

# SDN+: 基于SDN的未来无线网络系统架构和扩展

## SDN Plus: Architecture and Extension for Using SDN to Control Future Wireless Networks

李贺武, 赵洲洋, 孙文琦, 戴祎程 (清华大学网络科学与网络空间研究院无线与移动网络技术研究室, 北京 100084)

Li Hewu, Zhao Zhouyang, Sun Wenqi, Dai Yicheng (Wireless and Mobile Internet Technology Lab., Institute for Network Sciences and Cyberspace, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

### 摘要:

近年来,无线网络面临着流量持续爆炸式增长、高密度混合覆盖以及严重干扰等挑战性的问题。软件定义网络(SDN)通过将控制层和数据层分离,给网络带来了极大的灵活性,受到了广泛的关注。目前已经有很多工作将SDN的概念引入到无线网络中,主要集中在对抽象的无线网络进行软件层面的定义。然而如何真正将目前的SDN架构应用在无线网络中,并对有线无线网络进行统一控制还远未涉及。分析了将当前SDN架构应用在无线网络中潜在的挑战,在此基础上,提出了基于SDN的未来无线网络控制架构(SDN+)。实验结果表明:SDN+可以同时每个数据流的有线路径和无线资源进行统一动态分配。

### 关键词:

SDN+; 未来无线网络; 网络体系结构; 统一控制  
doi: 10.16463/j.cnki.issn1007-3043.2015.10.010  
中图分类号: TN929.5  
文献标识码: A  
文章编号: 1007-3043(2015)10-0044-07

### Abstract:

Wireless networks have been facing huge challenges like traffic explosive growth, chaotic coverage, and severe interference in all these years. SDN, giving great flexibility to network by decoupling control plane and data plane, has received great concern. Many works have been done for introducing the SDN concept into wireless networks, and most of them mainly focus on abstracting wireless network to software definition. But it is still far from clear how extending current SDN architecture into wireless networks, especially on uniform control of wired and wireless network. It analyzes the potential challenges when extending SDN to control future wireless networks. Based on the above challenges, architecture and extensions of SDN for future SDN plus have been proposed. An experimental platform for validating the architectural design has also been given at the end, which shows that SDN plus could run and allocate wired paths and wireless resources jointly per flow.

### Keywords:

SDN Plus; Future wireless network; Architecture; Uniform control

## 0 前言

软件定义网络(SDN)凭借其高灵活性、可编程性和管理动态性等特点得到了广泛的关注。由于移动网络当前面临的如频谱短缺、资源利用率低等问题,

很多研究开始尝试将SDN引入到移动环境来设计未来的无线网络架构。

欧盟的5G项目“METIS”表明5G的架构将会把接入技术和高密度网络整合为一个无缝的移动网络<sup>[1]</sup>。SDN网络具有高度灵活性,已被CROWN项目认定为高密度无线网络(5G场景之一)的一种解决方案<sup>[2]</sup>。文献[3-6]将SDN引入到蜂窝网络中。MobiFlow将软件定义的结构利用在核心网络(EPC)中,给未来运营商提供最大的灵活性、开放性和可编程性<sup>[3]</sup>。Open-RAN工作提出从物理资源虚拟化BSC、BBU和RRU等

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目:61161140454;863项目:2014AA01A701;国家科技重大专项:2012ZX03002015-003;欧盟FP7:PIRSES-GA-2013-610524

**收稿日期:**2015-08-10

功能,结合虚拟化与SDN技术,设计开放、灵活的蜂窝接入网结构<sup>[4]</sup>。SoftRAN对蜂窝网无线接入层进行了重新设想<sup>[5]</sup>。将基站的无线资源进行抽象,并通过逻辑上的无线接入集中控制层将其以软件定义的形式程序化。文献[6]对SDN进行扩展,使其能够适用于整个蜂窝网络,包括RAN和EPC。关于软件定义的WLAN,Odin系统设计了一个结合SDN和虚拟AP技术的框架,能够提供无缝迁移、负载均衡等功能<sup>[7]</sup>。也有其他针对更复杂的多样性网络进行的研究。OpenRoads项目在OpenFlow之上设计了应用层来支持异构与异构无线网络的移动性<sup>[8]</sup>。斯坦福网络系统小组的OpenRadio项目,提供了一个统一软件接口,来对异构无线网络进行观察和编程<sup>[9]</sup>。开放网络基金会(ONF)近期专门成立无线与移动工作组,收集用户信息,针对SDN应用于无线和移动领域,制定基础技术的架构和协议需求<sup>[10]</sup>。

