ICS 35.xxx
CCS Lxx

团　　体　　标　　准

T/ISC XXX—XXXX

虚拟现实与混合现实眼镜视频透视性能测试方法

Test methods for video see-through performance of

virtual reality and mixed reality glasses

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利与支持性文件一并附上。

（征求意见稿）

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中 国 互 联 网 协 会　　发布

目　次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

3.1 视频透视 video see-through 1

3.2 眼点 eye point 1

3.3 瞳距 inter-pupillary distance 2

3.4 光子到光子延迟 photon-to-photon latency 2

3.5 缩放 scaling 2

3.6 位移 shift 2

3.7 旋转 rotation 2

3.8 静态畸变 static distortion 2

3.9 动态畸变 motion distortion 2

3.10 双目合像精度 binocular fusion accuracy 2

3.11 双目立体深度 binocular stereo depth 2

3.12 视场角 field of view 2

3.13 帧重复率 frame repetition rate 2

3.14 虚实静态抖动 mixed reality jitter 2

3.15 虚实动态漂移 mixed reality drift 3

3.16 清晰度 sharpness 3

3.17 色彩 colour 3

3.18 动态范围 dynamic range 3

3.19 运动模糊 motion blur 3

4 缩略语 3

5 测试条件与测量装置测试条件 3

5.1 测试环境 3

5.1.1 预热稳定 4
5.2 测试安装 4
5.3 光学测量装置 4
6 视频透视测试方法 5
6.1 时间延迟性能测试 5
6.2 空间还原性能测试 6
6.2.1 位移 7
6.2.2 缩放 7
6.2.3 旋转 8
6.2.4 静态 TV 畸变 8
6.2.5 静态梯形畸变 9
6.2.6 动态畸变 9
6.2.7 视场角 9
6.2.8 双目合像精度 10
6.2.9 双目立体深度 11
6.3 虚实融合度测试 12
6.3.1 帧重复率 13
6.3.2 虚实静态抖动 13
6.3.3 虚实动态漂移 13
6.4 视频透视画质测试设备和方法 14
6.4.1 清晰度 14
6.4.2 色彩 15
6.4.3 动态范围 16
6.4.4 运动模糊 16
附 录 A（资料性附录） 18
测试图卡 18

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这些专利的责任。

本文件由虚拟现实与元宇宙产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国信息通信研究院、甬江实验室、万有引力（宁波）电子科技、OPPO广东移动通信有限公司、中移（杭州）信息技术有限公司、南京睿悦信息技术有限公司、北京紫光展锐通信技术有限公司、北京微视威信息科技有限公司、杭州源现科技有限公司。

本文件主要起草人：

目　　次

前言 5

引言 6

1 范围 ..... **错误！未定义书签。**

2 规范性引用文件 ..... **错误！未定义书签。**

3 术语和定义 ..... **错误！未定义书签。**

4 符号和缩略语 ..... **错误！未定义书签。**

5 ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

5.1 ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

附录A （规范性） ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

A.1 ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

A.1.1 ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

附　录　B （资料性） ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

B.1 ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

B.1.1 ＸＸＸＸ ..... **错误！未定义书签。**

参考文献 ..... **错误！未定义书签。**

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。

本文件是T/CIITA x《……》第i部分。T/CIITA x已经发布了以下部分：

——第1部分：……；

——……；

——第n部分：……。

本文件替代T/CIITA x.i《……》，与T/CIITA x.i相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a)

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。

本文件由中国互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

——

引　　言

虚拟现实与混合现实眼镜视频透视性能测试方法

1 范围

本文件规定了虚拟现实与混合现实眼镜视频透视性能测试的测试条件、测试安装和测量装置要求，描述了时间延迟性能、空间还原性能、虚实融合度和视频透视画质的测试方法。

本文件适用于具有视频透视功能的虚拟现实与混合现实眼镜的视频透视性能测试。

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。

GB/T 38259 信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范

IEC 63145-1-2 眼戴显示 第1-2部分：通用 术语（Eyewear display - Part 1-2: Generic - Terminology）

IEC 63145-20-10:2019 眼戴显示 第20-10部分：基础测量方法 光学特性（Eyewear display - Part 20-10: Fundamental measurement methods - Optical properties）

IEC 63145-20-20 眼戴显示 第20-20部分：基础测量方法 图像质量（Eyewear display - Part 20-20: Fundamental measurement methods - Image quality）

IEEE 1858-2023 手机摄像头图像质量（CPIQ）（IEEE Standard for Camera Phone Image Quality (CPIQ)）

ISO 15739:2023 摄影 电子静态图像成像 噪声测量（Photography - Electronic still-picture imaging - Noise measurements）

QC/T 1128—2019 汽车用摄像头

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 视频透视 video see-through

近眼显示设备利用摄像机采集真实环境图像，经传输、渲染并实时显示在近眼屏幕上，使佩戴者能够通过近眼显示设备感知到周围的真实环境。近眼显示设备通常结合空间计算等技术，将虚拟画面与该真实画面叠加、混合呈现。

3.2 眼点 eye point

近眼显示设备中心或者近眼显示设备出瞳中心的位置。

3.3 瞳距 inter-pupillary distance

虚拟现实头戴式显示设备两个光学系统(分别给双目使用)的光轴之间的距离。

3.4 光子到光子延迟 photon-to-photon latency

在视频透视模式下，自近眼显示设备外部发生光事件起，至设备内部显示的该光事件被观察到的时间间隔。

3.5 缩放 scaling

视频透视下的图像相较于参照系统真值在尺度和角度上的缩小、放大。

3.6 位移 shift

视频透视下的图像相较于参照系统真值在尺度和角度上发生的移动。

3.7 旋转 rotation

视频透视下产生的图像相较于参照系统真值发生的角度旋转。

3.8 静态畸变 static distortion

视频透视下，佩戴者静止观察，成像像元的几何位置相对于真值参照系统发生挤压、伸展、偏移和扭曲等，使图像的几何位置、尺寸、形状、方位等发生改变。

3.9 动态畸变 motion distortion

视频透视下，佩戴者转动或平移，成像像元的几何位置相对于真值参照系统发生挤压、伸展、偏移和扭曲等，使图像的几何位置、尺寸、形状、方位等发生改变。

3.10 双目合像精度 binocular fusion accuracy

视频透视下，双目视觉系统（如人眼或双目相机）将两个不同视角的图像融合成一个立体图像时的准确度，用水平会聚角、垂直发散角、相对像倾斜角三个参数来表征。

3.11 双目立体深度 binocular stereo depth

视频透视下，通过对双目图像进行匹配和比较，得出特征点的视差，从而计算出各特征点的立体深度信息，并与参照系统真值（人眼目视/相机拍摄）的立体深度比较得到的差值。

3.12 视场角 field of view

人眼可观察到视频透视成像画面的角度范围，也被称为视野范围。包含水平视场角HFOV和竖直视场角VFOV。

3.13 帧重复率 frame repetition rate

视频透视画面的重复帧数量与统计时间段内显示刷新帧数之比，表示视频透视的卡顿、丢帧程度。

3.14 虚实静态抖动 mixed reality jitter

在佩戴者静止状态下，虚拟物体显示位置相较于预期所在的视频透视画面中参考位置，所发生的位置和角度上的偏差。

3.15 虚实动态漂移 mixed reality drift

在佩戴者运动状态下，虚拟物体显示位置相较于预期所在的视频透视画面中参考位置，所发生的位置和角度上的偏差。

3.16 清晰度 sharpness

视频透视下所产生图像的清晰度，以空间频率响应或特定空间频率下的调制传递函数（MTF）表征。

3.17 色彩 colour

视频透视对色彩还原的准确度，以及所表现的色彩饱和度。

3.18 动态范围 dynamic range

表征视频透视画面亮度层次的指标。动态范围越大，可呈现的亮度层次越丰富。

3.19 运动模糊 motion blur

视频透视下，因物体运动或者近眼显示设备佩戴者运动而造成的运动画面的视觉伪影。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

