

T/CCIASC

中国计算机行业协会团体标准

T/CCIASC 0024—2024

虚拟现实设备评价规范

Evaluation Specification for Virtual Reality Devices

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国计算机行业协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 指标分类	2
5 评价指标	2
5.1 显示屏幕	2
5.1.1 显示分辨率	2
5.1.2 显示刷新率	2
5.2 光学方案	2
5.2.1 瞳距范围	3
5.2.2 出瞳距离和出瞳直径	3
5.2.3 虚像距离	3
5.2.4 双目合像精度	3
5.2.5 视场角	3
5.2.6 畸变	3
5.2.7 色散	3
5.2.8 中心角分辨率	3
5.2.9 全视场平均角分辨率	3
5.2.10 亮度对比度	3
5.2.11 调制对比度	3
5.3 交互技术	3
5.3.1 跟踪模式	3
5.3.2 角度漂移	3
5.3.3 转动跟踪误差	4
5.3.4 移动跟踪误差	4
5.3.5 移动灵敏度	4
5.3.6 转动灵敏度	4
5.3.7 移动跟踪范围	4
5.3.8 系统移动延迟	4
5.3.9 系统转动延迟	4
5.3.10 散热性	4
6 评价方法	4
6.1 显示屏幕	4
6.1.1 显示分辨率	4
6.1.2 显示刷新率	4
6.2 光学方案	4
6.2.1 瞳距范围	4

6.2.2	出瞳距离和出瞳直径	5
6.2.3	虚像距离	6
6.2.4	双目合像精度	6
6.2.5	视场角	7
6.2.6	畸变	7
6.2.7	色散	8
6.2.8	中心角分辨率	9
6.2.9	全视场平均角分辨率	9
6.2.10	亮度对比度	10
6.2.11	调制对比度	10
6.3	交互技术	11
6.3.1	跟踪模式	11
6.3.2	角度漂移	11
6.3.3	转动跟踪误差	12
6.3.4	移动跟踪误差	13
6.3.5	移动灵敏度	13
6.3.6	转动灵敏度	14
6.3.7	移动跟踪范围	14
6.3.8	系统移动延迟	14
6.3.9	系统转动延迟	16
6.3.10	散热性	17
7	评价规则	17
7.1	评价指标类型	17
7.2	级别判定	17
7.3	评价准则	18
7.3.1	一级虚拟现实设备评价准则	18
7.3.2	二级虚拟现实设备评价准则	18
7.3.3	三级虚拟现实设备评价准则	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。

本文件由中国计算机行业协会提出并归口。

本文件起草单位：中国软件评测中心（工业和信息化部软件与集成电路促进中心）、歌尔股份有限公司、青岛虚拟现实研究院有限公司、东北大学、爱威尔星空（北京）技术有限公司、歌尔科技有限公司、潍坊歌创未来技术开发有限公司、青岛国创灵境检验检测有限公司

本文件主要起草人：张晓丽、郭永振、卢丽芳、张尉、许鹏、张绍谦、刘耀诚、于洋、严小天、刘宁、高天寒、米庆巍、项征、李文昊、张金国、邵青汝、薛瑶、刘朝红、孙玉强、韩海云。

虚拟现实设备评价规范

1 范围

本文件规定了虚拟现实设备评价指标、检测方法和评价规则。

本文件适用于虚拟现实设备的设计、开发、应用和评价。本文件主要适用于虚拟现实、增强现实、混合现实等设备的检测与评价。

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 38258-2019 虚拟现实应用软件基本要求和测试方法

GB/T 38259-2019 信息技术虚拟现实头戴式显示设备通用规范

T/XRMA 0002-2023 虚拟现实与元宇宙产业联盟标准

SJ/T11348-2016 平板电视显示性能测量方法

3 术语和定义

GB/T 38258-2019、GB/T 38247-2019、GB/T 38259-2019界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

