

基于 mini C-RAN 的 IEEE1588 时间同步方案

黄鹤飞 陈印锋 冯建武

(1. 武汉邮电科学研究院 武汉 430074; 2. 北京北方烽火科技有限公司 北京 100085)

摘要: 基于通用处理平台的室内覆盖基站系统(mini C-RAN)是一种基于通用处理器研发的小型化、低功耗、高容量蜂窝覆盖的 TD-LTE 基站系统。由于 TD-LTE 系统对时间同步要求非常高,所以提出一种基于 mini C-RAN 的 1588 时间同步方案。在基带池内部采用主从同步模型使其内部达到时间同步并向下级传输 1588 时间同步报文,在交换池内部采用透明时钟模型得到 1588 报文在交换池内部的传输时延。通过用 1588 时间分析仪测试其时间延迟在正负 200 ns 内,达到了 TD-LTE 基站系统要求。

关键词: 室内覆盖; mini C-RAN; 通用处理器; 时间同步

中图分类号: TN929.532 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Design of IEEE1588 time synchronization in mini C-RAN

Huang Hefei Cheng Yinfeng Feng Jianwu

(1. Wuhan Research Institute of Posts and Telecommunications, Wuhan 430074, China;
2. Beijing Northern FiberHome Technologies Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: The base station for indoor coverage on common processing platform (mini C-RAN) is a LTE base station of miniaturization, low-power, high capacity based on general processor. Because of the time synchronization that TD-LTE system need, so this paper presents a IEEE1588 time synchronization programme in mini C-RAN. In Base band Unit pool the master-slave synchronization model is used to achieve time synchronization and transmit 1588 time synchronization packets to the subordinate, the transmission time delay of 1588 packets in switch can be calculated with transparent clock model. By using the 1588 time analyzer test the time delay, the time delay can be in positive and negative 200 ns, and it reaches the TD-LTE base station system requirements.

Keywords: indoor coverage; mini C-RAN; general processor; time synchronization

1 引言

在移动网络发展快速的今天,为了满足不断增长的无线宽带业务需求,移动运营商不断增加空中接口带宽和增加基站数量,随之而来的无线接入网络的能源消耗问题也变得日益严重。为了解决传统无线接入网络的缺点,移动运营商提出一种基于集中式基带处理池(base band unit, BBU)、由远端无线射频单元(radio remote unit, RRU)和天线组成的协作式无线网络和基于开放平台的实时云型基础设施的无线接入网(C-RAN)。Mini C-RAN 正是一种基于通用处理平台的室内覆盖的 C-RAN 架构的 LTE 基站产品,其高容量的处理性能能极大的减轻运营商的负担^[1-3]。

TD-LTE 作为一个时分系统,对时间同步的要求非常高,它要求所有基站之间都必须严格时间同步^[4]。而在 mini C-RAN 基站系统中,系统信号传输都是在以太网上传

输,并且是基于通用平台的,所以在 mini C-RAN 系统中采用适用于以太网的 1588 时间同步协议来进行整个系统的时间同步,本文提出一种适用于 mini C-RAN 基站架构的 1588 时间同步方案以解决整个系统的时间同步问题,以达到从基带到射频的时间同步。并通过 1588 时间分析仪测试系统输出的 1PPS 偏差来验证系统的时间同步性能。

2 mini C-RAN 基本架构

基于通用处理平台的室内覆盖基站系统(mini C-RAN)是一种基于通用处理器研发的小型化、低功耗、高容量蜂窝覆盖技术,通过固网宽带接入移动核心网,利用通用处理器平台优势,其具有开放性、通用性、软硬件分离等特性,其通用性可有效降低运维难度和研发门槛^[5-6]。同时,mini-CRAN 可利用处理器成池能力,有效应对潮汐效应的挑战,并大幅降低整机平均功耗。系统主要用于高容量需