VST 视频透视（Video See-through）
LMD 光学测量装置（Light Measurement Device）
DUT 待测设备（Device Under Test）
FOV 视场角（Field of View）
HFOV 水平视场角（Horizontal Field of View）
VFOV 竖直视场角（Vertical Field of View）
MTF 调制传递函数（Modulation Transfer Function）
PTP 光子到光子（Photon-to-Photon）
IPD 瞳距（Inter-pupillary Distance）
SNR 信噪比（Signal-to-Noise Ratio）
PPD 角分辨率（Pixels per Degree）

5 测试条件与测量装置测试条件

5.1 测试环境

如无特殊规定，测试的物理环境条件应符合表1的规定。各测试项目对照明光源、照度等另有规定时，应符合相应测试条款的规定。

表 1 测试物理环境

项目	指标
照度	100 lx～500 lx
温度	22 ℃～28 ℃
相对湿度	25%～70%
气压	86 kPa～106 kPa

5.1.1　预热稳定

如无特殊说明，所有测试均应在DUT的光输出达到稳定后进行。当5 min内DUT的亮度输出变化不超过3%时，认为DUT达到稳定。

5.2　测试安装

DUT 应安装在稳定的平台上，以确保显示图像稳定。LMD 与 DUT 之间的相对位置通过六轴运动平台进行调节。测试前，应调节 LMD 或 DUT 的位置，使其满足以下对准要求：（1）LMD 的入瞳中心位于 DUT 的眼点位置；（2）DUT 的光轴平行于 LMD 的光轴，或 DUT 左右目的光轴与 LMD 的光轴角度呈对称偏差（适用于具有光轴倾斜设计的光学系统），如图 1 所示。

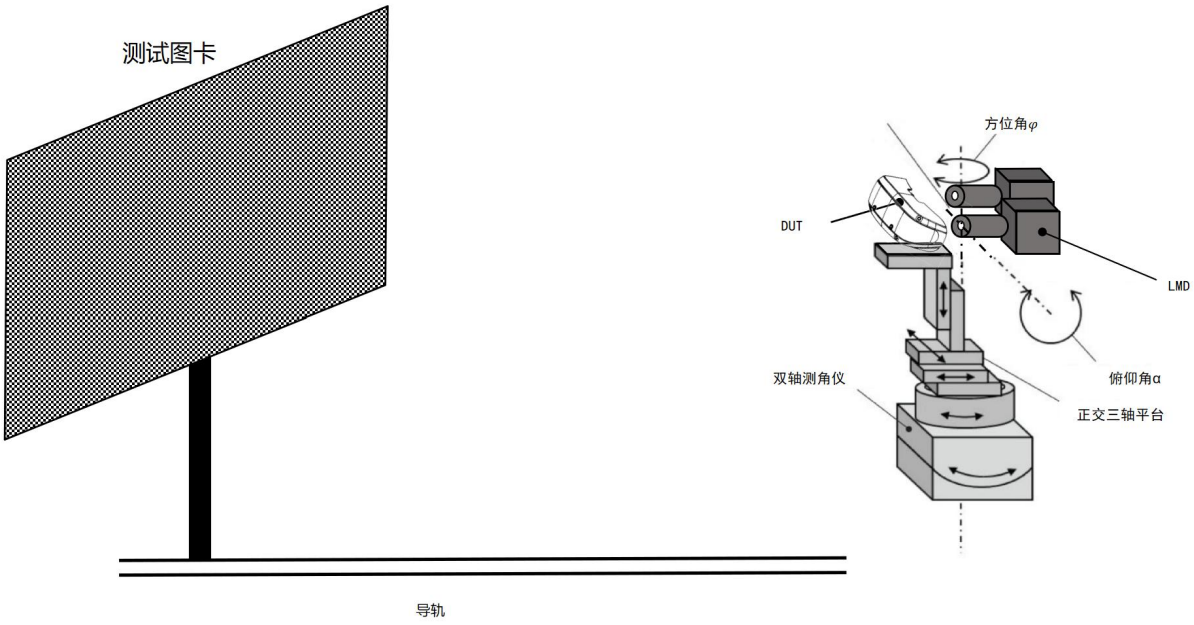


图 1 安装示意图

5.3　光学测量装置

不同性能测试所采用的光学测量装置的属性和构成不同，相应设备应满足以下要求：

(1) PTP延迟测试设备（时间延迟性能测试）应满足：

a) 亮度计的采样频率应大于2000Hz；

b) 触发信号的频率控制精度高于0.001Hz。

(2) 双目成像式测量设备（空间还原性能测试）应满足：

a) 入瞳大小在2mm-5mm以内；

b) 图像测量设备的像素角密度宜为DUT角分辨率的2倍；

c) 成像FOV应大于或等于DUT的FOV；

d) 双目位置公差小于0.1mm，角度公差小于0.5′（允许通过相机标定和矫正等消除公差影响）。

(3) 高速相机测量设备（虚实融合度测试和画质运动模糊测试）应满足：

a) 相机曝光方式应采用全局快门（global shutter）；

b) 相机采样率应大于或等于DUT刷新率。

(4) 单目成像式测量设备（画质清晰度测试）应满足：

a) 入瞳大小在2mm-5mm以内；

b) 图像测量设备的像素角密度宜为120PPD，不小于60PPD；

c) 宜采用小FOV但可转动的成像设备，转动精度高于0.5°。

(5) 光谱测量设备（画质颜色测试）应满足：

a) 波长应覆盖380nm-780nm 波段；

b) FOV不低于2°；

c) 采样间隔小于2nm ；

d) 采样精度小于等于±0.2nm；

e) 入瞳大小在2mm-5mm以内。

(6) 高动态范围成像式测量设备（画质动态范围测试）应满足：

a) 入瞳大小在2mm-5mm以内；

b) 成像FOV应大于或等于DUT的FOV；

c) 位深度宜为16 bit。

6 视频透视测试方法

测试报告应说明所采用的计算方法、坐标及符号约定、测量单位和异常数据处理方式。采用角度计算时，应明确坐标轴方向和角度正负方向。本文件不规定产品性能的合格判定限值。

6.1 时间延迟性能测试

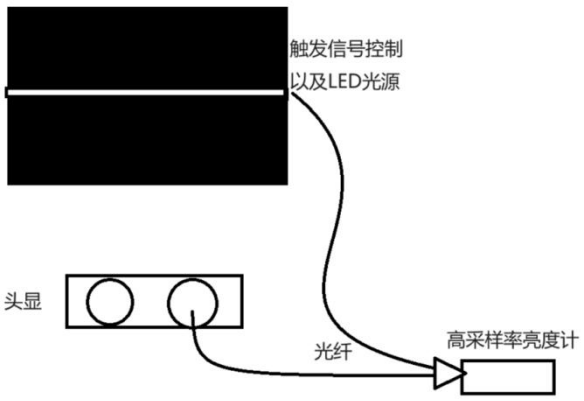


图 2 视频透视延迟测试配置图

本条规定的时间延迟性能测试采用PTP延迟测试设备作为LMD，如图2所示。

测试步骤如下：

1) 调节DUT与LED光源面板的亮线相对位置，使亮线在视频透视画面的上下居中处成像。

2) 调整LED光源面板在竖直方向上的位置，使得亮线的中心对齐视频透视画面的竖向的中心像素；

3) 如图2所示，两根光纤的测光端分别对准LED光源以及DUT的显示屏中间区域，分别将采集的光信号输入亮度计；

4) 控制触发信号以如下扫描方式使LED光源间隔亮灭，间隔约1 s，即1 s1个光事件：触发信号与视频透视相机的曝光频率存在固定频率差值。该固定频率差值的设定，要求使观察到的一个稳定周期内的光事件采样个数 ＞100，并且测试时长内包含两个以上周期。

视频透视延迟为光子到光子延迟（PTP延迟）。计算方法如图3所示：t0和t1时刻的采样点，分别代表DUT外光事件发生的真值Photon，和DUT内视频透视中被观察到的测试值Photon，二者亮度L0和L1满足如下取值条件：

$$L0 \geq 10\% \times L^{gt} \quad (1)$$

$$L1 \geq 10\% \times L^{vst} \quad (2)$$

式中，L^{gt}表示接收到的DUT外光源稳定的全亮度值，L^{vst}表示DUT内稳定的全亮度值。

t0和t1的时间差值，即为该次光事件的PTP延迟：

$$Latency = t1 - t0 \quad (3)$$

对连续的N次采样点进行统计：

$$PTP_{max} = max\,(Latency_1, Latency_2, \ldots, Latency_N) \quad (4)$$

$$PTP_{min} = min\,(Latency_1, Latency_2, \ldots, Latency_N) \quad (5)$$

$$PTP_{mean} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Latency_i \quad (6)$$

$$PTP_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (Latency_i - PTP_{mean})^2} \quad (7)$$

