

ISP 颜色调优说明

文档版本 V1.0

发布日期 2024-12-21

前言

概述

本文为 AWB, CCM, CLUT 算法调试、问题定位而写, 详细介绍了标定、参数调优等使用说明, 目的是为用户在开发过程中遇到的问题提供解决办法和帮助。



说明

未经特殊说明, 以 XM7606V13 指代 XM76 系列所有芯片。

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

读者对象

本文档 (本指南) 主要适用于以下工程师:

- 技术支持工程师
- 软件开发工程师

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。

修订日期	版本	修订说明
2024-12-21	V1.0	DI 版本发布。

目 录

前 言	i
1 原理简介	1
1.1 色彩调试综述	1
2 基础调色方案	3
2.1 基础调色方案概述	3
2.2 AWB 调试	3
2.2.1 AWB 模块工作原理	3
2.2.2 统计模块调试	4
2.2.3 AWB 标定	8
2.2.4 AWB FW(AWB)	15
2.2.5 问题定位	22
2.2.6 Raw 数据分析(AWB)	22
2.2.7 3A 分析工具看白色区域是否合理	23
2.3 CCM 调试	26
2.3.1 CCM 模块工作原理	26
2.3.2 CCM 标定参数说明	26
2.3.3 RAW 数据采集	27
2.3.4 标定	28
2.3.5 手动修改 CCM	29
2.3.6 WDR 模式下标定 CCM	31

3 高级调色方案	33
3.1 高级调色方案概述.....	33
3.1.1 典型应用模式	33
3.2 3DLUT 调试.....	34
3.2.1 3DLUT 说明	34
3.2.2 调试步骤.....	35

插图目录

图 1-1 基础调色流程图.....	1
图 1-2 高级调色流程图.....	1
图 2-1 AWB 工作原理图.....	4
图 2-2 灰点色差限制图.....	4
图 2-3 5000K 白色块 Cr 在不同照度的分布图	8
图 2-4 验证黑电平配置是否正确	11
图 2-5 Auto AWB 标定	12
图 2-6 Semi-Auto AWB 标定.....	12
图 2-7 AWB 标定完成的 Planckian Curve.....	13
图 2-8 低色温下灰点的色差信息	14
图 2-9 高色温下灰点的色差信息	14
图 2-10 统计结果确认	23
图 2-11 关闭统计参数自动调整功能.....	23
图 2-12 手动配置统计参数	24
图 2-13 检查室内外配置参数	24
图 2-14 Shift 参数调整前效果	25
图 2-15 Shift 参数调整后效果	25
图 2-16 CCM 矩阵	26
图 2-17 24 色选框.....	28
图 2-18 24 色卡标准值.....	30

表格目录

表 2-1 Bayer 域 WB 统计灰点条件参数 5

表 2-2 Bayer 域统计结果说明 6

表 2-3 Bayer 域统计结果差异说明 7

表 2-4 AWB 标定参数 9

表 2-5 AWB ATTR 参数 15

表 2-6 stCTLimit 参数说明 17

表 2-7 stCbCrTrack 参数说明 17

表 2-8 stLumaHist 参数说明 18

表 2-9 stLumaHist 参数说明 19

表 2-10 stInOrOut 参数说明 20

表 2-11 stLightInfo 参数说明 21

表 2-12 CCM 标定参数 26

1 原理简介

1.1 色彩调试综述

ISP 系统支持两种层次的调色方案。

第一种是基础调色方案。系统的颜色主要由 AWB+CCM+GAMMA 控制，颜色风格为整个色域内一致的風格，指的是由 CCM 的 3x3 矩阵将 sensor 的 native 色彩空间（设备相关的色彩）转换到 sRGB 标准定义的色彩空间（设备无关的色彩）。特点是 Sensor 的响应被线性扩展到目标空间，即各种颜色获得同样的线性扩展。颜色的呈现随着 sensor 的光谱响应特性的不同而变化。

图1-1 基础调色流程图



由于 3x3 矩阵的原因，所有颜色的饱和度会随着 CCM 矩阵变大和变小，不同的色调之间可能发生一些冲突，即优先调节某些色调会导致相邻的色调无法调整到位，同时暗处，中间亮度，高亮区域的颜色的调节是一致的，如果需要对三个亮度区域做不同的颜色调整，那么就不能满足需求。

第二种是高级调色方案。系统的颜色主要由 AWB+CCM+GAMMA+LCE (uv_limit_max) 控制，颜色风格可以按需调节。

图1-2 高级调色流程图



使用高级调色方案在 CCM 的颜色调试基础上，CLUT 将颜色从 0, 15 为一个步长，分为了 24 个色相角度，针对单独颜色偏色时候，调试过程中找到相关的色相角度，可以将颜色的色相进行偏移，针对颜色的色相进行调试，针对感兴趣的颜色如绿色草地、蓝色天空、人脸肤色，可以更方便单独颜色色相的调试。

色相环



饱和度调试

饱和度值调试时候，CLUT 将颜色饱和度分为 0, 0.5, 1.0，可以对同一色相下不同饱和度区域对颜色饱和度进行加强和抑制。

在对于不同亮度饱和度调试，在 LCE 的 `uv_limit_max`，可以针对不同亮度的颜色饱和度进行加强和抑制。

2 基础调色方案

2.1 基础调色方案概述

本章主要介绍的是与基础调色方案相关的模块，包括 CCM 等模块的调试指导。进行完 CCM 等模块的调试以后，产品的颜色能达到常规使用的效果需求。

2.2 AWB 调试

2.2.1 AWB 模块工作原理

AWB 模块由硬件 WB 信息统计模块及 Firmware AWB 策略控制算法两部分组成。

WB 统计模块计算 Raw 图像满足灰点条件的像素点的 R, G, B 三个颜色通道平均值。统计输出整幅图像的 RGB 均值和整幅图像分成 M*N 区块的每个区块的 RGB 均值。

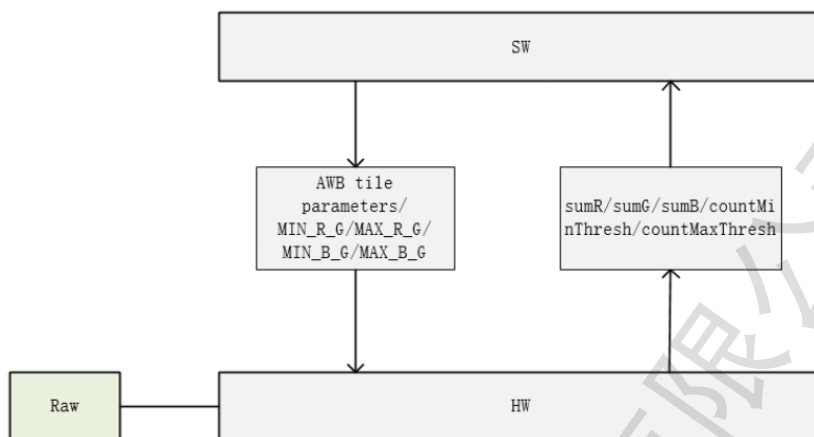
$$awb_{mn} = \sum_{p \in \Omega_{mn}} \theta_p$$
$$awb_r = \sum_{p \in \Omega_{mn}} R_p * \theta_p / awb_{mn}$$

其中 θ 指示当前点是否灰点，其取值为 0 或 1； awb_{mn} 是区域内灰点个数；R 是像素的红色通道值， awb_r 是 R 通道均值。

同理计算绿色、蓝色分量均值。

根据 AWB 统计模块提供的 R、G、B 三分量均值，计算 G/R、G/B，得到 AWB 增益系数。FW 算法会根据各个分块的统计信息，判断环境色温，计算最佳 AWB 系数。

图2-1 AWB 工作原理图

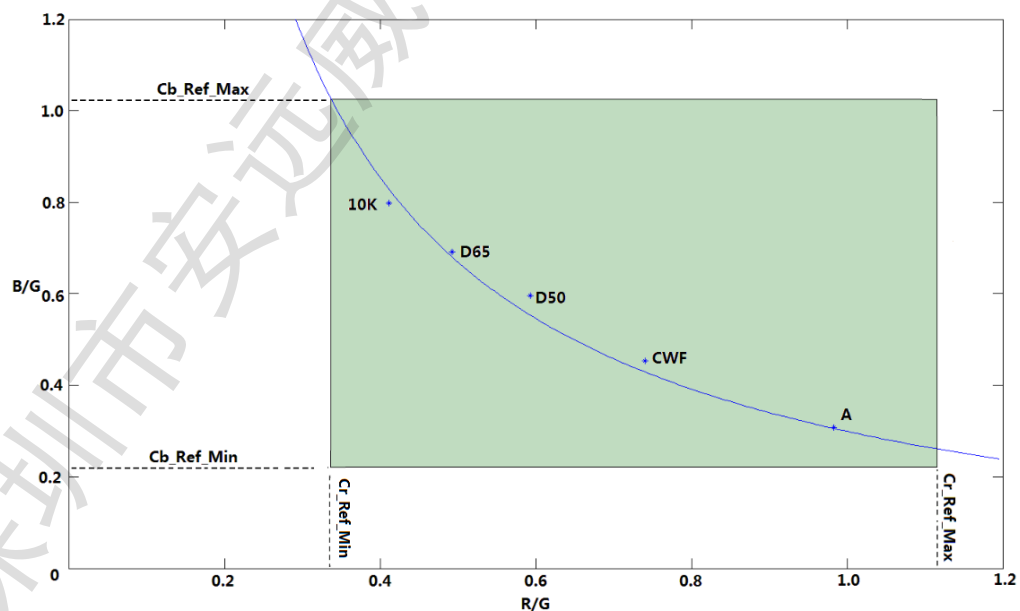


2.2.2 统计模块调试

WB 仅统计灰点的 RGB 三通道均值，准确地配置灰点条件，可提高 FirmWare 算法的准确度。

2.2.2.1 色差限制示意图

图2-2 灰点色差限制图



2.2.2.2 灰点条件参数说明及差异

表2-1 Bayer 域 WB 统计灰点条件参数

参数名称	描述	场景说明
u16MeteringWhiteLevelAwb	灰点的亮度上限。 取值范围[0x0, 0xFFFF], 默认值 0xFFFF。	Sensor 在接近饱和时, 灰点的线性比例会被破坏, 可适当减小该值。
u16MeteringBlackLevelAwb	灰点的亮度下限。 取值范围[0x0, 0xFFF], 默认值 0x0。	WDR 模式下该门限应设置为统计模块输入 Raw 数据的最小值; Linear 模式下, 可在统计模块输入 Raw 数据的最小值基础上加一个 $\leq 0 \times 10$ 的 Offset, 保证 AWB 还原以亮区优先。
u16MeteringCrRefMaxAwb	灰点红色色差 R/G 的最大值, 8bit 精度, 取值范围[0x0, 0xFFF], 默认值 0x200 (等价浮点 2.0)。	色差参数和 Sensor、光学器件强相关, 建议用户对参数进行精调。 AWB Firmware 将 CrMax、CrMin、CbMax、CbMin 四个参数和色温、ISO 建立了联动, 每个参数用户需要配置长度为 16 的数组。在标定部分说明怎样检查灰点条件配置是否合理。
u16MeteringCrRefMinAwb	灰点红色色差 R/G 的最小值, 8bit 精度, 取值范围[0x0, 0xFFF], 默认值 0x80 (等价浮点 0.5)。	
u16MeteringCbRefMaxAwb	灰点蓝色色差 B/G 的最大值, 8bit 精度, 取值范围[0x0, 0xFFF], 默认值 0x200 (等价浮点 2.0)。	
u16MeteringCbRefMinAwb	灰点蓝色色差 B/G 的最小值, 8bit 精度, 取值范围[0x0, 0xFFF], 默认值 0x80 (等价浮点 0.5)。	

