

LTE 物理层测试验证解决方案

1. 总体介绍

LTE 矢量信号发生器/LTE 矢量信号分析仪是上海众执芯信息科技有限公司 (ZoXtech) 基于 NI 软件无线电平台推出的一款拥有完整自主知识产权的针对 LTE 物理层协议和算法的测试验证解决方案。其主要架构包括硬件射频处理, 中频信号调理、数模转换, 基带数字信号处理等模块。其中矢量信号发生器按照 3GPP LTE 物理层协议设计, 包含了 3GPP LTE 物理层协议规定的完整功能, 包括物理层信道、物理信号、帧格式设计^[1], 各信道编解码设计^[2], 以及基站、终端的物理层交互过程^[3]; 而矢量信号分析仪则实现了对标准 RF 信号各物理信道解调、译码、解析和一些关键信号指标, 诸如 EVM、RSRP 等的测量。

第一阶段, LTE 矢量信号发生器/LTE 矢量信号分析仪已经完成 LTE TDD R10 版本下行链路的完整的收发功能, 其支持的特性包括:

- 支持 LTE-A-TDD 下行物理层完整收发协议, 支持各物理信道、物理信号的发送和解调;
- 支持 TM1~TM9 各种的 MIMO 模式发送和检测; 支持载波聚合发送和接收 (支持跨载波调度的发送和解调);
- 按照完整接收机流程。实现了从同步到广播信道盲检、各控制信道盲检、信息解析, 再到 PDSCH 解调译码等完整过程;
- 对信号调理、时频同步、信道估计、MIMO 均衡、译码检测等关键算法进行了优化并验证;
- 矢量信号发生器同商用仪表进行过充分的数据比对, 矢量信号分析仪实现了对商用基站信号的完整解析;
- 支持多用户发送、单用户接收; 支持完整 HARQ 过程; 各用户的 MCS 按照 TTI 灵活可配置, 可模拟 MAC 调度;
- 矢量信号分析中, 实现了典型的 RF 参数的测量、统计结果输出;
- 友好的用户界面实现各种默认的配置模式

2. 主要特性

2.1. 完整的接收机

矢量信号分析设备一般设计为对某一条物理信道进行检测和测量。例如对下行数据共享信道 PDSCH 的检测和测量, 而解调该信道所需的 MCS 方式、时频资源分配等信息则预先已知并通过配置实现。然而, 当需要对整个接收机流程进行评估或者需要对实际 RF 信号进行侦听的情况下, 就需要实现接收机的对各物理层信道、信号的盲检和解析。

其流程大体包括: 1) 终端首先进行小区搜索和时频同步得到时频信息, 小区 ID; 2) PBCH 广播信道盲检测, 得到带宽、SFN、天线端口等信息; 3) 解调 SIB 消息得到接入信息、TDD 帧格式、特殊子帧模式、传输模式等信息¹; 4) RACH 的上下行过程, 得到 RNTI

¹ 该过程的解调暂不支持, 使用预先已知信息进行配置

等信息²；5) 控制信道检测，包括 PCFICH 检测得到控制区域 OFDM 长度，PHICH 检测（解调广播信道得到），以及之后再进行的 PDCCH 盲检，PDCCH 盲检将根据 TM 模式及各种 RNTI 类型，遍历搜索空间，聚合等级、DCI Format 类型等得到盲检结果，通过对其解析得到 PDSCH 的各种解调参数；6) 数据共享信道 PDSCH 的解调和解析。