显示分辨率 display resolution

虚拟现实设备单个显示元件输出图像的分辨率。

注：引自GB/T 38259-2019, 3.14

3.2

亮度对比度 luminance contrast

虚拟现实设备显示元件中心位置在纯白图像(大亮度)和纯黑图像(小亮度)下的亮度的比值。

注：引自GB/T 38259-2019, 3.17

3.3

瞳距 inter-pupillary distance

虚拟现实设备两个光学系统(分别给双目使用)的光轴之间距离。

注：引自GB/T 38259-2019, 3.7

3.4

出瞳距离 exit pupil distance

出瞳平面与光轴交点到虚拟现实设备的光学目镜镜片外表面(靠近人眼一侧)的距离。

注：引自GB/T 38259-2019, 3.9

3.5

虚像距离 virtual image distance

虚拟现实设备所成虚像平面到出瞳(人眼瞳孔)的距离。

注：引自GB/T 38259-2019, 3.18

3.6

视场角 field of view

虚拟现实设备所形成的图像中，人眼可观察到图像的边缘与观察点(人眼瞳孔中心)连线的夹角。

注：引自GB/T 38259-2019, 3.5

3.7

色散 chromatic aberration

通过虚拟现实设备光学系统观察图像像元产生的图像时，产生的不同颜色分离及色彩失真的程度。

注:引自GB/T 38259-2019, 3.12

3.8

跟踪模式 tracking mode

虚拟现实设备能够被跟踪的自由度多少,分为无跟踪、三自由度跟踪、六自由度跟踪三种模式。

注:引自GB/T 38259-2019, 3.22

3.9

角度漂移 drift

虚拟现实设备经过随机旋转回到原位后,跟踪系统所测得的姿态与初始姿态之间的差值。

注:引自GB/T 38259-2019, 3.23

3.10

转动跟踪误差 rotation tracking error

虚拟现实设备在发生旋转时,跟踪系统所测得的姿态与实际姿态的平均偏差。

注:GB/T 38259-2019, 3.24

3.11

移动跟踪误差 translation tracking error

虚拟现实设备发生位移时,跟踪系统所测得的位移与实际位移的平均偏差。

注:引自GB/T 38259-2019, 3.25

3.12

移动灵敏度 translation resolution

虚拟现实设备在发生位移时,跟踪系统能够测得的最小位移。

注:引自GB/T 38259-2019, 3.27

3.13

转动灵敏度 rotation resolution

虚拟现实设备在发生旋转时,跟踪系统能够测得的最小旋转角度。

注:GB/T 38259-2019, 3.26

3.14

移动跟踪范围 tracking area

虚拟现实设备在移动位置时,能够跟踪的区域,注:以跟踪区域的面积来描述。

注:GB/T 38259-2019, 3.28

4 指标分类

本文从显示屏幕、光学方案、交互技术三个方面阐述评价指标。其中,显示屏幕包括显示分辨率、显示刷新率。光学方案包括瞳距范围、出瞳距离和出瞳直径、虚像距离、双目合像精度、视场角、畸变、色散、中心角分辨率、全视场平均角分辨率、亮度对比度、调制对比度。交互技术包括跟踪模式、角度漂移、转动跟踪误差、移动跟踪误差、移动灵敏度、转动灵敏度、移动跟踪范围、系统移动延迟、系统转动延迟、散热性。

