

WLAN 中基于 OpenFlow 的无缝切换机制设计与实现

开彩红, 胡欣岳

(合肥工业大学计算机与信息学院, 安徽合肥 230009)

摘要: 在传统的 WLAN 网络中, 因为用户使用的移动终端 (Station, STA) 具有移动性, STA 会出现离开当前网络接入点 (Access Point, AP) 的覆盖范围进入另一 AP 覆盖范围的情况, 此时 STA 需要在 AP 间进行切换. 传统 WLAN 中这样的 AP 间切换会产生网络延迟突然增大、吞吐量损失、以及掉线等服务质量下降的问题. 本文提出并实现了一种基于 AP 虚拟化和 OpenFlow 技术的解决方案, 通过搭建基于 OpenFlow 的交换网络对 STA 的流量进行细粒度的控制从而完成 STA 在不同 AP 间的无缝切换. 经过实际网络环境测试, 本方案具有 5ms 左右的切换延时、在 AP 切换时只会造成 1 秒左右的瞬时吞吐量减少和 16ms 左右的网络延时. 相较于其他方案, 本方案由于不需要再次进行认证和重新路由, 因而具有更好的无缝切换性能.

关键词: 无线局域网; 无缝切换; OpenFlow; AP 虚拟化

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2018)02-0410-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.02.021

Design and Implementation of an OpenFlow-Based Seamless Handover Scheme in WLANs

KAI Cai-hong, HU Xin-yue

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: In traditional WLANs, when a user with a station (STA) accesses the Internet through AP (Access Point), due to the mobility of the user, the STA may move out of the coverage area of current AP and enter the coverage area of another AP. Thus, STA needs to handover between APs. In traditional WLANs, such a handover often incurs a sudden increase of the network delay, a sharp decrease of throughputs and even disconnection. This paper presents a new handover scheme based on the AP virtualization and OpenFlow technique. By developing an OpenFlow switch network, we can realize a fine-grained control on the traffic of STAs, and realize the roaming of STA among different APs. Furthermore, we build up a practical WLAN testbed and real experiments show that the proposed scheme will only lead to a handover delay of about 5ms, a throughput reduction of about 1s and delay of 16ms when a handover happens. Compared with other existing schemes, the proposed scheme has smoother handover process since it does not need re-authentication and re-routing.

Key words: wireless local area networks (WLAN); seamless handover; openFlow; AP virtualization

1 引言

由于无线局域网 (Wireless Local Area Networks, WLAN) 具有部署便捷、成本低廉和易扩展等优点, 近年来获得广泛的应用和飞速的发展. 除了日益普遍的家庭和个人局域网, 越来越多的公共场所例如车站、机场、医院、图书馆等, 也开始采用 WLAN 实现大规模无线覆盖来为用户提供随时随地的 Internet 服务. 未来智慧型城市建设也要求城市中的各个地区都有无线网络覆

盖. 依据 IEEE802.11 协议标准^[1], 移动终端 (Station, STA) 必须与 AP (Access Point, 无线接入点) 进行关联认证并通过 AP 来接入 Internet. 由于每个 AP 的覆盖范围有限, 当 STA 从一个 AP 的覆盖范围移动到另一个 AP 的覆盖范围时会出现 STA 在 AP 间切换的问题, 即与当前的 AP 断开连接并且重新扫描并认证关联新的 AP, 这会造成网络延迟突然增大、吞吐量损失甚至网络服务中断等服务质量 (Quality of Service, QoS) 下降的问题, 因此, 如何能在用户无感知的情况下为 STA 实现

AP 间的自动切换以及当切换发生时如何尽量保证用户仍然拥有较高的 QoS,亦即实现 STA 在多 AP 间的无缝切换,是提高 WLAN 系统性能的重要问题。

在家庭型 WLAN 常用的胖 AP (Fat AP) 部署下, STA 在 AP 间切换时需要进行标准的 IEEE802.11 协议所规范的重新认证关联,因此切换时会出现明显的网络服务中断。在大规模的 WLAN 部署(如企业级 WLAN 和公共区域 WLAN)中常采用无线控制器(Access Controller, AC)加瘦 AP (Fit AP) 的方案。AC 通过无线接入点控制和配置协议(Control And Provisioning of Wireless Access Points Protocol Specification, CAPWAP)^[2]配置与管理 AP。这种架构能够较好的支持无缝切换功能,但是却需要部署专用的 AC 和 Fit AP 设备,成本较高、维护管理也较为复杂。已有工作中关于 WLAN 中 STA 在不同 AP 间的切换已有不少研究^[3-6]。文献[3]提出一种基于 AP 预先转发的快速切换方法,STA 所需要的数据帧会提前转发至新的 AP 以减少切换时造成的网络中断。文献[4]提出了基于存储、重新发送的切换方案来避免切换时数据帧的丢失,AP 会存储切换期间 STA 需要的数据帧,并且在切换完成后重新发送至 STA。文献[5]提出了一种新的基于链路层的移动 IP 快速切换方法,用来改进移动 IP 系统中的切换效果。文献[6]提出了基于邻居图的快速切换算法,通过 STA 提前扫描周围的 AP 所在的信道来减少切换过程中扫描信道所占用的时间。上述方案是在传统的 WLAN 架构中尽可能的优化认证流程,以及切换时数据帧的传输行为来尽量压缩 STA 与 AP 重新认证的过程,以及减少切换时丢失的数据包的数量,但是受限于传统的 WLAN 切换机制,系统仍需要完成重新认证以及进行数据流的新路由,因此切换时仍然会存在网络服务的中断。

