



HDR

用户指南

文档版本 01

发布日期 2018-12-10

版权所有 © 深圳市海思半导体有限公司 2017-2018。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



HISILICON、海思和其他海思商标均为深圳市海思半导体有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受海思公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，海思公司对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

深圳市海思半导体有限公司

地址：深圳市龙岗区坂田华为基地华为电气生产中心 邮编：518129

网址：<http://www.hisilicon.com>

客户服务电话：+86-755-28788858

客户服务传真：+86-755-28357515

客户服务邮箱：support@hisilicon.com



前言

概述

本文为应用 HDR 模式进行图像质量调试与开发的工程师而写，目的是介绍 HDR 模式（主要为 HDR10）的基本原理、调试方法及使用注意事项等内容。



说明

未有特殊说明，Hi3559CV100 与 Hi3559AV100 内容一致。

产品版本

与本文档相对应的产品版本如下。

产品名称	产品版本
Hi3559A	V100
Hi3559C	V100

缩略语

Abbreviations 缩略语	Full spelling 英文全名	Chinese explanation 中文解释
HDR	High Dynamic Range	高动态范围
SDR	Standard Dynamic Range	标准动态范围
OETF	Opto-electric transfer function	光电转换曲线
PQ	Perceptual Quantizer	（人眼对亮度变化的）感知量化
HLG	Hybrid Log Gamma	Log-Gamma 混合曲线
TM	Tone Mapping	色调映射
JND	Just Noticeable Difference	临界可视误差



Abbreviations 缩略语	Full spelling 英文全名	Chinese explanation 中文解释
HVS	Human Visual System	视觉感知系统
WCG	Wide Color Gamut	广色域色彩空间

修订记录

修订记录累积了每次文档更新的说明。最新版本的文档包含以前所有文档版本的更新内容。

文档版本 01 (2018-12-10)

2.2.1 小节涉及修改

3.1 小节，更新图 3-2、图 3-3 和图 3-4

表 5-1 涉及修改

文档版本 00B03 (2018-06-20)

2.2.1.1 和 3.1.1 小节涉及修改

文档版本 00B02 (2018-05-15)

第 2 次临时版本发布。

2.2 小节，更新图 2-1；HI_MPI_HDR_SetCSCParam、HI_MPI_HDR_SetOETFParam、HI_MPI_HDR_SetTMPParam 和 HI_MPI_HDR_SetCCMPParam 【语法】涉及修改

3.1 小节，更新图 3-1

文档版本 00B01 (2017-12-01)

第 1 次临时版本发布。



目 录

前 言.....	i
1 HDR 介绍.....	1
1.1 HDR 概述	1
1.2 人眼对亮度的识别能力	2
1.3 传输曲线.....	3
1.3.2 SDR 曲线（Gamma 曲线）	4
1.3.3 HDR 曲线（PQ 曲线）	5
1.3.4 HDR 曲线（HLG 曲线）	6
1.3.5 OOTF 曲线的含义	6
2 HDR 相关模块及接口	8
2.1 通用模块.....	8
2.1.1 DRC 模块	8
2.1.2 Gamma 模块.....	9
2.2 HDR 模块	9
2.2.1 CCM 模块.....	11
2.2.2 TM 模块.....	16
2.2.3 OETF 模块	20
2.2.4 CSC 模块.....	25
3 软件配置方案.....	31
3.1 软件配置策略.....	31
3.1.1 单路 HDR 输出	32
3.1.2 双路 HDR 输出（不同 HDR 模式）	33
3.1.3 双路 HDR+SDR 输出.....	33
4 PQ 策略.....	35
4.1 AE 曝光策略.....	35
4.2 动态范围调试策略	35
4.2.1 Gamma 模块调试策略	36
4.2.2 TM 及 OETF 模块调试策略.....	36
4.2.3 DRC 模块调试策略	36



4.3 颜色调试策略.....	40
5 错误码.....	41



插图目录

图 1-1 “The sun”& Weber’s fraction.....	2
图 1-2 人眼对亮度敏感度模型（Schreiber 曲线）	2
图 1-3 人眼对亮度敏感度模型（Barten 曲线 & Schreiber 曲线）	3
图 1-4 精度与动态范围变化对曲线的影响.....	4
图 1-5 CRT gamma curve & Gamma correction curve	5
图 1-6 OOTF 系统框架示意图	7
图 2-1 HDR 模式算法流程图	10
图 2-2 TM 曲线参数及效果示意图.....	16
图 2-3 不同 u32MaxLum 值设置下的 PQ 曲线形状.....	21
图 3-1 HDR 模块架构图	31
图 3-2 单路 HDR 输出配置	32
图 3-3 双路 HDR 输出（不同曲线）	33
图 3-4 双路 HDR+SDR 输出	34
图 4-1 HDR 典型测试场景（HDR10 格式数据）	37
图 4-2 DRC Cubic 曲线示意图.....	38
图 4-3 DRC Cubic 曲线调节示意.....	38
图 4-4 Cubic 参数对曲线的影响（1）	39
图 4-5 Cubic 参数对曲线的影响（2）	39



表格目录

表 2-1 CSC 配置规则	26
表 5-1 HDR-API 错误码	41



1 HDR 介绍

1.1 HDR 概述

从近几年消费类设备发展的趋势上来看，无论是捕获端的手机摄像、运动 DV、无人机拍摄、视频监控；还是显示端的 4K UHD 显示，都提出了 HDR（High Dynamic Range），即高动态范围捕获（显示）的概念。

从评价图像质量的角度上来说，描述一张 2D 图像，以下几个维度进行：

- 色域（颜色解析力）
- 分辨率（空间解析力）
- 动态范围（宽容度解析力）
- 帧率（时间解析力）
- 量化精度（灰度解析力）

而数字图像捕获系统的发展就是通过不断升级算法，使得这五个维度的精度达到甚至超越人眼解析力的过程。

- 在直观的分辨率、帧率方向上，目前随着技术发展已经出现了 4K@120fps，8K@30fps 这样的显示模式，比起高清电视刚开始发展时的 720p@30fps，在帧率和分辨率上都有了巨大的进步。
- 而在色域方向上，最早由于受限于发光材料和技术，只能使用占人眼解析能力（CIE 1931）较小的 BT.709 色域，而通过技术的提高，目前占人眼解析能力区域更多的 BT.2020 色域捕获和显示设备也可以被制作和运用出来。
- 在动态范围方向上，同样由于对人眼临界视觉特征的研究，标准提高为 PQ（Perceptual Quantized）曲线，在有限的位宽精度内（10bit）能够通过该曲线传输更大动态范围的数据信号。

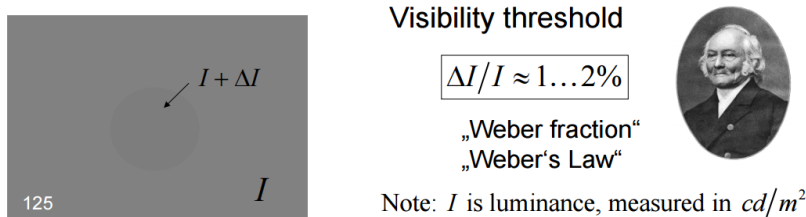
与 FS-WDR 的区别

传统的 FS-WDR 技术是 HDR 技术的一部分。但是在 FS-WDR 时代，由于显示端设备以及传输过程中的能力限制，造成我们使用多帧曝光合成而采集下来的高动态范围数据不能完全显示出来。因此使用了 DRC 进行数据的动态范围压缩。而使用了 HDR 模式之后，配合新的传输协议和显示器显示能力，可以达到将高动态范围数据进行端到端传输的要求。

1.2 人眼对亮度的识别能力

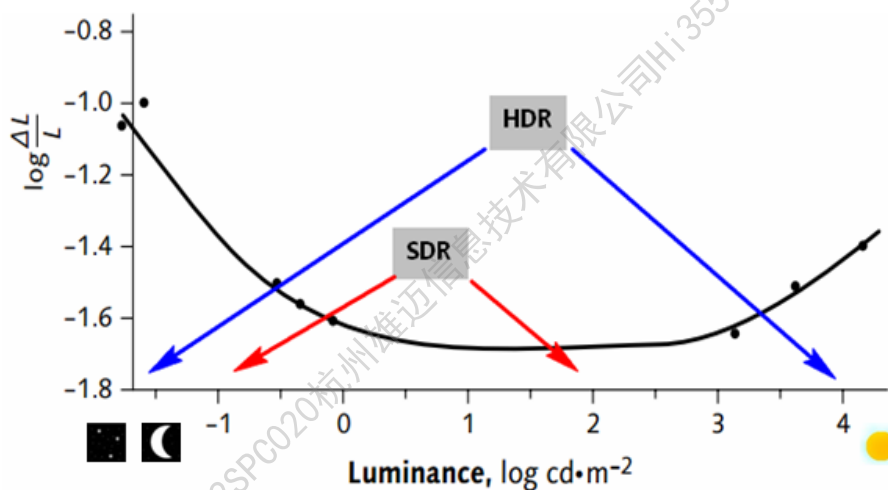
各种迹象表明，人眼在不同亮度下，对亮度差异的识别能力是不同的。为此 19 世纪德国实验心理学者 Ernst Heinrich Weber 通过“太阳图”实验发现，人眼对于亮度（灰阶）的感知需要用亮度变化量与亮度背景的比值来描述。这个比值被称为 Weber 分数，而这一规律被称为 Weber 定律。

