三网融合网络中资源管理方法的研究

## 三网形成的原因

三网指的是以互联网为代表的计算机通信网、以电话网为代表的传统电信网、以有线电视为代表的广播电视网；实际网络（即物理网络）只有电信网和广播电视网，这种分割并不是物理网的分割，而是业务的分割。名称也是由于在模拟领域业务的传输方式和网络有明确的对应关系而形成的，从这个意义上来讲，三网是模拟传输的产物。

## 三种网技术的特点与差别

电话网：专为电话业务优化设计，点对点，双向，交互式，严格时延，电路交换

有线电视网：点对多点，单向，无严格时延，无交换

互联网：专为数据业务优化设计，突发性，双向通常不对称，无严格时延，通常为分组交换，数字信号

## 三网融合的技术发展（包括ATM技术）

近年来随着信息技术的不断发展和创新，信息数字化已经成为必然趋势。伴随有线数字化进程的推进，中国有线数字电视产业的规模逐年增大，有线电视网络已经成为国家信息化的重要基础设施。多媒体信息处理技术已经发展到能够实现在同一个电信载体和计算机网络系统上传输和处理包括数字、文字、语音、图像和视频在内的5种基本信息形态，三网融合成为信息化发展的必然趋势。三网融合促进新的业务形态逐渐涌现，同时也正在重构传统的广电和电信产业链，进而将给国民经济和社会发展带来深刻变化。

### 1、三网合一和三网融合

通常我们不仅听说过三网融合，还听说过三网合一，许多人认为两者是同一个东西。单实际上并不是这样，我们有必要区分这两个不同的概念。

所谓三网合一，即原来独立设计运营的传统的电信网、计算机互联网和有线电视网将趋于相互渗透和相互融合。随着通信行业的快速发展，人们对通信的要求已不仅限于单一的语音信息交流。近几年来电子技术的不断发展，网络传输的速度加快，语音、数据、图像的综合信息服务给人们以自然、生动，真切和有效的交流方式。“三网合一”能够使运营商在信息沟通的经营中实现网络资源的共享，避免低水平的重复建设，形成对客户业务需求响应快、业务适应性广、运营效率高，网络维护费用低得高速带宽的多媒体基础平台。

三网融合是一种广义的、社会化的说法，在现阶段它并不意味着电信网、计算机网和有线电视网三大网络的物理合一，而主要是指高层业务应用的融合。其表现为技术上趋向一致；网络层上可以实现互联互通，形成无缝覆盖；业务层上互相渗透和交叉；应用层上趋向使用统一的 IP 协议；在经营上互相竞争、互相合作，朝着向用户提供多样化、多媒体化、

个性化服务的同一目标逐渐交汇在一起，行业管制和政策方面也逐渐趋向统一。三大网络通过技术改造，能够提供包括语音、数据、图像等综合多媒体的通信业务。这就是所谓的三网融合。

由比较可以看出，三网融合并非是指目前用于传播语音、数据和视频信号的电信、互联网和广播电视网最终融合为物理上的一个网络，或者谁取代谁。三网融合实质是业务上的融合，即在同一个网络上可以同时开展语音、数据和视频等多种不同业务，亦即国际上通称的 Triple Play。

### 2、三网融合的先导：IPTV

IPTV 即交互式网络电视，是一种利用宽带有线电视网，集互联网、多媒体、通讯等多种技术于一体，向家庭用户提供包括数字电视在内的多种交互式服务的崭新技术。它能够很好地适应当今网络飞速发展的趋势，充分有效地利用网络资源。IPTV 既不同于传统的模拟式有线电视，也不同于经典的数字电视。因为，传统的和经典的数字电视都具有频分制、定时、单向广播等特点。尽管经典的数字电视相对于模拟电视有许多技术革新，但只是信号形式的改变，而没有触及到媒体内容的传播方式。

IPTV 是利用计算机或机顶盒与电视一起完成接收视频点播节目、视频广播及网上冲浪等功能。它采用高效的视频压缩技术，使视频流传输带宽在 800Kb/s 时可以有接近 DVD的收视效果，对今后开展视频类业务如因特网上视频直播、远距离真视频点播、节目源制作等来讲，有很强的优势，是一个全新的技术概念。

IPTV 的系统结构主要包括流媒体服务、节目采编、存储及认证计费等子系统，主要存储及传送的内容是以 MPEG-4为编码核心的流媒体文件。基于 IP 网络传输，通常要在边缘设置内容分配服务节点，配置流媒体服务及存储设备。IPTV还具有很灵活的交互性，用户可自由点播视频节目。另外，基于 IP 网的其它业务如电子邮件、网络游戏等也可以展开。

### 3、国内三网发展现状及特点

电信网是以电话网为基础逐步发展起来的，目前到户主要是双绞线，通过交换机与骨干网相连。电话网是最早实现数字化的网络，其传输方式逐步向光纤到户发展，传输协议从准同步体系（PDH）到同步体系（SDH），最终到异步传送模式（ATM），但由于发展的不平衡，尚不能做到全网传输和交换的数字化。而作为一种全双向、对称流量的结构，尽管有非对称用户环路（ADSL）和高速用户环路（VDSL）等方式，速率可达几借 CableMbps 到几十 Mbps，整个网络的流通能力还是受到双绞线原传输容量这一瓶颈的限制。电信网是典型的点对点通信系统，能实现双向实时的连接，通常使用的是电路交换网络系 统。以话音业务为主，同时也提供数据业务服务。它的最大优势就是现有的电话网络已经遍布各地，有现成的网络系统。但系统带宽、业务种类等许多方面不能满足经济快速发展带来的日益广泛的客户需求。普通电话线的传输速率并不高，用这种电话线拨号上网，最快的上行速度也只能达到56kbit/s，而下行速度只有 33.6kbit/s；这只能传输普通的数据，不能满足对连续性要求较高的多媒体信息的传输要求。