2.2.2.3 统计输出说明及差异

表2-2 Bayer 域统计结果说明

参数名称	描述	场景说明
u16MeteringAwbAvgR	全局统计信息中灰点的 R 分量平均值。 取值范围[0, 0xFFFF]。	RGB 三分量均值的数据位宽
u16MeteringAwbAvgG	全局统计信息中灰点的 G 分量平均值。 取值范围[0, 0xFFFF]。	-
u16MeteringAwbAvgB	全局统计信息中灰点的 B 分量平均值。 取值范围[0, 0xFFFF]。	-
u16MeteringAwbCountAll	全局统计信息中灰点的个数。 已做归一化，取值范围[0, 0xFFFF]。	-
u16MeteringAwbCountMin	全局统计信息中小于 BlackLevel 的像素个数。 已做归一化，取值范围[0, 0xFFFF]。	
u16MeteringAwbCountMax	全局统计信息中大于 WhiteLevel 的像素个数。 已做归一化，取值范围[0, 0xFFFF]。	
au16MeteringMemArrayAvgR[]	分区间统计信息中灰点的 R 分量平均值。 取值范围[0, 0xFFFF]。	-
au16MeteringMemArrayAvgG[]	分区间统计信息中灰点的 G 分量平均值。 取值范围[0, 0xFFFF]。	-

参数名称	描述	场景说明
au16MeteringMemArrayAvgB[]	分区间统计信息中灰点的 B 分量平均值。 取值范围[0, 0xFFFF]。	-
au16MeteringMemArrayCountAll[]	分区间统计信息中灰点的个数。 已做归一化，取值范围[0, 0xFFFF]。	-
au16MeteringMemArrayCountMin[]	分区间统计信息中小于 BlackLevel 的像素个数。 已做归一化，取值范围[0, 0xFFFF]。	-
au16MeteringMemArrayCountMax[]	分区间统计信息中大于 WhiteLevel 的像素个数。 已做归一化，取值范围[0, 0xFFFF]。	-

须知

像素个数做归一化是为了消除分辨率差异对灰点个数的影响。

归一化公式：CountAll = (Count of Gray Pixels << 16) / (Count of All Pixels).

表2-3 Bayer 域统计结果差异说明

芯片类型	统计输出格式描述	备注
XM72050200	统计输出 RGB 均值数据位宽是 16bit，取值范围[0, 0xFFFF]。 其中 16bit 整数位，无小数位。 Linear 模式和 WDR 模式无差异，RGain=G/R。	CountMax、CountMin 输出无效

统计结果解压缩 Sample

```
ISP_AWB_INFO_S  stAwbInfo; /* AWB statistics Result Structure*/
```

```

/*Bayer statistics, pow2 to get linear data. RGB average value are 16 bit valid*/
stAwbInfo->pstAwbStat3->u16MeteringAwbAvgR =
(POW2((U32) stAwbInfo->pstAwbStat3->u16MeteringAwbAvgR) >> 16);
... ..
/*process other R, G, B values in the same way*/

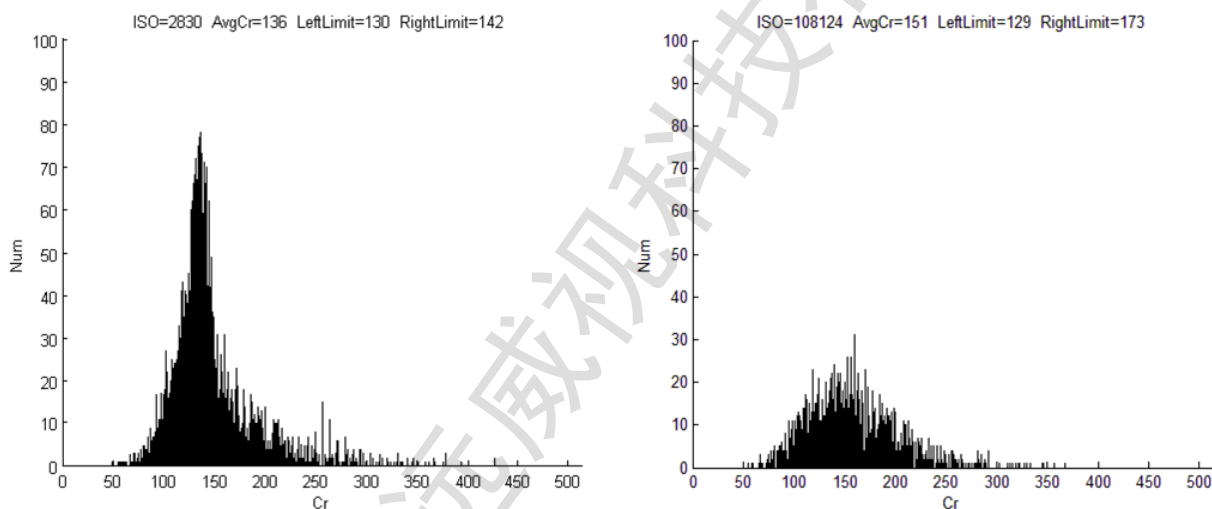
```

2.2.2.4 统计自适应

统计参数自动调整的原因（AWB）

随着环境照度的降低，sensor 和 isp 的增益增大，sensor 输出 Raw 数据的噪声增大。同一光源，白色块的色差分布变化如图 2-3 所示。

图2-3 5000K 白色块 Cr 在不同照度的分布图



因此需要建立统计参数和 ISO 的互动，以保证尽量多的灰色点参与统计。

2.2.3 AWB 标定

2.2.3.1 AWB 标定参数说明

确定 sensor 和滤光片后，用户需要先进行 AWB 标定，以保证 AWB 算法正常工作。

标定原理是：提取 sensor 在多个标准光源下的灰点特征(R/G, B/G)，计算普朗克拟合曲线和色温拟合曲线。

表2-4 AWB 标定参数

参数	描述	场景说明
u16RefColorTemp	静态白平衡系数标定的环境色温，AWB 标定 3 个 KI 光源的中间光源色温，单位 Kelvin。 取值范围：[0-0xFFFF]。	推荐在 Macbeth D50 标准光源环境或室外 5000k-5500K 光源捕获 24 色卡 Raw 数据进行标定。
au16StaticWB[4]	静态白平衡系数，由 AWB 标定工具给出。 取值范围：[0-0xFFF]。	8bit 定点数，G 通道系数固定为 0x100(浮点 1.0)。
as32CurvePara[0-2]	普朗克曲线系数，由 AWB 标定工具给出。 普朗克曲线描绘白色块在不同色温的标准光源下的颜色表现。	-
as32CurvePara[3-5]	色温曲线系数，由 AWB 标定工具给出。 色温曲线描绘白色块的颜色表现与色温的对应关系。	-

2.2.3.2 Raw 数据采集

标定光源选择

- 5000K-5500K 之间的自然光源
- D50 人工光源
- A 光源
- D75 人工光源或 7000K 以上自然光源。

以上四组光源是必须的。补充更多的光源数据，如：CWF、TL84、D65、3500K-6500K 自然光源等可提高标定的准确性。

采集步骤

步骤 1 采集中性灰 RAW 图像，检查设备的镜头阴影程度。Shading 较严重时，需要先标定 Shading 系数，24 色卡图像需要先进行 Shading 校正后，再进行 AWB 标定。

步骤 2 采集设备准备：标准 X-Rite 24 色卡、照度为 600Lux 均匀光源（左右两侧双光源，光源与色卡平面的夹角在 25°- 45°，保证 24 色卡光照均匀），设备、色温计。在室外自然光环境采集 5000K 附近的 24 色卡 Raw，可提高标定的准确性。

步骤 3 调整 AE 目标亮度，最亮灰阶(Block 19)的 G 分量亮度在饱和值的 0.8 倍左右（以 12bit RAW 数据为例，G 分量数值在 0xC00-0xD80 之间）。