图1-1 “The sun” & Weber’s fraction



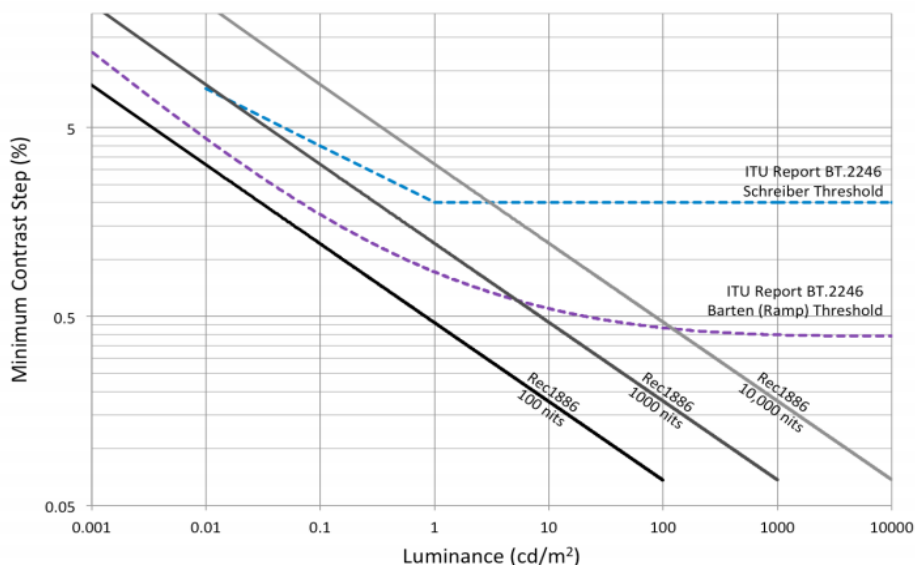
Weber 通过实验发现，人眼对亮度的识别能力是非线性变化的。在亮度中段（较暗到较亮）的识别能力最强（所需 ΔI 最小），对于很暗和很亮的两端区域，识别能力逐渐减弱。1993 年，Schreiber 为量化人眼对亮度的敏感度模型，重复了 Weber 的方法并记录，得到了 Schreiber 曲线，作为描述该现象的数学模型。

图1-2 人眼对亮度敏感度模型（Schreiber 曲线）



而除了 Schreiber 做过的实验以外，1999 年 Barten 也通过类似方法进行了对人眼敏感度的数学建模及描述。由于测试方法不同，导致两个模型略有差异。从 ITU-R 定的标准来看，目前主流以 Barten 的建模结果作为主流测试结果。

图1-3 人眼对亮度敏感度模型（Barten 曲线 & Schreiber 曲线）



不管是 Barten 曲线还是 Schreiber 曲线，都明确表明了一点：环境光越暗，人眼需要用来分辨亮度变化的 ΔI 越大。这意味着如果亮度变化小于环境光的变化，人眼无法分辨，该处的细节无法体现。这一特性也可以用来指导传输曲线的设定。

具体到量化结果，通过实验结果我们得到，一般来说人眼的动态范围不超过 10^5 。而目前 SDR 的显示器显示亮度范围 0.5nit~500nit，则动态范围只在 10^3 数量级上，未来 HDR 显示器的亮度规格要求在 0.05nit~1000nit，相比 SDR 显示器，动态范围拥有明显提升。



注意

nit（尼特）为亮度表示单位， cd/m^2 的缩略表现形式。一般情况下，普通电视机最大亮度能达到 300 nit，普通显示器的最大亮度为 120 nit 左右。

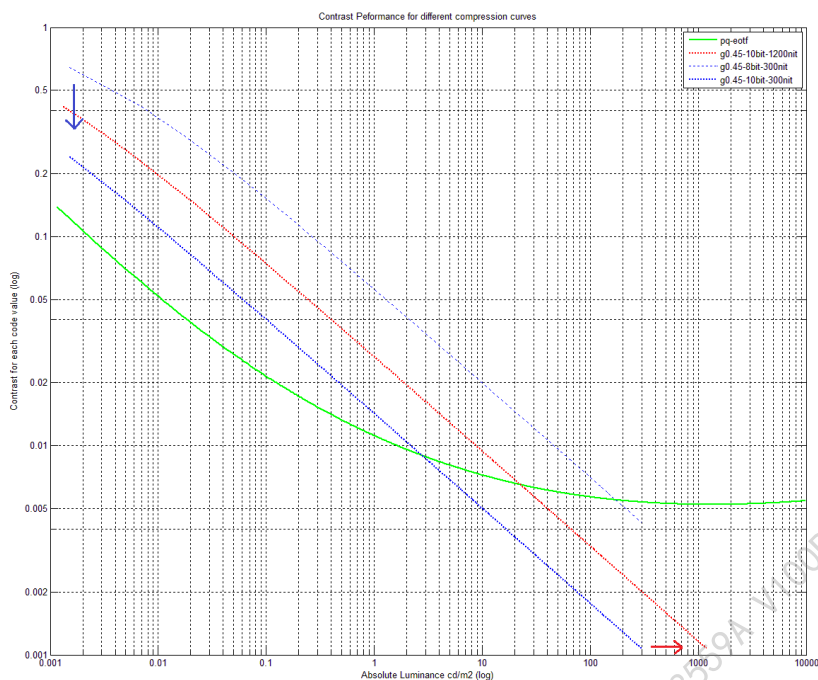
1.3 传输曲线

上文已提到，Barten 曲线是对人眼对亮度识别度的数学建模结果，反应的是人眼对亮度识别的敏感度阈值（JND），而 JND 最大的物理意义在于，任何变化如果小于 JND，观察者感受不到，属于无效变化。因此研究 Barten 曲线与 HVS（Human Visual System，视觉感知系统）的关系，能够为我们有效传输动态信息带来指导。

对于同一亮度下，如果一条曲线落在了 Barten 曲线下方，这意味着“某亮度变化如果需要被人眼观察到，那么通过这条曲线时所需要的变化比直接观察需要的变化更小”，也就是说，在该亮度点上，该曲线性能是大于 JND 的；同理如果曲线落在了 Barten 曲线上方，意味着需要的变化量比直接观察时的变化量还大。

而分析传输曲线的性能来看，如果曲线位宽变大（精度提高），说明通过曲线可以有更多的亮度区间被不同的码字表现出来。所以带来的是曲线性能的提高（相比原曲线平行下移）；而如果在位宽不变的情况下，所表示的动态范围要更宽，则有限的码字需要表达更宽的动态范围，必然出现曲线性能的下降，表现在相比原曲线为右移，也就是跑到了原曲线的“上方”。

图1-4 精度与动态范围变化对曲线的影响



如图 1-4 所示，红色箭头表示的是相同精度下，需要表示的动态范围的提高（100nit -> 1200nit），蓝色箭头表示的是在相同动态范围下，精度提高带来的收益。

1.3.2 SDR 曲线（Gamma 曲线）

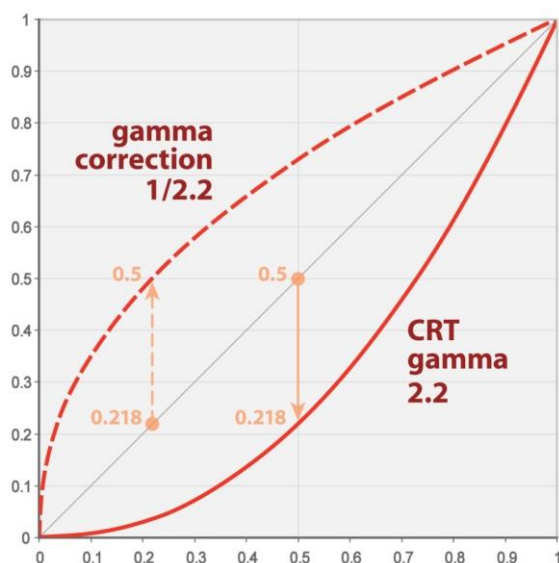
Gamma 曲线的产生最早可以追溯到电子显像管的模拟时代：本来自然光线进入人眼是一个线性变化结果，但是由于当年 CRT 显示器所使用的电子管的模拟特性，会使得电子束发生亮度衰减，该衰减基本上符合幂函数：

$$F(x) = x^{2.2}, x \in [0, 1]$$

所以为了弥补 CRT 带来的衰减，模拟时代的电子工程师们在视频制作的时候加入一个反向增益 $F(x) = x^{1/2.2}, x \in [0, 1]$ 。这条幂次约为 0.45 的曲线就是现在我们常用的 Gamma 曲线的原型。

CRT gamma 与 gamma correction 曲线如图 1-5 所示。

图1-5 CRT gamma curve & Gamma correction curve



到了数字时代，本来 LCD 显示屏不存在衰减的问题，但是由于为了和模拟时代的视频内容兼容，工程师人为在 LCD 显示上做了类似 CRT gamma 的信号衰减。并且意外的发现带来了两个好处：

- CRT gamma 的曲线特征是压缩暗区，增大亮区。在早期显示亮度不够高的情况下，能够有效压缩暗区噪声同时保留亮区细节
- 在早期动态范围不够高的情况下（0.5~100 nit），CRT gamma 曲线与 Barten 曲线契合度较高。这意味着 CRT gamma 曲线对码字的利用率很高。