本文主要关注对SDN结构进行扩展以适用于未来的无线移动网络中可能遇到的挑战性问题,并且这些问题在之前的研究中很少涉及。目前的SDN结构将控制层与数据层进行了分离。控制层通过对各个流的转发路径和端口速率进行简单控制来达到控制数据层的目的。但目前这种控制方式无法直接应用在无线网络中。首先,在将SDN应用在有线和无线网络的统一控制时,由于有线和无线网络的不同,需要重新定义要调度的对象。基于OpenFlow的SDN架构,通过在数据层面的路径管理和QoS服务来控制有线网络。但是在无线网络中通常是基于节点来进行资源管理,如对频率、调制方式和信道占用时间进行分配。另一个重要的问题是对无线网络设备的底层细节参数进行合理地抽象。参考以前的研究,需要很多的参数来描述无线网络,如工作频率、调制方式和天线模式等,这些都要比有线网络设备复杂得多。因此,当把SDN应用在无线网络中时,无线网络的参数需要被合理地抽象化,使得SDN能够有效并且一致地对无线、有线网络进行调度。除此之外,在未来的无线网络中,终端节点会更多地参与到网络选择与资源分配的过程中来。当前SDN的架构是对终端透明的。基于上面的分析,可以看到将SDN架构应用于无线网络中会面临很多挑战性的问题。本文提出了用一种SDN的扩展架构(SDN+)来尝试解决上述问题。为了验证这种架构的有效性和扩展性,本文使用支持802.11的AP搭建了一个实验平台。在平台进行的部分实验证实了SDN+可以同时

数据流的有线路径和无线资源进行动态分配。

## 1 扩展SDN到无线网络的主要挑战

### 1.1 调度对象:流vs设备

OpenFlow是SDN的一种主流解决方案,通过使用流的概念来定义网络流量。由于OpenFlow允许网络对每一个流进行编程控制,因此它可以在应用层、会话层、用户以及多用户层等方面提供非常精细的控制。相比之下,传统基于IP的路由策略就不是那么灵活,2个终端节点间的所有流,即使终端的需求不同也会使用相同的转发路径。

但由于无线网络的转发和资源分配都是基于终端的,SDN的高度灵活性无法直接应用在无线链路中。以局域网802.11 CSMA/CA为例,关联在1个AP上的移动终端一般共享同一个信道。由于在无线网络中窗口(CW)是随着节点,而不是流变化的,因此1个移动终端的不同流会使用相同的信道和CW。即传统SDN中,1个移动终端的不同的流会被同样对待。IEEE 802.11e协议通过对流量的CW和帧间间隔区别对待并赋予不同的优先级,来对无线网络进行优化。但是这种方法仅会提高优先的数据流获取信道的可能性,并没有很好的灵活性和管理性,因为这种方式很难对分配给用户和流的资源进行预测和控制。不仅WLAN,基于终端的蜂窝网络也会有此类问题:在Cell中的设备通过建立带有控制和数据的上行与下行链接,来获取对应的服务<sup>[11]</sup>。在无线网络中,这种粗粒度的调度机制会严重降低SDN的灵活性。调度对象在有线与无线网络中的不同,也会使SDN的工作变得低效。

### 1.2 调度方法:单一变量vs多个变量

OpenFlow的结构分离了控制层和数据层。控制层决定流的转发路径与基础QoS。数据层的交换机只是简单的管理流表,并根据该表对来的每一个包进行处理。处理的内容都是和转发相关的,比如发送至指定的端口和队列、洪泛、发送至控制器和丢包等。QoS也是简单地通过在转发端口控制队列带宽来实现的。相比之下,在无线网络中,数据层就变得比较复杂,调度方法也会变得十分不同。除了转发,无线设备还有很多的行为(MAC层、物理层和中间层)需要执行。图1针对无线设备需要管理的各种参数进行了简单的描述(以WLAN为例)。