计算机网络发展很快，初期主要是局域网，远程网是在国际互连网大规模发展后才迅速进入平常百姓家庭的。它目前主要依赖于电信网，因此同样受到到户双绞线原传输容量和调制解调器速度的限制，但互连网协议由于其灵活廉价正在被其它网络采用。因特网用户之间的连接则既可以是点到点的，也可以是点对多点的。用户之间的通信在大多数情况下都是非实时的，但是也可以实现实时通信。因特网采用的是存储转发的方式，通信方式可以是双向交互式的，也可以是单向的。早期的互联网由于受到技术的限制，网络接入速率十分有限。随着新接入技术的发展，互联网的接入速率大大提高。数字音频视频压缩技术的快速发展也推动了互联网向多媒体方向发展，MSN、QQ、ICQ 等即时通信软件已得到广泛使用，利用互联网进行通信的 IP 电话也受到越来越多的关注。目前，互联网虽然已经能够传送一定质量的音频和视频内容，但由于没有自成体系的物理网络，其发展很大程度上要依赖于电信网和电视网络。

广播电视网的数字化是近几年的事，广播电视数字化特别是有线电视数字化为信息交换提供了一种前所末有的广阔前景。其点到面的广播特点及相应的协议为大码率数字电视广播和数字声音广播提供了廉价的平台。由于其带宽宽，广播电视系统的数字化和双向化更容易将不同的业务综合在一起。有线电视网络的最大特点是可以进行点到多点的信息单向广播，减少成本和运营费用相对较低，但在开展双向交互业务之前需对其进行双向和数字化改造。新一代有线数字电视网络要求在传输传统广播电视业务的同时，还应具备视频点播、交互服务、宽带数据接入、语音服务等多业务的功能。目前我国在有线电视数字化改造上已取得一定进展，部分城市已完成有线电视网的双向化改造。

### 4、国外三网发展现状

美国是较早实现三网融合的国家，有统一的监管机构，也有较为成熟的融合方面的法律，并随着市场的发展变化不断调节其监管政策。自 1996 年市场开放以来，有线电视运营商开始大规模投资，对现有的有线电视网络进行改造和升。到 2003 年，美国有线电视的网络升级改造已经基本完成。在升级和改造网络的基础上，有线电视公司凭Modem 宽带业务进入电信市场，目前宽带接入及语音传输业务的收入已经占美国有线电视运营商总收入的 40%以上，而美国有线电视运营商还在进一步尝试开展网络游戏、移动电话等新兴业务。从 2004 年开始，美国各大 RBOC 都在积极地部署基于光纤接入的 IPTV 业务。但是由于美国对 IPTV 的管制还存在着许多争议，RBOC 的 IPTV 业务发展仍然受到一定限制。在有线电视公司和电信公司直接进入对方核心业务市场的计划接连受挫以后，美国出现了另一种融合方式—产业融合。电信公司和有线电视公司、互联网公司等通过资产重组和并购，实现技术、资本和市场的互动前进。AT&T 即是最典型的例子。

### 5、ATM

简单点说 , A TM 技术就是一种交换和复用技术 ,但它是基于信元层面 ,它的信元是定长的 ,因此 , 尽管它同样属于分组交换 ,但和那些信元不定长的分组交换有很大的差别 , ATM 中的信元都是 53字节 ,分为 2部分 ,其中信头占用 5字节 ,净荷占用 48 字节 ,这里可以发现 , AT M 信元的组成是非常简单干净 ,这样就给其控制部分留下简化设备和降低控制复杂度的空间。 其具体信元结构见图 1。

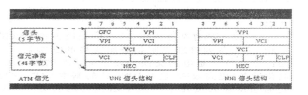


图 1 ATM的信元格式

➀ATM 信元结构

所有 AT M 信头都是 5个字节 ,但其内容则随着其所处位置不同而稍有差别 (见图 1) ,图中的 UN I 是指用户—— 网络接口部位 , NN I是指网络节点接口部位 ,下面我们分别对其结构进行剖析。

V P I: 代表虚通道标识 ,在 NNI中占用 12比特 , 在 UN I中占用 8比特。

V CI: 代表虚通路标识 ,占用 16比特 ,用来标识虚通道中的虚通路。

HEC: 代表信头差错控制 ,占用 8比特 ,用来检测出有错误的信头。 HEC的还有一个作用就是进行信元定界 ,利用 HEC字段和它之前的 4字节的相关性可用来识别信头位置。 由于在不同的链路中 , V P I /VCI的值不同 ,因此在每一段链路都需要要重新进行 HEC的计算。

P T: 代表净荷类型 ,占用 3比特。 比特 3为 0时代表为数据信元 ,为 1时代表为 OAM 信元。对O AM 信元而言 ,后两比特表明了 OAM 信元的类型。对数据信元而言 ,比特 2用于前向拥塞指示 ( EFCI)。

CL P: 代表信元丢失优先级 ,占用 1比特 ,用于拥塞控制。

GFC: 代表一般流量控制 ,占用 4比特 ,其只适用在 UN I接口部分 ,目前置为 0000,以备将来使用。

➁ATM 特点

A TM 信元都是固定长度的 ,特别是 AT M 的信头与分组交换中分组头在功能方面相比已经得到极大简化 ,随着传输设备设施技术的提高及链路质量的提高 ,始发端到接收端的差错控制只在需要时由接收端处理 , HEC只用来负责信头的差错控制 ; 此外 ,一个连接在信头中只用V P I和V CI来标识 ,这样就可以省略源地址、目标地址、包序号 ,信元顺序则由各网元来保证。

