

Wi-Fi漫游优化设计与实现

◆ 答辩人：沙长帅

指导老师：刘应状 ◆

目录

1. 研究背景和意义
2. 研究现状
3. 研究内容
4. 技术路线与可行性分析
5. 进度安排



PART 01

研究背景和意义

◆ 研究背景和意义

Wi-Fi作为近十年来用户最为青睐的互联网接入方式，有着易使用、高速率、低延迟、低成本等显著的优点，因此被大面积的布用。

在房屋面积较大或房屋结构复杂墙体较多的室内场景下，单个AP所能覆盖的范围不能满足人们正常上网的需求。需要引入多个AP进行组网以实现房屋的全面覆盖。

利用Wi-Fi双链路减少Wi-Fi 漫游过程中的丢包问题，总体上改善双链路的服务质量。因此，对多链路传输的优化不仅能够保证用户良好的网络体验，也对Wi-Fi协议在室内环境中的应用发展具有一定的推动意义



PART 02

研究现状

◆ 无线漫游研究现状

802.11K协议:

802.11K协议即无线局域网频谱资源测量协议(Radio Resource Measurement of Wireless LANs,简称为 RRM)。

802.11K协议提供了AP与终端互相申请测量对方无线状态的接口。802.11K协议可以提前告知无线终端有哪些待选AP, AP会向STA提供一份可以漫游的AP的列表及相关信息, 让无线终端了解附近的AP的情况。

◆ 无线漫游研究现状

802.11V协议:

802.11V协议即无线网络管理协议(Wireless Network Management, WNM), 802.11V允许无线设备与AP交换有关网络拓扑的信息, 包括有关信号环境的信息。

802.11V会评估无线终端的连接质量, 并引导无线终端漫游到能提供更好的上网体验的最佳AP, 从而进一步平衡AP之间的负载。

◆ 无线漫游研究现状

802.11R协议:

IEEE 802.11r 协议下的漫游被称为 FT (Fast BSS Transition) 漫游。其核心思想是改善 Wi-Fi 连接方式, 由传统的扫描、关联、接入认证 (802.1X) 及密钥协商 (四次握手) 改善为 FT 链路认证加关联过程, 大大降低了漫游切换时延, 提高了用户体验感。

◆ 漫游现存问题

基于 802.11k/v 协议的漫游切换流程一般耗时几百毫秒到几秒，也就意味着在手机在漫游过程中会有一个短暂的“真空期”与网络失去连接，此时手机上运行的 VoIP 这类对实时性要求高的业务就会出现明显卡顿。

漫游过程中，STA 切换到目的AP所在信道进行扫描以及STA在与原AP断连后与目的AP建立连接前的过程中，从原AP到STA的下行数据包以及从STA到原AP的上行数据包均会丢失。



PART 03

研究内容

◆ 研究内容

研究的内容是在802.11kvr协议集的基础上，根据上文对Wi-Fi漫游和多链路融合的研究，针对目前漫游过程存在的丢包和时延问题，设计一套可行有效的解决方案，并在Linux驱动层进行软件开发。

在漫游决策模块发出漫游请求时，将下行的数据包通过 5G 频段和 2.4G 频段双频冗余地从原 AP 发到 STA 上，STA 进入漫游等待模式并实时检测主链路的连接状态，一旦发现STA侧主链路协议栈断开便开始缓存下行报文，暂停报文提交过程。待主链路成功漫游到目标 AP 时，将暂存的下行数据包提交到协议栈，以减少漫游切换过程中数据丢包。



PART 04

技术路线与可行性分析

◆ 技术路线

基于双频发送的零丢包漫游机制，技术路线主要有以下四个方面：

- 1、漫游状态机设计：**双频冗余发送会产生较大功耗，所以并不盲目进行双发，而是通过对漫游状态机的维护，适时启动双频冗余发送功能。
- 2、通告帧维护状态机：**获取漫游状态，创建私有通告帧，在AP和STA之间进行漫游通告帧的交互，维护双方状态机保持一致，保证AP和STA始终工作在同一工作状态。
- 3、双频冗余发送：**在漫游期间，将上下行的报文通过2.4G和5G两个频段发送，当一个频段处于漫游状态时，另一个频段便可以承载数据的传输，保证业务的正常工作。
- 4、接收端整序缓存机制：**针对私有封装的报文，在接收端建立滑动窗口，根据私有序号进行整序去重。如果接收端协议栈断开，就暂停报文提交过程，待主链路成功漫游到目标 AP 时,再将暂存的下行数据包提交到协议栈。

