中国汽车芯片标准检测认证联盟 **HSMT** 工作组 规范

S-HSMT-1001-2026

HSMT 视频测试规范

HSMT Video Test Specification

（征求意见稿）

v1.6

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

发 布

HSMT工作组 征求意见稿

目　次

前　　言 XIII
1 范围 14
2 规范性引用文件 14
3 术语和定义 14
4 缩略语 14
5 总则 14
6 试验环境 15
6.1 通则 15
6.2 试验环境1 16
6.3 试验环境2 16
6.4 试验环境3 17
6.5 试验环境4 17
6.6 试验环境5 17
6.7 试验环境6 17
6.8 试验环境7 18
7 电气指标 18
7.1 发射机测试（摄像头/显示） 18
7.1.1 信号眼图（差分） 18
7.1.2 功率谱密度（差分） 19
7.1.3 最大输出顶降（差分） 19
7.1.4 时钟频偏（差分） 19
7.1.5 时钟抖动（差分） 20
7.1.6 信号眼图（单端） 21
7.1.7 功率谱密度（单端） 21
7.1.8 最大输出顶降（单端） 21
7.1.9 时钟频偏（单端） 21
7.1.10 时钟抖动（单端） 22
8 基础功能 22
8.1 连通性测试（摄像头/显示） 22
8.1.1 自动连通性 22
8.1.2 链路建立时间 22
8.1.3 节点重上电 22
8.1.4 线缆重连接 23
8.2 链路重建（摄像头/显示） 23
8.2.1 正向节点发起链路重建成功 23
8.2.2 反向节点发起链路重建成功 23
8.2.3 正向节点拒绝链路重建请求 24
8.2.4 反向节点拒绝链路重建请求 24

HSMT工作组 征求意见稿

8.2.5 正向节点发起链路重建请求，未收到反向节点链路重建响应 24
8.2.6 反向节点发起链路重建请求，未收到正向节点链路重建响应 25
8.2.7 正向节点发起链路重建流程，重建参数与协商参数不同 25
8.2.8 反向节点发起链路重建流程，重建参数与协商参数不同 25
8.3 线缆故障诊断（摄像头/显示） 26
8.4 链路协商（摄像头/显示） 26
8.4.1 节点链路协商成功 26
8.4.2 反向节点未收到协商响应 27
8.4.3 反向节点协商进入测试模式 27
8.4.4 正向节点协商进入测试模式 27
8.4.5 节点协商结果为正向速率不匹配 28
8.4.6 正向节点回复协商响应后，未收到协商结束或协商请求 28
8.4.7 正向节点回复协商响应后，收到协商请求 29
8.5 链路训练（摄像头/显示） 29
8.5.1 节点链路训练成功 29
8.5.2 正向链路训练失败 30
8.5.3 反向链路训练失败 30
8.6 正向物理层重传（摄像头/显示） 30
8.6.1 多 PLDB 正向重传成功 30
8.6.2 多 PLDB 正向重传，未接收到期望的重传 PLDB 31
8.6.3 正向节点主动终止多 PLDB 正向重传 31
8.6.4 反向节点主动终止多 PLDB 正向重传 32
8.6.5 多 PLDB 正向物理层重传消息 LTE 字段与正向 PLDB 的 TE 字段不一致 32
8.6.6 单 PLDB 正向重传成功 33
8.6.7 单 PLDB 正向重传，未接收到期望的重传 PLDB 33
8.6.8 正向节点主动终止单 PLDB 正向重传 34
8.6.9 反向节点主动终止单 PLDB 正向重传 34
8.6.10 单 PLDB 正向物理层重传消息 LTE 字段与正向 PLDB 的 TE 字段不一致 35
8.7 反向物理层重传（摄像头/显示） 35
8.7.1 反向物理层重传成功 35
8.7.2 未接收到期望的重传 PLDB，退出反向物理层重传 36
8.8 媒体封装包重传（摄像头/显示） 36
8.8.1 B 类媒体封装包重传 36
8.8.2 节点丢弃链路序列号相同的 B 类媒体封装包 36
8.8.3 B 类媒体封装包重传，超过最大重传次数 37
9 图像业务 37
9.1 RAW 图像业务（摄像头） 37
9.1.1 试验步骤 37
9.1.2 通过准则 38
9.2 YUV 图像业务（摄像头/显示） 38
9.2.1 试验步骤 38
9.2.2 通过准则 38
9.3 RBG 图像业务（摄像头/显示） 38
9.3.1 试验步骤 38
9.3.2 通过准则 39

HSMT工作组 征求意见稿

9.4 DSC 图像业务（显示 TBD） 39
10 音频业务 39
10.1 音频业务测试 39
10.1.1 试验步骤 39
10.1.2 通过准则 39
11 控制业务 39
11.1 I2C 控制业务（摄像头/显示） 40
11.1.1 I2C 透传模式写远端 I2C 端口 40
11.1.2 I2C 透传模式读远端 I2C 端口 40
11.1.3 I2C 写操作远端 I2C 端口 41
11.1.4 I2C 读操作远端 I2C 端口（携带业务数据和写读间隔） 42
11.1.5 I2C 读操作远端 I2C 端口（不携带业务数据和写读间隔） 42
11.1.6 I2C 读操作远端 I2C 端口（携带业务数据，不携带写读间隔） 43
11.1.7 I2C 写操作远端标准寄存器 43
11.1.8 I2C 读操作远端标准寄存器 44
11.1.9 I2C 写操作远端自定义寄存器 44
11.1.10 I2C 读操作远端自定义寄存器 45
11.1.11 I2C 写操作远端 SPI 端口 45
11.1.12 I2C 读操作远端 SPI 端口 46
11.1.13 I2C 写操作远端 Uart 端口 46
11.2 GPIO 控制业务（摄像头/显示） 47
11.2.1 GPIO 过采样模式，采样 1 字节数据 47
11.2.2 GPIO 过采样模式，采样 9 字节数据 47
11.2.3 GPIO 触发模式，传输上升沿信息 48
11.2.4 GPIO 触发模式，传输下降沿信息 48
11.2.5 GPIO 固定时延触发模式，传输上升沿信息 49
11.2.6 GPIO 固定时延触发模式，传输下降沿信息 49
11.3 SPI 控制业务（摄像头/显示） 49
11.3.1 SPI 写操作远端 SPI 端口 49
11.3.2 SPI 读操作远端 SPI 端口（携带业务数据，时钟正常） 50
11.3.3 SPI 读操作远端 SPI 端口（携带业务数据，时钟关闭） 50
11.3.4 SPI 读操作远端 SPI 端口（不携带业务数据，时钟正常） 51
11.3.5 SPI 读操作远端 SPI 端口（不携带业务数据，时钟关闭） 51
11.3.6 SPI 写操作远端标准寄存器 52
11.3.7 SPI 读操作远端标准寄存器 52
11.3.8 SPI 写操作远端自定义寄存器 53
11.3.9 SPI 读操作远端自定义寄存器 53
11.3.10 SPI 写操作远端 I2C 端口 54
11.3.11 SPI 读操作远端 I2C 端口 54
11.3.12 SPI 写操作远端 Uart 端口 55
11.4 Uart 控制业务（摄像头/显示） 55
11.4.1 Uart 写操作远端 Uart 端口 55
11.4.2 Uart 数据流写操作远端 Uart 端口 56
12 应用测试 57

12.1 休眠唤醒（摄像头/显示） 57
12.1.1 正向节点发起进入休眠 57
12.1.2 反向节点发起进入休眠 57
12.1.3 正向节点发起休眠唤醒 57
12.1.4 反向节点发起休眠唤醒 58
12.1.5 节点拒绝休眠控制请求 58
12.1.6 节点发起休眠，未收到休眠控制响应 59
12.1.7 正向节点连续 3 个休眠心跳周期未收到休眠心跳帧 59
12.2 4-1 组网连通性测试（摄像头） 59
12.2.1 自动连通性（四路速率一致） 59
12.2.2 自动连通性（四路速率不一致） 60
12.2.3 链路建立时间 60
12.2.4 节点重上电 60
12.2.5 线缆重连接 60
12.3 广播（摄像头） 61
12.3.1 I2C 广播模式写远端 I2C 端口 61
12.4 Frame sync 61
12.4.1 多个正向节点固定时延上升沿触发模式时间同步误差（摄像头） 61
12.4.2 多个正向节点固定时延下降沿触发模式时间同步误差（摄像头） 62
12.4.3 GPIO 固定时延上升沿触发模式触发图像帧同步（显示） 62
12.4.4 GPIO 固定时延下降沿触发模式触发图像帧同步（显示） 63
12.5 1-2 组网连通性测试（显示 TBD） 63
12.6 Dual link 组网连通性测试（显示 TBD） 63
12.7 链路协商（摄像头/显示） 63
12.7.1 试验步骤 63
12.7.2 通过准则 64
12.8 优先级 64
12.8.1 试验步骤 64
12.8.2 通过准则 64
12.9 互配测试（显示 TBD） 64
13 性能测试 64
13.1 传输误码率测试 64
13.1.1 试验步骤 64
13.1.2 通过准则 65
13.2 温度循环误码率测试 65
13.2.1 试验步骤 65
13.2.2 通过准则 65
13.3 高低温误码率测试 65
13.3.1 试验步骤 65
13.3.2 通过准则 66
附 录 A （资料性） 通用性问题 67
A.1 通则 67
A.1.1 预留字段的要求 67
A.2 物理层 67
A.2.1 链路训练 67

A.2.2 PLDB 67
A.2.3 RS-FEC 编码 69
A.2.4 信号电气指标 69
A.2.5 时钟展频（SSC） 72
A.2.6 码表 72
A.2.7 物理层优先级传输 72
A.2.8 扰码移位寄存器与加扰 73
A.2.9 开始符的发送顺序说明 73
A.3 媒体封装层 73
A.3.1 图像业务 73
A.3.2 音频业务 74
A.3.3 控制业务 74
A.3.4 I2C 控制业务 76
A.3.5 GPIO 控制业务 77
A.3.6 媒体封装层重传 77
A.3.7 SPI 控制业务 78
A.4 寄存器 78
A.4.1 标准寄存器比特 0 是低位还是高位 78
A.4.2 自定义寄存器和标准寄存器是否需要统一 78
A.4.3 自定义寄存器是否可以使用标准寄存器预留空间 78
A.4.4 端口 0x00 和 0x01 仅用于目的端口的理解 78
A.4.5 节点类型寄存器 79
附 录 B （资料性） 摄像头场景 80
B.1 同步域 PLDB 间隔 80
B.2 连通性要求 80
B.3 GPIO 应用 80
B.3.1 通则 80
B.3.2 正向节点故障上报 80
B.3.3 传感器故障透传 81
B.3.4 FrameSync 81
B.3.5 GPIO 端口映射和汇聚 82
B.4 配置流程 82
B.5 配置寄存器 84
B.5.1 通则 84
B.5.2 寄存器定义 84
附 录 C （资料性） 显示场景 85
C.1 显示业务 85
C.1.1 通则 85
C.1.2 像素同步 85
C.1.3 音频业务 85
C.1.4 帧开始和帧结束触发条件 86
C.1.5 图像帧同步 86
C.1.6 Dual link 传输 87
C.2 GPIO 应用 88
C.2.1 通则 88

HSMT工作组 征求意见稿

C.2.2 故障上报透传 88
C.2.3 中断透传 88
C.3 配置流程 88
C.3.1 配置流程1 89
C.3.2 配置流程2 89
C.4 配置寄存器 90
C.4.1 通则 90
C.4.2 寄存器定义 90
附 录 D （资料性） SoC与本地节点间的通信接口 91
D.1 通则 91
D.2 标准IIC模式访问远端节点和远端节点外设 92
D.2.1 访问流程 92
D.2.2 寄存器定义 92
D.3 IIC命令模式 92
D.3.1 帧结构和字段定义 92
D.3.2 IIC广播 98
D.3.3 IIC命令模式流程 98
D.3.4 寄存器定义 100
D.4 SPI命令模式 101
D.4.1 帧结构和字段定义 101
D.4.2 SPI命令模式流程 108
D.4.3 寄存器定义 109
D.5 SoC接口命令模式状态信息 111

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件所代替标准的历次版本发布情况为：首次发布。

HSMT工作组 征求意见稿

Q/LB.□XXXXX-XXXX

HSMT 视频测试规范

1 范围

本文件规定了车载有线高速媒体传输万兆全双工系统的测试试验方法。

本文件规定的测试类别共三类，分别为电气指标一致性测试、协议一致性测试和互操作性测试。其中，第7 章规定了电气指标一致性测试的试验方法，第8 ~13 章规定了协议一致性测试和互操作性测试的试验方法。

本文件适用于由正向节点、反向节点以及连接正反向节点的线束组成的车载有线高速媒体传输万兆全双工系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

QCT 1217-2024 车载有线高速媒体传输 万兆全双工系统 技术要求及试验方法

3 术语和定义

QCT 1217-2024界定的术语和定义适用于本文件。

4 缩略语

QCT 1217-2024 界定的缩略语适用于本文件。

5 总则

遵循《车载有线高速媒体传输 万兆全双工系统 技术要求及试验方法》（以下简称HSMT视频协议）的FPGA、芯片、模组、部件，应采用本文件规定的测试用例和试验方法进行协议一致性和互联互通测试。本文件规定的测试类别与测试试验方法、被测试件形态、对手件应满足如下的对应关系。

表 1 正向速率与待测件形态、用例等级的对应关系

测试类别	试验方法章节	被测试件形态	对手件
电气指标一致性测试	第 7 章	芯片/模组/部件	示波器
协议一致性测试	第 8~13 章	FPGA/芯片/模组/部件	协议激励源、协议分析仪
互操作性测试	第 8~13 章	FPGA/芯片/模组/部件	金标芯片

测试用例与待测件形态、用例等级要求的对应关系应与《HSMT-V IOT测试用例表》相符合。

测试用例适用的待测件形态包括芯片 Only、芯片/FPGA、FPGA Only。芯片 Only适用于待测件为芯片时的测试，FPGA Only适用于待测件为FPGA时的测试，芯片/FPGA既适用于待测件为芯片时的测试，同时也适用于待测件为FPGA时的测试。

测试用例等级包括必选用例和可选用例。必选用例是测试必须的测试用例，是测试通过的必要条件，即厂商必须要实现的能力。可选用例不是测试必须的测试用例，如果厂商宣称支持，用例需测试通过，否则可以不需要测试。

正向速率挡位与待测件形态、用例等级要求的对应关系应与表2 相符合。若厂商根据实际产品商用需求，仅支持部分必选正向速率挡位，厂商须向工作组提出书面豁免申请，豁免对不支持的速率挡位进行测试，仅对支持的速率挡位进行测试。豁免申请具体要求详见《HSMT互联互通验证指南》5.1.5章节。

表 2　正向速率与待测件形态、用例等级的对应关系

序号	正向速率挡位	速率（Gbps）	调制方式	待测件形态	用例等级
1	1	2	NRZ	芯片/FPGA	必选
2	2	3.2	NRZ	芯片 Only	必选
3	3	4	NRZ	芯片 Only	必选
4	4	6.4	NRZ	芯片 Only	必选
5	4a	6.4	PAM4	芯片 Only	可选
6	5	8	NRZ	芯片 Only	可选
7	5a	8	PAM4	芯片 Only	可选
8	6	12.8	PAM4	芯片 Only	必选

6　试验环境

6.1　通则

6.2 至 6.5 给出了全部试验方法的试验环境，试验环境温度为（25±2）℃，有独立试验温度要求的按照独立要求进行试验。

第 7 章的试验环境应使用 6.2 中规定的图 1。第 8 章、第 10 章、第 11 章、12.1 和 12.7 应使用 6.3 中规定的图 2。第 9 章、12.4.3 和 12.4.4 的试验环境应使用 6.4 中规定的图 3 或 6.5 中规定的图 4。12.2、12.3、12.4.1 和 12.4.2 的试验环境应使用 6.6 规定的图 5。12.5 的试验环境应使用 6.7 规定的图 6。12.6 的试验环境应使用 6.8 规定的图 7。

对于满足 HSMT 视频协议的正向节点，测试时试验环境中的反向节点为标准模块，正向节点为厂商待测件。对于满足 HSMT 视频协议的反向节点，测试时试验环境中的正向节点为标准模块，反向节点为厂商待测件。

为了简化描述，11.1 和 12.3 中 I2C 测试用例未说明是透传模式，均为非透传模式。

为保证测试结果有效性，对于本文件第 7 章中规定的全部电气指标测试项，进行测试时的芯片配置应采用同一套，且应与商用数据传输状态配置相同，仅通过修改测试模式完成测试。

表3　为正向速率挡位1下链路协商帧、链路训练帧和链路重建消息配置的示例。

表 3　PCS 测试配置示例

类型	字段	比特数	设置值	说明
协商请求帧	正向静默时长	6	1	4 ms
协商请求帧	正向速率挡位 1-NRZ 训练时长	6	1	4.608 ms
协商响应帧	反向静默时长	6	1	4 ms
协商响应帧	反向速率挡位 1，NRZ 训练时长	6	1	4.608 ms
链路训练帧	预加重挡位	4	0	P0 挡位
链路训练帧	正向数据域传输 PLDB 数量	4	0000	4 个 PLDB
链路训练帧	反向数据域传输 PLDB 数量	4	0010	16 个 PLDB
链路训练帧	交织深度	2	01	1 倍交织
链路训练帧	正向单 PLDB 重传	1	0	不开启或不支持
链路训练帧	图像业务包可选字段	1	0	不支持
链路重建	链路训练静默时长	6	1	4 ms
链路重建	链路训练时长	6	1	4.608 ms

表4　为图像业务测试时图像分辨率和帧率的示例。

表 4　图像业务设置示例

图像配置	设置
图像分辨率	1080 P
图像帧率	30 fps

表 5　为测试时重传参数的示例。

表 5　重传设置示例

协议栈	类型	设置
物理层	正向多PLDB重传	打开，重传次数 = 2
	正向单PLDB重传	关闭
	反向PLDB重传	关闭
媒体封装层	图像业务	关闭
	音频业务	关闭
	GPIO故障上报和故障透传	关闭
	I2C控制业务	打开，重传次数 = 1
	SPI控制业务	打开，重传次数 = 1

表 6　为测试时节点地址的示例。

表 6　节点源地址设置示例

节点类型	源地址值	
	上电初始值	默认配置值
反向节点	0x00	0x05
正向节点1	0x00	0x01
正向节点2	0x00	0x02
正向节点3	0x00	0x03
正向节点4	0x00	0x04

表7　为图像业务测试时，摄像头场景媒体封装包设置的示例。

表 7　图像业务摄像头场景媒体封装包设置示例

媒体封装包字段	设置
子业务类型	根据第 9 章测试项中待测图像格式设置
帧翻转	不使能
行分段	不启用
行号	不使能
流 ID	0

6.2　试验环境 1



图 1　试验环境 1

6.3　试验环境 2



图 2　试验环境 2

6.4　试验环境 3

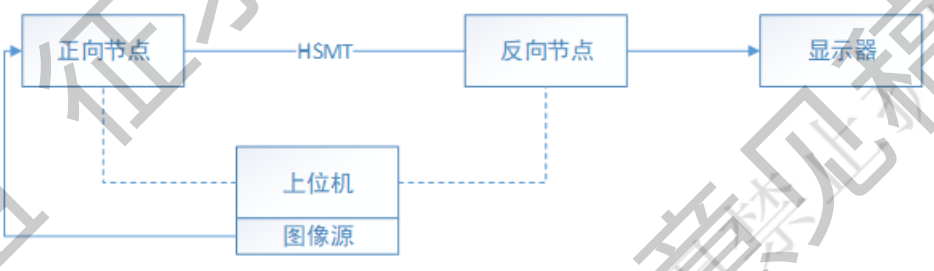


图 3　试验环境 3

6.5　试验环境 4

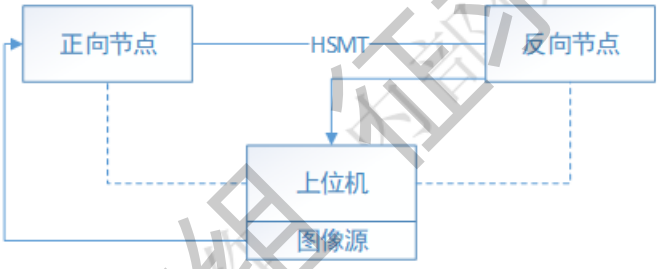


图 4　试验环境 4

6.6　试验环境 5

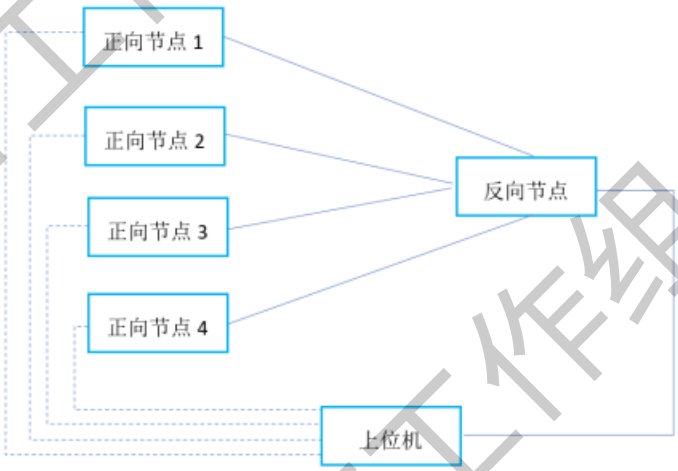


图 5　试验环境 5

6.7　试验环境 6

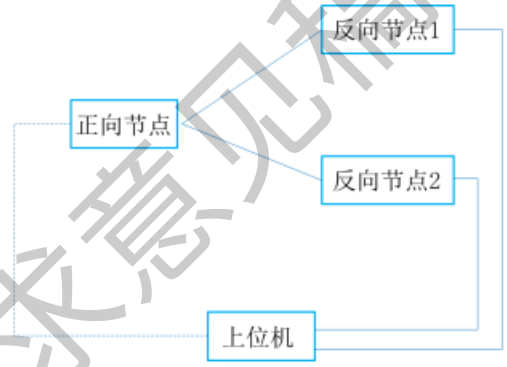


图 6　试验环境 6

6.8　试验环境 7

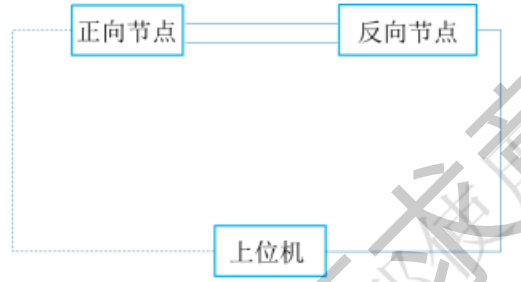


图 7　试验环境 7

7　电气指标

7.1　发射机测试（摄像头/显示）

7.1.1　信号眼图（差分）

7.1.1.1　试验步骤

a)　上位机配置待测节点为测试模式 1、速率挡位为待测 NRZ 挡位；
b)　待测节点上电；
c)　通过示波器测量待测节点输出差分信号眼图，示波器设置如下表；

表 8　示波器设置

配置		设置
规格	带宽	波特率一半的 5 倍
	采样率	≥ 待测挡位信号时钟频率的 2 倍，且为 40GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆 SMA 线缆
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测挡位
	PLL Specification	OJTF
	阻尼比	0.707
	测量符号数	≥ 100 万个
	存储深度	＞ 1 Mpts

d)　待测节点下电；
e)　对其他所有支持的待测 NRZ 挡位重复步骤 a)到 d)。

7.1.1.2　通过准则

所有测量的信号眼图满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中信号眼图的要求。

7.1.2 功率谱密度（差分）

7.1.2.1 试验步骤

a) 上位机配置待测节点为测试模式 1、速率挡位为待测挡位；
b) 待测节点上电；
c) 通过示波器测量待测节点的输出差分信号时域波形，示波器设置如下表。在进行正向节点信号 PSD 测试时，示波器至少以 8 倍过采样采集至少 64 μs 的正向信号。在进行反向节点信号 PSD 测试时，示波器至少以 8 倍过采样采集至少 256 μs 的反向信号。

表 9 示波器设置

配置		设置
规格	带宽	波特率一半的 5 倍
	采样率	≥ 待测挡位信号时钟频率的 2 倍，且为 40GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆 SMA 线缆
时钟恢复	时基	60 μs/div
	存储深度	＞ 48 Mpts
处理算法	处理算法	Welch

d) 对信号时域波形进行快速傅里叶变换，得到信号 PSD；
e) 待测节点下电；
f) 对所有支持的待测挡位重复步骤 a)至 e)。

7.1.2.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，所有测得的信号 PSD 满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中正向功率谱密度指标的要求。

如果待测节点为反向节点，所有测得的信号 PSD 满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中反向功率谱密度指标的要求。

7.1.3 最大输出顶降（差分）

7.1.3.1 试验步骤

a) 上位机配置待测节点为测试模式 2、速率挡位为待测挡位；
b) 待测节点上电；
c) 通过示波器测量并计算输出差分信号最大输出顶降；
d) 待测节点下电；
e) 对所有支持的待测挡位重复步骤 a)至 d)。

7.1.3.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，所有测得的信号最大输出顶降满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中正向信号最大输出顶降的要求。

如果待测节点为反向节点，所有测得的信号最大输出顶降满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中反向信号最大输出顶降的要求。