5 评价指标

5.1 显示屏幕

5.1.1 显示分辨率

显示分辨率应大于等于1200(像素)*1080(像素)。

应由产品说明书列明。

5.1.2 显示刷新率

显示刷新率应大于等于60Hz。

应由产品说明书列明。

5.2 光学方案

5.2.1 瞳距范围

如果设备瞳距可调，最大瞳距应小于等于75mm，并且最小瞳距大于等于50mm；如果设备距不可调，瞳距值应在50mm至75mm之间。

5.2.2 出瞳距离和出瞳直径

出瞳距离应大于10 mm。

如果产品说明书没有标示出瞳距离，在出瞳距离为10mm的位置上出瞳直径应大于4mm；如果标示出瞳距离，在标示出瞳距离的位置上出瞳直径应大于4mm。

5.2.3 虚像距离

虚像距离应大于等于0.3m。

5.2.4 双目合像精度

水平汇聚角：水平方向不应存在发散角，水平汇聚角与标称偏差不应超过5%（合像距离在0.5-5m区间内）；

垂直发散角：垂直发散角绝对值小于 0.5° ；

相对像旋转角：相对像旋转角度绝对值小于 0.5° 。

注：双目合像精度仅适用于双目视觉近眼显示设备。

5.2.5 视场角

视场角应大于等于 90° 。

应由产品说明书列明。

5.2.6 畸变

在软件算法校正畸变之后，在0.3倍全视场角下，畸变应小于等于5%。其中百分比定义为：偏离的像素数除以同方向上的总像素数。

5.2.7 色散

在0.3倍全视场角下，色散应小于等于3%。其中百分比定义为：偏离的像素数除以同方向上的总像素数。

5.2.8 中心角分辨率

水平与垂直方向中心视场范围内应大于等于9PPD。

5.2.9 全视场平均角分辨率

水平与垂直方向均应大于等于8PPD。

5.2.10 亮度对比度

采用LCD的设备亮度对比度应大于300:1，采用OLED的设备亮度对比度应大于1000:1。

5.2.11 调制对比度

在二分之一奈奎斯特频率处的调制对比度应大于0.3。

5.3 交互技术

5.3.1 跟踪模式

对于支持跟踪的虚拟现实设备，至少支持3DOF，推荐支持6DOF。
应由产品说明书列明。

5.3.2 角度漂移

虚拟现实设备随机转动回到原位，角度漂移应小于等于 18° 。

5.3.3 转动跟踪误差

虚拟现实设备角度跟踪误差应保证每转动10°，误差小于等于2°。

5.3.4 移动跟踪误差

虚拟现实设备移动跟踪误差每移动100mm误差应小于5mm。

5.3.5 移动灵敏度

移动灵敏度应小于等于10mm。

5.3.6 转动灵敏度

转动灵敏度应小于等于5°。

5.3.7 移动跟踪范围

跟踪范围小于3m*3m为桌面尺度跟踪，跟踪范围不小于3m*3m为房间尺度跟踪(或称为大范围尺度跟踪)。并应由产品说明书列明。

对于跟踪范围无限大的虚拟现实设备，应由产品说明书规定推荐使用范围来供用户参考。

5.3.8 系统移动延迟

系统移动延迟应小于等于20ms，并应由产品说明书列明。

5.3.9 系统转动延迟

系统转动延迟应小于等于20ms，并应由产品说明书列明。

5.3.10 散热性

运行标准试验场景状态下，使用15分钟后，设备表面温度应小于等于60°C。

6 检测方法

6.1 显示屏幕

6.1.1 显示分辨率

将待测虚拟现实设备光学系统拆下，将复合测试图加到显示器，将显示器调整到 SJ/T 11348-2006 的 4.4.2 规定的标准工作状态，测试并记录显示器物理的水平像素数及垂直像素数，测量结果表述成水平像素数乘以垂直像素数的形式。

6.1.2 显示刷新率

- 通过预置程序，使得虚拟现实设备的显示部分以最快频率刷新画面，交替显示白画面与黑画面；
- 用示波器连接光敏探测器，将探测器固定在显示屏幕的中心位置；
- 调整示波器显示光敏探测器电流变化周期 T。

则显示刷新率见式（1）：

$$FC = \frac{2}{T} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

FC——显示刷新率；

T——周期。

6.2 光学方案

6.2.1 瞳距范围

a) 确定两个目镜的光学中心，用瞳距尺测量两点之间的距离，该距离为虚拟现实备光学系统的双目入射光瞳中心距离 PD，见图 1。

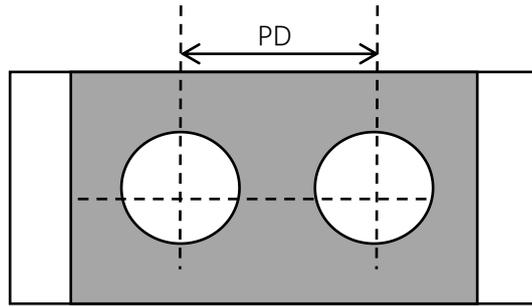


图 1 瞳距试验示意图

b) 将设备的 PD 调宽，按照上述双目入射光瞳中心距离定义测量出设备的最宽瞳距。同理将设备的 PD 调窄，测出设备的最窄瞳距。则设备的光学系统的双目入射光瞳中心距离的物理调节范围见式 (2)：

$$\Delta PD = PD_{max} - PD_{min} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔPD —— 双目入射光瞳中心距离的可调节范围，单位为毫米 (mm)；