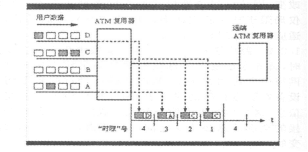


图 2 ATM复用

AT M 得以发展的根本原因就是它较好的综合了其他转移模式的优点又避免了其缺点 ,首先是灵活性 ,由于 AT M 采用固定信元 ,对所有业务都一视同仁 ,所以业务都可以在 A TM 网络中共享资源 ,而不用采用专用速率的信道。 因此各种业务可以在现有资源上灵活运用 ,灵活性得到极大的提高。同样原因 ,各种业务间可以动态的分配通道资源 ,使网络资源得到最大限度地使用发挥 ,再不会出现有的业务在等待 ,而与其速率要求不符的其他速率通道闲着的情况发生。如图 3,业务 A、 B、 C、 D完全可以是不同属性的业务 ,但最终都被分割成等长的 AT M 信元 , 使 AT M 网络能灵活地适应各种业务传送。 如图所示 ,业务 A、 C、 D的数据按照到达的先后顺序依次排列在输出通道上 ,业务 B由于此时无数据 ,因此没有占用该输出通道的带宽资源 ,使资源得到有效利用。

AT M 技术的先进之处就是它引进了“虚连接”概念 ,虚连接就是当有业务需要时在始发端和接收端建立连接 ,在该业务传送完成前 ,该虚连接是现实存在的 ,这有些类似于面向连接的专用通道 ,但一旦该业务传送完成 ,该虚连接所涉及的各节点的所有相关通道全部被释放 ,用于下一个业务的传送 ,尽管下一个业务和该业务是处于不同的始发端和接收端。 因此 , AT M 是基于面向无连接基础上的面向有连接 ,综合了有连接的实时性要求又综合了无连接的网络资源利用率高的特点。

➂ATM 发展趋势

ATM技术从20世纪被ITU-T选为宽带综合业务数字网的转移模式，其后的几十年时间并未在实际中得到应用，主要是学术界进行专业研究工作，其主要原因就是当时既有的通信网要改成ATM网费时费力，而且后来的互联网又与通信网各自为陈。但近些年来，随着通信网、互联网的飞速发展和各种新业务的层出不穷，那些既有网络要完全适应市场需求，就要不断增设各种协议转换和控制设备，这将使各种既有网络变得更加复杂、臃肿，最终将不堪重负。因此，简单实用又功能丰富的ＡＴＭ技术越来越受到各界的重视，特别是最近几年得到长足发展。

ＡＴＭ并非马上就会普及，目前，传统型网络与ＡＴＭ将共存。在此期间，重要的一点是纪要保护用户的投资，又能以最经济的方式实现向下一代技术的转移，并达到较高性能。因此，ATM与传统网络的互联、集成是一项无法回避的工作。

## 三网融合网络中资源分配技术

从国内三网融合的发展来看，业务的融合发展最活跃，出现了许多的新业务，像 IPTV、手机电视和互动电视，都是备受瞩目的三网融合新业务。技术是三网融合的手段 ，下面将简单介绍三网融合中运用的关键技术，重点研究不同用户和业务接入后，如何解决竞争的带宽分配技术。

三网融合后，各用户以及各种业务之间，都存在一定的竞争关系，因此在上行方向，如果不进行管理与控制，就会出现冲突，业务的延时就会变得很大，且存在数据的丢失，带宽的利用率也很低，业务得不到 QoS 的保证，因此需要带宽分配技术对网络流量传送进行合理的分配。在EPON 系统中主要采用静态和动态的方法来调度带宽的分配。其中静态带宽分配算法，是给 ONU 分配固定的传输时隙，未考虑到网络流量的突发性，带宽的利用率很低。因此动态带宽分配算法的研究，是 EPON 系统的关键问题之一，即三网融合后各种用户及各类业务之间如何公平地解决竞争关系的关键问题。

目前已有大量的论文对该问题进行了研究，其中最基本的 是 文 献［6］中 研 究 的 间 插 轮 询 控 制 算 法( IPACT) ，其间插轮询机制可参照图 2 中的描述。为方便研究，假设系统中只有 3 个 ONU，且在时刻 t ，OLT 知道各 ONU 缓存中数据的大小以及往返时延。如图 2 所示，OLT 将 ONU 的这些信息保存在一张轮询表中。根据这个轮询表，OLT 就可以调度 ONU 在哪个时隙发现多少大小的数据。如图 2a 中，OLT 在 t 0 时刻发送一个控制信息给ONU1，告知其可以发送 6 000 byte 的数据，这个过程称之为授权，在 ONU1 发送授权的数据末尾，又会告知 OLT 当前 ONU1 缓存中有多少数据，即图 2a 中的 550 byte，这个过程称之为请求。由图 2b 可知，在 ONU1 发送数据期间，OLT 又会授权 ONU2，即所谓的“间插”，这样就有效地节约了带宽资源，以此类推。

### 4.1经典动态带宽分配算法

IPACT 算法规定了受限服务的最大传输窗口，且定义轮询周期为 2 ms，取到了好的性能效果。但是，由于它基于单程的 ONU 请求，导致空闲时间问题并没有得到有效地解决，增加了延时。文献［7］针对该问题，提出了一种改进的算法，算法的核心为在空闲时间内预测到达的流量，并且维持一部分的带宽用于传送。但是，这种预测机制具有流量突发性的特点，所以一些带宽可能会被浪费，因为该模型不能为所有 ONU 精确估计真正的下一传输周期中的流量负载需求。