7.1.4 时钟频偏（差分）

7.1.4.1 试验步骤

a) 上位机配置待测节点为测试模式 3，速率挡位为待测挡位；

b) 待测节点上电；
c) 按照如下表中配置设置示波器测量参数；

表 10 示波器设置

配置		设置
规格	带宽	波特率一半的 5 倍
	采样率	≥ 待测挡位信号时钟频率的 2 倍，宜为 40GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆 SMA 线缆
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	抖动、噪声
	选择抖动分解的 RJ 方法	Spectral only
	选择噪声分解的 RN 方法	Spectral only
测量设置	测量时钟抖动类型	时间间隔误差（TIE）
	信号跳变沿	双沿
	测量位置	50%
	测试信号类型	周期性码型
	长度	自动检测周期长度
	误码率	10^{-12}
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测挡位
	PLL Specification	OJTF
	带宽与速率比	1/1667
	阻尼比	0.707
	测量符号数	≥ 100 万个
	存储深度	＞ 1 Mpts

d) 通过示波器测量待测节点输出差分信号时钟频率，测试时，示波器设置如上表：
e) 计算时钟频偏；
f) 待测节点下电；
g) 对所有支持的待测挡位重复步骤 a)到 f)。

7.1.4.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，所有测量的时钟频偏满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中正向信号时钟频偏的要求。

如果待测节点为反向节点，所有测量的时钟频偏满足 HSMT 视频协议 5.7 章节中反向信号时钟频偏的要求。

7.1.5 时钟抖动（差分）

7.1.5.1 试验步骤

a) 上位机配置待测节点为测试模式 3，速率挡位为待测挡位；
b) 待测节点上电；
c) 通过示波器测量待测节点输出差分信号在误码率为 10^{-6} 的时钟总抖动，以皮秒为单位。时钟总抖动包括随机抖动和确定性抖动。测试时，示波器设置如下表：

表 11 示波器设置

配置		设置
规格	带宽	波特率一半的 5 倍
	采样率	≥ 待测挡位信号时钟频率的 2 倍，宜为 40GS/s
线缆和连接器	线缆	50 欧姆 SMA 线缆
测量类型	选择进行抖动或噪声的分解	抖动、噪声
	选择抖动分解的 RJ 方法	Spectral only
	选择噪声分解的 RN 方法	Spectral only

配置		设置
测量设置	测量时钟抖动类型	时间间隔误差（TIE）
	信号跳变沿	双沿
	测量位置	50%
	测试信号类型	周期性码型
	长度	自动检测周期长度
	误码率	10^{-6}
时钟恢复	时钟恢复方法	二阶锁相环
	Nominal Data Rate	待测挡位
	PLL Specification	OJTF
	带宽与速率比	1/1667
	阻尼比	0.707
	测量符号数	≥ 100 万个
	存储深度	＞ 1 Mpts

d) 待测节点下电；
e) 对所有支持的待测挡位重复步骤 a)至 d)。

7.1.5.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，所有测量的时钟频偏满足 HSMT 视频协议 5.7 章节 5.7 中正向信号时钟抖动的要求。

如果待测节点为反向节点，所有测量的时钟频偏满足 HSMT 视频协议 5.7 章节 5.7 中反向信号时钟抖动的要求。

7.1.6 信号眼图（单端）

7.1.6.1 试验步骤

与 7.1.1.1 相同，步骤 c) 中测试待测节点输出单端信号的眼图。

7.1.6.2 通过准则

与 7.1.1.2 相同。

7.1.7 功率谱密度（单端）

7.1.7.1 试验步骤

与 7.1.2.1 相同，步骤 c) 中测试待测节点输出单端信号的功率谱密度。

7.1.7.2 通过准则

与 7.1.2.2 相同。

7.1.8 最大输出顶降（单端）

7.1.8.1 试验步骤

与 7.1.3.1 相同，步骤 c) 中测试待测节点输出单端信号的最大输出顶降。

7.1.8.2 通过准则

与 7.1.3.2 相同。

7.1.9 时钟频偏（单端）

7.1.9.1 试验步骤

与 7.1.4.1 相同，步骤 d) 中测试待测节点输出单端信号的时钟频偏。

7.1.9.2 通过准则

与 7.1.4.2 相同。

7.1.10 时钟抖动（单端）

7.1.10.1 试验步骤

与7.1.5.1 相同，步骤c) 中测试待测节点输出单端信号的时钟抖动。

7.1.10.2 通过准则

与 7.1.5.2 相同。

8 基础功能

8.1 连通性测试（摄像头/显示）

8.1.1 自动连通性

8.1.1.1 试验步骤

按照 HSMT 视频协议中 6.2.1 规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

8.1.1.2 通过准则

试验环境 2：各测试循环中反向节点和正向节点均完成自动连通。

表 12 自动连通性测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境	速率配置
8.1.1	1	2	正向速率挡位配置为待测挡位

8.1.2 链路建立时间

8.1.2.1 试验步骤

按照HSMT视频协议中6.2.2规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

8.1.2.2 通过准则

试验环境2：各测试循环中反向节点和正向节点链路建立时间均小于等于100 ms。

表 13 链路建立时间测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境
8.1.2	1	2

8.1.3 节点重上电

8.1.3.1 试验步骤

按照HSMT视频协议中6.2.3规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

8.1.3.2 通过准则

试验环境 2：各测试循环中步骤 e)、i) 及 m)中节点均完成自动恢复连通。

表 14 节点重上电测试环境

用例编号	组网方式	试验环境
8.1.3	1	2

8.1.4 线缆重连接

8.1.4.1 试验步骤

按照HSMT视频协议中6.2.4规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

8.1.4.2 通过准则

试验环境 2：步骤 g) 和 h) 的各测试循环中节点均完成自动恢复连通。

表 15 线缆重连接测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境
8.1.4	1	2

8.2 链路重建（摄像头/显示）

8.2.1 正向节点发起链路重建成功

8.2.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点发起链路重建请求消息；
e) 反向节点收到链路重建请求消息，发送链路重建响应消息，状态字段 = 0（接受链路重建请求），发送后进入链路训练状态；
f) 正向节点收到状态字段为0的链路重建响应消息，进入链路训练状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a) 至g) 10次。

8.2.1.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 e) 中进入链路训练状态。
如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 f) 中进入链路训练状态。

8.2.2 反向节点发起链路重建成功

8.2.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发起链路重建请求消息；
e) 正向节点收到链路重建请求消息，发送链路重建响应消息，状态字段 = 0（接受链路重建请求），发送后进入链路训练状态；
f) 反向节点收到状态字段为0的链路重建响应消息，进入链路训练状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a) 至g) 10次。

8.2.2.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤e)中进入链路训练状态。
如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤f)中进入链路训练状态。

8.2.3 正向节点拒绝链路重建请求

8.2.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发起链路重建请求消息；
e) 上位机控制正向节点收到链路重建请求消息，发送链路重建响应消息，状态字段 = 1（拒绝链路重建请求）；
f) 反向节点收到状态字段为1的链路重建响应消息，保持在数据传输状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.2.3.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤f)中保持在数据传输状态。

8.2.4 反向节点拒绝链路重建请求

8.2.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点发起链路重建请求消息；
e) 上位机控制反向节点收到链路重建请求消息，发送链路重建响应消息，状态字段 = 1（拒绝链路重建请求）；
f) 正向节点收到状态字段为1的链路重建响应消息，保持在数据传输状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.2.4.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤f)中保持在数据传输状态。

8.2.5 正向节点发起链路重建请求，未收到反向节点链路重建响应

8.2.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点发起链路重建请求消息；
e) 上位机控制反向节点收到链路重建请求消息，不发送链路重建响应消息；
f) 正向节点未收到链路重建响应消息，保持在数据传输状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.2.5.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤f)中保持在数据传输状态。

8.2.6 反向节点发起链路重建请求，未收到正向节点链路重建响应

8.2.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发起链路重建请求消息；
e) 上位机控制正向节点收到链路重建请求消息，不发送链路重建响应消息；
f) 反向节点未收到链路重建响应消息，保持在数据传输状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.2.6.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤f)中保持在数据传输状态。

8.2.7 正向节点发起链路重建流程，重建参数与协商参数不同

8.2.7.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点发起链路重建请求消息（链路训练静默时长、重建挡位、链路训练时长与链路协商时不同）；
e) 反向节点收到链路重建请求消息，发送链路重建响应消息，状态字段 = 0（接受链路重建请求），发送后进入链路训练状态；
f) 正向节点收到状态字段为0的链路重建响应消息，进入链路训练状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.2.7.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤e)中进入链路训练状态。
如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤f)中进入链路训练状态。

8.2.8 反向节点发起链路重建流程，重建参数与协商参数不同

8.2.8.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发起链路重建请求消息（链路训练静默时长、重建挡位、链路训练时长与链路协商时不同）；

e) 正向节点收到链路重建请求消息，发送链路重建响应消息，状态字段 = 0（接受链路重建请求），发送后进入链路训练状态；
f) 反向节点收到状态字段为0的链路重建响应消息，进入链路训练状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.2.8.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤e)中进入链路训练状态。
如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤f)中进入链路训练状态。

8.3 线缆故障诊断（摄像头/显示）

按照HSMT视频协议中的6.4.1规定的试验步骤和通过准则进行测试，应覆盖下表中全部故障类型。

表16 线缆故障类型

序列号	线束类型	线束故障注入	线束故障类型
8.3.1	同轴线	信号线开路	同轴线开路
8.3.2	同轴线	信号线对地短路	同轴线短路
8.3.3	双绞线	信号线+开路	双绞线单线开路
8.3.4	双绞线	信号线-开路	双绞线单线开路
8.3.5	双绞线	信号线+和信号线-同时开路	双绞线双线开路
8.3.6	双绞线	信号线+对地短路	双绞线线对地短路
8.3.7	双绞线	信号线-对地短路	双绞线线对地短路
8.3.8	双绞线	信号线+和信号线-对地短路	双绞线线对地短路
8.3.9	双绞线	信号线+和信号线-短路	双绞线线间短路

8.4 链路协商（摄像头/显示）

8.4.1 节点链路协商成功

8.4.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
d) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功）；
e) 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，连续发送40个协商结束帧；
f) 反向节点发送协商结束帧，发送结束后，进入链路训练状态；
g) 正向节点收到协商结束帧，接收结束后，进入链路训练状态；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 重复步骤a)至h) 10次；
j) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i)。

8.4.1.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤e)中最后一个协商响应帧的帧递减计数器为0，协商状态字段为111（协商成功）；步骤f)中进入链路训练状态。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中最后一个协商结束帧的帧递减计数器为0，进入链路训练状态。

8.4.2 反向节点未收到协商响应

8.4.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段0（数据传输模式）；
d) 上位机控制正向节点不发送协商响应帧；
e) 反向节点接收协商响应帧超时，再次连续发送40个协商请求帧；
f) 正向节点和反向节点下电；
g) 重复步骤a)至f) 10次。

8.4.2.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在步骤 e)中保持在链路协商状态，连续发送 40 个协商请求帧。

8.4.3 反向节点协商进入测试模式

8.4.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为测试模式1；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
d) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功），工作模式字段为1（测试模式1）；
e) 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，进入测试模式1；
f) 正向节点和反向节点下电；
g) 节点初始化配置为测试模式2；
h) 正向节点和反向节点上电；
i) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
j) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功），工作模式字段为2（测试模式2）；
k) 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，进入测试模式2；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 节点初始化配置为测试模式3；
n) 正向节点和反向节点上电；
o) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
p) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功），工作模式字段为3（测试模式3）；
q) 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，进入测试模式3；
r) 正向节点和反向节点下电；
s) 重复步骤a)至r) 10次。

8.4.3.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 e)中进入测试模式 1，步骤 k)中进入测试模式 2，步骤 q)中进入测试模式 3。

8.4.4 正向节点协商进入测试模式

8.4.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为测试模式1；

b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为1（测试模式1）；
d) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，进入测试模式1；
f) 正向节点和反向节点下电；
g) 节点初始化配置为测试模式2；
h) 正向节点和反向节点上电；
i) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为2（测试模式2）；
j) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，进入测试模式2；
k) 正向节点和反向节点下电；
l) 节点初始化配置为测试模式3；
m) 正向节点和反向节点上电；
n) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为3（测试模式3）；
o) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，进入测试模式3；
p) 正向节点和反向节点下电；
q) 重复步骤a)至p) 10次。

8.4.4.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤d)中进入测试模式1，步骤j)中进入测试模式2，步骤o)中进入测试模式3。

8.4.5 节点协商结果为正向速率不匹配

8.4.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式，正向节点和反向节点速率挡位不一致；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
d) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为000（正向速率不匹配），工作模式字段为0（数据传输模式）；
e) 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，连续发送40个协商请求帧；
f) 正向节点进入链路协商状态，再次接收协商请求帧；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 重复步骤a)至g) 10次。

8.4.5.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤e)中反向节点连续发送40个协商请求帧，状态为链路协商状态。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤f)中正向节点进入链路协商状态，再次接收协商请求帧。

8.4.6 正向节点回复协商响应后，未收到协商结束或协商请求

8.4.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段0（数据传输模式）；
d) 正向节点接收协商请求帧结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功）；
e) 上位机控制反向节点不发送协商结束帧，且不发送协商请求帧

f） 正向节点未收到协商结束帧和协商请求帧，进入链路协商状态，准备接收协商请求帧；
g） 正向节点和反向节点下电；
h） 重复步骤a)至g）10次。

8.4.6.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤e)中，正向节点进入链路协商状态。

8.4.7 正向节点回复协商响应后，收到协商请求

8.4.7.1 试验步骤

a） 节点初始化配置为数据传输模式；
b） 正向节点和反向节点上电；
c） 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段0（数据传输模式）；
d） 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功）；
e） 上位机控制反向节点收到协商响应帧后发送协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
f） 正向节点收到协商请求帧，不再接收协商结束帧，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功）；
g） 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，连续发送40个协商结束帧；
h） 正向节点收到协商结束帧，接收结束后，进入链路训练状态；
i） 正向节点和反向节点下电；
j） 重复步骤a)至i）10次。

8.4.7.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤f)正向节点应对协商请求帧进行处理并不再接收协商结束帧，步骤h)中正向节点进入链路训练状态。

8.5 链路训练（摄像头/显示）

8.5.1 节点链路训练成功

8.5.1.1 试验步骤

a） 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b） 正向节点和反向节点上电；
c） 正向节点和反向节点链路协商成功，进入链路训练状态；
d） 正向节点和反向节点进入正向静默状态
e） 正向节点和反向节点进入反向静默状态；
f） 正向节点在NRZ训练时长内连续发送采用NRZ调制的正向链路训练帧，若正向速率挡位为PAM4调制，正向节点在PAM4训练时长内连续发送采用PAM4调制的正向链路训练帧；
g） 反向节点在反向链路训练时间内连续发送采用NRZ调制的反向链路训练帧；
h） 链路训练成功，节点进入数据传输状态；
i） 正向节点和反向节点下电；
j） 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）10次。

8.5.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤h)中正向节点和反向节点均进入数据传输状态，接收到的最后一个训练帧递减计数器为0，过程指示字段为1（训练完成），训练结果字段为1（训练成功）。

8.5.2 正向链路训练失败

8.5.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商成功，进入链路训练状态；
d) 正向节点和反向节点进入正向静默状态；
e) 正向节点和反向节点进入反向静默状态；
f) 正向节点在NRZ训练时长内连续发送采用NRZ调制的正向链路训练帧，若正向速率挡位为PAM4调制，正向节点在PAM4训练时长内连续发送采用PAM4调制的正向链路训练帧；
g) 反向节点在反向链路训练时间内连续发送采用NRZ调制的反向链路训练帧；
h) 上位机控制正向节点发送正向链路训练帧，过程指示字段为1（训练完成），训练结果字段为0（训练失败）；
i) 节点链路训练失败，进入链路协商状态；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 对所有支持的速率挡位重复步骤a)至j) 10次。

8.5.2.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 i)中反向节点进入链路协商状态。

8.5.3 反向链路训练失败

8.5.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商成功，进入链路训练状态；
d) 正向节点和反向节点进入正向静默状态
e) 正向节点和反向节点进入反向静默状态；
f) 正向节点在NRZ训练时长内连续发送采用NRZ调制的正向链路训练帧，若正向速率挡位为PAM4调制，正向节点在PAM4训练时长内连续发送采用PAM4调制的正向链路训练帧；
g) 反向节点在反向链路训练时间内连续发送采用NRZ调制的反向链路训练帧；
h) 上位机控制反向节点发送反向链路训练帧，过程指示字段为1（训练完成），训练结果字段为0（训练失败）；
i) 节点链路训练失败，进入链路协商状态；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 对所有支持的速率挡位重复步骤a)至j) 10次。

8.5.3.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 i)中正向节点均进入链路协商状态。

8.6 正向物理层重传（摄像头/显示）

8.6.1 多 PLDB 正向重传成功

8.6.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；

HSMT工作组征求意见稿

c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同
e) 正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB之后全部PLDB进行重传，重传ID为起始PLDB的ID；
f) 反向节点正确接收到期望的重传PLDB，退出PLDB重传接收；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g）10次。

8.6.1.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 d)中发送的正向物理层重传消息，M 字段 = 1（多 PLDB 重传），Q 字段 = 0（继续接收待重传 PLDB）；步骤 f)中不再发送该正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 e)中重传该 PLDB 的 ID 与正向物理层重传消息中的重传 ID 相同。

8.6.2 多 PLDB 正向重传，未接收到期望的重传 PLDB

8.6.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 上位机控制正向节点接收到该正向物理层重传消息，不发送该PLDB；
f) 反向节点未正确接收到期望的重传PLDB，再次发送正向物理层重传消息；
g) 正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB之后全部PLDB进行重传，重传ID为起始PLDB的ID；
h) 反向节点正确接收到期望的重传PLDB，退出PLDB重传接收；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）10次。

8.6.2.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 d)中的正向物理层重传消息，M 字段 = 1（多 PLDB 重传），Q 字段 = 0（继续接收待重传 PLDB）；步骤 f)中的正向物理层重传消息与步骤 d)一致；步骤 h)中不再发送正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 g)中重传该 PLDB 的 ID 与正向物理层重传消息中的重传 ID 相同。

8.6.3 正向节点主动终止多 PLDB 正向重传

8.6.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 上位机控制正向节点接收到Q字段为0的正向物理层重传消息，发送TE值取反的其他PLDB；
f) 反向节点收到TE值取反的其他PLDB，退出PLDB重传接收；

g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.6.3.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB）；步骤f)中，反向节点退出PLDB重传接收，不再对该PLDB发送正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤e)中发送的PLDB，TE值与重传PLDB取反，PLDB的ID与正向物理层重传消息中的重传ID不同。

8.6.4 反向节点主动终止多PLDB正向重传

8.6.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB之后全部PLDB进行重传，重传ID为起始PLDB的ID；
f) 上位机控制反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 1（退出接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
g) 正向节点收到该正向物理层重传消息，发送TE值取反的其他PLDB；
h) 反向节点收到TE值取反的其他PLDB，退出PLDB重传接收；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i) 10次。

8.6.4.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB）；步骤f)中发送的LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值不同；步骤h)中不再发送该正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中正向节点发送的PLDB ID与正向物理层重传消息的PLDB不同，TE值与重传PLDB取反。

8.6.5 多PLDB正向物理层重传消息LTE字段与正向PLDB的TE字段不一致

8.6.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 上位机控制正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB进行重传，重传ID为该PLDB的ID；
f) 上位机控制反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值不同；
g) 正向节点收到该正向物理层重传消息，忽略此正向物理层重传消息，不对反向节点请求的PLDB进行重传；

h) 正向节点和反向节点下电；
i) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

8.6.5.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 1（多PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB）；步骤f)中发送的LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值不同。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中正向节点发送的PLDB ID与正向物理层重传消息的PLDB不同。

8.6.6 单PLDB正向重传成功

8.6.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，重传ID为该PLDB的ID，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB进行重传，重传ID为该PLDB的ID；
f) 反向节点正确接收到期望的重传PLDB，退出PLDB重传接收；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.6.6.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB；步骤f)中不再发送正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤e)中重传该PLDB的ID与正向物理层重传消息中的重传ID相同。

8.6.7 单PLDB正向重传，未接收到期望的重传PLDB

8.6.7.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 上位机控制正向节点接收到该正向物理层重传消息，不发送该PLDB；
f) 反向节点未正确接收到期望的重传PLDB，再次发送正向物理层重传消息；
g) 正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB进行重传，重传ID为该PLDB的ID；
h) 反向节点正确接收到期望的重传PLDB，退出PLDB重传接收；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i) 10次。

8.6.7.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中的正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB）；步骤f)中的正向物理层重传消息与步骤d)一致；步骤h)中不再发送正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中重传该PLDB的ID与正向物理层重传消息中的重传ID相同。

8.6.8 正向节点主动终止单PLDB正向重传

8.6.8.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 上位机控制正向节点接收到Q字段为0的正向物理层重传消息，发送TE值取反的其他PLDB；
f) 反向节点收到TE值取反的其他PLDB，退出PLDB重传接收。
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.6.8.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB）；步骤f)中，反向节点退出PLDB重传接收，不再对该PLDB发送正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤e)中发送的PLDB，TE值与重传PLDB取反，PLDB的ID与正向物理层重传消息中的重传ID不同。

8.6.9 反向节点主动终止单PLDB正向重传

8.6.9.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同
e) 正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB进行重传，重传ID为该PLDB的ID；
f) 上位机控制反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 1（退出接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
g) 正向节点收到该正向物理层重传消息，发送TE值取反的其他PLDB；
h) 反向节点收到TE值取反的其他PLDB，退出PLDB重传接收；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i) 10次。

8.6.9.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB）；步骤f)中发送的LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值不同；步骤h)中不再发送该正向物理层重传消息。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中正向节点发送的PLDB ID与正向物理层重传消息的PLDB不同，TE值与重传PLDB取反。

8.6.10 单PLDB正向物理层重传消息LTE字段与正向PLDB的TE字段不一致

8.6.10.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值相同；
e) 上位机控制正向节点接收到该正向物理层重传消息，对反向节点请求的PLDB进行重传，重传ID为该PLDB的ID；
f) 上位机控制反向节点发送正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），其LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值不同；
g) 正向节点收到该正向物理层重传消息，忽略此正向物理层重传消息，不对反向节点请求的PLDB进行重传；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

8.6.10.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的正向物理层重传消息，M字段 = 0（单PLDB重传），Q字段 = 0（继续接收待重传PLDB），步骤f)中发送的LTE字段与当前正向PLDB控制头中TE字段的值不同。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中正向节点发送的PLDB ID与正向物理层重传消息的PLDB不同。

8.7 反向物理层重传（摄像头/显示）

8.7.1 反向物理层重传成功

8.7.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点发送反向物理层重传消息；
e) 反向节点接收到该反向物理层重传消息，对正向节点请求的PLDB进行重传，该PLDB的PLDB ID与反向物理层重传消息的重传ID相同；
f) 正向节点正确接收到期望的重传PLDB，退出PLDB重传接收；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.7.1.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的反向物理层重传消息为正向不可重传PLDB。

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤e)中重传该PLDB的PLDB ID与正向物理层重传消息中的重传ID相同。

HSMT工作组征求意见稿

8.7.2 未接收到期望的重传 PLDB，退出反向物理层重传

8.7.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点发送反向物理层重传消息；
e) 上位机控制反向节点接收到该反向物理层重传消息，不对正向节点请求的PLDB进行重传；
f) 正向节点未正确接收到期望的重传PLDB，退出PLDB重传接收；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

8.7.2.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤d)中发送的反向物理层重传消息为正向不可重传PLDB；步骤f)不再发送反向物理层重传消息。

8.8 媒体封装包重传（摄像头/显示）

8.8.1 B 类媒体封装包重传

8.8.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 配置正向节点和反向节点，开启B类媒体封装包重传功能；
e) 节点发送B类媒体封装包；
f) 节点未接收到该媒体封装包的媒体封装层传输确认包；
g) 节点再次发送B类媒体封装包；
h) 节点接收到该媒体封装包的媒体封装层传输确认包；
i) 重复步骤e)至h) 10次；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次。

8.8.1.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，各试验循环的步骤 g)和步骤 e)中 B 类媒体封装包链路序列号相同。
如果待测节点为反向节点，各试验循环的步骤 g)和步骤 e)中 B 类媒体封装包链路序列号相同。

8.8.2 节点丢弃链路序列号相同的 B 类媒体封装包

8.8.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 配置正向节点和反向节点，开启B类媒体封装包重传功能；
e) 节点发送B类媒体封装包；
f) 节点收到该媒体封装包的媒体封装层传输确认包；
g) 节点发送下一个B类媒体封装包，链路序列号与步骤d)相同；
h) 节点发送该媒体封装包的媒体封装层传输确认包，丢弃该媒体封装包；

i） 重复步骤e）至h） 10次；
j） 正向节点和反向节点下电；
k） 对所有支持的待测挡位重复步骤a）至j） 10次。

8.8.2.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤h）中发送该B类媒体封装包的传输确认包。
如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤h）中发送该B类媒体封装包的传输确认包。

8.8.3 B类媒体封装包重传，超过最大重传次数

8.8.3.1 试验步骤

a） 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b） 正向节点和反向节点上电；
c） 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d） 配置正向节点和反向节点，开启B类媒体封装包重传功能；
e） 节点发送B类媒体封装包；
f） 节点未接收到该媒体封装包的媒体封装层传输确认包；
g） 节点再次发送B类媒体封装包；
h） 重复步骤f）至g），次数超过重传预设门限；
i） 节点发送下一个B类媒体封装包；
j） 节点收到该媒体封装包的媒体封装层传输确认包；
k） 重复步骤e）至j） 10次；
l） 正向节点和反向节点下电；
m） 对所有支持的待测挡位重复步骤a）至l）。