----结束

2.2.3.3 标定

自动 AWB 标定步骤（AWB）

步骤 1 RAW 数据导入部分请参考《图像质量调试工具使用指南》。

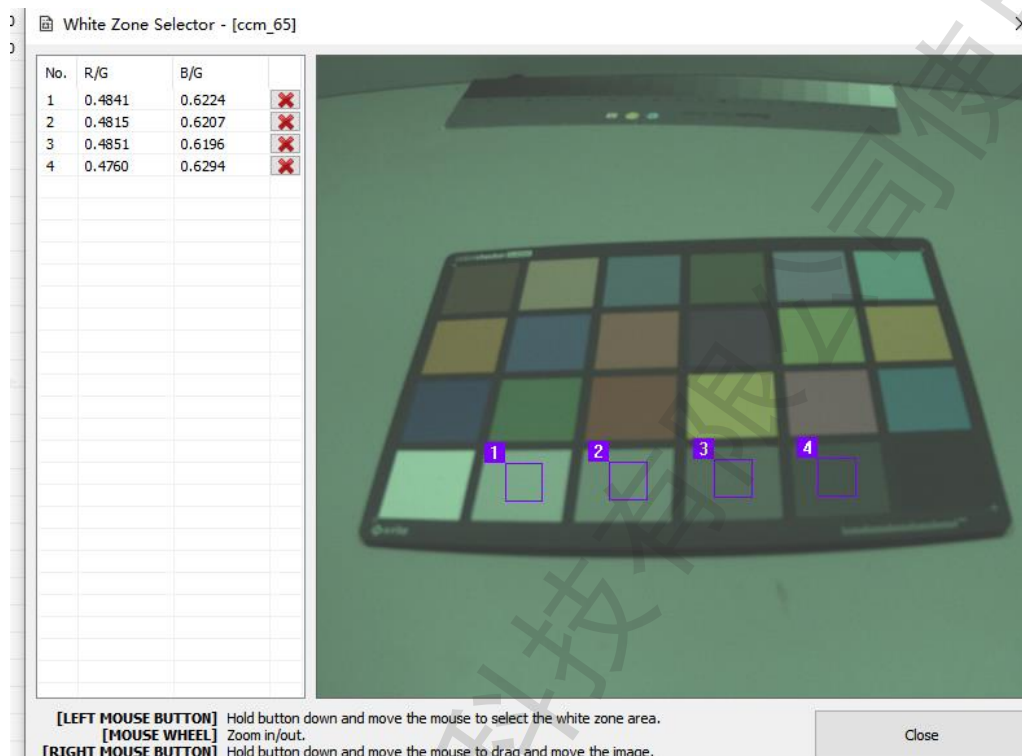
步骤 2 确认 Raw 数据导入配置是否合理。图像亮度合理，色卡颜色正确，说明 Raw 数据位宽和 RGGB 顺序是正确的；打开任意一幅图像，选择色卡的灰阶区域，计算 R/G, B/G 的值，如图 2-4 所示，如果不同灰阶的 R/G, B/G 基本一致，说明黑电平配置正确。

步骤 3 准确配置每幅 Raw 图的色温，计算每幅图灰点的 R/G, B/G 值。对于 24 色卡场景，一般选择 20-22 色块计算 R/G, B/G，如果是实际场景，避免选择过曝，过暗的灰色块参与计算。

步骤 4 选择 3 个 RAW 为关键光源 (KI)，做为标定起始点。推荐选择 A、D50、D75 三个光源为 KI。中间色温的 D50 光源选择非常关键，推荐用 5000K-5500K 之间的自然光源替代，可优化室外 AWB 表现。选择的中间光源色温偏高时，图像偏暖色调，选择的中间光源色温偏低时，图像偏冷色调。

步骤 5 标定工具最多支持 32 组光源参与 AWB 标定。室外应用产品，建议采集傍晚或清晨太阳升起和降落的高色温场景加入标定。

图2-4 验证黑电平配置是否正确



----结束

手动调整 AWB 标定结果

AWB 标定中间光源 KI 色温会影响色调。客户在 6000K 色温采集了室外数据，但希望 AWB 的中间色温在 5200K 附近，以达到色调轻微偏冷的效果。可以按照以下步骤手动计算，避免重复的数据采集（如果能够采集到室外多个色温段的数据，标定结果会更可靠）。

- 步骤 1 利用现有数据进行 Auto AWB 标定，“自动 AWB 标定步骤”。指定 A、10K(也可以是 D75)、6000K 室外数据为 KI 光源进行标定，得到的标定结果如图 2-5 所示。
- 步骤 2 将以上标定结果通过 MPI 接口或者 PQTools 配置到 ISP，关闭 GainNorm 功能。
- 步骤 3 调用 `xmedia_awb_cal_gain_by_temp` 计算 5200K 光源对应的增益。上图中 5200K 对应的增益是[487, 256, 256, 479]。
- 步骤 4 半自动模式，校正得到期望的以 5200K 为中心的 AWB 参数，如图 2-6 所示。

图2-5 Auto AWB 标定

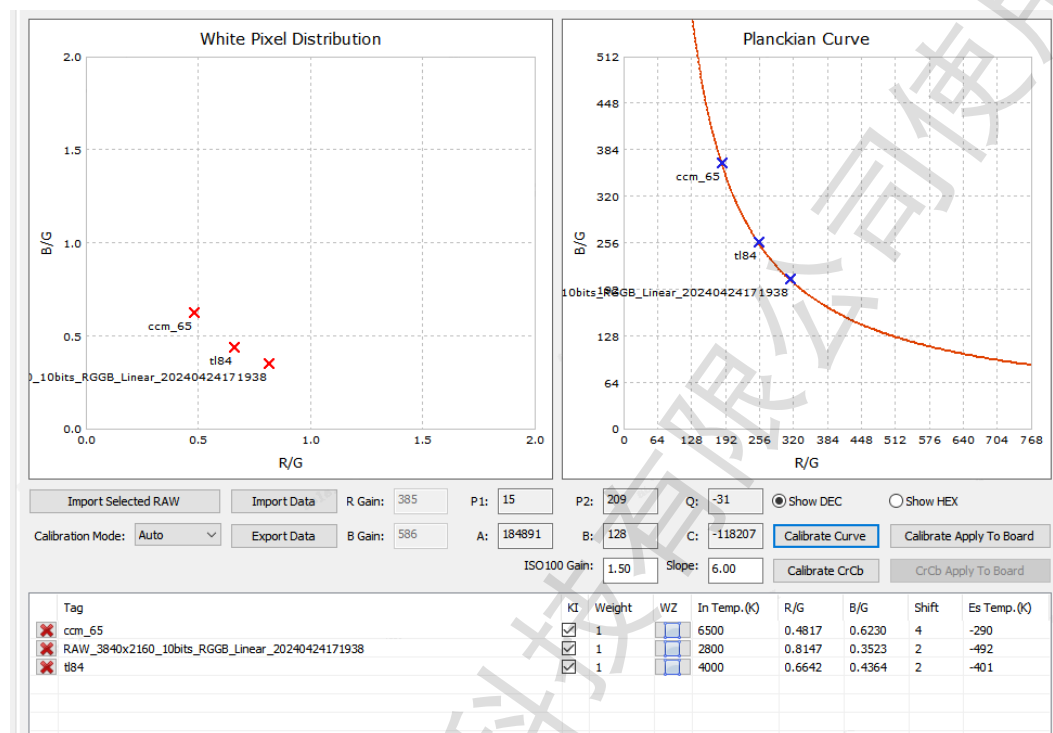
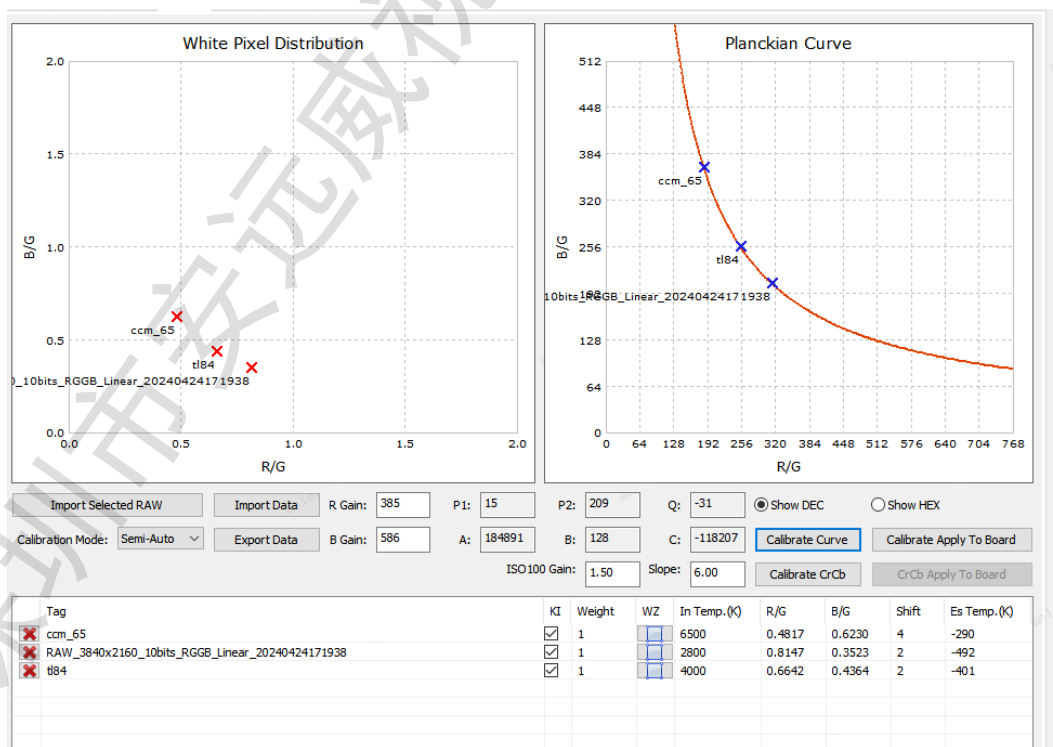


图2-6 Semi-Auto AWB 标定



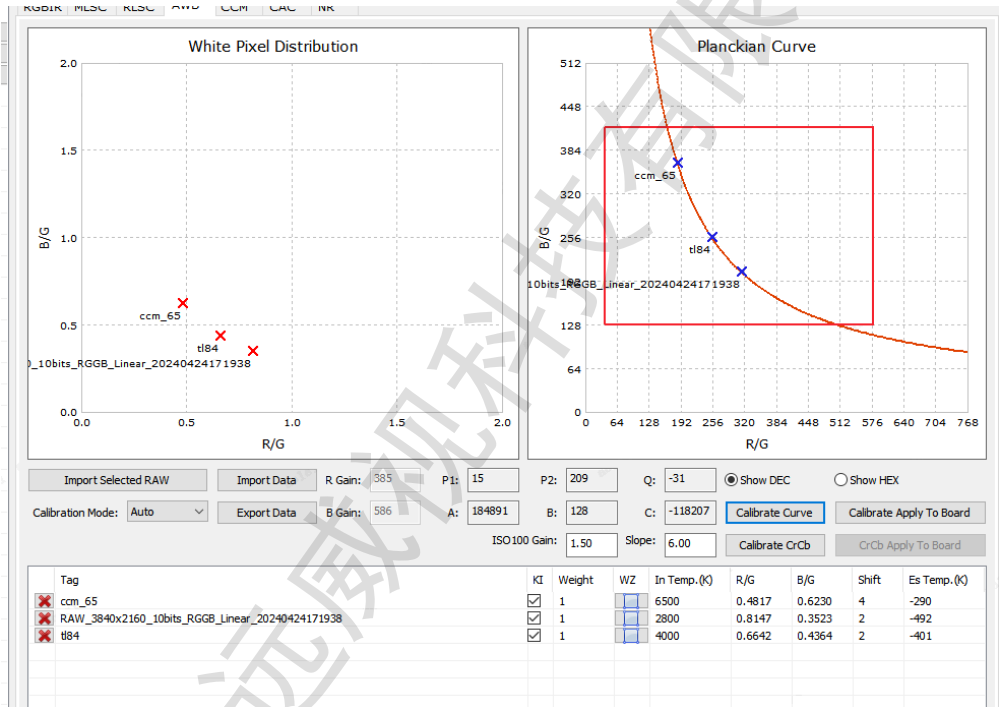
----结束

标定结果的确认(AWB)