式中：

PTP_{max}，PTP_{min}为视频透视延迟的最大值和最小值；

PTP_{mean}为所有测量采样延迟的平均值；

PTP_{RMSE}为所有测量采样延迟的均方差。

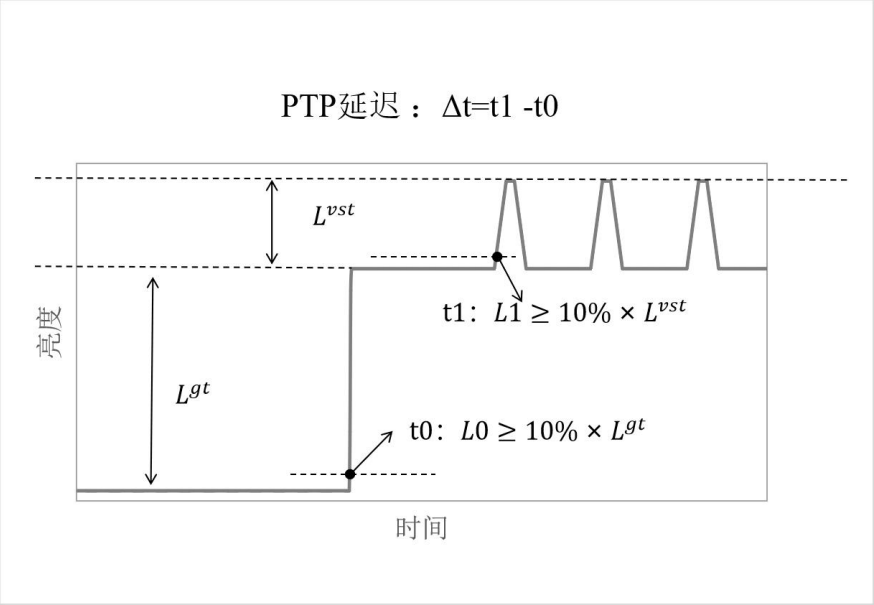


图 3 视频透视延迟计算示意图

6.2 空间还原性能测试

本条规定的性能测试均针对近眼显示设备的两个虚像光学系统。测试数据应按佩戴者视角，明确其对应的左目、右目或双目性能指标。

在空间还原性测试中，应采用双目成像式测量设备作为LMD。

测试步骤如下：

1) 调节测试图卡(位移、缩放和旋转测试，采用图A.1的菱形角点测试图卡，静态畸变、动态畸变和双目立体深度测试采用图A.2的棋盘格测试图卡，视场角和双目合像精度测试按相应条款选用测试图卡。)位于LMD正前方距离L=25cm位置，LMD双目光轴间距与待测设备的IPD一致，并调整图卡或LMD位姿，使得LMD双目光轴垂直于图卡平面，且二者的中心对齐；
2) LMD拍摄图卡照片，记作真值图片，并对图片做畸变矫正后，获取角点在真值图片上的像素坐标$(x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{gt}}, y_i^{gt}, L)$，i表示角点的编号；
3) 将DUT按5.2的对准要求安装放置在LMD前，并切换到视频透视模式；
4) LMD拍摄DUT内视频透视画面照片，记作测试图片，同样计算角点在测试图片上的像素坐标$(x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{vst}}, y_i^{vst}, L)$；
5) 依次调整图卡到LMD距离为L=50cm,100cm，200 cm和300cm，重复步骤2-4。（有导轨条件时，可在步骤2后调整图卡距离并依次拍摄，并在LMD前安装DUT后同样依次调整距离并拍摄，要求导轨位移精度和重复精度<1mm）；
6) 测试图卡保持不动，将LMD和DUT整体，绕着竖直Y轴（该轴，距离双目眼点中心10cm，约为人左右转头时的头部转轴），以佩戴者视角向左旋转角度θ，角度θ依次为10°、20°和30°，重复步骤1-5，分别得到真值和视频透视下角点像素坐标$(x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{gt},\theta}, y_i^{gt,\theta}, L)$和$(x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{vst},\theta}, y_i^{vst,\theta}, L)$；
7) 结合LMD内参关系，计算每个角点在旋转角度为θ时相对于未旋转状态在LMD成像空间中的转动角度$\beta_i^{gt}(\theta, L)$和$\beta_i^{vst}(\theta, L)$。

6.2.1 位移

角点在视频透视中发生的尺度位移：

$$\Delta X_i(L) = \mathrm{K(L)} \times \sqrt{\left(x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{vst}} - x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{gt}}\right)^2 + \left(y_{\mathrm{i}}^{\mathrm{vst}} - y_{\mathrm{i}}^{\mathrm{gt}}\right)^2} \quad (8)$$

式中，K(L)为距离 L 下图卡的物理尺寸在 LMD 像素平面上的尺度因子，记图卡上角点 2 和角点 4 之间的物理尺寸为$\mathrm{d}_{2,4}$，角点 1、2、3 和 4 的编号见图 A.1。

$$\mathrm{K(L)} = \mathrm{d}_{2,4} \Big/ \sqrt{\left(x_2^{\mathrm{gt}} - x_4^{\mathrm{gt}}\right)^2 + \left(y_2^{\mathrm{gt}} - y_4^{\mathrm{gt}}\right)^2} \quad (9)$$

宜在不同距离下，计算出中心点的尺度位移 $\Delta X_0(L)$和角度位移$\Delta\alpha_0(\mathrm{L})$：

$$\Delta\alpha_0(\mathrm{L}) = \arctan\frac{\Delta X_0(L)}{\mathrm{L}} \quad (10)$$

6.2.2 缩放

真值画面中，角点 i 和 j 间的距离为：

$$\mathrm{X}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{gt}}(\mathrm{L}) = \mathrm{K(L)} \times \sqrt{\left(x_{\mathrm{i}}^{\mathrm{gt}} - x_{\mathrm{j}}^{\mathrm{gt}}\right)^2 + \left(y_{\mathrm{i}}^{\mathrm{gt}} - y_{\mathrm{j}}^{\mathrm{gt}}\right)^2} \quad (11)$$

同理，视频透视画面中，角点 i 和 j 间的距离为：

$$X_{ij}^{vst}(L) = K(L) \times \sqrt{\left(x_i^{vst} - x_j^{vst}\right)^2 + \left(y_i^{vst} - y_j^{vst}\right)^2} \quad (12)$$

不同距离 L 下，同尺度物体在视频透视中的尺度缩放比，在横向（H）和纵向(V)，以及均值分别为：

$$S(L)_H = \frac{X_{24}^{vst}(L)}{X_{24}^{gt}(L)} \quad (13)$$

$$S(L)_V = \frac{X_{13}^{vst}(L)}{X_{13}^{gt}(L)} \quad (14)$$

$$S(L) = \frac{S(L)_H + S(L)_V}{2} \quad (15)$$

角度缩放比为：

$$S'(L)_H = \frac{\arctan[X_{24}^{vst}(L)/(2L)]}{\arctan[X_{24}^{gt}(L)/(2L)]} \quad (16)$$

$$S'(L)_V = \frac{\arctan[X_{13}^{vst}(L)/(2L)]}{\arctan[X_{13}^{gt}(L)/(2L)]} \quad (17)$$

$$S'(L) = \frac{S'(L)_H + S'(L)_V}{2} \quad (18)$$

6.2.3 旋转

不同距离 L 下，图卡平面的水平轴 H 和竖直轴 V，在视频透视下发生的绕深度 Z 轴所旋转角度为：

$$R(L)_H = \arctan\left(\frac{|y_2^{vst} - y_4^{vst}|}{|x_2^{vst} - x_4^{vst}|}\right) \Big/ \arctan\left(\frac{|y_2^{gt} - y_4^{gt}|}{|x_2^{gt} - x_4^{gt}|}\right) \quad (19)$$

$$R(L)_V = \arctan\left(\frac{|y_1^{vst} - y_3^{vst}|}{|x_1^{vst} - x_3^{vst}|}\right) \Big/ \arctan\left(\frac{|y_1^{gt} - y_3^{gt}|}{|x_1^{gt} - x_3^{gt}|}\right) \quad (20)$$