8.8.3.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g）和步骤e）中，正向节点发送的B类媒体封装包链路序列号一致；步骤i）和步骤e）中节点发送的B类媒体封装包链路序列号不一致。

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤g）和步骤e）中，反向节点发送的B类媒体封装包链路序列号一致；步骤i）和步骤e）中节点发送的B类媒体封装包链路序列号不一致。

9 图像业务

9.1 RAW图像业务（摄像头）

9.1.1 试验步骤

a） 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b） 正向节点和反向节点上电；
c） 正向节点和反向节点经过链路协商和链路训练流程进入数据传输状态；
d） 选择标准设备生成RAW格式的图像数据，图像数据为彩色Color Bar图像或已知图片灌流，图像分辨率和帧率按照表4 设置，图像业务媒体封装包设置按照表7 设置；
e） 将标准图像数据传输给正向节点；
f） 正向节点将标准图像数据传输给反向节点；
g） 反向节点接收图像业务数据并送显；
h） 正向节点和反向节点下电；
i） 对所有支持的待测挡位重复步骤a）至h） 10次。
j） 在下表中各图像格式下重复步骤a）至i）；

9.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)中RS无报错，RAW图像业务子业务类型字段与下表一致；帧首嵌入数据、帧尾嵌入数据、消隐、图像数据正确传输，图像二进制数据与步骤e)中一致。

表 17 RAW 图像格式

编号	图像格式	图像子业务类型字段
9.1.1	RAW8	0x18
9.1.2	RAW10	0x19
9.1.3	RAW12	0x1A
9.1.4	RAW14	0x1B
9.1.5	RAW16	0x1C
9.1.6	RAW20	0x1D
9.1.7	RAW24	0x1E

9.2 YUV 图像业务（摄像头/显示）

9.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点经过链路协商和链路训练流程进入数据传输状态；
d) 选择标准设备生成YUV格式的图像数据，图像数据为彩色Color Bar图像或已知图片灌流，图像分辨率和帧率按照表4 设置，图像业务媒体封装包设置按照表7 设置；
e) 将标准图像数据传输给正向节点；
f) 正向节点将标准图像数据传输给反向节点；
g) 反向节点接收数据并送显；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次；
j) 在下表中各图像格式下重复步骤a)至i)。

9.2.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)中RS无报错，YUV图像业务子业务类型字段与下表一致；帧首嵌入数据、帧尾嵌入数据、消隐、图像数据正确传输，图像二进制数据与步骤e)中一致。

表 18 YUV 图像格式

编号	图像格式	图像子业务类型字段
9.2.1	YUV422 8bit	0x23
9.2.2	YUV422 10bit	0x24
9.2.3	YUV420 8bit	0x20
9.2.4	YUV420 10bit	0x21
9.2.5	YUV420 12bit	0x22
9.2.6	Loosely YUV422 10bit	0x25
9.2.7	YUV422 12bit	0x26

9.3 RBG 图像业务（摄像头/显示）

9.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；

b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点经过链路协商和链路训练流程进入数据传输状态；
d) 选择标准设备生成RGB格式的图像数据，图像数据为彩色Color Bar图像或已知图片灌流，图像分辨率和帧率按照表4 设置，图像业务媒体封装包设置按照表7 设置；
e) 将标准图像数据传输给正向节点；
f) 正向节点将标准图像数据传输给反向节点；
g) 反向节点接收数据并送显；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次；
j) 在下表中各图像格式下重复步骤a)至i)。

9.3.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)中RS无报错，RGB图像业务子业务类型字段与下表一致；帧首嵌入数据、帧尾嵌入数据、消隐、图像数据正确传输，图像二进制数据与步骤e)中一致。

表 19 RGB 图像格式

编号	图像格式	图像子业务类型字段
9.3.1	RGB888	0x2A
9.3.2	RGB565	0x2D
9.3.3	RGB666	0x28
9.3.4	Loosely RGB666	0x29
9.3.5	RGB10-10-10	0x2B
9.3.6	RGB12-12-12	0x2C

9.4 DSC 图像业务（显示 TBD）

10 音频业务

10.1 音频业务测试

10.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点通过链路协商和链路训练流程，或者通过上位机配置直接进入数据传输状态；
d) 选择标准设备生成对应格式的音频数据；
e) 将标准音频数据传输给正向节点；
f) 反向节点接收音频数据并播放音频；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g) 10次。

10.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中应满足：RS无报错，音频业务子业务类型字段正确，音频正确出声。

11 控制业务

11.1 I2C 控制业务（摄像头/显示）

11.1.1 I2C 透传模式写远端 I2C 端口

11.1.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节，数据字节）给本地节点；
e) 本地节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C控制信令按照I2C总线时序逐条发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
g) 上位机逐条发送I2C ACK/NACK给远端节点；
h) 远端节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C ACK/NACK按照I2C总线时序逐条发送给本地节点。
i) 本地节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C ACK/NACK在对应的I2C端口发送给上位机；
j) 重复步骤d)至i）10次；
k) 正向节点和反向节点下电；
l) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至k）10次。

11.1.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤 f)和步骤 i)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为 0x2（I2C/SPI/UART 控制业务），确认的子业务类型为 00（I2C 透传）；步骤 d)和步骤 f)中的 I2C 控制指令相同，步骤 g)和步骤 i)中的 I2C ACK/NACK 相同。

11.1.2 I2C 透传模式读远端 I2C 端口

11.1.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节）给本地节点；
e) 本地节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C控制信令按照I2C总线时序逐条发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
g) 上位机逐条发送I2C ACK/NACK给远端节点；
h) 远端节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C ACK/NACK按照I2C总线时序逐条发送给本地节点。
i) 本地节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C ACK/NACK在对应的I2C端口发送给上位机；
j) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+读操作）给本地节点；
k) 本地节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C控制信令发送给远端节点；
l) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令在对应的I2C端口发送给上位机；
m) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C ACK，读数据字节）给远端节点；

n) 远端节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C控制指令（读数据字节）按照I2C总线时序逐条发送给本地节点。
o) 本地节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制指令（I2C ACK，读数据字节）在对应的I2C端口发送给上位机；
p) 上位机逐条发送I2C ACK/NACK给本地节点；
q) 本地节点使用子业务类型为I2C透传的媒体封装包将I2C ACK/NACK按照I2C总线时序逐条发送给远端节点。
r) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C ACK/NACK在对应的I2C端口发送给上位机；
s) 重复步骤d)至r） 10次；
t) 正向节点和反向节点下电；
u) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至t） 10次。

11.1.2.2 通过准则

在各试验循环的步骤 f)、步骤 i)、步骤 l)、步骤 o)、步骤 r)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为 0x2（I2C/SPI/UART 控制业务），确认的子业务类型为 00（I2C 透传）；步骤 d)和步骤 f)中的 I2C 控制指令相同，步骤 g)和步骤 i)中的 I2C ACK/NACK 相同；步骤 j)和步骤 l)中的 I2C 控制指令相同，步骤 m)和步骤 o)中的 I2C 控制指令相同，步骤 p)和步骤 r)中的 I2C ACK/NACK 相同。

11.1.3 I2C 写操作远端 I2C 端口

11.1.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节，数据字节）给本地节点；
e) 本地节点逐条回复I2C ACK给上位机；
f) 本地节点使用子业务类型为控制读写的媒体封装包将多条I2C控制信令发送给远端节点；
g) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
h) 上位机逐条回复I2C ACK给远端节点；
i) 远端节点收到上位机最后一条I2C ACK/NACK，使用子业务类型为状态确认的媒体封装包将I2C ACK/NACK发送给本地节点；
j) 本地节点收到远端节点发送的上述媒体封装包时，缓存状态确认信息；
k) 上位机发起新的一次I2C读操作读取本地节点缓存的状态信息；
l) 本地节点将缓存的状态确认信息发送给上位机；
m) 重复步骤d)至l） 10次；
n) 正向节点和反向节点下电；
o) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至n） 10次。

11.1.3.2 通过准则

在各试验循环的步骤 g)和步骤 j)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为 0x2（I2C/SPI/UART 控制业务），确认的子业务类型分别为 01（控制读写）和 10（状态确认）；步骤 g)的 I2C 控制指令中的寄存器地址字节和数据字节与步骤 d)相同；步骤 i)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.1.4 I2C 读操作远端 I2C 端口（携带业务数据和写读间隔）

11.1.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节）给本地节点；
e) 本地节点逐条发送I2C ACK给上位机；
f) 上位机发送I2C控制指令（I2C地址+读操作）给本地节点；
g) 本地节点使用子业务类型为控制读写的I2C端口控制读媒体封装包将多条I2C控制信令发送给远端节点，I2C端口控制读媒体封装包中携带业务数据字段和写读间隔字段；
h) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节，I2C地址+读操作）在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
i) 上位机逐条发送I2C ACK/NAK和I2C控制指令（读数据字节）给远端节点；
j) 远端节点发送给上位机最后一条I2C NACK结束读操作后，使用子业务类型为状态确认的媒体封装包将I2C控制指令（读数据字节）发送给本地节点；
k) 本地节点收到远端节点发送的上述媒体封装包时，发送I2C ACK给上位机和I2C控制指令（读数据字节）给上位机；
l) 上拉机逐条回复I2C ACK/NAK给本地节点；
m) 重复步骤d)至l) 10次；
n) 正向节点和反向节点下电；
o) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至n) 10次。

11.1.4.2 通过准则

在各试验循环的步骤h)和步骤k)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型分别为01（控制读写）和10（状态确认）；步骤i)和步骤k)的I2C控制指令（读数据字节）相同；步骤j)中状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据）。

11.1.5 I2C 读操作远端 I2C 端口（不携带业务数据和写读间隔）

11.1.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节）给本地节点；
e) 本地节点逐条发送I2C ACK给上位机；
f) 上位机发送I2C控制指令（I2C地址+读操作）给本地节点；
g) 本地节点使用子业务类型为控制读写的I2C端口控制读媒体封装包将多条I2C控制信令发送给远端节点，I2C端口控制读媒体封装包中不携带业务数据字段，不携带写读间隔字段；；
h) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节，I2C地址+读操作）在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
i) 上位机逐条发送I2C ACK/NAK和I2C控制指令（读数据字节）给远端节点；
j) 远端节点发送给上位机最后一条I2C NACK结束读操作后，使用子业务类型为状态确认的媒体封装包将I2C控制指令（读数据字节）发送给本地节点；
k) 本地节点收到远端节点发送的上述媒体封装包时，发送I2C ACK给上位机和I2C控制指令（读数据字节）给上位机；
l) 上拉机逐条回复I2C ACK/NAK给本地节点；
m) 重复步骤d)至l) 10次；

n) 正向节点和反向节点下电；
o) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至n) 10次。

11.1.5.2 通过准则

在各试验循环的步骤h)和步骤k)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型分别为01（控制读写）和10（状态确认）；步骤i)和步骤k)的I2C控制指令（读数据字节）相同；步骤j)中状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据）。

11.1.6 I2C 读操作远端 I2C 端口（携带业务数据，不携带写读间隔）

11.1.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节）给本地节点；
e) 本地节点逐条发送I2C ACK给上位机；
f) 上位机发送I2C控制指令（I2C地址+读操作）给本地节点；
g) 本地节点使用子业务类型为控制读写的I2C端口控制读媒体封装包将多条I2C控制信令发送给远端节点，I2C端口控制读媒体封装包携带业务数据字段，不携带写读间隔字段；；
h) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令（I2C地址+写操作，寄存器地址字节，I2C地址+读操作）在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
i) 上位机逐条发送I2C ACK/NAK和I2C控制指令（读数据字节）给远端节点；
j) 远端节点发送给上位机最后一条I2C NACK结束读操作后，使用子业务类型为状态确认的媒体封装包将I2C控制指令（读数据字节）发送给本地节点；
k) 本地节点收到远端节点发送的上述媒体封装包时，发送I2C ACK给上位机和I2C控制指令（读数据字节）给上位机；
l) 上拉机逐条回复I2C ACK/NAK给本地节点；
m) 重复步骤d)至l) 10次；
n) 正向节点和反向节点下电；
o) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至n) 10次。

11.1.6.2 通过准则

在各试验循环的步骤h)和步骤k)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型分别为01（控制读写）和10（状态确认）；步骤i)和步骤k)的I2C控制指令（读数据字节）相同；步骤j)中状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据）。

11.1.7 I2C 写操作远端标准寄存器

11.1.7.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过I2C端口发送写远端节点标准寄存器指令（标准寄存器地址，数据字节）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将标准寄存器控制写封装包发送给远端节点；

f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f) 10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

11.1.7.2 通过准则

当节点标准寄存器地址属性为可写时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤f)中的状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.1.8 I2C读操作远端标准寄存器

11.1.8.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过I2C端口发送读远端节点标准寄存器指令（标准寄存器地址）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将标准寄存器控制读封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f) 10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

11.1.8.2 通过准则

当节点标准寄存器地址属性为可读时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认），步骤f)中的状态确认包状态码= 010（读成功-带数据），携带的寄存器值正确。

11.1.9 I2C写操作远端自定义寄存器

11.1.9.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过I2C端口发送写远端节点自定义寄存器指令（标准寄存器地址，数据字节）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将自定义寄存器控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f) 10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

11.1.9.2 通过准则

当节点自定义寄存器地址属性为可写时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认），步骤f)中的状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.1.10 I2C读操作远端自定义寄存器

11.1.10.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过I2C端口发送读远端节点自定义寄存器指令（自定义寄存器地址）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将自定义寄存器控制读封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f) 10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

11.1.10.2 通过准则

当节点自定义寄存器地址属性为可读时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认），步骤f)中的状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），携带的寄存器值正确。

11.1.11 I2C写操作远端SPI端口

11.1.11.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令给本地节点；
e) 本地节点逐条回复上位机；
f) 本地节点使用B类媒体封装包将控制信令发送给远端节点；
g) 远端节点收到上述媒体封装包，将写控制信令在对应的SPI端口发送SPI控制指令给上位机；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机发起新的一次I2C读操作读取本地节点缓存的状态确认信息；
j) 本地节点将缓存的状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.1.11.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.1.12 I2C 读操作远端 SPI 端口

11.1.12.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令给本地节点；
e) 本地节点逐条回复上位机；
f) 本地节点使用B类媒体封装包将读控制信令发送给远端节点；
g) 远端节点收到上述媒体封装包，将控制信令在对应的SPI端口发送给上位机；
h) 上位机发送SPI读数据内容给远端节点
i) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
j) 上位机发起新的一次I2C读操作读取本地节点缓存的状态确认信息；
k) 本地节点将缓存的状态确认信息发送给上位机；
l) 重复步骤d)至k) 10次；
m) 正向节点和反向节点下电；
n) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至m) 10次。

11.1.12.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤i)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤j)中状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据）。

11.1.13 I2C 写操作远端 Uart 端口

11.1.13.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令给本地节点；
e) 本地节点逐条回复上位机；
f) 本地节点使用B类媒体封装包将控制信令发送给远端节点；
g) 远端节点收到上述媒体封装包，将写控制信令在对应的UART端口发送给上位机；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机发起新的一次I2C读操作读取本地节点缓存的状态确认信息；
j) 本地节点将缓存的状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.1.13.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)中节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.2 GPIO 控制业务（摄像头/显示）

11.2.1 GPIO 过采样模式，采样 1 字节数据

11.2.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 本地节点从GPIO端口采样GPIO信号，GPIO为过采样模式，采样数据为1字节，媒体封装包重传功能打开；
e) 本地节点将采样到GPIO信号发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，回复媒体封装层传输确认包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 本地节点收到媒体封装层传输确认包；
h) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤e)至g) 10次；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 分别测试正向节点和反向节点作为本地节点，重复执行步骤a)至i)；
k) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次。

11.2.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 00（过采样模式），GPIO信号与步骤d)中一致；步骤g)中媒体封装层传输确认包中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 00（过采样模式）。

11.2.2 GPIO 过采样模式，采样 9 字节数据

11.2.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 本地节点从GPIO端口采样GPIO信号，GPIO为过采样模式，采样数据为9字节，媒体封装包重传功能打开；
e) 本地节点将采样到GPIO信号发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，回复媒体封装层传输确认包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 本地节点收到媒体封装层传输确认包；
h) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤e)至g) 10次；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 分别测试正向节点和反向节点作为本地节点，重复步骤a)至i)；
k) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次。

11.2.2.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 00（过采样模式），GPIO信号与步骤d)中一致；步骤g)中媒体封装层传输确认包中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 00（过采样模式）。

11.2.3 GPIO 触发模式，传输上升沿信息

11.2.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 本地节点从GPIO端口采样GPIO上升沿信号，GPIO为触发模式，媒体封装包重传功能打开；
e) 本地节点将采样到GPIO信号发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，回复媒体封装层传输确认包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 本地节点收到媒体封装层传输确认包；
h) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤e)至g) 10次；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 分别测试正向节点和反向节点作为本地节点，重复执行步骤a)至i)；
k) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次；

11.2.3.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 01（触发模式），触发类型字段 = 00（上升沿），GPIO信号与步骤d)中一致；步骤g)中媒体封装层传输确认包中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 01（触发模式）。

11.2.4 GPIO 触发模式，传输下降沿信息

11.2.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 本地节点从GPIO端口采样下降沿信号，GPIO为触发模式，媒体封装包重传功能打开；
e) 本地节点将采样到GPIO信号发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，回复媒体封装层传输确认包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 本地节点收到媒体封装层传输确认包；
h) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤e)至g) 10次；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 分别测试正向节点和反向节点作为本地节点，重复步骤a)至i) 10次；
k) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j)；

11.2.4.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 01（触发模式），触发类型字段 = 01（下降沿），GPIO信号与步骤d)中一致；步骤g)中媒体封装层传输确认包中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 01（触发模式）。

11.2.5 GPIO 固定时延触发模式，传输上升沿信息

11.2.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 本地节点从GPIO端口采样上升沿信号，GPIO为固定时延触发模式；
e) 本地节点将采样到GPIO信号发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤d)至f）10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别测试正向节点和反向节点作为本地节点，重复步骤a)至h)；
j) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）10次；

11.2.5.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 10（固定时延触发模式），触发类型字段 = 00（上升沿），GPIO信号与步骤d)中一致。

11.2.6 GPIO 固定时延触发模式，传输下降沿信息

11.2.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 本地节点从GPIO端口采样下降沿信号，GPIO为固定时延触发模式；
e) 本地节点将采样到GPIO信号发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤d)至f）10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别测试正向节点和反向节点作为本地节点，重复步骤a)至h)；
j) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）10次。

11.2.6.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 10（固定时延触发模式），触发类型字段 = 01（下降沿），GPIO信号与步骤d)中一致。

11.3 SPI 控制业务（摄像头/显示）

11.3.1 SPI 写操作远端 SPI 端口

11.3.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送SPI写控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将SPI控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI写控制信令在对应SPI端口发送给上位机；

g) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
h) 上位机读取本地节点状态确认信息；
i) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
j) 重复步骤d)至i) 10次；
k) 正向节点和反向节点下电；
l) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至k) 10次。

11.3.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤e)和f)中的SPI指令与步骤d)一致，步骤g)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤g)状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.3.2 SPI读操作远端SPI端口（携带业务数据，时钟正常）

11.3.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送SPI读控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制读封装包发送给远端节点，B类媒体封装包中携带业务数据字段，写读间隔字段存在，时钟保持正常；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI读控制信令在对应SPI端口发送给上位机；
g) 上位机回复SPI读数据内容给远端节点；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机读取本地节点状态确认信息；
j) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.3.2.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤g)和步骤j)中的SPI指令内容一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），数据内容正确。

11.3.3 SPI读操作远端SPI端口（携带业务数据，时钟关闭）

11.3.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送SPI读控制指令给本地节点；

e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制读封装包发送给远端节点，B类媒体封装包中携带业务数据字段，写读间隔字段存在，时钟保持关闭；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI读控制信令在对应SPI端口发送给上位机；
g) 上位机回复SPI读数据内容给远端节点；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机读取本地节点状态确认信息；
j) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.3.3.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤g)和步骤j)中的SPI指令内容一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），数据内容正确。

11.3.4 SPI 读操作远端 SPI 端口（不携带业务数据，时钟正常）

11.3.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送SPI读控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制读封装包发送给远端节点，B类媒体封装包中不携带业务数据字段，写读间隔字段存在，时钟保持正常；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI读控制信令在对应SPI端口发送给上位机；
g) 上位机回复SPI读数据内容给远端节点；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机读取本地节点状态确认信息；
j) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.3.4.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤g)和步骤j)中的SPI指令内容一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），数据内容正确。

11.3.5 SPI 读操作远端 SPI 端口（不携带业务数据，时钟关闭）

11.3.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；

c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送SPI读控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制读封装包发送给远端节点， B类媒体封装包中不携带业务数据字段，写读间隔字段存在，时钟保持关闭；；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI读控制信令在对应SPI端口发送给上位机；
g) 上位机回复SPI读数据内容给远端节点；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机读取本地节点状态确认信息；
j) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.3.5.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤g)和步骤j)中的SPI指令内容一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），数据内容正确。

11.3.6 SPI 写操作远端标准寄存器

11.3.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过SPI端口发送写远端节点标准寄存器指令（标准寄存器地址，数据字节）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将标准寄存器控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f) 10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

11.3.6.2 通过准则

当节点标准寄存器地址属性为可写时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤f)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.3.7 SPI 读操作远端标准寄存器

11.3.7.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；

b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过SPI端口发送读远端节点标准寄存器指令（标准寄存器地址）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将标准寄存器控制读封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f）10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h）10次。

11.3.7.2 通过准则

当节点标准寄存器地址属性为可读时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤f)中状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），携带的寄存器值正确。

11.3.8 SPI 写操作远端自定义寄存器

11.3.8.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过SPI端口发送写远端节点自定义寄存器指令（标准寄存器地址，数据字节）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将自定义寄存器控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
g) 重复步骤d)至f）10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h）10次。

11.3.8.2 通过准则

当节点自定义寄存器地址属性为可写时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤f)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.3.9 SPI 读操作远端自定义寄存器

11.3.9.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机通过SPI端口发送读远端节点自定义寄存器指令（标准寄存器地址）给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将自定义寄存器控制读封装包发送给远端节点；
f) 远端节点回复状态确认包给本地节点；

g) 重复步骤d)至f) 10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h) 10次。

11.3.9.2 通过准则

当节点自定义寄存器地址属性为可读时，在各试验循环的步骤e)中远端节点收到媒体封装包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写）；步骤f)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤f)中状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），携带的寄存器值正确。

11.3.10 SPI 写操作远端 I2C 端口

11.3.10.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机在SPI端口发送SPI控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI控制信令内容在对应I2C端口逐条发送I2C控制指令给上位机；
g) 上位机逐条回复ACK/NACK远端节点；
h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机读取本地节点状态确认信息；
j) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j) 10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l) 10次。

11.3.10.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后发送媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.3.11 SPI 读操作远端 I2C 端口

11.3.11.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机在SPI端口发送SPI读控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制读封装包发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI读控制信令在对应I2C端口逐条发送I2C控制指令给上位机；
g) 上位机逐条回复I2C远端节点；

h) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
i) 上位机读取本地节点状态确认信息；
j) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
k) 重复步骤d)至j）10次；
l) 正向节点和反向节点下电；
m) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至l）10次。

11.3.11.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后发送媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致，步骤h)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤h)状态确认包状态码 = 010（读成功-带数据），数据内容正确。

11.3.12 SPI写操作远端Uart端口

11.3.12.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送SPI控制指令给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将SPI写控制信令中在对应Uart端口发送UART控制指令给上位机；
g) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
h) 上位机读取本地节点状态确认信息；
i) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
j) 重复步骤d)至i）10次；
k) 正向节点和反向节点下电；
l) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至k）10次。

11.3.12.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后发送媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤g)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤g)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.4 Uart控制业务（摄像头/显示）

11.4.1 Uart写操作远端Uart端口

11.4.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送UART数据给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制写封装包发送给远端节点；

f) 远端节点收到上述媒体封装包，将UART数据在对应Uart端口发送给上位机；
g) 远端节点回复状态确认包给本地节点；
h) 上位机读取本地节点状态确认信息；
i) 本地节点将状态确认信息发送给上位机；
j) 重复步骤d)至i）10次；
k) 正向节点和反向节点下电；
l) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至k）10次。

11.4.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后发送媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤g)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤g)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

11.4.2 Uart 数据流写操作远端 Uart 端口

11.4.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机发送Uart数据流给本地节点；
e) 本地节点使用B类媒体封装包将控制写封装包发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，将Uart数据流在对应Uart端口发送给上位机；
g) 重复步骤d)至f）10次；
h) 正向节点和反向节点下电；
i) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h）10次。

11.4.2.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中远端节点收到媒体封装包后发送媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为01（控制读写），控制指令内容与步骤d)中一致；步骤g)中本地节点收到状态确认包后回复媒体封装层传输确认包，确认的业务类型字段为0x2（I2C/SPI/UART控制业务），确认的子业务类型为10（状态确认）。步骤g)中状态确认包状态码 = 000（写成功）。

12 应用测试

12.1 休眠唤醒（摄像头/显示）

12.1.1 正向节点发起进入休眠

12.1.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 正向节点发起进入休眠状态；
e) 正向节点和反向节点进入休眠状态；
f) 正向节点和反向节点下电；
g) 重复步骤a)至f) 10次；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g)。

12.1.1.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 d)中，正向节点发送休眠控制请求消息；步骤 e)中，正向节点进入休眠状态，停止数据传输。

