动适应它，这个转变不容易。过去没有技术手段，现在有了SDN，就有这个技术手段了，就可以去做到这一条，过去想做也做不到，何况不想做。

2、从传统烟囱式分省、分专业的网络架构向水平集成的One ChinaTelecom而转变。仅我们业务平台搞了十年以上，从2200个变成700个，一大堆烟囱，没人说得清。

3、从PSTN为核心的组网向以DC为核心的组网新格局转变。流量不是从你这儿出来，从DC出来，我们调查一级干线里面流量占了47%，如果考虑城域网用上来的，统计一年也搞不清楚，估计起来大概占60%多，主导流量都是从DC出来，过两年可能80%都是从那儿出来的。

CTNet2025目标架构，分：基础设施层、网络功能层、协同编排层，跟国际标准化组织所制定架构是一致的。基础设施层有底层计算、存储网络、x86服务机等等。编排层有两层：针对各专业领域；跨领域，叫顶层网络协同和业务编排层，跨虚拟世界跟实体世界。这方面没有太大原则性差别，差别在后面两块，我们还有第二个垂直的线，很多专用基础设施一时半会儿不可能虚拟化，但是可以做到抽象化，让上面不看到网络具体的细节，只看到对外表现的逻辑功能，这样管理起来就很简单了，能够实现抽象层。

有一些设施，像核心路由器，估计五年、八年都不可能虚拟化，因为要求太严格了，按照现在X86进展速度，五年、八年搞不定，可能长期以来还是由EMS在管理。当然我们也可以慢慢引向多SDN控制，转发控制功能全都上移到SDN，只留下转发功能。所以真正我们的架构，一个是虚拟世界，一个是暂时不能够虚拟化的，一个是长期不能够虚拟化的，这个网络架构是比较接地气的，比较实事求是的，国际上我们的友商是纯虚拟化的，这是不可能的。AT&T号称2025年要实现75%的虚拟化，我们派了专家组去了，他们里面负责这个项目的人跟我们说，起码推迟三年。AT&T这么强有力的公司，作为全集团战略转型主线，要2023年才搞得定，何况我们国内的运营商更加没谱，所以我们2025年设立的目标比较现实、实事求是。我们网络架构针对这三部分也是比较实事求是的。

这个网络架构特点：

新的三层架构，关键是开放的API、基础设施+网络功能+协同编排。新网络能力，运营集约+资源统一+快速响应+网络开放。新的技术特征，SDN/NFV/Cloud。

IT与网络深度融合，原来搞IT网络运营商，很多人思想很保守，认为IT就是做后台支撑的，前面的业务跟网络提什么功能，我给你实现就行了。这个不行，这是传统的，现在一定要走到前面，要渗透到业务、渗透到网络，要介入其中，甚至某种程度上还要促进网络的变革。当然说起来容易，做起来很不容易，不仅他们自己缺乏网络的知识，我们网络部门对他也是屏蔽的，所以要打破这堵墙很不容易。

CTNet2025年有一个目标架构：

简洁。我们那么多层级，大层、小层种类太多、网络设备类型多，数量更多，正规网络前几年统计的是400多万台，现在统计估计得500、600万台；接口的简化。协议要简化，我们协议太多了，我来的时候刚好跟科学院李院士一辆车，我想起来实十几年前，他是我们国家计算机理事协会理事长，也是计算机体系架构最重要的专家之一，他说：我是搞计算机体系架构的，是研究这个架构跟协议的，通信到底多少协议，你能告诉我吗？我说：我也不知道，没有人统计得清楚。我说：看你通信的协议脑袋都炸了。搞计算机通信的人脑袋都炸了，何况我们不是正宗干这个的，现在数不清到底多少协议，这些协议都要大大简化。

敏捷，这是新词，最近几年出来的，我们过去说灵活，灵活没有时间的限制，只是能够变，最后改成柔性，柔性进了一步，但是柔性还是很慢，没有时间的概念，就是敏捷分钟级的，就搞定了。

开放。电信内部十年前提出来四类能力开放，到现在也没有开放出什么，不知道什么原因，一句话，开放说起来容易，做起来不容易。不仅是我们这样，厂家更是这样。

集约。资源统一部署，配置和端到端的运营，一会儿集约、一会儿分布，现在有了云计算，又要开始集约了，资源不集约，看不到全网的视野，效率最低，集约过头又搞了物计算，再往下分布，分布到网络边缘。所以集约跟分布式是一对矛盾，不断变化。

我们针对刚才这张图写出来定量的一些指标，新架构、新能力、新任务。

简洁。网络层级的减少，一二级干线融合，这是我们二十年前就想融合的，但是出不了单位就“枪毙”了。过了二十年，终于可以探讨一二级干线融合了，现在慢慢也接受了，但是也不容易，原来说三个月搞定，我当时提出两到三年搞定，现在看来确实需要两到三年。今年年底据说大部分省可以做到，明年大概全部可以做到；

不大于30毫秒传输网的时延，这个指标也很重要。现在平均45-50毫秒，四大指标形成竞争力最强的就是延时。丢包、可用性，大家差别都不远，延时成了竞争性的指标，我们提出30毫秒，前提是一二级干线融合，不融合做不到。

网络种类，网元数量、网络节点数明显减少。原来都有定量的，但是因为定量的指标达不成一致，就是明显减少。IP网，现在统计下来，8000个，为什么要这么多，800个就足够了，将来虚拟化完全可以做得到。

敏捷。分钟级的，配置、开通和调整能力。争取从几个月、几周，变成分钟级搞定。

开放。按需提供用户自定义4维度服务。

集约。80%的网络功能软件化，全部业务平台云化，业务可以全网统一调度。这是我们2025年的指标，2020年到底多少，我们现在正在调查，希望做到40%的网络功能能够实现软件化。

演进路线（如下）。

2015年起步阶段：

1、网络虚拟化和云化。

在部分网元会引入NFV，包括vIMS、vEPC、vBRAS、vCDN等。

部分端局进行DC化改造，中国电信要8000个，也是够多的，但是里面有多少能够进行DC化改造的，值得DC化改造的，有这个需求DC化改造的，这是不清楚的，我们今年也进行调研。我自己估计最终目标不会超过10%，也不会有那么多，代价太大。我们相关部门测算：在城里改造一个DC花的钱跟新建一个差不多。我一听很惊讶，这么贵。

随选网络的商用化，原来指标希望今年年底能够开始商用化，但是能不能做到。

2、新一代运营系统。

需要引入分层的SDN的控制器，即不是一个层面的SDN，有普通针对某个厂家、某个专业领域的，上面还有跨专业跟跨厂家的。

网络协同与业务编排要引入，这个很重要，是运营商能够掌控网络业务很关键的一环，也是最乱的、最模糊的一环。

实施网络自动化配置，支撑随选网络。自动化配置非常非常关键，没有自动化，什么都谈不上，而恰恰这个最糟糕。前一段时间听相关运维部门汇报，仅VPN，要有40个环节需要人工介入。这2016-2020之间要做的事。

2020-2025年第二个阶段：

统一全网云资源，80%网络功能软件化。我仔细跟踪AT&T的做法，网络架构重构总负责人叫COO，因为大部分资源都是他掌握，提出网元80%。但是过了几个月以后，它的CTO把这个词改了，不是网络的80%，改成网络功能的75%。原来说是网络数的75%，那就不得了，变成网络功能了75%，这一下子分母就缩小了。

100%的业务平台云化，实现网元DC化部署，及DC为核心新架构。

部署顶层网络协同和业务编排层，统筹实体和虚拟世界。这很重要，我们很多部门同志总是希望原来系统改造一下，能否覆盖虚拟的？我相信能做到，但是代价巨大，不值得。我们人力物力都很有限，把人力物力投到这些原有企业硬件设备，永远搞不清楚，这个还没搞清楚，新的东西又出来了。应该把主体力量投到新的东西，旧的东西暂时不要动，起码不要大动。跨实体跟虚拟世界的业务怎么办？很简单，上面架构一个LSO，相当于横跨虚拟和实体的，不用伤筋动骨动信息模型，靠API相连，所以问题简单化了。

新一代系统还要实现网络可编程，下一个指令，几分钟搞定一个。

对于传统的运营商跟传统的设备制造商，因为这次网络架构冲击，第一冲击最大是设备制造商，第二是运营商，对于软件开发商、IT厂商是很好的机遇。

“对传统运营商和现有设备制造商而言，这是一场史无前例的生或死的抉择。”——Stephen

我认为三年之内没有问题，五年之内也能凑合，五年以上确实够好，因为你不动别人在动。中国三大运营商，中国电信可以不动，过两天，移动宣布提供一个10G端到端的，2分钟，中国电信还需要两个礼拜，肯定客户全到他们那儿去了，逼着你动，不想动也得动。现在让你主动动，不愿意动，到时候逼着你动就来不及了。这种危机性，前端部门一定要充分认识，过两年局面就不一样了。谢谢大家！

主持人：谢谢韦乐平先生给我们带来的精彩报告。

接下来为大家作报告的，是中国工程院院士邬江兴先生。邬院士也是国家数字交换系统工程研究中心主任，我国著名的通信和信息系统专家。成功研制高性能、宽窄带混合数字交换系统，获得国家科技进步一等奖。2002年起，主持国家“十五”期间“863”高性能宽带信息网等多项专项工程，担任课题组组长，获得国家科技进步二等奖两项。

邬院士今天为大家带来的报告主题是情景网络理论研究与技术实践。下面，我们以掌声有请邬院士给大家作报告。

邬江兴：女士们、先生们，上午好！刚才韦总做了很精彩的报告，提出未来网络是灵魂和架构的变革。我今天的题目也是讨论未来网络的问题，就是情景网络理论研究与技术实践。去年也是在这样一个峰会上，我们首次提出了在分布式网络中导入情景拟合机制这样一个创新性的概念。我想特别强调的是刚才韦总讲到的网络架构这些东西，我都赞成。但是有一点，未来网络肯定是一个分布式网络，这个是不变的。分布式网络当中存在的固有问题，如果不科普的话，所有的那些相关其他技术也都很难产生出光辉。

