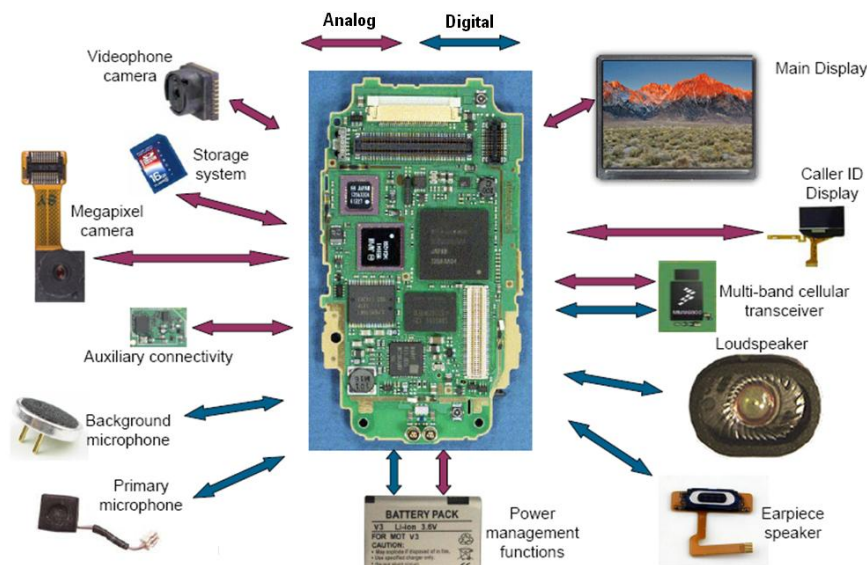


MIPI CSI/DSI 简介及信号和协议测试方法

--李凯

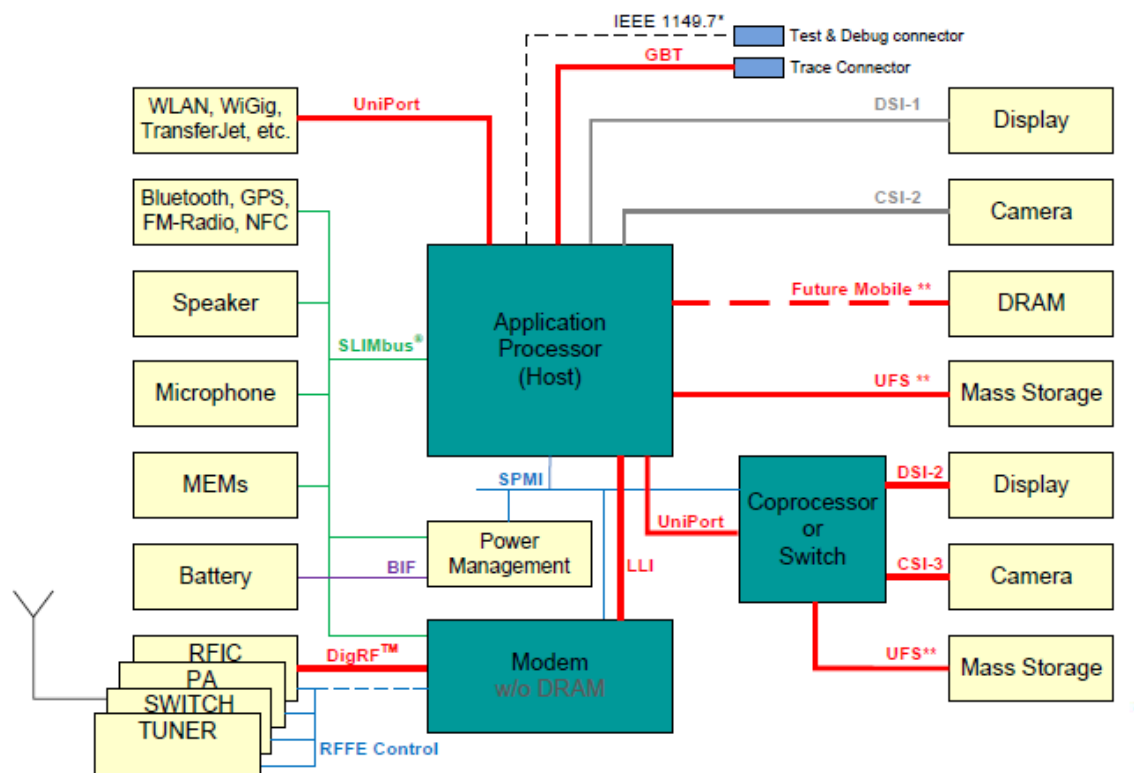
一、MIPI CSI/DSI 简介

对于现代的智能手机来说，其内部要塞入太多各种不同接口的设备，给手机的设计和元器件选择带来很大的难度。下图是一个智能手机的例子，我们可以看到其内部存储、显示、摄像、声音等内部接口都是各不相同的。即使以摄像头接口来说，不同的摄像头模组厂商也可能会使用不同的接口形式，这给手机厂商设计手机和选择器件带来了很大的难度。

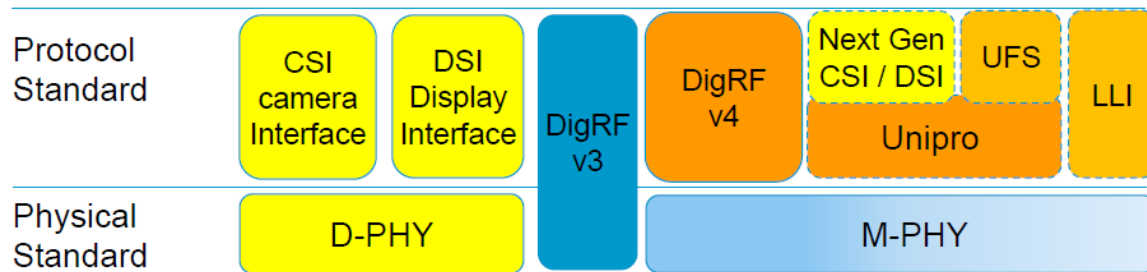