另一方面,近年来,随着软件定义网络(Software-Defined Networking, SDN)的诞生与兴起,越来越多的学者和机构开始研究并且应用 SDN 技术^[7]。其中 OpenFlow^[8]作为使用最广泛的 SDN 实现技术,在与无线网络结合的研究中获得了广泛的关注^[9-16]。文献[9,10]搭建了基于 OpenFlow 的 WLAN 实验平台。文献[11]和文献[12,13]分别设计并部署了运用了 OpenFlow 技术的新型 WLAN 网络。文献[14]在 NS3 仿真平台下实现了基于 OpenFlow 技术的 WLAN 网络。文献[15]提出并在 OpenNet 仿真平台下部署了一种基于 SDN 的分布式 WLAN 部署方案以解决切换问题。具体来说,作者引入了 Virtual Wireless Access (VWAD) 的概念,STA 通过物理 AP 和 SDN 网络与 VWAD 保持逻辑上的连接。其中 VWAD 运行在物理 AP 之上,通过 SDN 网络来控制 VWAD 在不同的物理 AP 上进行迁移,进而可以实现 STA 在物理 AP 间的迁移。文献[16]研究了将 SDN 技术

应用在 LTE-A 网络中以实现切换认证的相关技术。然而,尚未有研究提出可以妥善解决 WLAN 中 STA 在不同 AP 间无缝切换的方案,并在实际网络环境下进行测试和验证。本文设计了一种基于 SDN 的 WLAN 架构,并且给出了相应的实际部署方案,实验证明,本方案可以实现无缝切换功能。

本文利用 AP 虚拟化和 OpenFlow 技术设计并实现了一种新的 WLAN 网络架构^[17]。在此架构下,通常由 AP 完成的 MAC 层功能,例如与 STA 的关联认证、STA 与 Internet 间的数据帧转发和 STA 间的数据帧转发都交由运行在远端的虚拟 AP (Virtual Access Point, VAP) 完成。而物理 AP (Physical Access Point, PAP) 只完成简单的数据帧的收发功能、承担 VAP 与 STA 间的数据转发任务,起到 STA 与 VAP 间的桥梁的作用。在这个架构下,STA 从逻辑上看是与 VAP 保持关联的,VAP 通过 OpenFlow 交换网络与物理 AP 相连。更进一步,利用 OpenFlow 交换网络可以通过流表操作对每个 STA 的数据帧进行控制的特点,可以将 STA 与 VAP 间的数据转发任务依据一定准则分配给某个物理 AP。通过 OpenFlow 交换网络中的流表规则可以被 OpenFlow 控制器快速、灵活的修改来实现快速的为 STA 分配新的物理 AP 从而实现 STA 在 AP 间的快速无缝切换。在实际网络实现中,OpenFlow 控制器通过收集各个物理 AP 收到的 STA 的信号强度(Received Signal Strength Indication, RSSI)作为是否进行切换的依据来实现自动切换。通过实际部署测试得出,本文采用的通过软件定义的方式调整 STA 与物理 AP 的接入关系,具有很好的灵活性、可扩展性强。除此以外,本文方案不需要使用专门的 AC 设备以及 CAPWAP 等新的协议,因此部署复杂度和硬件成本均较低。与此同时,本方案不需要对 STA 端设备进行任何改动,完全兼容现有设备。并且,在本方案中,STA 切换时无需重新认证以及重新确定路由,因此可以实现网络服务无中断的无缝切换。

2 AP 虚拟化和 OpenFlow 技术

2.1 AP 虚拟化架构

不同于传统 AP 结构,如图 1 所示,在 AP 虚拟化架构中 AP 被分成了两个部分:其中 VAP 负责产生 Beacon 帧、处理各类管理帧、完成与 STA 的认证关联以及承担 STA 间的数据转发和 STA 与 Internet 间的数据转发等功能。可以说 VAP 集成了传统 AP 的 MAC 层功能,从逻辑上来看 STA 与 AP 的关联实际上是与 VAP 的关联。

在这个架构下,WTP (Wireless Transmission Point, 无线传输节点)即为物理 AP (Physical Access Point),其通过以太网与 VAP 相连,只承担物理上的数据帧的收发任务,即 VAP 所发送的数据帧实际上由 WTP 发送到无

线信道, WTP 接收到空中的无线数据帧并且转发给 VAP, 由 VAP 进行逻辑处理与转发. 因此, 在 AP 虚拟化系统的架构下, 实际上 AP 处理转发数据和与 STA 进行关联认证的功能全部由 VAP 实现.