考虑到这个问题，我想首先我们回顾一下情景拟合网络的提出背景，这个人大家都可能很熟悉，这是互联网理论的基石，这个是保罗·巴兰，1962年他写的关于分布式通信的理论。到1969年达卡选择一个在核战争期间打不烂摧不垮的网络体系，用了保罗·巴兰的这样一个理论。这里很核心的一个想法，我们刚才看到这些东西，这边的东西都是我们传统的层级化的网络，保罗·巴兰就提出这么一个东西来，看起来像蜘蛛网的东西，分布式网络。整个现有的网络技术的基础，应该是它的理论基础就是这样一个分布式网络。在这个基础上，我们发现了三大基石，传输协议、转发方式、路由控制。从网络1.0到网络2.0到网络3.0，在这种变化过程中，我们可以看到这样的一个基石和它的三大基线技术是不断地在变化。

其实刚才韦总讲了一个很重要的问题，这个传输协议，这个东西多得不能再多了，怎么回事？那就是为了在上面堆砌这些东西，不得不在基线的层面上做添砖加瓦的事，不得不做修修补补的事。我记得一个很著名的观念，就是说这个东西能不能用，就是以用为标准，逢洞就补，逢漏就修，就是这么一个概念，所以这么多年互联网核心技术三大基线技术没有动过。我们在未来网络里面就要加一个网络构造技术，将成为未来网络的基线技术，但是原有的这些基线技术仍然在未来网络里面还是不可或缺的，只是可以把它简化，可以敏捷，可以灵活，但是是不会取消的。原因是未来的网络也是建立在分布式网络的理论基础上的。

所以我们说原有的三大基线技术构成了互联网的合成技术体系，现在是支撑互联网不断演进发展核心，也是未来网络基线技术，当然未来网络基线技术不仅仅是这个，还包括架构技术。分布式网络毫无疑问存在着两面性，第一，它是可扩展性和它的健壮性优势，这是互联网取得巨大的商业和产业成功的重要因素。但是我们也注意到，这种尽力而为的转发模式和最短路径的这种路由控制僵化的方式，无法实现基于用户体验的网络资源的全局协调控制。这个辞海里面对这个协调给了这么一个定义，叫和谐一致、配合得当。就是我们现在的网络真谈不上和谐一致、配合得当，几乎是一种堆砌行为。这种堆砌行为很大程度与这个分布式网络构造有关系，因为我们看不到全局，分布式网络看不到全局。

我们把互联网和交通系统上类比有很多相似的地方，比如我们在交通系统中有交通规则，在我们互联网里面有路由协议。在交通系统中有协调控制，我们可以看到当塞车的时候，临时措施，还会有一帮交警上路，然后指挥，超越这个红绿灯指挥。当然现在也有一个全城路口的流量控制调整，所以实时路况等等这样的一些东西。所以交通状况现在拥塞，但是比我们网络上的用户体验要好多了，原因是因为他有协调控制。而我们在互联网上看到协调控制在哪里呢？没有。实时路况情况也没有。所以我们可以看到都是路由协议，我们可以看到它们技术上的差别。

我们就在想，既然是这样一个情况，分布式网络这个是不可避免，这个分布式网络，未来网络你也是避免不了分布式网络的。我们现在在目前网络上追求最大路径，这种结果是导致流量向部分路径拥堵造成拥塞。我们只要看一下网络理论可以看到最大路径可能是最优的一个，除此之外就很难说。不追求最短路径的话怎么弄呢？它在这边的现状是这样。我们想如果把这个网络拥塞，我们能不能来进行一个全网的流量协调，全局的资源配置，然后全网流量协调，我们使这个流量分布能够趋向均衡一致，等于就是把网络这种无序的情况变成稍微有序一些。

当然我们也可以看到现在的现状，基于GCP的，我们叫增量加速急刹车的调整机制，引发了浪涌式加塞，这是在现在的流控。大家也会提到他为什么会采用这个方式呢？其实不采用这个方式？从分布式理论看来，得到这个方式是最佳的。所以我们也同样有个设想，就是如果能够对全网的流量进行协调，使跟这个流量相适应的进行适配，就不会出现这种浪涌的现象。再有一个，我们现有的端到端的保障机制，还是一个LV的机制，尽管我们也发展其他的等等的东西，但是这些东西都不是基于自动的一种方式。我们整个用户的体验感觉都不好，提速、降费，我费好像是降了一点，这个提速的感觉还不是很大。其实我知道中国电信也费了很大的劲，效果不好，用户体验不好。这种用户体验不好，是我们网络的痛点，就是未来的网络在运营商这边看到能够快速部署，但是在用户层面上你得给我QOE，否则你再好的快速部署我都不认。所以在用户体验和运营商的最佳的经济追求诉求方面，它们必须产生一种协调一致的目标。所以说如果能够对全网资源进行协调，使服务体验和资源能够配合得当，这也是提高网络服务质量，这也是我们的一个目标。

如果想做到全网感知，非集中控制不行，没有集中控制要想做全域优化似乎是不可能的。另外集中控制与互联网的基本理念相悖，我们没有人敢说未来网络是集中控制的网络，只是节点大量减少，不是这种平铺的，现在说是完全不分级的，恐怕我觉得还是要商议的。如果纯粹产生这种分布式网络的话，似乎现在是无能为力，能做的事情做了许多了，协议也不知道增加了多少了，这个路在何方？这个事情是我们一个要探讨的问题。

所以刚才韦总讲到了创新之路需要灵感，技术变革需要新机制。我们的网络里面必须导入新基因，不改善基因就不可能改变现在网络的这样一个状况。所以其中一个基因开放性、重构，架构可以重构，可以进行开放打开。但是不仅仅架构上要解决问题，用户体验还要极大提高，而用户体验的问题，是涉及到分布式网络的理论基础问题，如果这部分不突破，你就是架构打开的话，用户体验也不会怎么样。

好，于是乎我们有什么办法？既然我们未来网络还是分布式网络，我们还是要基于分布式网络基础上，能够导入什么基因，能够改善这个状况？这就是我们期待的。这里面第二个，我就讲到群集运动和情景拟合，群集运动实际上是生物运动的现象，大家注意到沙丁鱼的群集运动现象，每个鱼通过感知水流、温度等环境信息以及邻居状态，个体自主变化并最终使得群体形态发生适应性变化，既使是在遭受威胁时，仍能形成大规模有序的群集运动。这个很神奇的，沙丁鱼最大的群集运动大概有上亿条，这么大规模，特别是在受鲨鱼围攻的情况下，它仍然能保持队形，这东西怎么没出现撞船的现象？这个很奇怪，你看不到一条死鱼，这里面老弱病残都在里面，大大小小都在里头，这是一种什么神奇？我们需要生物界的灵感来启迪我们。

我们再看一下这两幅图，这个号称叫椋鸟，这个大概一群有好几百万只，它的少数个体在发现觅食地或掌握归巢迁徙路线时，亦可引导整个群集运动，它们没有撞击情况。前不久在看非洲大裂谷那个地方，发现各种大鸟小鸟一堆，大概有几亿只，起飞的时候很壮观，我没看到大鸟起飞把小鸟给拍到下面去，所有的鸟类，不同的鸟类在飞行过程中没有看到撞的，底下是有狐狸在那儿等着，没有等到，它只能在那儿跳，急得跳，没有说撞到掉下来的，不撞击。这是怎么弄的？

好，我们可以看到群集运动的特征，其实群集行为在我们科技界的研究还是很早，从它的特征个体上来说，它本质上是群体内相邻个体间的信息交互并自主变化，从而形成群体形态的变化过程。个体上具备了基本的智能属性，即感知、决策和执行能力。

刚才韦总讲到我们传统的网络理念，你说有没有感知，也有？你说有没有决策，也有，执行毫无疑问。但是它没有群集运动的这种感知、决策和执行。第二，个体资源虽然有限，智慧也有限。一个鸟有多大智慧，一个沙丁鱼有多少的智慧？肯定没有邬江兴的智慧高。但是群体依然能出现全局有序的收敛，队伍不会出现撞击、踩踏等事件。我们人坐在这儿有一百多人，如果有恐怖分子，人往外冲的时候，一定会出现踩踏。鸟类和鱼类面对攻击的时候，那种队形，那种保持镇定的能力不得不令人惊叹。它们是一种什么样的智慧，有什么样的基础？你说搞了几十个节点，几百个节点的东西，通信效率差得一塌糊涂。这些鱼是怎么做到的，角马是怎么做到的？椋鸟是怎么做到的？

还有一个，它个体整体能够快速收敛，这也是很神奇的。从群体来说有一个一致性的表现，多智能体网络的每个节点，它按照某种控制的规则，我把它称做一次性协议和算法，相互传递信息，相互作用，随着时间的演化，网络中所有节点的某个状态都会趋于一致，这就是它们不会出现撞击、踩踏的一个原因。也就是说一致性问题是智能体之间的协作协调，就是它能做一致，而我们现在做不到，在网络上的话，也都是各行其是。

于是我们根据这个群集运动的现象的一种分析，引发了一种灵感，说群集运动中生物群体所呈现出的各种协调有序的集体运动模式。实际上它是有分布式的个体之间，相对简单的交互而产生的一种群集运动，是这样一种行为。我们能否在分布式网络中导入群集运动的模式？借他山之石来攻玉，来实现基于服务体验的网域资源自协调运动方式。我刚才注意到韦总提出一个关于自动驾驶的问题，一个VPN要有40多个环节去配，当网络大了以后，没有人能受得了，那种工作我不知道有没有人愿意去干，是不是找个机器人去干，自动驾驶的问题。