CBR 算法将数据分为 3 个优先等级 ，即 P0，P1 及P2，分别存储语音、视频和数据业务，对应于 IEEE 802． 1d中的 EF( Expedited Forward) ，AF( Assured Forwarding) 和BE( Best Effort) 。采用严格优先级调度进行 ONU 内部调度和 ONU 外部调度，对不同的业务不同对待，保证了高优先级业务的带宽需求，提高了高优先级业务的 QoS。另外也采用了改进的间插轮询算法中的估算方法，使授权窗口大于请求的大小，以降低延时。

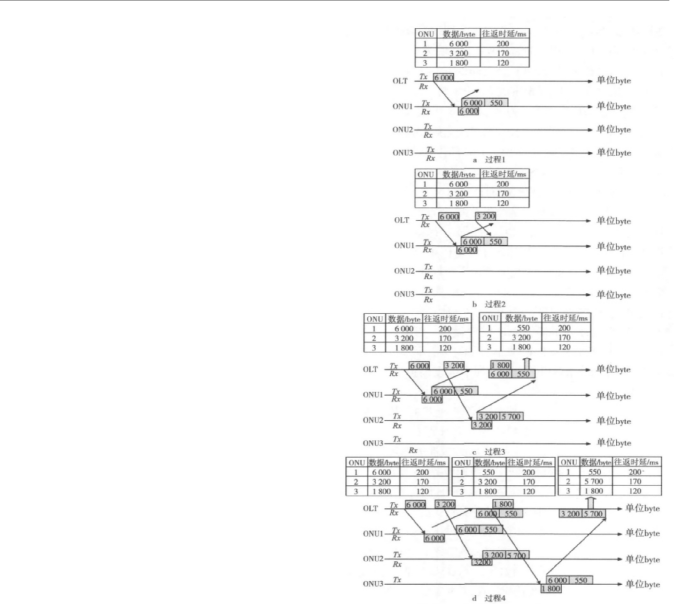


图 3

BGP 算法把所有的 ONU 分成两大组，分别是有带宽保证的 ONU 和无带宽保证的 ONU，并用业务等级协议( SLA) 来标识有带宽保证的 ONU，它代表会分配给各个 ONU 的最［9］小保证带宽 。算法将上行带宽分成比 ONU 总数还多的一些相等的带宽单元，并在 OLT 侧设置两个入口列表，分别为两个 ONU 组服务，OLT 在运行算法时根据列表顺序轮询相应的 ONU，且给 ONU 授权的初始值为一个带宽单元， ONU 收到授权后，将授权大小 G 与缓存中的数据包大小 L进行比较，如果 L ＜ G ，ONU 就发送所有数据到 OLT，反之发送数据的大小只能为 G ，并发送一个响应信号给 OLT 来

表明传输中的数据大小 B 。当 OLT 收到该响应信号后，先比较 G 与最大传输窗口 W MAX ，两者相等时为响应分配一个入口，此时如果 B 为 0，OLT 会立即询问列表中的下一个ONU，如果 B 在 0 和某门限值之间，OLT 将立即授权下一个无带宽保证 ONU 窗口大小为 W MAX － B ，但是如果 B 大于门限值，OLT 将会等待当前授权窗口用完后，再轮询下一个 ONU; 如果 G ＜ W MAX ，说明当前 ONU 的传输窗口未使用完全，则 OLT 会立即轮询下一个 ONU。

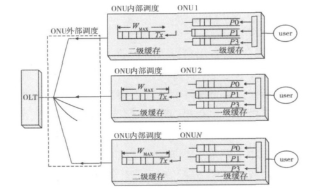


图 4

### 4.2一种新的动态分配算法

IPACT 算法可以称为是经典的带宽分配算法，它有效地利用统计复用技术，将 ONU 的数据包传送到上行信道，提高了信道的利用率。但是该算法仍存在一个明显的缺陷，即它没有对业务进行分类，所以不能保证业务的质量。而 CBR 算法虽然划分了业务的优先级，但它只保证了高优先级业务的质量，还不能很好地保障中、低优先级业务的质量，所以在公平性方面还应该做进一步研究。BGP算法明显降低了平均包延时，但是由于算法将上行带宽划分成了许多相等的单元，因而增加了许多保护带宽，所以又降低了带宽利用率。

本文给出的新的动态带宽分配算法思想，依然是在间插轮询算法与业务分类的基础上进行研究。采用两次分级调度，第一次分级调度是在 ONU 内部分成两级缓存，第一级缓存将分类存放不同优先级的业务，并为每类业务设置不同的权重; 第二级缓存采用 FCFS 队列，且限定该级缓存大小的最大值 W MAX 。当时隙到达后，第二级缓存中的数据包就会发送给 OLT，空出该缓存队列的同时，第一级缓存中的数据包又按照优先级进入第二级缓存中空出的空间。在上一个数据包的末尾，ONU 报告当前缓存队列中的大小，以便下次授权。在这种调度下，ONU 的请求时隙大小不可能比 W MAX 大，因此给予的时隙总是能100% 地利用到。第二次分级调度即 ONU 内部调度与ONU 外部调度，内部调度即为第一次分级调度，外部调度运用多点控制协议( MPCP) ，使 OLT 有序地接入 ONU 传来的数据包。该系统可以参考图 3。另外在 ONU 内部调度时，对于高优先级业务，设置一个服务上限频率，通过计数的方式实现当连续一段时间为其服务超过一定限制频率，就分配额外的带宽给低优先级的业务，这样可以减少丢包率及保证公平性。本文只提出了这种新的动态带宽分配算法的思想，在理论上分析了它的可行性，对于具体实现与结果分析将另作重点研究。