◆ 漫游状态机

设计了五个漫游状态，覆盖了漫游开始、漫游成功、漫游失败的情况，便于适时启用双频冗余发送发送和接收的功能，并对漫游失败的异常情况做出了处理。

状态1)~5)\变量	漫游状态(roam_status)	频段标识(roam_fn)
1) 非漫游状态	ROAM_DONE	ROAM_SILENCE
2) 5g正在漫游	ROAM_ONGOING	ROAM_ONGOING_5G
3) 5g漫游成功，等待2g漫游	ROAM_DONE	ROAM_ONGOING_5G
4) 2g正在漫游	ROAM_ONGOING	ROAM_ONGOIGN_2G4
5) 2g漫游失败	ROAM_ONGOING	ROAM_SILENCE

◆ 漫游状态机

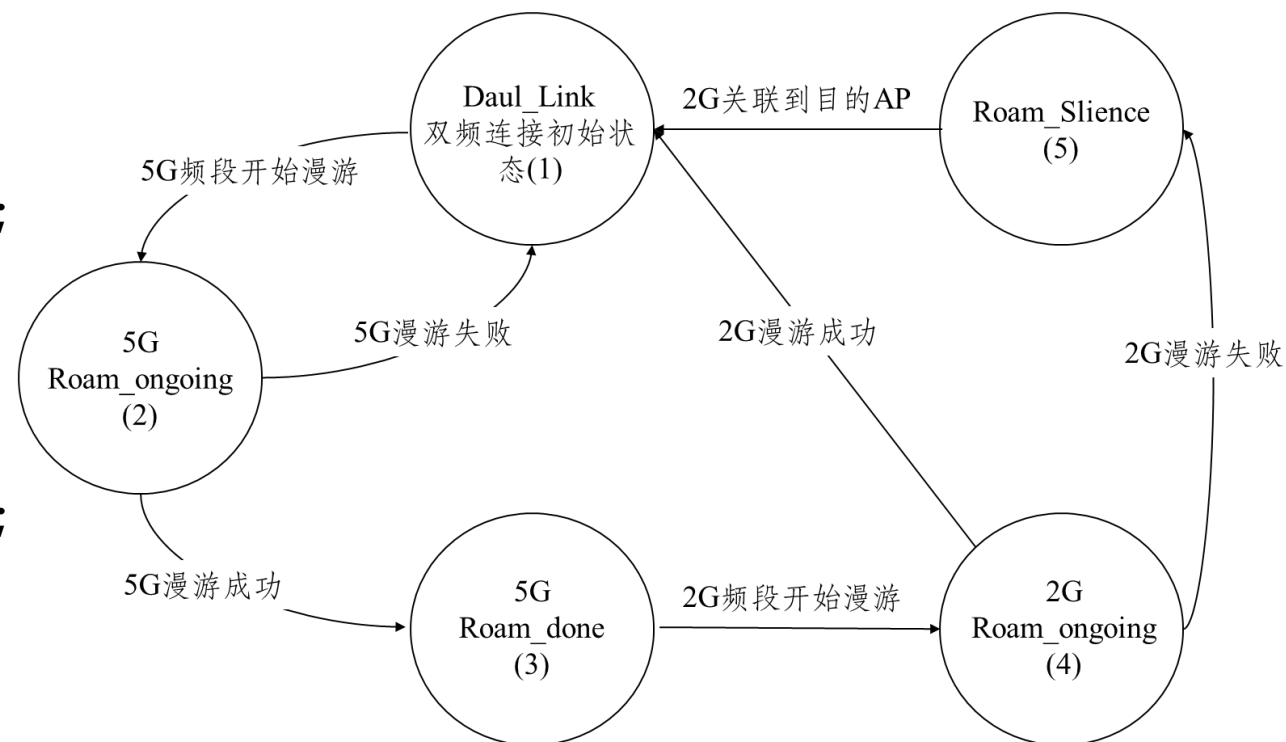
当STA双频连接上AP时，进入初始状态1；

当5G信号强度达到漫游门限，5G漫游被触发时进入状态2；