回到这个问题中来，其实人类对群集运动的研究还是很深入的，已经建立了这样一些理论，特别是像一致性的理论很多，像一阶连续、二阶连续、高阶连续、无向离散等等，这样的一些情况都有相应的理论公式，理论已经研究得非常透了。所以网络节点如果要具备群集运动个体的智能属性，那就需要有感知、决策、执行一体化的功能，这一点上跟我们现在未来网络是很重要的。我们过去那种专用的只对某一个专一的用途的东西，可能很难具有这样的能力。

我刚才讲到，这一致性收敛是有条件的，它要强调有连通性才能有一致性收敛，恰好我们在网络，不管是现在的互联网，还是未来的网络，它在连续性上是满足群集运动的一致性收敛条件，自动满足。所以看来把这个群集运动导入到分布式网络里面去，这个看来不存在理论上面的困难。

于是我们把这样一种导入的，我取个名字叫情景拟合，我给了一个定义。就是我们参照群集运动的原理，在网络节点感知邻域节点和自身的状态，我们称这种暂时状态为情景，对感知的情景进行分析并依据一定的规则形成决策，驱动柔性网络资源执行相应调整，并将这种机制向邻域扩散，自动实现网域范围内的群体目标一致性，我们把这样一个过程叫情景拟合。

完了以后我们讨论一下基于情景拟合的网络动力学机制是什么？好，这是鸟类群集运动一阶连续一致性算法，这里通过感知、决策、执行。这个鸟，我们可以看到这个鸟，在它的坐标位置上的时候要感知相邻的那些东西，类比过来就相当于我们要跟我们的Xi节点要感知。鸟类个体感知邻居的位置Xij，依据Xij和自身位置Xi及期望的距离Rij进行自身位置调整。它产生一阶群集运动的效果，比方说在这里面已经出现拥塞了，这时这辆车过来以后，他一发现感知前面拥塞以后可以换个路走。这里面就是自动产生迂回，这其实在电信网里面也有这个概念，但是需要感知。而且不是一个节点，是直接两节点之间，而是所有关联节点之间。所以情景拟合机制可以通过邻域感知，调整流量方向，使网域内流量区域均衡，来减缓拥塞。

这是MIT数学家提出了交通拥堵的数据模型并指出，自动驾驶汽车提前预测并减速，能够大幅度缓解交通拥堵问题。这是他的原文上，我们可以看到有汽车在走，有的在减速，有一个急刹车造成一系列减速，然后再启动。数学家建立这个模型，说如果在这些汽车里面放上20%的自动驾驶汽车，就能够减少50%的走走停停的拥堵情况。这是效果之二，也就是只要20%的自动驾驶，所以我现在很看好谷歌的自动驾驶，因为它上来可能就能缓解我们的交通状况，我们现在人在上面驾驶都是要尽力而为，结果把所有四车道六车道都死死堵死。我们河南郑州到开封是六车道，都堵得死死的，即使是十条车道，还是会堵得死死的。所以情景拟合可以使全网流量趋向平滑，而减少拥塞。

第三是网域内端到端服务一阶群集运动，用户满意度传递模型，对于特定的终端MOS需求，服务链上的服务节点进行一致性调整。走到第二个节点的时候，它的服务差值也是零，可是走到第三个节点的时候，它的服务差值就变成负1了，到第四个节点是变成5，可以把这个负1补上，所以最后到达终端以后的结果还是4。所以可以看到情景拟合机制可以基于邻域的服务来提供端到端的服务保障。

SiFi可以按类在全网域提供端到端服务保障，业务聚类使得网络资源调整只针对特定的目标业务类，而不影响到其他任何非目标业务的服务效果。它们可以自动聚类，并不需要精细化。剩下的问题就是既然需要感知，感知域有多大才好呢？我们可以通过调整感知域，可改变作用范围和全网收敛速度。理论研究表明，群体系统中的个体仅需要6到7个邻居交互，即可使个体以最小的感知代价使群体获得较好的运动一致性。遗憾的是在我们的现有网络里面没有这样的一些理论，所以搞得非常糟糕。

去年我们在提出这个概念，今年我们的研究进展情况向大家报告一下，我们认为这个SiFiNet为互联网引入网域协调控制基因，当然不是在分布式网络上的推倒重来，我们认为是要继承演进，是要进行基因修补。也就是说通过增强是添加节点决策协议和节点感知，来做基因修补，为互联网引入分布式网络的协调新基因。因为原来的分布式网络里面没有协调新基因，才导致这个情况，有了这个新基因，在网络协调的自动化优化方面我们就有可能来实现。

这是基于SiFiNet路由节点架构设计，设计了互联网三大基线技术，路由控制和传输协议的增量修改。整个SiFiNet协议栈架构设计情况也会产生一些变化，这是SiFiNet协议栈架构的情况，这方面有一套的东西。因此我们注意到SiFiNet的节点资源感知协议和认知决策协议涉及到现在网络的第三层和第四层，所以它是在三层和四层之间做了一个SiFiNetWare。

我们把这个研究的结果，也做了一些仿真，实物和半实物仿真，这个仿真的结果，有均衡的这种协议方法，我们可以看到，它能够不管从哪里开始不同，都能够实现协议一致，这一点让我非常的兴奋。就是我们终于在分布式网络里面，找到了一种可以自适应趋向于均衡的方法。所以完成了一阶单目标SiFiNet的设计与仿真表明依靠节点自动协调，可以实现端到端服务保障和拥塞减缓。以后运营商可以不关心，它能自动实现。下一步我们将探索多阶多目标的SiFiNet实现，一高阶以后难度很大。

我们也同时在设备上开始做了，首先我们在大规模接入汇聚路由器ACR已占据国内宽带接入市场近30%份额以ACR为基础开展的SiFiNet节点设备的原型。同时我们也在做基于传统路由器的增量式改造方案，以及基于SDN的网元设备实现方案，现在看来进展顺利。就是我们给SDN赋予新的基因，就是分布式网络中用户体验的自适应，系统可以自动适应，不需要人去配了。

我们目前已经完成了群集运动原理、拥塞的成因、幽灵堵车的分析以及端到端的分析方式，现在正在进行高阶多种建模，今年我们已经完成了端到端的客户保障的验证，全网运算的均衡以及全网数据的平衡，继续在做高阶多种建模。下一步我们在进行SiFiNetWare的开发，然后调试实验和认证验证。我们希望在2018年在国家未来网络实验设施上开展SiFiNet的实验，以此想针对网络资源利用低下和QOE这一个痛点的问题，来探索互联网核心技术演进新方向。这是从理论和机制上来进行QOE的问题，解决资源利用率的问题。

我们也知道复杂网络理论已经证明，对于一个无标度网络来说，最大仅需要不足总节点三分之一的控制节点，即可实现网络协同控制。所以SiFiNet的支持增量部署，理论上仅需要不超过三分之一的情景拟合网络，我们即可实现全网服务体验的整体优化目标。原来以前没有人敢设想这件事情，我们可以看通过这样一个增量部署场景，比如现实是传统的，我们在传统的里面可以通过在这里把它变成SiFiNet的这个节点，把它变成SiFiNet节点，把这个变成它的节点，我们可以看到整个QOE的改善，它随着这个网络，有三分之一就足够了，不到三分之一的时候也能得到很大的改善，这种增量部署的场景有很大的指导意义。于是我们可以看到SiFiNet的机制是具有一个普世性机制，凡是分布式网络，在给定网络资源和拓扑关系条件下，即使没有精确的业务和服务分布模型也可以通过部署有限数量，情景拟合自动驾驶网元节点达成资源利用率和服务质量优化之目标。

所以我们说情景网络是未来网络的基线技术，就跟刚才像韦总一样提出的，是一个可重构的、虚拟化的、云化，还要再加上一个是情景网络、情景拟合机制，我认为再加上一个技术可能是完备的。

做个小结，在情景网络里面我们导入一个机制，叫群集运动机制。我们运用生物界的他山之石进行攻玉，基于复杂网络控制、群体动力学、物理学等领域的成熟理论成果。我们也开启了互联网服务模式的变革之路，我这里用个“变革”。另外就是实现全网域端到端无模型服务体验自动化保障目标，我觉得这是一个开天辟地的事情。因此，整个情景网络，我说是我们想实现用网络自动驾驶技术，来保障网络用户体验，提升资源利用率的未来网络所必需的基线技术。谢谢！

主持人：感谢邬院士给大家带来的精彩报告。下面为我们作报告的是北京交通大学张宏科教授，张宏科教授是我国两期国家973项目首席科学家，首批新世纪国家百千万人才工程国家级人选，首次提出具有自主知识产权的标识网络体系，先后获得国家技术发明二等奖、教育部技术发明一等奖、北京市科学技术一等奖等多项奖励。他今天给大家作的报告主题是“智慧协同标识网络系统及应用”。有请张教授。

张宏科：谢谢大家！我今天只是把我工作三十年的成果跟大家进行交流。我想设计一个新的互联网，以智慧为目标，以协同和标识为主要技术特色来设计这个新网络。今天会议主题是未来网络，我们有一个具体的东西，把我们这么多年的工作跟大家进行交流。

研究背景与需求。

现在互联网的核心技术长期受西方国家主导，对我国网络安全及主权造成重大威胁。如我们军队要走出去、我们高铁企业要走出去，急需要自己的网络。这是从战略的角度。

从技术需求来说，我们工业环境需要低延迟、高可靠的网络，我们车联网也需要大动态、大范围，比较低延迟、高可靠的网络通信，现在的网络做不到，所以需要构思和设计新型的网络体系和机制来解决这些问题。

从具体技术来说，网络用户应用规模地不断扩大，其原始设计思想受到挑战，暴露出很多问题，如移动性、安全性。为此全世界都把这个方面作为最重要、最迫切的一个研究内容，如SDN、SN、CCN、NDN、NFV等目前比较热的这些技术，我们国内也很重视。