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 e)中，反向节点发送休眠控制响应消息，接受休眠控制请求；步骤 e)中，反向节点进入休眠状态，周期性发送休眠心跳帧。

12.1.2 反向节点发起进入休眠

12.1.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 反向节点发起进入休眠状态；
e) 正向节点和反向节点进入休眠状态；
f) 正向节点和反向节点下电；
g) 重复步骤a)至f) 10次；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g)。

12.1.2.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 e)中，正向节点发送休眠控制响应消息，接受休眠控制请求；步骤 e)中，正向节点进入休眠状态，停止数据传输。

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤 d)中，反向节点发送休眠控制请求消息；步骤 e)中，反向节点进入休眠状态，周期性发送休眠心跳帧。

12.1.3 正向节点发起休眠唤醒

12.1.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 正向节点或反向节点发起进入休眠状态；
e) 正向节点和反向节点进入休眠状态；

f) 正向节点发起退出休眠状态；
g) 正向节点和反向节点退出休眠状态，进入链路协商状态；
h) 正向节点和反向节点经过链路协商和链路训练流程进入数据传输状态；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 重复步骤a)至i) 10次；
k) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j)。

12.1.3.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)正向节点和反向节点均退出休眠状态，进入链路协商状态；步骤h)中正向节点和反向节点均进入数据传输状态。

12.1.4 反向节点发起休眠唤醒

12.1.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 正向节点或反向节点发起进入休眠状态；
e) 正向节点和反向节点进入休眠状态；
f) 反向节点发起退出休眠状态；
g) 正向节点和反向节点退出休眠状态，进入链路协商状态；
h) 正向节点和反向节点经过链路协商和链路训练流程进入数据传输状态；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 重复步骤a)至i) 10次；
k) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j)。

12.1.4.2 通过准则

在各试验循环的步骤g)正向节点和反向节点均退出休眠状态，进入链路协商状态；步骤h)中正向节点和反向节点均进入数据传输状态。

12.1.5 节点拒绝休眠控制请求

12.1.5.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 正向节点发起进入休眠状态；
e) 反向节点拒绝休眠控制请求；
f) 正向节点和反向节点保持在数据传输状态；
g) 反向节点发起进入休眠状态；
h) 正向节点拒绝休眠控制请求；
i) 正向节点和反向节点保持在数据传输状态；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 重复步骤a)至j) 10次；
l) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至k)。

12.1.5.2 通过准则

在各试验循环的步骤 f)和步骤 i)中，正向节点和反向节点均保持在数据传输状态。

12.1.6 节点发起休眠，未收到休眠控制响应

12.1.6.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 正向节点发起进入休眠状态；
e) 反向节点未回复休眠控制响应；
f) 正向节点和反向节点保持在数据传输状态；
g) 反向节点发起进入休眠状态；
h) 正向节点未回复休眠控制响应；
i) 正向节点和反向节点保持在数据传输状态；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 重复步骤a)至j) 10次；
l) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至k)。

12.1.6.2 通过准则

在各试验循环步骤 f)和步骤 i)中正向节点和反向节点均保持在数据传输状态。

12.1.7 正向节点连续 3 个休眠心跳周期未收到休眠心跳帧

12.1.7.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集到节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 正向节点或反向节点发进进入休眠状态；
e) 反向节点停止发送休眠心跳帧；
f) 正向节点连续3个休眠心跳周期未接收到休眠心跳帧，进入链路协商状态；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 重复步骤a)至g) 10次；
i) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h)。

12.1.7.2 通过准则

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤 f)中正向节点均退出休眠状态，进入链路协商状态。

12.2 4-1 组网连通性测试（摄像头）

12.2.1 自动连通性（四路速率一致）

12.2.1.1 试验步骤

按照 HSMT 视频协议中 6.2.1 规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

12.2.1.2 通过准则

试验环境 5：各测试循环中反向节点和四个正向节点均完成自动连通。

表 20　自动连通性（四路速率一致）测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境	速率配置
12.2.1	2	5	四个通道正向速率挡位配置一致，均配置为待测挡位

12.2.2　自动连通性（四路速率不一致）

12.2.2.1　试验步骤

按照 HSMT 视频协议中 6.2.1 规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

12.2.2.2　通过准则

试验环境 5：各测试循环中反向节点和四个正向节点均完成自动连通。

表 21　自动连通性（四路速率不一致）测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境	速率配置
12.2.2	2	5	四个通道正向速率挡位分别配置为正向速率挡位 1、2、2、4

12.2.3　链路建立时间

12.2.3.1　试验步骤

按照HSMT视频协议中6.2.2规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

12.2.3.2　通过准则

试验环境5：各测试循环中反向节点和四个正向节点链路建立时间均小于等于100 ms。

表 22　链路建立时间测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境
12.2.3	2	5

12.2.4　节点重上电

12.2.4.1　试验步骤

按照HSMT视频协议中6.2.3规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

12.2.4.2　通过准则

试验环境 5：各测试循环中步骤 d)中任意一个正向节点下电，其他三个正向节点保持在数据传输状态；步骤 e)、i)及 m)中节点均完成自动恢复连通。

表 23　节点重上电测试环境

用例编号	组网方式	试验环境
12.2.4	2	5

12.2.5　线缆重连接

12.2.5.1　试验步骤

按照HSMT视频协议中6.2.4规定的试验步骤分别在下表中试验环境进行测试。

12.2.5.2 通过准则

试验环境 5：各测试循环中步骤 d)中任意一个连接器断开，其他三个正向节点保持在数据传输状态；步骤 g)和 h)的各测试循环中节点均完成自动恢复连通。

表 24 线缆重连接测试试验环境

用例编号	组网方式	试验环境
12.2.5	2	5

12.3 广播（摄像头）

12.3.1 I2C 广播模式写远端 I2C 端口

12.3.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 上位机逐条发送I2C控制指令（I2C地址+写操作；写寄存器地址；写数据字节）给本地节点；
e) 本地节点逐条回复上位机；
f) 本地节点使用子业务类型为控制读写的媒体封装包将多条I2C控制信令发送给远端节点；
g) 远端节点收到上述媒体封装包，根据地址二元组和端口二元组的组合将I2C控制信令在对应的I2C端口逐条发送给上位机；
h) 上位机逐条回复I2C ACK给远端节点；
i) 远端节点收到上位机最后一条I2C ACK/NACK，使用子业务类型为状态确认的媒体封装包将I2C ACK/NACK发送给本地节点；
j) 本地节点收到远端节点发送的上述媒体封装包时，缓存状态确认信息；
k) 上位机发起新的一次I2C读操作读取本地节点缓存的状态信息；
l) 本地节点将缓存的状态确认信息发送给上位机；
m) 重复步骤d)至l) 10次；
n) 正向节点和反向节点下电；
o) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至n) 10次。

12.3.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤 g)和步骤 j)各个远端节点收到上述媒体封装包，发送媒体封装层确认包回复，确认的业务类型字段为 0x2（I2C/SPI/UART 控制业务），确认的子业务类型为 01（控制读写）；步骤 i)中状态确认包状态码 = 000（写成功）；步骤 d)和步骤 g)中的 I2C 控制指令内容相同。

12.4 Frame sync

12.4.1 多个正向节点固定时延上升沿触发模式时间同步误差（摄像头）

12.4.1.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 反向节点和四个正向节点上电；
c) 反向节点和四个正向节点分别链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点从GPIO端口采样上升沿信号，GPIO为固定时延触发模式；
e) 本地节点使用GPIO固定时延触发模式媒体封装包发送给远端节点；

f) 远端节点收到上述媒体封装包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 上位机监测四个正向节点的GPIO信号，收到第一个GPIO上升沿信号开始计时，收到第四个GPIO上升沿信号结束计时；
h) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤d)至g）10次；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）10次。

12.4.1.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 10（固定时延触发模式），触发类型字段 = 00（上升沿）；步骤g)中时间小于等于1 μs。

12.4.2 多个正向节点固定时延下降沿触发模式时间同步误差（摄像头）

12.4.2.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 反向节点和四个正向节点上电；
c) 反向节点和四个正向节点分别链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 反向节点从GPIO端口采样下降沿信号，GPIO为固定时延触发模式；
e) 本地节点使用GPIO固定时延触发模式媒体封装包发送给远端节点；
f) 远端节点收到上述媒体封装包，在对应端口上发送GPIO信号给上位机；
g) 上位机监测四个正向上电的GPIO信号，收到第一个GPIO下降沿信号开始计时，收到第四个GPIO上升沿信号结束计时；
h) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤d)至g）10次；
i) 正向节点和反向节点下电；
j) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）10次。

12.4.2.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 10（固定时延触发模式），触发类型字段 = 01（下降沿）；步骤g)中时间小于等于1 μs。

12.4.3 GPIO 固定时延上升沿触发模式触发图像帧同步（显示）

12.4.3.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 反向节点和正向节点上电；
c) 反向节点和正向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点应按照C.1.5 中的规定发送两个GPIO固定时延触发模式的媒体封装包；
e) 上位机将正向节点接收到图像接口上图像开始的时间（即触发图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包的时间）记为m_0；
f) 反向节点收到的第一个GPIO固定时延触发模式的媒体封装包后，把t_3结束的时间发送给上位机，记为m_1；
g) 反向节点收到的第二个GPIO固定时延触发模式的媒体封装包后，把t_3结束的时间发送给上位机，记为m_2；
h) 上位机记录时间间隔m_1的结果，其中$\triangle m_1$为m_1-m_0；记录时间间隔$\triangle m_2$的结果，其中$\triangle m_2$为m_2-m_0-40；
i) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤d)至h）10次；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j）10次。

12.4.3.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)和步骤g)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 10（固定时延触发模式），触发类型字段 = 00（上升沿）；步骤i)中，多次测试得到的$\triangle m_1$和$\triangle m_2$的最大值和最小值之差小于等于1μs。

12.4.4 GPIO 固定时延下降沿触发模式触发图像帧同步（显示）

12.4.4.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 反向节点和正向节点上电；
c) 反向节点和正向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d) 正向节点应按照C.1.5 中的规定发送两个GPIO固定时延触发模式的媒体封装包；
e) 上位机将正向节点接收到图像接口上图像开始的时间（即触发图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包的时间）记为m_0；
f) 反向节点收到的第一个GPIO固定时延触发模式的媒体封装包后，把t_3结束的时间发送给上位机，记为m_1；
g) 反向节点收到的第二个GPIO固定时延触发模式的媒体封装包后，把t_3结束的时间发送给上位机，记为m_2；
h) 上位机记录时间间隔m_1的结果，其中$\triangle m_1$为m_1-m_0；记录时间间隔$\triangle m_2$的结果，其中$\triangle m_2$为m_2-m_0-40；
i) 对节点支持的GPIO管脚，重复步骤d)至h) 10次；
j) 正向节点和反向节点下电；
k) 分别对所有支持的待测挡位重复步骤a)至j) 10次。

12.4.4.2 通过准则

在各试验循环的步骤f)和步骤g)中业务类型字段 = 0x5（GPIO控制业务），子业务类型字段 = 10（固定时延触发模式），触发类型字段 = 01（下降沿）；步骤i)中，多次测试得到的$\triangle m_1$和$\triangle m_2$的最大值和最小值之差小于等于1μs。

12.5 1-2 组网连通性测试（显示 TBD）

12.6 Dual link 组网连通性测试（显示 TBD）

12.7 链路协商（摄像头/显示）

12.7.1 试验步骤

a) 节点初始化配置为数据传输模式；
b) 正向节点和反向节点上电；
c) 反向节点连续发送40个协商请求帧，工作模式字段为0（数据传输模式）；
d) 正向节点收到协商请求帧，接收结束后，连续发送62500个协商响应帧，协商状态字段为111（协商成功）；
e) 反向节点收到协商响应帧，接收结束后，连续发送40个协商结束帧；
f) 反向节点发送协商结束帧，发送结束后，进入链路训练状态；
g) 正向节点收到协商结束帧，接收结束后，进入链路训练状态；
h) 正向节点和反向节点下电；

i） 重复步骤a)至h） 10次；
j） 对表25 中所有支持的待测挡位重复步骤a)至i）。

12.7.2 通过准则

如果待测节点为反向节点，在各试验循环的步骤e)中最后一个协商响应帧的帧递减计数器为0，协商状态字段为111（协商成功）；步骤f)中进入链路训练状态。

如果待测节点为正向节点，在各试验循环的步骤g)中最后一个协商结束帧的帧递减计数器为0，进入链路训练状态。

表25 链路协商试验环境

用例编号	组网方式	试验环境	速率配置
12.7.1	1	1	TX 3.2G，RX 6.4G，协商建链3.2G
12.7.2	1	1	TX 6.4G，RX 12.8G，协商建链6.4G

12.8 优先级

12.8.1 试验步骤

a） 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b） 正向节点和反向节点上电；
c） 正向节点和反向节点链路协商、链接训练成功，进入数据传输状态；
d） 在数据传输状态下，同时进行RGB888图像业务数据发送和I2C透传模式写读远端I2C端口操作；
e） 正向节点将数据传输给反向节点；
f） 反向节点接收数据；
g） 正向节点和反向节点下电；
h） 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至g)；

12.8.2 通过准则

在各测试循环中，步骤f)中RS无报错。图像数据传输正确。步骤d)中的I2C写入和读出的数据相同。先得到I2C透传读出数据，然后得到图像数据。

12.9 互配测试（显示TBD）

13 性能测试

13.1 传输误码率测试

13.1.1 试验步骤

a） 节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b） 正向节点和反向节点上电；
c） 上位机采集节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d） 在数据传输状态下，进行大于等于28小时连续试验；
e） 试验过程中，上位机实时读取正向传输接收端的误码率和反向传输接收端的误码率；
f） 正向节点和反向节点下电；

g) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至f)；
h) 分别在下表中线缆长度重复步骤a)至g)。

13.1.2 通过准则

在各测试循环中，步骤e)中正向传输接收端的误码率和反向传输接收端的误码率均小于等于10^{-12}。

表26 传输误码率测试的线缆长度

用例编号	线缆长度	线缆类型
13.1.1	0.5米	同轴线
13.1.2	1米	同轴线
13.1.3	15米	同轴线

13.2 温度循环误码率测试

13.2.1 试验步骤

a) 节点放置于温箱中，节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 设置环境温度为低温-40 ℃，温度循环模型为低温-40 ℃（低温停留时间90 min），高温105 ℃（高温停留时间 110min），升降温时间为37分钟（速度为4℃/min）；正向节点和反向节点上电；
c) 上位机采集节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；
d) 在数据传输状态下，进行大于等于28小时连续试验；
e) 试验过程中，上位机实时读取正向传输接收端的误码率和反向传输接收端的误码率；
f) 正向节点和反向节点下电；
g) 分别在下表中线缆长度重复步骤a)至g)；
h) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h)。

13.2.2 通过准则

在各测试循环中，步骤f)中正向传输接收端的误码率和反向传输接收端的误码率均小于等于10^{-12}。

表27 温度循环误码率测试

用例编号	线缆长度	线缆类型
13.2.1	0.5米	同轴线
13.2.2	1米	同轴线
13.2.3	15米	同轴线

13.3 高低温误码率测试

13.3.1 试验步骤

a) 节点放置于温箱中，节点初始化配置为数据传输模式、正向速率挡位为待测挡位；
b) 设置环境温度为下表中规定的温度；
c) 正向节点和反向节点上电；
d) 上位机采集节点发送的正反向数据传输使能信号，确认节点处于数据传输状态；

e) 在数据传输状态下，进行大于等于28小时连续试验；
f) 试验过程中，上位机实时读取正向传输接收端的误码率和反向传输接收端的误码率；
g) 正向节点和反向节点下电；
h) 分别在下表中线缆长度重复步骤a)至g)；
i) 对所有支持的待测挡位重复步骤a)至h)。

13.3.2 通过准则

在各测试循环中，步骤f)中正向传输接收端的误码率和反向传输接收端的误码率均小于等于10^{-12}。

表28 高低温误码率测试

用例编号	线缆长度	线缆类型	温度
13.3.1	0.5米	同轴线	低温-40℃
13.3.2	1米	同轴线	低温-40℃
13.3.3	15米	同轴线	低温-40℃
13.3.4	0.5米	同轴线	高温105℃
13.3.5	1米	同轴线	高温105℃
13.3.6	15米	同轴线	高温105℃

HSMT工作组 征求意见稿

附 录 A
（资料性）
通用性问题

A.1 通则

本附录针对《车载有线高速媒体传输 万兆全双工系统 技术要求及试验方法》（以下简称 HSMT 视频协议）进行补充，以便确保协议一致性和芯片级互联互通。

A.1.1 预留字段的要求

HSMT视频协议章节：A.2.2.2

HSMT视频协议原文：本文件中预留字段无实际意义或含义，若无特殊说明，预留字段取值宜全部设置为0。

HSMT视频协议修订：本文件中预留字段无实际意义或含义，若无特殊说明，预留字段取值应全部设置为0。

A.2 物理层

A.2.1 链路训练

A.2.1.1 训练帧训练结果字段的更新方式

结论：在训练成功后,所有发送的训练帧中训练结果字段取值都应置为1（训练成功）。

A.2.1.2 链接训练态和数据传输态的扰码序列是否连续

结论：协议要求链路训练态和数据传输态的扰码序列是连续的。节点接收扰码时，厂商可以根据自己的算法实现，考虑兼容扰码连续或者扰码不连续两种情况。节点发送扰码应连续，否则如果接收端不兼容扰码不连续的情况，会有互联互通问题。

A.2.1.3 链路训练态时反向填充 PLDB 的处理方式

结论：正向节点在链路训练状态时，不需要处理反向填充PLDB，若反向填充PLDB出现CRC错误，直接丢弃，不需要判断为链路异常。

A.2.1.4 链路训练时的摆幅要求

HSMT视频协议章节：A.1.5

HSMT视频协议原文：当正向速率挡位为4a/5a/6时，正向节点应先在NRZ训练时长内连续发送采用NRZ调制的正向链路训练帧，然后在PAM4训练时长内连续发送采用PAM4调制的正向链路训练帧。

HSMT视频协议修订：当正向速率挡位为4a/5a/6时，正向节点应先在NRZ训练时长内连续发送采用NRZ调制的正向链路训练帧，然后在PAM4训练时长内连续发送采用PAM4调制的正向链路训练帧，NRZ调制的摆幅应按照PAM4调制的摆幅发送。

A.2.2 PLDB

A.2.2.1 反向PLDB 控制字段

HSMT视频协议表A.6反向PLDB控制字段定义说明如下：

——HSMT视频协议表A.17链路训练帧信息域反向重传字段字节7比特[0] = 0，反向节点不开启或不支持反向重传时

- 对于填充PLDB，表A.6比特[10] = 0；
- 对于非填充PLDB，表A.6比特[10] = 1。

注：此时不存在可重传PLDB和不可重传PLDB的区别，可重传PLDB和不可重传PLDB都为非填充即有用数据PLDB。

——HSMT视频协议表A.17链路训练帧信息域反向重传字段字节7比特[0] = 1，反向节点开启反向重传时

- 对于填充PLDB，表A.6比特[10] = 0，比特[11] = 0；
- 对于不可重传PLDB，表A.6比特[10] = 0，比特[11] = 1；
- 对于可重传PLDB，表A.6比特[10] = 1，比特[11] = 0。

表A.6 反向PLDB控制字段定义

字段	比特	描述
PLDB ID	[9:0]	当PLDB类型（bit[10]）=0时，为不可重传PLDB或填充PLDB，ID设置为0； 当PLDB类型（bit[10]）=1时，为可重传PLDB，ID取值0~1023，初始取值为0。
PLDB类型	[10]	0=该PLDB为不可重传PLDB或填充PLDB；1=该PLDB为可重传PLDB。
数据类型	[11]	当表A.17中反向重传字段=0时，固定设置为0； 当表A.17中反向重传字段=1时，若PLDB类型（bit[10]）=0，0=该PLDB为填充PLDB，1=该PLDB为不可重传PLDB；若PLDB类型（bit[10]）=1，固定设置为0。
预留	[15:12]	预留

A.2.2.2 终止重传（TE）字段初始值的要求

HSMT视频协议章节：表A.4

表A.4 正向PLDB控制字段定义

字段	比特	描述
PLDB ID	[11:0]	当PLDB类型（比特[12]）=0时，为不可重传PLDB或填充PLDB，ID设置为0； 当PLDB类型（比特[12]）=1时，为可重传PLDB，ID取值0~4095，初始值为0。
PLDB类型	[12]	0：该PLDB为填充PLDB，或者不可重传PLDB； 1：该PLDB为可重传PLDB。
终止重传（TE）	[13]	当PLDB类型（比特[12]）=1时，指示是否终止当前重传，初始值为0，取反表示正向节点终止对未完成的正向PLDB重传； 当PLDB类型（比特[12]）=0时，无意义，固定设置为0。
数据类型	[14]	当PLDB类型（比特[12]）=0时，0=该PLDB为填充PLDB，1=该PLDB为不可重传PLDB； 当PLDB类型（比特[12]）=1时，无意义，固定设置为0。
预留	[17:15]	预留

HSMT视频协议原文：

字段	比特	描述
终止重传(TE)	[13]	当 PLDB 类型（比特[12]）= 1 时，指示是否终止当前重传，初始值为 0，取反表示正向节点终止对未完成的正向 PLDB 重传； 当 PLDB 类型（比特[12]）= 0 时，无意义，固定设置为 0。

HSMT视频协议修订：

字段	比特	描述
终止重传(TE)	[13]	当 PLDB 类型（比特[12]）= 1 时，指示是否终止当前重传，初始值为 0，每次进入数据传输状态时置为初始值 0，数据传输过程中 TE 值每发生一次变化（重传前发送值取反）则表示正向节点终止对未完成的正向 PLDB 重传； 当 PLDB 类型（比特[12]）= 0 时，无意义，固定设置为 0。

A.2.2.3 “空载”下 PLDB 的传输方式

当无有用业务数据传输时，HSMT链路“空载”应按照如下方式传输：
——若HSMT链路上没有发送过任何可重传PLDB，按照方式1、方式2或方式3传输；
——若HSMT链路上已发送过可重传PLDB，按照方式1或方式2传输。
方式1：采用可重传PLDB 净荷全部为66B填充码块

表 A.1 采用可重传 PLDB 净荷全部为 66B 填充码块空载传输示例

PLDB ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLDB类型	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为	可重传PLDB净荷全部为

	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块	66B填充码块

方式2：最多插入1个填充PLDB

表 A.2 最多插入 1 个填充 PLDB 空载传输示例

PLDB ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	9
PLDB类型	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块	填充PLDB	可重传PLDB净荷全部为66B填充码块

方式3：全部是填充PLDB

表 A.3 全部是填充 PLDB 空载传输示例

PLDB ID	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLDB类型	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB	填充PLDB

A.2.3 RS-FEC编码

A.2.3.1 正向RS-FEC编码生成多项式的阶乘起始元素

HSMT视频协议章节：A.2.2.3

HSMT视频协议原文：D0~D353为354个9bit RS数据码元，由正向PLDB按照从低到高比特顺序分割产生。D0为正向PLDB的低9位比特，最先输入RS-FEC编码器。P0~P29为30个9bit RS纠错码元，由RS-FEC编码产生，P0为最先输出的RS纠错码元。

HSMT视频协议修订：0~D353为354个9bit RS数据码元，由正向PLDB按照从低到高比特顺序分割产生。D0为正向PLDB的低9位比特，最先输入RS-FEC编码器。P0~P29为30个9bit RS纠错码元，由RS-FEC编码产生，RS-FEC编码生成多项式的阶乘起始元素为0，P0为最先输出的RS纠错码元。

A.2.3.2 反向RS-FEC编码生成多项式的阶乘起始元素

HSMT视频协议章节：A.2.3.3

HSMT视频协议原文：0~D68为69个8bit RS数据码元，由反向PLDB按照从低到高比特顺序分割产生。D0为反向PLDB的低8位比特，最先输入RS-FEC编码器。P0~P3为4个8bit RS纠错码元，由RS-FEC编码产生，P0为最先输出的RS纠错码元。

HSMT视频协议修订：D0~D68为69个8bit RS数据码元，由反向PLDB按照从低到高比特顺序分割产生。D0为反向PLDB的低8位比特，最先输入RS-FEC编码器。P0~P3为4个8bit RS纠错码元，由RS-FEC编码产生，RS-FEC编码生成多项式的阶乘起始元素为0，P0为最先输出的RS纠错码元。

A.2.4 信号电气指标

A.2.4.1 功率谱密度模板

HSMT视频协议章节：表A.26，表A.28

HSMT视频协议原文：

表A. 26 NRZ调制正向差分信号PSD下限

频率(MHz)	G1 PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G2/G3 PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G4/G5 PSD_{Lower}（dBm/Hz）
20	-92	-95	-97
600×S/4	-92	-95	-97
1500×S/4	-96	-99	-101
2500×S/4	-102	-105	-107

表A. 28 PAM4调制正向差分信号PSD下限

频率(MHz)	G4a PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G5a PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G6 PSD_{Lower}（dBm/Hz）
20	-94	-95	-97
600×B/4	-94	-95	-97
1500×B/4	-98	-99	-101
2500×B/4	-104	-105	-107

HSMT视频协议修订：

表A.26 NRZ调制正向差分信号PSD下限

频率(MHz)	G1 PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G2/G3 PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G4/G5 PSD_{Lower}（dBm/Hz）
130*S/4	-92	-95	-97
600×*S*/4	-92	-95	-97
1500×*S*/4	-96	-99	-101
2500×*S*/4	-102	-105	-107