5G漫游失败状态机回归状态1，漫游成功进入状态3，准备2G频段的漫游；

当2G信号强度达到漫游门限，2G漫游被触发时进入状态4；

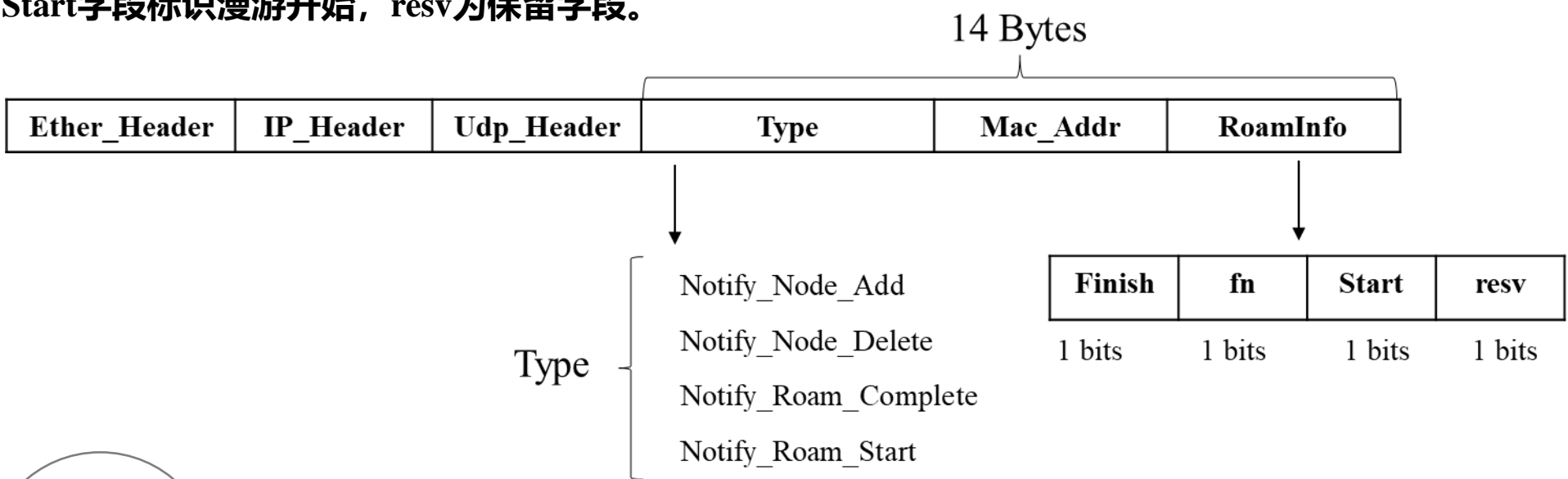
2G漫游成功回到初始状态，漫游失败状态机进入状态5准备将2G频段强制关联到目的路由后再回到初始状态。



◆ 漫游状态通告帧

漫游通告帧采用UDP报文，UDP报文通过单播发送有802.11MAC重传的保障，相较于action帧能够更大程度的防止通告报文的丢失。

通告帧的数据内容包括1个字节的帧类型标识(Type)、通告帧发送方的两个频段的mac地址(Mac_Addr，用于接收方建立和识别设备节点)、1个字节的漫游状态信息(RoamInfo)。RoamInfo中Finish字段标识漫游完成，fn标识频段，Start字段标识漫游开始，resv为保留字段。