标定完成，观察 Planckian Curve，是否光源分布在曲线两侧，是否有光源点距离普朗克曲线较远，估计的色温是否准确。如果某些光源的误差较大，可调整其权重值，再次进行标定。

也可以用 3A 分析工具的 AWB 功能在线验证标定的准确性，多个光源下灰色块都落在 Planckian 曲线的附近，说明标定是可靠的。

图2-7 AWB 标定完成的 Planckian Curve



2.2.3.4 根据标定信息调整统计参数配置

2.2.3.5 借助标定工具，判断灰点色差条件设置是否合理

步骤 1 计算最低色温下灰色块的 R/G, B/G。比如图 2-8 A 光源下 R/G=1.66, B/G=0.47, 8bit 定点化 $R/G=\text{round}(1.66*256)=0x1A9$, $B/G=\text{round}(0.47*256)=0x78$ 。因此，灰点条件 $CrMax \geq 0x1A9$, $CbMin \leq 0x78$ ，才能保证该场景下 WB 统计模块获取到正确的灰点信息。考虑到光源照度的变化带来光谱改变，且低照度下噪声增大，用户应该进一步增大 CrMax 取值，缩小 CbMin 取值。

步骤 2 计算最高色温下灰色块的 R/G, B/G。比如图 2-9 室外高温光源下 R/G=0.41, B/G=1.13, 8bit 定点化 $R/G=\text{round}(0.41*256)=0x69$, $B/G=\text{round}(1.13*256)=0x122$ 。

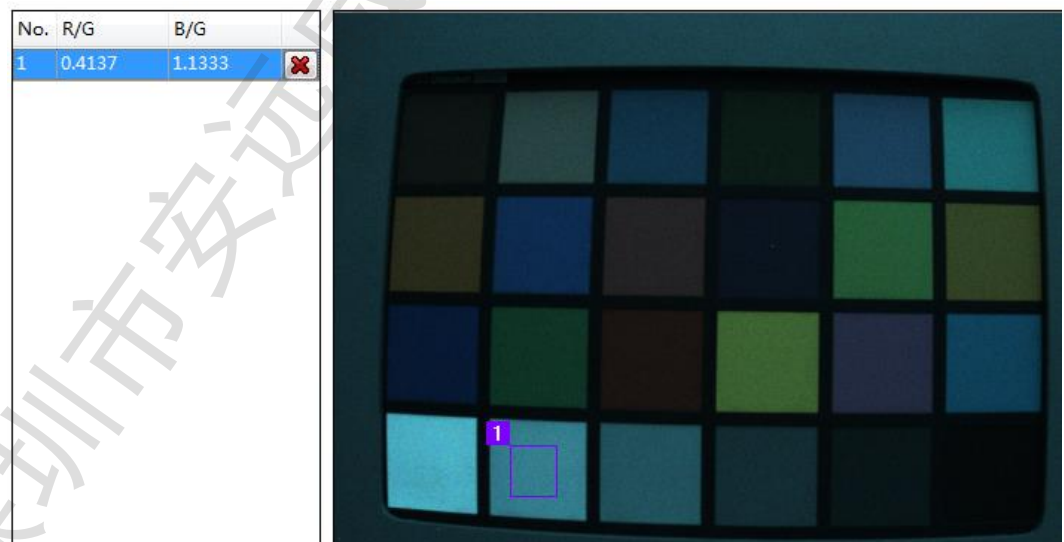
因此，灰点条件 $CrMin \leq 0x69$ ， $CbMax \geq 0x122$ ，才能保证该场景下 WB 统计模块获取到正确的灰点信息。用户应该进一步增大 $CbMax$ 取值，缩小 $CrMin$ 取值。

步骤 3 完成了正常照度下 $CrMax$, $CrMin$, $CbMax$, $CbMin$ 的调整，可以采集不同 ISO 下的 Raw，计算灰点的色差信息，完成自适应表格的调整。

图2-8 低色温下灰点的色差信息



图2-9 高色温下灰点的色差信息



-----结束

2.2.4 AWB FW(AWB)

2.2.4.1 AWB ATTR 参数

AWB Attr 结构体定义了 AWB FW 算法的基本可调节参数，包括色温限制、灰点范围限制条件等。该结构体引用了以下子结构体：

- stCTLimit 参数
- stCbCrTrack 参数
- stLumaHist 参数

表2-5 AWB ATTR 参数

参数	描述	场景说明
enAlgType	白平衡的算法类型属性，支持 AWB_ALG_LOWCOST 和 AWB_ALG_ADVANCE 可选。	LOWCOST CPU 占用较少，对光源的适应性较好。ADVANCE 提升了 AWB 精度。按照标定要求完成标定，推荐采用 ADVANCE，简单标定推荐采用 LOWCOST。
u16ZoneSel	设置 u16ZoneSel=0，AWB 采用灰度世界算法。	该功能主要用来定位问题，不推荐修改。红外灯应用时需要使能 AWB，建议设置 u16ZoneSel=0。
u16Speed	AWB 收敛速度，值越大，AWB 收敛越快。 取值范围：[0x0, 0xFFFF]。	u16Speed 设置为 0xFFFF 时，AWB 增益不参考历史信息。u16Speed 设置为 0 时，AWB Freeze。
u16HighColorTemp	AWB 支持的色温上限，推荐取值：[10000, 15000]。	高色温下出现偏色时，优先调整色温上限。
u16LowColorTemp	AWB 支持的色温下限，推荐取值：[1500, 2500]。	低色温下出现偏色时，优先调整色温下限。色温下限太低时，低色温的机动车道路监控场景容易出现震荡。
stCTLimit	检测色温超出色温范围时，AWB 算法的动作。仅在检测色温超出色温范围时生效。 推荐采用 Auto 模式。	支持 Manual 和 Auto 两种方式。 • Manual 模式下，由用户定义色温超限时 AWB 的增益；

参数	描述	场景说明
		Auto 模式下，根据 AWB 标定参数，确定色温超限时 AWB 的增益。
u8ShiftLimit	以普朗克曲线为中心点， u8ShiftLimit 为半径确定 AWB 支持的光源范围。 推荐取值：[0x30-0x50]。	取值越大，对光源的支持越广，会降低大面积单色场景 AWB 精度。
bGainNormEn	AWB 最终增益是否做归一化。 默认打开	使能后，可提高低照、低色温下的信噪比。
bNaturalCastEn	低色温下 AWB 风格喜好开关。	bNaturalCastEn 使能，低色温下 AWB 保留光源色，图像颜色更自然。
u8RGStrength u8BGStrength	AWB 校正强度。	AWB 校正强度分为以下三种情况。（推荐 u8RGStrength= u8BGStrength，且 $\leq 0x80$ ） - u8RGStrength=0x80 时，白色恢复为白色； - u8RGStrength>0x80 时，白色与光源反向，低色温偏蓝，高色温偏红； - u8RGStrength<0x80 时，白色与光源同向，低色温偏红，高色温偏蓝。颜色表现更符合人眼感观。
stCbCrTrack	不同 ISO 下灰点条件，CrMax, CrMin, CbMax, CbMin 等四组查找表。	推荐用户针对 sensor 调整以上参数，可优化低照度效果。
stLumaHist	亮度权重配置相关参数	Auto 模式下，FW 自动计算亮度分组门限，支持用户配置不同亮度灰点的权重。 Manual 模式下，支持用户配置亮度分组门限和不同亮度灰点的权重。
bAWBZoneWtEn	白平衡的分块权重使能开关，默认 FALSE。	-
au8ZoneWt	白平衡的 1024 分块权重表，取	特定应用产品，客户使能 bAWBZoneWtEn

参数	描述	场景说明
	值范围：[0x0, 0xFF]。	后，可通过设置权重表改变每个区域的权重，优化 AWB 表现。 在 Shading 较严重时，可加大中心区域的权重，保证中间区域 AWB 准确还原，降低 Shading 对 AWB 的影响。 在行车记录仪应用，感兴趣区域一般在画面的中心偏下区域，可加大此区域的权重，降低天空、树木等区域对 AWB 的干扰。

stCTLimit 参数

表2-6 stCTLimit 参数说明

参数	描述	场景说明
bEnable	环境色温超出色温上下限范围时，最终生效的 AWB 增益是否做 Clip 处理。	夜晚，室外道路监控场景的光源在车灯、路灯间切换，打开该功能保证颜色的一致性。
enOpType	环境色温超出色温上下限范围时，Auto 模式下，AWB 增益由色温曲线计算，Manual 模式下，AWB 增益由用户配置。	推荐 Auto 模式。
u16HighRgLimit u16HighBgLimit	Manual 模式下有效。环境色温超出色温上限范围时，用户配置高色温的 R, B 增益。	-
u16LowRgLimit u16LowBgLimit	Manual 模式下有效。环境色温超出色温下限范围时，用户配置低色温的 R, B 增益。	-

stCbCrTrack 参数

表2-7 stCbCrTrack 参数说明

参数	描述	场景说明
bEnable	是否使能灰点条件和 ISO 联动功能	打开该功能，用户可通过 CrMax 等参数配置，

参数	描述	场景说明
		控制低照度下的颜色表现。
au16CrMax[]	低色温下 R/G 和 ISO 的联动数组。 要求为单调递增序列。	最低色温和最高色温进行标定。 相同 ISO 下，通常 CrMax 比 CbMax 稍大， CrMin 和 CbMin 取值基本相同。
au16CrMin[]	高色温下 R/G 和 ISO 的联动数组。 要求为单调递减序列。	
au16CbMax[]	高色温下 B/G 和 ISO 的联动数组。 要求为单调递增序列。	
au16CbMin[]	低色温下 B/G 和 ISO 的联动数组。 要求为单调递减序列。	

stLumaHist 参数

表2-8 stLumaHist 参数说明

参数	描述	场景说明
bEnable	是否使能亮度调整 AWB 权重功能。	建议打开
enOpType	Auto 模式下，AWB 自动完成亮度直方图统计，但支持用户手动配置亮度权重；Manual 模式下，支持用户配置亮度直方图统计的门限和亮度权重。	建议设置为 Auto 模式，用户手动配置亮区、暗区权重，达到亮区优先 or 暗区优先的效果。
au8HistThresh[]	用户设置亮度直方图的门限，仅手动模式有效。 取值范围：要求为单调递增序列，[0x0, 0xFF]。	-
au16HistWt[]	用户设置亮度直方图的权重，自动、手动模式下均有效。8bit 小数精度，取值范围：[0x0, 0xFFFF]。	亮度权重的影响公式： $Rgain = (\sum_{i=0:7} Rgain_i * Wt_i) / \sum_{i=0:7} Wt_i$