## SDN的产生与特点

### 5.1 SDN的概念

SDN 是起源于美国斯坦福大学实验室的研究项目的技术，并不是在其产生时就具有该名称。 2006 年斯坦福的学生 Casado M 和他的导师 McKeown N 教授受其研究项目Ethane[3]启发 ，提出了 OpenFlow 的概念 。 该项目试图通过一个集中式的控制器，让网络管理员可以方便地定义基于网络流的安全控制策略，并将这些安全策略应用到各种网络设备中，从而实现对整个网络通信的安全控制。 在随后的 2008 年，McKeown N 等人在 ACM SIGCOMM 发表了题为 OpenFlow: enabling innovation in campus networks[4] 的论文。 文中首次详细地介绍 OpenFlow 的概念，即将传统网络设备的数据平面和控制平面两个功能模块相分离，通过集中式的控制器（controller）以标准化的接口对各种网络设备进行管理和配置。 这种网络架构为网络资源的设计、管理和使用提供更多的可能性，从而更容易推动网络的革新与发展。 在此基础上，基于 OpenFlow 为网络带来的可编程特性，McKeown 教授进一步提出了 SDN 最早的概念[5]。由此可见，SDN 的产生与 OpenFlow 协议密切相关。 现在业界普遍将基于 OpenFlow 协议的 SDN 视为狭义 SDN。这一概念也是业界的默认概念， 本文中如果不做特殊说明，SDN 也特指这一概念。

随着 SDN 的发展， 越来越多的厂商加入 SDN 的研究行列。 由于不同行业、不同应用对 SDN 有着各自不同的需求，因此在谈论 SDN 时通常也有着不同的理解。 在网络科研领域， 利用 SDN 快速地部署和试验创新的网络架构与通信协议； 大型互联网公司希望 SDN 提供掌握网络深层信息的可编程接口，以优化和提升业务体验；云服务提供商希望 SDN 提供网络虚拟化和自动配置， 以适应其扩展性和多租户需求；ISP 希望利用 SDN 简化网络管理以及实现快速灵活的业务提供； 企业网用户希望 SDN 实现私有云的自动配置和降低设备采购成本。 基于这些需求，在思科等厂商的推动下，IETF、IEEE 等标准组织去除了 SDN 与 OpenFlow 的必然联系 ， 保留了可编程特性 ， 从而扩展出SDN 的广义概念，即泛指基于开放接口实现软件可编程的各种基础网络架构，进而将具备控制转发分离、逻辑集中控制、开放 API 3 个基本特征的网络纳入 SDN 的广义概念下，目前这一概念的发展由 IETF 主推。

### 5.2 SDN 的网络架构及关键技术

⑴SDN 的网络架构

图5是业界广泛认同的 SDN 模型架构。

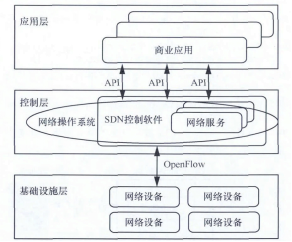


图5 SDN模型架构

该模型架构分为 3 层， 其中基础设施层主要由支持OpenFlow 协议的 SDN 交换机组成 。 控制层主要包含OpenFlow 控 制 器 及 网 络 操 作 系 统 （network operationsystem, NOS）。 控制器是一个平台，该平台向下可以直接与使用 OpenFlow 协议的交换机 （以下简称 SDN 交换机）进行会话；向上，为应用层软件提供开放接口，用于应检测网络状态、下发控制策略。 位于顶层的应用层由众多应用软件构成， 这些软件能够根据控制器提供的网络信息执行特定控制算法，并将结果通过控制器转化为流量控制命令，下发到基础设施层的实际设备中。 根据上述论述，OpenFlow 协议、 网络虚拟化技术和网络操作系统是 SDN 区别于传统网络架构的关键技术。

⑵SDN 的网络架构

SDN 的起源可以看出 ，OpenFlow 协议是 SDN 实现控制与转发分离的基础。 业界为了推动 SDN 发展并统一OpenFlow 标准， 组建了标准化组织开放网络基金会 （Open Networking Fundation，ONF）[6]。 目前，ONF 已成为 SDN 标准制定的重要推动力量， 其愿景就是使基于 OpenFlow 协议的 SDN 成为网络新标准。 自 2009 年 10 月发布 OpenFlow标准第一个版本以来，ONF 先后发布了 1.1、1.2、1.3 等版本。 OpenFlow 协议发表的详细情况如表 1 所示。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | 表 1 OpenFlow 协议发表情况 | |
|  | |  |  |
| 发布时间 | | 版本情况 |  |
|  |  |  | |
| 2009 | 年 10 月 | OpenFlow 发布第一个可商用的 1.0 版本 | |
| 2011 | 年 2 月 | OpenFlow 1.1 增加支持多交换表 、群组 、虚拟端 | |
|  |  | 口以及对 MPLS、VLAN、QinQ 等的支持 | |
| 2011 | 年 3 月 | ONF 成立。 截至 2013 年 3 月，已成立工作组 7个， | |
|  |  | 讨论组 4 个，成员单位 94 家 | |
| 2011 | 年 10 月 | ONF 发布 OpenFlow | 1.2， 增加对 IPv6 报头各字 |
|  |  | 段的识别功能 |  |
| 2012 | 年 1 月 | 基 于 OpenFlow 1.2 | 版 的 of-config 1.0， 定 义 |
|  |  | OpenFlow 数据路径所需基本功能 | |
| 2012 | 年 6 月 | OpenFlow 1.3.0 版，增加重构能力协商、IPv6 扩展 | |
|  |  | 头支持等 |  |
| 2012 | 年 6 月 | 发布 of-config 1.1 版，增加对 OpenFlow 1.3 版本的 | |
|  |  | 支持 |  |
| 2012 | 年 9 月 | OpenFlow1.3.1 版提升版本协商的能力并修改 | |
|  |  | OpenFlow1.1 的错误 |  |
|  |  |  |  |