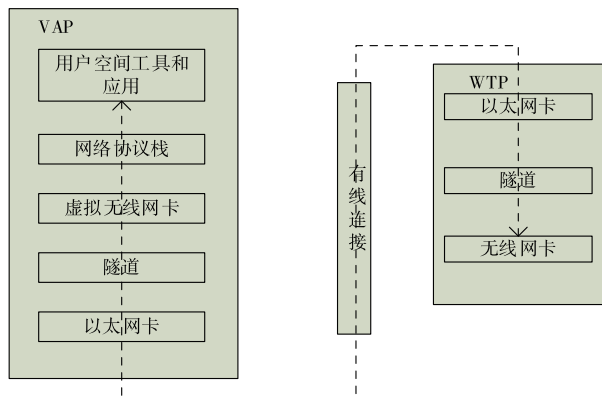


图1 AP虚拟化架构

2.2 OpenFlow 技术简介

斯坦福大学于2008年第一次提出OpenFlow^[8], 并且立刻受到了学术和工业界的关注, OpenFlow 交换设备的架构如图2所示.

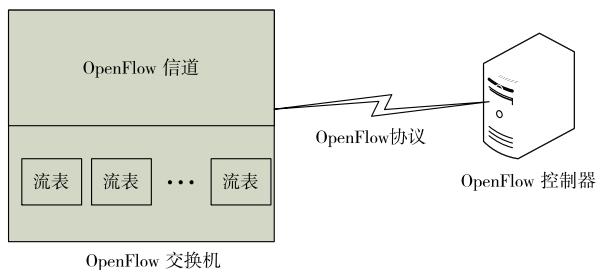


图2 OpenFlow交换设备架构

在OpenFlow交换机中, 数据帧是通过与流表 (FlowTable, 如图3所示) 进行匹配来确定转发规则的. 流表项由三个部分组成, 即匹配域、计数器和动作域. 其中匹配域包括了数据帧进入OpenFlow交换机的端口 (in_port)、源IP地址 (nw_src)、目的IP地址 (nw_dst)、源MAC地址 (dl_src) 和目的MAC地址 (dl_dst) 等内容. 交换机收到数据帧后会与流表项的匹配域进行匹配, 当匹配到相应的流表项后交换机便对数据帧执行流表项中的动作域中的动作, 包括丢弃 (drop)、广播 (flood) 和从某端口转发 (out_port) 等动作. OpenFlow控制器^[18]通过OpenFlow协议添加、删除以及修改OpenFlow交换机中的流表和通过OpenFlow交换机上报的packet-in消息处理未被匹配到的数据帧.

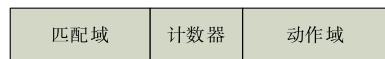


图3 流表 (FlowTable)

2.3 基于AP虚拟化与OpenFlow技术的WLAN无缝切换机制

从2.1节可以看到, AP虚拟化架构将AP的物理功能和逻辑功能分离开来. 我们可以用一个VAP与数个WTP相连, 这样这几个WTP的逻辑功能都由同一个VAP完成, 那么在STA看来, 这些WTP看起来就像是“一个”AP, 即与它们相连的VAP. 因此当STA与VAP连接时, 只需决定具体由哪个WTP负责转发VAP与STA间的数据帧, 即分配某个WTP为某个STA服务. 这样在实际应用中部署WLAN时可以部署一个VAP和其下属的多个WTP, 使各个WTP能够完全覆盖所有服务区域, STA在服务区域中移动时便始终只与一个VAP保持关联, STA从一个WTP的覆盖区域移动到另一个WTP的覆盖区域时只需要将负责转发VAP与STA间数据帧的WTP切换为另一个WTP, 也就是重新分配一个WTP为其服务, 并不需要重新关联认证, 可以极大的提高切换速度实现无缝切换. 本文将采用OpenFlow技术来实现为特定的某个STA分配某个WTP, 并可以动态调整WTP的分配方案, 并以此来实现无缝切换.

利用OpenFlow交换设备可以灵活的设置和修改数据帧的转发规则的特点, 我们将OpenFlow交换技术与虚拟AP架构结合来实现无缝切换. 本文所设计的WLAN架构如图4所示. 与传统的AP部署方式类似, VAP通过路由器与Internet相连, 负责转发与其关联的STA与Internet间的数据帧和STA间的数据帧. VAP通过OpenFlow交换机与多个WTP相连接. OpenFlow控制器通过向OpenFlow交换机下发相应的流表来为接入网络的STA分配一个WTP为其提供Internet接入服务.