平均旋转的角度为：

$$R(L) = \frac{R(L)_H + R(L)_V}{2} \quad (21)$$

6.2.4 静态 TV 畸变

畸变所拍摄图卡见图A.2。根据不同距离L下拍摄到的视频透视角点图片，分析视频透视下的静态畸变使用SMIA TV Distortion指标：

$$Dist^{vst}(L) = (A - B)/B \times 100\% \quad (22)$$

式中：

$$A = [X_{56}^{vst}(L) + X_{78}^{vst}(L)]/2 \quad (23)$$

$$B = X_{13}^{vst}(L) \quad (24)$$

各角点的编号如图4所示。

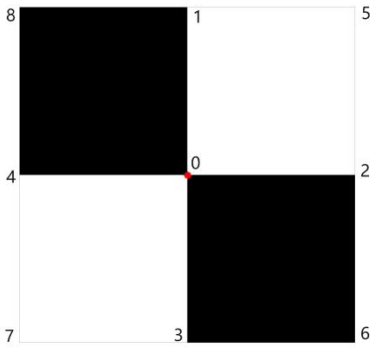


图 4 静态 TV 畸变计算所用角点示意图

本畸变指标应根据不同视场下的计算结果，最后给出畸变的最大值。由于LMD成像系统本身也存在畸变，因此在报告DUT的视频透视静态畸变时，应同时给出真值图片在同视场下所计算出的畸变结果，即$\mathrm{Dist}^{\mathrm{gt}}$。

6.2.5 静态梯形畸变

图 4 中顶点 5-8 所组成的四边形，其梯形畸变大小代表该视场下的静态梯形畸变。视频透视的水平 H 向和竖直 V 向的梯形畸变大小为：

$$\mathrm{Dist_Keystone}_{\mathrm{H}}^{\mathrm{vst}}(\mathrm{L})=\frac{\mathrm{X}_{58}^{\mathrm{vst}}}{\mathrm{X}_{67}^{\mathrm{vst}}}\times 100\% \quad \text{（25）}$$

$$\mathrm{Dist_Keystone}_{\mathrm{V}}^{\mathrm{vst}}(\mathrm{L})=\frac{\mathrm{X}_{78}^{\mathrm{vst}}}{\mathrm{X}_{56}^{\mathrm{vst}}}\times 100\% \quad \text{（26）}$$

静态梯形畸变应根据不同视场下的计算结果，给出最大值。在报告视频透视的静态梯形畸变数据时，应同时给出真值的测试数据：

$$\mathrm{Dist_Keystone}_{\mathrm{H}}^{\mathrm{gt}}(\mathrm{L})=\frac{\mathrm{X}_{58}^{\mathrm{gt}}}{\mathrm{X}_{67}^{\mathrm{gt}}}\times 100\% \quad \text{（27）}$$

$$\mathrm{Dist_Keystone}_{\mathrm{V}}^{\mathrm{gt}}(\mathrm{L})=\frac{\mathrm{X}_{78}^{\mathrm{gt}}}{\mathrm{X}_{56}^{\mathrm{gt}}}\times 100\% \quad \text{（28）}$$

6.2.6 动态畸变

在不同距离 L 下，随着 LMD 和 DUT 转动角度 θ 后，在视频透视中观察到的动态畸变，表示为各角点的转动角度偏差：

$$\mathrm{Rotation_Error}_{\mathrm{i}}^{\theta}(L)=(\beta_i^{vst}(\theta,L)-\beta_i^{gt}(\theta,L))/\beta_i^{gt}(\theta,L)\times 100\% \quad \text{（29）}$$

应计算图卡中心角点的动态畸变。以 0 代表中心点，则其转动角度偏差：

$$\mathrm{Rotation_Error_Center}^{\theta}(L)=(\beta_0^{vst}(\theta,L)-\beta_0^{gt}(\theta,L))/\beta_0^{gt}(\theta,L)\times 100\% \quad \text{（30）}$$

6.2.7 视场角

可采用以下两种方法测试视频透视的视场角（FOV）。

方法1：采用分度计进行测试（参考QC/T 1128—2019），步骤如下：

1) 将LMD置于双轴（水平和垂直）旋转台上，相机中心与转台旋转中心重合，十字测试图卡（见图A.7）放置于LMD正前方500 mm位置，高度适中；
2) 调整LMD光轴垂直于测试图卡，且图卡中心与相机中心重合；
3) 放置DUT，并与LMD按5.2的要求实现对准，切换到视频透视模式；
4) 水平转动分度盘使测试图卡竖标线出现在LMD显示界面的最左侧，读取转角值Δa，反向调节分度盘使测试图卡竖标线出现在LMD显示界面的最右侧，读转角值Δb，则Δb与Δa之差即HFOV；
5) 同理垂直转动分度盘，可测得VFOV。

方法2：测量视野内图卡尺寸和拍摄距离，利用三角函数计算视场角，步骤如下：

1) 将LMD置于平台上，十字测试图卡放置于LMD正前方距离D=500 mm的位置；
2) 调整LMD光轴垂直于测试图卡，且图卡中心与相机中心重合；
3) 放置DUT，并与LMD按5.2的要求实现对准，切换到视频透视模式；
4) 测量视频透视下看到的图卡尺寸L，根据三角关系计算出HFOV和VFOV。

$$HFOV = 2 \times arctan(\frac{L_H}{2D}) \quad \text{（31）}$$

$$VFOV = 2 \times arctan(\frac{L_V}{2D}) \quad \text{（32）}$$

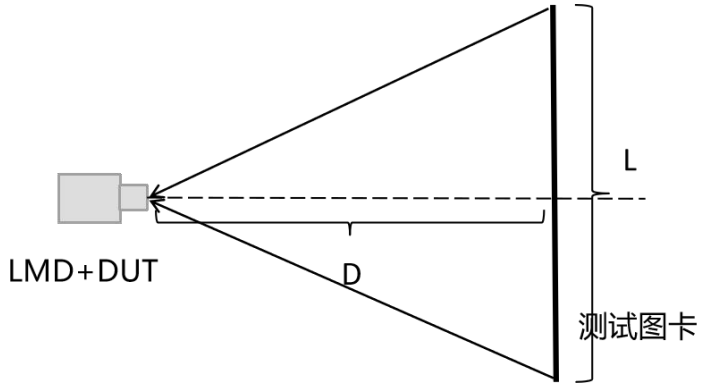


图 5 FOV 测试示意图

6.2.8 双目合像精度

双目合像的测量前提是 DUT 的瞳距已知，测量中使用双目成像式测量设备作为 LMD，采用棋盘格测试图卡或者十字测试图卡作为测试目标。

视频透视双目的水平会聚角用ϕ_x^{vst}表示，如图 6 a）所示，按式（33）计算：

$$\phi_x^{\text{vst}} = \arctan\left(\frac{d_x^{\text{vst}}_\text{right}}{f_x^{\text{vst}}_\text{right}}\right) - \arctan\left(\frac{d_x^{\text{vst}}_\text{left}}{f_x^{\text{vst}}_\text{left}}\right) \quad \text{（33）}$$

式中：

d_x^{vst}_left 和d_x^{vst}_right 为左右目图像特征点在 X 轴方向相对中心的像素偏差；

f_x^{vst}_left 和 f_x^{vst}_right 为所采用的左右目相机系统内参，代表 X 方向上的等效焦距；

注：当特征点相对于图像中心向 X 轴正方向偏移，则 dx 为正；当特征点相对于图像中心向 X 轴负方向偏移，则 dx 为负。

垂直发散角用α_y^{vst}表示，如图 6 b）所示，按式（34）计算：

$$\alpha_y^{\mathrm{vst}} = \arctan\left(\frac{d_y^{\mathrm{vst}}_\mathrm{right}}{f_y^{\mathrm{vst}}_right}\right) - \arctan\left(\frac{d_y^{\mathrm{vst}}_\mathrm{left}}{f_y^{\mathrm{vst}}_left}\right) \quad \text{（34）}$$