如图1所示,无线带宽是由多个参数共同决定的,

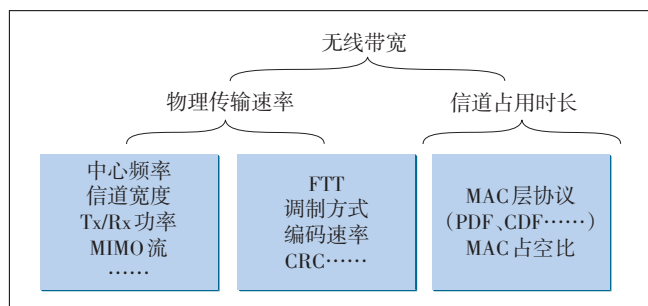


图1 无线设备的特殊参数

如中心频率、信道宽度、MIMO模式、调制类型以及MAC air time(下称信道占用时间)等。

因此,选择合适的参数并对无线设备的底层进行抽象是错综复杂的。一方面,一些参数因为实时性和复杂性无法被SDN动态配置。另一方面,一些需要动态配置的无线参数在有线网络中是需要保持不变的。比如,一个给流建立的特定带宽的通路,无线设备就需要做相应的特殊配置。因此,选择合适的无线参数进行合理的调度对于SDN的高效准确工作是十分重要的。

### 1.3 终端协同

基于OpenFlow的SDN对于用户是透明的并且不需要终端进行任何修改。在未来的无线网络中,各个移动终端应该参与到网络的管理与控制中来。比如,在未来无线网络中,由于“白空间”频谱会被广泛使用,移动终端需要感知周边频谱的使用情况并上报给网络控制器,以便更好地进行资源分配。另一个重要的例子是网络选择。由于网络接入变得越来越密集和多样化,经常会发现周边有非常多的无线热点。虽然网络选择的过程通常由移动终端进行,但是网络自身会在选择的过程中给予移动终端一些引导和协助。协同移动终端进行漫游和网络选择的相关解决方法,如802.11u<sup>[12]</sup>和ANDSF<sup>[13]</sup>,已经非常流行了。总之,在未来的无线网络中,移动终端将会作为网络架构的一部分,来完成一些重要的功能获得更好的服务。

## 2 SDN+结构与相应的扩展工作

### 2.1 结构设计

和ONF展示的SDN结构类似,SDN+如图2所示,同样包含了基础设施、控制器和应用。基础设施包括了多样性的AP和终端设备。为了控制无线设备并提供API给上层服务,SDN控制器如图2所示,扩展为SDN+控制器。图2中一个新的组件是802.11u/ANDSF

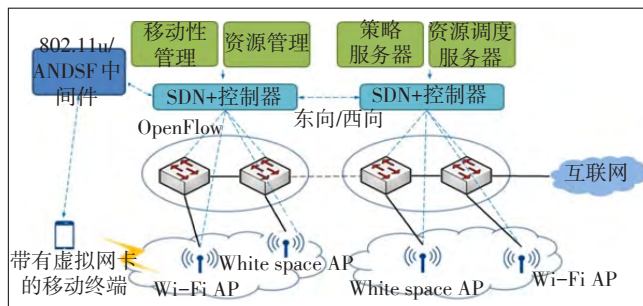


图2 软件定义的无线网络架构

服务器与SDN+控制器之间的接口。通过SDN+控制器,应用可以对802.11u/ANDSF服务器进行配置或者获取信息。通过这种形式,SDN+提供了协同终端设备的接口。

### 2.2 南向接口

在OpenFlow结构中,OpenFlow协议被指定为南向接口,用于控制器和交换机之间的通信。本文对南向接口进行扩展,使其能够控制无线设备。其他很多协议,如NETCONF、SNMP和SSH也都能够代替控制器与网络设备之间的SDN协议。如果需要,也可以指定新的协议,或扩展OpenFlow。不管选择哪种协议,均需要定义控制器和无线设备之间的通信内容。正如大家所知,OpenFlow控制器监控所有设备的运行状态并在交换机上对每一个流建立转发规则。

如图1所示,相比于有线设备,无线设备有更多的参数需要管理。出于对控制层负载以及数据层效率的考虑,没有必要也难以实现对所有的参数进行集中控制。比如,一些参数是随着高速变化的信道状态而改变的,这些参数应该采用自适应的实时方式来自主改变,而不是通过控制器。本文尝试选择了一些合理的长周期控制参数,并给出了802.11 WLAN无线网络中对无线设备5个维度的抽象。长周期的控制意味着这些参数在一些时间段内(至少在一个流的传输时间内)不需要被重新配置。

#### 2.2.1 频率维度

频率维度参数可以被表述为:

$$F = (f_c, \Delta f)$$

式中:

$f_c$  ——信道的中心频率

$\Delta f$  ——信道的宽度

SDN+控制器通过给无线接入点和移动终端分配F来传输每一个流。一个合理场景是:对延迟敏感的VoIP流可以使用一个较窄的,但是干扰小的信道;尽



力而为的数据传输服务则可以使用更宽的,但是有一定干扰的信道。

## 2.2.2 时间维度

在 802.11 WLAN 中,移动终端之间进行信道竞争。为了控制被移动终端和流占用的资源,时间维度的参数——信道占用时间被开发出来。信道占用时间的机制很容易理解。下行链路发送给移动终端中的帧,如果没有分配的信道占用时间(air time)将会被 AP 缓存。从移动终端发出的上行链路帧,如果没有分配的信道占用时间(air time),AP 将不会进行 ACK 回复。这样移动终端的 CW 将会回退,使得移动终端静默一段时间。这种机制在一些供应商中已经被不同程度地支持<sup>[14-15]</sup>。

在 SDN+ 结构中,SDN+ 控制器可以给每个流动态设置分配的信道占用时间(air time)。通过在特定频率上给一个流分配信道占用时间,这个流能够得到的大致无线带宽就能被估算出来。然后,可以粗略地给一个流分配无线带宽。随着 OpenFlow 支持了 QoS,SDN+ 控制器给基于流的资源管理提供了统一的接口。一个实际的问题是如何调整每流的信道占用时间。实际上,这就是上一章中提到的第一个挑战性问题:调度对象不一致。本文将在后续章节中提出一个解决这个问题的方法。

## 2.2.3 空间维度

空间维度参数主要包含了 MIMO 的流控制。AP 能够支持越来越多的空间流(这里的空间流指天线流),从 1 个到 4 个甚至是 8 个。由于能量和移动终端空间的限制,并不是所有传输都使用多空间流。SDN+ 控制器可以调节移动终端的流,如果有需要甚至还能调节数据流的空间流。

## 2.2.4 功率维度

AP 的发射功率也可以被 SDN+ 控制器来管理。发射功率可以被用来控制 Cell 的大小,或者控制 MIMO 流的协同程度。

## 2.2.5 编码维度

考虑到实时性、可扩展性的需求,控制器不适合进行与编码相关的操作,但是 SDN+ 控制器可以进行一些粗粒度的编码控制来提升架构的灵活性。比如 SDN+ 控制器可以告知 AP,对一些流使用保守的策略,同时对一些流采用激进的策略。

## 2.3 北向接口

OpenFlow 结构提供了一个全局的视图以及供上

层应用调用的网络设备 API。同样,SDN+ 给应用提供了监控接口和编程接口。通过监控接口,应用可以得到 AP 的运行信息,如帧丢失率、重传次数、信道利用率等。应用自己可以通过编程接口来调控 2.2 节所述的 5 个维度参数,给每一个流分配不同的资源。

## 2.4 协调移动终端的接口

近年来得到广泛关注的 802.11u 和 ANDSF 等协议,主要用于辅助移动终端进行网络选择和漫游。SDN+ 控制器有一个接口可以与 802.11u/ANDSF 服务器进行交互。应用可以通过 SDN+ 控制器发送网络选择机制给 802.11u/ANDSF 服务器,有利于控制层协同各个移动终端。

## 2.5 东向和西向接口

SDN 的集中控制概念导致了可扩展性问题。集中控制不能适应网络的增长。在 SDN+ 的结构中,1 个控制器仅负责 1 个指定的区域,控制器之间可以通过东向和西向接口进行交互。区域划分以及东向和西向接口并不会在本文进行讨论。

## 3 初步实现

### 3.1 实验平台介绍

平台由 1 个 SDN+ 控制器、3 个 OpenFlow 交换机、1 个传统交换机、2 个 WLAN AP、1 个协议服务器以及一些有线和无线主机组成。如图 3 所示,在实验平台中有 3 个 SDN 交换机和 1 个传统交换机,3 个 SDN 交换机可以任意两两交互,以给数据流更多的路径选择。传统交换机用来连接 SDN+ 控制器和 SDN 交换机。平台的无线网络部分包括 2 个 802.11 AP,分别连接 2 个不同的 SDN 交换机。负责运行应用的协议服务器通过传统交换机与 SDN+ 控制器进行交互。平台设备的详细组成如表 1 所示。

### 3.2 扩展

#### 3.2.1 南向接口

为了感知和控制 AP,需要对控制器的南向接口进行扩展。为了监控 AP,控制器会周期性地采集 AP 信道频宽、信道数目、beacon 间隔、发送功率、关联设备、RSSI、信道使用率和基础噪声等。目前能够实现改变 AP 的信道频宽(20 MHz、40 MHz 和 80 MHz)、信道数目、发送功率和多天线 MIMO 类型等。平台的 SDN+ 控制器目前可以粗粒度地控制无线资源的频率维度、功率维度和空间维度。一方面,在一些数据流开始的时候,这种扩展可以对无线和有线网络进行统一调整。