2.2.4.2 AWB ATTR_Ex 参数

AWB Attr_Ex 结构体定义了 Advance 算法的可调节参数，包括独立光源点定义、混合光源权重配置等。该结构体引用了以下子结构体：

- stLumaHist 参数
- stInOrOut 参数
- stLightInfo 参数

stLumaHist 参数

表2-9 stLumaHist 参数说明

参数	描述	场景说明
u8Tolerance	帧间相关的容忍度。设置为 0 时，AWB 每 2 帧刷新 AWB 增益；设置为非 0 值时，AWB 仅在检测到场景变化大于容忍值时刷新 AWB 增益。 默认值 0x2。	FW 在判断为室外场景时，自动关闭帧间相关，每 2 帧重新计算 AWB 增益。 u8Tolerance 取值较大时，AWB 稳定性增强，灵敏度降低，光源色温变化时 AWB 不能做出及时调整。 推荐取值范围[0x2, 0x4]。
u8ZoneRadius	分块统计信息分类的半径。 默认值 0x10。	Sensor 不同亮度灰色块感光一致性较差时，可适当放大该参数。WDR 模式下，可适当放大该参数。
u16CurveLLimit	普朗克曲线的左侧边界。 取值范围[0x0, 0x100]。	排除场景中的绿色块。大面积绿色场景偏色时，可以修改 CurveLLimit 来优化。
u16CurveRLimit	普朗克曲线的右侧边界。 取值范围[0x100, 0xFFFF]。	排除场景中的紫色块。如果 sensor 在低照度下的黑电平漂移较严重时，需要修改 u16CurveRLimit 参数来优化。通常不需要修改。
bExtraLightEn	是否使能独立光源点功能	独立光源点功能可优化固定场景的偏色问题。
stLightInfo	独立光源点或干扰色的颜色信息。	用户可通过 PQTools 的 3A 分析工具界面添加光源点或删除干扰色。
stInOrOut	室内外检测参数。	推荐打开室内外检测功能，以优化室外树

参数	描述	场景说明
		木、草地、天空等场景 AWB 表现。用户可通过参数配置达到偏暖或偏冷等颜色风格
bMultiLightSourceEn	混合光源下特殊策略。	使能后，FW 自动检测混合光源程度，调整饱和度或 CCM，从而改善偏色。
enMultiLSType	混合光源调整策略选择，支持调整饱和度或 CCM。	选择饱和度策略，整幅图像的饱和度降低；选择 CCM 策略，绿色的饱和度影响微弱，红色、蓝色的色调会有改变。
u16MultiLSScaler	混合光源下，饱和度或 CCM 最大调整幅度。实际调整幅度还和场景混合光源程度有关。 取值范围为[0x0, 0x100]。	-
au16MultiCTBin[]	混合光源下的色温分段参数。 取值范围[0x0, 0xFFFF]。 要求为单调递增序列。	推荐值：[2300, 2800, 3500, 4800, 5500, 6300, 7000, 8500]
au16MultiCTWt[]	混合光源下的色温权重参数。 取值范围为[0x0, 0x400]。	推荐值：[0x20, 0x40, 0x100, 0x200, 0x200, 0x100, 0x40, 0x20]。 4800K-5500K 色温权重高，低色温、高色温权重降低，混合光源下颜色表现更自然。
bFineTunEn	肤色检测等特殊处理。	仅在室内模式打开，室外模式自动关闭。

stInOrOut 参数

表2-10 stInOrOut 参数说明

参数	描述	场景说明
bEnable	室内外模式判决开关。	AWB 根据曝光信息判断当前场景是室内或室外。
enOpType	自动或手动判决模式。	手动模式下，用户输入室内外状态；自动模式下，FW 根据环境亮度和亮度门限值，判断当前是室内

参数	描述	场景说明
		或室外
bOutdoorStatus	室内外模式判决结果，1 表示室外，0 表示室内。	-
u32OutThresh	室内外场景判定设置的亮度门限阈值，以单位为 us 的曝光时间，小于该阈值则认为是室外。	非 AE 库的应用，请将曝光信息传递给 AWB 库。 用户需要根据设备的感光强度、产品形态调整亮度门限。DV 等产品建议调大该门限值，IPC 建议调小该门限值。
u16LowStop	自然光源色温起点的扩展，建议 4500K。	判断为室外模式后，[u16LowStart, u16HighStart] 色温范围内的灰色块权重最大，[u16LowStop, u16LowStart]和[u16HighStart, u16HighStop]两个色温区间是过渡带，保证平滑过渡。 四个色温门限值都增大，图像偏暖色；四个色温门限值都减小，图像偏冷色。
u16LowStart	自然光源色温范围的起点，建议 5000K。	
u16HighStart	自然光源色温范围的终点，建议 6500K。	
u16HighStop	自然光源色温终点的扩展，建议 7500K。	
bGreenEnhanceEn	在绿色植物场景下是否对绿色通道增强。	仅在大面积灰绿色草地等场景才有效，其他场景无效。

stLightInfo 参数

表2-11 stLightInfo 参数说明

参数	描述	场景说明
u16WhiteRgain	增加或删除区域的中心 Cr 坐标。 取值范围[0x0, 0xFFFF]，8bit 精度。	可通过 PQTools 的 3A 分析工具配置这两个参数。
u16WhiteBgain	增加或删除区域的中心 Cb 坐标。 取值范围[0x0, 0xFFFF]，8bit 精度。	
u16ExpQuant	对外界环境亮度做判断，暂不支持，不需要配置。	-

参数	描述	场景说明
u8LightStatus	光源点状态。 0: 不使能; 1: 增加光源点; 2: 删除干扰色;	当前版本要求光源点在 Shift 限制范围内, 才能增加或删除。
u8Radius	增加或删除区域的半径。取值范围: [0x0, 0xFF]。	尽量避免[u16WhiteRgain、u16WhiteBgain]为中心, u8 Radius 为半径的圆形区域与 Plankcian 曲线重合, 避免光源点重合。

2.2.5 问题定位

2.2.6 Raw 数据分析(AWB)

局部偏色问题首先要分析 Raw 数据, 确认是采集端引入还是后续算法处理引入。推荐灌 Raw 数据到 ISP 单板, 操作 PQTools 定位问题原因。

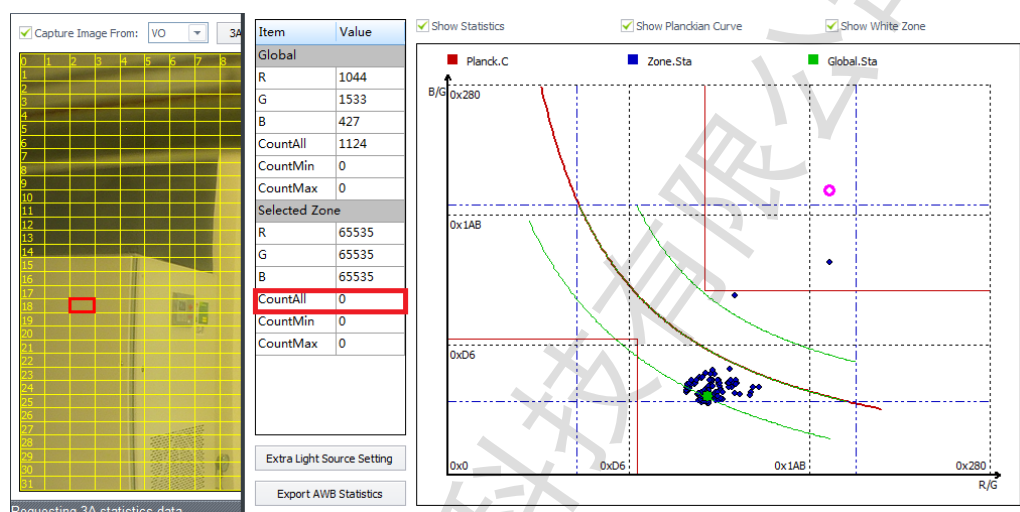
- 步骤 1 确认黑电平、bayer 格式顺序正确、是否有红外光漏光。
- 步骤 2 Bypass 或 Disable CCM、Gamma、clut 等影响颜色的模块, 将 AWB 问题和其他模块问题分开。
- 步骤 3 打开 3A 分析工具, 手动配置白平衡系数。选择左图中的灰色块, 右键选择 Apply Result to Global, 当前灰色块期望的 AWB 增益生效。
- 步骤 4 观察图像中灰色区域颜色是否正常。示例图像仅做了 Manual AWB, 已经出现了局部区域偏粉, 说明 Raw 数据有问题, 请向前端追溯。
- 步骤 5 如果以上步骤确认 Raw 数据是正常的, 那么需要检查 Gamma 曲线是否合理。可以在板端配置 Manual AWB, 仅使能 BLC、AWB、Demosaic 和 Gamma 几个模块, 开关 Gamma 对比偏色问题。
- 步骤 6 局部偏色问题, 还要确认是否混合光源场景。可以用 3A 分析工具分别选不同的区域手动计算白平衡系数, 如果不同区域期望的白平衡增益差异大, 说明是混合光源场景。只能通过降低饱和度或者色温权重调整等方式优化颜色表现。

----结束

2.2.7 3A 分析工具看白色区域是否合理

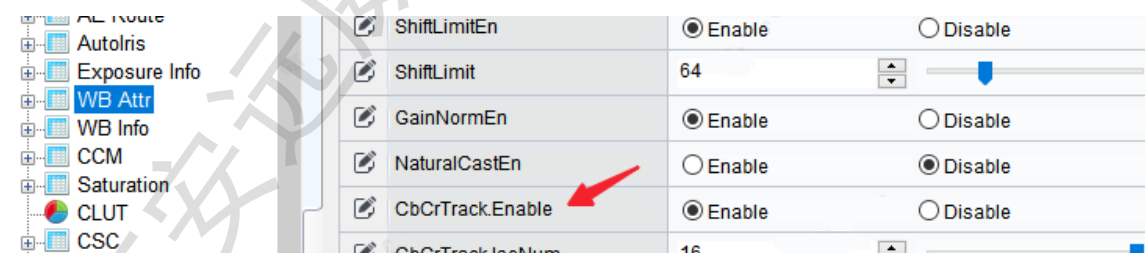
步骤 1 从统计结果确认统计参数配置是否合理。选择白色块，正常情况 CountAll 应接近 0xFFFF。下图中的 CountAll 为 0，说明统计模块未找到灰点。