PD_{max} —— 设备宽瞳距，单位为毫米 (mm)；

PD_{min} —— 设备窄瞳距，单位为毫米 (mm)。

6.2.2 出瞳距离和出瞳直径

a) 出瞳直径和出瞳距离为相关测量，表示为出瞳距离为 L 条件下，出瞳直径为 D。

b) 搭建针孔相机 (孔径小于或等于 1mm) 和以针孔相机入瞳中心为原点的六轴调整机构组成的专用设备，专用设备连接图像显示设备将针孔相机的图像显示在图像显示设备上以便观看。专用设备可以用于调整针孔相机的位移，并且可以绕针孔相机的入瞳中心进行三维方向旋转。试验装置示意图见图 2。

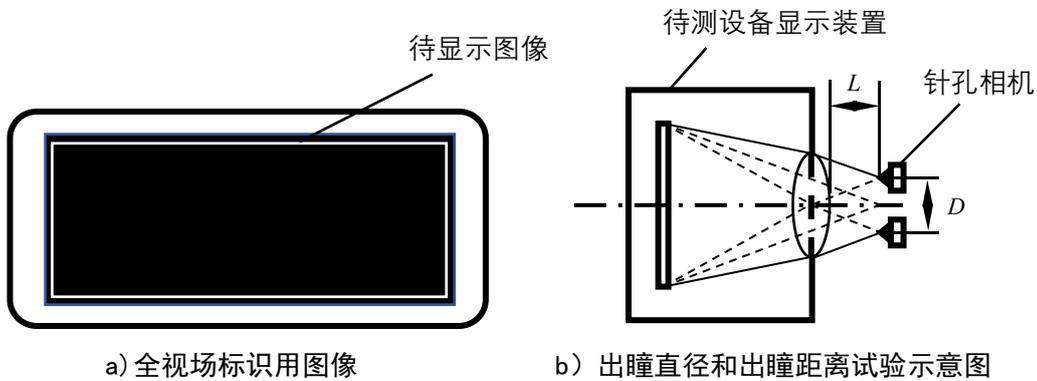


图 2 出瞳直径和出瞳距离实验装置示意图

具体试验过程如下：

a) 初始化：

- 1) 按照设备自身的视场，显示全视场边框图像 [如图 2a) 所示]；
- 2) 放置针孔相机于距离镜片表面 L 处。

b) 测量出瞳直径：

1) 人眼可以观察到全部视场的三维区域为眼瞳箱，调整针孔相机使其沿双眼连线平行方向移动，通过专用设备三维方向的旋转可以通过图像显示设备看到全视场图像，在该方向上两点 AB 形成的线段上的点都可以看到全视场，线段 AB 外的点都看不全整个视场，则线段 AB 的长度为待测设备显示器在该方向上的眼瞳箱长度 D_x ；

2) 调整针孔相机使其沿双眼连线垂直方向移动，重复上述步骤，得到待测设备显示器在该方向的眼瞳箱长度 D_y 。

则待测设备显示器在出瞳距离 L 处的出瞳直径 D 见式(3):

$$D = \min(D_x - D_y) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

D ——在出瞳距离 L 处的出瞳直径, 单位为毫米(mm);

D_x ——待测设备显示器在水平方向上的眼瞳箱长度, 单位为毫米(mm);