求的室内覆盖场景,可提供不同于以往室分系统的高容量覆盖能力,用以应对未来室内容量爆发需求。

mini C-RAN 全系统由通用处理基带池(BBU)、通用交换机(RAU)、专用小型化射频单元(RRU)组成,如图 1 所示。

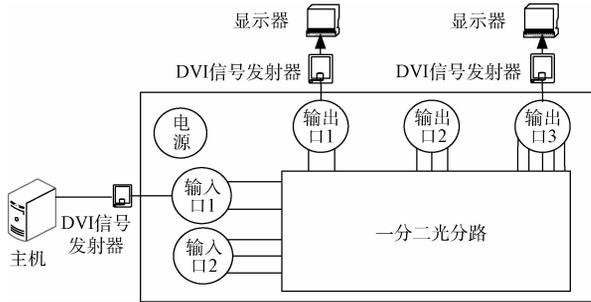


图 1 Mini C-RAN 系统架构

其中基带池与中间连线设备之间通过光纤连接,中间连线设备与射频单元之间通过 5/6 类线连接。基带处理池部分有若干块 CPU 处理板,其中一块为主控制板(main control hub, MCH)负责无线资源控制层(radio resource control, RRC)、操作维护管理(operation administration and maintenance, OAM)和分组数据汇聚协议(packet data convergence protocol, PDCP),其余基带板负责物理层、介质访问控制(media access control, MAC)和逻辑链路控制层(logical link control, RLC),LTE 所有基带处理功能均在 CPU 板卡上完成,基带池部分还有若干块接口处理板,其中一块通过固定宽带链接移动核心网,其余连接中间连线设备交换机。整个系统由基带池完成 LTE 系统基带处理过程然后通过多个通用交换网络连接到专用小型化射频单元。

3 IEEE1588v2 时间同步协议

无线基站之间在进行软切换时,如果基站管理器和基站没有时间同步,可能导致在选择器中发生邮件指令不匹配,这样可能会使通话连接不能建立起来^[7-9]。而时间和频率的偏差还会影响移动台在基站间切换的成功率。另外,时间同步能够有效提高无线空间频谱利用率,即使是传统全球移动通信系统(global system for mobile communication, GSM)系统,在增加时间同步后,频谱利用率可以大幅提高。因此,时间同步将成为现在无线系统发展的趋势^[10-12]。

传统的时间同步链路是采用网络时间协议(network time protocol, NTP)传送方式实现,该协议最大的缺点只能满足 ms 级别的时间传递精度,这对于无线时间同步基站所需的 μs 级时间精度是远远不够的。而在基站侧,目前是采用全球定位系统(global positioning system, GPS)时间同步来解决解决频率和时间同步问题^[13]。但是 GPS 在现有系统中依然存在很多问题。其安装选址难,尤其是对于

室内覆盖的基站;维护成本高,一旦发生故障需要上站维修;安全隐患高,GPS 时间同步依赖美国的 GPS 系统,紧急情况下整网可能会因为同步问题而瘫痪;其成本也非常高,每个基站都必须安装一套完整的 GPS 系统,而且 GPS 系统对于室外环境敏感度较高,在特殊情况下会发生 GPS 失步情况,所以对无线时间同步基站高精度时间的需求以及现有 GPS 解决方案的种种弊端,运营商迫切希望能够有一种高精度的地面传送时间同步方案^[14]。

IEEE 1588v2 是网络测量和控制系统的精密时钟同步协议标准,定义了以太网络的精密时钟同步协议(precision time synchronization protocol, PTP),精度可以达到亚微秒级,实现频率同步和时间同步。相对于传统的网络时间协议(network time protocol)同步传输模式其精度更高,其同步精度可以到达纳秒级别,且相对于 GPS 同步系统其成本低、维护方便,其符合网络转型趋势,能承载未来的融合网络,所以 IEEE1588v2 时间同步方案成为 mini C-RAN 系统的首要选择。IEEE 1588V2 协议的关键技术点可以分为四个:主从同步原理、透明时钟 TC 模型、时戳处理、最佳主时钟(best master clock, BMC)算法。同步原理:Master 和 Slave 端采用 Sync、Follow_Up、Delay_Req、Delay_Resp 协议报文通告精确的时间戳,通过 BMC 算法选出最佳时钟源,完成频率和时间同步^[15]。同步模型如图 2 所示。

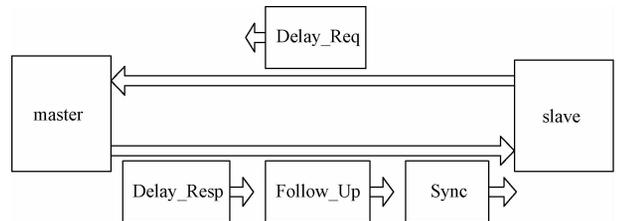


图 2 IEEE1588 时间同步模型

4 时间同步方案

Mini C-RAN 系统中基带池(BBU)部分由处理板卡(CPU 板)、主控制板(MCH 板)、接口板(IO 板)以及机箱组成,然后通过交换机链接到射频单元。其 CPU 板和 IO 板都是采用市场上通用的板卡,这样减少了硬件开发的成本。所以本方案针对通用的板卡以及时钟同步芯片来进行 IEEE1588 时间同步的设计。时间同步芯片采用升特(Semtech)公司专门应对基站时间同步而开发的 ACS9522T 时间同步芯片,通过单芯片集成支持任何电信同步标准,该器件支持 IEEE1588 主时钟、从时钟与边界时钟等一系列功能。该器件提供一个纯硬件的时间同步解决方案,避免了软件开发难度,并为需要 GPS 定时功能的通信系统提供 IEEE1588 替代性解决方案。对于 TD-LTE 基站时间同步来说避免了由于 GPS 定时所带来的选址、维护以及馈线铺设困难等一系列问题。