表A.28 PAM4调制正向差分信号PSD下限

频率(MHz)	G4a PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G5a PSD_{Lower}（dBm/Hz）	G6 PSD_{Lower}（dBm/Hz）
130*B/4	-94	-95	-97
600×*B*/4	-94	-95	-97
1500×*B*/4	-98	-99	-101
2500×*B*/4	-104	-105	-107

A. 2. 4. 2　NRZ 调制反向差分信号眼图模板

NRZ调制反向差分信号的眼图模板应与图A. 1相符合。NRZ调制反向差分信号的眼图应与表A. 4相符合。当信号为单端信号时，幅度应为表A. 4所示幅度要求的一半。

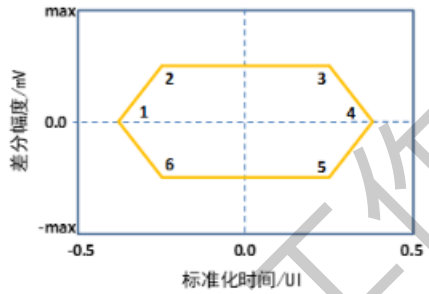


图 A. 1　NRZ 调制反向差分信号眼图模板

表 A. 4　NRZ 调制反向差分信号眼图要求

眼图模板点	时间（UI）	幅度（mV）
1	-0. 3	0
2	-0. 2	75

3	0.2	75
4	0.3	0
5	0.2	-75
6	-0.2	-75

A.2.4.3 时钟抖动测试误码率要求

时钟抖动测试中，误码率要求为10^{-6}。

A.2.4.4 时钟抖动要求

对于正向速率挡位4，发射机输出时钟应满足表A.5规定的随机抖动要求。

表 A.5 时钟抖动要求

挡位	时钟频率（MHz）	时钟抖动(ps)	随机抖动(ps)
正向速率挡位1	1000	100	-
正向速率挡位2	1600	62.5	-
正向速率挡位3	2000	50	-
正向速率挡位4	3200	31.25	12.5
正向速率挡位5	4000	25	-
正向速率挡位4a	1600	31.25	-
正向速率挡位5a	2000	25	-
正向速率挡位6	3200	15.625	-
反向速率挡位1	50	2000	-

A.2.4.5 NRZ 调制正向单端信号眼图要求

NRZ调制正向单端信号的眼图模板应与图A.2相符合。在不同速率挡位下，NRZ调制正向单端信号的眼图应与表A.6相符合。

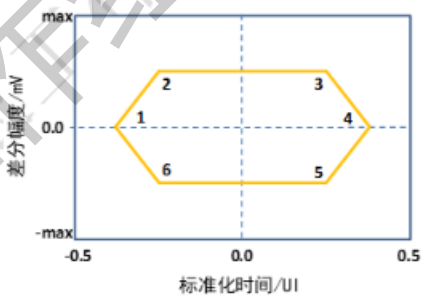


图 A.2 NRZ 调制正向单端信号眼图模板

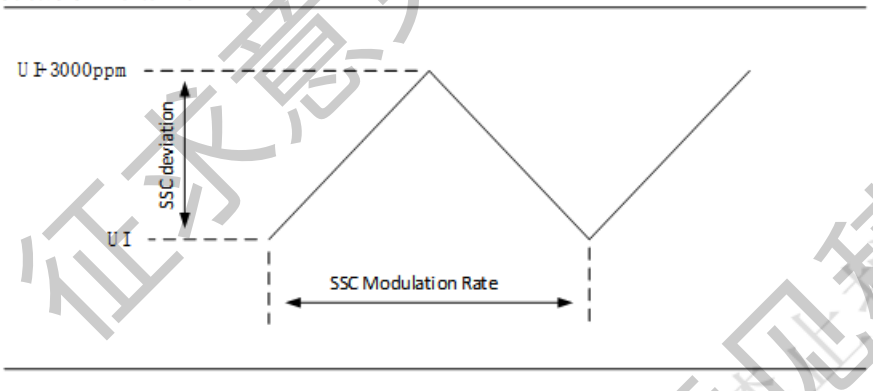
表 A.6 NRZ 调制正向单端信号眼图要求

眼图模板点	挡位 1		挡位 2		挡位 3		挡位 4		挡位 5	
	时间(UI)	幅度(mV)	时间(UI)	幅度(mV)	时间(UI)	幅度(mV)	时间(UI)	幅度(mV)	时间(UI)	幅度(mV)
1	-0.35	0	-0.35	0	-0.35	0	-0.3	0	-0.27	0
2	-0.25	87.5	-0.25	75	-0.2	62.5	-0.15	50	-0.15	37.5
3	0.25	87.5	0.25	75	0.2	62.5	0.15	50	0.15	37.5
4	0.35	0	0.35	0	0.35	0	0.3	0	0.27	0
5	0.25	-87.5	0.25	-75	0.2	-62.5	0.15	-50	0.15	-37.5
6	-0.25	-87.5	-0.25	-75	-0.2	-62.5	-0.15	-50	-0.15	-37.5

A.2.5 时钟展频（SSC）

所有传输速率模式下，正向发送时钟（测试模式3）应支持时钟展频（SSC），可采用三角波或正弦波调制。

采用三角波调制的示意图如下：



图A.3 三角波调制示意图

展频参数满足表A.7中的要求：

表A.7 展频参数要求

参数	最小值	最大值	单位
SSC调制频率	30	33	kHz
SSC偏差范围	+0/-500	+0/-3000	ppm

A.2.6 码表

A.2.6.1 8B/10B码表

结论：8B/10B数据码表传输时，传输二进制序列RD abcdeifghj时，先传输比特位a。

表A.35 8B/10B控制码表

8B/10B控制字符编码				
码字名称	十六进制(8B)	二进制(8B) HGF EDCBA	二进制RD- (10B) abcdei fghj	二进制RD+ (10B) abcdei fghj
K28.0	1C	000 11100	001111 0100	110000 1011

A.2.6.2 9B/10B码表

结论：9B/10B数据码表传输时，传输二进制序列时，先传输位置最右的比特位。

表A.33 9B/10B控制码表

9B/10B控制字符编码						
控制字符	10B （差异值为正数）		差异值	10B （差异值为负数）		差异值
	十进制	二进制		十进制	二进制	
控制字符K0	254	0011111110	4	769	1100000001	-4

A.2.7 物理层优先级传输

正向节点和反向节点支持的物理层优先级数量应至少包含3。

相同物理层优先级的业务之间不应截断。

支持通过寄存器配置节点的物理层优先级。

当物理层优先级数量为3时，一个物理层优先级示例：

——优先级取值为0的业务：I2C透传、GPIO固定时延触发模式、C类媒体封装包、隧道模式、物理层控制消息。

——优先级取值为1的业务：图像业务、音频业务、GPIO过采样模式。

——优先级取值为2的业务：I2C非透传、GPIO触发模式、SPI、UART。

注：优先级取值为0表示业务优先级最高，优先级取值越大业务优先级越低。

A.2.8 扰码移位寄存器与加扰

扰码移位寄存器输出的扰码$Scr_n[0]$是移位前产生的扰码比特。

在开始符期间，扰码移位寄存器不进行移位操作。

接收端根据链路协商帧、链路训练帧和休眠心跳帧中的扰码同步序列或者同步帧中的扰码得到当前扰码移位寄存器的状态。

A.2.9 开始符的发送顺序说明

开始符的发送顺序应满足以下要求。

——8B/10B 形成的开始符序列的发送顺序依次是：K28.5、K28.5、D10.2、D10.2。

——9B/10B 形成的开始符序列的发送顺序依次是：K7、K0、K0、K7。

A.3 媒体封装层

A.3.1 图像业务

A.3.1.1 MIPI CSI 非曝光行数据传输

MIPI CSI传输帧首嵌入数据、帧尾嵌入数据、消隐内容应同时支持以下两种方式。节点支持通过配置节点寄存器来选择传输方式[1]。

方式一：使用图像辅助子业务类型进行传输，图像辅助子业务类型定义应与HSMT视频协议表A.41相符合，媒体封装包净荷数据应为对应的CSI包数据（Packet Data）。

表A.41 图像辅助子业务类型定义

字段取值	子业务类型
0x00	帧开始（Frame Start）
0x01	帧结束（Frame End）
0x02	帧首嵌入数据（Front Embedded Data）
0x03	帧尾嵌入数据（Rear Embedded Data）
0x04	预留（Reserved）
0x05	消隐（Blanking Data）
0x06~0x09	用户自定义（User Defined）

方式二：使用隧道模式进行传输，图像子业务类型应为0xA[2]，媒体封装包净荷数据应为对应的CSI长包（Long Packet）。

注1：默认配置为方式二。

注2：0xA为HSMT视频协议表A.39预留字段。

A.3.1.2 隧道模式传输

当业务类型为图像业务时，子业务类型配置为0xA可用于隧道模式传输。当使用隧道模式传输MIPI CSI图像业务时，一个媒体封装包包头相关字段如下：

表A.8 隧道模式传输的媒体封装包包头示例

字段	取值
业务类型	0x0
子业务类型	0xA
流ID	可通过寄存器灵活配置

A.3.1.3 帧开始和帧结束

当业务类型为图像时，子业务类型为帧开始或帧结束的媒体封装包如下：

——长度字段取值为2。

——净荷数据字段取值如下：

- CSI/DSI：16比特短包数据域（16-Bit Short Packet Data Field）。
- DP：全0。

A.3.1.4 DSC 图像子业务类型

当子业务类型为DSC图像子业务类型时，支持通过寄存器配置DSC的压缩参数PPS。DSC图像子业务类型的媒体封装包各字段如下：

——子业务类型取值为0x30。

——净荷数据：

- DSI：MIPI DSI包头PH（32-bit Packet Header）、DSC压缩后的一行数据和MIPI DSI包尾PF（16-bit Packet Footer）。
- DP：DSC压缩后的一行数据和chunk结束符EoC（End of Chunk）。

注1：DSC压缩后的一行数据的一个示例为如图A.2中的slice 0的chunk 0和slice 1的chunk 0。

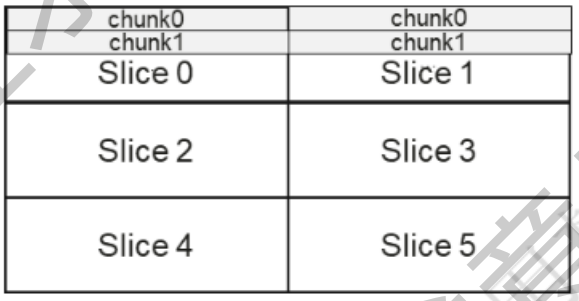


图 A.4 DSC 压缩数据在 HSMT 媒体封装包净荷数据中的顺序示例

A.3.2 音频业务

当业务类型为音频业务时，可通过媒体封装包的子业务类型字段取值为11传输非IEC 60958音频帧，传输的音频业务应支持I2S/TDM、PDM类型，子业务类型字段应与表A.9相符合。可通过寄存器配置音频通道采样率、通道数量和采样位宽。

表 A.9 音频子业务类型定义

字段取值	子业务类型
00	IEC 60958
01	用户自定义1
10	用户自定义2
11	I2S/TDM、PDM

当子业务类型为I2S/TDM、PDM时，媒体封装包格式应与图A.5相符合。

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	预留	业务类型(0x1)				媒体接入控制指示(0)	链路序列号	封装协议指示(1)
1	音频通道起始ID		预留			预留	子业务类型(11)	
2	音频通道数量					音频通道起始ID		
	业务数据							
	CRC16							

图 A.5 I2S/TDM、PDM 媒体封装包格式

I2S/TDM、PDM媒体封装包的子业务信息各字段如下：

——音频通道起始ID：指示该媒体封装包传输的音频通道ID起始值。

——音频通道数量：指示该媒体封装包包含的音频通道数量。

A.3.3 控制业务

A.3.3.1 源地址和目的地址上电初始值的要求

HSMT视频协议章节：A.3.4.1

HSMT视频协议原文：

控制业务包括I2C/SPI/UART控制业务和GPIO控制业务。节点应使用带有媒体接入控制字段的B类媒体封装包传输控制业务，控制业务媒体封装包应与图A.66相符合。其中，源地址、目的地址字段的定义与表A.37相符合。

HSMT视频协议修订：

控制业务包括I2C/SPI/UART控制业务和GPIO控制业务。节点应使用带有媒体接入控制字段的B类媒体封装包传输控制业务，控制业务媒体封装包应与图A.66相符合。其中，源地址、目的地址字段的定义与表A.37相符合。

注：正/反向节点源地址和目的地址上电初始地址为0x00。

A.3.3.2 广播和组播功能的要求

结论：节点应支持使用单播地址进行广播或组播配置功能，目的地址为单播地址；宜支持使用广播地址或组播地址进行广播或组播配置功能，目的地址为广播地址或组播地址。

A.3.3.3 状态码为读失败-带数据的媒体封装包要求

问题：状态码为读失败-带数据的应用场景是什么，业务数据应该填充什么内容？

当状态码为读失败-带数据时，媒体封装包格式应与图 A.84 相符合。

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	源地址					媒体接入控制指示(1)	链路序列号	封装协议指示(0)
1	Qos	目的地址						源地址
2	预留	业务类型(0x2)				预留	Qos	
3	源端口		预留			预留	子业务类型(10)	
4	目的端口					源端口		
5	长度(低4位)				扩展长度指示	状态码（100）		
6	预留	长度(高7位)						
……	自定义读失败状态字(定长度8字节)							
	业务数据							
	CRC16							

图A.84 状态码为读失败-带数据的媒体封装包格式

结论：从应用角度，状态确认结果为读失败时，无法判断数据内容中哪些是正确的，因此建议不使用状态码为读失败-带数据时的业务数据内容。

1、删除状态确认包状态码定义中的“读失败-带读数据”状态码定义

HSMT视频协议章节：表A.51

HSMT视频协议原文：

表A.51 状态确认包状态码定义

字段取值	状态码
000	写成功
001	写失败
010	读成功-带读数据
011	读失败-不带读数据
100	读失败-带读数据
101~111	预留

HSMT视频协议修订：

表A.51 状态确认包状态码定义

字段取值	状态码
000	写成功
001	写失败
010	读成功-带读数据
011	读失败-不带读数据
100	预留
101~111	预留

2、删除状态码为读失败-带读数据时的媒体封装包格式

HSMT视频协议章节：图A.84

HSMT视频协议原文：

当状态码为读失败-带数据时，媒体封装包格式应与图A.84相符合。

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	源地址					媒体接入控制指示(1)	链路序列号	封装协议指示(1)
1	QoS	目的地址						源地址
2	预留	业务类型(0x2)				预留	QoS	
3	源端口		预留			预留	子业务类型(10)	
4	目的端口					源端口		
5	长度(低4位)				扩展长度指示	状态码（100）		
6	预留	长度(高7位)						
……	自定义读失败状态（固定长度8字节）							
	业务数据							
	CRC16							

图A.84 状态码为读失败-带读数据的媒体封装包格式

HSMT视频协议修订：删除图A.84 状态码为读失败-带读数据的媒体封装包格式。

A.3.3.4 写读间隔指示

结论：应支持写读间隔指示取值为0和1两种情况，默认为1。

A.3.3.5 写读间隔

结论：写读间隔字段，以1 μs为基本单位，初始值为0x0。

A.3.3.6 状态确认的媒体封装包要求

结论：子业务类型为状态确认的媒体封装包用于本地节点确认对远端节点的控制读写操作是否成功，远端节点应根据控制读写操作是否成功返回对应的状态码。

A.3.4 I2C控制业务

A.3.4.1 I2C 透传模式和非透传模式

结论：从产品应用角度，当传输I2C控制业务时，节点应支持透明传输模式（简称透传模式）和非透明传输模式（简称非透传模式）两种模式。

A.3.4.2 I2C 端口控制写封装包的业务数据字段

问题：I2C端口控制写封装包格式（图A.72）中业务数据字段需要填写哪些信息。
结论：I2C地址+写操作不写入业务数据字段，其他数据都写入业务数据字段。

A.3.4.3 I2C 端口访问如何区分端口类型

问题：I2C端口访问，是否使用独立的设备地址，还是和芯片共享一个设备地址。
结论：I2C设备地址是唯一的，可以通过端口号来区分端口类型（标准寄存器、自定义寄存器、I2C端口、GPIO端口等）。

A.3.4.4 I2C 透传模式远端节点发送读数据字节 0 时是否先发送 ACK



图A.68 I²C透传模式示例

结论：图A.68 I2C透传模式示例中，远端节点在向摄像头传感器发送I2C地址+读操作后，收到摄像头传感器回复的I2C ACK和读数据字节0时，不发送I2C ACK给本地节点，发送读数据字节0给本地节点。

A.3.5 GPIO控制业务

A.3.5.1 GPIO过采样模式的信号采样顺序

问题：GPIO过采样模式的采样信号是按照什么顺序填入业务数据字段？

结论：GPIO信号按采样的顺序从低位字节低位比特开始填入。

A.3.5.2 固定时延触发模式媒体封装层传输确认包的要求

HSMT视频协议章节：A.3.4.3.4

HSMT视频协议原文：在固定时延触发模式下，节点应传输GPIO的上升沿或下降沿信息，在物理层和媒体封装层均不应进行重传。

HSMT视频协议修订：在固定时延触发模式下，节点应传输GPIO的上升沿或下降沿信息，在物理层和媒体封装层均不应进行重传，不应发送媒体封装层传输确认包。

A.3.5.3 故障上报时GPIO过采样模式媒体封装包采样数据（9字节）定义

节点应支持通过GPIO过采样模式媒体封装包（9字节）传输多个GPIO端口的故障信息，并满足以下要求：

——每12个比特对应节点的故障或者任意一个GPIO，映射关系通过寄存器配置。

——GPIO媒体封装包目的端口与源端口支持可配置，配置的端口范围为0x00~0x1F。

注：源端口默认配置值为0x00，目的端口默认值为0x01。

9字节	MSB					LSB
比特位	71:60	59:48	47:36	35:24	23:12	11:00
功能	GPIO/ERRB	GPIO/ERRB	GPIO/ERRB	GPIO/ERRB	GPIO/ERRB	GPIO/ERRB

图A.6 GPIO过采样模式采样数据（9字节）示例

A.3.6 媒体封装层重传

A.3.6.1 媒体封装层重传功能

问题：媒体封装包重传是否必须支持，是否纳入互联互通测试？

结论：重传的实现具体由厂商自身算法决定，媒体封装包的重传功能是可选的，媒体封装包重传建议需要支持，至少需要支持控制业务的媒体封装包重传；媒体封装包的重传功能纳入互联互通测试，保障各组合下（同时支持、同时不支持、一边支持一边不支持），可以互联互通。

A.3.6.2 B类媒体封装层重传功能的要求

问题：如何保证收发两端B类媒体封装包重传的兼容性。

结论：为提高产品兼容性，对于B类媒体封装包业务的重传功能，应符合如下要求：

1、对于采用B类媒体封装包的业务，正向节点和反向节点重传配置应保持一致，即同时打开重传或者同时关闭重传。

2、接收端根据重传功能是否打开，操作如下：

Case1：两边同时关闭重传功能，接收端忽略链路序列号，不回复媒体封装C类确认包。

Case2：两边同时打开重传功能，接收端检查链路序列号，回复媒体封装C类确认包。

A.3.7 SPI控制业务

A.3.7.1 SPI 片选指示

当远端节点支持多个SPI片选信号时，应通过HSMT媒体封装包中的远端地址字段指示SPI的片选信息，指示方式应符合下表：

表A.10 SPI 片选信号指示方式

媒体封装包中的远端地址字段取值	SPI片选信号
0	第一个SPI片选
1	第二个SPI片选
2	第三个SPI片选
3	第四个SPI片选

A.4 寄存器

A.4.1 标准寄存器比特0是低位还是高位

结论：比特0应为标准寄存器低位。

A.4.2 自定义寄存器和标准寄存器是否需要统一

问题：自定义寄存器读写封装包是否需要在标准里统一为标准寄存器的格式。

结论：自定义寄存器设计初衷是为了提供给各家基于自己的需求灵活设计；各家的自定义寄存器数量和流程也不一样，数量庞大。因此没有必要在标准里统一成标准寄存器的格式。

A.4.3 自定义寄存器是否可以使用标准寄存器预留空间

问题：自定义寄存器是否使用标准寄存器预留空间。

表A.58 寄存器地址空间

地址范围	定义/描述
0x0000~0x0001	设备商标识
0x0002~0x0003	设备商产品标识
0x0004~0x0005	设备商产品版本
0x0006	标准版本号
0x0007	节点类型
0x0008~0x000F	预留
0x0010	高速接口数量
0x0011	I²C接口数量
0x0012	SPI接口数量
0x0013	UART接口数量
0x0014	GPIO接口数量
0x0015~0x001F	预留，用于更多的接口类型扩展
0x0020~0xFFFF	预留

结论：后续如果标准更新，会有冲突，当前不做约定。建议实现上标准预留空间留空，可以兼容后续协议更新。

A.4.4 端口0x00和0x01仅用于目的端口的理解

问题：A.47中字段取值0x00和0x01时，定义中要求仅用于目的端口，远端节点收到本地节点的寄存器读或写操作时，返回状态确认包的源端口和目的端口是否也需要满足此要求。

表A.47 端口定义

字段取值	定义
0x00	标准寄存器，仅用于目的端口
0x01	自定义寄存器，仅用于目的端口
0x02~0x05	I²C_0~I²C_3
0x06~0x08	SPI_0~SPI_2
0x09~0x0C	UART_0~UART_3
0x0D~0x14	GPIO_0~GPIO_7
0x15~0x1F	预留

结论：状态确认包不需要满足此要求，表A.47中字段取值0x00和0x01时，定义中描述仅用于目的端口是针对本地节点对远端节点寄存器进行读或写操作时的端口要求，当远端节点返回状态确认包时，应将收到的寄存器控制读封装包或寄存器控制写封装包中源端口和目的端口互换。

A.4.5 节点类型寄存器

节点类型寄存器中，bit[7:0]取值为0x00时，表示反向节点；bit[7:0]取值为0x01时，表示正向节点。

HSMT工作组 征求意见稿

附 录 B
（资料性）
摄像头场景

B.1 同步域 PLDB 间隔

反向节点接收正向训练帧，应支持图 B.1 所示两种反向传输帧的发送，通过判断字节 3 比特 5 的取值，确定发送数据帧的同步域 PLDB 间隔是 N = K+3 还是 N = 2^{k+2}，按照确定的 N 值发送反向传输帧。

正向节点发送正向训练帧，应通过字节 3 比特 5 来指示反向同步域 PLDB 间隔。

正向训练帧字节 3 比特 5 的定义如下：

——字节 3 比特 5 = 1 时，表示正向节点支持 N = 2^{k+2}，K 的取值按照 HSMT 视频协议表 A.17 数据域传输 PLDB 数量字段说明，0000~0100 依次表示 4/8/16/32/64，其他预留。

——字节 3 比特 5 = 0 时，表示正向节点支持 N = K+3，K 的取值按照 HSMT 视频协议表 A.17 数据域传输 PLDB 数量字段说明，0000~0100 依次表示 3/4/5/6/7，其他预留。