因此，CRT gamma 曲线就这么被保留下来并沿用至今。

另外由于幂函数在 0 点的斜率为无限大，这意味着靠近信号 0 附近的噪声会被迅速放大。为了抑制噪声，ITU-R 规定输入小于 0.018 的信号均使用一次线性函数进行“放大”。为保证曲线平滑性，该线性函数的斜率与原幂函数在 0.018 处的斜率相等。最终修正后得到了我们目前最常用的 Gamma 曲线（BT.709）：

$$F[x] = \begin{cases} 1.099 * L^{0.45} - 0.099 & 1 \geq L \geq 0.018 \\ 4.500 * L & 0.018 > L \geq 0 \end{cases}$$

最后，虽然大部分情况下，使用 0.45 次幂的 Gamma 可以满足需求，但是如果观看环境（ambient light）发生变化，则需要用不同的 Gamma 曲线来进行拟合。例如制作电影时使用的 Gamma 曲线约为 0.45 次幂，但是在播放时采用的设备用的是 2.6 次幂，两者拟合的结果并非线性，但是在电影院这种环境光很微弱的情况下，能够给观众带来更好的对比度效果和观看体验（System Gamma）。

1.3.3 HDR 曲线（PQ 曲线）

在本章第一节我们可知，在 SDR 时代，由于传输曲线需要表达的动态范围并不大（最大只有 300nit 左右），因此 Gamma 曲线性能是满足 JND 需求的。但是进入到 HDR 时代后，由于需要表示的动态范围大了至少两个数量级（ $10^3 \sim 10^5$ ），因此 Gamma 曲线性能已不能满足 JND 需求。



所以研究人员认为，直接使用 Barten 曲线用来作为传输曲线，应该是性价比最高的方法。通过数学拟合，研究人员得到了线性域下用来描述 Barten 曲线的数学公式。这便是 PQ 曲线（Perceptual Quantized Curve）：

$$\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$$

$$Y = F_D / 10000$$

其中：

$$m_1 = 2610/16384 = 0.1593017578125$$

$$m_2 = 2523/4096 * 128 = 78.84375$$

$$c_1 = 3424/4096 = 0.8359375 = c_3 - c_2 + 1$$

$$c_2 = 2413/4096 * 32 = 18.8515625$$

$$c_3 = 2392/4095 * 32 = 18.6875$$

1.3.4 HDR 曲线（HLG 曲线）

除了 PQ 曲线，研究人员在研究 Barten 曲线时发现，原 Gamma 曲线在低亮度区域的曲线性能与 PQ 曲线近似，而在高亮度区域的曲线性能有较大损失，而满足 Log 形式的曲线的曲线性能在高亮度区域与 PQ 曲线近似。因此研究人员决定将 Gamma 曲线和 Log 曲线结合成一条平滑连续的曲线作为传输曲线。这便是 HLG 曲线（Hybrid Log-Gamma Curve）：

$$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{E}/2 & 0 \leq E \leq 1 \\ a \cdot \ln(E - b) + c & 1 < E \end{cases}$$

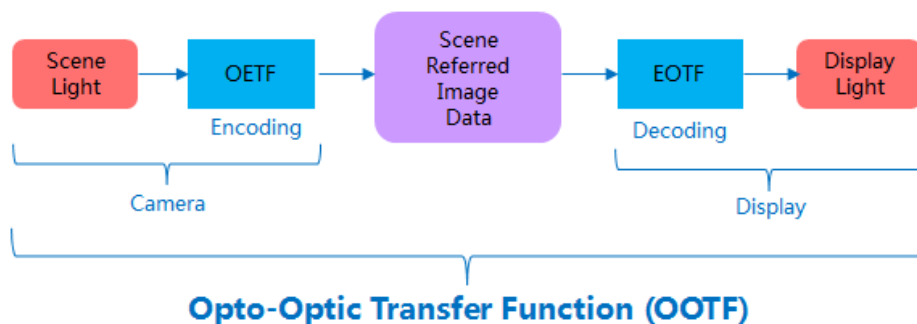
其中：

$$a=0.17883277, b=0.28466892, c=0.55991073$$

1.3.5 OOTF 曲线的含义

不管是 SDR 的 Gamma 曲线，还是 HDR 的 PQ、HLG 曲线，都是为了尽量使用有限的码字来表达线性光的强度。如果观察采集、传输、显示这一整套端到端的系统，我们会发现整个视频信号处理的过程，就是“将拍摄现场的场景光线颜色信息还原到观看的显示设备的光线颜色信息”的过程。而这个过程，被称为 OOTF（Opto-optical Transfer Function，光-光转换曲线），定义如图 1-6 所示。

图1-6 OOTF 系统框架示意图

E2E视频系统：

所以可见，OOTF 并不是某个具体的模块，而是对整个系统的传输能力的抽象描述。在整个端到端系统中，由于采集端（Camera）和显示端（Display）相对独立，因此整个 OOTF 也可以分成两个系统的级联：OETF（光-电转换曲线）和 EOTF（电-光转换曲线）。

从整个端到端的系统来看，OETF 可以理解成是对光信号的编码过程。采集端通过 Sensor 将光信号采集下来，并且通过有限的编码位宽（SDR：8bit/HDR：10bit）来表达这些信号。

相对的，EOTF 则是用来表示电信号对光信号的还原。根据现实设备的实际显示能力，在视频中后处理部分会对恢复出来的线性光信号会进行进一步的 Tone Mapping 处理，以达到最佳显示效果。

OOTF、OETF 和 EOTF 三者之间的关系可以通过以下这组公式来表示，其中⊗表示是级联。

$$\text{OOTF} = \text{OETF} \otimes \text{EOTF}$$



2 HDR 相关模块及接口

在 Hi3559AV100 中，HDR 功能并非通过单一模块完成功能，主要通过系统联调最终实现符合 HDR 标准的数据产生。因此在介绍 HDR 模块时，我们会着重介绍在 HDR 模式下需要注意的模块的调试、位置以及使用方法。

本章将分别介绍 Hi3559AV100 中在 HDR 模式下，与 WDR/线性模式通用，但是需要配置不同参数的模块（以下简称通用模块）；以及在 HDR 模式下单独开启，在 WDR/线性模式下不会打开的模块（以下简称 HDR 模块）。

通用模块相关接口内容请参考《HiISP 开发参考》中对应模块的描述。本文中只着重描述在 HDR 模式下通用模块相关接口的配置策略及异同点。

2.1 通用模块

当 HDR 模式开启时，相比原 FS-WDR 模式，DRC、Gamma 这两个模块的参数配置有很大不同。

2.1.1 DRC 模块

- 在 HDR 模式下，DRC 模块功能的侧重点发生了一定变化。传统 DRC 模块，最重要需要实现两个功能：重新打光（Tone Mapping）以及动态范围压缩（Dynamic Range Compression）。这两个功能所占的比重以及需要达到的效果根据用户对图像质量内容的需求而变化。
- 在传统 FS-WDR 模式中，由于最终输出设备的显示能力有局限，因此 DRC 模块的动态范围压缩功能会强于 Tone Mapping 功能。图像对比度被压缩，原本的明暗关系被破坏掉，画面内容细节丰富，但是层次感有较大的缺失。
- 而在 HDR 模式下，由于最终输出的显示设备能力被提高，因此 DRC 模块的主要功能是对画面亮度内容重新分布，即做 Tone Mapping 的功能。图像对比度压缩少，可以将画面原本的明暗关系尽可能真实的表达出来，接近画面原始表现。
- HDR 模式下，推荐使用 Cubic Curve 的方法进行 DRC Tone Mapping 曲线的生成。该曲线生成方法通过 5 个控制点来描述曲线形状。

DRC 在的 Cubic Curve 功能对应结构体为 ISP_DRC_Cubic_Point_ATTR_S，使用方法请参考《HiISP 开发参考》。



2.1.2 Gamma 模块

在 HDR 模式下，Gamma 模块与 FS-WDR 模式下配置的不同之处在于选用了不同的曲线。

HDR 模式下，由于 DRC 主要承担了 Tone Mapping 的功能，此时对 Gamma 来说，输入信号是完全没有经过压缩的线性数据。此时 Gamma 模块需要配置为能够尽可能多的保持动态范围的 OETF 曲线。因此在 HDR 模式下，需要选择配置为 ISP_GAMMA_CURVE_HDR，该曲线形式为 $y = x^{0.33}$ 的幂函数。