OpenFlow 规范主要由端口 、流表 、通信信道和数据结构 4 部分组成。 由于篇幅原因，本文不对该规范做展开论述，主要介绍 OpenFlow 的运行原理。图 2 反映了 OpenFlow 对数据分组的处理机制。一个 OpenFlow 交换机包括一个或者多个流表（flow table）和一个组表（group table）。 流表中的每个流条目包括如下 3 个部分。

匹配（match）：根据数据分组的输入端口、报头字段以及前一个流表传递的信息，匹配已有流条目。

计数（counter）：对匹配成功的分组进行计数。

操作（instruction）：包括输出分组到端口、封装后送往控制器、丢弃等操作。

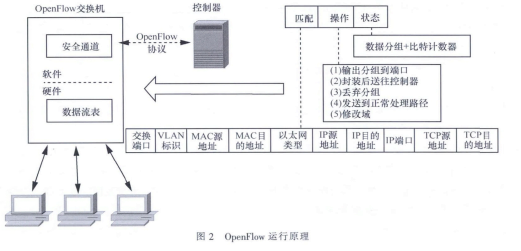


图 6

SDN 交换机接收到数据分组后 ，首先在本地的流表上查找是否存在匹配流条目。 数据分组从第一个流表开始匹配， 可能会经历多个流表， 这叫做流水线处理（pipeline processing）。 流水线处理的好处是允许数据分组被发送到接下来的流表中做进一步处理或者元数据信息在表中流动。 如果某个数据分组成功匹配了流表中某个流条目，则更新这个流条目的 “计数 ”，同时执行这个流条目中的 “操作”；如果没有，则将该数据流的第一条报文或报文摘要转发至控制器，由控制器决定转发端口。

⑶FlowVisor

FlowVisor 是建立在 OpenFlow 之上的网络虚拟化平台[7]，引入 FlowVisor 后 OpenFlow 网络架构如图 3 所示。对于控制器而言，FlowVisor 看起来就是普通的交换机；从 OpenFlow 交换机的角度来看，FlowVisor 就是一个控制器。 类比计算机的虚拟化，FlowVisor 就是位于硬件结构元件和软件之间的网络虚拟层。 它将物理网络分成多个逻辑网络， 从而允许多个控制器同时控制一台 OpenFlow 交换机，但是每个控制器仅仅可以控制经过这个OPENFLOW的某一虚拟网络，因此通过FlowVisor建立的试验平台可以在不影响流的转发速度的情况下，允许多个网络试验在不同的虚拟网络上同时进行。

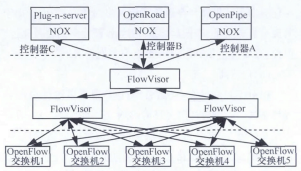


图 7

网络切片是 FlowVisor 管理功能实现的要素， 它是由一组文本配置文件定义的。 文本配置文件包含控制各种网络活动的规则，例如允许、只读和拒绝，其范围包括流量的来源 IP 地址、端口号或者数据分组表头信息。 通过网络切片，FlowVisor 为管理员提供了广泛的定义规则来管理网络。由于 FlowVisor 是建立在 OpenFlow 控制器基础上的，因此，它与一般的商用交换机是兼容的。 目前 FlowVisor 尚处于实验阶段，主要部署在校园网（如斯坦福大学）。

⑷NOS

在SDN 范畴中 ，NOS 特指运行在控制器上的网络控制平台。 控制器的控制功能都是通过运行 NOS 实现的。NOS 就像 OpenFlow 网络的操作系统 ， 它通过对交换机操作来管理流量，因此，交换机也需要支持相应的管理功能。图 4 为 NOS 在网络中的位置示意。从整个网络的角度来看，网络操作系统应该是抽象网络中的各种资源，为网络管理提供易用的接口。 基于它，可以建立网络管理和控制的应用。 因此，NOS 本身并不完成对网络的管理任务，而是通过在其上运行的各种 “应用”实现具体的管理任务。 管理者和开发者可以专注到这些应用的开发上，而无需花费时间在对底层细节的分析上。 为了实现这一目的，NOS 需要提供尽可能通用的接口， 满足各种不同的管理需求。

当流量经过交换机时， 如果发现没有对应的匹配表项，则转发到运行 NOS 的控制器并触发判定机制，判定该流量属于哪个应用。 NOS 上运行的应用软件通过流量信息来建立网络视图（network view）并决策流量的行为。 正是因为有了 NOS，SDN 才具有了针对不同应用建立不同逻辑网络并实施不同流量管理策略的能力。 目前， 较为流行的NOS 有 NOX[8]、Beacon、Trema、Maestro 等。