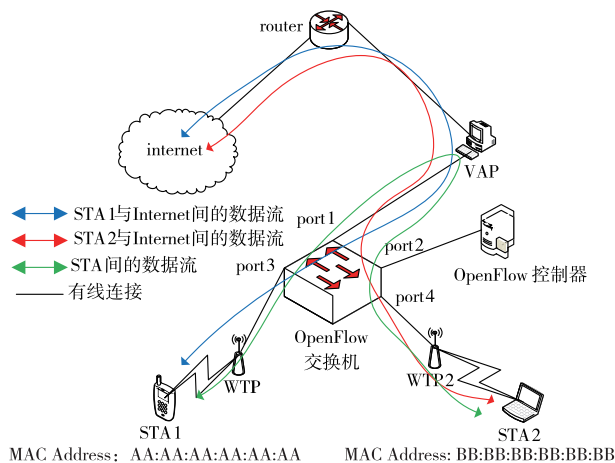


图4 基于OpenFlow架构的WLAN无缝切换

在图4所示的网络架构中, 当STA初次尝试接入网络时, STA仍需要通过一系列802.11认证流程. 由于网络架构的变化, 所以认证流程相较于普通的Fat AP有所不同. 图5给出了具体的认证流程. 初次接入时,

(1) 两台 WTP 为 NETGEAR WNDR3700V4, 使用 OpenWRT 操作系统.

(2) 普通二层交换机采用一台 Tenda S105 以太网交换机(用于替代图 6 中的 Internet).

(3) VAP Cloud 采用一台笔记本电脑 HASEE K680E, CPU 为 Intel Core i7 4710MQ @ 2.5Ghz 四核, 16GB 内存, 操作系统为 Ubuntu12.04.

3.1.1 VAP Cloud 的部署方案

在图 6 中, VAP Cloud 中集成了 VAP、OVS 以及 OpenFlow 控制器, 系统的核心功能都被集成在了 VAP Cloud 中. 在 VAP Cloud 中 wlan0 是一块虚拟的无线网卡, 由基于 Linux 系统中的 mac_80211hwsim.ko 模块并进行相应的修改实现. 通过运行 Linux 的用户空间工具 hostapd, 使虚拟无线网卡 wlan0 工作在 master 模式, 也就是模拟 AP 的功能, 而 hostapd 则作为 AP 的认证服务器, 负责控制和管理 STA 的接入和认证. 在本方案中虚拟的无线网卡 wlan0 便是 VAP.

部署中 OVS 采用 OVS1.4.6 版本, OpenFlow 控制器使用 POX 控制器并且执行为实现无缝切换而定制的 RoamingController 组件, 第 3.2 节将介绍这个组件的工作策略.

tap1 和 tap2 是两个虚拟以太网口, 和 wlan0 一起被分别挂载在 OVS 的端口 1、端口 2 和端口 3 上, 并且 tap1 通过隧道与 WTP1 的 mon1 端口相连, tap2 通过隧道与 WTP2 的 mon2 端口相连. eth0 为 VAP Cloud 的有线网口, 通过交换机与两台 WTP 相连.

3.1.2 WTP 的部署方案

在图 6 中 eth1 与 eth2 为两台 WTP 的以太网端口, 使用交换机与 VAP Cloud 相连(需要注意的是, 在实际部署中, VAP Cloud 可以通过 Internet 与 WTP 相连). mon1 和 mon2 分别是 WTP1 和 WTP2 工作在 monitor 模式的无线网卡并且通过隧道与 VAP Cloud 的 tap1、tap2 分别相连. 工作在 monitor 模式下的无线网卡会接收它所工作的信道上的所有的空中数据帧, 并且会将从有线网络收到的数据帧发送到空中.

3.2 部署中使用的软件及修改方案

实际部署中的隧道软件使用的是 capsulator^[19], 一款由斯坦福大学编写的用于 OpenRoads 网络部署的开源隧道软件, 需要分别运行于 VAP Cloud 和 WTP 中. 实际部署中的 OpenFlow 控制器使用开源的 POX 控制器, 并且运行我们为实现自动无缝切换而开发的 Roaming-Controller 组件. 这个组件可以通过解析 packet-in 消息中包含的数据帧中的 Radiotap 字段自动实时的获取两台 WTP 各自收到的 STA 的信号强度, 从而判断 STA 是否需要切换至新的 WTP. 当需要切换时, 控制器首先向 OVS 下发相应的流表, 然后删除原先的流表以完成

切换. 整个切换过程的决策及实现均由 VAP Cloud 完成, 切换过程只需要更改流表规则因此切换速度快, 进而实现了用户无感知的无缝切换.

图 7 描述了控制器根据 STA 与 WTP 间信号的强度来进行切换的具体流程, 因为控制器依靠上行数据流的信号强度来决定是否切换, 因此图 7 并未标出下行数据流.