图2-10 统计结果确认



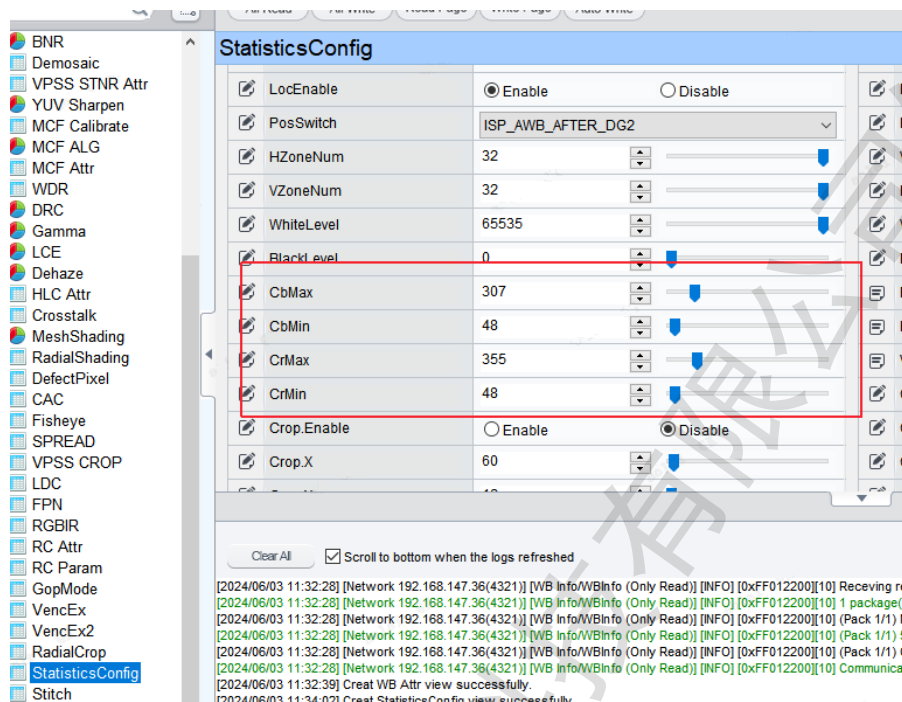
步骤 2 关闭 CrMax 等灰点条件自适应功能。

图2-11 关闭统计参数自动调整功能



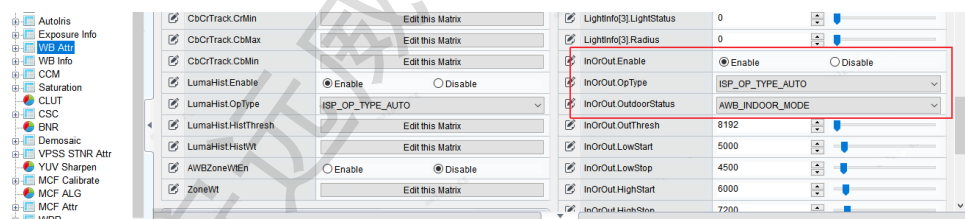
步骤 3 调整灰点配置参数，调试原则是：上限调大，下限调小，到 3A 分析工具显示的统计结果，CountAll 接近 0xFFFF 为止。确认是哪个参数引入问题后，WhiteLevel 和 BlackLevel 修改默认参数，Cr 等需要调整数组。

图2-12 手动配置统计参数



步骤 4 统计模块 OK 后，确认室内外检测是否正确，如果室内外检测错误，先用 Manual 的方式配置正确的室内外模式。

图2-13 检查室内外配置参数



步骤 5 确认检测色温有没有超出色温的上下限。将色温的上限调大，下限调小，观察问题是否有改善。

步骤 6 确认灰色块有没有在白色区域范围内。

影响白色区域范围的参数有：u16HighColorTemp、u16LowColorTemp、u8ShiftLimit、u16CurveLLimit、u16CurveRLimit。观察是否有参数将灰色块排除在白色区域范围外。如图 2-14 可以看到灰色块落在 u8ShiftLimit 参数外，调大 u8ShiftLimit 参数可解决问题如图 2-15。

图2-14 Shift 参数调整前效果

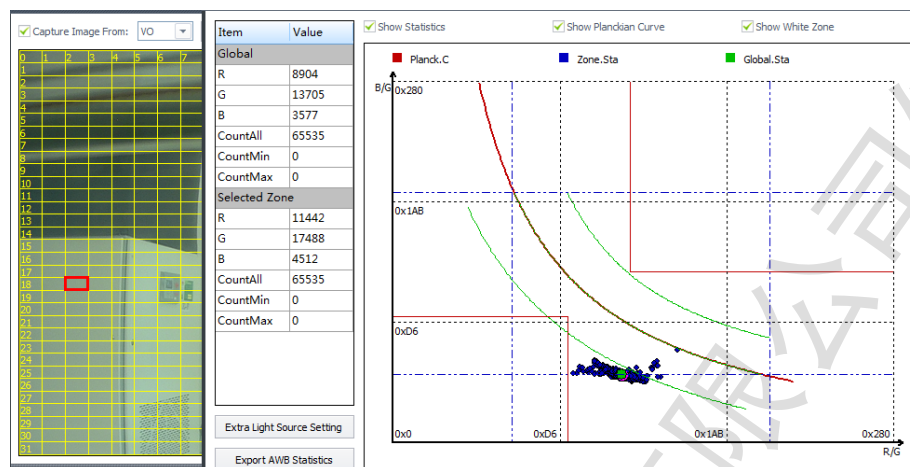
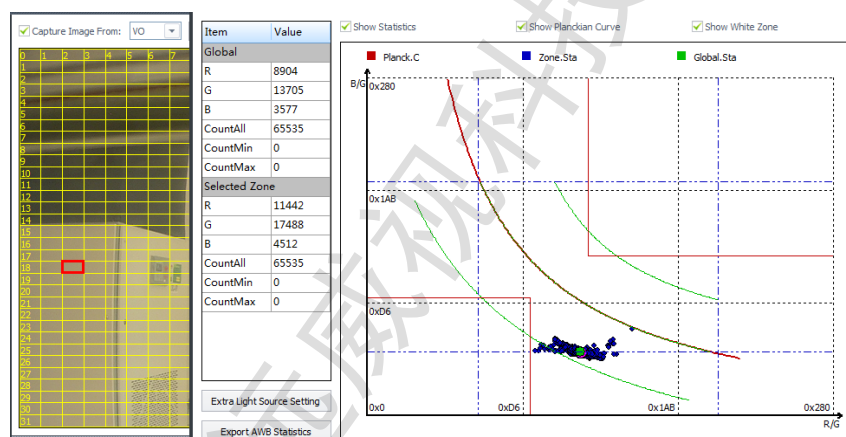


图2-15 Shift 参数调整后效果



步骤 7 场景内有多个光源点时，需要排除肤色检测模块对算法的影响。

步骤 8 仍然不能确定偏色原因时，将算法由 Advance 设置为 LowCost，看能否解决；若不能解决，将 Attr 的 ZoneSel 设置为 0，看能否解决；若还不能解决，就需要从滤光片、黑电平模块系统分析。

-----结束

2.3 CCM 调试

2.3.1 CCM 模块工作原理

sensor 对光谱的响应，在 RGB 各分量上与人眼对光谱的响应通常是有偏差的，通常通过一个色彩校正矩阵校正光谱响应的交叉效应和响应强度，使前端捕获的图片与人眼视觉在色彩上保持一致。

CCM 标定工具支持对 24 色卡进行 3x3 Color Correction Matrix 的预校正。支持至少三组，最多七组不同色温的 CCM，在 ISP 运行时，FW 根据当前的光照强度即 ISO，调整饱和度系数。动态色温校正系数（基于标定的多组 CCM 插值）与饱和度调整系数一起，实现 CCM（Color Correction Matrix）矩阵系数的动态调整。CCM 矩阵如图 2-16 所示。

图2-16 CCM 矩阵

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{RR} & m_{RG} & m_{RB} \\ m_{GR} & m_{GG} & m_{GB} \\ m_{BR} & m_{BG} & m_{BB} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

2.3.2 CCM 标定参数说明

CCM 标定的原理是，使用 sensor 抓拍到的 24 色卡场景下前 18 个色块的实际颜色信息和其期望值，计算 3x3 的 CCM 矩阵。输入颜色经 CCM 矩阵处理得到的颜色与其期望值差距越小，则 CCM 矩阵就越理想。

表2-12 CCM 标定参数

参数	描述	场景说明
ColorTemp	当前配置的 CCM 对应的色温。 取值范围：[500, 30000]	-
16CCM [CCM_MATRIX_SIZE]	不同色温下的颜色校正矩阵，8bit 小数精度。bit 15 是符号位，0 表示正数，1	支持最大七个最小三个不同色温下的色彩还原矩阵，要按照色温递减的方式配置

参数	描述	场景说明
	表示负数，例如 0x8010 表示-16。 取值范围： [0x0,0xFFFF]。	CCM。典型的三组 CCM 为 D50, TL84, A 三个光源下的 CCM。典型的五组 CCM 为 10K, D65, D50, TL84, A 五个光源下的 CCM。前一组的色温值与后一组的色温值需符合如下规则： $T_{pre} * (15/16) > T_{post} * (17/16)$ 。最终 ISP 将根据实际色温，将颜色校正矩阵通过插值的方法得到实际的颜色校正矩阵。

2.3.3 RAW 数据采集

2.3.3.1 标定光源选择

- D50 人工光源或 5000K-5500K 之间的自然光源
- TL84 光源
- A 光源

2.3.3.2 采集步骤

步骤 1 采集设备准备：标准 X-Rite 24 色卡，照度为 600Lux 均匀光源（左右两侧双光源，光源与色卡平面的夹角在 25°- 45°），设备。

步骤 2 调整 AE 目标亮度，最亮灰阶(Block 19)的 G 分量亮度在饱和值的 0.8 倍左右（以 12bit RAW 数据为例，G 分量数值在 0xC00-0xD80 之间）。