式中：

d_y^{vst}_left 和d_y^{vst}_right 为左右目图像特征点在 Y 轴方向相对中心的像素偏差；

f_y^{vst}_left 和 f_y^{vst}_right 为所采用的左右目相机系统内参，代表 Y 方向上的等效焦距；

注：当特征点相对于图像中心向 Y 轴正方向偏移，则 dy 为正；当特征点相对于图像中心向 Y 轴负方向偏移，则 dy 为负。

相对像倾斜角用θ_z^{vst}表示，定义为以图像中心为旋转中心，从左目图像旋转到与右目图像重合时的旋转角，且θ_z^{vst}为锐角；当旋转角为逆时针时，θ_z^{vst}为负，如图 6 c）所示；当旋转角为顺时针时，θ_z^{vst}为正。

$$\theta_z^{\mathrm{vst}} = \theta_{\mathrm{right}}^{\mathrm{vst}} - \theta_{\mathrm{left}}^{\mathrm{vst}} \quad \text{（35）}$$

式中：

$\theta_{\mathrm{left}}^{\mathrm{vst}}$和$\theta_{\mathrm{right}}^{\mathrm{vst}}$为左右目图像相对中心的旋转角度，计算方法见 6.2.3。

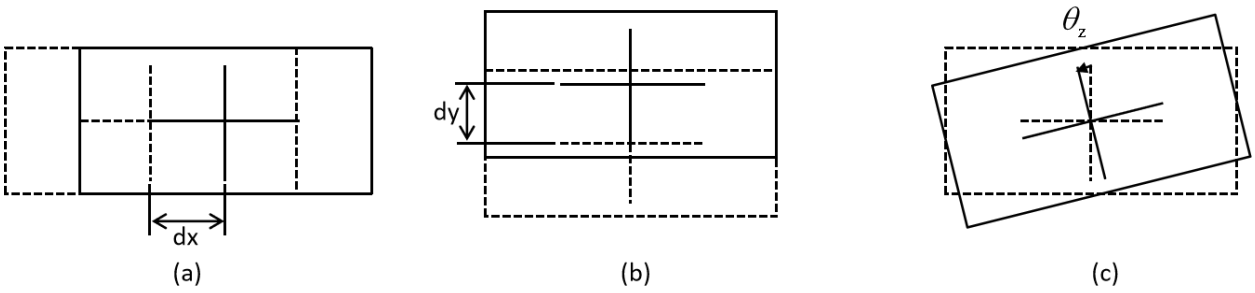


图 6 双目合像示意图

注：虚线框和实线框分别表示左右目视频透视图像。

6.2.9 双目立体深度

角点 i，在测试图卡距离 L 时，视频透视下的双目立体深度为：

$$D_i^{\mathrm{vst,L}} = \frac{IPD}{\tan\theta_{\mathrm{i,left}}^{\mathrm{vst}} - \tan\theta_{\mathrm{i,right}}^{\mathrm{vst}}} \quad \text{（36）}$$

式中，IPD 为被测双目光机光轴间距（此时也等于双目相机光轴间距），$\theta_{\mathrm{i,left}}^{\mathrm{vst}}$ 和 $\theta_{\mathrm{i,right}}^{\mathrm{vst}}$ 表示视频透视画面里角点 i 分别在 LMD 左、右目相机中水平向的 FOV 角度（即像点在 x 轴上投影同光心的连

线，与光轴的夹角）。相应的真值系统中角点 i 的双目立体深度为：

$$D_i^{\mathrm{gt,L}} = \frac{IPD}{\tan\theta_{\mathrm{i,left}}^{\mathrm{gt}} - \tan\theta_{\mathrm{i,right}}^{\mathrm{gt}}} \quad (37)$$

通过视频透视双目立体深度与真值双目立体深度的误差来表示视频透视深度误差：

$$\Delta d_i^L = (D_i^{vst,L} - D_i^{gt,L})/D_i^{gt,L} \times 100\% \quad (38)$$

由此计算相同距离 L 下，立体深度误差平均值和离散度：

$$\overline{\Delta d^L} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \Delta d_i^L \quad (39)$$

$$\Delta d_{\mathrm{RSME}}^L = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\Delta d_i^L - \overline{\Delta d^L}\right)} \quad (40)$$

报告双目立体深度误差应注明测试时的 IPD 值。对于可调节 IPD 的近眼显示设备，应测试三个 IPD（最大、最小和中间值）下的双目立体深度。

6.3 虚实融合度测试

本条规定的虚实融合度测试采用包含转台、高速相机和靶标图卡的综合测试系统作为 LMD，如图 7 所示。

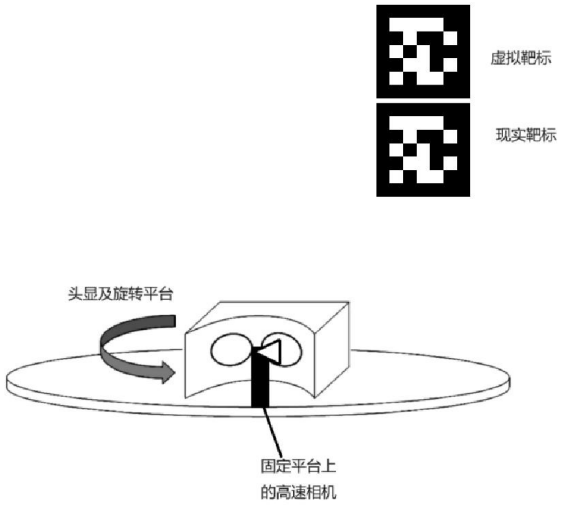


图 7 虚实融合度测试示意图

测试步骤如下：

1) 高速相机固定在水平放置的转动平台上，相机光圈距离转轴中心 10cm 位置处，且相机光轴方向沿转动半径方向朝外。高速相机帧率设置与屏幕刷新帧率一致；

2) 将实体靶标放置在 LMD 正前方，距离 50cm 处；

3) 调整虚拟画面的靶标（参考图 A.3），使得虚拟靶标的角点与现实靶标的角点完全对齐（四周角点），虚实图案对齐可采用以下两种方式：一是采用 DUT 自动识别实体靶标后对准，DUT 通过识别实际标志物的空间位置，自动调整虚拟标志物空间位置完成对准；二是采用手动对准：实时调整虚拟标志物位置，通过测试人员佩戴后观察实现对准；

4) 调整固定 DUT 的六轴平台，使得高速相机位于近眼显示眼盒内取景；

5) 保持转台不动，高速相机拍摄虚拟靶标和视频透视下靶标的虚实融合画面，拍摄时长 2 分钟；

6) 旋转平台分别以低速 10°/s、中速 50°/s 和高速 90°/s，在±60°范围内来回转动，同时高速相机（设定相机帧率高于显示屏帧率）记录 DUT 内视频透视和虚拟画面的叠加画面，每个转速测试时长 5 分钟；

7) 逐帧提取高速相机画面中视频透视靶标的中心角点像素坐标$\mathrm{X_i^{vst}} = (\mathrm{x_i^{vst}}, \mathrm{y_i^{vst}})$和虚拟靶标的中心角点坐标$\mathrm{X_i^{gt}} = (\mathrm{x_i^{vr}}, \mathrm{y_i^{vr}})$，其中 i 为帧序号，总帧数记为 N；

8) 以帧为时间单位，将两个角点在高速相机画面中的像素坐标轨迹绘制并分析。

6.3.1 帧重复率

分析连续运动状态下虚拟画面、视频透视画面中的像素坐标轨迹，统计其在运动条件下像素坐标连续重复点的数量M_{vr}, M_{vst}，即对应的虚拟画面、视频透视画面的帧重复率为：

$$\zeta_{vr} = \frac{M_{vr}}{N},\ \zeta_{vst} = \frac{M_{vst}}{N} \quad \text{（41）}$$

在报告帧重复率时，应同时注明显示的刷新率。

6.3.2 虚实静态抖动

分析 6.3 中步骤 5 静止拍摄时虚拟画面、视频透视画面的靶标点在高速相机成像像素下的坐标轨迹。在该静止条件下，相比上一帧像素坐标变化大于 1 像素的记为抖动帧，分别统计虚拟画面、视频透视画面下抖动的帧数N_{vr}, N_{vst}，总统计帧数为 N，则抖动率η_{vr}, η_{vst}为：

$$\eta_{vr} = \frac{N_{vr}}{N},\ \eta_{vst} = \frac{N_{vst}}{N} \quad \text{（42）}$$