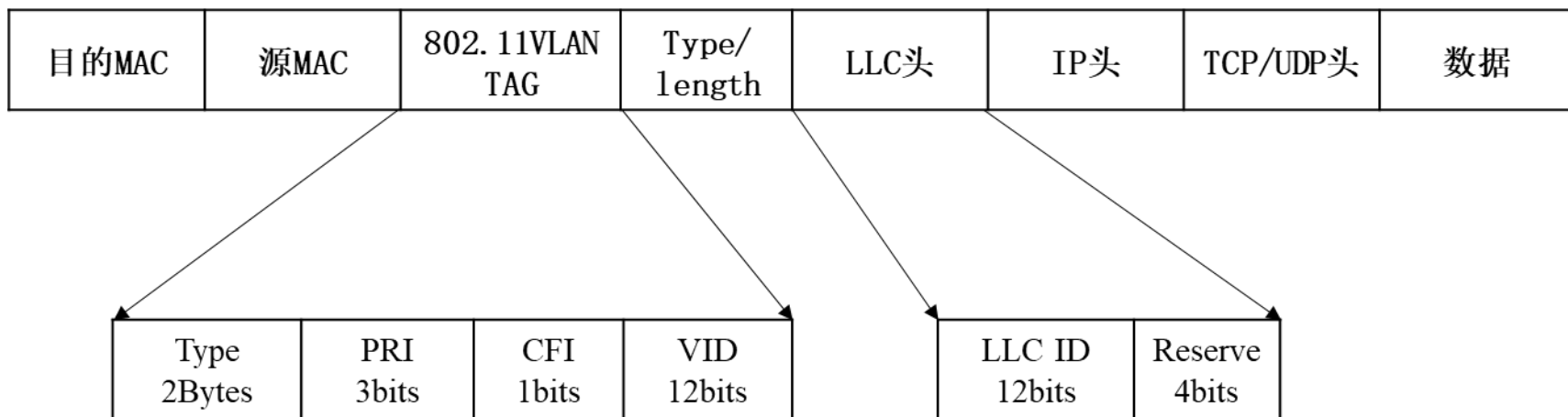
◆ 编号标识

根据sta维护的AP节点信息对上行报文进行过滤，针对漫游期间冗余发送的报文，根据不同五元组，利用IP头部的ttl字段和标识符字段分别对报文进行标识和整序。

版本号 (4位)	头部长度的 (4位)	服务类型TOS (8位)	总长度 (16位)	
标识 (16位)			标志 (3 位)	位偏移 (13位)
生存时间TTL(8位)		协议 (8位)	头部校验和 (16位)	
源IP地址 (32位)				
目的IP地址 (32位)				

