

高效低成本的 Wi-Fi 协议软件认证测试模拟平台的实现

胡成松

翱捷科技(上海)有限公司, 上海市, 201203

摘要: 本文涉及 80211 WIFI 协议以及协议相关测试, 尤其是 Wi-Fi 协议软件认证测试的模拟平台。随着越来越多的 WIFI 芯片公司加入开发, 以及市场对 WIFI 需求从 wifi4 到 wifi6 和 wifi7 的演进, WIFI 对功能和性能的要求越来越高。如何对 WIFI 产品进行快速全面高效的测试验证成为一个重要的议题。本文另辟蹊径, 脱离昂贵的硬件投资, 讨论一种高效低成本的 Wi-Fi 协议软件认证测试模拟平台的实现。

关键词: WIFI 标准, WIFI 芯片, 认证

引言: WIFI 日渐深入人们的日常生活, 无论是在自己家中或者公共场所, WIFI 已经成为用户普遍采用的一种接入网络的方法。随着 WIFI 技术的发展和普及, WIFI 的开发也日益成熟, 对芯片的测试方法也层出不穷。协议标准组织也推出了一套测试认证平台, 可以将 WIFI 设备置于其中, 利用测试用例对 WIFI 设备的 MAC/PHY 层行为按照协议标准进行功能和性能验证。

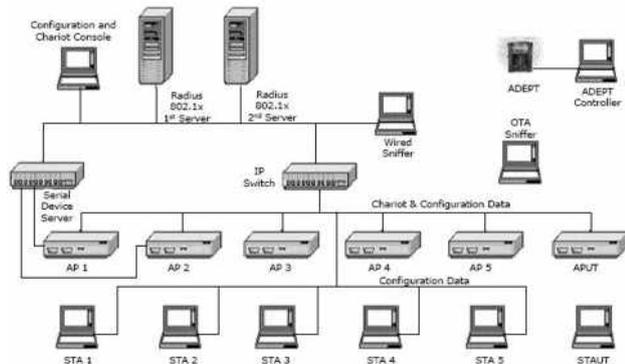


图 1 原测试系统

通常采用的测试方法是部署一套包括多台 PC 在内的 WIFI 测试系统, 通过系统内的专用控制 PC, 控制含有 Wi-Fi 芯片的被测终端与其他可控制的设备通过 WIFI 无线网络相连, 从而进行一系列协议功能测试。测试的过程需要多个 PC 同时对 Wi-Fi 终端以及其他设备进行控制, 同时, 需要无线网络相对稳定无大的干扰, 需要专业的屏蔽室环境。但是这样的测试方法对硬件要求较高, 需要在实验室内专门部署一套测试环境, 若开发人员想同时测试, 则需要部署多套测试环境, 会消耗大量硬件资源。尤其是当 WIFI

芯片制作出之前, WIFI 软件和固件研发人员完成代码编写会独立于芯片硬件完成, 无法对 WIFI 的驱动软件和 MAC/PHY 协议软件进行协议功能单独验证, 这也是 WIFI 芯片软件开发初期时会面临的一个调试的难题。后期当软硬件进行 bug 修订和功能修改开发变动的时候, 全系统进行回归验证也是非常的依赖于整体的认证测试平台资源和人力。

如果将 WIFI 测试系统移植到纯 PC 环境中, 模拟空口环境和操作系统, 对 WIFI 软件的协议行为进行测试, 相较于原测试方法, 协议软件和固件可以不依赖于硬件平台和操作系统进行开发, 也可以进行快速迭代验证, 同时节约软件测试成本。下面将介绍如何在 PC 上实现该模拟验证平台。

一、模拟验证平台系统架构

本系统可在操作系统为 Windows/ 主流 Linux 的 PC 平台上运行, 用不同的进程和线程模拟标准 WIFI 测试系统中的各个组件, 把原本分布式独立部署的系统整合到一台 PC 内, 对 80211 协议软件和固件进行测试。模拟验证平台系统的架构如图 2 所示, 每个实线框出来的模块为一个进程, 进行协议测试。