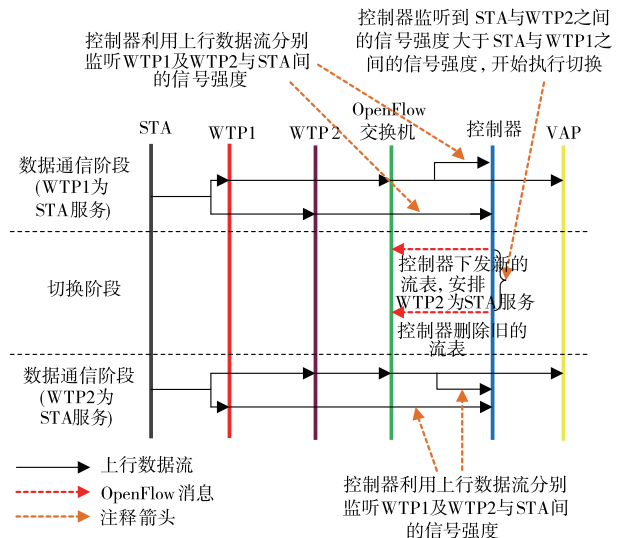


图7 控制器控制WTP切换的流程

因为 OpenFlow 协议是针对有线网络设计的, 所以在 OVS 中流表项与数据帧匹配规则不适用于 802.11 数据帧, 而由 VAP 经由 OVS 转发至 WTP 并最终通过无线信号发送至 STA 的数据帧以及 WTP 收到并经由 OVS 转发至 VAP 的数据帧都是 802.11 数据帧. 因此需要修改数据帧在 VAP 和 WTP 间的转发流程, 使得数据帧在经由 OVS 转发时被伪装成以太网数据帧, 被 OVS 转发后又能及时的还原成 802.11 数据帧送往 VAP 和 WTP (图 8). 在实际部署中, 需要修改 mac80211_hwsim.ko 的源代码使其虚拟出的 VAP 发出的数据帧包头再增加 14 字节, 构成一个以太网数据帧头, 这个以太网数据帧头部的源 MAC 地址为 VAP 的 MAC 地址, 目的 MAC 地址为 STA 的 MAC 地址. 同样 VAP 接收到的数据帧会预先去掉 14 字节的头部将数据帧还原成 802.11 数据帧再被注入内核处理. capsulator 的源代码也需要做相应的修改, 使其能够将 WTP 端获取的数据帧封装成以太网数据帧再交付至 OVS 端口, 同时从 OVS 端口收到的数据帧去掉以太网包头后在传送至 WTP 端.

4 系统实际性能测试

本章将对实际的部署的系统进行性能测试, 并验证及分析其切换性能, 进而以对比试验的方式分析本方案与常规方案间各项性能指标的优劣.

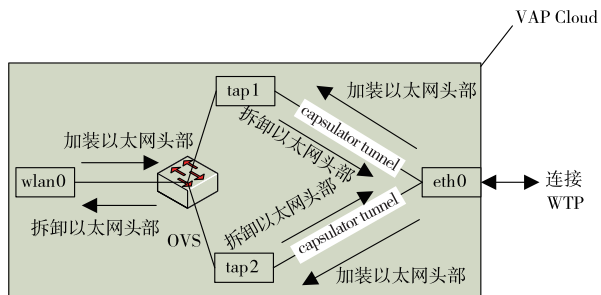


图8 数据帧首部在转发中的修改流程

4.1 无缝切换测试

本次测试的 STA 我们使用一台笔记本电脑 HASEE A560D1,cpu 为 Intel Core i7 720MQ @ 1.6GHz 四核、8GB 内存、无线网卡为 Realtek RTL8188EU USB 2.0,操作系统为 Ubuntu12.04,其余设备均同于 3.1 节,其中两台 WTP 的无线网卡工作信道设置为 11 信道,发射功率设置为 20dbm. 本测试场景如图 9 所示,两台 WTP 放置在地面上并且通过以太网交换机与 VAP Cloud 以有线方式相连(有线连接并不会对测试效果产生影响,因此并未在图中标出). STA 首先接入 WTP1 并且由实验者携带离地面高度大约 1.2m 以常规步行的速度沿图示虚线运动.

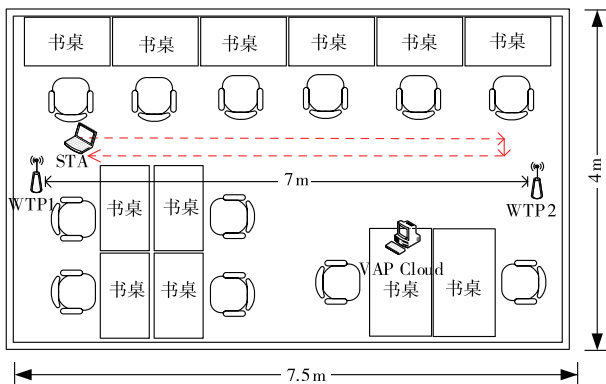
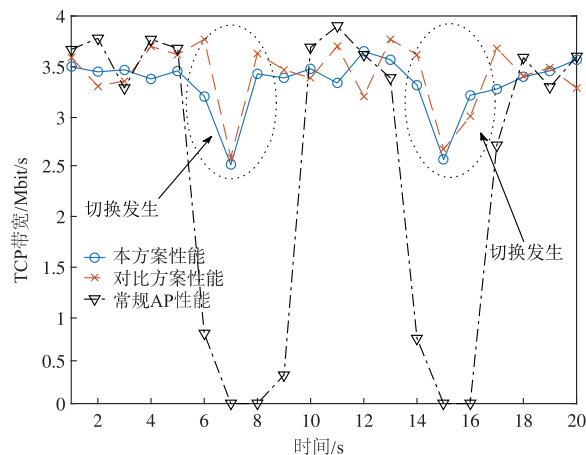