MIPI (Mobile Industry Processor Interface)是2003年由ARM, Nokia, ST, TI等公司成立的一个联盟(www.mipi.org), 目的是把手机内部的接口如摄像头、显示屏接口、射频/基带接口等标准化, 从而减少手机设计的复杂程度和增加设计灵活性。MIPI 联盟下面有不同的WorkGroup, 分别定义了一系列的手机内部接口标准, 比如摄像头接口 CSI、显示接口 DSI、射频接口 DigRF、麦克风/喇叭接口 SLIMbus 等。统一接口标准的好处是手机厂商根据需要可以从市面上灵活选择不同的芯片和模组, 更改设计和功能时更加快捷方便。

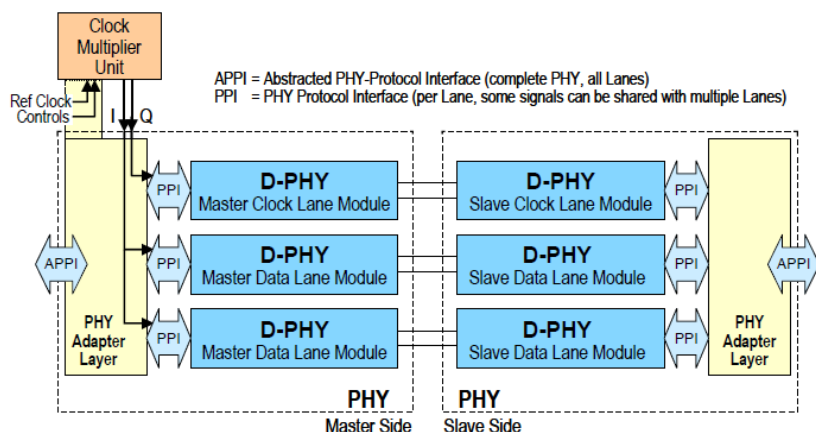
MIPI 组织主要致力于把移动通信设备内部的接口标准化从而减少兼容性问题并简化设计。下图是按照 MIPI 组织的设想未来智能移动通信设备的内部架构。