虚实静态抖动使用相对帧间位移误差表示：

$$\mathrm{Jitter_{RMSE}} = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{N}-1}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}-1}\left\|\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{i}+1,\mathrm{i}}^{\mathrm{vr}} - \vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{i}+1,\mathrm{i}}^{\mathrm{vst}}\right\|^2} \quad \text{（43）}$$

式中，$\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{i}+1,\mathrm{i}}^{\mathrm{vr}}$，$\vec{\mathrm{X}}_{\mathrm{i}+1,\mathrm{i}}^{\mathrm{vst}}$分别为虚拟靶标和视频透视靶标中心角点在像素平面上相邻帧的位移向量。

6.3.3 虚实动态漂移

分析连续运动状态下虚拟画面、视频透视画面中的像素坐标轨迹，同帧高速相机拍摄画面中二者的像素坐标差异为：

$$\Delta \mathrm{X_i} = (\mathrm{x_i^{vr}}, \mathrm{y_i^{vr}}) - (\mathrm{x_i^{vst}}, \mathrm{y_i^{vst}}) \quad \text{（44）}$$

根据拍摄相机的内参，可以将虚拟靶标和视频透视靶标的像素坐标差异转化为角度差异：

$$\Delta\ \theta_{\mathrm{i}} = \mathrm{f}(\Delta \mathrm{X_i}) \quad \text{（45）}$$

式中，$\Delta\theta_i$即为第i帧虚实画面间的漂移大小。

统计每一帧的虚实画面间漂移大小，则描述测试设备虚实画面间漂移范围、均值和离散度值分别为：

$$\Delta\theta_{\max} = max(\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \ldots, \Delta\theta_N) \quad (46)$$

$$\Delta\theta_{\min} = min(\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \ldots, \Delta\theta_N) \quad (47)$$

$$\Delta\theta_{\text{mean}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta\theta_i \quad (48)$$

$$\Delta\theta_{\text{RSME}} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\Delta\theta_i - \Delta\theta_{mean})} \quad (49)$$

6.4 视频透视画质测试设备和方法

视频透视画质测试应根据测试指标搭建相应的测试环境，包括照明光源和测试图卡。DUT采用制造商提供的默认配置，例如屏幕亮度、动态范围等设置。测试环境如图8所示。

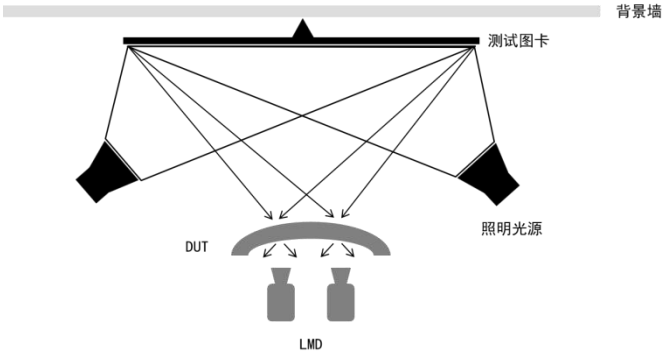


图 8 画质测试环境示意图

测试环境搭建及数据采集步骤如下：

1) 根据测试项选用合适的照明光源及测试图卡，按图 8 所示放置，调整光源色温及亮度等级，使得整个图卡的表面照度均匀性达到 90%以上；

2) 调整 LMD 光轴（仅进行单目测试时，只调整单目光轴）垂直于测试图卡，且图卡中心与双目相机中心点重合；

3) 根据测试项要求，分别在无 DUT 时拍摄采集真值 gt 的数据，以及在视频透视下拍摄采集 VST 的数据；

4) 针对清晰度测试，依次调整图卡到 LMD 距离为 L=25cm，50cm,100cm，200cm 和 300cm，重复步骤 3。在有导轨条件时，可在步骤 2 后调整图卡距离，依次拍摄 gt 数据，并在放置 DUT 后同样调整距离，依次拍摄 VST 数据，要求导轨位移精度和可重复精度<1mm。

6.4.1 清晰度

清晰度测试采用单目成像式 LMD。测试图卡选用 SFRplus，照明光源为 D65，照度为 800lx。

选择 LMD 测试图像中 15/30/60 PPD 三个空间频率下的 MTF 作为衡量参数。

6.4 中步骤 3 的数据采集和处理方法如下：

(1)将 LMD 光轴分别对准中心/边缘（0F/0.7F）正方形的中心并聚焦后采图，计算中心/边缘两条斜边（相互垂直）的 MTF 值，取其均值得到$MTF^{\mathrm{gt}}_{\mathrm{center}}（L）$，$MTF^{\mathrm{gt}}_{\mathrm{edge}}（L）$；

(2)将 LMD 光轴分别对准视频透视画面中心/边缘正方形的中心重新聚焦后采图，计算中心/边缘两条斜边（相互垂直）的 MTF 值，取其均值得到$MTF^{\mathrm{vst}}_{\mathrm{center}}（L）$，$MTF^{\mathrm{vst}}_{\mathrm{edge}}（L）$。

不同距离下的 MTF 按式（50）和式（51）计算：

$$MTF^{\mathrm{gt/vst}}_{\mathrm{center}}（L）=\frac{MTF_0^{\mathrm{gt/vst}}_{\mathrm{center}}+MTF_1^{\mathrm{gt/vst}}_{\mathrm{center}}}{2} \quad \text{（50）}$$

$$MTF^{\mathrm{gt/vst}}_{\mathrm{edge}}（L）=\frac{MTF_0^{\mathrm{gt/vst}}_{\mathrm{edge}}+MTF_1^{\mathrm{gt/vst}}_{\mathrm{edge}}}{2} \quad \text{（51）}$$

为消除 LMD 本身影响，使用三个空间频率下视频透视 MTF 和真值 MTF 的比值来表征视频透视的清晰度：

$$MTF_{\mathrm{center}}（L）=\frac{MTF^{\mathrm{vst}}_{\mathrm{center}}}{MTF^{\mathrm{gt}}_{\mathrm{center}}} \quad \text{（52）}$$

$$MTF_{\mathrm{edge}}（L）=\frac{MTF^{\mathrm{vst}}_{\mathrm{edge}}}{MTF^{\mathrm{gt}}_{\mathrm{edge}}} \quad \text{（53）}$$

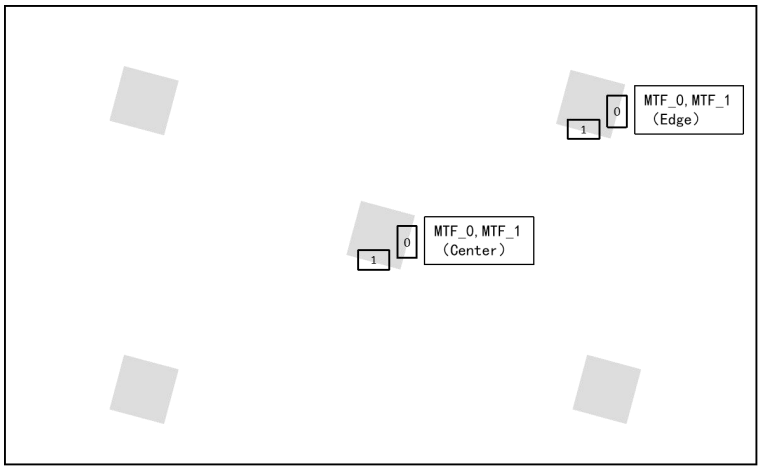


图 9 清晰度计算示意图

6.4.2 色彩

色彩测试应采用光谱测量设备作为 LMD，选用 X-Rite ColorChecker 24 色经典测试图卡 TC021，照明光源配置为 A 光/TL84/D50/D65，照度为 800 lx。以颜色准确度和饱和度作为评价指标。