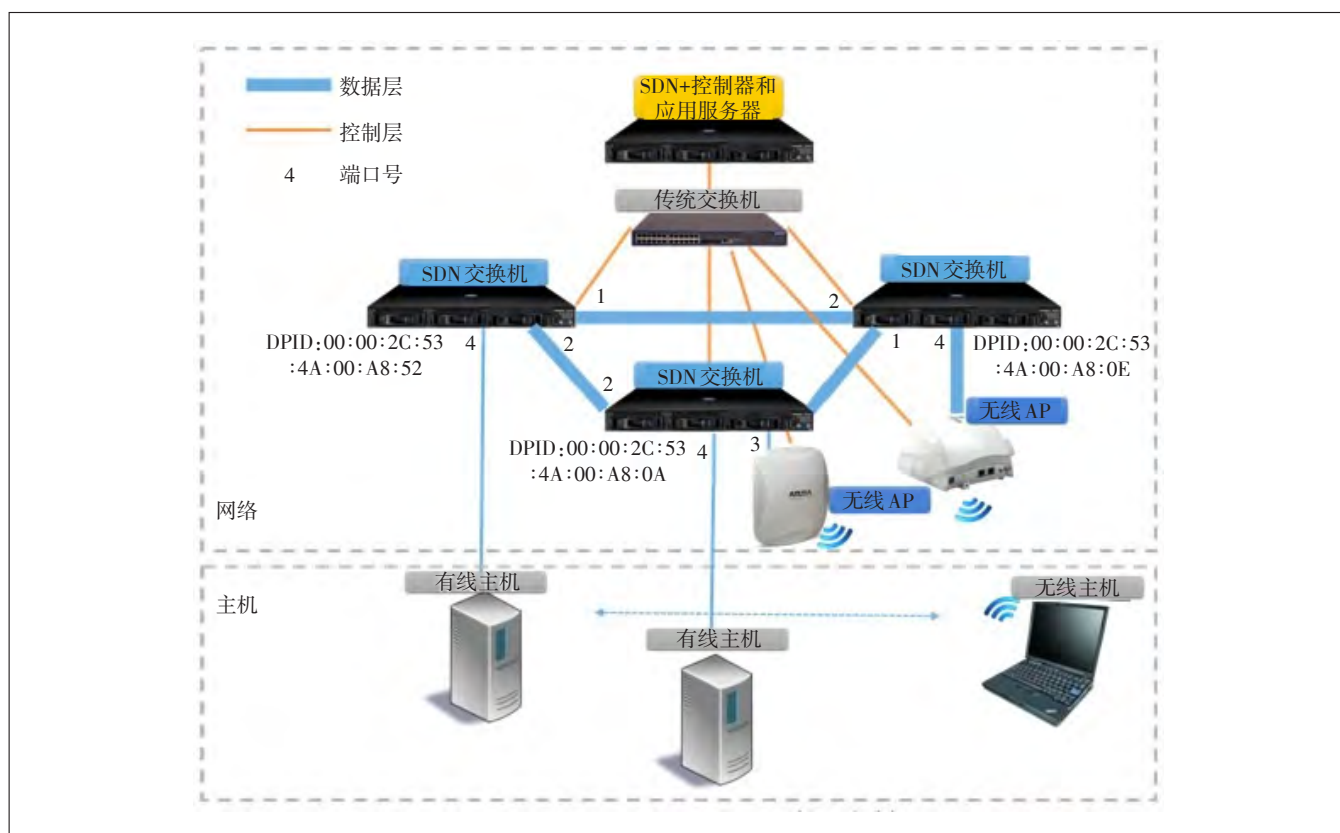


图3 平台拓扑结构

表1 平台设备参数信息

设备	数量	硬件参数	软件
SDN+控制器	1	CPU: Intel® Xeon(R) CPU E5405 @ 2.00 GHz × 4 MEM: 4 GB NIC: Intel Corporation	Floodlight 和对无线设备的扩展协议
SDN交换机	3	82580 Gigabit Network	OpenFlow 2.0.1
无线AP	2	Aruba AP Ruckus AP	802.11a/b/g/n/ac 802.11a/b/g/n
主机	3	Servers Laptop	Iperf server Iperf client
应用服务器	1	与SDN+控制器一致	Floodlight Module & Python script