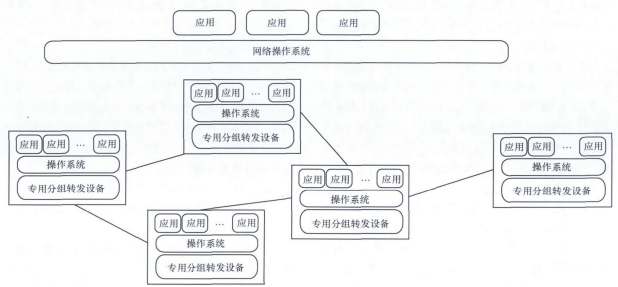
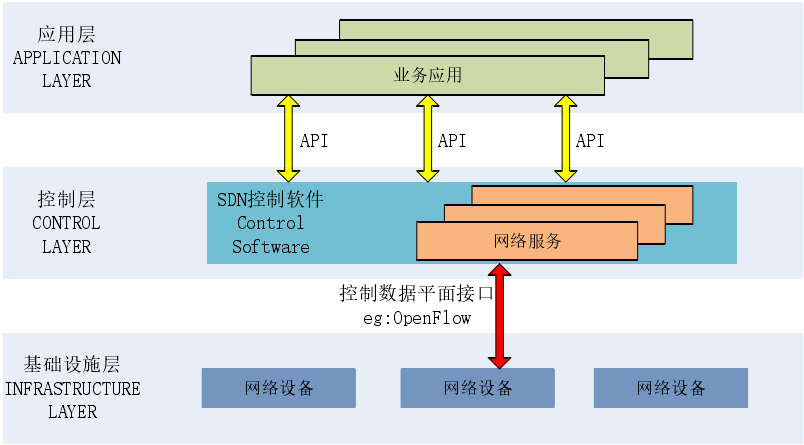


图 8 NOS在网络中的位置

## 6、SDN下三网融合以及资源分配技术的发展设想

### 6.1 SDN架构

软件定义网SDN是一种新兴的网络架构，SDN将网络的控制平面和转发平面解耦合，并使其直接可编程。图 6.1描述了SDN的架构。应用层由不同的业务和应用组成，其可以对网络转发的策略进行管理和控制，也支持对于QoS的优化保障和对网络属性的配置以提高网络的利用率和安全性；控制层负责完成数据平面的抽象，实现网络拓扑和状态信息的维护，按照应用层业务的要求来控制和调用转发面资源，该层也被称之为网络操作系统（Network Operating System，NOS）层；基础设施层也称之为数据转发层，其基于业务流表来实现数据的转发和处理。控制层通过提供北向接口向应用层暴露编程接口，通过如Open Flow等南向控制数据平面接口协议完成流表的分配。关于Open Flow的深入讨论将在下一节进行。



6.1网络虚拟化环境

网络的智能化由基于软件SDN控制器集中提供，其在全局视野上对网络进行管控，基于此架构，从网络应用和策略引擎角度来说，网络设备即是单个的逻辑交换实体。运营企业从单一的逻辑管理点进行运营商独立的网络控制，这大大简化了网络的设计和操作。SDN同时也大幅度简化了网络设备本身，因为其不再需要理解和处理成千上万的协议标准而仅仅需要按SDN控制器的的指令进行数据域的转发。

对于网络操作者和管理者来说，更有意义的在于它们可以通过编程的方式集中配置整个网络而不必要面对大量的设备和其各自巨大的代码量。此外，通过使用SDN控制器完成网络智能的集中控制，网络管理者可以实时的改变网络的行为并在数小时或几天内完成新应用和服务的部署，而不再像以往那样需要几周甚至几个月来完成业务部署。通过控制层的集中管控，SDN使得网络管理者能够灵活的动态配置、管理、优化网络资源并提供安全性。

除了对网络进行抽象，SDN架构提供了一系列的应用程序编程接口（Application Programming Interface，API）来为网络服务和应用的部署提供能力，通过调用API，应用层可以快速的完成诸如路由、多播、安全、接入控制、带宽管理、流量工程、Qo S、存储优化、策略管理和各种面向用户需求的业务实现。

归纳来说，SDN架构通过类似计算机领域的虚拟抽象技术来简化网络管控，通过屏蔽复杂的网络底层为上层应用提供简单的配置与管理。SDN技术通过将网络控制和转发功能相分离实现转发抽象，通过引入全局视图为上层应用屏蔽底层的分布式状态信息和提供网络的全局视图来实现分布式状态抽象，通过在全局视图的基础上提供针对应用趋向的特定视图抽象来简化上层业务应用对于底层网络的操作，并以此促进应用与业务创新。

### 6.2 Open Flow

OFDM不是什么新技术，却是目前的主流技术，但在有线电视接入网的应用时间不长——最早的应用就是EoC。OFDM技术应用于同轴，给同轴接入技术带来 了许多新观念——多载波和单载波在许多方面不同，最主要的就是子载波自适应调制——根据信道条件自适应改变调制指数和bit装载，完全改变了单载波固定调 制的模式。OFDM如何适应同轴信道环境是个新课题——同轴信道不同于无线。OFDM在同轴中应该发展、创新。欧盟在这方面做了大量研究，主要成果集中体 现在ReDeSign的DVB-C2中。中国也已经进行了研究和探索，比如HiNoC的分布式信道均衡技术。随着软件无线电、感知无线电技术的发展应用， 多种有线技术、多种无线技术、有线和无线技术将会共存于一个大环境，如何降低相互干扰、如何提高在复杂环境下的频谱利用率、如何在高效的前提下降低能耗都 是我们面对的挑战机遇。其中子载波自适应调整发送电平应该是重要方向之一，笔者在《大带宽竞争形势下同轴接入网的价值》 中已经提出了初步设想。