因此，矢量信号分析仪目前除少量 RRC 信令相关的目前暂时需要配置以外，其他接收流程都实现了完整支持，每条物理信道也实现了解调、译码、信息解析、测量完整过程。

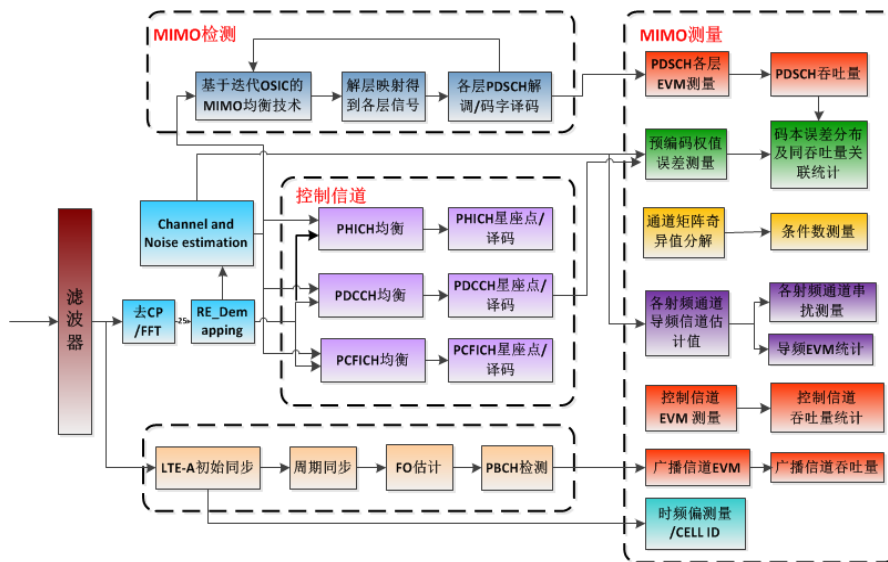


图 1 矢量信号分析仪基带处理部分的处理架构

2.2. 支持多种多天线方案

考虑到 LTE-R10 协议中新增加的最大 8 层的空分复用，协议共支持 TM1~TM9³ 多种多天线方案。软件模块实现了对 TM1~TM9（最大 8 层）的所有天线方案的解调和测试。并且针对空口 RF 接收信号以及经过信道模拟仪的加入时变衰落的 RF 信号，进行了 2x2MIMO 下的所有 TM 模式的验证；下图为空口模式下 2 层空分复用下的最高 MCS 的星座图。

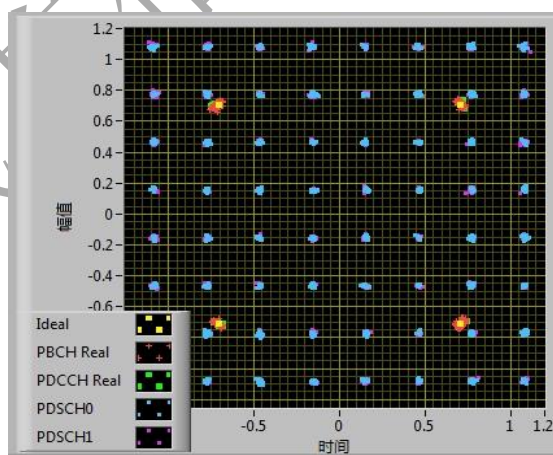


图 2 空口实测 2x2MIMO 空分复用 64QAM 的解调星座图

2.3. 支持 R10 载波聚合方案

LTE R10 协议中引入了载波聚合方案，除了中射频的影响以外，对于基带的处理主要包括跨载波调度和非跨载波调度两种形式。其中对于非跨载波调度的载波聚合，矢量信号发生

² 同 1

³ 后续版本的 COMP 特性中已经引入了 TM10

器实现了载波级信号、信道灵活配置的信号生成,对于矢量信号分析仪则在时频同步方案下需要对两载波进行分别估计和补偿,各信道的解调流程跟单载波类似。而对于跨载波调度的情况下各信道的解调流程更为复杂:其要求对于某用户的数据信息和控制信息可以不承载在同一载波上从而实现更灵活配置。这要求矢量信号分析仪通过修改接收机结构实现对控制信息各种灵活调度方案的解调支持。