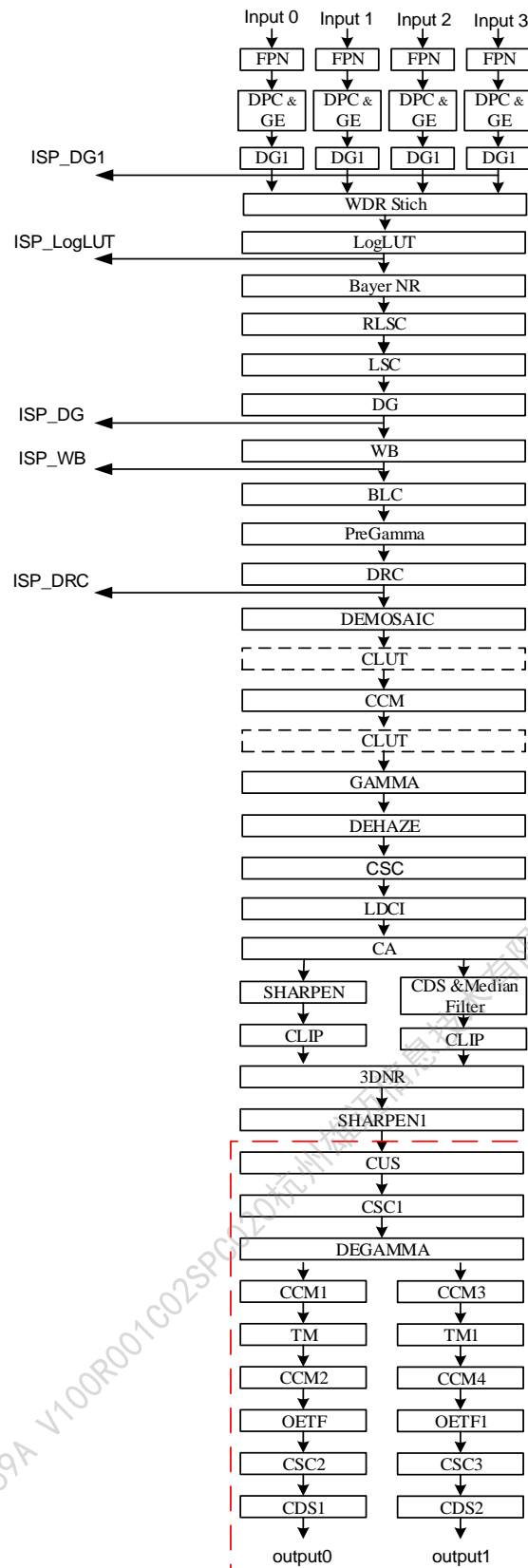
Gamma 模块的配置方法请参考《HiISP 开发参考》。

2.2 HDR 模块

本节中所述模块推荐在 HDR 模式下常开。HDR 模式下的算法流程图如[图 2-1](#) 所示。



图2-1 HDR 模式算法流程图





在 HDI 模式下，系统允许通过两通路同时输出，两通路均既可以输出 SDR 信号，也可以输出 HDI 信号。

2.2.1 CCM 模块

2.2.1.1 概述

HDI 的 CCM API 接口提供 CCM2 和 CCM4 的控制，用户可调用 CCM2 和 CCM4 对画面色彩进行修改。具体控制方法通过配置不同的 VPSS_GRP, VPSS_CHN 改变。

CCM1 和 CCM3 由于是通路功能性模块，因此 API 不做开放。

2.2.1.2 API 参考

- [HI_MPI_HDI_SetCCMParam](#): 设置 Color Correction Matrix 模块属性。
- [HI_MPI_HDI_GetCCMParam](#): 获取 Color Correction Matrix 模块属性。

HI_MPI_HDI_SetCCMParam

【描述】

设置 Color Correction Matrix 模块属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDI_SetCCMParam (VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN VpssChn, const HDI\_CCM\_PARAM\_S *pstCcmParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号。	输入
VpssChn	VPSS CHN 号。	输入
pstCcmParam	Color Correction Matrix 模块属性。	输入

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为 错误码 。

【需求】



- 头文件: hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件: libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_GetCCMPParam](#)

HI_MPI_HDR_GetCCMPParam

【描述】

获取 Color Correction Matrix 模块属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_GetCCMPParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN  
VpssChn, HDR_CCM_PARAM_S *pstCcmParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号	输入
VpssChn	VPSS CHN 号	输入
pstCcmParam	Color Correction Matrix 模块属性	输出

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败, 其值为 错误码 。

【需求】

- 头文件: hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件: libmpi.a

【注意】



无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_SetCCMParam](#)

2.2.1.3 数据类型

- [HDR_CCM_PARAM_S](#): 定义 CCM 模块属性结构体。
- [HDR_CCM_AUTO_S](#): 定义自动 CCM 属性。
- [HDR_CCM_TAB_S](#): 定义不同色温下 CCM 系数。
- [HDR_CCM_MANUAL_S](#): 定义手动 CCM 属性。

HDR_CCM_PARAM_S

【说明】

定义 CCM 模块属性结构体。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_CCM_PARAM_S
{
    OPERATION_MODE_E enOperationMode;
    HDR_CCM_MANUAL_S stManual;
    HDR_CCM_AUTO_S stAuto;
} HDR_CCM_PARAM_S;
```

【成员】

成员名称	描述
enOperationMode	切换 CCM 设置手动/自动模式。 0: 自动; 1: 手动。 取值范围[0, 1]。
stManual	手动 CCM。
stAuto	自动 CCM。

【注意事项】

Hi3559AV100 芯片中的 CCM1 和 CCM2 的暗区保护功能默认关闭。

【相关数据类型及接口】



- [HI_MPL_HDR_SetCCMParam](#)
- [HI_MPL_HDR_GetCCMParam](#)

HDR_CCM_AUTO_S

【说明】

定义自动 CCM 属性。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_CCM_AUTO_S
{
    HI_U16  u16CCMTabNum;
    HDR_CCM_TAB_S astCCMTab[CCM_MATRIX_NUM];
} HDR_CCM_AUTO_S;
```



说明

宏定义如下：

```
#define CCM_MATRIX_NUM      (7)
```

【成员】

成员名称	描述
u16CCMTabNum	取值范围[3, 7] 当前配置的 CCM 组数。
astCCMTab[CCM_MATRIX_NUM]	不同色温下的 CCM 和对应的色温值。

【注意事项】

无。

【相关数据类型及接口】

- [HI_MPL_HDR_SetCCMParam](#)
- [HI_MPL_HDR_GetCCMParam](#)

HDR_CCM_TAB_S

【说明】

定义不同色温下 CCM 系数。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_CCM_TAB_S
{
    HI_U16  u16ColorTemp;
    HI_U16  au16CCM[CCM_MATRIX_SIZE];
} HDR_CCM_TAB_S;
```



说明

宏定义如下：

```
#define CCM_MATRIX_SIZE (9)
```

【成员】

成员名称	描述
u16ColorTemp	取值范围[500, 30000] 当前配置的 CCM 对应的色温。
au16CCM[CCM_MATRIX_SIZE]	取值范围[0x0000, 0xFFFF] 不同色温下的 CCM，8bit 小数精度。第 15bit 是符号位，0 表示正数，1 表示负数。 例如 0x8010 表示-16。

【注意事项】

颜色校正矩阵的数据格式，应与校正工具提供的保持一致。

【相关数据类型及接口】

- [HI_MPI_HDR_SetCCMParam](#)
- [HI_MPI_HDR_GetCCMParam](#)

HDR_CCM_MANUAL_S

【说明】

定义手动 CCM 属性。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_CCM_MANUAL_S  
{  
    HI_U16 au16CCM[CCM_MATRIX_SIZE];  
} HDR_CCM_MANUAL_S;
```



说明

宏定义如下：

```
#define CCM_MATRIX_SIZE (9)
```

【成员】

成员名称	描述
au16CCM[CCM_MATRIX_SIZE]	取值范围[0x0000, 0xFFFF] 不同色温下的 CCM，8bit 小数精度。第 15bit 是符号位，0 表示正数，1 表示负数，例如 0x8010 表示-16。



【注意事项】

颜色校正矩阵的数据格式，应与校正工具提供的保持一致。

【相关数据类型及接口】

- [HI_MPI_HDR_SetCCMParam](#)
- [HI_MPI_HDR_GetCCMParam](#)

2.2.2 TM 模块

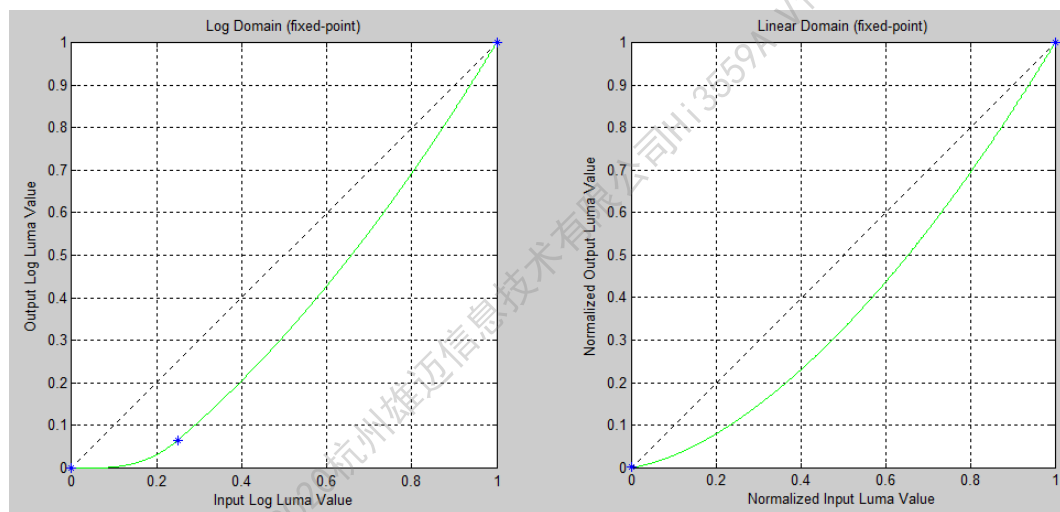
2.2.2.1 概述

TM 模块通过利用 log 域下的 LUT 曲线实现复杂的亮度调整操作。在 HDR 模式下有两个功能：

- 在 HDR 输出时，发挥 System Gamma 功能，调整最终输出对比度，改善图像质量
- 在 SDR 输出时，发挥 Tone Mapping 功能，进一步压缩输入的宽动态信号，以使得图像符合目标动态范围。

TM 模块使用的是与 DRC 中类似的 Cubic Curve 的方法来描述 LOG 域下的 LUT 曲线。在 HDR 输出时，配置的 TM 曲线（作为 System Gamma）如图 2-2 所示。