目前已经比较成熟的 MIPI 应用有摄像头的 CSI 接口、显示屏的 DSI 接口以及基带和射频间的 DigRF 接口。UFS、LLI 等规范正在逐步制定和完善过程中。



CSI/DSI 的物理层 (Phy Layer) 由专门的 WorkGroup 负责制定，其目前采用的物理层标准是 D-PHY。D-PHY 采用 1 对源同步的差分时钟和 1~4 对差分数据线来进行数据传输。数据传输采用 DDR 方式，即在时钟的上下边沿都有数据传输。



Two Data Lane PHY Configuration

D-PHY 的物理层支持 HS(High Speed)和 LP(Low Power)两种工作模式。HS 模式下采用低压差分信号，功耗较大，但是可以传输很高的数据速率（数据速率为 80M~1Gbps）； LP 模式下采用单端信号，数据速率很低（<10Mbps），但是相应的功耗也很低。两种模式的结合保证了 MIPI 总线在需要传输大量数据（如图像）时可以高速传输，而在不需要大数据量传输时又能够减少功耗。下图是用示波器捕获的 MIPI 信号，可以清楚地看到 HS 和 LP 信号。



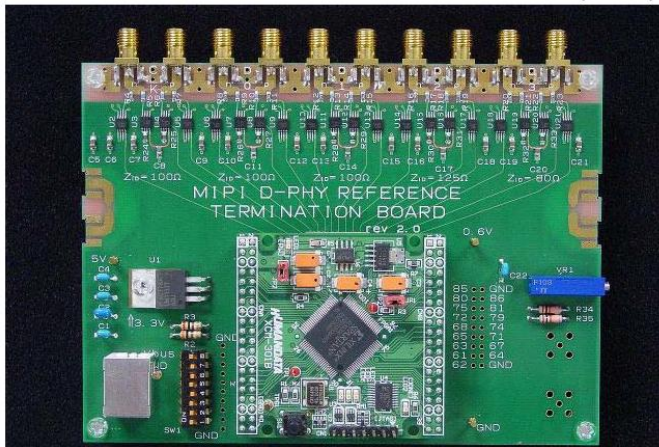
由于 MIPI D-PHY 的信号比较复杂,要保证接口信号和协议的一致性需要很复杂的测试。为了提高测试的效率, Agilent 提供了基于示波器和逻辑分析仪的 MIPI D-PHY 测试平台。

二、MIPI CSI/DSI 物理层（D-PHY）的信号质量测试方法

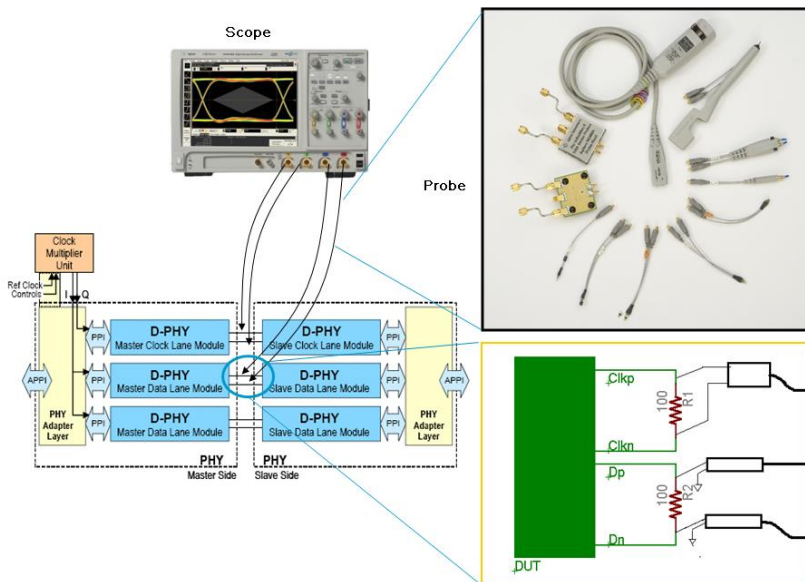
MIPI D-PHY的信号质量的测试方法主要参考MIPI协会发布的CTS (D-PHY Physical Layer Conformance Test Suite)。要进行 MIPI 信号质量的测试，首先要选择合适带宽的示波器，按照 MIPI 协会的要求，测试 MIPI 的信号质量至少需要 4GHz 带宽的示波器。为了提高测试的效率，测试中推荐采用 4 支探头分别连接 clk+/clk-和 data+/data-信号进行测试，对于有多条 Lane 的情况可以每条 Lane 分别测试。