步骤 3 采集中性灰 RAW 图像，检查设备的镜头阴影程度。Shading 较严重时，需要先标定 Shading 系数，24 色卡图像需要先进行 Shading 校正后，再进行 CCM 标定。

----结束

2.3.4 标定

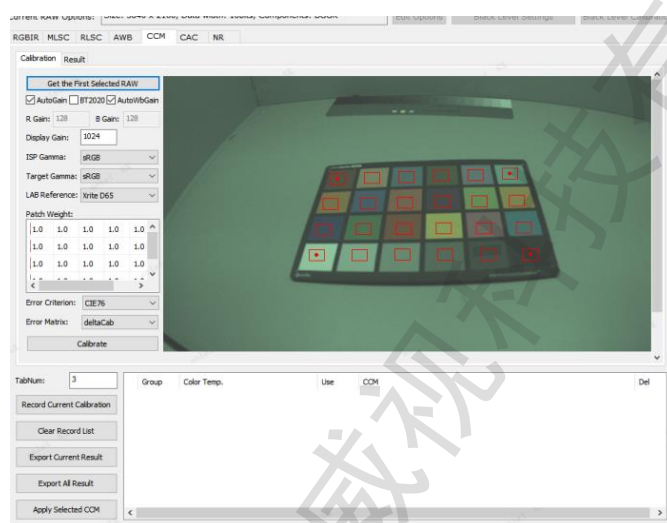
2.3.4.1 标定步骤

步骤 1 RAW 数据导入部分请参考《图像质量调试工具使用指南》。

步骤 2 选取 24 色区域。

拖动四角色块中央的红色手柄，即可改变 24 色框的排布，将 24 个方框对准 RAW 图像的 24 色区域即可。如图 2-17 所示。

图2-17 24 色选框



步骤 3 配置标定参数（GAMMA，参考 LAB，色块权重，差异标准）。

- 设置 ISP GAMMA：在 ISP Gamma 的下拉框中选择需要的 Gamma 预设值，也支持用户自定义 ISP 当前生效的 Gamma 表。

注意：当用户自定义 ISP Gamma 值时，需注意匹配相对应的 LAB 参考值，防止由于 ISP Gamma 和 LAB Reference 不匹配，导致作为线性变化的 AWB 和 CCM 共同作用无法达到目标图片的效果。

- 设置显示 GAMMA：在 Display Gamma 的下拉框中选择需要的 Gamma 预设值。
- 设置 LAB 参考值：在 LAB Reference 的下拉框中选择需要的 LAB 预设值，也支持自定义。

注意：当用户自定义 LAB 值时，需注意匹配相对应的 ISP Gamma，防止由于 ISP Gamma 和 LAB Reference 不匹配，导致作为线性变化的 AWB 和 CCM 共同作用无法达到目标图片的效果。

- 设置色块权重：在 6x4 的表格中配置色块的权重。色块的位置与表格中的位置对应。取值范围为 0.0 到 16.0 的浮点数，保留一位小数。
- 选择差异标准：选择差异衡量的标准（支持 CIE76、CIE94 和 CIE2000）以及差异矩阵（Delta C*ab 与 Delta E*ab）。推荐使用“CIE76 Delta E*ab”和“CIE2000 Delta C*ab”两种组合进行标定。
- 选择是否 autoGain。
 - 当选择 autoGain 时，会对 RAW 的值和目标值做亮度补偿。默认是勾选。在采集 RAW 的时候，通过控制曝光，使采集到的 RAW 数据在 Gamma 后接近目标图片的亮度。autoGain 的作用是使用数字增益让 RAW 数据达到亮度最佳，减少采集 RAW 的难度。
 - 不选择 autoGain 时，用户可以通过完全控制 RAW 数据的亮度来得到不同的 CCM 的参数。
- 选择是否 BT.2020。
 - 当选择 BT.2020 时，ISP 的输出符合 BT.2020 的标准。ISP Gamma 可以是用户自定义的 Gamma。显示 GAMMA，LAB 参考值，这两项和目标图片保持一致。当目标图片为 sRGB 标准时，设置显示 GAMMA 为 sRGB。当目标图片为 BT.2020 标准时，设置显示 GAMMA 为 Rec709。
 - 不选择 BT.2020 时，ISP 的输出符合 sRGB 的标准。

步骤 4 点击“Calibrate”按钮进行标定，获得结果 CCM。在 Result 页面进行手动色调/饱和度调整，直到获取的 CCM 满足要求。

----结束

2.3.4.2 手动调整 CCM 标定结果

如果查看校正后的图像发现效果不理想，还可以进行手动调整。在“Result”页面调整色调（Hue Corr）和饱和度（Sat Corr）修正值，并点击“Manual Adjust”，可以重新计算 CCM 并进行图像校正。重复上述操作，直到获得满意图像即可。

2.3.5 手动修改 CCM

颜色校正矩阵的公式如下：

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

为了保证白平衡不受破坏，参数必须满足条件：

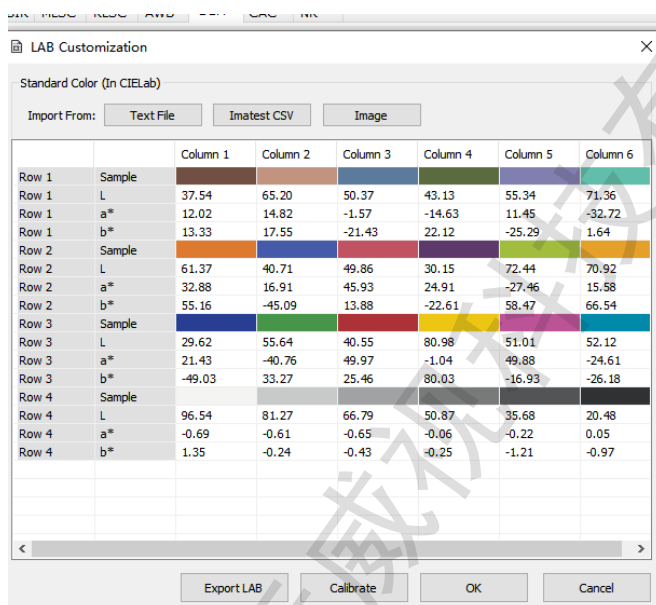
$$a_{i0} + a_{i1} + a_{i2} = 1$$

R'中主要应该还是 R 分量的部分居多，因此必须满足条件：

$$a_{ii} \geq 1$$

在满足以上条件的情况下，就可以微调颜色校正矩阵而不致产生破坏性影响。

图2-18 24 色卡标准值



		Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6
Row 1	Sample						
Row 1	L	37.54	65.20	50.37	43.13	55.34	71.36
Row 1	a*	12.02	14.82	-1.57	-14.63	11.45	-32.72
Row 1	b*	13.33	17.55	-21.43	22.12	-25.29	1.64
Row 2	Sample						
Row 2	L	61.37	40.71	49.86	30.15	72.44	70.92
Row 2	a*	32.88	16.91	45.93	24.91	-27.46	15.58
Row 2	b*	55.16	-45.09	13.88	-22.61	58.47	66.54
Row 3	Sample						
Row 3	L	29.62	55.64	40.55	80.98	51.01	52.12
Row 3	a*	21.43	-40.76	49.97	-1.04	49.88	-24.61
Row 3	b*	-49.03	33.27	25.46	80.03	-16.93	-26.18
Row 4	Sample						
Row 4	L	96.54	81.27	66.79	50.87	35.68	20.48
Row 4	a*	-0.69	-0.61	-0.65	-0.06	-0.22	0.05
Row 4	b*	1.35	-0.24	-0.43	-0.25	-1.21	-0.97

这时需要对比公式来调节参数。例如：

如果对比发现的红色块的 B 分量偏大，导致红色块偏水红色，那么根据公式 $B' = a_{20}R + a_{21}G + a_{22}B$ ，且 a_{20} , a_{21} , a_{22} 的正负性分别为负，负，正，**当前水红色的 R, G, B 值的大小顺序为 R>B>G**，且已知目标标准是(175,54,60)，而且 $a_{20} + a_{21} + a_{22} = 256$ ，因此可以通过三种方式来实现 B'减小的目的：

- 增大 a_{20} 的绝对值，同时等量减小 a_{21} 的绝对值；
- 增大 a_{21} 的绝对值，同时等量增大 a_{22} 的绝对值；
- 增大 a_{20} 的绝对值，同时等量增大 a_{22} 的绝对值。

通过这种方式，减小最终红色块的 B'分量的值，从而将水红色的红色块校正回来。**注意：在修改红色块的 B 分量时，由于其他颜色的 RGB 大小顺序可能和红色块的冲突会导致其他色块的最终结果受到影响，所以要注意兼顾其他颜色，尤**

其是绿色块，肤色块，防止由于修改 CCM 矩阵带来的其他典型色块的偏色问题。

对于深肤色和浅肤色这种三个颜色分量的值都差不多的色块，不是特别好单独调节。建议还是将红、绿、蓝这三个单色块的颜色校准确，其他颜色才会准确，因为其他颜色都是这三种颜色的混合色。

由于参与 CCM 标定的样本的影响，CCM 的标定结果可能接近最佳而不是最佳。对 CCM 标定的结果进行手动调节，可以参考下面的几种做法。

- CCM 主对角线以外元素均为负值会较好。如果 a_{02} 为正数，会导致饱和度高的红色偏紫，如果 a_{20} 为正数，会导致饱和度高的蓝色偏紫。如果遇到这类偏紫的问题时，可以考虑手动将 a_{02} 或 a_{20} 从接近 0 的正数改为比较小的负数。
- a_{10} 为负值时， a_{10} 绝对值越大，CCM 后红色的 G 通道值越小，红色的饱和度越高； a_{12} 为负值时， a_{12} 绝对值越大，CCM 后蓝色的 G 通道值越小，蓝色的饱和度越高。如果遇到红色或蓝色的饱和度过高的问题时，可以考虑减小 a_{10} 或 a_{12} 的绝对值。