图2-2 TM 曲线参数及效果示意图



$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Slope \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 250 & 1000 \\ 0 & 0 & 0 & 65 & 1000 \\ 0 & 0 & 0.850 & 1200 \end{bmatrix}$$

2.2.2.2 API 参考

- [HI_MPI_HDR_SetTMPParam](#): 设置 Tone Mapping 模块属性。
- [HI_MPI_HDR_GetTMPParam](#): 获取 Tone Mapping 模块属性。



HI_MPI_HDR_SetTmParam

【描述】

设置 Tone Mapping 模块属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_SetTmParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN  
VpssChn, const HDR_TM_PARAM_S *pstTmParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号。	输入
VpssChn	VPSS CHN 号。	输入
pstTmParam	Tone Mapping 模块属性。	输入

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为错误码。

【需求】

- 头文件：hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件：libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_GetTmParam](#)

HI_MPI_HDR_GetTmParam

【描述】

获取 Tone Mapping 模块属性。



【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_GetTMParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN  
VpssChn, HDR_TM_PARAM_S *pstTmParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号。	输入
VpssChn	VPSS CHN 号。	输入
pstTmParam	Tone Mapping 模块属性。	输出

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为错误码。

【需求】

- 头文件：hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件：libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_SetTMParam](#)

2.2.2.3 数据类型

- [HDR_TM_PARAM_S](#)：定义 TM 模块属性结构体。
- [HDR_TM_CUBIC_ATTR_S](#)：定义 TM 模块 Cubic Curve 相关参数，包含参考点坐标值和参考点斜率。

HDR_TM_PARAM_S

【说明】



定义 TM 模块属性结构体。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_TM_PARAM_S
{
    HI_BOOL          bEnable;
    HDR_TM_CUBIC_ATTR_S astrCubicPoint[5];
}HDR_TM_PARAM_S;
```

【成员】

成员名称	描述
bEnable	模块使能。 0: TM 模块关闭; 1: TM 模块打开。 取值范围[0, 1]
astrCubicPoint[5]	TM Cubic Curve 相关参数, 包含参考点坐标值和参考点斜率。

【注意事项】

与 DRC 类似, astCubicPoint 中包含了需要生成 cubic 曲线的基本参数。

【相关数据类型及接口】

- [HI_MPI_HDR_SetTMParam](#)
- [HI_MPI_HDR_GetTMParam](#)
- [HDR_TM_CUBIC_ATTR_S](#)

HDR_TM_CUBIC_ATTR_S

【说明】

定义 TM 模块 Cubic Curve 相关参数, 包含参考点坐标值和参考点斜率。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_TM_CUBIC_ATTR_S
{
    HI_U16          u16X;
    HI_U16          u16Y;
    HI_U16          u16Slope;
}HDR_TM_CUBIC_ATTR_S;
```

【成员】



成员名称	描述
u16X	取值范围[0, 1000] 表示 TM 曲线参考点在 Log 域上的 X 轴（输入）坐标位置
u16Y	取值范围[0, 1000] 表示 TM 曲线参考点在 Log 域上的 Y 轴（输出）坐标位置
u16Slope	取值范围[0, 10000] 表示 TM 曲线参考点位置上的 TM 曲线斜率。

【注意事项】

- TM 模块与 DRC 模块中的 Cubic Curve 的调节方法相同。请注意为保证图效果正确，astCubicPoint[0].u16X 与 astCubicPoint[4].u16X 两个值分别固定为 0 与 1000，astCubicPoint[4].u16Slope 被设置为与 astCubicPoint[3]以及 astCubicPoint[4]相关参数联动，这三个值用户调节无效。
- TM 曲线要求设置成单调递增曲线。具体曲线形状可以通过 PQTool 的 TM 调节页面生成并观察。由于精度问题，如果参考点的位置和斜率设置不合理，在某些情况下会出现曲线跳变现象。因此调试人员需要尽量避免该问题的产生。

【相关数据类型及接口】

无

2.2.3 OETF 模块

2.2.3.1 概述

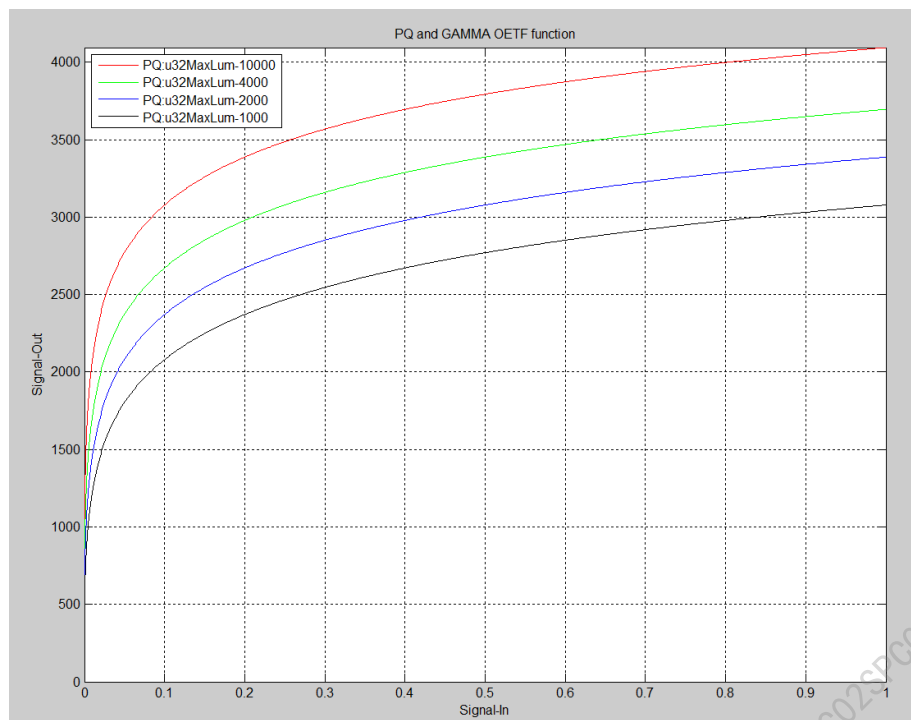
OETF 在 HDR 模式下为常开模块。OETF 模块的作用是将视频制作者通过艺术加工（Artistic Adjustment）后认为满意的线性数据按照对应的 HDR（BT.2100）或者 SDR 标准（BT.709）进行输出。

OETF 模块本质上与 Gamma 模块相同，均是对输入的宽动态范围线性数据进行保留并传输。目前的配置方案为：在 HDR 模式下，默认采用 BT.2100 规定的 PQ 曲线，在 SDR 模式下，采用默认 Gamma 曲线。

当采用 BT.2100 规定的 PQ 曲线时，曲线形状随接口中的 u32MaxLum 设置值发生变化（u32MaxLum 与 u32CurLum 的关系下文中有介绍）。具体表现形式如图 2-3 所示。



图2-3 不同 u32MaxLum 值设置下的 PQ 曲线形状



2.2.3.2 API 参考

- [HI_MPI_HDR_SetOETFParam](#): 设置光电转换模块（OETF）属性。
- [HI_MPI_HDR_GetOETFParam](#): 获取光电转换模块（OETF）属性。

HI_MPI_HDR_SetOETFParam

【描述】

设置光电转换模块（OETF）属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_SetOETFParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN  
VpssChn, const HDR_OETF_PARAM_S *pstOETFParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号。	输入
VpssChn	VPSS CHN 号。	输入



参数名称	描述	输入/输出
pstOETFParam	OETF 模块（光电转换模块）属性。	输入

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为 错误码 。

【需求】

- 头文件：hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件：libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_GetOETFParam](#)

HI_MPI_HDR_GetOETFParam

【描述】

获取光电转换模块（OETF）属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_GetOETFParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN
VpssChn, HDR_OETF_PARAM_S *pstOETFParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号	输入
VpssChn	VPSS CHN 号	输入
pstOETFParam	OETF 模块（光电转换模块）属性	输出



【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为 错误码 。

【需求】

- 头文件：hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件：libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_SetOETFParam](#)

2.2.3.3 数据类型

- [HDR_OETF_PARAM_S](#)：定义 OETF 模块属性描述结构体。
- [HDR_OETF_CURVE_TYPE_E](#)：定义 OETF 模块默认曲线类型。