图9 实际测试场景

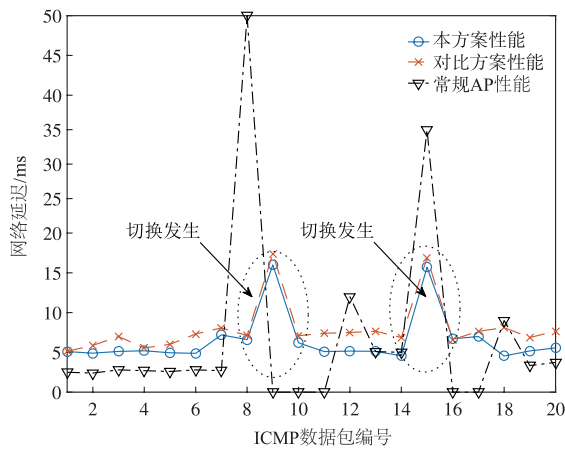
我们使用 iperf 来测试切换时 TCP 带宽的变化,通过 ping 命令来测试切换时网络延迟的变化,并且记录每个 ICMP 数据帧的延迟,测试结果见图 10. 从图 10 中可以看到,切换发生时网络延迟会由 5ms 左右加到 16ms 左右,同时 TCP 带宽会出现持续 1s 左右的短暂减少,并且会很快恢复正常. 这是因为在切换发生时,OVS 中需要生成新的流表,会对数据帧的交换产生一定影响,数据帧的交换会出现暂时性的延迟. 但是这并不会导致网络服务的中断,并且会很快恢复正常.

由于本方案中 STA 在 WTP 间的切换是通过控制器修改 OVS 中流表的形式进行的,因此只要控制器完成了流表的替换便可 STA 在 WTP 间的切换,图 11 给出

了连续 20 次切换的延迟,可以看到平均切换过程只需要 5ms 左右. 即使是对于时延敏感类业务 (VoIP、视频会议等),也不会影响到用户的使用体验.



(a) 切换TCP带宽测试



(b) 切换网络延迟测试

图10 切换性能测试

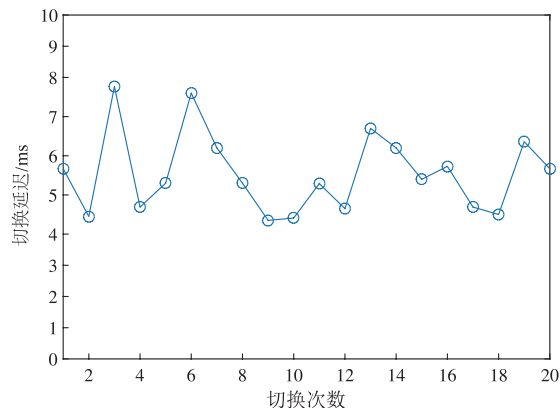


图11 切换延迟

4.2 对比测试

4.2.1 与其他基于 SDN 的部署方案的对比测试

本节中采用的对比方案也是一种基于 SDN 的部署方案,为本文的所提方案的分布式实现. 在对比测试中,

VAP、OpenFlow 交换机以及控制器不再集成于 VAP Cloud 中,而是分别运行在两台设备中,其中 VAP 由上文中的 VAP Cloud 设备承担,OpenFlow 交换机和控制器由一台 CPU 为 Intel Core i5 4200M @2.5GHz 双核,4GB 内存并且运行 Ubuntu12.04 操作系统的笔记本电脑承担.在图 10(a)中,可以看到本方案 and 对比方案的 TCP 带宽性能基本相同.但是,在图 10(b)中,对比方案由于多出一部物理设备,因此网络延迟在非切换时稍微次于本方案.因此实际部署中,对于时延敏感业务,集中式部署仍是首选方案.

文献[15]给出的基于 SDN 的切换方案的结论显示,当切换发生时,网络带宽会由大约 5Mbit/s 降低至 3.5Mbit/s 并且在大约 2s 后恢复,其切换性能差于本文所提方案,这是因为文献[15]所设计的方案需要 VWAD 在 AP 间的迁移,这个迁移的过程相较于本方案较为复杂,在本方案中完成切换只需要替换掉 OVS 中的流表.但是文献[15]给出的网络带宽略优于本方案,这是由于[15]并未实际部署其所设计的方案,而是由 OpenNet 网络仿真工具实现,因此网络性能并不会受到实际中存在的复杂的电磁环境影响.