有从可扩展方面，有从面向服务和面向内容方面，有从网络空间、有从网络方面、有从无线方面来研究。总的来说，要设计一个世界上这么大规模的网络体系顶层设计，实际上对主设计人还是蛮苛刻的，有很大的挑战。这么大一个系统的顶层设计，首先要找到现有网络原始设计安全性、移动性都是老百姓感觉的，本质机理、原理是什么，要找到本质。而且安全性、移动性、可扩展性、效率低这些单个问题相对有一些思路，可以努力解决，综合解决起来也有挑战。特别是随着大的网络和大规模智能、智慧，小范围的智能好做。为此，这对互联网的体系工程技术来说，对这帮人很有挑战，要长时间琢磨，要持之以恒去努力工作，才有可能完成这个挑战性的工业。

我第一次做973项目，人们认为我是攻泰山，比较难。几年下来以后，还可以。我通过多年努力，我今年正好60岁，互联网也正好接近60岁，我工作30年，前十年就做IPV6的网络、IPV6路由器，发现在无线方面不行，我做无线移动的路由器，发现安全方面不行，做相关安全的网络产品，做了以后，才把网络机制机理和问题本质理解的比较明白，在移动、安全方面研究，发现是原始设计造成的问题，后天的头疼治头、脚疼治脚，没有其他办法，这也是好办法，但是要解决这些问题，必须从头开始，好好琢磨研究网络。这方面做了一些工作，这个工作突破性不大，但是通过路由器，会做路由器，从技术角度，这个网络技术基本掌握。机理、原理、问题以及如何解决问题，提供了一个基础。为此，2005年，无线路由器就拿到北京市一等奖。国家工程实验室互联网方面，最早、唯一这方面的实验室也是通过这十年的努力沉淀下来的。

我发现互联网有问题，这些问题也有修改的解决方案，但是我想比较彻底地把它解决掉，不完全是革命性的，也有演进性的。完全革命式的，让大家很不舒服，又有革命性的，又有演进性的，糅合起来，我提出一个标识网络，标识网络是以标识为特征来设计一个新的互联网。为什么要标识？现在一种应用、一种标签、一种系统可以认为是标识网络，网络也是如此，我们上互联网浏览一个网站，实际上是一个服务，里面建立连接，到IP层进行交换传输。打电话网络，服务拨打电话，里面建立相应连接、进行交换传输，本质上就是服务连接、交换、路由传输，不同网络定义不一样，为此我们统一标识，使网络前后兼容、业务前后兼容方便、灵活、可编程。

这一个解决方案里面，把安全性、移动性，如可扩展性得到有效的缓解、得到有效的解决，这一个方案来解决也是有挑战性的。2008年时这个技术已经转让给中兴通信，中兴通信在移动网以及安全方面吸收了这方面的技术，所以效果还是比较好的。为此我们2008年给了中兴通信，到了2014年才报国家奖，是等着它效果好一点，但还是不理想，那一年也没有国家一等奖，我们评了二等奖，应该说是对我们工作的一个鼓励、一个鞭策。这就是我前二十年，通过IPV6路由器核心设备的研制，消化了网络真正的原理和机制，又通过十年，做了雏形新的标识网络。

最近十年的工作就是智慧协同的网络。

我们通过这么多年的研究发现，互联网的原始设计的机制和技术具有三重绑定，即：控制数据绑定、资源位置绑定、用户与网络绑定（即身份绑定），造成这些安全性、移动性、效率低的问题。

现在的网络，一个用户从一个地方移动到一个地方，断了以后是重新建立联线，理论值是1.5秒，现在移动怎么支持车联网、工业互联网，我们现在目标要到毫秒级，现在网络严格来说不支持移动，移动性比较差，特别是高速移动不支持。

控制与数据的绑定，我们网白天用，晚上不用，让它休息，哪个地方工作，支持高带宽，不支持工作，低带宽，做不到，比较死板、僵化，不智慧。

现在互联网这个工作原理，用户上网到域名解析全要到这儿拿东西，所以网络出现一些问题，我们的智慧协同标识网络是从机制和技术上凝练出三重绑定，是造成这些问题的本质原因。从体系结构上，我们发现它的横紧纵松机制是导致互联网灵活性差、效率低的本质的原因。什么样的应用需要什么样的网络支撑，什么样的网络支撑什么样的应用，沟通不好、协同不好。所以现在互联网上的用户和应用随便用，由于是松耦合，上下沟通不好、协同不好，所以灵活性也比较差，而且横向是紧的，现在的互联网设计，比如IP层，转发、存储、路由、计算都在一层，很难做到灵活、智慧，都捆绑在一起做。这是从体系大架构上有这些问题，要让一个网络灵活，要让一个网络智能，要让一个网络智慧，没用智能网络的含义，现在智能网络已经有固定的含义，北邮成员团队和国际上都有智能团队，我们用的是智慧。某一层都是捆绑在一起，让它智能很难做。网络要感知、要决策也是体系架构所造成的，我们从技术、机制、体系架构发现问题。我们发现了哪些大问题，机制上搞定，就有思路来解决了，三重绑定解决的思路很多，横紧纵松体系解决的思路很多，大家每个人都可以提出思路，这是到了技术层面了，刚才是在科学层面。

创建“三层”“两域”新互联网体系结构，即智慧协同标识网络SINET；发明资源适配层纵向结合紧适配，实体、行为两域横向结构松耦合的感知协同技术。

过去资源位置绑定，控制数据转发，现在的SDN就是一种技术解决这个问题的思路。用户与网络的绑定，要把这三重绑定综合解耦，效果才能达到综合效果。

未来网络，从网络层面，什么样的应用？网络一定是组件化、模块化、部件化，这些我都参与其中。运营商和设备制造商确实日子慢慢变得难受，特别是设备制造商。二十年前的计算机，都是一个一个厂家垄断的，从软件、硬件、设备、显示件，都是一家做，最后模块化、部件化、组件化，软硬分离。现在网络设备还是二十年前计算机那种思路，都是华为、中兴垄断，网络设备肯定是要开放的，肯定是部件化、组件化，要好做。什么样的应用，需要一个虚拟网，虚拟网用完以后拆掉让别人用，网络完全是网络化、虚拟化，而且需要就有，没有就是虚拟网，拆掉让别人用。我们作为科学工作者，是把我们研究的体会告诉你们，并不是运营商的日子难过，我们也难过。模块化、部件化，网络设备都要这样，一家垄断的日子慢慢就难了。现在运营商体会到了，设备制造商很快就能体会出来。从设计人员来说，确确实实是这样走的，设备制造商的日子现在很好，如果不前进就够呛。

这个设计思路，现在的地址欺骗现象不应该有，实际上就是从免疫能力、体系机制上不应该有这种地址欺骗的安全隐患，攻击核心网不应该有了，就是目前攻击欺骗现象应该从体制机制上屏蔽掉。DDoS攻击也提前能知道了。移动性，移动中心不中断，从1.5秒，理论上到毫秒，我们实测结果能到毫秒、微秒以下，但这是有条件的，不同的规模、不同的大小、不同的硬件/软件，确确实实能降下来，能到毫秒级、微秒级，但是跟它的环境和条件有关系。可扩展性好。

SDN是一个好东西，解决的是控制数据解耦。但是我们的三大运营商无一例外地搞SDN，我作为一个科学研究人员，我的体会是有风险。三个绑定解耦工作做得最好的是SDN，这个工作是最成熟的，华为的SDN交换机摆在那个地方十多年了，有风险。这个技术有好处，在一定环境下是能用，也不错，但是这么大网集中控制，首先安全就不一定很好。集中控制以后，移动都要通过你，你不一定很好。从物理上解释，这么大规模的网络要集中控制，能控制过来吗？必须采取措施，比如把邬老师的分布式idea引进来才有可能搞好。

现在轰轰烈烈地上，因为好东西现在已经在实验室小范围有了，你的还没有用，有没有风险。我还替他们担一定的风险，我认为肯定有风险，因为是好东西，解决了一些问题，但不是全部。三个绑定，解决了一个，是有好处，但是其他的东西还不好说，因为其他东西融到一起解决有方案、有思路，确实也行，验证行、应用也行，只不过没有大规模推而已。你们千万不要灰心，东西是好的，可以去努力。

与国外比较。用户与网络身份位置分离，从体系架构上，LISP、NDN/CCN、SDN这些体系解决什么绑定？智慧协同的标准网络，我们设计就是综合的解耦掉。从技术角度，每一种技术，有好有坏，都是行业公认的，你们做SDN/NFV的，你们知道。我们这个东西不是讲讲而已，是通过多少年的研究。

Springer出版了我的成果，这个书出来了，我认为是比较好的一个东西，以后的人慢慢去理解、去做。

我的论文题目是智慧的标识网络。我们发表论文要发表我们自己的论文，要在国外打我们自己网络的品牌，搞一个其他的没什么意思。我这一辈子登的还不到20篇论文，就是要登出来真正的好论文，留给后人慢慢理解和消化。我读博士时是跟在国外的屁股后面跑，那是二三十年前的事，现在我们逐步跟踪，最后引导他们来跟踪我们。我最不喜欢听的话，说我们不如别人。我登这篇论文还有一个原因，我们人不认自己，到国外转一圈才认，我就到国外转一圈。

在工业环境下，要满足低延迟、高可靠，这个网络最好做到低延迟、高可靠，而且大密度的传输，这样效果就非常好。从北京到上海的高铁上打电话、上网都很困难，三大运营商加上铁路，共有十多种网络，哪个好用用哪个，如果带宽不够，三大运营商协同来用，三大运营商网络可以同时用，可以协同用，哪个好用用哪个。这就是自主知识产权的，自己的网络包括域名、解析、服务标识都是自己的，没有问题，可控、可管。