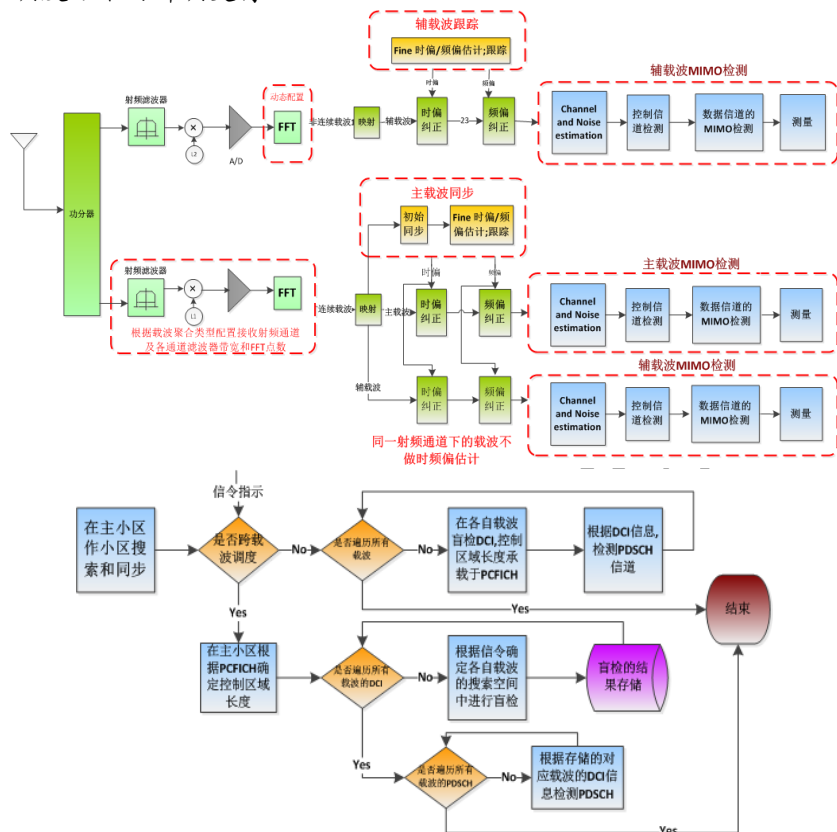


图 3 上方为多载波下的解调链路结构、下方为跨载波调度的解调流程

2.4. 矢量信号分析仪解析实际商用基站信号

为了验证该测试验证解决方案的正确性, ZoXtech 进行了对真实基站空口 RF 信号的侦听与分析。下图为实际外场环境和矢量信号分析仪的解调界面。

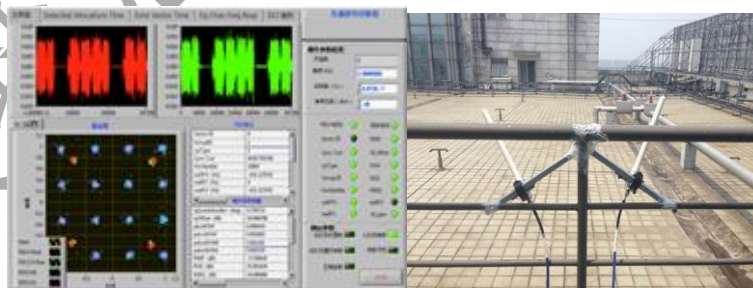


图 4 从左至右依次为空口分析软件界面、实际外场测试

测试场景简述如下: 商用基站 (TDD LTE R10 版本) 和商用数据卡建立数据链路。矢量信号分析仪通过抓取商用基站发送给商用数据卡的下行 RF 信号进行分析和解析, 得到物理层各信道的信息和信号质量测量, 包括: 小区 ID、带宽信息、控制信道盲检结果、MCS、资源分配、数据信道 CRC, 各信道的 EVM, 信道冲激响应等信息。

其中, 基于以上测试的一个典型的测试应用是, 通过改变 UE 位置 (信道质量), 可以检测基站自适应调整的过程 (包括传输模式的选择, MCS 选择, 资源选择等)。