对于 MIPI 模组或芯片的测试可以根据 MIPI 协会推荐的方法设计评估板 TVB (Test Vehicle Board) 并结合协会提供的 RTB (Reference Termination Board) 进行信号测试。

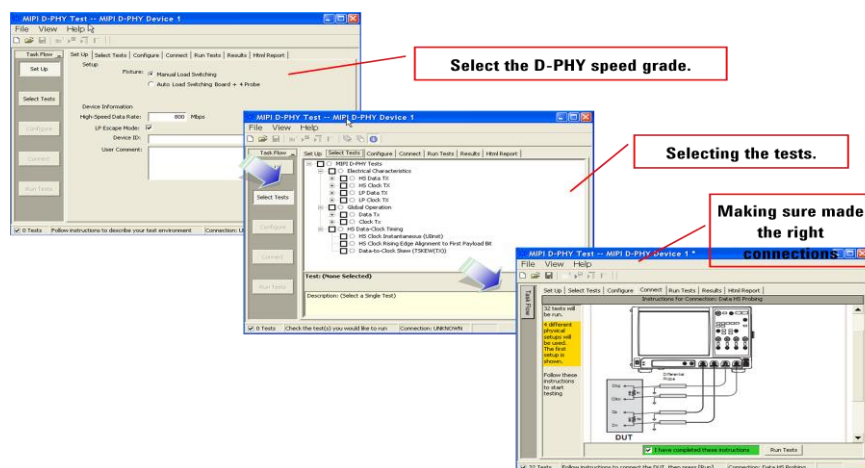
MIPI D-PHY REFERENCE TERMINATION BOARD (RTB)



而对于系统厂商如手机厂商等，由于系统设计已经完成，要进行 MIPI 的信号测试只能使用焊接或点测探头连接 PCB 上的实际信号进行测试，以下是典型的连接图。



测试系统的核心是 Agilent 的 U7238A MIPI 一致性测试软件平台，这个软件采用图形化的界面指导用户完成测试参数的设置和连接，并自动完成信号质量的测试和测试报告的生成。下图是软件的设置界面和测试报告。