6.4 中步骤 3 的数据采集和处理方法如下：

(1)通过光谱测量设备直接拍摄图卡，输出色度数据作为真值 gt，记为XYZ^{gt}和 xy^{gt}；

(2)通过光谱测量设备拍摄视频透视画面，输出色度数据作为 VST 数据，记为XYZ^{vst}和 xy^{vst}。

将XYZ^{gt}和XYZ^{vst}转换成L^{gt}，a^{gt}，b^{gt}和L^{vst}，a^{vst}，a^{vst}，使用ΔE来表征颜色准确度：

$$\Delta E = \sqrt{(L^{vst} - L^{gt})^2 + (a^{vst} - a^{gt})^2 + (b^{vst} - b^{gt})^2} \quad (54)$$

切换测试每个色块，获取每个色块的$a_i^{gt/vst}$和$b_i^{gt/vst}$，以 S（Saturation）表征颜色饱和度：

$$S = \frac{\frac{1}{24}\sum_{i=0}^{23}\left(\sqrt{(a_i^{vst})^2+(b_i^{vst})^2}\right)}{\frac{1}{24}\sum_{i=0}^{23}\left(\sqrt{(a_i^{gt})^2+(b_i^{gt})^2}\right)} \quad (55)$$

6.4.3 动态范围

动态范围测试采用高动态范围成像式测量设备作为 LMD。选用透射式测试图卡（宜采用 ITUHDR36，见图 A.6），照明光源为 D65，最大照度宜为 20000 lx。

以不同 SNR 下的动态范围值作为评价指标。

6.4 中步骤 3 的数据处理方法如下：直接采集 VST 数据，计算 SNR 为 1、2、4 和 10 时的动态范围值，以 dB 为单位（参考 ISO 15739:2023）。

$$SNR = \frac{S}{N} \quad (56)$$

$$DR = 20\log_{10}\left(\frac{L_{max}}{L_{SNR}}\right) \quad (57)$$

式中，S代表该色块的 Y 亮度平均值，N代表该色块的 Y 亮度标准差；L_{max}代表最亮色块的 Y 亮度值，L_{SNR}代表选取 SNR 下对应色块的 Y 亮度值。

6.4.4 运动模糊

运动模糊测试采用高速相机测量设备作为 LMD。LMD 的曝光时间设置应对应 DUT 显示一帧的时间。选用 SFRreg 测试图卡，照明光源为 D65，照度为 100lx～1000lx。

以静止和运动状态下 10%-90%黑白上升沿宽度的像素值表征运动模糊（参考 IEEE 1858-2023）。

该图卡置于水平移动架上，分别以 100mm/s 或 800mm/s 的速度水平往返移动，行程为 2000 mm。

6.4 中步骤 3 改为：固定测试图卡位于 LMD 正前方 1m 处，直接采集 VST 数据，分别在图卡静止和运动状态（v=100 mm/s 和 800 mm/s）下，采集图卡经过视频透视画面中心时的图片，计算 10%～90%黑白上升沿宽度的像素值（10 帧数据取平均值），得到 W（0）和 W（v）。

不同运动速度下视频透视的运动模糊按式（58）计算：

$$N（v）=\frac{W（v）}{W（0）}\text{.....（58）}$$

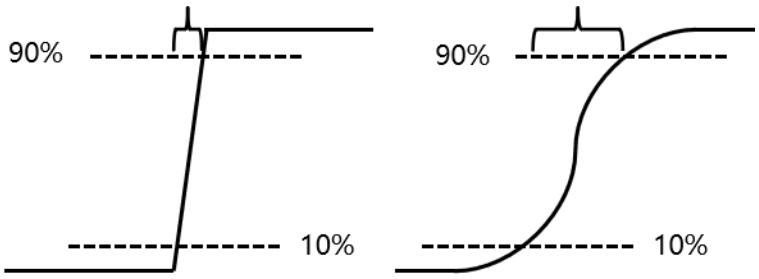


图 10 运动模糊测试示意图

附 录 A（资料性附录）
测试图卡

本附录给出了各测试方法使用的测试图卡示例，其用途及使用方法见表 A.1，具体测试步骤、测量装置和数据处理方法见相应正文条款。

附录中的图卡图示用于说明图案类型和特征位置，不作为尺寸、色度、亮度或透射率的校准依据。实际测试使用符合相应测试条款要求的实体图卡；色彩和动态范围测试不以本文件中的图示打印件代替测试图卡。采用其他测试图卡时，在测试报告中说明图卡类型、规格及使用条件。

图卡	对应测试条款	使用说明
图 A.1 菱形角点测试图卡	6.2.1—6.2.3：位移、缩放、旋转	两条对角线实际尺寸均为 20 cm，按图示识别中心点 0 及角点 1—4。在 6.2 规定的各距离下，分别采集真值图像和视频透视图像，比较对应角点的位置、间距及方向。
图 A.2 棋盘格测试图卡	6.2.4—6.2.6：畸变；6.2.8：双目合像精度；6.2.9：双目立体深度	图卡尺寸及方块数量按图 A.2 下注执行。畸变计算的角点编号按图 4 确定；双目测试识别左、右目图像中对应的同一角点，按相应条款计算。
图 A.3 ArUco 靶标测试图卡	6.3：虚实融合度	实体靶标置于 LMD 正前方 50 cm 处，使虚拟靶标四周角点与实体靶标对应角点对齐。按规定的静止和转动条件采集图像，跟踪两类靶标的对应中心特征点。
图 A.4 SFRplus 测试图卡	6.4.1：清晰度	采用 D65 光源、800 lx 照度，在规定距离下采图；分别选取中心及 0.7F 位置的两条相互垂直斜边，计算真值图像和视频透视图像的 MTF。
图 A.5 ColorChecker 测试图卡	6.4.2：色彩	在该条规定的 A 光、TL84、D50、D65 照明条件及 800 lx 照度下，逐块测量 24 个色块。测量区域位于色块内部并避开边界；真值与视频透视数据按同一色块对应计算。

图 A.6 动态范围测试图卡	6.4.3：动态范围	采用该条规定的透射式图卡及 D65 照明，按各灰阶色块采集视频透视数据，按规定方法计算 SNR 为 1、2、4 和 10 时的动态范围；照明条件按 6.4.3 执行。
图 A.7 十字测试图卡	6.2.7：视场角；6.2.8：双目合像精度	视场角测试时置于 LMD 正前方 500 mm 处，按规定对准后，通过转角或可视尺寸计算水平及竖直视场角；双目合像测试识别左右目图像中的对应十字特征。
SFRreg 测试图卡（本附录未示图）	6.4.4：运动模糊	置于 LMD 正前方 1 m 处，采用 D65 光源、100 lx～1000 lx 照度。分别在静止及 100 mm/s、800 mm/s 水平运动条件下采图，计算 10%～90%黑白上升沿宽度，每种状态取 10 帧平均值。