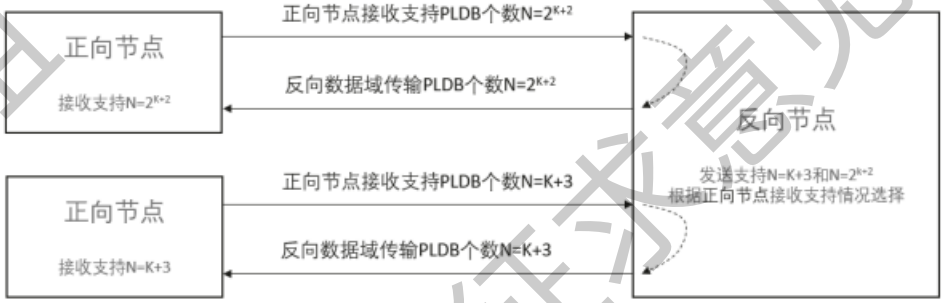


图 B.1 反向传输帧方案

B.2 连通性要求

摄像头场景下应支持4条链路，即1个反向节点连接4个正向节点，并满足以下要求：

——任意一条链路断开后，不影响其他链路的数据传输；

——支持每条链路的正向速率挡位独立配置为节点支持的任意速率挡位。

B.3 GPIO 应用

B.3.1 通则

传感器摄像头场景下，节点支持正向节点故障上报、传感器故障透传、FrameSync、GPIO端口映射和汇聚，每个功能是否打开通过配置节点寄存器控制。

B.3.2 正向节点故障上报

正向节点功能安全的故障上报功能，应满足以下要求：

——正向节点的故障通过GPIO媒体封装包传输给反向节点，由反向节点传输给控制器SOC。

——若反向节点接收到多个正向节点的GPIO媒体封装包，反向节点应做汇聚后传输给控制器SOC。

注2：默认“1”表示有故障。

注3：GPIO输出高低电平可配置，默认为低电平有故障。

——正向节点每种功能安全机制的故障上报功能是否打开由控制器SOC配置，正向节点所有的功能安全机制的故障上报汇总后通过单个目的端口发送给反向节点。

——节点支持通过配置节点寄存器来选择传输的GPIO媒体封装包类型，GPIO媒体封装包类型包括1字节过采样模式、9字节过采样模式、上升沿触发模式和下降沿触发模式。

注4：默认配置为过采样9字节媒体封装包传输。

——当采用GPIO过采样模式媒体封装包传输时，节点的GPIO采样率配置为50 MHz的2^n分频，n最大值为10，最小值为0。

注5：GPIO采样率默认配置为n = 6，即64分频。

——GPIO媒体封装包目的端口与源端口支持可配置，配置的端口范围至少应支持HSMT视频协议表A.47中定义的0x0D~0x14。

图B. 2为一个正向节点故障上报功能的示例。



图B. 2 正向节点故障上报

B. 3. 3 传感器故障透传

传感器故障透传功能，支持传感器摄像头产生的故障和警告信息经过正向节点透传到反向节点，应满足以下要求：

——由正向节点GPIO输入，正向节点通过GPIO媒体封装包传输给反向节点，由反向节点传输给控制器SOC。

——节点支持通过配置节点寄存器来选择传输的GPIO媒体封装包类型，GPIO媒体封装包类型包括1字节过采样模式、9字节过采样模式、上升沿触发模式和下降沿触发模式。

注6：默认配置为过采样9字节媒体封装包传输。

——当采用GPIO过采样模式媒体封装包传输时，节点的GPIO采样率配置为50 MHz的2ⁿ分频，n最大值为10，最小值为0。

注7：GPIO采样率默认配置为n = 6，即64分频。

B. 3. 4 FrameSync

FrameSync功能，支持控制器SOC通过反向节点同步驱动正向节点GPIO，控制传感器摄像头拍照，应满足以下要求：

——由反向节点GPIO输入，反向节点通过GPIO媒体封装包传输给正向节点，正向节点传输给传感器摄像头。

——节点应支持以单播地址发送FrameSync的GPIO媒体封装包，宜支持以广播地址或组播地址发送FrameSync的GPIO媒体封装包。

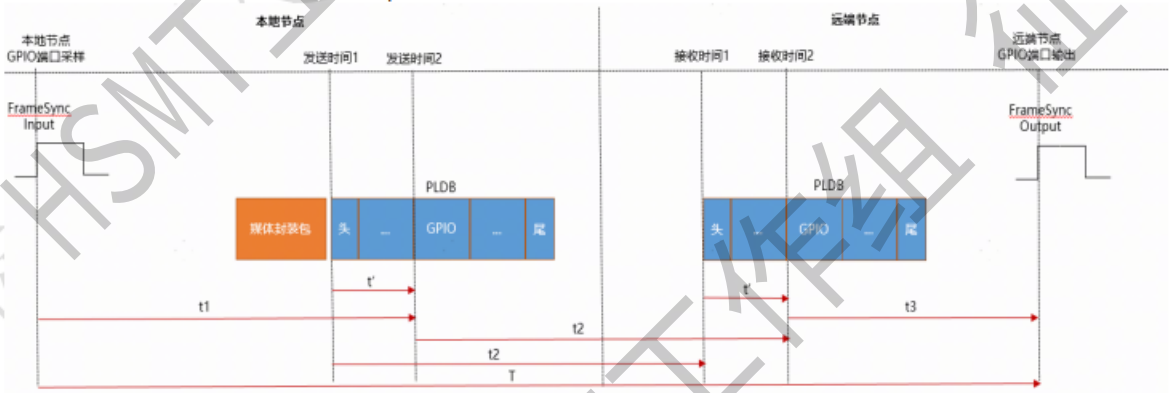
——节点支持通过配置节点寄存器来选择传输的GPIO媒体封装包类型，GPIO媒体封装包类型包括固定时延上升沿触发和固定时延下降沿触发。

注8：默认配置为固定时延上升沿触发。

——多个远端正向节点输出GPIO的时间同步误差小于等于1 μs。从SOC输入反向节点到正向节点GPIO输出的时延误差小于等于1 μs。

——GPIO固定时延触发模式传输示例如下图所示。

注9：GPIO端对端时延T默认配置为50 μs。



——节点可支持通过配置GPIO生效时间调整量寄存器调整节点输出GPIO的时间，可支持通过配置GPIO生效时间调整使能寄存器指示是否使能调整GPIO生效时间。

- 示例的，GPIO生效时间调整量寄存器如表B. 1所示：

表B. 1 GPIO生效时间调整量寄存器

寄存器比特	描述

[11:0]	GPIO生效时间调整值（单位：10ns）
[12]	0表示GPIO生效时间调整值为正；1表示GPIO生效时间调整值为负
[15:13]	预留

- GPIO生效时间调整使能寄存器指示每个PLDB上的GPIO生效时间调整使能情况。示例的，GPIO生效时间调整使能寄存器如表B.2所示：

表B.2 GPIO生效时间调整使能寄存器

寄存器比特	描述
[0]	PLDB0的GPIO生效时间调整使能情况。0表示不使能；1表示使能
[1]	PLDB1的GPIO生效时间调整使能情况。0表示不使能；1表示使能
……	……
[63]	PLDB63的GPIO生效时间调整使能情况。0表示不使能；1表示使能

B.3.5 GPIO端口映射和汇聚

节点应支持GPIO端口映射和汇聚功能，并满足以下要求：

——正向节点GPIO数量不少于8个，反向节点GPIO数量不少于16个。

——任意一个正向节点上的任意一个GPIO，映射到反向节点上的任意一个GPIO。

——任意多个正向节点上的任意一个GPIO，按照一定逻辑关系汇聚到反向节点上的任意一个GPIO，逻辑关系为“或”或者“与”。

——任意多个正向节点上的任意多个GPIO，按照一定逻辑关系汇聚到反向节点上的任意一个GPIO，逻辑关系为“或”或者“与”。

——支持通过寄存器查询汇聚结果。

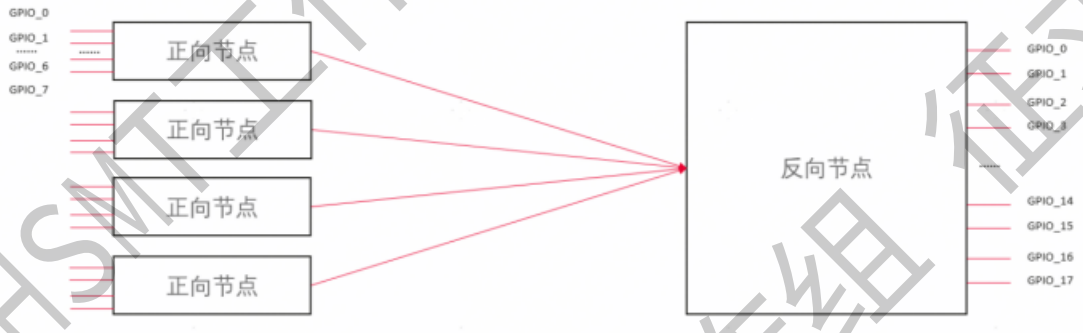
——通过寄存器配置逻辑关系为“或”或者“与”。

——GPIO媒体封装包目的端口与源端口支持可配置，配置的端口范围至少应支持HSMT视频协议表A.47中定义的0x0D~0x14。

注10：默认GPIO端口号与物理端口号的映射关系为0x0D~0x14与GPIO_0~7按顺序一一对应。当端口范围超过GPIO_0~GPIO_7时，宜顺序使用0x15~0x1C。

注11：反向节点源地址默认配置为0x5。

注12：正向节点源地址默认配置为HSMT链路0~链路3与0x1~0x4按顺序一一对应。



图B.3 GPIO端口映射和汇聚功能示例

B.4 配置流程

摄像头场景的配置流程满足以下要求：

——正向节点和反向节点的配置流程解耦。

——不同模块的配置流程解耦，包括HSMT、I2C、GPIO、MIPI、SPI。

——支持SOC通过反向节点读写远端正向节点不同地址长度的自定义寄存器，地址长度包括16bit、24bit、32bit。

图B.4给出了配置流程示例，供应商按照配置流程和配置步骤向客户提供寄存器配置清单。

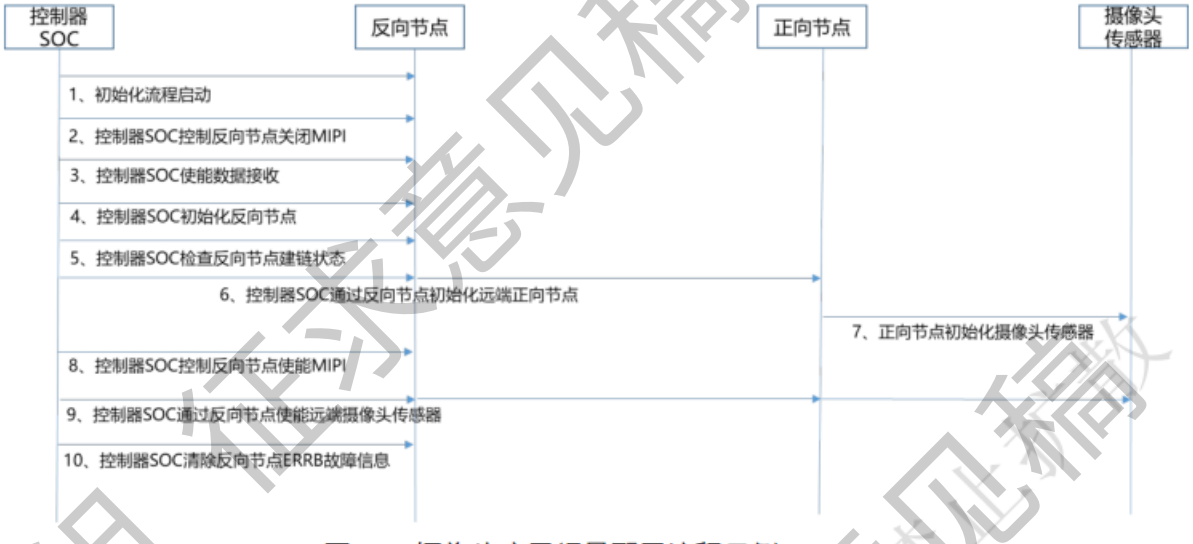


图 B.4 摄像头应用场景配置流程示例

步骤1：初始化流程启动

步骤2：控制器SOC控制反向节点关闭MIPI

——读取 MIPI 出流状态，关闭 MIPI 出流；

步骤3：控制器SOC使能数据接收

步骤4：控制器SOC初始化反向节点

a) 控制器 SOC 读取反向节点厂商 ID；

b) 初始化 I2C；

c) 配置 HSMT 正向速率，启动建链；

d) 配置反向节点源地址[1]和 I2C 源端口号[2]；

e) 配置 MIPI 输出；

f) 配置 4 路 link 对应的 VC 号；

g) 配置正向节点故障上报和摄像头传感器故障上报的 GPIO；

h) 使能 ERRB 故障监控；

i) 使能 I2C1。

步骤5：控制器SOC检查反向节点建链状态

a) 读取反向节点链路状态寄存器；

b) 选择对应链路正向节点。

步骤6：控制器SOC通过反向节点初始化远端正向节点

c) SOC 通过反向节点对正向节点自定义寄存器进行写操作，写数据 0x0858041000ffff，正向节点返回状态码为写成功的媒体封装包[3]；

d) SOC 通过反向节点对正向节点获取设备厂商标识，正向节点返回状态码为读成功-带数据的媒体封装包返回设备标识；

e) SOC 根据设备商标识对应厂商，通过反向节点对正向节点配置正向节点的源地址[4]，正向节点返回状态码为写成功的媒体封装包（源地址 0x00，目的地址 0x05）；

f) SOC 根据设备商标识对应厂商，配置正向节点：

1) 配置 MIPI 输入；

2) 配置 ERRB 故障监控功能并使能；

3) 配置 GPIO 输出时钟；

4) 配置 FrameSync 功能；

5) 配置摄像头传感器故障上报功能；

6) 配置摄像头传感器 reset 功能；

7) 配置 I2C Master 速率；

8) 清除正向节点故障信息。

步骤7：正向节点初始化摄像头传感器

g） 选择对应端口正向节点的摄像头传感器；
h） 通过上下电或GPIO复位解复位摄像头传感器；
i） 配置摄像头传感器。
步骤8：控制器SOC控制反向节点使能MIPI
——控制器SOC控制反向节点MIPI出流。
步骤9：控制器SOC通过反向节点使能远端摄像头传感器
——反向节点触发FrameSync信号，使能远端摄像头传感器同步曝光工作。
步骤10：控制器SOC控制反向节点清除ERRB故障信息
——清除反向节点故障信息。
注13：正/反向节点源地址和目的地址上电初始地址为0x00，反向节点源地址默认配置值为0x05。
注14：I2C端口号与物理端口号的映射关系应可配置，默认为0x02~0x05与I2C_0~I2C_3按顺序一一对应。
注15：此写操作不应对正向节点的正常功能和性能有任何影响。
注16：正向节点源地址默认配置值为HSMT链路0~链路3与0x1~0x4按顺序一一对应。

B.5 配置寄存器

B.5.1 通则

本文件定义以下寄存器。

B.5.2 寄存器定义

HSMT工作组 征求意见稿

附 录 C
（资料性）
显示场景

C.1 显示业务

C.1.1 通则

显示场景应支持以下视频业务接口互联互通。

正向节点	反向节点
DSI	CSI
DSI	oLDI
DP/eDP	oLDI
DP/eDP	DP/eDP
DP/eDP	CSI
CSI	oLDI
CSI	DP/eDP

C.1.2 像素同步

像素同步应满足以下流程要求：

——正向节点通过时基ID标识转发的特定时钟，通过32比特时钟计数器，转化为32比特时基信息。

——正向节点将时基ID和时基信息通过正向同步帧发送给反向节点。正向同步帧格式与视频协议表A.19相符合。

——反向节点接收到正向同步帧中携带的时基ID和时基信息，通过时钟电路和本地参考时钟恢复时钟。

C.1.3 音频业务

显示场景下，节点应支持I2S音频业务，当子业务类型为I2S时，子业务类型字段和媒体封装包格式应满足以下要求：

子业务类型字段 = 00（IEC 60958）。

媒体封装包格式与视频协议中图A.64相符合。

业务数据中承载的I2S数据应与图C.1相符合：

——I2S左声道的MSB映射到业务数据bit[23]，I2S右声道的MSB映射到业务数据bit[51]，每个I2S声道最多可以传输24位（音频采样字+辅助）。

——Z和VUCP字段按照IEC 60958设置，每192帧Z = 1，VUC = 000，P_{left} = ^业务数据[26:0]，P_{right} = ^业务数据[54:28]。

——支持通过寄存器配置音频接口。

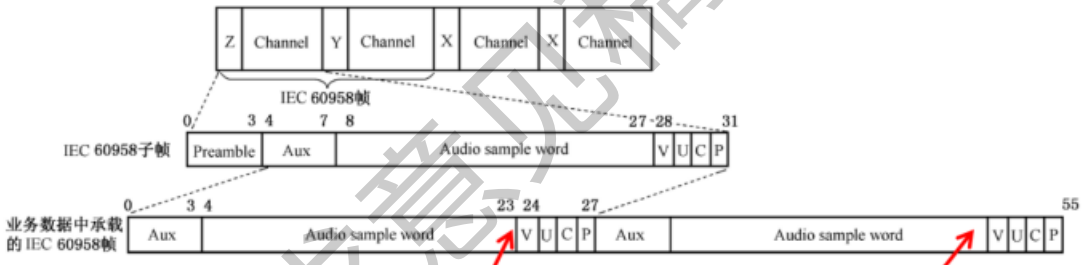


图 A.65 业务数据中承载的 IEC 60958 帧

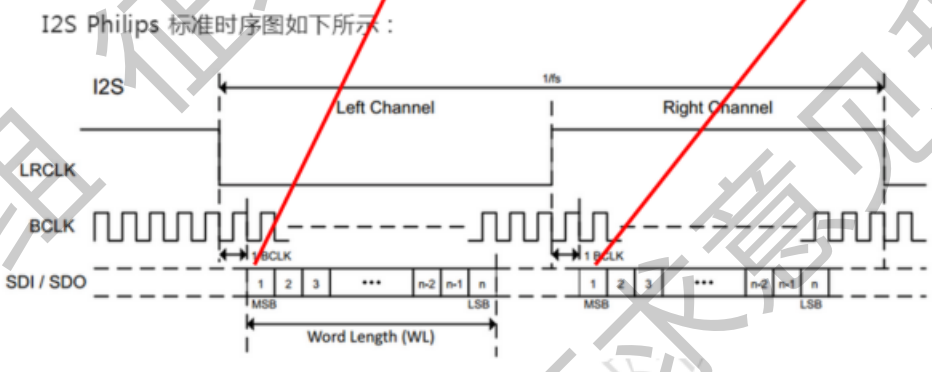


图 C.1 I2S 媒体封装包格式

C.1.4 帧开始和帧结束触发条件

当图像接口类型为CSI时，FS（Frame Start）触发图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包，FE（Frame End）触发图像辅助子业务类型为帧结束的媒体封装包；

当图像接口类型为DSI时，VSE（Vertical Sync End)触发图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包，VSS（Vertical Sync Start)触发图像辅助子业务类型为帧结束的媒体封装包；

当图像接口类型为DP时，可选用MSA（Main Stream Attribute)包的结束触发图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包，最后一行有效像素的结束触发图像辅助子业务类型为帧结束的媒体封装包；也可选用MSA包内的信息，在VSYNC开始和结束的精确时刻触发图像辅助子业务类型为帧结束和帧开始的媒体封装包。

注1：在同一视频流传输时，正向节点宜在有效像素前的固定时刻触发图像辅助子业务类型为帧开始/帧结束媒体封装包。

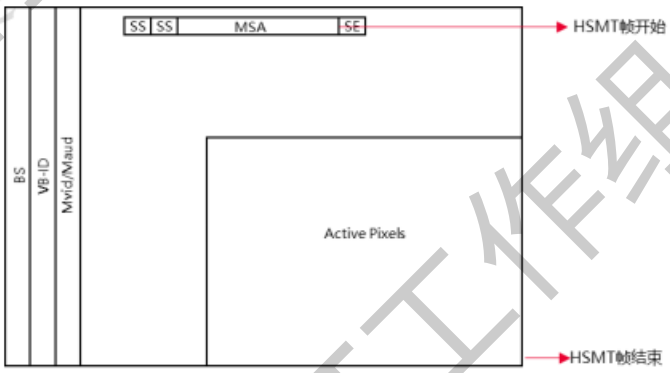


图 C.2 当图像接口类型为 DP 时，选用 MSA 和最后一行有效像素触发 HSMT 帧开始和帧结束示意图

C.1.5 图像帧同步

正向节点应发送2个固定时延触发模式的GPIO媒体封装包，用于提升图像帧同步的精确性和鲁棒性。所述2个固定时延触发模式的GPIO媒体封装包应满足以下要求：

——当正向节点触发图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包时，启动Timer1，Timer1到时，触发第1个固定时延触发模式GPIO媒体封装包；

——当触发第1个固定时延触发模式GPIO媒体封装包时，启动Timer2，Timer2到时，触发第2个固定时延触发模式GPIO媒体封装包；

——Timer1、Timer2应使得2个固定时延触发模式GIPO媒体封装包的时序满足图C.3。

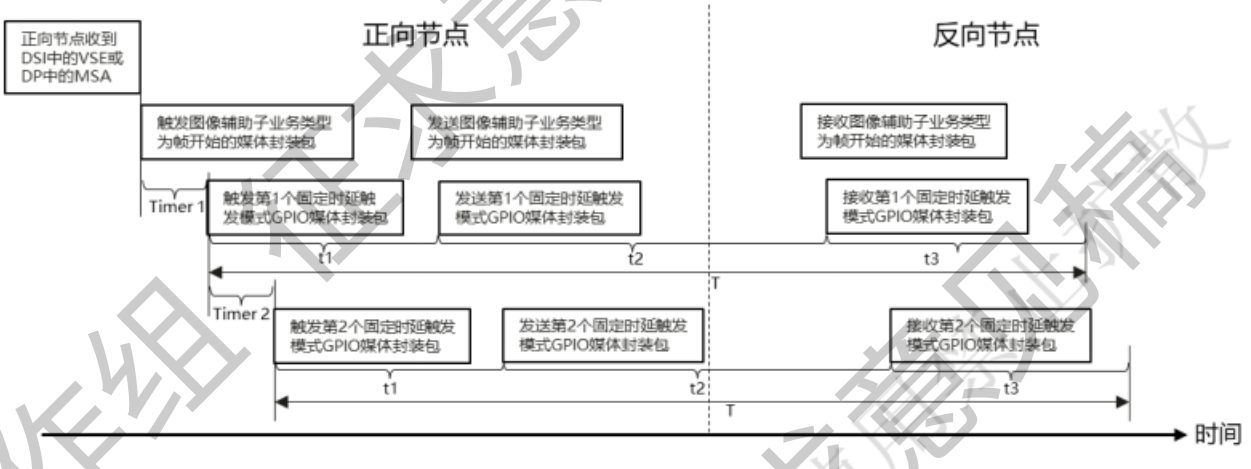


图 C.3 固定时延触发模式 GIPO 媒体封装包触发帧同步时序图

其中，T为预先设置的GPIO端到端时延，建议默认值为100us，Timer1根据具体实现设置确保时序第1个固定时延触发模式GPIO媒体封装包在图像辅助子业务类型为帧开始的媒体封装包之后，Timer2建议默认值为40us。

C.1.6 Dual link传输

节点可支持以下2种dual link传输模式。

模式1：媒体封装层分路，分路方式如图C.4所示。正向节点将图像数据拆分为两路正向媒体封装包，分别发送到一个传输通道上。

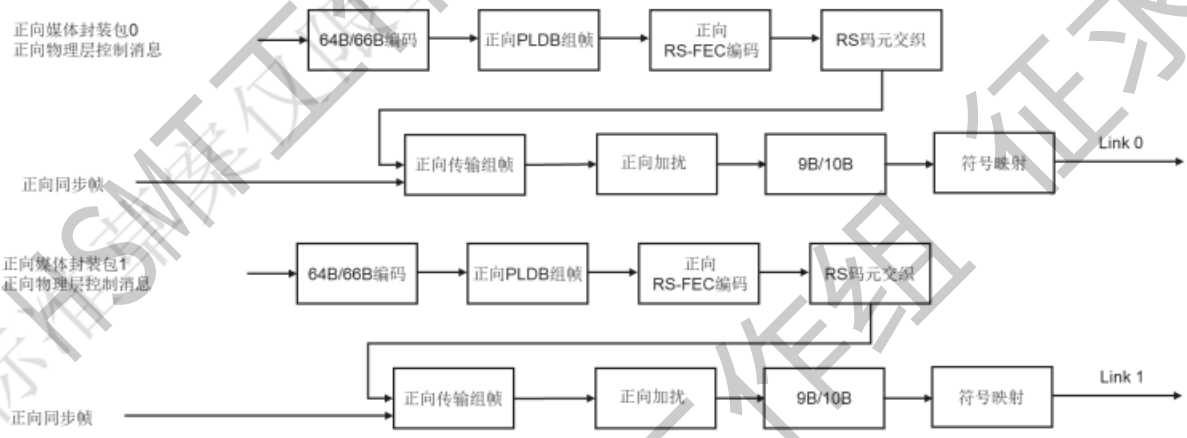


图 C.4 媒体封装层分路方式示意图

模式2：物理层分路，分路方式如图C.5所示。正向节点将正向PLDB拆分为两路正向数据域，两路正向数据域中分别添加同步帧，分别发送到一个传输通道上。

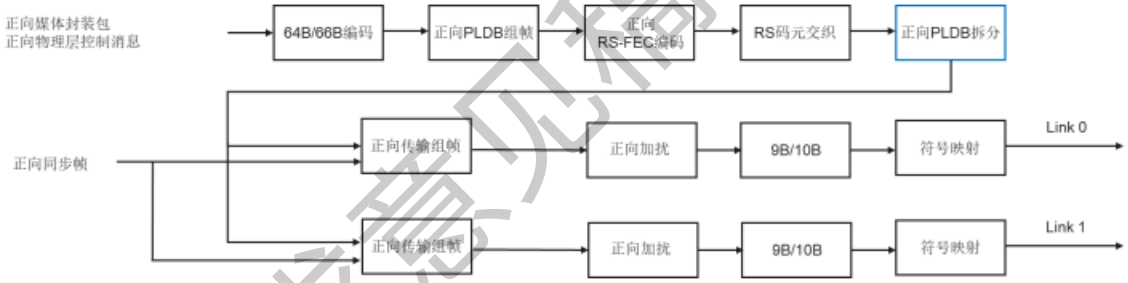


图 C.5 物理层分路方式示意图

正向节点将正向PLDB按照如图C.6的方式拆分为两路正向数据域。其中，每个S表示RS码元交织后的比特。

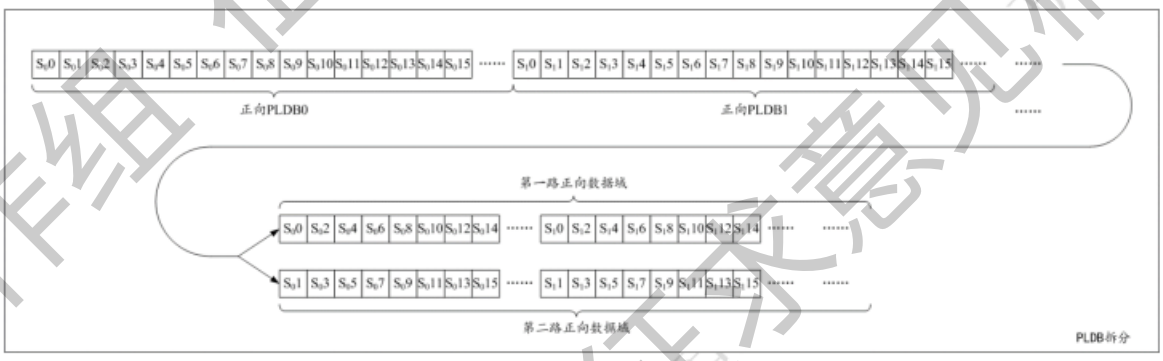


图 C.6 PLDB 拆分方式示意图

C.2 GPIO 应用

C.2.1 通则

显示场景下，节点应支持故障上报透传、TP和NFC等中断透传。

C.2.2 故障上报透传

故障上报透传功能，满足以下要求：

——屏端产生故障后，对GPIO进行上拉或下拉；

注2：默认对GPIO进行下拉。

——SOC对GPIO进行轮询，检测到故障后，读取反向节点和屏端的故障信息；

——正向节点和反向节点支持GPIO汇聚功能，汇聚节点通过寄存器指示故障来源于哪个节点。

C.2.3 中断透传

TP和NFC等中断透传功能，满足以下要求：

——屏端检测到触控事件后触发中断，屏端MCU处理后上报中断，中断通过GPIO媒体封装包传输；

——节点支持通过配置节点寄存器来选择传输的GPIO媒体封装包类型，GPIO媒体封装包类型包括1字节过采样模式、9字节过采样模式、上升沿触发模式和下降沿触发模式；

注3：默认配置为过采样1字节媒体封装包传输。

——当采用GPIO过采样模式媒体封装包传输时，节点的GPIO采样率配置为50MHz的2^n分频，n最大值为10，最小值为0。

注4：GPIO采样率默认配置为n = 6，即64分频。

C.3 配置流程

显示场景的配置流程满足以下要求：

——正向节点和反向节点的配置流程解耦。

——不同模块的配置流程解耦，包括HSMT、I2C、GPIO、MIPI。

C.3.1和C.3.2给出了配置流程示例，供应商应支持两种配置流程，并按照配置流程和配置步骤向客户提供寄存器配置清单。

C.3.1 配置流程1

步骤1：正向节点复位解复位
步骤2：控制器SOC初始化正向节点
——初始化I2C；
——检测HSMT建链状态；
——配置目的地址和目的端口号；
步骤3：SOC控制初始化反向节点
——读取正向节点厂商设备标识；
——使能I2C通道(外设)；
——配置视频参数；
——配置GPIO。
步骤4：SOC控制初始化正向节点
——配置GPIO；
——视频接口为DSI/oLDI
- 配置视频流映射；
- 配置MIPI端口并使能。