组播源的标准，车上是智慧路由器，跟三大运营商对多点，我们IETF组播源是首个世界上的标准。

这个专利在2015年时就转给神州高铁，这是铁路维护行业垄断的，80%的市场就是它的，它买了这个技术。在高铁维护专网上，设备制造商，华为、中兴有挑战，我们的运营商有挑战，在高移动环境下高速数据传输达不到，我们要达到肯定就要建，建了以后，完成了你不能达到的目的，我们能达到，你的业务在我们上面跑也没有问题，对传统的网络有没有威胁？所有的大公司都这样干，传统运营商不危险吗？显而易见。

在工业环境下，要看数据没问题，要控制这个东西，听话、可靠还是蛮有挑战性的。

专网——应急通信。过去应急通信某一个运营商，联通、电信都是自己的车，这三张网并行传，我们加上三大运营商协同为我们传，特别是天灾人祸，带宽一下加宽，哪个好用用哪个。

谢谢大家！

主持人：谢谢张教授为我们作了精彩报告。

接下来为我们作报告的是华中科技大学金海教授，金海教授是长江学者特聘教授、国家杰出青年基金获得者，我国有名的计算机体系结构和网络计算专家，主持了一批重大科技项目，包括“973”项目、教育部重大专项、国家自然科学基金重点项目、“863”重点项目，并且获得了多项国家及省部级科技奖励，他给我们今天带来的报告主题是《大数据时代的新型计算机系统结构》，有请金海教授。

金海：好，大家上午好！

我看了一下，好像只有我一个人讲的不是网络，讲的是计算机的，但是至少跟这个主题有两个字是符合，我讲未来计算。所以我今天讲一下在大数据时代的计算机应该是个什么样子，所以跟大家介绍一下我们的工作。

我们首先来看一张片子，这张片子给我们看，告诉了我们去年“双11”的时候究竟发生了什么，我就说两个关键的数字。大概在不到1分钟的时候，就完成了10个亿的交易。第一年，2012年的“双11”大概在14分钟左右就完成了。这两组数据说明什么问题？说明在大数据时代，数据量大不是一个问题，最重要的问题是怎么处理这些数据，所以数据的处理速度是大数据时代面临的最大挑战。所以什么叫大数据？就是不能用现有的技术处理的这些数据叫大数据，显然处理时效和处理速度是一个最大的挑战。

我们还拿这个例子来看，还是去年“双11”的例子，大概在不到10分钟的时候，9分多钟的时候达到了峰值的最高峰，一般大家都可以理解，为什么呢？因为我们在“双11”开始之前东西都放到篮子里头了，12点一过大家就开始抢购，每秒达到12万笔。阿里云计算的典型办法就是用并行的海量的这些服务器群来进行处理，就是计算集群来进行处理。但是我们首先来想一下，这是大家都知道的，并行处理永远可以做到这个事情，现在的超级计算机也可以做到这个事情。但是如果我们想一下看，我们没一台单台计算机处理峰值大概多少？如果我们每一台单台计算机处理能力能够得到很大的提高，我们的总的集成计算机群的计算能够能得到极大的提高。我们直观的想法就是能不能把所有的数据都放在内存里面，不用硬盘。其实这个概念早在80年代的时候就有了，这个概念叫内存计算，意思就是把所有的数据都放在内存里，不要硬盘。为什么这几年，现在又开始热起来了呢？因为今天我要讲这个东西，为什么热起来呢？很重要的一个原因就是技术发展了。因为原来我们一直用的是32位CPU，最大的寻址空间就是4个GB，4个GB对我们现在来说显然不够，我们现在标准配置的服务器是一个核两个GB，也就是16个核，至少32GB的内存。所以现在到了64位了，我们最大的寻址空间可以到16个EB，所以第一，为我们设置一个大的内存创造了一个很大的几率。

第二个，我们这个价格在继续下降，我们每年大概价格下降三分之一。正是因为这样子，才使得我们有这样的机会能够去构建一个超大的内存。这就是内存计算，当然这些问题不是这么容易解决。我今天要给大家讲的就是这两部分，第一，我们看一下内存计算国际上现在发展到什么状态，有什么问题，我们怎么去解决。第二部分，我们介绍一下，我们最近几年在内存计算方面做的一些实践工作，给大家做一些参考。

说到内存计算第一次重归我们的视线是在2013年Gartner发布的10项技术就是有内存计算。这个里面有两个例子，一个是HANA，这是因为它的首席科学家是韩国人叫汉拿山的汉拿。这台机器没有硬盘，一个T的内存，不是一个T的硬盘，是一个T的内存，加上Oracle的硬盘，可以极大地提高内存计算系统。这个东西都不是我今天要讲的，因为这个东西存在很大的问题。

我们首先来看这张图，这是我们整个研究的出发点，我们可以看到横坐标是计算机的负载，纵坐标是计算机的功耗。就是无论它工不工作，零负载的情况下，大概CPU的负载是百分之几，满负荷下也不超过50%。但是它有一个最多50%，但是有一个值，大家看到橙色的这个值，不管CPU负载低还是还是高，内存的消耗就是20%。我们现在把服务器进行整合，可以降低一些CPU的消耗，都没用的，只要你开机，就有20%是内存的消耗，为什么会固定不变？大家都明白，因为它有刷新，有刷新就会产生内存的功耗。而且这种功耗还随着我们技术的增加变得越来越严重，我们这里面给了两组值，一个就是我们以前用的内存条，DDR3，一个就是我们现在用的内存条，DDR4。从这个里面可以看到我们计算读的功率达到很大的提高，从几十个GB到几百个GB。同样它的功耗虽然说每位的功耗都是2.3个PGR的功耗，但是整个在DDR3的时候大概只有十瓦，但是到DDR4的时候大概几十瓦。这就带来很大的一个问题，就是我们这个CPU功耗的问题。

另外还有性能的问题，这里面再给大家看两组图，这组图告诉了我们，左边是我们传统意义上用到的我们单机或者我们这种笔记本电脑的功耗的情况，8个GB，也就是我们1GB的内存，大概因为刷新所带来的性能下降是8%。因为每次当电频变低了以后，你必须给它加电，这段时间系统是处于降级运行模式。我们大的东西不可能所有的同时刷新，是按照半个半个内存来刷新的，所以在刷新的时候系统性能是下降的。但是到了64个GB，也就是我们的服务内存8GB的时候，我们由于刷新所带来的性能下降可以达到40—50%。所以这个问题，这就直接告诉了我们，我们从理论上可以构建非常非常大的内存，一个T的内存，但现实意义上你没有那么多好的性能。

同样功耗也是一个问题，如果我们现在笔记本电脑上面，或者我们的台式机上用1GB的内存，大概功耗15%以下。但是如果我们到了服务器达到8GB内存的时候，我们的功耗甚至可以达到系统功耗的47%。所以这个从另外一方面告诉我们，第一从性能上来说，这种不断增加内存的方式是解决不了问题的。第二，从功耗来说，大量的内存只会给我们更多系统功耗的损耗。所以我们有什么办法可以解决问题呢？就是我们现在看到的目前基于DRAM的内存计算模式面临很大的挑战，首先由于它有介质易失性，所以我们要给它供电。另外它存储密度比较低，你要8G内存条要达到1个G的内存，里面要插好多条。另外它的功耗也很大，这张图告诉我们用最新的功耗甚至可以达到46%，因为CPU的功耗下降了，但是内存的功耗没有办法，还是那么多，它的比例反而上升了，所以可以达到46%。

所以总的来看，我们传统的用DRAM的内存计算模式面临很大的挑战，因此采取的方式是什么，就是用一种新型的介质来替换原来的DRAM。这个叫非易失存储器，这个很多，我大概列了四类，第一种已经产业化，大家可以去买到，去构建自己的平台。现在最前沿的是还在实验室阶段，还没有实现产业化和量产，但是它的性能，易组性性能是最好的。这里面最值得关注的就是在2015年底，Intel和Micron共同发布的一个产品，构建高容量、长寿命的一个非易失存储器。我们来比较一下这个性能，如果说我们希望这个东西，将来能够作为内存的替代的话，我们最关注的就是两行数字，读的时间和写的时间。这是根据国际半导体技术协会给的一个指标。从这里面我们可以看到右边这三栏都是我们传统意义上大家都知道的DRAM、固态盘、液态盘，Memristor是大家都能够看到的，PCM在的性能上，基本上跟DRAM是在同一个限量级，而硬盘是在秒级，这是三个数量级。但是如果用到了旋转存储。在读的层面上不但可以替换我们的DRAM，还可以作为我们的高速缓存来使用。

另外我们看到写的方面，DRAM读写是一致的，但是对于STTRAM来说，读写不是一致性的，慢一个数量级。但是尽管如此，也比我们现在用的要快两个数量级，这就给我们一个非常大的信号，就是说这种介质，可以作为我们内存的一种替换，而不是作为我们传统的存储介质。

这个是刚才我讲到的3D XPoint Technology，这为什么叫做高速缓存，就是因为它是在纳秒级，这是在10个纳秒级。在整个这个存储链当中，它是更接近于内存这个存储介质。而且英特尔在去年年底，本来应该推出来3D这个，他们首先分两个路线图，本来应该是去年，但是一直到了今年的3月份，就是上个月刚刚推出最新的这种基于PCI插条的存储条，这个中文把它翻译成闪腾，现在这一条存储条容量375GB，一个内存条就375个GB，而我们现在DRAM最大8个GB。而这样子的内存条有三种不同的型号，最小的型号一条128GB，最大一条512GB。也就是两个内存条就是1TB的内存，所以我们内存进入TB时代就是一两年，指日可待，所以我这个虽然叫未来计算，是这个未来也不远，就是这两三年的事情。