3. 当前支持的功能列表

表 1 系统功能列表

功能特性	具体描述	完成度
协议版本	R10 TDD	OK
多载波	支持协议规定的最大载波数,支持载波聚合及跨载波调度	OK
多用户	各个用户参数独立设置,每个载波支持多个用户,每个用户亦可支持多个载波	OK
多天线模式	支持 TM1~9 下的所有模式,支持协议规定的天线端口	OK
资源分配类型	支持 Type0/Type1/Type2,各种 RB 分配类型	OK
MCS	支持协议规定的所有的类型,查表得到	OK
UE 状态	支持所有 UE 状态(不同的 RNTI 类型)下的发送模式选择和检测	OK
模拟调度	根据仪器配置实现固定 pattern 调度。其中资源调度,MCS 确定及 DCI 消息发送和解析都遵照协议完整实现	OK
CRS	CRS 参考信号的发送和解调	OK
DMRS	DMRS 参考信号的发送和解调	OK
CSI-RS	CSI 参考信号的发送和解调	OK
信号处理	实现方式	完成度
信号调理	重采样、滤波、IQ 补偿、DC offset 补偿	OK
小区搜索 时频同步	1) PSS 时域互相关	OK
	2) SSS 频域互相关检测	
	3) CP 类型、帧类型估计	
	4) 频偏估计与补偿	
	5) 精同步、同步跟踪	
信道估计	1) 二维维纳滤波、2x1 维维纳滤波	OK
	2) 时频维线性插值	
	3) 信道时频相关性参量估计	
	4) 噪声功率估计	
MIMO 检测	1) MLD	OK
	2) OSIC	
	3) 线性均衡 ZF、MMSE、QR、SQR	
	4) MRC	
	5) 基于 MAX-LOG-MAP 的 LLR 求取	
译码	1) Turbo 码: 并行基于 MAX-Log-Map 和 Log-Map 的译码算法;	OK
	2) 咬尾卷积码: 基于 ML 准则最优译码算法及基于循环迭代的 Viterbi 译码算法	
参数测量	支持射频参数和解调参数测量,详见附录表 2-4。	OK

收发机滤波器设计	1) 矢量信号发生器采用变速率 HBF 滤波, 不同基带带宽下的插值和滤波; 2) 矢量信号分析仪采用高阶 FIR、低阶 IIR 滤波器实现同步信号的抽取; 3) 收发两端的 RRC 滤波器的实现	OK
----------	--	----

4. 功能演进

目前支持 LTE TDD R10 下行信号的完整收发。ZoXtech 正将收发系统进行如下演进:

- 从仅支持 TDD 扩展到支持 FDD 和 TDD;
- 协议版本支持到 R13;
- 补充完整的上行发送和接收链路
- 加入 256QAM、TM10
- EPDCCH 信道的发送和解析
- 上行最大 4 天线的空分复用, MU-MIMO, CQI 上报等
- 实现上下行闭环的发送和接收, 实现对上下行信号的联合分析
- LAA、LTE-U 支持
- 支持 NB IoT 的测试方案

5. 市场和合作伙伴

2015 年, ZoXtech 同国内仪表领域领先的某上市公司达成合作, 共同开发 LTE 多通道矢量信号分析设备。

2014 年~2015 年, ZoXtech 携 LTE 物理层测试验证解决方案多次参加 NI 市场推广活动, 取得较好的反馈。

[参考文献]

- [1]. 3GPP 36.211 Release 10
- [2]. 3GPP 36.212 Release 10
- [3]. 3GPP 36.213 Release 10

附录

表 2 测试功能列表

功能/指标	
1	调制类型: BPSK、QPSK、16QAM、64QAM
2	支持: 2x2 MIMO、DL、正常和扩展的循环前缀
3	带宽: 1.4 MHz (6 RB) 至 20 MHz (96/100 RB)
4	分析等级: 无线帧、子帧、资源块、通道、P-SS、S-SS、PBCH、PDCCH、RS、PDSCH、PUSCH、PRACH
5	多种 EVM 测量选择——每载波 EVM、符码、资源块、通道和时隙。
6	星座图解调显示
7	显示全部有源通道的功率、EVM 和调制方式
8	每通道频谱模板测试
9	支持 LTE 下行 (OFDM) 分析;
11	支持载波聚合技术的测试验证
12	用户界面中同时显示测试的参数及图形>4

表 3 RF 测量参数

参数/指标			
1	Occupied Bandwidth	5	Upper Freq
2	Power	6	Lower Freq
3	Total Power	7	Centroid Freq
4	Power Ratio	8	Offset Freq

表 4 解调测量参数

参数/指标			
1	Common tracking error	14	IQ quadrature error
2	Eq chan frequency response diff	15	IQ timing skew
3	Eq chan freq resp	16	OFDM symbol Tx power
4	Eq impulse response	17	RS EVM
5	Error summary	18	RS-PRS



6	Cell ID	19	RS Tx pwr (avg)
7	Cell ID group/sector	20	Sync corr
8	Common tracking error	21	Symbol clock err
9	CP length mode	22	Time offset
10	Data EVM	23	RS Rx Quality
11	EVM Overall	24	Frame summary
12	Freq err	25	Freq err per slot
13	IQ gain imbalance	26	IQ offset