MIPI D-PHY Test Report

Overall Results: 3 of 16 Tests Failed

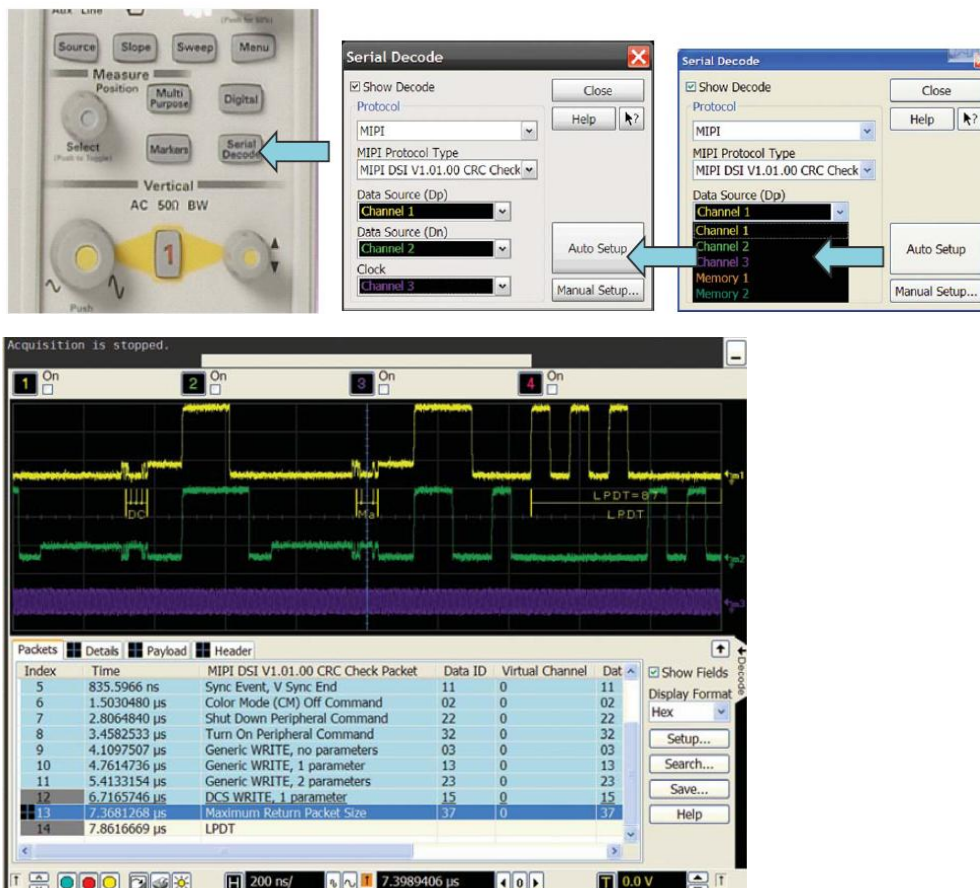
Test Configuration Details	
Device Description	
Fixture Setup	Manual Load Switching
CTS Version	v1.00
High Speed Data Rate(Mbps)	300
Test Session Details	
Infinium SVI Version	02.50.0003
Infinium Model Number	DSO91304A
Infinium Serial Number	MY48240284
Application SVI Version	2.10
Last Test Date	11/24/2010 5:04:28 PM

Summary of Results

Margin Thresholds	
Warning	< 2 %
Critical	< 0 %

Pass	# Failed	# Trials	Test Name	Actual Value	Margin	Spec Range
✓	0	1	HS Data TX Static Common Mode Voltage(Vcm0)	207.38mV	42.8 %	150.00mV <= VALUE <= 250.00mV
✓	0	1	HS Data TX Vcm0x Mismatch	1.36mV	27.2 %	0.00000V <= VALUE <= 5.00mV
✓	0	1	HS Data TX Common-Level Variations Above 450MHz (VCMTX(HF))	6.90mV	54.0 %	VALUE < 15.00mV
✓	0	1	HS Data TX Common-Level Variations Between 50-450MHz (VCMTX(LF))	23.75mV	5.0 %	VALUE < 25.00mV
✗	1	1	HS Data TX Differential Voltage(VOD0_Pulse)	-134.65mV	41.1 %	-270.00mV <= VALUE <= -140.00mV
✓	0	1	HS Data TX Differential Voltage(VOD1_Pulse)	151.23mV	8.8 %	140.00mV <= VALUE <= 270.00mV
✗	1	1	HS Data TX Differential Voltage Mismatch (Pulse)	16.58mV	65.6 %	0.00000V <= VALUE <= 10.00mV
✓	0	1	HS Data TX Single Ended Output High Voltage(VOHHS_Pulse)	282.36mV	21.6 %	VALUE <= 360.00mV
✓	0	1	HS Data TX 20%-80% Rise Time (tR)	164ps	1.6 %	150ps <= VALUE <= 1,000ns
✓	0	1	HS Data TX 20%-80% Fall Time (tF)	166ps	2.1 %	150ps <= VALUE <= 1,000ns
✓	0	1	LP TX Thevenin Output High Voltage Level (VOH)	1.191V	45.5 %	1.100V <= VALUE <= 1.300V
✓	0	1	LP Exit DATA TX THS-PREPARE+THS-ZERO	375.84ns	110.6 %	VALUE >= 178.33ns

除了做信号质量的测试以外，为了方便复杂问题的调试和分析，Agilent 还在示波器上提供了 N8802A 的 MIPI D-PHY 的协议触发和解码方案，通过简单的设置就可以实现对 CSI/DSI 协议的解码分析，可以方便用户发现隐藏在上层协议里的问题故障。以下是其设置和解码的界面。