另一方面,整个网络可以根据负载情况对有线和无线网络资源进行动态分配。目前实现控制AP的airtime fairness模式,以避免最慢的用户在指定的时间影响其他的用户<sup>[15]</sup>。

### 3.2.2 北向接口

北向接口需要能被程序员简单与方便地操作。为了和Floodlight本地REST API保持一致,将这些读写功能封装入了REST API,如表2所示。比如,程序员可以简单地通过发送HTTP GET或者POST请求来改变某1个流的AP信道宽度。

表2 控制无线设备的REST API

URI	描述	不同之处
AP_info/<ap_no>/get cwmodewifi<radio_no>	获取AP的信道宽度	ap_no: AP's ID radio_no: 0:2.4 GHz, 1:5 GHz
AP_info/<ap_no>/get channel wifi<radio_no>	获取AP的信道	
AP_info/<ap_no>/ get txpowerwifi<radio_no>	获取AP的发送功率	
AP_control/<ap_no>/ set cwmodewifi<radio_no>< channel width>	设置AP的信道宽度	channel width : 0:20 MHz only, 1:20 MHz/ 40 MHz, 2:40 MHz only
AP_control/<ap_no>/ set channel wifi<radio_no>< channel >	设置AP的信道	Channel: channel number
AP_control/<ap_no>/ set txpowerwifi<radio_no>< power>	设置AP的发射功率	Power: max, half, quarter, min, 0 ~ -24 dB from max power

### 3.2.3 扩展移动终端

如第2章所述,在SDN+结构中,时间维度的参数在每一个流中都需要被单独配置。因此802.11接入点的信道占用时间调度需要被应用在CSMA/CA系统中的时间维度控制。通过对无线主机上的物理无线接口进行虚拟化,提出了一个实用的解决方案。移动终端可以简单地分配拥有不同优先级需求的数据流给不同

的虚拟接口。对AP而言,这些数据流看上去是从不同的移动终端过来的,因此可以做到对每一个数据流进行不同信道占用时间的分配。

### 3.3 初步验证

由于平台刚刚搭建,本文设计了一个简单的场景来进行验证。如图4所示,无线主机运行了2个拥有不同需求的流。在没有附加控制时,这2个拥有一样目的地的流会使用一样的频率(AP1的Band1)和一样的有线路径(Path1)。传统意义上,1个流希望得到更高的带宽;在一个路径上,2个流则需要共享一个传输瓶颈。

为了区别对待这2个流,本文将这2个流分配给不同MAC地址的无线接口。在用户关系数据中,这2个MAC地址被映射到不同的带宽和工作频率。如果希望第二个流拥有更高的传输质量时,可将AP的无线带宽从20 MHz自动调整为40 MHz,并且将第二个流的路由路径,按照一个更高质量(不拥堵)的路径进行路由。然后本文提出的应用会通知SDN+控制器,选择对应的频率(AP1的Band1、Band2),将数据流分配给SDN+控制器(Path1、Path2)以给每一个数据流提供

不同的服务,如图4所示。需要注意的是,上面提到的无线接口是不同的物理网卡,一个是mini USB WLAN卡,另一个是本地无线适配器。

调整之前,第一个流和第二个流的速率分别是43.8和10 Mbit/s。图5展示了第一个流和第二个流在拥有一样路径和一样的有线和无线资源时的带宽。由于2个网卡的性能不同,2个流的数据传输速率也不同。图6展示了调整之后当2个流采用不同的有线路径和无线资源后的状态。可以看到,在第二个流带宽不变的情况下,第一个流的带宽从43.8 Mbit/s提升到了64.5 Mbit/s。

## 4 结束语

本文针对SDN应用在有线和无线网络的统一控制时遇到的挑战进行了讨论。然后基于OpenFlow进行扩展,设计了SDN+架构,能够同时控制无线设备和有线控制器。其中针对无线功能和编程接口的扩展性在本文中进行了详细的描述。最后搭建实验环境对SDN+结构进行了验证。结果表明:SDN+可以同时为每个数据流的有线路径和无线资源进行动态分配。