4.1 基带池内部的时间同步

整个基带池内部采用 1588 主从时间同步模型,在主从时间同步模型中,定义了两种端口状态,Master 和 Slave, Master 端口意味着该端口作为上游端口向下游端口发送时钟信息,Slave 端口意味着该端口作为下游端口接受来自上游端口发送来的时钟信息,ACS9522T 芯片不仅能作为 Master 端发送 1588 时间同步报文而且能作为 Slave 端接收 1588 时间同步报文。在本方案中 MCH 板上的 1588 时钟芯片作为 Slave 端接收来自分组传送网(packet transport network,PTN)网络的 1588 时间同步报文然后从报文中解析出 1 pps+TOD 同步信号,然后由这块芯片通过背板输出 1 pps+TOD 同步信号到 CPU 板以及 IO 板的时钟芯片上。然后 IO 板上的 1588 时钟芯片以这个 1 pps+TOD 同步信号作为标准产生 1588 时间同步报文,然后此时钟芯片作为 master 端向交换机传递 1588 时间同步报文。这样就使 1 pps+TOD 同步信号能从 MCH 板传输到所有的 CPU 板上,这样就使整个 BBU 内部所有板卡达到时间同步,并且能向下一级传输精准的 1588 时间同步报文,整体方案如图 3 所示。

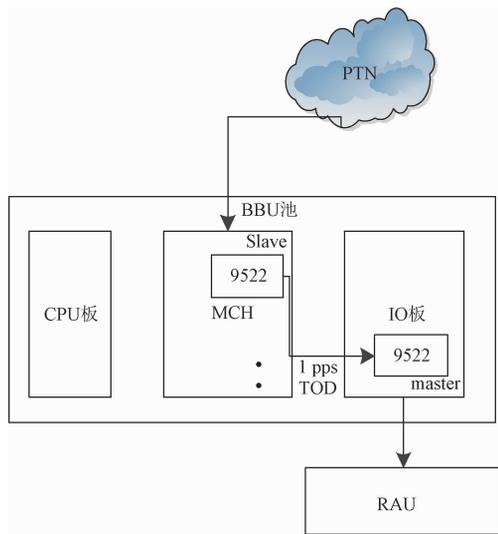


图 3 基带池同步方案

4.2 交换机的时间同步

数据在交换机内部处理时会产生时延,所以在交换机内部采用了一种 TC 透明时钟模型,TC 透明时钟模型是 1588V2 相对于 V1 新增加的一种时钟模型,TC 透明时钟用于解决报文在中间站点驻留引起的时延问题,消除网络设备内部的延时不确定性,其消除时延的方法是首先对基于本地时钟对每个端口通过的 Sync 和 Follow_Up 消息打时钟戳,然后修正 Sync 和 Follow_Up 消息的驻留时间并转发,更新数据集,驻留时间是指一个报文消息通过 TC 设备的时间,驻留时间的测量基于该报文消息进入和离开 TC 设备时所生成的时间戳的差,驻留时间的修正值会写到相

关 1588 报文信息的修正域中^[16]。

在交换机内部 1588 时间同步报文在进入交换机的时候会经过一个支持 1588 引擎的 phy(物理层)芯片会打上时间戳 T1,当 1588 报文信息穿过节点内的协议栈时,消息时间戳点通过协议栈定义的特定参考点时产生时间戳,参考点越靠近实际的物理连接点,引起的定时误差就越小,所以在物理层上打时间戳是误差最小的,1588V2 时戳实际上记录的是 1588 报文到达设备物理端口的,经过时戳点时的时间。而在出交换机的时候也会经过一个支持 1588 引擎的 phy 芯片然后记录时间戳 T2,两个时间戳之差 T2-T1 就是驻留时间的修正值即报文在交换机内部的时延值,然后把这个时间差写到 1588 报文的修正域 (correction field) 中。当 RRU 作为 Slave 端口收到这个报文时就会将这个修正域的值作为参考去修正时间,去掉 1588 报文经过交换机的时间,从而得带准确的路径时延,得出去掉时间延时的 1PPS+TOD 同步信号从而达到系统的时间同步。该方案不需要 1588 芯片,仅需要交换机的物理层芯片支持 1588 时间同步功能,基于此可以采用已经成熟的商用产品,减少了硬件开发的成本。具体同步方案如图 4 所示。