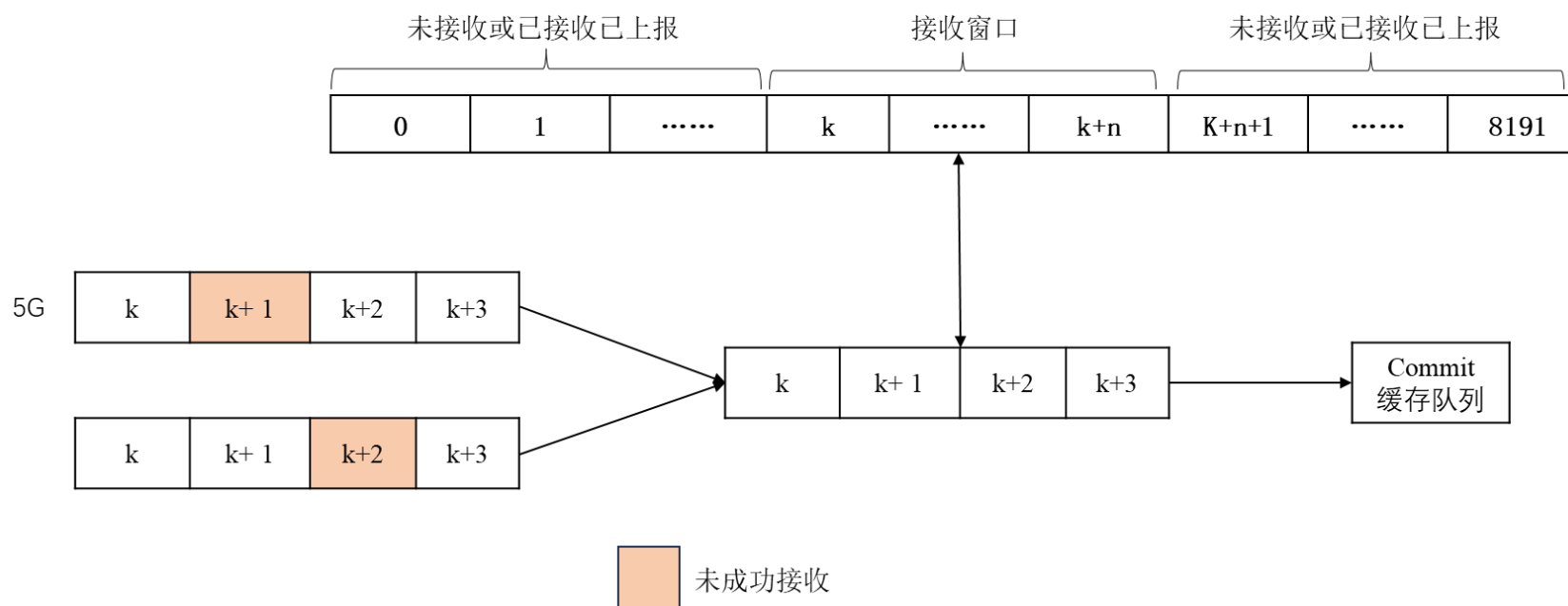
◆ 编号标识

在VLAN TAG后面携带自定义封装LLC头，通过LLC头中的LLC序号信息实现对数据报文的统一编号。



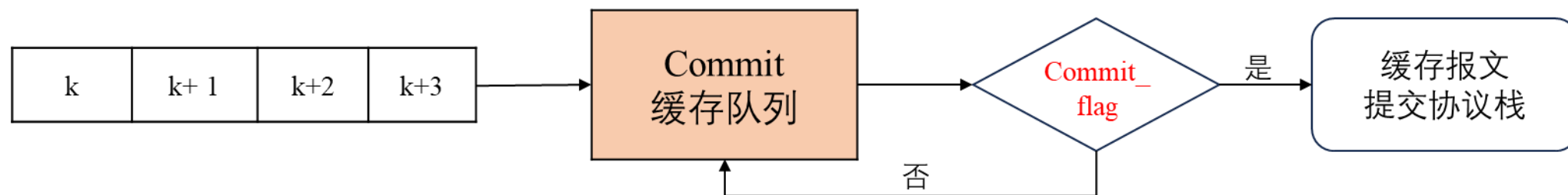
◆ 报文整序缓存提交

报文是通过5G和2.4G两个频段进行冗余发送的因此在接收端UMAC层设计了接收整序数组，对底层硬件队列提交上来的数据报文，基于私有信息进行解析实现对数据报文的整序、去重操作。



◆ 报文整序缓存提交

STA进入漫游等待模式并实时检测主链路的连接状态，设置Commit_flag标志位，标识主链路协议栈是否断开，一旦发现主链路协议栈断开便将数据报文缓存到Commit队列中，停止报文提交过程。待主链路成功漫游到目标AP时，将缓存的下行数据包提交到协议栈，以减少漫游切换过程中数据丢包。



◆ 可行性分析

在实际业务环境中，5G信号衰减较快，相较于2.4G会更早到达触发漫游的信号强度门限值，因此可以在5G漫游的过程中将数据复制到2.4G频段发送，以维持数据链路的畅通，2.4G漫游时同理。

本方案在wifi多链路融合传输的基础上，针对漫游场景的丢包和时延问题提出的双频冗余发送方法已经经过调研并调试完毕。针对漫游状态的维护，AP和STA之间的状态同步，也有了具体的通告报文结构设计。



PART 05

进度安排

◆ 进度安排

1. 2023年5月 — 2023年10月

了解相关技术的现有研究概况，阅读文献，完成开题报告。

2. 2023年11月 — 2024年5月

学习 Linux 侧的系统网络架构和开发接口；

细化方案设计实现步骤，按照方案逐步在平台上进行设计开发。

3. 2024年6月 — 2024年11月

优化现有的算法，测量并整理运行结果，对比统计实际质量优化情况。

4. 2024年12月 — 2025年4月

撰写论文。

谢谢

请各位老师批评指正！