——视频接口为DP
- 配置DP建链；
- 配置视频流映射。

步骤5：SOC控制出流并使能
步骤6：故障清除
——正向节点故障清除；
——反向节点故障清除。
注5：正/反向节点源地址和目的地址上电初始地址为0x00。
注6：正向节点源地址默认配置值为0x01，反向节点1源地址默认配置值为0x05，反向节点2源地址默认配置值为0x07。

C.3.2 配置流程2

步骤1：正向节点复位解复位
步骤2：控制器SOC初始化正向节点
——初始化I2C；
——检测HSMT建链状态；
——配置目的地址和目的端口号；
——配置GPIO；
——视频接口为DSI/oLDI
- 配置视频参数、锁相环配置、通道映射；
- 配置MIPI端口并使能。

——视频接口为DP
- 配置DP建链；
- 配置视频参数、锁相环配置、通道映射。

步骤3：SOC控制出流并使能
步骤4：SOC控制初始化反向节点
——读取正向节点厂商设备标识；
——使能I2C通道(外设)；
——配置视频参数；
——配置GPIO。
步骤5：故障清除
——正向节点故障清除；
——反向节点故障清除。

注7：正/反向节点源地址和目的地址上电初始地址为0x00。
注8：正向节点源地址默认配置值为0x01，反向节点1源地址默认配置值为0x05，反向节点2源地址默认配置值为0x07。

C.4 配置寄存器

C.4.1 通则

本文件定义以下寄存器。

C.4.2 寄存器定义

HSMT工作组 征求意见稿 标准草案仅限工作组内部使用禁止转发

附 录 D
（资料性）
SoC 与本地节点间的通信接口

D.1 通则

SoC与本地节点间应支持通过IIC接口和SPI接口进行通信。

——若 SoC 与本地节点间通过 IIC 接口进行通信，应支持 IIC 接口命令模式和标准 IIC 模式。

- 应支持通过IIC接口命令模式访问本地节点、远端节点和远端节点外设。当使用IIC接口命令模式时，应按照HSMT行标A.3.4中定义的IIC非透传模式对远端节点和远端节点外设进行访问。
- 应支持通过标准IIC模式访问本地节点和远端节点外设，可支持访问远端节点。当使用标准IIC模式时，应按照HSMT行标A.3.4中定义的IIC透传模式对远端节点外设进行访问。

——若 SoC 与本地节点间通过 SPI 接口进行通信，应支持 SPI 接口命令模式。应支持通过 SPI 接口命令模式访问本地节点、远端节点和远端节点外设。当使用 SPI 接口命令模式时，应按照 HSMT 行标 A.3.4 中定义的 SPI 非透传模式进行访问。

本地节点可通过efuse烧写等方式配置本地节点与SoC通信的默认模式（IIC接口命令模式或标准IIC模式）。本地节点的IIC设备地址应满足如下的配置方式。

——若默认模式为 IIC 接口命令模式，应通过硬件管脚下拉电阻配置 IIC 接口命令模式中的 IIC 设备地址默认值。本地节点可支持一个或多个使用标准 IIC 模式访问本地节点的 IIC 设备地址默认值，该 IIC 设备地址可通过寄存器配置或修改；

——若默认模式为标准 IIC 模式，应通过硬件管脚下拉电阻配置 SoC 访问本地节点的 IIC 设备地址默认值。本地节点可支持一个或多个使用 IIC 接口命令模式的 IIC 设备地址默认值，该 IIC 设备地址可通过寄存器配置或修改。

SoC接口命令模式应用于控制器SoC和本地节点间的通信，SoC接口命令模式包含命令帧和响应帧。命令帧和响应帧分别包含帧头和帧内容，其中字节0为帧头，其余字节为帧内容。命令帧和响应帧的帧头均由控制器SoC向本地节点发送，命令帧的帧内容由控制器SoC向本地节点发送，响应帧的帧内容由本地节点向控制器SoC发送。

本附录定义的命令帧和响应帧类型如C所示。当命令帧子类型为标准寄存器控制写、自定义寄存器控制写或端口控制写时，对应的响应帧子类型应为写成功、写失败或命令帧错误中的一种；当命令帧子类型为标准寄存器控制读、自定义寄存器控制读或端口控制读时，对应的响应帧子类型应为读成功、读失败或命令帧错误中的一种，子类型为读失败的响应帧对应的HSMT行标中的状态码为读失败-不带数据。

表 D.1 SOC 接口命令模式帧类型

帧类型	子类型	操作对象
命令帧	标准寄存器控制写	本地节点、远端节点
	标准寄存器控制读	本地节点、远端节点
	自定义寄存器控制写	本地节点、远端节点
	自定义寄存器控制读	本地节点、远端节点
	端口控制写	远端节点外设
	端口控制读	远端节点外设
响应帧	写成功	不涉及
	写失败	
	读成功	
	读失败	
	命令帧错误	本地节点

SoC接口命令模式包含IIC接口命令模式和SPI接口命令模式，IIC接口命令模式定义应与D.3 相符合，SPI接口命令模式定义应与D.4 相符合。

当SoC与本地节点间的IIC接口通信方式为标准IIC模式时，应支持HSMT行标定义的IIC透传模式访问远端节点外设，IIC透传模式的访问方式应与D.2 相符合。

如无特殊说明，本附录定义的寄存器应在本地节点配置。

D.2 标准 IIC 模式访问远端节点和远端节点外设

D.2.1 访问流程

当使用标准IIC模式访问远端节点和远端节点外设时，本地节点应预配置D.2.2.1 中寄存器的透传IIC设备地址使能、透传IIC设备地址取值、透传IIC设备地址映射的节点目的地址、透传IIC设备地址映射的目的端口号，并通过D.3.4.3 中寄存器预配置的目的地址对应的HSMT高速接口号发送HSMT行标图A.70中定义的IIC透传媒体封装包执行IIC透传模式访问。

D.2.2 寄存器定义

D.2.2.1 透传 IIC 设备地址配置寄存器

透传IIC设备地址配置寄存器应符合如表D.40定义。

表 D.2 透传 IIC 设备地址配置寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[0]	0	透传IIC设备地址0使能：0=不使能；1=使能
[7:1]	0	透传IIC设备地址0取值
[13:8]	0	透传IIC设备地址0映射的节点目的地址
[18:14]	2	透传IIC设备地址0映射的目的端口号
[25:19]	0	透传IIC设备地址0映射的远端节点外设的IIC设备地址
[31:26]		预留
[32]	0	透传IIC设备地址1使能：0=不使能；1=使能
[39:33]	0	透传IIC设备地址1取值
[45:40]	0	透传IIC设备地址1映射的节点目的地址
[50:46]	2	透传IIC设备地址1映射的目的端口号
[58:51]	0	透传IIC设备地址1映射的远端节点外设的IIC设备地址
[63:58]	0	预留
…	…	…
[480]	0	透传IIC设备地址15使能：0=不使能；1=使能
[487:481]	0	透传IIC设备地址15取值
[493:488]	0	透传IIC设备地址15映射的节点目的地址
[498:494]	2	透传IIC设备地址15映射的目的端口号
[505:499]	0	透传IIC设备地址15映射的远端节点外设的IIC设备地址
[511:506]	0	预留

注：该寄存器中的目的端口号的取值应支持HSMT行标中定义的IIC端口号。

D.3 IIC 命令模式

D.3.1 帧结构和字段定义

D.3.1.1 命令帧结构

D.3.1.1.1 标准寄存器控制写

标准寄存器控制写的命令帧结构应满足如表D.3定义。

表 D.3 IIC 接口标准寄存器控制写命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							W
1	广播使能	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(000)		
3	预留	长度[10:4]						
4	标准寄存器地址[7:0]							

5	标准寄存器地址[15:8]
.....	业务数据
.....	CRC

命令帧各字段定义如下。

——字节0：用于表示本地节点的IIC设备地址字段和写/读指示。

- 比特0：写/读指示字段，设置为0，表示写指示。
- 比特1~7：IIC设备地址字段，表示本地节点的IIC设备地址。

——字节1：用于确定命令帧访问的节点目的地址和目的端口。

- 比特0~2：目的端口选择字段，根据该字段取值确定访问节点的目的端口。若该字段取值为0~1，则为表D.4中定义的寄存器操作；若该字段取值为2~7，则根据表D.20的目的端口映射表寄存器中映射索引对应的目的端口号取值确定访问的目的端口。字段取值如表D.4所示：

表D.4 IIC命令帧目的端口选择字段定义

目的端口选择取值	描述
0	节点标准寄存器
1	节点自定义寄存器
2	目的端口映射索引0
3	目的端口映射索引1
4	目的端口映射索引2
5	目的端口映射索引3
6	目的端口映射索引4
7	目的端口映射索引5

- 比特3~6：目的地址选择字段，根据该字段取值确定访问的节点目的地址。根据表D.19的目的地址映射表寄存器中映射索引对应的目的地址取值确定访问的目的地址，当该字段选择的目的地址映射索引对应的目的地址取值为本地节点地址时，本地节点应执行命令帧中的操作内容，不应向远端节点发送HSMT媒体封装包。字段取值如表D.5所示：

表D.5 IIC命令帧目的地址选择字段定义

目的地址选择取值	描述
0	目的地址映射索引0
1	目的地址映射索引1
2	目的地址映射索引2
…	…
15	目的地址映射索引15

- 比特7：广播使能字段，设置为0时该命令帧不使能广播；设置为1时该命令帧使能广播，此时比特3~6不生效，节点应满足D.3.2 中的广播要求。

——字节2至CRC字节前的字节：与HSMT行标图A.74中字节5至CRC字节前的字节定义相同。

——CRC字节：根据表D.17中定义的CRC配置寄存器的取值确定CRC字段的使能、长度和保护范围。CRC的计算公式和HSMT行标相同。

D.3.1.1.2 标准寄存器控制读

标准寄存器控制读的命令帧结构应满足如表D.6定义。

表D.6 IIC接口标准寄存器控制读命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0

0	IIC 设备地址							W
1	广播使能（0）	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(001)		
3	预留	长度[10:4]						
4	标准寄存器地址[7:0]							
5	标准寄存器地址[15:8]							
6	读数据长度[3:0]				扩展读数据长度指示	预留		写读间隔指示(0)
7	预留	读数据长度[10:4]						
.....	CRC							

标准寄存器控制读命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.78 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.1.3 自定义寄存器控制写

自定义寄存器控制写的命令帧结构应满足如表D.7定义。

表 D.7 IIC 接口自定义寄存器控制写命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							W
1	广播使能	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(000)		
3	预留	长度[10:4]						
.....	业务数据							
.....	CRC							

自定义寄存器控制写命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.75 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.1.4 自定义寄存器控制读

自定义寄存器控制读的命令帧结构应满足如表D.8定义。

表 D.8 IIC 接口自定义寄存器控制读命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							W
1	广播使能（0）	目的地址选择				目的端口选择		

2	长度[3:0]		扩展长度指示	操作码(001)
3	预留	长度[10:4]		
.....	业务数据			
.....	CRC			

自定义寄存器控制读命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.79 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.1.5 端口控制写

端口控制写的命令帧结构应满足如表D.9定义。

表 D.9 IIC 接口端口控制写命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							W
1	广播使能	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(000)		
3	预留	长度[10:4]						
4	远端设备地址							预留
.....	业务数据							
.....	CRC							

端口控制写命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.72 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.1.6 端口控制读

端口控制读的命令帧结构应满足如表D.10定义。

表 D.10 IIC 接口端口控制读命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							W
1	广播使能（0）	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(001)		
3	预留	长度[10:4]						
4	远端设备地址							预留
5	读数据长度[3:0]				扩展读数据长度指示	预留		写读间隔指示

6	预留	读数据长度[10:4]
7	写读间隔	
……	业务数据	
……	CRC	

端口控制读命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.76 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.2 响应帧结构

D.3.1.2.1 写成功

写成功的响应帧结构应满足如表D.11定义。

表 D.11 IIC 接口写成功响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							R
1	长度[3:0]				扩展长度指示(0)	状态码(000)		
……	CRC							

写成功响应帧各字段定义如下。
——字节 0：用于表示本地节点的 IIC 设备地址字段和写/读指示。
- 比特0：写/读指示字段，设置为1，表示读指示。
- 比特1~7：IIC设备地址字段，表示本地节点的IIC设备地址。

——字节 1：与 HSMT 行标图 A.80 中字节 5 定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.2.2 写失败

写失败的响应帧结构应满足如表D.12定义。

表 D.12 IIC 接口写失败响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC 设备地址							R
1	长度[3:0]				扩展长度指示	状态码(001)		
……	写失败状态信息							
	CRC							

写失败响应帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.3.1.2.1 中的定义相同。
——字节 1：与 HSMT 行标图 A.81 中字节 5 定义相同，扩展长度指示根据 D.5 中定义的写失败状态信息的字节数确定。
——写失败状态信息：应与 D.5 中的定义相同。
——CRC 字节：与 D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.2.3 读成功

读成功的响应帧结构应满足如表D.13定义。

表D.13 IIC接口读成功响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC设备地址							R
1	长度[3:0]				扩展长度指示	状态码(010)		
2	预留	长度[10:4]						
……	读数据							
	CRC							

读成功响应帧各字段定义如下。
——字节0：与D.3.1.2.1 中的定义相同。
——字节2至CRC字节前的字节：与HSMT行标图A.82中字节5至CRC字节前的字节定义相同。
——CRC字节：与D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.2.4 读失败

读失败的响应帧结构应满足如表D.14定义。

表D.14 IIC接口读失败响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC设备地址							R
1	长度[3:0]				扩展长度指示(0)	状态码(011)		
……	读失败状态信息							
	CRC							

读失败响应帧各字段定义如下。
——字节0：与D.3.1.2.1 中的定义相同。
——字节1：与HSMT行标图A.83中字节5定义相同。
——读失败状态信息：应与D.5 中的定义相同。
——CRC字节：与D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.1.2.5 命令帧错误

命令帧错误的响应帧结构应满足如表D.15定义。

表D.15 IIC接口命令帧错误响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	IIC设备地址							R
1	长度[3:0]				扩展长度指示(0)	状态码(101)		
……	命令帧错误状态信息							
	CRC							

命令帧错误响应帧各字段定义如下。

——字节0：与D.3.1.2.1 中的定义相同。

——字节1：

- 比特0~2：状态码字段，取值为0b101，用于标识接口命令帧错误状态。
- 比特3：扩展长度指示字段，取值为0b0。
- 比特4~7：长度字段，取值为0b1000。

——命令帧错误状态信息：应与D.5 中的表D.43相同，上报的错误码应支持表D.44中的错误码取值0、1、6、9~11和用户自定义错误类型。

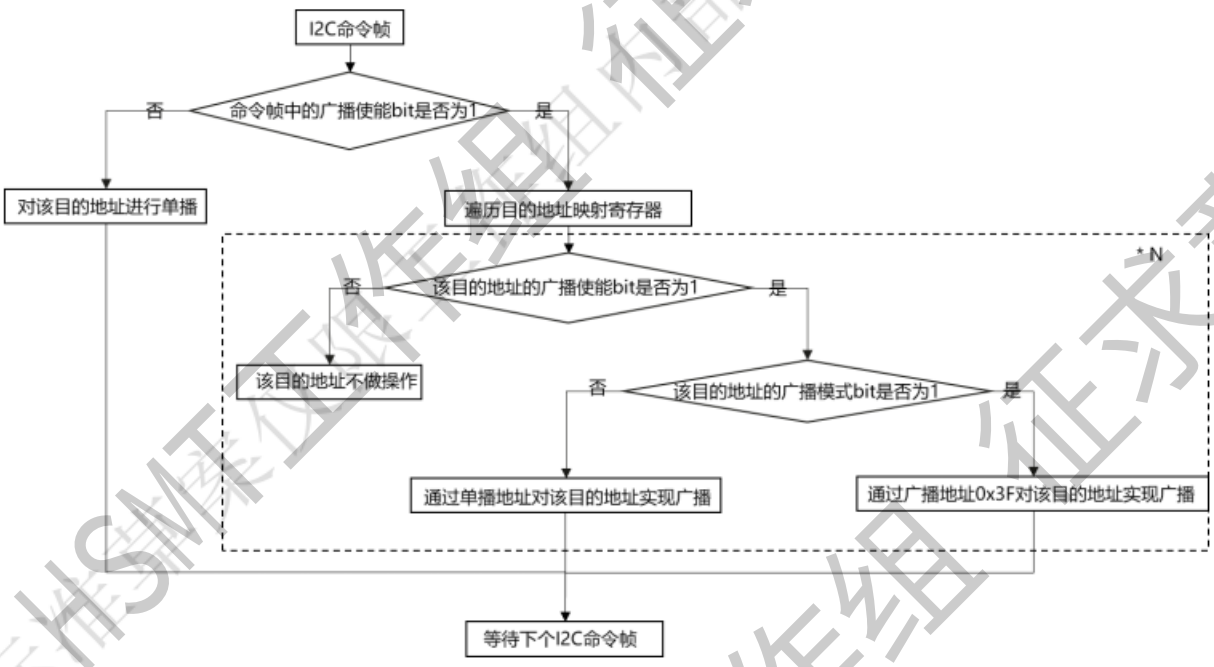
——CRC字节：与D.3.1.1.1 中的定义相同。

D.3.2 IIC广播

IIC广播应满足如D所示的以下要求：

——本地节点通过命令帧中的广播使能字段的取值，判断该命令帧是否使能广播。当命令帧的广播使能字段取值为1时，该命令帧使能广播。

——本地节点通过目的地址映射寄存器中预配置的各个目的地址关联的广播使能字段取值和广播模式字段取值，确定是否对该目的地址进行广播，以及进行广播模式。具体地，当该目的地址的广播使能字段取值为1时且广播模式字段取值为0时，本地节点使用该节点的目的地址，对该节点发送HSMT媒体封装包；当该目的地址的广播使能字段取值为1时且广播模式取值为1时，本地节点使用广播地址(0x3F)，对该节点发送HSMT媒体封装包。



图D.1 IIC命令帧广播模式流程图

D.3.3 IIC命令模式流程

D.3.3.1 配置寄存器

IIC接口命令模式的配置应满足以下要求：

控制器SoC配置本地节点的目的地址映射表寄存器。

控制器SoC配置本地节点的目的地址对应HSMT高速接口映射表寄存器，通过该寄存器确定目的地址和HSMT高速接口的关联关系。

控制器SoC配置本地节点的目的端口映射表寄存器。

D.3.3.2 IIC接口命令模式流程

SoC与本地节点间的IIC接口命令模式流程应满足以下要求：

控制器SoC将命令帧逐字节发送到本地节点，本地节点应先进行缓存并逐字节回复IIC ACK给控制器SoC。

控制器SoC将响应帧帧头字节发送到本地节点。本地节点收到帧头字节后，回复IIC ACK给控制器SoC。本地节点将响应帧帧内容逐字节发送到控制器SoC，控制器SoC逐字节回复IIC ACK给本地节点。

响应帧应在命令帧后发送，响应帧的帧内容应为上一笔命令帧对应的状态信息。本地节点应支持以下的响应帧发起方式：

——控制器 SoC 连续发起写命令帧时，若本地节点返回 IIC NAK，则控制器 SoC 应发起上一笔写命令帧对应的响应帧；控制器 SoC 在最后一笔写命令帧后发起对应的响应帧，如图 D.2 所示。

——控制器 SoC 单笔发起写命令帧时，控制器 SoC 在写命令帧后发起对应的响应帧，如图 D.2 所示。

——控制器 SoC 发送读命令帧时，控制器 SoC 在读命令帧后发起对应的响应帧应按照如图 D.2。节点若实现图 D.3 所示方式，应先实现如图 D.2 方式。

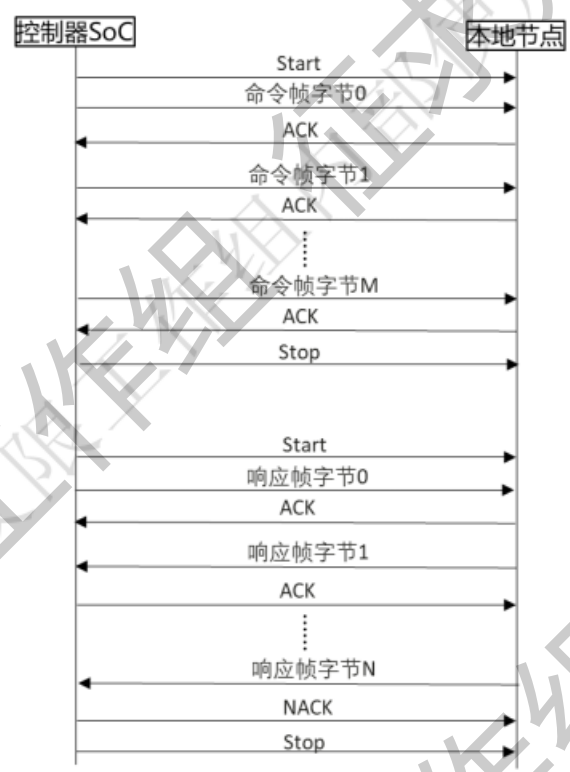


图 D.2 IIC 接口命令模式示例一

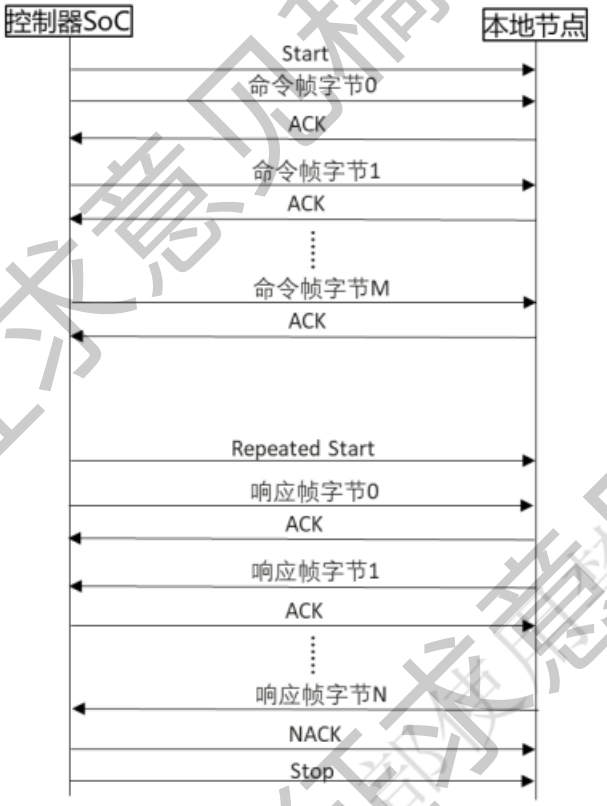


图 D.3 IIC 接口命令模式示例二

D.3.4 寄存器定义

D.3.4.1 IIC 接口通用配置寄存器

IIC接口通用配置寄存器应符合如表D.17定义。

表 D.16 IIC 接口通用配置寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[0]	0	IIC接口通信方式：0=IIC接口命令模式；1=标准IIC模式
[15:1]	0	预留