2.3.6 WDR 模式下标定 CCM

对于 WDR 模式，因为 CCM 容易受到 DRC 的影响，容易造成颜色难以矫正。所以对于 WDR 模式来说，调整颜色需注意以下三点：

- 在标准光源下（一般是三组光源，分别是 D50，TL84，A 光源）拍标准 24 色卡，曝光比手动最大，同时也要调整亮度值，避免长帧过曝，采集长帧的 RAW 数据进行 CCM 的标定。标定过程中可以适当的降低饱和度，不能选择开启 autoGain 功能。
- 适当减少 DRC 曲线对图像亮度的大幅度提升，这样 DRC 对颜色的改变会较弱。此时，图像的亮度会有所降低达不到想要的亮度，这时，可以用 gamma 对亮度进行适当的提升。这样联调 DRC 和 gamma 模块，可以让整体的颜色调节更准确一些。
- 对于 WDR 模式，因为大多场景是混合光源场景，容易出现亮处颜色偏色，人脸颜色偏红等问题，除了可以降低饱和度值以外，还可以使用 CA 模块对这些区域适当的降低饱和度。

色卡做标定的要点如下：

- 光源均匀照射色卡，在色卡表面不能有阴影或者光源的变化。
- 色卡的色块 RGB 值不能发生 clip。
- 灰块的亮度必须在 70-95 IRE 范围内。

- 需要知道目标图片的 gamma 曲线。
- 采集的 raw 需要在符合黑体辐射的光源下，所以最好是在阳光下。
- 拍摄的 raw 不能有混合色温，如果色卡的色温和背景的色温差别很大，那么不用关心标定后的背景的颜色表现。

对于 CCM 标定结果的影响因素：

- 源 gamma
- 目标 gamma
- 目标色彩空间：srgb, 2020
- 源和目标图片的白平衡
- 源的亮度增益 ispdgain

源 gamma 和目标 gamma 很重要，因为颜色的达到主要是依赖 CCM 和 gamma 共同作用达到。通俗的理解 CCM 更多的是起到微调颜色方向的作用，而 gamma 才是颜色调节到位的主力。根本原因是端到端系统对于 ISP 的要求。显示设备会对 ISP 传来的数据按照协议做 Degamma 的运算，还原出线性 RGB 数据，然后再做处理后显示在屏上。在 HDR 时代，这样的遵守协议的要求就更高了。源 gamma 和目标 gamma 的不匹配会直接造成颜色的误差。

源和目标图片的白平衡很重要，是因为标杆的颜色风格的一个决定性因素是标杆的 AWB 的增益。AWB 可以偏向光源色，也可以完全还原到 D65 光源。

源的亮度增益 ispdgain 很重要，因为 CCM 的 3x3 矩阵的求解需要尽可能的让矩阵不包括亮度调节的成分。过亮或者是过暗的 RAW 标定出的 CCM 的饱和度特性就和亮度合适的不同。过亮的 RAW 标定出的 CCM 会偏向饱和度低，过暗的 RAW 标定出的 CCM 会偏向饱和度高。

上面 5 点因素主要影响 CCM 标定结果，不是说必须将某个因素调节到某个点就不能变化。更重要的是，需要用改变输入变量的方法来控制或者引导 CCM 最优解的求解，以达到想要的结果。

3 高级调色方案

3.1 高级调色方案概述

当完成基础调色方案相关的模块调节后，再进行高级调色方案相关的模块调节。在大部分颜色都满足需求的基础上，可以对于系统的颜色进行一个更加精细和个性化的调节。本章介绍与高级调色方案相关的 CLUT 等模块。

3.1.1 典型应用模式

3.1.1.1 普通模式

普通模式下系统的颜色调节相对简单。

- 系统的颜色主要由 AWB+CCM+GAMMA 达到。

3.1.1.2 喜好色增强模式

喜好色增强模式下系统的颜色调节策略：

- CCM 的调节目标侧重于兼顾所有颜色，即让各种颜色的误差都相当，不偏向于某种颜色。
- CLUT 在 CCM 调试稳定的基础上，针对喜好色做特定的增强，或者针对 CCM 不满足需求的颜色做单独调节。

3.1.1.3 色彩风格复制模式

色彩风格复制模式下系统的颜色调节策略：

- 系统的曝光策略接近目标设备。
- GAMMA 通过使用灰阶卡，灰阶标定的方式接近目标。

- CCM 的调节目标侧重于达到目标设备拍摄的色卡的颜色。
- CLUT 在 CCM 调试基本接近目标设备的基础上，针对 CCM 后仍有误差的颜色做补充调节。

3.2 3DLUT 调试

3.2.1 3DLUT 说明

CLUT 是一个改变线性 RGB 值的模块，这个模块把用户的颜色调节需求，转化为源和目标 RGB 对的数据映射关系。转换映射关系是在 HSL 中色相 (H) 和饱和度 (S) 来使得图像颜色向用户需求方向修改。

RGB 值转 HSL 计算公式：

$$R' = R/255$$

$$G' = G/255$$

$$B' = B/255$$

$$C_{max} = \max(R', G', B')$$

$$C_{min} = \min(R', G', B')$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min}$$

色相计算：

$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \right), R' \geq G' \geq B' \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} + 6 \right), R' > B' > G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), C_{max} = B' \end{cases}$$

饱和度计算：

$$L = (C_{max} + C_{min})/2$$

$$S = \begin{cases} S = \frac{(C_{max} - C_{min})}{(C_{max} + C_{min})}, L < 0.5 \\ S = \frac{(C_{max} - C_{min})}{(2 - C_{max} - C_{min})}, L > 0.5 \end{cases}$$

clut 将色相按精度为 15° 划分了 24 个色相角度，饱和度分为 0, 0.5, 1.0 三个饱和度，当需要修改指定颜色时候，我们导入图片选择需要修改的颜色，会自动识别相关

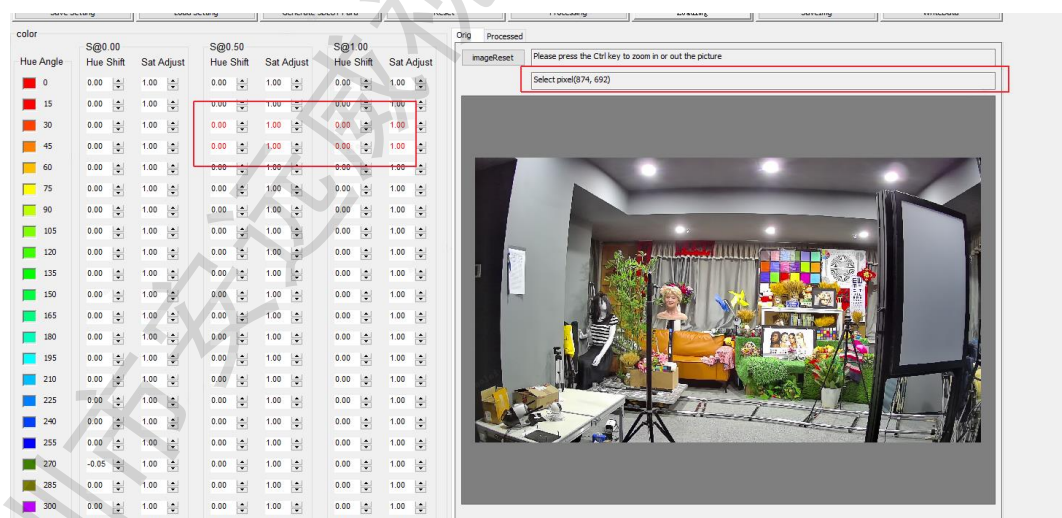
的饱和度和色相区间，修改对应的相邻最近的两个或一个色相角度的偏移值，既可以
对颜色色相修改，同理饱和度也是修改相邻最近的两个或一个饱和度偏移值，既可以
对饱和度进行修改。

色相环

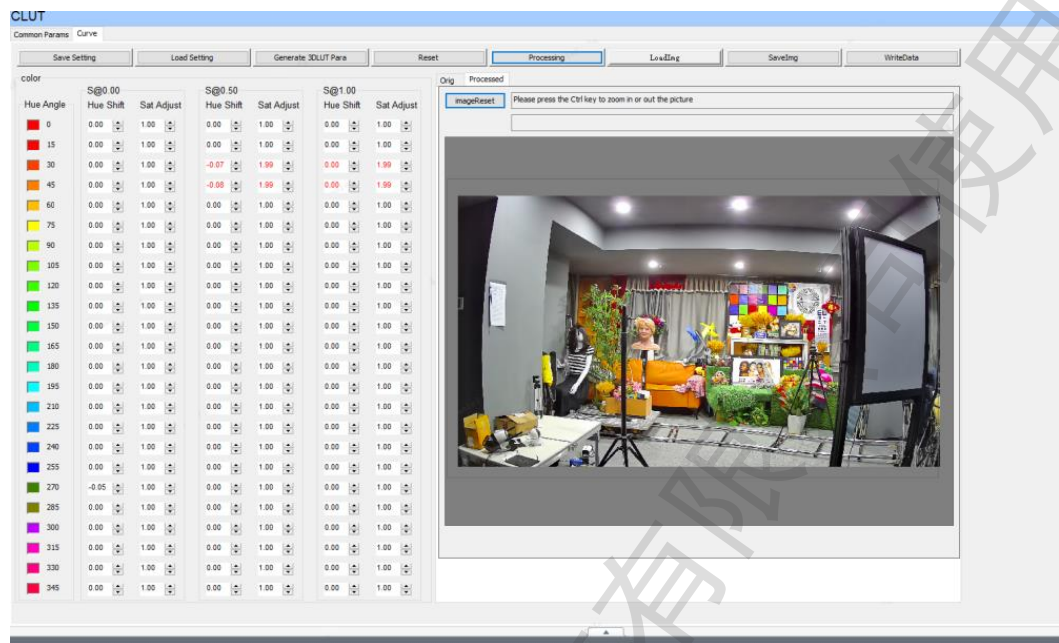


3.2.2 调试步骤

第一步：导入图片，左键选择需要修改的颜色区域，确定原始图像的色调角度和饱和
度，会在左侧出现红色部分参数为相邻的色调角度和饱和度,修改红色标注的值即可对
色相和饱和度进行修改(如同选中沙发部分)。



第二步：从 0 开始增加或减少红色部分 Hue Shift，可修改颜色的偏向，修改红色饱和
度的 Sat Adjust,可以修改饱和度，点击 processing ,可以通过处理后的图片查看仿真后
的效果与目标图像的效果对比，确定最后效果是否满足要求，之后在 WriteDate 下
发板端查看实际效果（如图，修改饱和度和色相，沙发向红色接近，饱和度提高）在
实际调试可以通过色相和饱和度公式或者工具获取具体颜色的色相和饱和度值，来
确定红色部分色相中哪个影响更明显和目标颜色的色相和饱和度值，从而增加调试的
精度。



第三步：当最终结果满意之后保存 lut 表。