其中的测试脚本系统是 wifi 认证联盟协议标准组织提供的标准测试脚本及程序, 这样可以不需要另外开发测试脚本; 同时也可以输入不同的测试参数和测试命令, 扩展测试内容。测试脚本作为一个独立的进程运行。

中间的系统是本模拟验证平台的关键部分, 每一个子系统代表原测试系统的一个组件, 作为一个独立的进程运行, 典型的包括被测 WIFI 的驱动软件、MAC/PHY 协议软件。每一个进程用于模拟一个 WIFI 设备, 设备模式可以是 STA

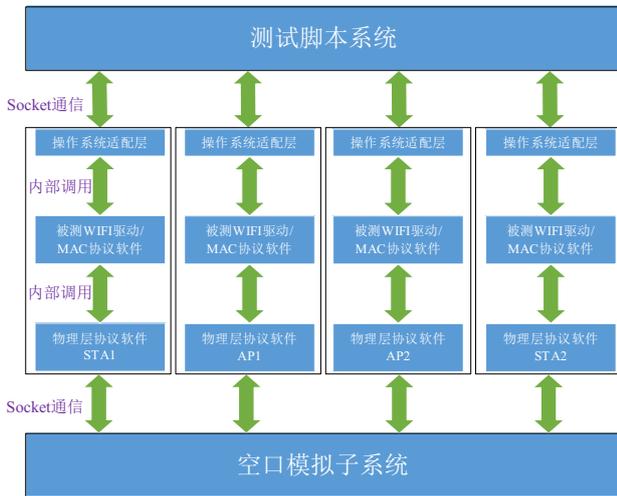


图2 模拟验证平台系统架构该模拟验证平台

或者 AP，WIFI 设备的模式和数量根据不同测试用例的场景由测试脚本配置。在本模拟验证平台中，WIFI 驱动和 MAC/PHY 协议软件之间的软件控制逻辑不改变，但是 WIFI 驱动和 MAC/PHY 协议软件之间的通信方式需要由原来嵌入式系统中的中断触发等方式修改为函数内部调用或者线程间通信方式以适应 PC 运行环境。被测模块间通信方式的修改不会影响对 WIFI 协议软件的功能验证结果。操作系统适配层接收脚本测试命令和参数，转换为协议驱动所识别的指令，WIFI 驱动及 MAC 协议软件做好处理之后，经过物理层协议软件（后期可以转化为 asic 硬件），最后通过模拟的空口接口（AIR API）发送给空口模拟子系统（AIR SIM），空口模拟子系统再发给对应的 STA 或 AP，完成不同 WIFI 设备