D.3.4.2 IIC 命令模式 CRC 配置寄存器

IIC命令模式CRC配置寄存器应符合如表D.17定义。

表 D.17 IIC 接口 CRC 配置寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[0]	0	命令帧和响应帧是否使用CRC：0=关闭CRC；1=打开CRC
[1]	0	命令帧和响应帧CRC长度：0=CRC8；1=CRC16
[2]	0	命令帧CRC是否覆盖IIC命令帧的第一个字节：0=不覆盖；1=覆盖
[15:3]	0	预留

D.3.4.3 目的地址对应 HSMT 高速接口映射表寄存器

目的地址对应HSMT高速接口映射表寄存器应符合如表D.18定义。若节点还支持本附录定义的SPI命令模式，该寄存器应与D.4.3.2 为同一寄存器。本地节点和远端节点均应配置该寄存器。

表 D.18 目的地址对应 HSMT 高速接口映射表寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[3:0]	F	目的地址0对应的HSMT高速接口号
[7:4]	F	目的地址1对应的HSMT高速接口号
[11:8]	F	目的地址2对应的HSMT高速接口号
[15:12]	F	目的地址3对应的HSMT高速接口号
…	…	…
[127:124]	F	目的地址31对应的HSMT高速接口号

D.3.4.4 目的地址映射表寄存器

目的地址映射寄存器应符合如表D.19定义。若节点还支持本附录定义的SPI命令模式，该寄存器应与D.4.3.3 为同一寄存器。

表 D.19 目的地址映射寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[5:0]	0	目的地址映射索引0的节点目的地址
[6]	0	广播使能：0=不使能；1=使能
[7]	0	广播模式：0=使用单播地址进行广播；1=使用0x3F地址进行广播
[13:8]	0	目的地址映射索引1的节点目的地址
[14]	0	广播使能：0=不使能；1=使能
[15]	0	广播模式：0=使用单播地址进行广播；1=使用0x3F地址进行广播
…	…	…
[125:120]	0	目的地址映射索引15的节点目的地址
[126]	0	广播使能：0=不使能；1=使能
[127]	0	广播模式：0=使用单播地址进行广播；1=使用0x3F地址进行广播

D.3.4.5 IIC 命令模式目的端口映射表寄存器

IIC命令模式目的端口映射寄存器应符合如表D.20定义。

表 D.20 IIC 接口目的端口映射寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[4:0]	2	目的端口映射索引0的目的端口号
[7:5]	0	预留
[12:8]	3	目的端口映射索引1的目的端口号
[15:13]	0	预留
[20:16]	4	目的端口映射索引2的目的端口号
[23:21]	0	预留
[28:24]	5	目的端口映射索引3的目的端口号
[31:29]	0	预留
[36:32]	6	目的端口映射索引4的目的端口号
[39:37]	0	预留
[44:40]	7	目的端口映射索引5的目的端口号
[63:45]	0	预留

注：该寄存器中的目的端口号的取值应支持HSMT行标中定义的IIC端口号，可支持SPI端口号。

D.4 SPI 命令模式

D.4.1 帧结构和字段定义

D.4.1.1 命令帧结构

D.4.1.1.1 标准寄存器控制写

标准寄存器控制写的命令帧结构应满足如表D.21定义。

表 D.21 SPI 接口标准寄存器控制写命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xE3							
1	预留	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(000)		
3	预留	长度[10:4]						
4	标准寄存器地址[7:0]							
5	标准寄存器地址[15:8]							
.....	业务数据							
.....	CRC							

标准寄存器控制写命令帧各字段定义如下。

——字节 0：默认取值 0xE3，用于触发 SPI 命令帧的起始符。

——字节 1：用于确定命令帧访问的节点目的地址和目的端口。

- 比特0~2：目的端口选择字段，根据该字段取值确定访问节点的目的端口。若该字段取值为0~1，则为表D.22中定义的寄存器操作；若该字段取值为2~7，则根据表D.41的目的端口映射表寄存器中映射索引对应的目的端口号取值确定访问的目的端口。字段取值如表D.22所示：

表 D.22 SPI 命令帧目的端口选择字段定义

目的端口选择取值	描述
0	节点标准寄存器
1	节点自定义寄存器
2	目的端口映射索引0
3	目的端口映射索引1
4	目的端口映射索引2
5	目的端口映射索引3
6	目的端口映射索引4
7	目的端口映射索引5

- 比特3~6：目的地址选择字段，根据该字段取值确定访问的节点目的地址。根据表D.40的目的地址映射表寄存器中映射索引对应的目的地址取值确定访问的目的地址，当该字段选择的目的地址映射索引对应的目的地址取值为本地节点地址时，本地节点应执行命令帧中的操作内容，不应向远端节点发送HSMT媒体封装包。字段取值如表D.23所示：

表 D.23 SPI 命令帧目的地址选择字段定义

目的地址选择取值	描述
0	目的地址映射索引0
1	目的地址映射索引1
2	目的地址映射索引2
…	…
15	目的地址映射索引15

——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.74 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。

——CRC 字节：根据表 D.38 中定义的 CRC 配置寄存器的取值确定 CRC 字段的使能、长度和保护范围。CRC 的计算公式和 HSMT 行标相同。

D.4.1.1.2 标准寄存器控制读

标准寄存器控制读的命令帧结构应满足如表D.24定义。

表 D.24 SPI 接口标准寄存器控制读命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xE3							
1	预留	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(001)		
3	预留	长度[10:4]						
4	标准寄存器地址[7:0]							
5	标准寄存器地址[15:8]							
6	读数据长度[3:0]				扩展读数据长度指示	预留		写读间隔指示
7	预留	读数据长度[10:4]						
.....	CRC							

标准寄存器控制读命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.78 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.1.3 自定义寄存器控制写

自定义寄存器控制写的命令帧结构应满足如表D.25定义。

表 D.25 SPI 接口自定义寄存器控制写命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xE3							
1	预留	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(000)		
3	预留	长度[10:4]						
.....	业务数据							
.....	CRC							

自定义寄存器控制写命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.75 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.1.4 自定义寄存器控制读

自定义寄存器控制读的命令帧结构应满足如表D.26定义。

表 D.26 SPI 接口自定义寄存器控制读命令帧

字节	比特

	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xE3							
1	预留	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(001)		
3	预留	长度[10:4]						
.....	业务数据							
.....	CRC							

自定义寄存器控制读命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.79 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.1.5 端口控制写

端口控制写的命令帧结构应满足如表D.27定义。

表 D.27 SPI 接口端口控制写命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xE3							
1	预留	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(000)		
3	预留	长度[10:4]						
4	远端设备地址							预留
.....	业务数据							
.....	CRC							

端口控制写命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.72 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.1.6 端口控制读

端口控制读的命令帧结构应满足如表D.28定义。

表 D.28 SPI 接口端口控制读命令帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xE3							
1	预留	目的地址选择				目的端口选择		
2	长度[3:0]				扩展长度指示	操作码(001)		
3	预留	长度[10:4]						
4	远端设备地址							预留

5	读数据长度[3:0]		扩展读数据长度指示	预留	时钟关闭指示	写读间隔指示
6		读数据长度[10:4]				
7	写读间隔					
……	业务数据					
……	CRC					

端口控制读命令帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 1：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。
——字节 2 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.77 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.2 响应帧结构

D.4.1.2.1 写成功

写成功的响应帧结构应满足如表D.29定义。

表 D.29 SPI 接口写成功响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xAA							
1~N	空闲占位符（字节数根据 D.4.3.5 中的寄存器预配置）							
N+1	长度				扩展长度指示(0)	状态码(000)		
……	CRC							

写成功响应帧各字段定义如下。
——字节 0：默认取值 0xAA，用于触发 SPI 响应帧的起始符。
——字节 N+1 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.80 中字节 5 定义相同。
——CRC 字节：与 D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.2.2 写失败

写失败的响应帧结构应满足如表D.30定义。

表 D.30 SPI 接口写失败响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xAA							
1~N	空闲占位符（字节数根据 D.4.3.5 中的寄存器预配置）							
N+1	长度[3:0]				扩展长度指示(0)	状态码(001)		
……	写失败状态信息							
	CRC							

写失败响应帧各字段定义如下。
——字节 0：与 D.4.1.2.1 中的定义相同。
——字节 N+1：与 HSMT 行标图 A.81 中字节 5 定义相同。

——写失败状态信息：应与D.5　中的定义相同。
——CRC 字节：与D.4.1.1.1　中的定义相同。

D.4.1.2.3　读成功

节点应支持读成功的响应帧结构一和读成功的响应帧结构二。
读成功的响应帧结构一应满足如表D.31定义。

表 D.31 SPI 接口读成功响应帧结构一

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xAA							
1~N	空闲占位符（字节数根据D.4.3.5　中的寄存器预配置）							
N+1	长度[3:0]				扩展长度指示	状态码(010)		
2	预留	长度[10:4]						
……	读数据							
	CRC							

读成功响应帧结构一各字段定义如下。
——字节 0：与D.4.1.2.1　中的定义相同。
——字节 1 至 CRC 字节前的字节：与 HSMT 行标图 A.82 中字节 5 至 CRC 字节前的字节定义相同。
——CRC 字节：与D.4.1.1.1　中的定义相同。

读成功的响应帧结构二应满足如表D.32定义。

表 D.32 SPI 接口读成功响应帧结构二

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xA5							
1~N	空闲占位符（字节数根据D.4.3.5　中的寄存器预配置）							
N+1	长度[3:0]				扩展长度指示	状态码(010)		
N+2	预留	长度[10:4]						
……	预留（8 字节）							
	CRC							

读成功响应帧结构二各字段定义如下。
——字节 0：默认取值 0xA5，用于触发 SPI 读命令帧的响应帧的起始符。
——字节 N+1：与 HSMT 行标图 A.82 中字节 5 定义相同。
——字节 N+2 至字节 N+9：预留 8 字节。
——CRC 字节：与D.4.1.1.1　中的定义相同。

D.4.1.2.4　读失败

节点应支持读失败的响应帧结构一和读失败的响应帧结构二。
读失败的响应帧结构一应满足如表D.33定义。

表 D.33 SPI 接口读失败响应帧结构一

字节	比特

	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xAA							
1~N	空闲占位符（字节数根据D.4.3.5 中的寄存器预配置）							
N+1	长度[3:0]				扩展长度指示(0)	状态码(011)		
……	读失败状态信息							
	CRC							

读失败响应帧结构一各字段定义如下。
——字节0：与D.4.1.2.1 中的定义相同。
——字节N+1：与HSMT行标图A.83中字节5定义相同。
——读失败状态信息：应与D.5 中的定义相同。
——CRC字节：与D.4.1.1.1 中的定义相同。

读失败的响应帧结构二应满足如表D.34定义。

表D.34 SPI接口读失败响应帧结构二

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xA5							
1~N	空闲占位符（字节数根据D.4.3.5 中的寄存器预配置）							
N+1	长度[3:0]				扩展长度指示(0)	状态码(011)		
……	读失败状态信息							
	CRC							

读失败响应帧结构二各字段定义如下。
——字节0：与D.4.1.2.1 中的定义相同。
——字节N+1：与HSMT行标图A.83中字节5定义相同。
——读失败状态信息：应与D.5 中的定义相同。
——CRC字节：与D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.2.5 命令帧错误

D.4.1.2.5.1 命令帧帧内容错误

节点应支持命令帧帧内容错误的响应帧结构一和命令帧帧内容错误的响应帧结构二。
命令帧帧内容错误的响应帧结构一应满足如表D.35定义。

表D.35 SPI接口命令帧帧内容错误响应帧结构一

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xAA							
1~N	空闲占位符（字节数根据D.4.3.5 中的寄存器预配置）							
N+1	长度				扩展长度指示(0)	状态码(101)		
……	命令帧错误状态信息							
	CRC							

命令帧错误响应帧结构一各字段定义如下。
——字节0：与D.4.1.2.1 中的定义相同。

——字节N+1：

- 比特0~2：状态码字段，取值为0b101，用于标识接口命令帧错误状态。
- 比特3：扩展长度指示字段，取值为0b0。
- 比特4~7：长度字段，取值为0b1000。

——命令帧错误状态信息：应与D.5 中的表D.43相同，上报的错误码应支持表D.44中的错误码取值0、1、6、9~11和用户自定义错误类型。

——CRC字节：与D.4.1.1.1 中的定义相同。

命令帧帧内容错误的响应帧结构二应满足如表D.35定义。

表D.36 SPI接口命令帧帧内容错误响应帧结构二

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0xA5							
1~N	空闲占位符（字节数根据D.4.3.5 中的寄存器预配置）							
N+1	长度				扩展长度指示(0)	状态码(101)		
……	命令帧错误状态信息							
	CRC							

命令帧错误响应帧结构二各字段定义如下。

——字节0：与D.4.1.2.1 中的定义相同。

——字节N+1：

- 比特0~2：状态码字段，取值为0b101，用于标识接口命令帧错误状态。
- 比特3：扩展长度指示字段，取值为0b0。
- 比特4~7：长度字段，取值为0b1000。

——命令帧错误状态信息：应与D.5 中的表D.43相同，上报的错误码应支持表D.44中的错误码取值0、1、6、9~11和用户自定义错误类型。

——CRC字节：与D.4.1.1.1 中的定义相同。

D.4.1.2.5.2 命令帧帧头错误

当SPI接口使用四线传输模式时，可采用命令帧帧头错误的响应帧快速反馈命令帧帧头错误。命令帧帧头错误的响应帧结构应满足如表D.37定义。该响应帧帧头由本地节点向控制器SoC发送，应与SPI MOSI数据线字节对齐。

表D.37 SPI接口命令帧帧头错误响应帧

字节	比特							
	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0x55							

命令帧帧头错误的响应帧字段定义：字节0默认取值0x55，用于标识SPI命令帧的帧头未正确接收。

D.4.2 SPI命令模式流程

D.4.2.1 配置寄存器

SPI接口命令模式的配置应满足以下要求：

SoC配置本地节点的目的地址映射寄存器。SoC配置本地节点的目的地址对应的HSMT高速接口的路由表寄存器，通过该寄存器确定目的地址和HSMT高速接口的关联关系。

SoC配置本地节点的目的端口映射寄存器。

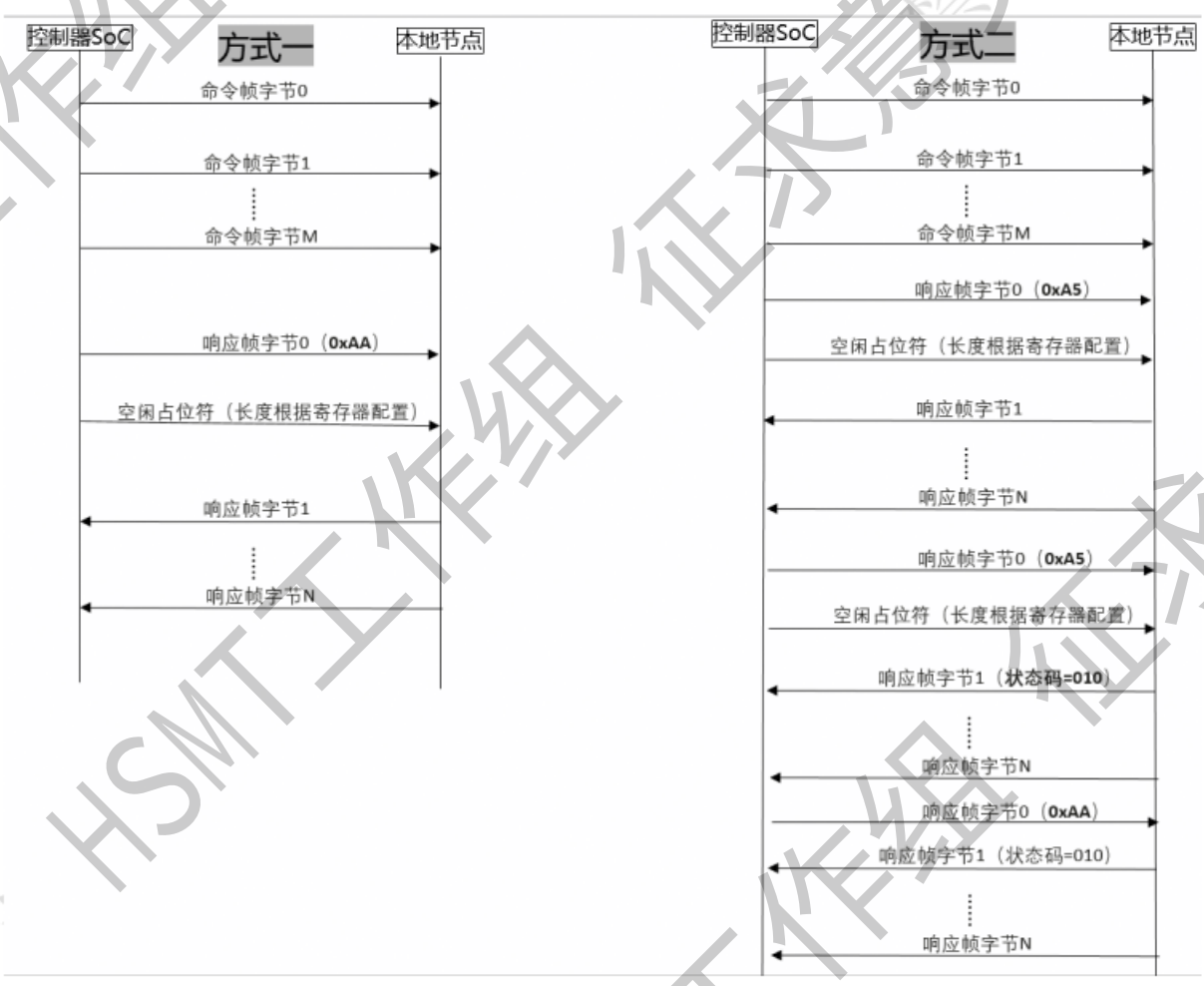
D.4.2.2 SPI 接口命令模式流程

SPI接口命令模式包含两种传输方式，控制器SoC与本地节点间的SPI接口命令模式流程应满足如下要求，本地节点应支持以下传输方式：

——写命令帧：应支持传输方式一，流程应符合图D.4中方式一的要求。

——读命令帧：应支持传输方式一和传输方式二。传输方式一流程应符合图D.4中方式一的要求，传输方式二流程应符合图D.4中方式二的要求。当使用传输方式二进行读命令帧访问时，控制器SoC在发送命令帧完成后应使用响应帧结构二发起响应帧，直至本地节点回复的响应帧中包含的状态码为读成功后，控制器SoC再使用响应帧结构一发起响应帧。

命令帧和响应帧的每个字节内应按照MSB优先的传输方式发送。命令帧由控制器SoC向本地节点发送；响应帧字节0（除D.4.1.2.5.2 中定义的帧头错误响应帧外）由控制器SoC向本地节点发送，响应帧其余字节由本地节点向控制器SoC发送。D.4.1.2.5.2 中定义的帧头错误响应帧由本地节点向控制器SoC发送。根据D.4.3.5 中定义的响应帧空闲占位符配置寄存器取值确定响应帧字节0后Dummy字节的使能和长度。



图D.4 SPI 接口命令模式示例

D.4.3 寄存器定义

D.4.3.1 SPI 命令模式 CRC 配置寄存器

SPI命令模式CRC配置寄存器应符合如表D.38定义。

表D.38 SPI 接口 CRC 配置寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[0]	0	命令帧和响应帧是否使用CRC：0=关闭CRC；1=打开CRC
[1]	0	命令帧和响应帧CRC长度：0=CRC8；1=CRC16
[2]	0	命令帧CRC是否覆盖SPI命令帧的第一个字节：0=不覆盖；1=覆盖
[15:3]	0	预留

D.4.3.2 目的地址对应 HSMT 高速接口映射表寄存器

目的地址对应HSMT高速接口映射表寄存器应符合如表D.39定义。若节点还支持本附录定义的IIC命令模式，该寄存器应与D.3.4.3 为同一寄存器。

表 D.39 目的地址对应 HSMT 高速接口映射表寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[3:0]	F	目的地址0对应的HSMT高速接口号
[7:4]	F	目的地址1对应的HSMT高速接口号
[11:8]	F	目的地址2对应的HSMT高速接口号
[15:12]	F	目的地址3对应的HSMT高速接口号
…	…	…
[127:124]	F	目的地址31对应的HSMT高速接口号

D.4.3.3 目的地址映射表寄存器

目的地址映射寄存器应符合如表D.40定义。若节点还支持本附录定义的IIC命令模式，该寄存器应与D.3.4.4 为同一寄存器。本地节点和远端节点均应配置该寄存器。

表 D.40 目的地址映射表寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[5:0]	0	目的地址映射索引0的节点目的地址
[7:6]	0	预留
[13:8]	0	目的地址映射索引1的节点目的地址
[15:14]	0	预留
…	…	…
[125:120]	0	目的地址映射索引15的节点目的地址
[127:126]	0	预留

D.4.3.4 SPI 命令模式目的端口映射表寄存器

SPI命令模式目的端口映射寄存器应符合如表D.41定义。

表 D.41 目的端口映射表寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[4:0]	6	目的端口映射索引0的目的端口号
[7:5]	0	预留
[12:8]	7	目的端口映射索引1的目的端口号
[15:13]	0	预留
[20:16]	8	目的端口映射索引2的目的端口号
[23:21]	0	预留
[28:24]	2	目的端口映射索引3的目的端口号
[31:29]	0	预留
[36:32]	3	目的端口映射索引4的目的端口号
[39:37]	0	预留
[44:40]	4	目的端口映射索引5的目的端口号
[63:45]	0	预留

注：该寄存器中的目的端口号的取值应支持HSMT行标中定义的SPI端口号，可支持IIC端口号。

D.4.3.5 SPI 命令模式响应帧空闲占位符配置寄存器

SPI命令模式响应帧空闲占位符配置寄存器应符合如表D.42定义。

表 D.42 SPI 接口响应帧触发配置寄存器

寄存器比特	默认值	描述
[7:0]	0	响应帧字节0后的空闲占位符字节数：字节数=该字段取值。 取值范围0~255。当该字段取值为0时，表示空闲占位符不存在。
[15:8]	0	预留

D.5 SoC 接口命令模式状态信息

当SoC与本地节点间的通信方式为SoC接口命令模式且响应帧子类型为写失败或读失败时，本地节点向控制器SoC发送的响应帧中的“写失败状态信息”或“读失败状态信息”字段可包含一组或多组状态信息字段，一组状态信息字段定义应满足如表D.43中的定义。

当SoC接口命令帧使用广播方式对N个远端节点或远端节点外设进行写操作时：

——若 N 个节点返回 HSMT 状态确认包中的状态码均为写成功，则本地节点向 SoC 发送写成功响应帧；

——若少于 N 个节点返回 HSMT 状态确认包中的状态码为写成功，则本地节点向 SoC 发送写失败响应帧，每个远端节点对应一组响应帧状态信息字段。该写失败响应帧中的状态信息字段由 N 组状态信息字段组成。

表 D.43 SoC 接口命令模式响应帧状态信息字段定义

比特域	描述
[5:0]	错误码
[11:6]	检测和上报错误的节点地址（节点ID）
[17:12]	发生错误的节点地址（节点ID）
[22:18]	发生错误的端口号
[23]	预留

表D.43中比特域[17:12]发生错误的节点地址为发送的命令帧或HSMT媒体封装包中的目的地址取值，比特域[22:18]发生错误的端口号为发送的命令帧或HSMT媒体封装包中的目的端口取值，比特域为[5:0]的错误码字段对应的状态信息应满足如表D.44中的定义。

表 D.44 响应帧中的错误码字段定义

错误码字段取值	描述	报告错误的节点
0	成功	本地节点/远端节点
1	超时错误（至少包括状态确认包超时和I2C/SPI接口超时）	本地节点/远端节点
2	I2C/SPI master 命令执行错误	远端节点
3~5	预留	-
6	命令帧格式错误	本地节点
7	媒体封装包中的非法目的地址取值不合法	本地节点/远端节点
8	媒体封装包中的非法目的端口取值不合法	本地节点/远端节点
9	命令帧CRC校验错误	本地节点
10	命令帧中的目的地址取值不合法	本地节点
11	命令帧中的目的端口取值不合法	本地节点
12	本地节点未收到远端节点返回的HSMT状态确认媒体封装包	本地节点
13	其他错误	本地节点/远端节点
14~31	用户自定义	-
32~46	预留	-
47~63	用户自定义	-

为了支持更好的互联互通，当表D.44中报告错误的节点为远端节点时，SoC接口命令模式中响应帧子类型为写失败、读失败的状态信息字段宜与HSMT行标A.3.4.2.3中状态码为写失败、读失败的状态确认包中用户自定义读/写失败状态字段相同。HSMT行标A.3.4.2.3中状态码为写失败、读失败的状态确认包中的用户自定义读/写失败状态字段如表D.45所示。

表 D.45 状态确认包状态码为读/写失败的状态信息字段

比特域	描述
[5:0]	错误码
[11:6]	检测和上报错误的目的地址（节点ID）
[17:12]	发生错误的目的地址（节点ID）
[22:18]	发生错误的端口号
[23]	预留
[63:24]	用户自定义

表D.45中比特域为[5:0]的错误码字段对应的状态信息如表D.46所示。

表 D.46 状态确认包中的错误码字段

错误码字段取值	描述
0	成功
1	超时错误（至少包括状态确认包超时和I2C/SPI接口超时）
2	I2C/SPI master 命令执行错误
3~6	预留
7	媒体封装包中的非法目的地址取值不合法
8	媒体封装包中的非法目的端口取值不合法
9~12	预留
13	其他错误
14~31	用户自定义
32~46	预留
47~63	用户自定义