所以如果按照我们一个服务器有8个内存条的插槽，插6个这个东西，我们在一个主板上就有3个T的内存，不是硬盘，这就给我们一个很大的惊喜。就是我们未来的内存计算就是因为这么一种新的存储介质技术，给我们带来一种新的存储。它可以按照内存一样，按自己来寻址，它也可以持久存储，像我们硬盘一样，数据不丢失。比我们的NAND还要快，持久性比我们的移动硬盘还要长，因为它是持久存储像硬盘一样的东西，你即使不给它供电，它的数据也在那里，所以它的静态功耗基本为零，它不需要供电。所以这样子的东西，就使得我们的未来计算机会发生一个很大的变化。我们大家都知道，我们在2000年的时候，我们有一个很重要的部件退出了我们的历史舞台，这个部件就是软驱。20年后有一个部件也要退出我们的历史舞台，这个硬件就是硬盘。硬盘不再是我们的标配，它不再有意义，它的作用不再作为联机存储，这个变化在未来两三年里面就会发生。

所以这样就给我们带来一种新的内存结构，一种以计算为中心的结构到一种以计算为核心的全新的计算结构。而且这种结构一定是混合的，一定要用这种混合的，用一个小的快速设备和一个大的存储设备在一起构建一个大型的设备。

好，下面我就给大家介绍一下，这么一种结构有些什么样的一些挑战。由于大家都是搞网络的，我是搞计算机的，所以我就把所有的挑战浓缩为这么一张片子，告诉大家它面临的什么挑战，但是这里面的挑战是非常非常大的，因为首先颠覆了我们整个使用计算机的习惯。当然我们作为程序员来说，第一个得到的颠覆就是什么？我们写程序要变了。因为我们没有文件操作了，不是写到硬盘上去了，因为我们在内存里面了。但是我们还要在内存里面像文件一样去保留这些东西，因为你一关电，如果用我们原来块表的话，不是文件分区表的话，文件就找不到了，我们还要持久化存储。这是我们第一个面临的问题。

第二个面临的问题，这两种结构怎么摆？我们是不是在这种硬盘的这种层次结构里面再加一层呢？还是把DRAM和PCAM变成一个层次？如果是原来得分层次结构，我们就可以用所有的算法来进行，如果把它分开作为一个平面结构来说的话，这个平面结构的问题就更大了。首先面临的一个问题，大家知道我们操作系统里面对于内存的管理是按照什么？按照一个页表进行管理的，一个页4K，对我们原来一个GB级的内存来说没问题，但是我告诉大家，现在是比原来的内存要大1000倍，也就是说我们的页表，最频繁操作的页表，每一次都要访问的页表比原来要大1000倍。也就是说这个页表访问的速度要比原来慢1000倍，怎么办？原来的操作系统里面根本解决不了这个问题，于是乎现在产生了什么？叫大页。大页的机制，就是原来4K一个页表，变成32兆一个页表，也涨了1000倍。但是问题是你页表越大，我们操作系统里面这种共享的加锁，因为保证这个东西不被大家来写，就导致锁的页表变大，速度仍然会下降。所以说硬件就绪，并不代表我们软件马上就能用。所以我就说这个东西推出来，大概真正能用，还得两三年或者三四年的时间。

我最后给大家汇报一下，我们科技部在2015年立了一个项目，就是面向大数据的内存关键计算与系统，这是我们国家在计算机领域里面列的最后一个“863”，这个之后所有的都叫做重点研发计划了。这个“863”项目是上海交大牵头，联合了全国的企业，华为和浪潮，还有八所学校一起参与的研发项目。这个项目非常大，包括从硬件环境的构建，以及编程环境和数据管理系统。因为我们现在所有的数据管理系统都是基于硬盘的，只有一个系统就是我们刚才讲到的HANA系统，这是基于DRAM的。因为我们跟上海交大一起合作做系统软件的，操作系统这一块，怎么让用户不知道，尽管说现在有一个指南告诉大家说怎么去写程序，但是原有的程序还在运行，计算机最重要的就是讲生态，对不对？生态要好。我们做系统软件的目的就是使原来的系统能够运行，并且使现有的程序能够运行得更好。

我下面拣几个典型的案例做介绍，如果做科研的老师都知道，我们国家科研的方式是叫齐头并进，一个项目软件也做，硬件也做，同时结题，同时开始。你这个软件做运行的时候，你必须得有一个平台，这个平台就是模拟器，模拟器跟我们原来的虚拟器东西不一样，它是一个能够全仿真硬件的东西，你软件在这上面去运行。其实目前全球，大家如果看文章或者做研究工作的话，凡是在异构存储都是在模拟器上去做。但是不同的模拟器有不同的特点，我们这个模拟器是结合了在目前模拟器上功能最全的模拟器，而且我们实验室所有的代码都有，这个模拟器的名字叫SHMA，这跟是我们跟华为在一起做，它是我们合作伙伴。

第二个，做了一个特别理论化的工作，因为大家知道最重要的就是Cache替换策略，内存满了怎么办呢？就把最不用的东西替换进去，然后换一块数据进来。这是我们讲到的HRU，但是在这种情况下根本不适用，为什么呢？因为它的访存方式不一样。但是告诉大家，这里面有两种不同的介质，这两个访存时间都不一样，如果你把它们俩统一来看的话，一般来说NVM大，最早使用的都在这个里面，每次替换它花的时间最长，所以这种策略没办法。我们就提出一个仿真指标，所以得出来的结论都不是我们能够平常很直观想到的结论，比如说我们尽量少替换NVM里的块，我们尽量访问DNAM里面的块，这个结论使得我们跟现有的全球最好的结果HAP相比，我们最好有大概10%的性能提升，跟LRU最高有22.8%的性能提升。

另外我们还做了一个工作，也是挺有意思的工作，我们知道大家现在跟斯巴克相比，这个数据分配都是一个数据一个数据连续分配的，在分析的时候有各种变量，有的就那一会儿使用，用完了就丢了，但是它在内存里还占有一个空间，这样就存在着短生命周期和长寿命周期混杂在一起的方法。如果你的内存满了，你要通过扫描才能知道哪个该换，扫描一遍花的时间太长。以前大家都不知道操作内存里面的垃圾回收，现在我们的内存大了，全放在那儿，现在写程序的同学也不讲究这个东西了。但是这个工作在我们整个系统里面是非常大的，我们做了一个实验，就把长寿命周期的从一组开始放，短寿命周期的放在另外一组，回收的时候把短寿命周期的直接回收，不需要扫描。就这一下，我们把垃圾回收的时间最高提升，减少了99.9%，基本上把它全减少了，就减少垃圾回收的时间，就这一件事跟原生态的斯巴克相比速度可以提高40倍。所以这个垃圾回收在整个Spark的流处理影响中的提升是非常非常大。我们非常高兴的是，我们这个工作去年在美国发表以后，美国也跟我们发表了相似的工作，但是这个发表时期在那儿，这是改不了的。

我们还有一个工作很有意思，就是Mammoth，硬盘只要一倒腾速度就下来了，我们现在的想法不是内存计算了吗？我们能不能把这个东西都放在内存里？于是我们就做了一个以内存为中心的基于内存的Mammoth，这个比现在主流的相比速度快5倍以上。而且最重要的是什么？这件事情，这个工作的影响度，因为我们这个是在2015年度做的工作，所以在2015年的时候，这个IEEE Computer杂志，专门在一期里面就介绍了我们这一篇文章，目的是为了什么？为了说明在大数据到来以后该怎么办？其实这件事情很简单，就把原来的IO操作放到内存操作就完了，全在内存里头去做，如果内存非常大，但是这个工作的影响就非常大。

这是我最后一张片子，这张片子是2015年全球对于数据管理系统，我刚才讲到数据管理系统，有一个全球的调研结果，这个调研结果，可以告诉左边所有的东西，都是基于硬盘的数据管理系统，右边的都是基于内存的管理系统。但是在整个这个里面可以看到，现在越来越多的系统，已经到了DNAM里面去了，在内存里面去做了，可能这么多大家没注意观看，太多了，也解释不清楚。从这张图可以看到我们现在的趋势是什么？要把所有的左边的这种基于硬盘的系统，全部要移植到NBM的环境下，这就是未来的趋势。

最后我做一个总结，在大数据时代的未来的计算机该是个什么样？是基于这种非异构存储器。到目前为止还有很多值得探讨的问题，比如说异构层次内存的协同组织模式，以及大数据低能耗处理环境，这个工作还值得去研究，我们的工作刚刚开始第一步，还有很多工作等待去研究。

好，我的汇报就到这里，谢谢大家！

主持人：谢谢金海教授给我们作的精彩报告。接下来为大家作报告的是中国信息通信研究院总工程师余晓晖先生，余晓晖先生主要从事国家信息通信产业、信息网络技术、信息化的战略规划/政策研究，参与了国家信息化信息产业宽带中国、互联网、移动互联网、物联网、云计算等相关战略政策的规划研究和起草，他今天给大家带来的报告主题是“网络架构创新趋势与重点方向”。

余晓晖：大家上午好！我简单把我的一些观点跟大家进行分享。

我汇报的题目是网络架构的创新趋势和重点方向。先分享一下我们对于网络架构目前发展的基本看法。三部分：

网络发展新态势。

到目前为止，整个网络已经到了非常重要的阶段。从宏观层面来说，到目前为止，网络与每个领域的融合，对我们网络有更高的要求。

高速率。未来十年目标就是Gbit，像美国和欧洲都是把Gbit社会作为基本目标，Gbit宽带能够进家。但这在中国并不是很大的问题了。

全覆盖。除了现有光和无线技术，很重要的是大家对于这种新的模式，特别是中低轨道卫星、浮空平台等，目前商业化推动比较快，未来几年中也许我们能看到这方面很多的进展。还包括高通量宽带卫星和移动卫星的部署。

云融合。到目前为止，我们需要重新思考IT基础设施或计算基础设施和网络传输基础设施相互之间的融合、适配与协作，这是目前发展一个非常重要的方向。当然在这里我们会看到非常大的智能化的探索。在这里会发现很多挑战，如带宽问题，中国光纤带宽到今年是全球第一，光纤带宽覆盖水平和能力在全球领先。这够不够？“十三五”规划中有一个目标，2020年大中城市家庭用户宽带实现1Gbps以上灵活选择，农村要求是50M以上。看一下需求，消费型需求，2020年视频流量将超过80%，这是我们带宽增长最主要的驱动力量。