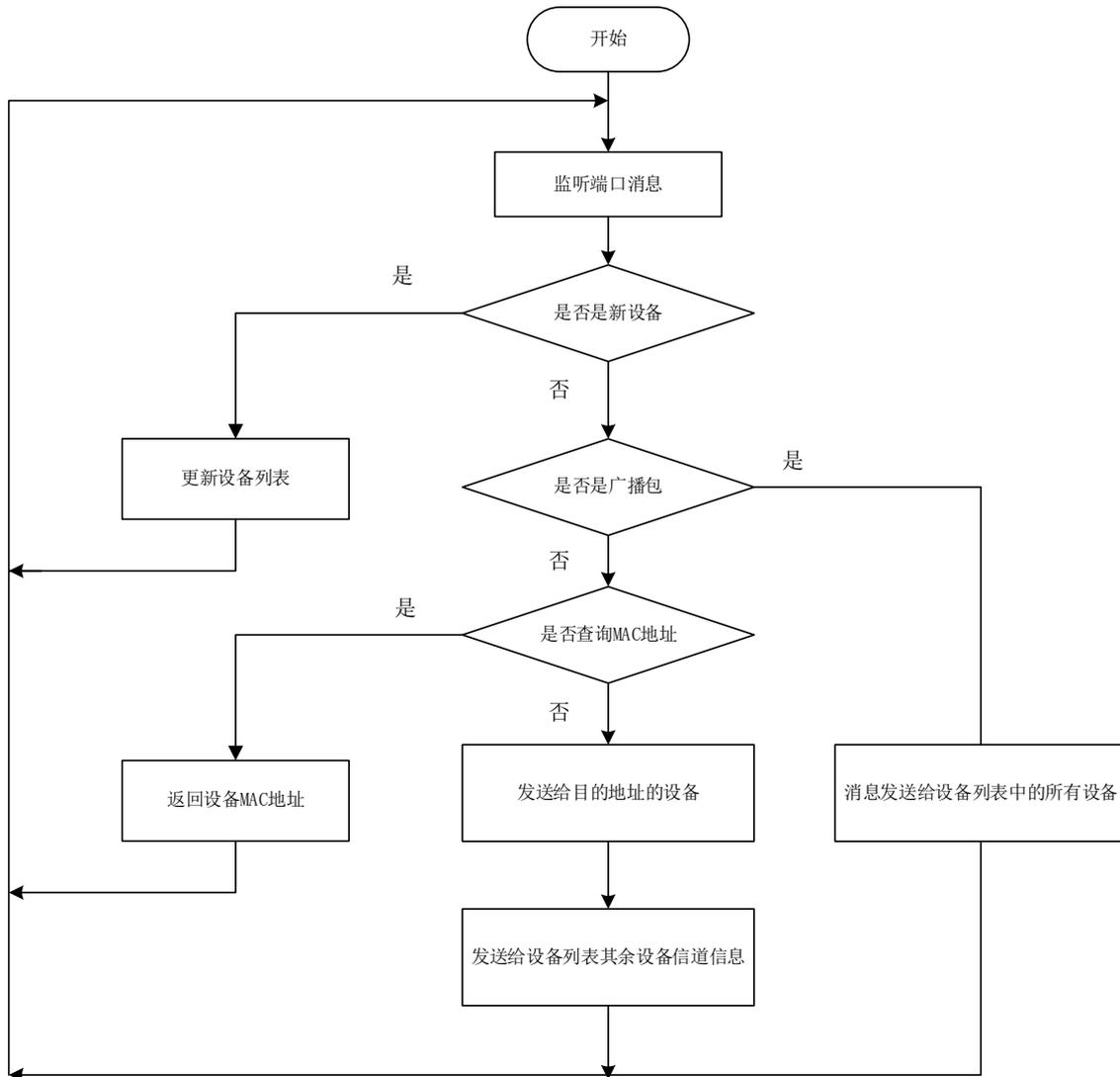


图3 空口模拟子系统处理流程图

间的交互。

二、空口模拟子系统 (AIR SIMULATOR)

AIR SIMulator 实现 WIFI 系统的无线信道环境的模拟。在验证初始,空口程序即开始运行,因为空口是始终存在的。如有 Station 或 AP 加入,空口模拟子系统将更新设备列表。每一个加入系统的设备,AP 将保留其 socket 地址,设备 ID 以及模拟 MAC 地址。此后空口子系统将向设备列表中的每个设备发送时钟同步消息。

在测试开始后如果某一设备发出消息时,空口设备收到消息后,将负责向设备列表中其他设备发送该消息,同时将信道 NAV 信息告知其余设备,其余设备收到 NAV 消息之后,更新自己的信道信息,以控制信道发送,模拟分布式协调功能 DCF (Distributed Coordination Function)。

在多个设备接入之后,设备之间如果进行 IP 通信,可通过空口子系统查询得到设备的 MAC 地址,以实现 ARP 功能,以完成填写目标 MAC 层头部的功能。

三、操作系统适配层

WIFI 芯片运行在嵌入式操作系统上时,利用操作系统中的 iw、wpa-suplicant 以及 Hostapd 用户软件实现对 WIFI 芯片的控制。但是这些软件与 WIFI 驱动的交互需要以真实 WIFI 硬件存在为前提,因此对于本模拟验证平台而言,放弃使用这些原生的用户软件,而是用操作系统适配层软件来替代。新增的操作系统适配层,其子模块划分参见图 4。适配层进程在接收标准 TLV 格式的代码测试原语后,利用适配 WIFI DUT (Device Under Test) 代码把测试命令转换为对应 iw、wpa-suplicant、Hostapd 这些用户软件的调用指令,由于本模拟验证系统中并不使用这些用户面软件,因此需要实现对上述三个用户面软件的部分功能模拟,最终去调用被测 WIFI 驱动提供的 cfg80211_ops/ieee80211_ops 等回调函数,以控制 WIFI 驱动的行为。适配层将处理标准 TLV 原语,以接收测试脚本发出的测试指令,同时将模拟 wpa-suplicant 功能,与 MAC 协议固件交互,实现模拟控制 WIFI 芯片的效果,而在 MAC 层处理之后,适配层可以得到相应处理结果,