以下是 MIPI D-PHY 信号质量测试推荐的测试配置：

宽带示波器：DSO9404A；

MIPI D-PHY 信号质量测试软件：U7238A 信号一致性测试选件；

复杂信号分离软件：N5415B InfiniiScan 选件；

MIPI D-PHY 协议触发和解码软件：N8802A CSI/DSI 解码选件

有源探头放大器：1132A×4；

探头放大器前端附件：E2669A×4；

三、MIPI CSI/DSI 的协议测试方法

对于从事 MIPI CSI/DSI 的芯片和外围模块开发的用户来说，需要的是能够全面地验证被测件的功能及在各种可能出现的情况下的表现，这仅仅依靠示波器里提供的信号质量分析和协议解码功能就不太够了。为此，Agilent 还为此提供了全套的 MIPI CSI/DSI 的协议分析和信号激励方案。

这套协议测试方案以 16800/16900 系列逻辑分析仪、N4861B MIPI CSI/DSI 数据激励模块、N4851B MIPI CSI/DSI 协议分析模块构成。逻辑分析仪用于生成复杂的 CSI/DSI 的数据包，并对捕获到的数据包进行解包分析。N4861B 用于把逻辑分析仪产生的数据包按 CSI/DSI 的信号格式和电平送给被测件，N4851B 用于捕获实际 CSI/DSI 数据线上的信号并送给逻辑分析仪进行数据解析。