如果从很多方面来看，从带宽来看，我们一个VR入门体验大概25M。目前关于VR/AR网络条件也是不具备的，综合考虑，关于AR/VR需求的点，会在2020年。我们可以看到很多需求里有非常高的带宽的需求，这会给我们网络带来很大的压力。

生产性的工业互联网/产业互联网的发展。我们需要互联的场景至少有九种，可能远远不止。这九种意味着什么，现在的互联网技术可以满足互联网+、工业互联网+产业互联网，以至于互联网渗透到每个领域时，可以满足这些要求吗？高的可靠性、低时延、丢包率，目前时间抖动同步性，这些指标里在目前网络技术里是不能满足的，至少不能完全满足。我们在现在过程中，发现为了把信息通信技术、信息网络能够渗透到各个领域，在各个领域应用，还有很多网络创新是需要做的。

5G。5G三大场景：高速移动宽带、移动物联低时延高可靠场景、低功耗大连接场景。美国运营商把5G时间提的非常前，恨不得说现在就说是5G的。因为美国无法解决光纤宽带的问题，无法解决光纤入户，不像中国做得比较好，希望用5G替代目前达不到的“最后一公里”的问题。5G里面有很重要的一些考虑，不仅仅是提到更高的速率和更好的覆盖，还有高可靠的场景，比如汽车之间通信，我们需要毫秒级；大规模机器通信，在工厂里，效率非常高的连接，非常低功耗的连接。这样一些需求场景里，特点非常不同，比如追求高速的宽带和追求低功耗的要求是完全不同的。问题在于我们可能在未来发展中，将非常差异化的网络需求，而如何去实施？从时延上，1毫秒、10毫秒、100毫秒，速度可以从几十K到1G，多少G。对于供给方来说，希望通过一张网满足所有的需求，从技术上来说难度非常大。

过去我们的网络是基于二维的，如果希望在这样一个基于二为网络上满足差异化的需求，很多需求和我们生活、经济转型、创新是至关重要的，我们如何可以做得到这样一些需求？这是非常大的挑战。这样新的需求和新的挑战，意味着有可能我们过去网络发展的模式是不可持续的。

我们提供基础设施的电信行业面临越来越多的挑战，业务总量增长和收入总量增长剪刀差，2012年非常接近，增长差1.8个百分点，2015年接近21个百分点，2016年接近50个百分点，业务量的增长是收入增长的十倍以上的。这意味着这个网络本身所需要的投资和这个行业增长给它带来投资的供给上有很大的缺口，这是我们目前很重要的问题。如果我们需要解决的话，一定依赖于网络技术创新。通过技术创新，大幅度降低网络建设成本和运维成本。如果前面所提的需求，每一种业务建成一张网络的话，意味着大量投资，而这种投资是不可持续的。

过去我们网络是只完成的以传输为主，现在需要把计算、存储、感知所有资源放在一起进行统筹、进行融合，这也是很大的一个改变。我们分论坛主题跟网络架构有关，所以网络架构体系的重塑或变革是我们唯一的出路。

网络架构创新特点。

如果可以做的创新，首先必须是开放的，一个封闭和刚性的网络无法完成要求的，网络开放肯定是网络技术创新重要的基础，所以我们首先要解构，只有解构才能开放出来。现在提很多SDN/NFV，这是网络开放的基础，但目前开展网络开放初级形态，未来怎么样，还需要很多探索和努力，而且有一点很大的变化，过去网络里的消费者和供给方界限很清楚，现在网络发展中，比如互联网企业不仅仅是互联网带宽的消费者，同样通过自己资源的配置，也是网络体系里的一部分。所以消费者、使用者参与网络体系的变革，这是我们可以看到一个新的常态。

目前有一个初步的认识，云网融合是网络技术创新的重要目标。IT过去认为自己是一个后台，网络是另外一个东西，这两者之间是没有关系的。现在的网络里需要很多计算资源、存储和网络资源融合在一起的，而IT资源虚拟化，过去十年云计算发展，已经做得比较好了，虽然还有很多创新的空间。网络资源虚拟化只是刚刚开始，现在我们需要把这些网络资源和IT资源、云计算资源、存储资源能够统筹、融合，目前是做不到的。目前阶段应该是云网协同的阶段，甚至云网协同还是我们想努力去达到的一个阶段。

我们如何把网络资源和IT资源能够各自有效地进行管理，然后在此基础上，通过业务变革器进行协同，如果能做到这点，也是当前一个非常重要的内容。如果最终把所有进行融合，再进行统筹、调度的话，可能是一个更远的方向。

注解。在过去十年终，整个网络体系结构发生很大的变化。十年前，京沪穗共占据全国7成信源，目前占不到3成。互联网架构是高度中央集权化的结构，现在是扁平化的结构。CNN，中国前十名互联网公司70%流量是由CNN承载，其中90%流量不需要回源的。这样一个体系架构所支撑南北向的流向变成水平东西向的流向，这一个大的变化中，给我们体系架构带来很大的影响。

SDN之所以现在有很大的名声，跟Google分不开，Google把它的数据进行互联，使流量资源互用大幅度提升。网络提供使用者从它的方式改变流量和方向，改变体系结构。未来云的变化、数据中心的变化，会给这里带来很大的影响。在中国有一个很简单的例子，比如在西北一个点，过去在中国网络里面是非常边缘的节点，但是亚马逊把它的数据中心放在那里，意味着我们网络架构一定要做相应调整，才能适应这个变化。所以网随云动，未来云的变化里面，意味着对网络体系有非常高的要求。这也是我们看到变革里面一个驱动力量。

在这样一个创新中，可能需要一个统一强健的网络资源管理机制，实际上是一个跨域、跨网络统一的网络资源配置和管理，这是非常高难度的。我们要把一个粗放型的管理向精细化的管理转变，比如虚拟专用网，不是专网，本质上是专线，这样如何转变？如何支持弹性的方式来实现每个跨域虚拟的物联？现在网络里面有IP的资源、光网资源、不同异构网络设备，还有计算、存储各种资源，如何进行统一调度？所以我们需要一个很有力地机制来实现它。

基于网络开放架构重构网络功能。我们有网络资源资源虚拟化协同以后，有一个网络设备群，需要有一个设备资源抽象和感知，把这样一些网络设备群抽象出来一个网络资源云化，各种各样的云，对其进行融合、分配和配置，就可以形成一个虚拟专用的网群，这样的网群通过上面网络功能的定制和业务的编排，就有可能为不同的业务提供不同的业务云和网络服务。但这是一个比较理想的方式，把网络解构以后，重新再去做这样一个模式，希望满足这样业务需求的一个挑战。

网络资源管理层的功能模型：资源感知与池化、按需的分配与资源的隔离、资源保障与细颗粒管理，资源重组与业务编排。通过这种方式，满足为不同业务提供不同的网络服务，以最灵活、智能方式来配置资源。

网络资源管理层是网络了“新瘦腰”，形成这样一个网络资源管理平台，下面把网络设备管理起来，进入网络容器里面，上面可以支持基于IP的虚拟网络，基于定制化的IP网络，甚至非虚拟化的IP网络，我们有一个网络协议可能的重构，这样一个新的瘦腰里面能够更好地适应不同的业务、不同的需求。这可能是未来的一个可能。

我们通过这样一个开放、结耦体系重构和强健的网络资源机制，解决目前面临的六大问题：可扩展性问题、服务质量问题、绿色节能问题、预算问题、可管可控问题、安全可信的问题等。服务质量问题，怎么做一个定制化的分类分级的服务质量，通过网络切片解决，如何通过虚拟专用网支持每个业务的可管可控。这是对新型架构一些基本的认知。

网络切片：用于车、机器和看电视，享受AR/VR服务的需求是非常不同的，如何去满足？可以通过一种方式，通过把网络切片做成不同的切片，每个切片满足不同业务类型的需要。这是我们追求的一种方式，在物联网上，通过资源的虚拟化和编排，编排出不同的切片来满足不同类型业务的需要，这是我们未来一个很重要的方向。只有这样，才有可能以最经济的方式来满足我们这样一个业务的需求。

如果通过虚拟专用器，像虚拟专用网。韦总说中国电信做VPN，配置一个至少要有40多个地方需要手工配置。现在技术里面，这是比较复杂的。虽然我们说MPLS的VPN是专用网，不是真正意义上的网，而是端到端的线，这些线里面改变一个很麻烦，而且需要很多的配置。我们之前做工业互联网需求分析时也发现，我们无法为这么多企业提供实时的、可以动态配置的。我们通过切片方式来增加真正的虚拟专用网，动态、实时、智能化满足现在业务的需求。

协同编排器：网络资源虚拟化，计算资源虚拟化，这两个资源里如何编排出支持业务的业务网，这里需要协同编排器，向上，封装网络能力，把业务需求反馈到网络资源，向下，对网络不同的系统和网络进行协同，从而保证网络层面端到端通信。某种层面上有点像计算机里面的操作系统，上面是业务和应用，下面是不同的硬件资源，只不过这个到下面已经是封装各种各样虚拟化的东西。关于协同编排器，全球有很多探索，目前从通信层面来说有几块：欧盟OSM，西班牙电信、英国电信组织的，反映欧洲对这样一个看法；由Linux基金会管理，于2016年11越发不OPEN-O 1.0版本。

协议无关转发：如果我们需要支持网络虚拟化和网络课定制，数据层面的传输一定与协议无关，网络设备不可以与任何网络特定协议捆绑，满足通用转发、编排的需求，不需要关注顶层应用的细节，就可以对数据包进行处理。可重构性，允许用户随时改变包解析和处理的程序在编译后配置交换机。