HDR_OETF_PARAM_S

【说明】

定义 OETF 模块属性描述结构体。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_OETF_PARAM_S
{
    HI_BOOL bEnable;
    HI_U16  au16GammaLut[GAMMA_NODE_NUM];
    HI_U32  u32MaxLum;
    HI_U32  u32CurLum;
    HDR\_OETF\_CURVE\_TYPE\_E enCurveType;
} HDR_OETF_PARAM_S;
```

【成员】

成员名称	描述
bEnable	控制 OETF 模块功能开关。



成员名称	描述
	取值范围: [0, 1]
au16GammaLut	取值范围: [0, 4095] OETF 传输曲线查找表节点值, 仅在 CurveType 选择为 HDR_OETF_CURVE_USER 时可以自由设置。
u32MaxLum	取值范围: [0, 10000] 仅在 CurveType 为 HDR_OETF_CURVE_HDR 时生效。表示在当前动态范围下, PQ 曲线可以取到的最大合理亮度。默认值为 1200, 单位为 nit。
u32CurLum	取值范围: [0, 10000] 仅在 CurveType 为 HDR_OETF_CURVE_HDR 时生效。表示在当前动态范围下, PQ 曲线取到的当前最大亮度。默认值为 1200, 单位为 nit。
enCurveType	表示 OETF 传输曲线类型

【注意事项】

- 在 OETF 的接口中, u32CurLum 的值需要永远小于等于 u32MaxLum。在 HDR 模式下, OETF 输出的最终数据与 u32CurLum 相关。u32CurLum 即为在 PQ 曲线上所能达到的最大亮度。
- 不同模式通过 enCurveType 进行选择。u32MaxLum 和 u32CurLum 仅在 enCurveType 选择为 HDR_OETF_CURVE_HDR 时有效。u16GammaLut 的节点值仅在 enCurveType 设置为 HDR_OETF_CURVE_USER 时有效, 选择其他模式时仅为只读 (参数可设置但是不生效, 执行 read 后会被正常覆盖)
- HDR10 模式下, OETF 中的 u32MaxLum、u32CurLum、enCurveType 信息, 需要传递到帧信息中, 以方便 VENC、VO 等其他模块对 HDR Metadata 的生成。
- HLG 模式下, OETF 中的 u32MaxLum、u32CurLum 参数无效, enCurveType 信息会送到 VENC 模块以方便满足 HEVC main 10 标准要求的 VUI/SEI 信息生成。。
- 虽然 OETF 模块支持传输曲线形状自定义, 但是推荐用户选择默认传输曲线类型。

【相关数据类型及接口】

- [HI_MPI_HDR_SetOETFParam](#)
- [HI_MPI_HDR_GetOETFParam](#)
- [HDR_OETF_CURVE_TYPE_E](#)

HDR_OETF_CURVE_TYPE_E**【说明】**

定义 OETF 模块默认曲线类型。

【定义】



```
typedef struct hiHDR_OETF_CURVE_TYPE_E
{
    HDR_OETF_CURVE_DEFAULT = 0,
    HDR_OETF_CURVE_SRGB,
    HDR_OETF_CURVE_HDR10,
    HDR_OETF_CURVE_HLG,
    HDR_OETF_CURVE_SLF,
    HDR_OETF_CURVE_USER,
    HDR_OETF_CURVE_BUTT
} HDR_OETF_CURVE_TYPE_E;
```

【成员】

成员名称	描述
HDR_OETF_CURVE_DEFAULT	表示配置默认 OETF 曲线
HDR_OETF_CURVE_SRGB	表示配置符合 sRGB 规范的默认 OETF 曲线
HDR_OETF_CURVE_HDR10	表示配置符合 HDR10 规范的默认 OETF 曲线
HDR_OETF_CURVE_HLG	表示配置符合 HLG 规范的默认 OETF 曲线
HDR_OETF_CURVE_SLF	表示配置符合 SLF 规范的默认 OETF 曲线。当前保留，不进行配置
HDR_OETF_CURVE_USER	表示配置符合用户自定义需求的 OETF 曲线
HDR_OETF_CURVE_BUTT	枚举标志结束位

【注意事项】

无

【相关数据类型及接口】

无

2.2.4 CSC 模块

2.2.4.1 概述

本节中介绍的 CSC 接口对应开启 HDR 模式时的 CSC2 和 CSC3 两个算法模块。本节中所述相关接口均为 HDR_MPI 接口，接口功能与 ISP_MPI 中的 CSC 接口完全相同，但是并不控制同一模块。

HDR 模式下，CSC 配置规则如表 2-1 所示。



表2-1 CSC 配置规则

模式	CSC2	CSC3
SDR(BT.709/BT.2020)	SDR 模式下本模块不开放	SDR 模式下本模块不开放
HDR (BT.709/BT.709)	RGB->YUV BT.709	RGB-> YUV BT.709
HDR (BT.2020/BT.2020)	RGB->YUV BT.2020	RGB-> YUV BT.2020
HDR (BT.709/BT.2020)	RGB-> YUV BT.709	RGB-> YUV BT.2020

2.2.4.2 API 参考

- **HI_MPI_HDR_SetCSCParam**: 设置色彩空间转换模块属性。
- **HI_MPI_HDR_GetCSCParam**: 获取色彩空间转换模块属性。

HI_MPI_HDR_SetCSCParam

【描述】

设置色彩空间转换模块属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_SetCSCParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN VpssChn, const HDR_CSC_PARAM_S *pstCSCParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号。	输入
VpssChn	VPSS CHN 号。	输入
pstCSCParam	色彩空间转换模块属性。	输入

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为 错误码 。



【需求】

- 头文件：hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h
- 库文件：libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_GetCSCParam](#)

HI_MPI_HDR_GetCSCParam

【描述】

获取色彩空间转换模块属性。

【语法】

```
HI_S32 HI_MPI_HDR_GetCSCParam(VI_PIPE ViPipe, VPSS_GRP VpssGrp, VPSS_CHN  
VpssChn, HDR_CSC_PARAM_S *pstCSCParam);
```

【参数】

参数名称	描述	输入/输出
ViPipe	VI PIPE 号。	输入
VpssGrp	VPSS GRP 号	输入
VpssChn	VPSS CHN 号	输入
pstCSCParam	色彩空间转换模块属性	输出

【返回值】

返回值	描述
0	成功。
非 0	失败，其值为 错误码 。

【需求】

- 头文件：hi_comm_hdr.h、mpi_hdr.h



- 库文件：libmpi.a

【注意】

无

【举例】

无

【相关主题】

[HI_MPI_HDR_SetCSCParam](#)

2.2.4.3 数据类型

- [HDR_CSC_PARAM_S](#)：定义 CSC 模块属性描述结构体。
- [HDR_CSC_MATRIX_S](#)：定义色彩空间转换的矩阵系数。

HDR_CSC_PARAM_S

【说明】

定义 CSC 模块属性描述结构体。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_CSC_PARAM_S
{
    COLOR_GAMUT_E  enHdrcScType;
    HI_U32  u32LumaVal;
    HI_U32  u32ContrVal;
    HI_U32  u32HueVal;
    HI_U32  u32SatuVal;
    HI_BOOL  bLimitedRangeEn;
    HI_BOOL  bExtCscEn;
    HI_BOOL  bCtModeEn;
    HDR_CSC_MATRIX_S  stCSCMatrix;
} HDR_CSC_PARAM_S;
```

【成员】

成员名称	描述
enHdrcScType	枚举，表述当前通道的色域范围，可以选择 BT601，BT709，BT2020 等标准色域，同时支持用户自定义模式。
u32LumaVal	取值范围[0, 100]。 表述当前通道的亮度直流分量水平大小。默认 50
u32ContrVal	取值范围[0, 100]。



成员名称	描述
	表述当前通道的对比度。默认 50
u32HueVal	取值范围[0, 100]。 表述当前通道的色调表现。默认 50
u32SatuVal	取值范围[0, 100]。 表述当前通道的颜色饱和度表现。默认 50
bLimitedRangeEn	取值范围[0, 1]。 表述当前通道的有效值范围为 limited(64~960)还是 full(0~1023)。设置为 1 时表示使用 limited range 输出。默认为 0
bExtCscEn	取值范围[0, 1]。 表述当前 u32LumaVal 的设置对 CSC 的影响是否采用扩展方式，设置为 1 时表示亮度变化范围更大，设置为 0 时表示亮度范围变化较小。默认为 1。
bCtModeEn	取值范围[0, 1]。 表示当前 u32ContrVal 的改变是否会影响画面亮度。设置为 1 时表示 u32ContrVal 改变不会影响画面亮度，设置为 0 时表示改变会影响。默认为 0。
stCSCMatrix	CSC 系数配置结构体。

【注意事项】

无

【相关数据类型及接口】

- [HI_MPI_HDR_SetCSCParam](#)
- [HI_MPI_HDR_GetCSCParam](#)
- [HDR_CSC_MATRIX_S](#)

HDR_CSC_MATRIX_S**【说明】**

定义色彩空间转换的矩阵系数。

【定义】

```
typedef struct hiHDR_CSC_MATRIX_S
{
    HI_S32    as32CSCIdc[HDR_CSC_IDC_NUM];
    HI_S32    as32CSCOdc[HDR_CSC_ODC_NUM];
    HI_S32    as32CSCCoef[HDR_CSC_COEF_NUM];
}
```



```
}HDR_CSC_MATRIX_S;
```

【成员】

成员名称	描述
as32CSCIdc	取值范围: [-1024, 1023] 色彩空间转换矩阵直流输入分量
as32CSCOdc	取值范围: [-1024, 1023] 色彩空间转换矩阵直流输出分量
as32CSCCoef	取值范围: [-32768, 32767] 色彩空间转换系数矩阵