16800/16900 逻辑分析仪

N4861B
D-PHY
激励模块

N4851B
D-PHY
分析模块



以下是激励模块 N4861B 的主要指标：

支持的数据速率：80M~1Gbps（HS 模式）；800K~10Mbps（LP 模式）

支持的通道数：3 条 Lane

HS 模式高电平范围：+150 mV -> +450 mV

HS 模式低电平范围：- 17 mV to 217 mV

LP 模式高电平范围：800 mV -> 3.3V

LP 模式低电平范围：- 100 mV -> +100 mV

Slew Rate 控制：Fast, medium, slow, slowest

波形时序控制：CLK-POST timing；CLK-PRE timing；CLK-PREPARE timing；CLK-TRAIL timing；

CLK-ZERO timing；HS-EXIT timing；HS-PREPARE；HS-Zero；HS-TRAIL；LPX；TA_Get；TA_GO；

工作模式：Master

支持的协议规范：MIPI D-PHY 0.89 , 0.90, 1.00

以下是分析模块 N4851B 的主要指标：

支持的数据速率：80M~940Mbps（HS 模式）；最大 10Mbps（LP 模式）

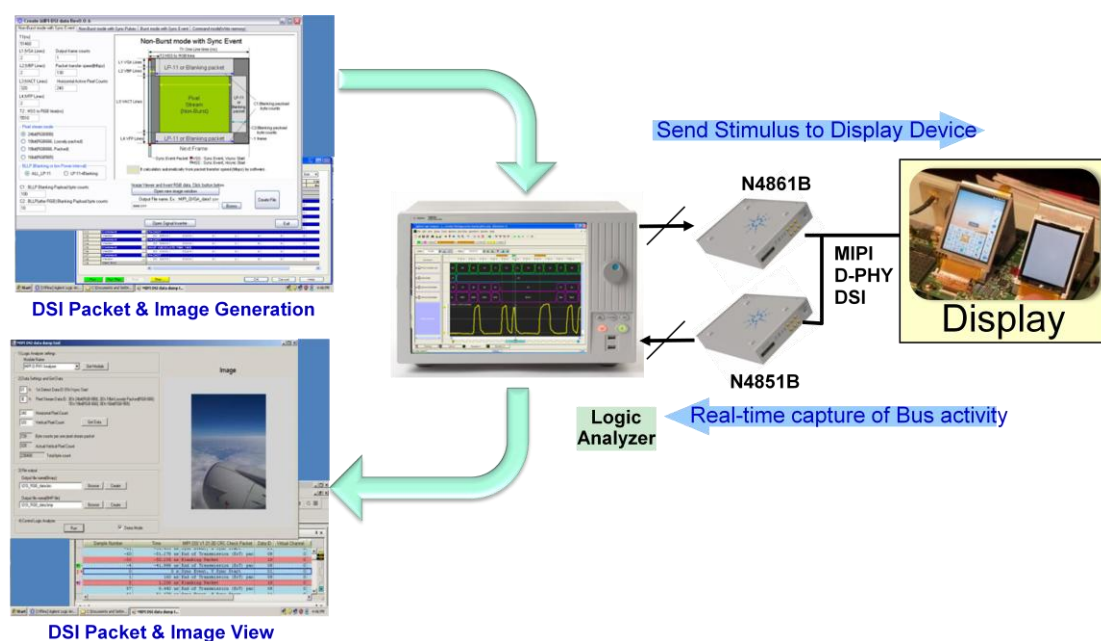
支持的通道数：4 条 Lane

HS 信号灵敏度：100 mV

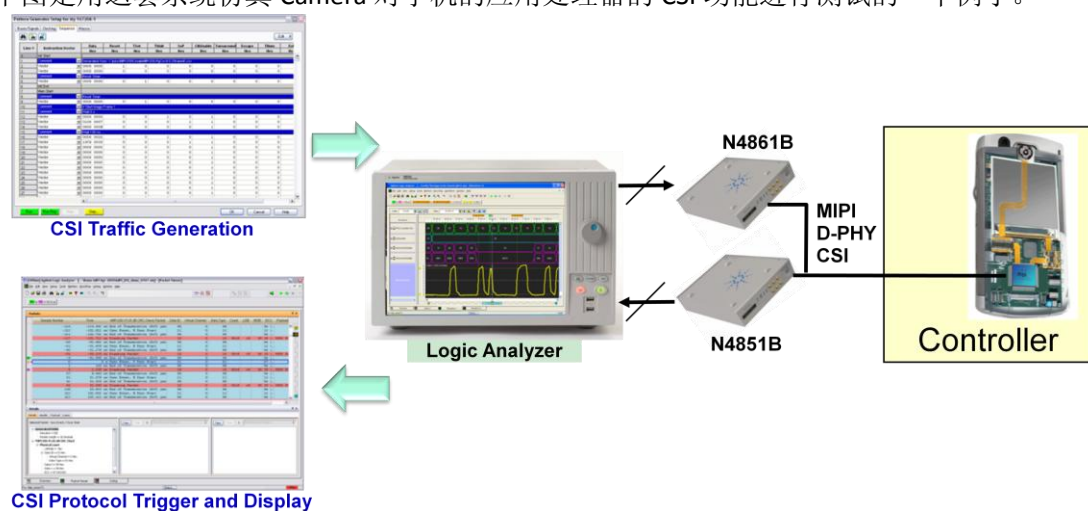
LP 信号高电平范围：800 mV - > 3.3V

支持的协议规范：MIPI D-PHY DSI 1.01; MIPI D-PHY CSI-2 1.00

CSI/DSI 的数据包结构非常复杂，而且 LP 和 HS 信号同时存在。为了方便用户快速生成测试数据，测试过程中可以使用逻辑分析仪里面安装的 D-PHY DSI 数据产生软件来方便地生成需要的测试数据，比如把一副现成的 BMP 图像文件直接插入到测试数据包里。总线上实际的数据可以用协议分析模块捕获分析。为了直观地发现总线上的错误，分析软件除了可以对数据包结构内容进行解码以外，还提供了图像提取功能，即可以从 DSI/CSI 的数据包里把其传输的图像数据直接提取出来，方便了测试结果的分析。以下是一个进行显示屏的 DSI 总线功能测量的一个例子。