4.2.2 与非 SDN 部署方案的对比测试

本节中的常规方案指的是将 AP 设置为家庭 WLAN 中常用的 Fat AP 模式,以此来测试并得到目前大规模部署的 WLAN 系统的切换性能指标,也就是标准的 IEEE802.11 体制下的切换性能指标.本节测试所使用的 STA 与无缝切换测试中的 STA 为同一台笔记本电脑,对照组中使用的 AP 与本方案使用的 WTP 为同一型号的设备,设定为 Fat AP 模式,两台 AP 的 SSID 设为相同,仍然工作在 11 信道,发射功率设为 5dbm 从而使两个 AP 的有效覆盖范围较小,进而能在有限的空间内模拟出用户脱离一个 AP 范围进入另一个 AP 的服务范围后进行切换实际场景,测试环境及方法和 4.1 节相同.

图 10 显示,在常规的 AP 部署方案下,当 STA 在 AP 间发生切换时,网络吞吐量会急剧恶化并且会出现暂时性的网络中断,这是因为 STA 需要重新扫描并且与新的 AP 关联认证.但是,由于数据帧不需要通过复杂的 OpenFlow 交换网络,因此在非切换时网络延迟性能略优于本方案.

文献[20]通过对标准的 IEEE802.11 WLAN 切换机制的详细研究指出,在 WLAN 下 STA 与新的 AP 进行扫描认证及关联的延迟基本在 150ms ~ 500ms 之间,然而测试中切换过程造成的网络中断却有 2s 左右,这是因为虽然 STA 已经与新的 AP 建立了关联,但是在 AP 切换完成后发往 STA 的数据帧的路由规则并未及时的更新,导致了网络服务的明显中断,文献[3~6]所提出

的方案也需要面对这个问题,而本方案中通过修改 OVS 流表的方式进行 STA 在 WTP 间进行切换不但能快速的完成 STA 的切换,同时也完成了切换后发往 STA 的数据帧的路由规则的修改.

文献[3]给出的仿真结论中,切换延迟可以被减少到 20ms 左右.文献[4]给出的仿真结论中,切换时网络延迟在 50ms 左右.文献[5]给出的实验结论中,切换过程大致需要 200ms,切换完成后还需要 1s 左右的时间才能恢复数据流.文献[6]给出的仿真结论中,切换延迟可以达到 15ms 左右.然而文献[3,6]给出的方案均着重解决用户快速切换至新的 AP 的问题,并未考虑到切换完成后用户原先所使用的服务的数据流的路由需要一并改变的问题.文献[4]通过存储,重新发送的方案避免了切换时网络丢包的问题,但是势必会带来切换时网络带宽的明显下降.文献[5]将移动 IP 系统中的切换延迟和数据流的中断时间进行了明显的减小,但是其网络服务中断仍然较为明显.对比上述方案,本方案的 5ms 左右的切换延迟,16ms 左右的切换时网络延迟,以及网络服务无中断的性能指标有着明显的优势.

通过实验对比,本方案相较于常规的 Fat AP 部署方案,在切换延迟及切换时网络性能损失方面有着较为明显的优势,同时参考文献[3~6]所获得的结论,本方案也在这两方面上优于文献[3~6]所提出的方案.

5 结束语

本文通过利用 OpenFlow 架构的交换设备的数据帧转发规则可以被快速灵活的进行修改配置这一特点并结合 AP 虚拟化架构设计并实现了一种支持移动终端在无线网络覆盖区域中无缝切换的系统架构.通过实际部署以及性能测试实验可以得出本架构能够自动的实时的完成切换,并且不会造成较为明显的网络服务中断,也不需要移动终端作任何的更改,直接支持现有的 WLAN 终端设备.与现有方案相比较,本方案具有切换延迟低,切换时网络性能下降小,切换控制完全由 OpenFlow 控制器完成,用户无感知等优点.且本方案实现核心功能的模块集成度高,可编程性强,未来仍有添加新的功能的空间.

参考文献

- [1] IEEE, IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. Washington: IEEE Computer Society Press 2012.
- [2] S Govindan, H Cheng, Z Yao, et al. Objectives for control