### 6.3 NFV与SDN

依托于SDN技术实现的未来网络必须同时实现网络功能的虚拟化，才能对各种新兴业务进行全面的支撑。2012年10月，由AT&T等大型运营商牵头的网络功能虚拟化标准工作组NFV在欧洲电信标准协会成立，其目的在于标准化IT虚拟化技术，使得不同的网络设备以软件的形式运行在符合行业标准的高性能硬件设备中，实现网络设备和功能的虚拟化。

网络功能虚拟化旨在改变传统的网络架构，其通过使用标准的IT虚拟化技术来将许多网络设备以软件的形式安装在符合工业标准的高性能服务器、交换机和存储硬件中。如图 6.2所示，在数据中心、网络节点和端用户中的硬件设备只需要提供统一的标准化接口，传统的网络应用将直接安装在高性能硬件之上来进行业务部署。

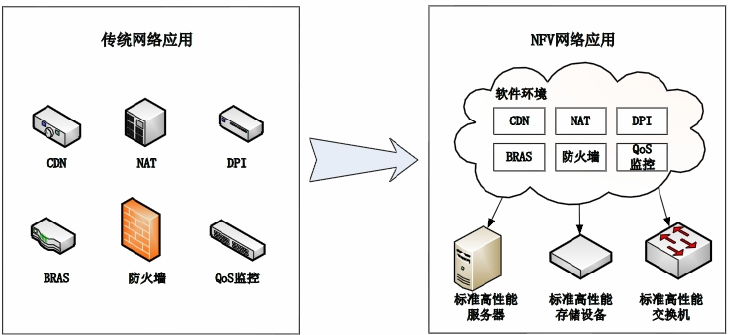


图 6.2 网络功能虚拟化 NFV

网络功能虚拟化将会给运营商和网络本身带来许多益处，其大大减少了网络设备成本和运营过程中的能源消耗，节省了部署应用的成本；有力的减小了新业务部署的周期，加速了网络革新的速度，使得网络运营商能够快速的针对市场需求进行业务调整；通过 NFV，网络运营商可以将底层网络资源共享给多个租户，提供面向用户的目标服务；NFV 使得网络本身对外开放，打开了面向纯软件公司的虚拟应用市场的大门，同时在保证网络安全的前提下给小型公司和学术界提供了网络操作的接入，这将大大促进新业务和新型网络经济的革新和发展。

NFV 与传统硬件网络应用不同在于其通过标准的执行环境与管理接口实现网络功能与硬件的解耦合，这使得多种虚拟网络功能以虚拟机的形式共享底层硬件。NFV 的实现也面临着许多挑战和技术难题，首先必须定义统一的接口来实现可移植性与互操作性，只有实现了标准的接口才能将网络功能以软件的形式进行部署；其次网络对于时延和性能的要求很高，在NFV环境中，所有的网络功能将以软件的形式实现，如何保证底层硬件资源的分配以提供与硬件相同的性能将是需要重点解决的问题；NFV 想要大规模部署，必须依托于全面高效的网络管理，NFV 使得网络更加的灵活也让网络的管理难度增大；与SDN的基本要求相同，NFV也必须保证虚拟机间的隔离和安全性要求，由于网络功能应用和对软件的管理都发生在相同的物理机器上，如何无差错无干扰的对单个虚拟机进行控制和管理也是在 NFV 进行全网部署时必须有效解决的难点问题。

NFV 与 SDN 是相辅相成的关系，两者之间并非相互依赖而是高度互补的关系，两者可以相互独立的实施，但是通过 SDN 中控制与数据平面相互分离的方式，网络功能虚拟化的性能可以得到巨大的提高，充分简化虚拟化实现的部署难度和操作。NFV 为 SDN 软件的运行提供了环境，可以说 NFV 和 SDN 联合组网将带来最大程度的虚拟化能力，大大推动网络的开放与革新。

### 6.3虚拟资源分配方法

网络虚拟化技术的实现需要虚拟资源分配技术的支持，异质的虚拟网络需要合理使用底层网络的物理资源来实现业务功能。在虚拟化技术的发展过程中，多种资源分配方法被提出，其使用数学规划与最优化方法对网络资源进行建模并依据最优化目标和约束实现物理资源的高效分配。

随着 VPN 业务的发展，针对传输资源的分配管理受到研究界的重视，以成本收益和Qo S为优化目标的链路虚拟化资源分配技术被提出，该资源分配方案基于Dijistra算法对路由进行约束，同时考虑带宽、延时等因素，以得到最优的网络性能和服务接受率，对测度和聚合特点进行了归类和分析，提出了在线逐跳式和离线集中式算法。为满足单播/组播、域内/域外、在线/离线等业务要求，诸如最小路径跳数、最小交换成本、最小业务流丢失率、最大剩余带宽等为优化目标的网络规划及资源分配算法被提出[21]。在 P2P 重叠网的资源分配方法中，IETF 支持的应用层最优化技术（ALTO）被提出[22]，该技术采用集中式的方法查询物理网状态，可优化带宽占用和对等选择算法。

虽然上述资源分配方法并未考虑节点分配需求，不可直接用于 SDN 的网络虚拟化资源分配，但是其运用 MCF 模型[23]将网络资源抽象为由节点、链路和带宽资源等组成的数学元组，进而把资源分配求解过程变换为数学规划的思想为后续的研究提出提供了重要参考，为 SDN的网络虚拟化资源分配技术打下了基础。文献[7]对网络虚拟化环境中的虚拟资源分配技术。