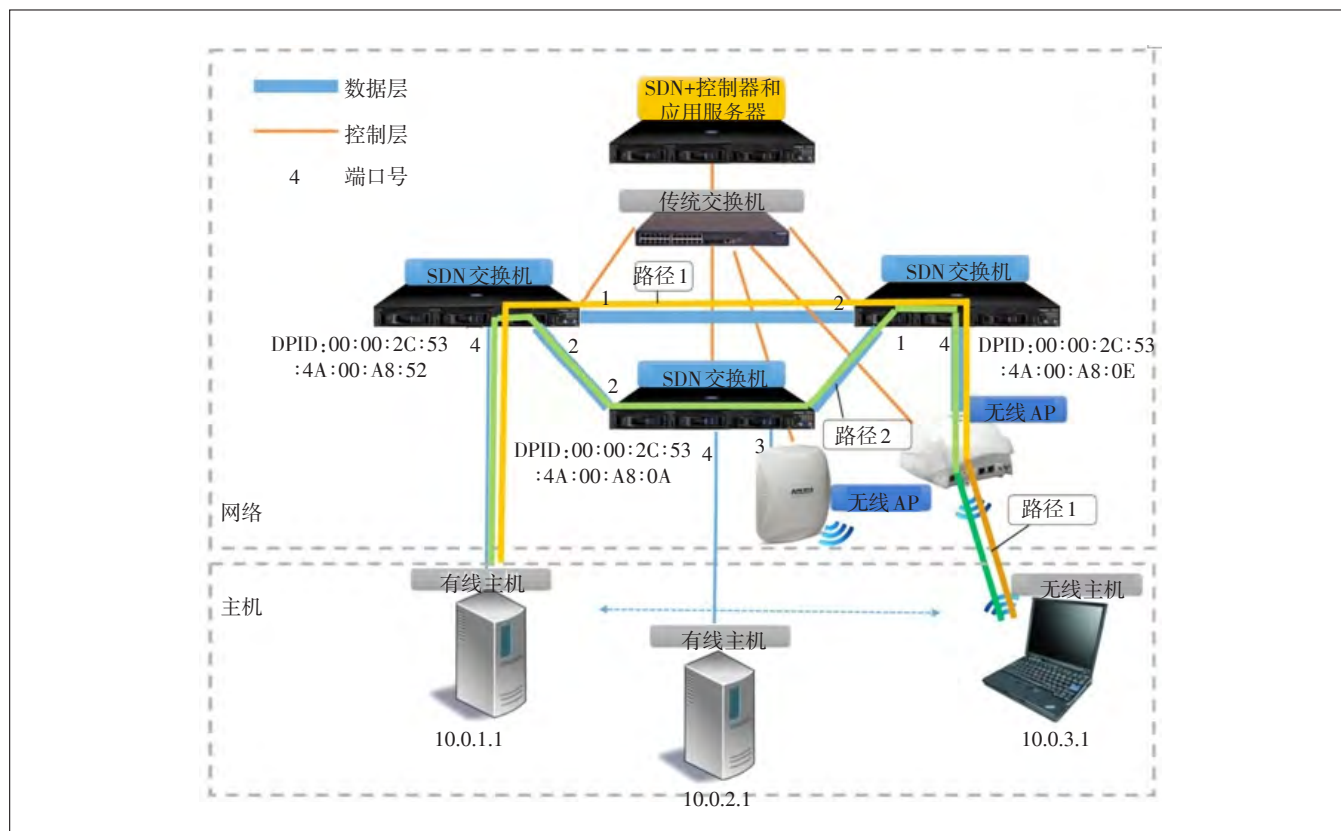


图4 2个不同数据流的相同路径/不同路径示意图



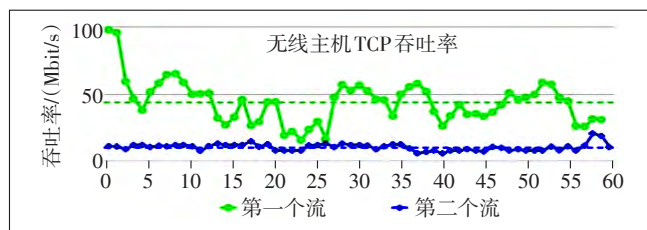


图5 共享相同资源时数据流的带宽情况

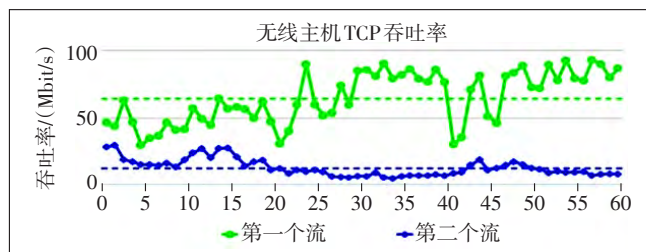


图6 使用不同资源时数据流的带宽情况

## 参考文献:

- [1] Osseiran A., Boccardi F., Braun V., et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project [J]. IEEE, 2014, 52(5): 26–35.
- [2] Oliva A D L, Morelli A, Mancuso V, et al. Denser Networks for the Future Internet, the CROWD Approach [J]. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences Social Informatics & Telecommunications Engineering, 2013(58): 28–41.
- [3] PENTIKOUSIS K, WANG Y, HU W. Mobileflow: Toward software-defined mobile networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(7).
- [4] Yang M, Li Y, Jin D, et al. OpenRAN: a software-defined ran architecture via virtualization [J]. Acm Sigcomm Computer Communication Review, 2013, 43(4): 549–550.
- [5] Aditya Gudipati, Daniel Perry, Li Erran Li, et al. SoftRAN: Software Defined Radio Access Network [C]. Proceedings of workshop on Hot topics in software defined networks, ACM, 2013.
- [6] LIL E, MAO Z M, Rexford J. Toward software-defined cellular networks [C]. Software Defined Networking (EWSDN), 2012 European Workshop on, 2012: 7–12.
- [7] L Suresh, J Schulz-Zander, R Merz, et al. Towards programmable enterprise WLANs with Odin [C]. Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks, ACM, 2012: 115–120.
- [8] Yap K K, Kobayashi M, Sherwood R, et al. OpenRoads: Empowering research in mobile networks [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2010, 40(1): 125–126.
- [9] Bansal M, Mehlman J, Katti S, et al. Openradio: a programmable wireless dataplane [C]. Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks, ACM, 2012: 109–114.