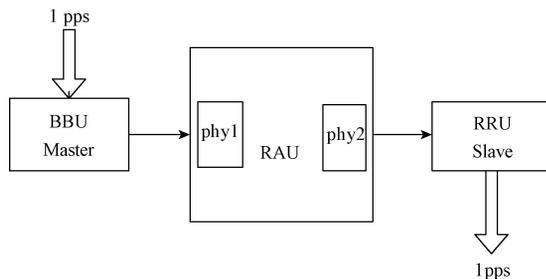


图 4 交换机同步方案

5 实际验证分析

为了验证所设计流程的准确性和有效性,采用夏光通信测量技术公司的 IEEE1588 时间分析仪作为测试仪器,IEEE1588 时间分析仪内置精密授时型 GPS,通过外接 GPS 天线可以达到高精度的时间同步,其外部有 1PPS+TOD 接口以及 IEEE1588v2PTP 接口,其通过 IEEE1588v2PTP 接口能作为稳定的时间同步源向基站发送高精度的 1588 同步报文。

在本系统验证环境中基站以 IEEE1588 时间分析仪作为精确的同步时钟源,然后 IEEE1588 时间分析仪接收来自射频单元产生的 1 pps+TOD 信号。系统开始工作时仪器接收来自射频单元的 1 pps+TOD 信号,并与内部的时钟源对比,测试结果如表 1 所示。

经过长时间的系统测试,RRU 输出的 1 pps 最大偏差在正负 200 ns 以内,系统产生的时间偏差在规定范围之内,达到了 TD-LTE 系统的时间同步要求,测试表明本文所设计的 1588 时间同步方案达到了预期效果。

表 1 测试结果

测试时间/h	1 pps 平均偏差/ns	1 pps 最大偏差/ns
1	20.06	83
6	50.73	138
12	64.24	174
24	12.35	-183
48	-16.47	-183
72	18.86	186

6 结 论

本文首先介绍了一种基于 C-RAN 理念的专门用于 LTE 室内覆盖的基站产品 mini C-RAN,并在其整体架构的基础上提出了一种基于 IEEE1588V2 协议的时间同步方案,该时间同步方案解决了基带池内部以及基带池到射频整个链路的时间同步,解决了在通用平台下的 TDD 系统所必须的时间同步问题,在设计上有效的减少了硬件开发难度与成本。

参考文献

- [1] 北方烽火科技有限公司. 一种基于通用平台的 1588 时间同步的硬件架构[Z]. 中国,201610003932.0
- [2] 杨璘,曾志民. 绿色无线接入网架构 C-RAN 研究[D]. 北京:北京邮电大学,2012.
- [3] 张若文,方韧. 无线接入网演进之 C-RAN 技术[J]. 电信工程技术与标准化,2012(4): 79-84.
- [4] SESIA S, TOUFIK I, BAKER M. LTE/LTE-advanced-UNTS 长期演进理论与实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.
- [5] 雷秋燕,张治中,程方,等. 基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构[J]. 电信科学,2015(1):112-121.
- [6] 刘三思. C-RAN 的应用和发展趋势分析[J]. 数字通信,2012(6):71-75.
- [7] 徐子昂,葛建华,柳军. 1588v2 端到端透明时钟的分析与应用[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.
- [8] 李水秀,杨志强. IEEE1588v2 二层交换机的研究与实现[D]. 济南:山东大学,2014.
- [9] 谭松荣,韦岗,江明. 基于 OCXO 的 LTE 基站时钟系统保持算法研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [10] 刘三思. C-RAN 的应用和发展趋势分析[J]. 数字通信,2012(6):71-75.
- [11] 王蒙. C-RAN 技术浅析[J]. 通信与信息技术,2012(3): 67-69.
- [12] 刘晋. 中国移动 C-RAN 建设方式探讨[J]. 广东通信技术,2013(9):55-57.
- [13] 周思捷. 基于 IEEE1588 无线网络时间同步研究技术[D]. 上海:上海交通大学,2013.
- [14] 年华,刘晓鹏,李志新,等. 三线阵立体测绘相机高精度时间同步设计方法[J]. 电子测量技术,2016, 39(8):104-108.
- [15] 陈金凤,华宇,孙中尉. IEEE1588v2 透明时钟研究与实现[J]. 宇航计测技术,2013(5):11-16.
- [16] 张鹤鸣,杨斌. IEEE1588v2 基于透明时钟的误差分析与修正[J]. 计算机应用,2011(6):1476-1479.

作者简介

黄鹤飞,1992 年出生,硕士研究生。研究方向为移动通信。

E-mail:hhfdyx2010081305@163.com