下图是用这套系统仿真 Camera 对手机的应用处理器的 CSI 功能进行测试的一个例子。



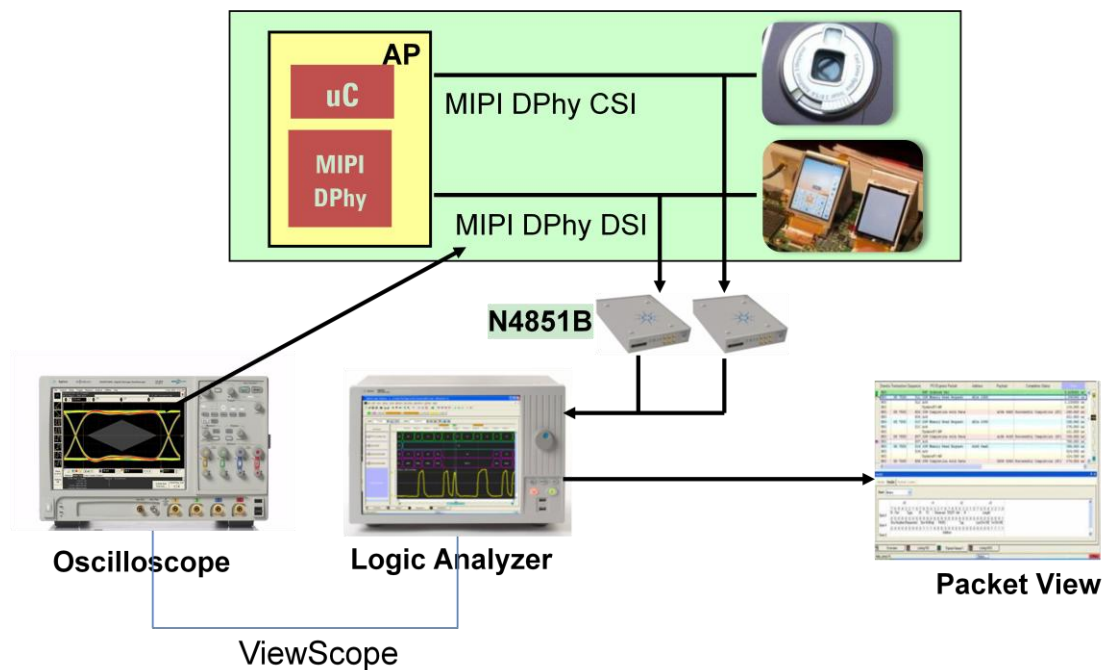
以下是 MIPI CSI/DSI 协议测试推荐的配置：

D-PHY 协议分析测试

16901A	2-slot Logic Analysis System Mainframe, 15-inch Display with Touch Screen	1
16950B	68-channel, 4 GHz timing, 667 MHz state, 1 M deep logic analysis module	1
16950B-004	Increase acquisition memory depth to 4M	1
E5378A	Probe, 34 channel single-ended Samtec connector, connects to 90-pin LA cable	2
N4851B	MiPi DPhy acquisition probe 4 lane	1
E5381A	Probe, 17-channel differential flying leads, connects to 90-pin LA cable	2
E5382A	Probe, 17-channel single-ended flying leads, connects to 90-pin LA cable	2
D-PHY 信号激励需要增加的模块		
16720A	Pattern generator, 300 M Vector/sec	1
N4861B	MiPi DPhy stimulus probe 3 lane	1
N4861B-040	SMA cables for use up to 500Mbps, 40 IN, 2 sets of 4	1

四、总结

在进行完信号质量、协议功能或各个模块单独的测试以后，在系统测试时问题可能会更加复杂，针对这种需求，Agilent 还提供了覆盖信号质量和协议、功能验证的系统调试和测试方案。即用协议分析仪产生激励并进行协议分析，用示波器同时捕获总线上的模拟信号波形，协议分析结果和模拟信号波形都可以放在逻辑分析仪上同时显示，这对于复杂数模混合问题的分析会更加方便。逻辑分析仪和示波器的连接也非常方便，通过 Agilent 的 View Scope 功能，只需要 1 根交叉网线线和 2 根 BNC 电缆即可以把两者方便互连。



综上所述，MIPI CSI/DSI 是智能手机里的一个全新接口，其测试也比较复杂，Agilent 针对其测试提供了从底层信号质量到上层协议、功能测试等全套的解决方案。通过这些测试手段的综合使用，可以大大加快 MIPI CSI/DSI 的开发进程。