再以 TLV 原语返回给脚本。

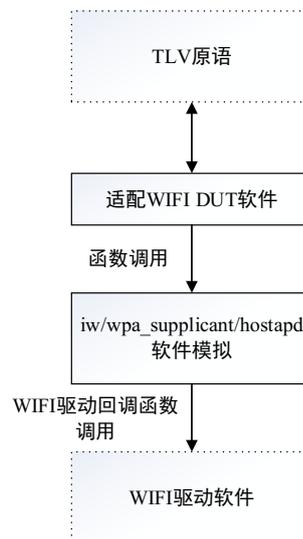


图 4 操作系统适配层子模块架构

四、物理层协议软件

物理层软件将实现 MAC 协议数据帧,管理帧,控制帧的收发。在物理层硬件化之前软件代码,可以对与 MAC 固件结合,可以完成整个系统的验证。

与实际 WIFI 无线网络中的不同的是,本模拟验证平台将使用 socket 模拟空口收发,利用与空口模拟子系统的交互(包括同步系统时间,以及 NAV 信息更新,竞争信息),模拟分布式协调 DCF 以及点协调 PCF 的发送接收,以实现 MAC 层接入功能。本发明扩展了数据帧格式。与空口子系统交互的结构包括下列结构, DURATION 及信道信息为物理层协议软件填写,用以更新系统信道信息。

五、空口 log 机制

由于全部在 PC 环境中运行,日志系统可以实时抓取 AIR SIMulator 和各个进程 socket 交互的数据结构包,也就是对应空口的 802.11 MAC 帧,以及出现的问题点,方便了软件协议测试。

总结:利用简单的 windows/Linux 程序以及 80211 协议特点,设计了一套新型的验证平台,以对 MAC/PHY 软件协议进行标准化验证。



图 5. 交互消息结构

1. 系统脱离了硬件平台,可以在无芯片平台环境下使 WIFI 软件与标准测试套件结合,使得软件测试更为简易,利用发现软件协议的问题,也方便新增功能的测试。系统可以运行在一台 PC,也可以运行在不同的 PC 上,方便不同开发者的调试。

2. 系统平台脱离了操作系统,使得协议不用依赖于各种操作系统的实现,而新增的适配层也易于将软件协议移植于各种操作系统。

3. 系统新增的空口子系统,模拟了无线网络环境,利于调试空口资源,以及 80211 的空口调度功能,也利于测试中信道环境的监测。

4. 空口模拟子系统可以方便的升级 Wi-Fi 的各种规格 b/g/n/ac/ax,以及高效低成本的支持高级功能的开发和认证。

参考文献

[1] 洪清贺,王灵,黄日华,等. 基于无线数据包的分析与仿真 [J]. 计算机光盘软件与应用,2014(3):273-274.

[2] 赵章明,冯径. 基于 IEEE 802.11 无线局域网切换技术研究 [J]. 计算机技术与发展,2018,28(10):1-7. DOI:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.10.001.

[3] 蔡东蛟,赖锦山,蔡春水. 移动终端 WiFi 模拟测试系统设计及实现 [J]. 计算机时代,2018(8):33-35. DOI:10.16644/j.cnki.cn33-1094/tp.2018.08.010.

[4] 胡程. WiFi 终端漫游原理及实现 [J]. 信息通信,2017(6):236-238. DOI:10.3969/j.issn.1673-1131.2017.06.116.

[5] 韩萍,王浩,方澄,等. 基于 WiFi 数据的实时高效定位分析系统设计 [J]. 现代电子技术,2020,43(4):43-47,50. DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2020.04.011.