边缘计算：在过去两三年中发展起来的，或者还没发展起来，做了很多这方面的工作。边缘计算在美国叫物计算，在中国叫做边缘计算。目前国际上主要是两个阵营在推动边缘计算发展，美国思科、IBM推动一个组织叫OFC（开放物计算联盟），中国是边缘计算联盟。边缘计算认为还是处理集中和分布式的矛盾，很多业务，尤其是物联网的业务和工业互联网的业务不可能把所有的东西都放在云上去做，既不经济，时延上也无法满足，所以我们会在边缘上做一层，把计算、存储等能力放在边缘。

关键边缘计算会带来什么？边缘计算不仅仅是在物理意义上的网关或设备，是目前传统云管端的架构，对架构有大的变化。比如边缘计算节点之间是否需要通讯，他们通讯是通过云上实施还是分布式就可以实施。这里有很多问题，去年下半年，美国已经推出物计算体系架构、参加架构。我们还有很多问题需要去解决，集中和分散是一个永恒的矛盾。

这里还有一个很重要的问题，现在谈人工智能。我们谈工业互联网时，发现深度学习、人工智能的功能如何去部署？原来想会在一个平台层，在云的方式上部署，现在看也有可能在边缘上就可以部署。比如在生产车间里，可以跟边缘计算结合，部署轻量级的人工智能，可以在云上部署另外一个。边缘计算和现在人工智能、深度学习去结合。超大规模数据中心应该放在能源、资源禀赋最好的部分，但是边缘计算的要求会使我们有很多微计算中心。目前，还有很多这种可能性。

数据中心网络：很多专家提到会有以数据中心为核心的网络，或者以数据中心互联为核心的网络。我们很多业务流量从南北流向走向东西流向，意味着数据中心之间部分需要很多连接。还有端局数据中心化以后，数据中心之间DCG的连接有很多考虑。DCI平面互会成为网络互联里面很重要了方式。过去讲网络体系架构，国家互联互通的节点过去没有考虑数据中心，现在会考虑数据中心的节点，这也会给我们网络架构带来一些变化。

美国工业互联网联盟做了一个连接协议框架图。在IC里面，这些人主要是工业界的人，加上做IT，也有做通信、电子软件的人，传输层以上，增加一个分布式数据管理、操作式管理，这里对应的是能源和公共设施、医疗、健康、制造、交通，也就是说对应每一个垂直领域里面，网络上层应该怎么去做，比如DDS里面原来对的是国防领域，OBCO里面对的是制造，oneM2M对的是即时通信。今天讨论下三层体系架构的变化和上层变化里面是否也有一些需要考虑的事情。所以这里还有很多问题需要很多探讨，如目前在二层里面做的很重要的事情是TSN（时间同步网络），主要是在工厂里面解决工厂IT系统、OT系统打通以后，解决时间的要求问题。有TSN以后，满足很多实时性要求。下面几层，包括上面都有很多可能性的创新和变化。

最后提出一个演进路径，近期也提到SDN/NFV、运营系统所做的工作。

以上就是我的汇报，谢谢大家！

主持人：好，感谢余总工给我们作的精彩报告。

接下来为大家作报告的是西北大学电子工程预计算机科学系教授陈焰教授，他的主要研究方向是英特网安全，也是我们国家的千人计划专家，他今天给带来的报告主题是《基于高效、安全和可信赖的软件定义网络管理》，下面有请陈教授为我们大家作报告。

陈焰：好，谢谢主持人。我去年开始在浙大全职工作，所以这个PPT还是用英文写的。

这个前头的部分都能比较快的过，因为大家都听了很多SDN的介绍了，整个架构，大家都知道这个结构。刚才大家听了很多各种运营商，还有我们的政府的介绍，基本上SDN的用途，现在大部分，我觉得主要是在Data里头。运营商这一块我觉得大家基本上奋起直追，各大运营商都有白皮书出来，都说几年之内要能够快速部署。

昨天不知道大家有没有参加，谈到几个趋势，一个是垂直化厂商，像华为，从最底层到最上面都是他们卖的，这种垂直化厂商的销售模式慢慢会消亡。随之而来，以后运营商买的这个存储转化的设备，下面是一些白盒的机器。整个这个架构都很不一样了，从此而带来几个主要的问题，就是今天我想探讨的。

一个就是安全的问题。刚才早上张老师也讲，他说SDN集中化管理带来安全性怎么样，这确实是一个非常重要的问题，也是我今天讲的重点问题。第二个，就是可靠性的问题，因为白盒化硬件，再加上软件，心里有这么多白盒化的硬件进来，又有开放性的软件，可能每一层都有不同的厂商过来，现在出了问题你去找哪一层？这是部署上一个很重要的问题，所以这个地方就是可靠性的问题。现在SDN虽然提供比较好的效率，但是在运营商骨干网上能不能还能够承载那么大的速度和这种效率，也还是有相当多的问题。

我作为一个学者，首先介绍一下我们在这方面这几年做的一些工作，主要也是解决这三个方面的问题，比如说这个方面，我们后面待会儿重点会讲的，我们这个系统有一些发表，现在正在进行部署的改进。第二个问题就是说你这个垂直化厂商消亡之后，随之带来的整个部署和运营的，就是一个非常重要的问题。我们在这方面主要是准备数据平面和控制平面结合起来来做实时的诊断，我们在数据平面有相当多的工作。现在控制平面这一块正在做。第三块，就是这个安全问题，我们这里也有一些知名的厂商。

今天时间所限，我主要讲第一块，这个是三个模块在一起的架构，因为现在主要是集中在控制平面这一块。下面还有一些时间，我就主要给大家介绍一下，这个SDNshield，最主要的就是能够做一种主动防御。根据一些调研显示安全性、可靠性，都是这个主要的障碍。现在来说SDNShield控制器，都是北向开放的，通过这些北向的IPI可以访问任何网络功能的操作。我们觉得这样会导致不管是从英特网还是各种内网的用户，都会产生各种针对北向API产生的攻击。

我们刚才大家都看到很多厂商讲云化，所以现在后面的会越来越多，而且开源也是一个趋势，在各种第三方开源软件的情况下，这里面很难保证没有什么漏洞。这里头一般来说，它这个是一些网络厂商，他们是自己相对有比较好的开发，相对会安全一点。我们现在觉得主要的问题，这个安全问题是集中在外面的上层的这个SDN，他们在调用这些北向API的时候产生的这些问题。

不管是学术界，还是工业界，SDN已经提出这么多年了，也有相当的工作。我就快速总结一下，一种是比如说通过这种Cryptojraphic authentication进行认证，第二个是Android—like permissions，第三个相关工作是Strong heav isolation。相关安全策略能够在这个SDN这个平台上，从而能够真正有效地控制，能够控制这些环节。

现在SDN/NFV的平台是这样的，每个APP可能会调用多个Agent，然后Agent在这个里头，每个会独立地提供SPI，这是一个相当复杂和异构的场景。我们想做的事情是什么呢？在这么复杂异构的场景下，我们怎么对SDN/NFV进行工作，第一个是对各种通用性的都能用，第二个就是这些管理员是很容易设置的，能够自动设置进去的，而且不是光基于某一个权限，而对这些权限里面的参数，比如对某一个网段进行操作，或者在某一个时间内的某一个网段进行操作。同时我们希望加了安全的东西，我们对正常的操作基本上没有影响。也希望这个能够非常容易被操作，所以我们不希望改变任何的APPS，可以直接上来就用，这个Access也是希望基本上可以不用改它。然后这个就是一直不停运行的，这个中间你如果想改的话，你不希望把这个网停下来。

另外就是我们现在这个SDN，你现在不光是靠一个来提供大规模高速的功能，同时我们会支持这种操作。大家可以看到有这么多要求，也就是说没有任何已有的工作能够为我们提供满足所有要求的系统，这就是我们下面要做的事情。

我们的Approach，通过管理员可以定义，能够定义这个就能够被放到系统里面去，我们同时来执行这些操作，任何时候能够改这个定义，同时能够执行它。

我们的系统框架大概是这个样子，就是说这里头可以看到上层是这些APPS和管理员。这样每次upper来通过这个APPS来调用这个软件的时候，每次都会读取相应的请求。

回到我们前头举的主要几个问题，我们这个设计是怎么满足这些要求的，首先我们这里头不需要做任何的更改，因为我们只是在这个中间插了这么一个程序进去，同时我们有这些模块。

我们这里头一个主要的理论基础，是我们用所谓的Attributed—Based Access Control。我们这个Policy languagu Definition是用一个数据来表达的，结合起来的，这样的话，每一个数据都能够快速地比对，整个在比对的时候，可以做得非常快。

这地方就是一个具体的Example，它限定你只有读的时间，还是限定写的操作，还是只有读的操作或者是写的操作。这个只要根据这个格式把它写出来，我们后面这个会自动插装到我们的系统里头去。

这是另外一张图，这就是我们很流行的一个程序，你按照这个写好之后，自动插装到这个里面去，这样的话，当上层的APPS有调用的时候，它通过SAPI进行调用，然后就会自动地对这些模块进行调用，这样就可以保证对这个APPS有最小权限的控制。

我们这个东西就是在Openstack和apen source上实现的，我们觉得后面的话，以后不管是运营商还是数据中心，很可能都用openstack来部署和开发。这个里面有一个Nechron，通过它来把这个openstack送过来，我们整个是在这个架构上来实现的。一共大概有200多个API calls，基本上你就可以有任何的权限。我们现在做的就是说通过我们的openstack，可以量身订做他们需要最小的模块，需要什么样的参数，进行具体的操作。

具体的流程就不讲了，就希望跟大家分享一下，我们在这方面做的一个工作，可以提供非常访问可以通过我们来表达，然后自动地插入到模块里头。我们现在大家如果对SDN和NFV方面的工作感兴趣的话，我们可以会后再交流。

我今天就讲到这里。好，谢谢大家！

主持人：上午的主题报告到此结束，谢谢各位专家给我们带来的精彩报告，也谢谢我们各位认真的聆听。