- [10] ONF Charter “Wireless & Mobile” [EB/OL]. [2015–03–25]. <https://www.opennetworking.org/working-groups/wireless-mobile>.
- [11] Federico Boccardi, Robert W. Heath Jr, Angel Lozano, et al. Five disruptive technology directions for 5G [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(1): 74–80.
- [12] IEEE 802.11u. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 9: interworking with external networks [S/OL]. [2015–03–25]. [http://download.csdn.net/detail/s\\_bird0529/2553723](http://download.csdn.net/detail/s_bird0529/2553723).
- [13] Access Network Discovery and Selection Function (ANDSF) Management Object [EB/OL]. [2015–03–25]. <http://www.3gpp.org/DynaReport/24312.htm>.
- [14] Optimizing Network and Client Performance Through Dynamic Airtime Scheduling [EB/OL]. [2015–03–25]. [http://www.aerohive.com/pdfs/Aerohive-Whitepaper-Dynamic\\_Airtime\\_Scheduling.pdf](http://www.aerohive.com/pdfs/Aerohive-Whitepaper-Dynamic_Airtime_Scheduling.pdf).
- [15] Configuring Adaptive Radio Management (ARM) Profiles and Settings [EB/OL]. [2015–03–25]. <https://community.arubanetworks.com/aruba/attachments/aruba/70/1204/1/ARM+Doc+Supplement.pdf>.

## 作者简介:

李贺武, 毕业于清华大学, 副研究员, 博士, 主要研究领域为未来无线网络、无线网络资源管理和移动应用; 孙文琦, 清华大学计算机系在读博士生, 主要研究领域为下一代无线网络和无线网络资源管理; 赵洲洋, 清华大学计算机系在读硕士生, 主要研究领域为下一代无线网络新型应用和移动应用; 戴祎程, 清华大学计算机系在读硕士生, 主要研究领域为下一代无线网络原型系统建设和网络移动性管理。

## 工信部发布锂电池行业规范

工业和信息化部近日发布公告称, 为加强锂离子电池行业管理, 提高行业发展水平, 引导产业转型升级和结构调

整, 推动锂离子电池产业持续健康发展, 根据国家有关法律法规及产业政策, 按照危险化学品安全生产监管部际联席会

议要求, 经有关部委同意, 制定《锂离子电池行业规范条件》。

(郑海)

## 中国移动多地试商用4G+

中国移动近日已经开始在国内部分地区试商用速度更快的4G+(载波聚合)网络, 最高下行速率可从目前4G网的

100 Mbit/s 提高到 220 Mbit/s。据介绍, 在4G单载波的情况下, 每个用户只能使用1条通道来传输数据, 而到了4G+

双载波时代, 用户可同时使用2条通道进行数据传输, 这样在网络覆盖的边缘地区, 用户的上网体验也能更好。(郑海)