【注意事项】

无

【相关数据类型及接口】

无

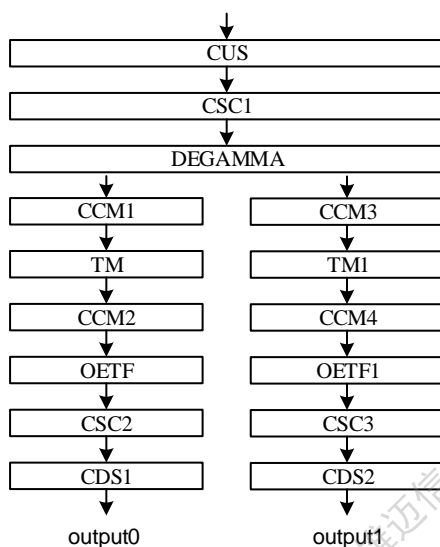


3 软件配置方案

3.1 软件配置策略

HDR 模式下的架构图（部分）如图 3-1 所示。

图3-1 HDR 模块架构图



在 HDR 模式开启的情况下，Hi3559AV100 允许以下几种配置模式，用户可根据实际情况进行选择 and 配置：

- 单路 HDR 输出
- 双路 HDR 输出（输出配置不同的 HDR 模式）
- 双路 HDR+SDR 输出

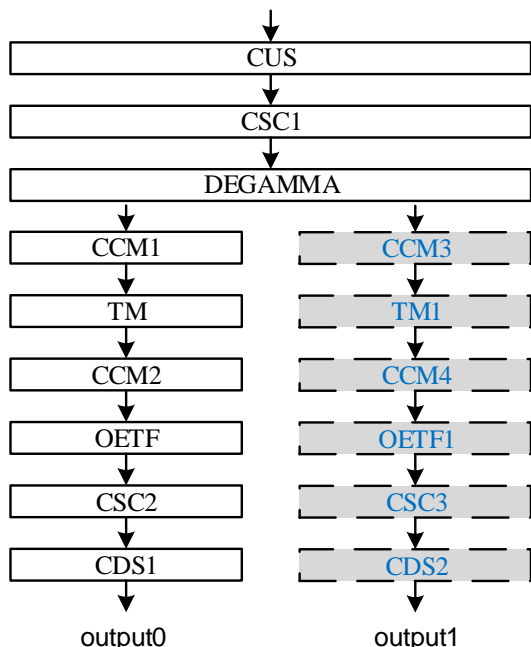
除图像效果相关的模块参数配置以及必要的帧信息配置以外，Hi3559AV100 的 HDR 模式的 Sensor 时序配置、通路时序配置等与 WDR 模式完全保持一致。



3.1.1 单路 HDR 输出

单路 HDR 输出时，可以任意位置配置使用通道，模块配置如图 3-2 所示。

图3-2 单路 HDR 输出配置



本场景在配置时，需要进行 PQ 调试的模块有 TM、OETF 和 CLUT 模块。

注意：输出 HDR 信号时，HDR CCM 配置不生效。相关颜色矫正功能通过 ISP 中的 CCM 模块实现。

在本模式中，TM 模块起到的作用类似于 System gamma，能够有效的提高画面整体通透性表现。推荐的 TM 配置参数为：

$$\begin{matrix} X \\ Y \\ Slope \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 150 & 1000 \\ 0 & 0 & 0 & 65 & 1000 \\ 0 & 0 & 0 & 850 & 1200 \end{bmatrix}$$

而 OETF 模块的主要作用是将输入的线性信号转换成符合 HDR10 或者 HLG 标准的非线性信号。因此 OETF 模块中的相关参数均为生成相对应的曲线服务。注意选择了对应的 u32CurLum 和 OETF_CURVE_TYPE 之后，需要将该数据传递给 metadata 使用。

CLUT 模块的作用是进一步调节色彩表现。CLUT 参数的设定需要使用专门的计算工具计算出一套 27x27x27 的 3DLUT，然后通过 cmos.c 接口将该 LUT 配置到算法模块中。

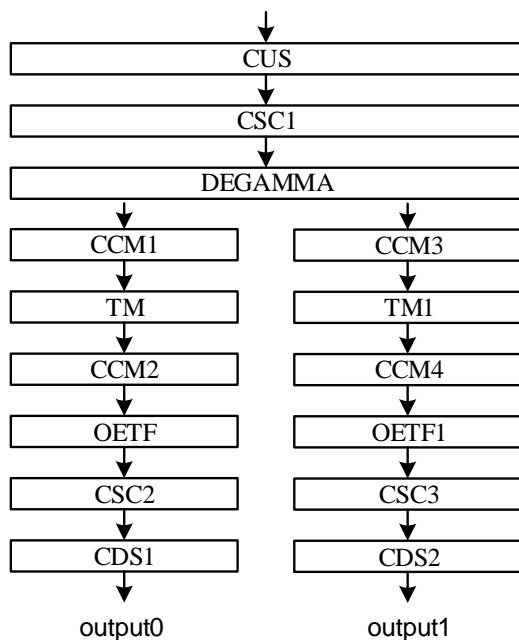
CSC 模块根据需求选择配置 BT.2020 或者 BT.709 的相关系数。推荐使用 BT.2020 系数配置。CCM 模块比较特殊，推荐不配置 CCM1，此时系统默认使用 CCM 系数。



3.1.2 双路 HDR 输出（不同 HDR 模式）

双路 HDR 输出时，模块配置策略如图 3-3 所示。

图3-3 双路 HDR 输出（不同曲线）



在双路 HDR 采用不同曲线输出时，可根据需要对 TM 和 TM1 配置不同的曲线值。

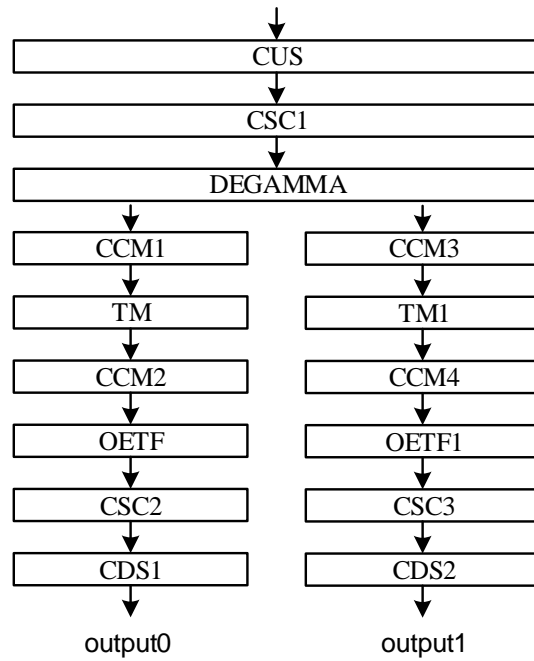
同时为保证两路通路颜色表现的一致性，建议不开 CLUT 模块。

3.1.3 双路 HDR+SDR 输出

双路 HDR+SDR 输出时，TM 模块和 CCM 模块都需要打开以对数据的宽动态数据进行调整。由一路通道输出 SDR 数据，另外一路通道 HDR 输出 HDR 数据。配置策略如图 3-4 所示。



图3-4 双路 HDR+SDR 输出



该模式下根据用户需求，尽量保持 SDR 通路和 HDR 通路的色彩表现一致。其他模块的配置策略与其他模式保持一致。



4 PQ 策略

HDR 模式下的 PQ 调试策略总共分三大部分：

- 控制输入信号动态范围的 AE 曝光策略；
- 调整画面动态范围的部分，主要涉及 DRC、Gamma、TM、OETF 等模块；
- 调整画面颜色的部分，主要涉及 CCM 和 CLUT 等模块。



注意

本节中介绍的所有模块的调试均需要运行在 HDR 模式下，同时使用支持 HDR 输入的显示设备（如 HDR 电视机、监视器等）进行调试工作。

4.1 AE 曝光策略

以两帧合成的 HDR 模式曝光策略为例，当前的曝光策略为：以长帧的统计信息为准，尽量保持 HDR 的长帧曝光结果与线性模式的曝光结果一致。此时将长帧曝光结果作为参考帧(Reference Frame)。这时通过 AE 算法重新判断画面曝光比是否合理（画面中是否产生了大面积过曝区域），并进行迭代调整。曝光比越大，则短帧能记录的亮区数据就越多，合成得到的 HDR 输入数据动态范围越广。

在参考帧确定的情况下，DRC 的动态范围调整以及 OETF、TM 的参数设定可更加方便的确定。

4.2 动态范围调试策略

HDR 模式在输入的合成数据动态范围一定的背景下，最终控制输出图像动态范围的相关模块有 DRC、GAMMA、TM 和 OETF 这四个模块。其中 Gamma 模块此时将作为通路模块，不建议使用该模块进行图像效果的调节。TM 和 OETF 模块建议与 AE 的结果进行联动。DRC 模块为调节画面动态范围的主要模块。



注意

推荐按 GAMMA、OETF、TM、DRC 的顺序进行参数设置。

4.2.1 Gamma 模块调试策略

如前文所述，在 HDR 模式下，Gamma 模块建议默认配置为 HDR 模式曲线 (ISP_GAMMA_CURVE_HDR)。目的是能够尽可能多的保留暗处细节，同时能够使得后续的模块效果不会被影响太多（例如 Sharpen 等）。当然和 SDR 模式一样，用户也可以根据图像质量内容需要对 Gamma 曲线形状进行微调，不需要拘泥于配置 0.33 的函数形式中。

4.2.2 TM 及 OETF 模块调试策略

TM 和 OETF 的调试策略与曝光密切相关。建议的调试策略为：

在 HDR 下，尽量使得 HDR 的参考帧（两帧合成模式下的长帧，或三帧合成模式下的中帧）曝光结果和线性的曝光结果相同，然后通过调整曝光比使得其余帧能够补全单帧曝光无法捕获到的信息。建议的调试顺序为，先确定 OETF 中的 u32MaxLum 的值以及 u32CurLum 的值，然后再调节 TM 曲线以达到 HDR 主体的动态范围分布和 SDR 的主体动态分布一致的情况。