- and provisioning of wireless access points [CAPWAP] [OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4564.txt>, 2015-10.
- [3] 杨仁忠, 侯紫峰. 基于 AP 预先转发的 802.11 无线局域网切换机制研究 [J]. 计算机研究与发展, 2004, 41 (8): 1376 - 1381.
YANG Renzhong and HOU Zifeng. Research on the hand-off mechanism of 802.11 WLAN based on AP pre-forward [J]. Journal of Computer Research and Development, 2004, 41 (8): 1376 - 1381. (in Chinese)
- [4] Y S Yen, R S Chang, T Y Wu. A seamless handoff scheme for IEEE 802.11 wireless networks [A]. 2010 5th International ICST Conference on Communications and Networking in China [C]. Beijing, 2010. 1 - 5.
- [5] 范春晓, 张晓莹, 刘杰, 等. 移动 IP 在无线局域网下的一种快速切换方法 [J]. 通信学报, 2005, 26 (8): 84 - 87.
FAN Chunxiao, ZHANG Xiaoying, et al. Fast handoff method for mobile IP over wireless LAN [J]. Journal on Communications, 2005, 26 (8): 84 - 87. (in Chinese)
- [6] Sarddar D, Jana T, Patra T, et al. Fast handoff mechanism in WLANs based on neighbor graph information [A]. Parallel Distributed and Grid Computing (PDGC) [C]. Wagnaghat, Solan (HP), India: IEEE, 2010. 334 - 338.
- [7] 左青云, 陈鸣, 赵广松, 等. 基于 OpenFlow 的 SDN 技术研究 [J]. 软件学报, 2013, 24 (5): 1078 - 1097.
ZUO Qingyun, CHEN Ming, et al. Research on OpenFlow-based SDN technologies [J]. Journal of Software, 2013, 24 (5): 1078 - 1097. (in Chinese)
- [8] Mckeown N, Anderson T, Balakrishnan H, et al. OpenFlow: Enabling innovation in campus networks [J]. ACM Sigcomm Computer Communication Review, 2008, 38 (2): 69 - 74.
- [9] Yap K K, Sherwood R, Sherwood R, et al. OpenRoads: empowering research in mobile networks [J]. ACM Sigcomm Computer Communication Review, 2010, 40 (1): 125 - 126.
- [10] Lin H, Sun L, Fan Y, et al. Apply embedded openflow MPLS technology on wireless openflow-openroads [A]. Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet) [C]. YiChang, China: IEEE, 2012. 916 - 919.
- [11] Suresh L, Schulz-Zander J, et al. Towards programmable enterprise WLANs with odin [A]. Proceedings of the first Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks [C]. New York, NY, USA: ACM, 2012. 115 - 120.
- [12] Vestin J, Dely P, et al. CloudMAC: towards software defined WLANs [J]. ACM Sigmoblie Mobile Computing & Communications Review, 2013, 16 (4): 42 - 45.
- [13] Dely P, Vestin J, Kessler A, et al. CloudMAC-an openflow based architecture for 802.11 MAC layer processing in the cloud [A]. Globecom Workshops (GC Wkshps) [C]. Anaheim, USA: IEEE, 2012. 186 - 191.
- [14] Zhao D, Zhu M, et al. SDWLAN: A flexible architecture of enterprise WLAN for client-unaware fast AP handoff [A]. 2014 5th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCN-T) IEEE Computer Society [C]. Hefei, China: IEEE, 2014. 1 - 6.
- [15] Hu T, Xue K, Wei W, et al. LENV: A new light-weighted edge network virtualization framework in software-defined wireless networks [A]. International Conference on Wireless Communications & Signal Processing [C]. Nanjing, China: IEEE, 2015. 1 - 6.
- [16] 陈昕, 宋亚鹏, 刘志强. 一种新型的 LTE-A 网络切换认证协议 [J]. 电子学报, 2017, 45 (2): 485 - 491.
CHEN Xin, SONG Yanpeng, et al. A new handover authentication protocol for LTE-A network [J]. Acta Electronica Sinica, 2017, 45 (2): 485 - 491. (in Chinese)
- [17] Hamaguchi T, Komata T, et al. A framework of better deployment for wlan access point using virtualization technique [A]. 2010 IEEE 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops IEEE Computer Society [C]. Perth, Australia: IEEE, 2010. 968 - 973.
- [18] 张栋, 郭俊杰, 吴春明. 层次型多中心的 SDN 控制器部署 [J]. 电子学报, 2017, 45 (3): 680 - 686.
ZHANG Dong, Guo Jun-jie, WU Chun-ming. Controller placemant based on hierarchical multi-center SDN [J]. Acta Electronica Sinica, 2017, 45 (3): 680-686. (in Chinese)
- [19] Tunneling-Capsulator [OL]. <http://archive.openflow.org/wk/index.php/Tunneling-Capsulator>, 2015-10.
- [20] Mishra A, Shin M, et al. An empirical analysis of the IEEE 802.11 mac layer handoff process [J]. Sigcomm Comput commun. rev, 2003, 33 (2): 93 - 102.

作者简介



开彩红 女, 1982 年生. 于 2010 年从香港中文大学获得信息工程学博士学位. 现为合肥工业大学计算机与信息学院副教授. 主要研究方向为无线通信与网络通信, 网络体系结构和协议, 网络系统性能分析与评价.
E-mail: chikai@hfut.edu.cn



胡欣岳 男, 1990 年生. 现为合肥工业大学计算机与信息学院博士生. 主要研究方向为 SDN 以及物理层网络安全.
E-mail: huxinyue@mail.hfut.edu.cn