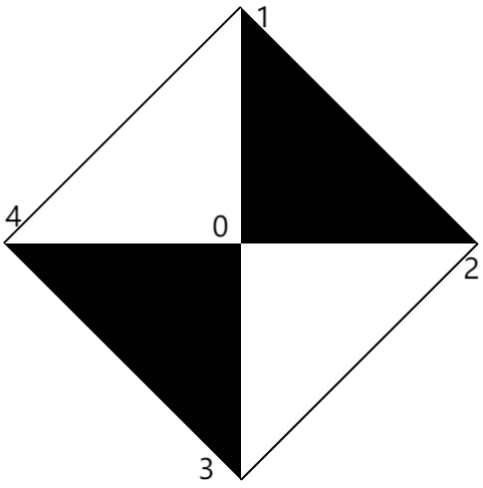


图 A.1 菱形角点测试图卡（尺寸$d_{1,3} = d_{2,4} = 20cm$）

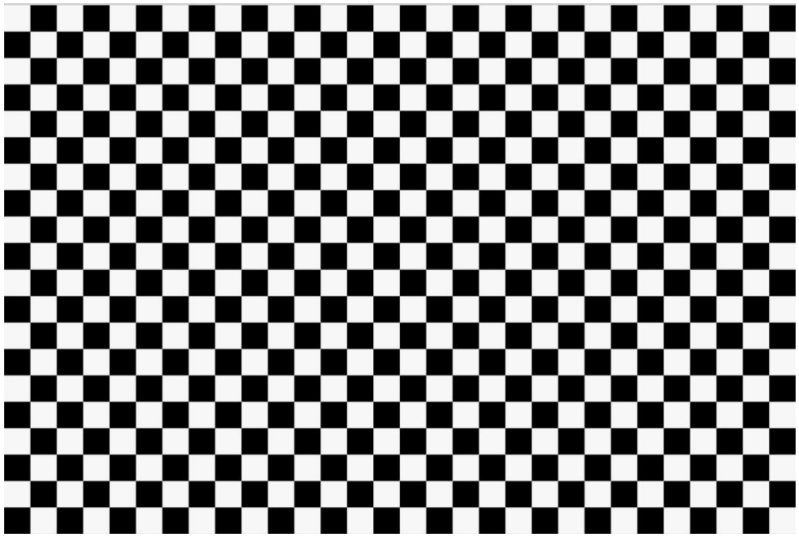


图 A.2 棋盘格测试图卡

注：

1. 棋盘格图卡尺寸需在50 cm处覆盖视频透视全视野
2. 水平和垂直方向都至少有20个方块

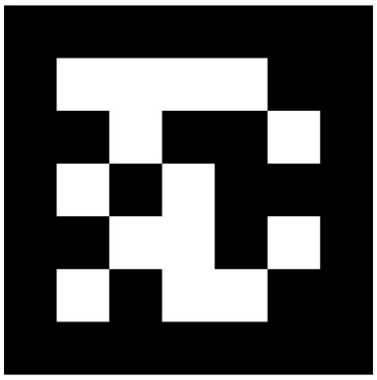


图 A.3 靶标测试图卡（ArUco）

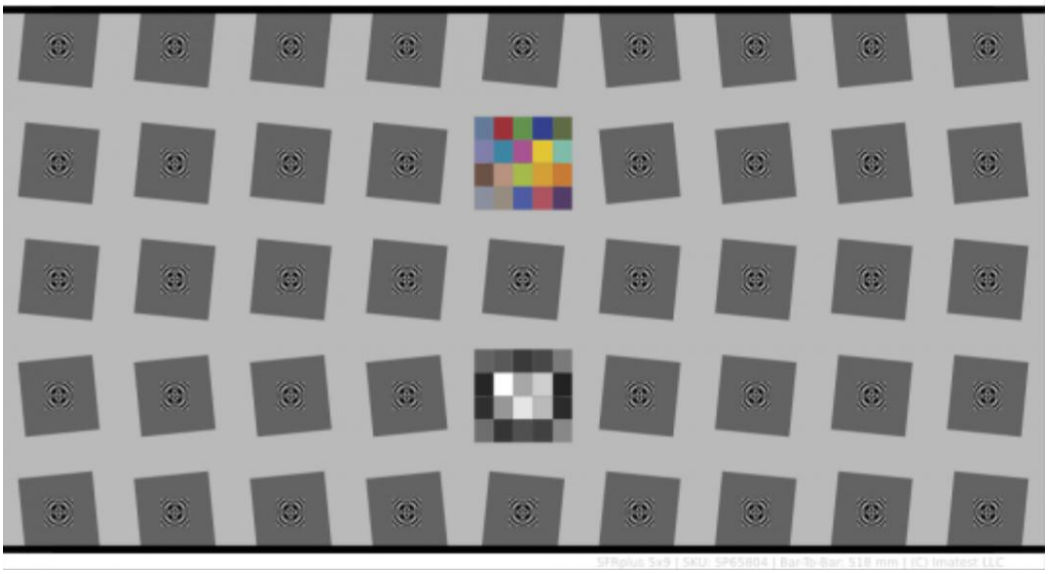


图 A.4 SFRplus测试图卡

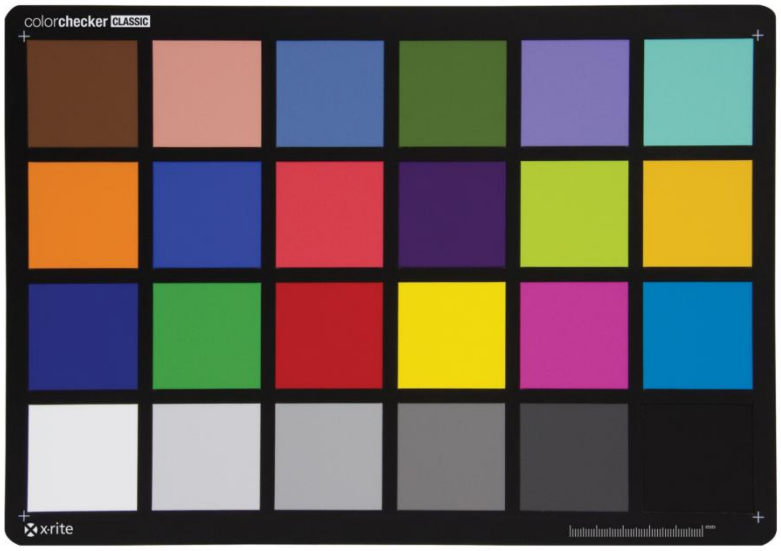


图 A.5 ColorChecker测试图卡

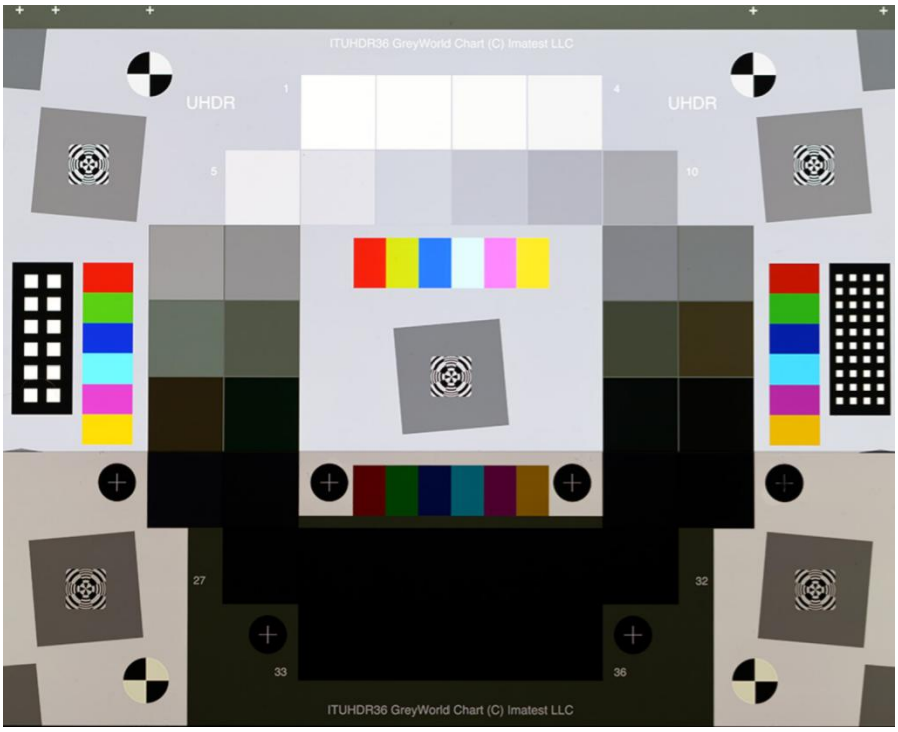


图 A.6 动态范围测试图卡

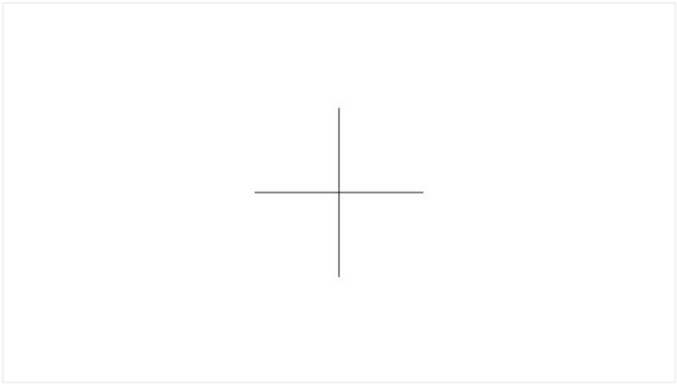


图 A.7 十字测试图卡