- 由于在 HDR 模式下，OETF 的相关调试参数应与曝光比联动。例如：如果单帧曝光时设定 OETF 的 u32MaxLum 和 u32CurLum 为 300 nit 时，所得画面与 SDR 显示器设定为 300 nit 的画面动态范围基本相同，那么如果曝光比分别变为 2 倍、4 倍、8 倍时，对应的 OETF 最大值应设定为 600 nit、1200 nit、2400 nit，依次类推。当然由于 Sensor 曝光在亮处是非线性的，因此调试人员需要根据实际情况对 OETF 的 u32MaxLum 和 u32CurLum 进行调整（一般是往下调）。
- 在确定好 OETF 的参数之后，调试人员可以再通过调整 TM 的曲线参数，将画面的主体动态范围分布调整到和 SDR 的主体动态范围分布一致或者接近的程度。而原 SDR 画面中无法捕获的过曝和过暗区域，则是在多帧曝光采集到了信息之后，再通过 DRC 进行适当的压缩以获得动态范围表现。

4.2.3 DRC 模块调试策略

在曝光结果稳定，且 Gamma、OETF、TM 等模块的参数基本确定的情况下，此时调节 DRC 模块才有意义。在 HDR 模式下，DRC 的调试策略如下：

DRC 曲线的原则是使得画面主体（即线性单帧曝光就已经能记录到的区域）的动态分布表现和线性曝光一致（该部分区域的 DRC TM 曲线斜率设置为 1），根据调试人员需要，对那些在线性画面上过曝或过暗、在 HDR 画面上有数据的区域（画面亮区或暗区）通过 DRC 曲线进行压缩甚至于是拓展的调节，以达到重新分配画面动态范围的目的。

下面以目前 HDR 测试的典型场景为例，介绍 DRC 模块在 HDR 模式下的具体调试策略。



注意

本节所描述具体参数数值由于场景和曝光环境的变化，会有很大不同。因此本节所述数值仅作为对单一场景的调试方法示意。

图4-1 HDR 典型测试场景（HDR10 格式数据）

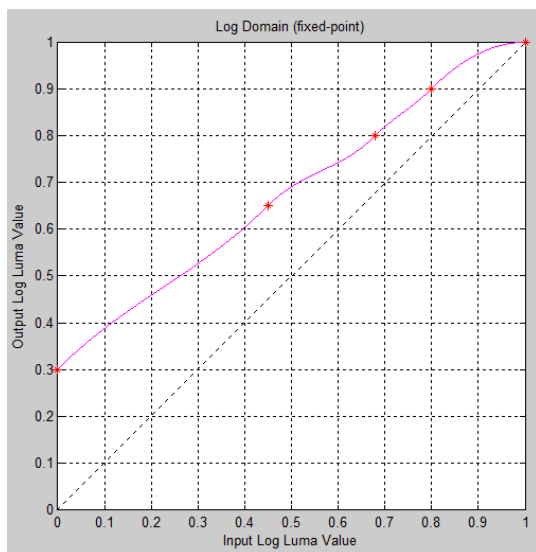


该场景的特点为：画面中心的玻璃器皿反光明显，为点光源，高亮内容；室内关灯，因此与窗外亮度差异明显；画面暗区内容有 WDR 灯箱以及灯箱上方的黑色泡沫盒子，画面整体动态范围较大。

而线性曝光结果显示，画面中的玻璃器皿、窗外等高亮内容已经过曝；WDR 灯箱内部的色卡、色温计等物体由于过暗导致截止；而亮区的植物、饮料瓶、画面边缘的色卡等内容得以保留。

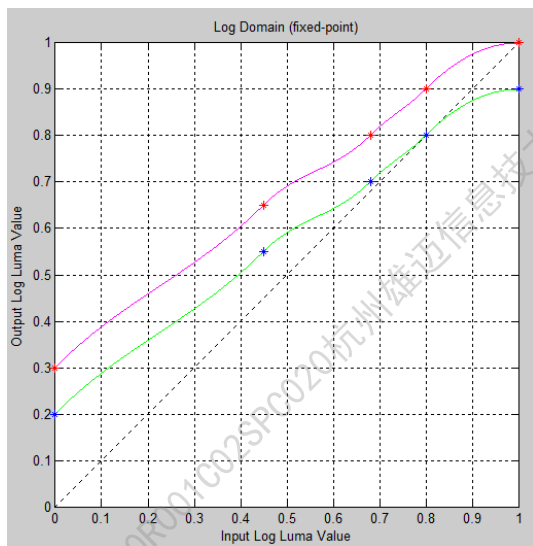
DRC 的 Cubic 曲线，请参考图 4-2。

图4-2 DRC Cubic 曲线示意图



如果不做 DRC，那么原本的曝光结果动态范围应为图 4-2 虚线所示（斜率为 1），原线性曝光的保留区域经过 Log 域转换后，大致落在了 0.6~0.8 的范围内，因此需要尽量保持这部分数据的线性性，反映到 Cubic 曲线上即斜率需保持为 1。对应由于需要将亮区压缩，因此 0.8 以上的曲线斜率应当呈现被压缩的状态（斜率小于 1）。另为使得暗区数据能够符合输出设备的动态范围，可以适当往上抬一点，最终得到的曲线如图 4-3 绿线所示。

图4-3 DRC Cubic 曲线调节示意

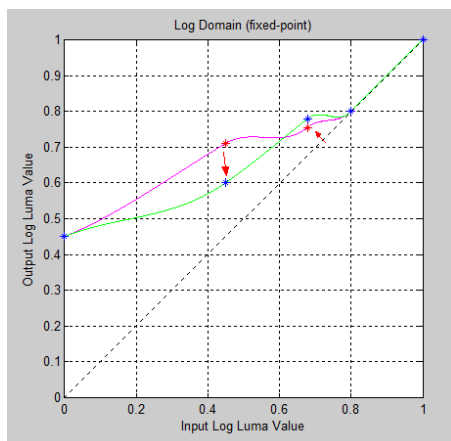


又因 DRC 算法输出原则为高位对齐，因此最终有效的 Cubic 曲线应为图 4-3 中红线所示。

具体到风格调试上，Cubic 曲线对画面的影响如图 4-4 所示。



图4-4 Cubic 参数对曲线的影响 (1)



红:

X	0	450	680	800	1000
Y	450	710	755	800	1000
Slope	400	600	800	1000	1000

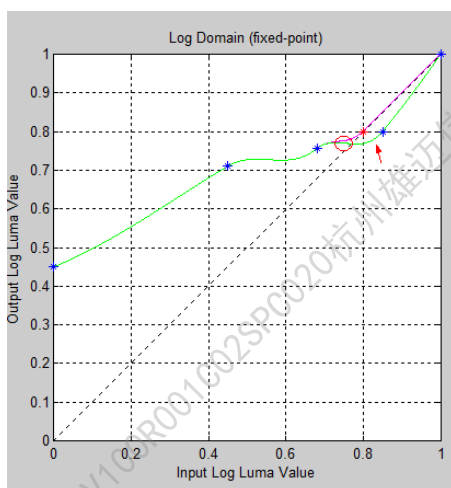
绿:

X	0	450	680	800	1000
Y	450	600	780	800	1000
Slope	400	700	800	1000	1000

图 4-4 中红线到绿线的变化在于：X1 和 X2 两个点的 Y 值发生变化，且对应的斜率也相应发生了变化调整。此时对画面中落在这部分亮度区域的数据的影响为该部分的局部对比度有一定的提升。原因是 Cubic 曲线此时分配的较多的码字给图像。

如果希望进一步增强对比度，亦可以将 X3 稍微往右移（增大），同时增大 Slope3 的值，这样一来分配给亮区的码字就会提高，然而同样会有一部分内容被压缩。结合之前的曝光策略，我们可以将人眼不感兴趣的内容压缩掉，以保留画面中的大部分细节。亮区的调整如图 4-5 所示。

图4-5 Cubic 参数对曲线的影响 (2)



红:

X	0	450	680	800	1000
Y	450	710	755	800	1000
Slope	400	600	800	1000	1000

绿:

X	0	450	680	850	1000
Y	450	710	755	800	1000
Slope	400	600	800	1200	1000



需要注意的是，由于是 Log 域，因此 0.8 及以上区域的曲线的微调，对整个画面的影响会比调整 0.4~0.8 区间曲线的影响要大。

将画面的动态范围调整好之后，可以适当调整 `u8DetailDarkStr`，`u8DetailBrightStr`，`u8DetailDarkStep` 和 `u8DetailBrightStep` 的值，进一步增强暗区和亮区的亮度，以提高画面整体对比度表现。

DRC 其他参数调节方法可参考《HiISP 开发手册》相关内容。

4.3 颜色调试策略

目前的颜色调试策略为：

通过 CCM 的标定计算得到广色域下的标准 CCM 值，然后对需要进行微调的颜色（例如红色、绿色等）通过 CLUT 及 CLUT 工具进行重新调整。



5 错误码

HDR-API 错误码如表 5-1 所示。

表5-1 HDR-API 错误码

接口返回值	含义
HI_ERR_HDR_NULL_PTR	空指针错误。
HI_ERR_HDR_ILLEGAL_PARAM	输入参数无效。
HI_ERR_HDR_INVALID_DEVID	输入 DEV 号错误
HI_ERR_HDR_INVALID_CHNID	输入 CHN 号错误
HI_ERR_HDR_INVALID_PIPEID	输入 PIPE 号错误
HI_ERR_HDR_UNEXIST	设备没有有效打开。
HI_ERR_HDR_NOT_SUPPORT	功能不支持。