D_y ——待测设备显示器在垂直方向上的眼瞳箱长度, 单位为毫米(mm)。

6.2.3 虚像距离

虚像透过物镜成像, 用图像传感器接收图像, 采用自动定焦算法结合位置传感器找到最佳像面位置, 此位置对应一个唯一的虚像距离, 计算可得。

测试设备与被测产品正确连接, 保证二者光轴重合, 被测产品的出瞳与测试设备的入瞳重合。用测试设备的探测器接收被测虚像, 通过自动定焦算法确定最佳成像位置, 通过记录移动的距离或者计算方法得到测试设备探测器到像方焦平面距离, 代入式(4)可得到虚像距离。试验见图 3。

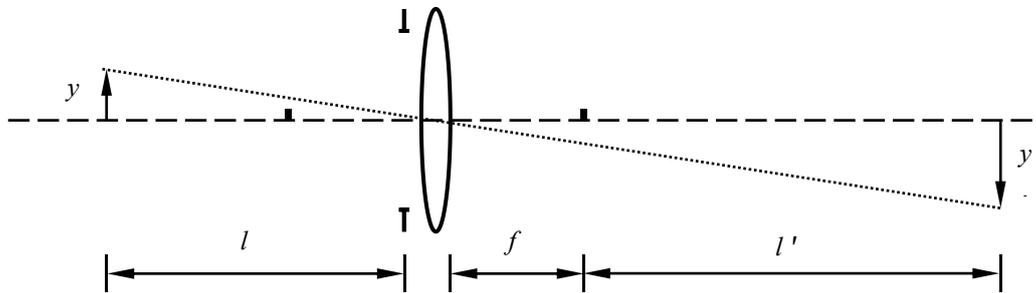


图 3 虚像距离试验示意图

则虚像距离见式(4):

$$l = \frac{f'^2}{l'} + f' \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

l ——虚像距离, 单位为毫米(mm);

f' ——测试设备焦距, 单位为毫米(mm);

l' ——测试设备探测器到像方焦平面距离, 单位为毫米(mm)。

测试设备的焦距事先指定。

6.2.4 双目合像精度

双目合像的测量前提是 DUT 的瞳距已知。双目合像测量中采用图像测量设备作为光学测量装置, 可以采用十字光标测试图像作为测试图像。

测试步骤如下:

- a) DUT 显示十字光标测试图像;
- b) 调节光学测量装置的入瞳中心位置位于 DUT 的左眼虚像光学系统眼点位置;
- c) 光学测量装置的光轴平行于 DUT 的光并;
- d) 根据已知的瞳距, 沿着左眼虚像光学系统眼点位置的坐标系沿 X 轴平移光学测量装置, 直至光学测量装置位于右眼虚像光学系统的眼点位置;
- e) 以光学测量装置当前位置为基准, 采用六轴运动平台依次调节光学测量装置水平方向角度使得虚像十字中心与光学测量装置图像中心在水平方向上重合, 记录调整角度 φ_x ; 当光轴角度调整方向为指向左眼方向时, 为水平汇聚, 反之为发散;
- f) 调整光学测量装置垂直方向角度, 使得虚像十字中心与光学测量装置图像中心在垂直方向上重合, 记录调整角度为垂直发散角 θ_y ;
- g) 调整光学测量装置光轴旋转角度, 使得虚像十字水平线与光学测量装置图像水平线对齐, 记录调整角度为相对像旋转角 θ_z ;
- h) 根据以上步骤输出最终的垂直发散角、水平汇聚角、相对像旋转角。

6.2.5 视场角

a) 将虚拟现实设备置于分光计载物台上，调整虚拟现实设备以保证一个目镜的出瞳中心置于分光计转台中心为准，保证与双眼连线平行方向和分光计转台旋转平面平行，试验软件控制虚拟现实设备中全视场标识显示。

b) 通过安装在分光计的前置镜对准虚拟现实设备中的可观察到的两侧最大的显示区域边缘(通过图像检测装置捕获下降到中心亮度的10%位置)，同时记录下分光计度盘刻度左右两侧的度盘刻度差为水平视场角 θ ，即是装置的视场角，其中照明灯和照明棱镜目的是为分划板提供照明，可以由其他照明方式替代，目镜可以由图像检测装置替代。试验装置见图4。

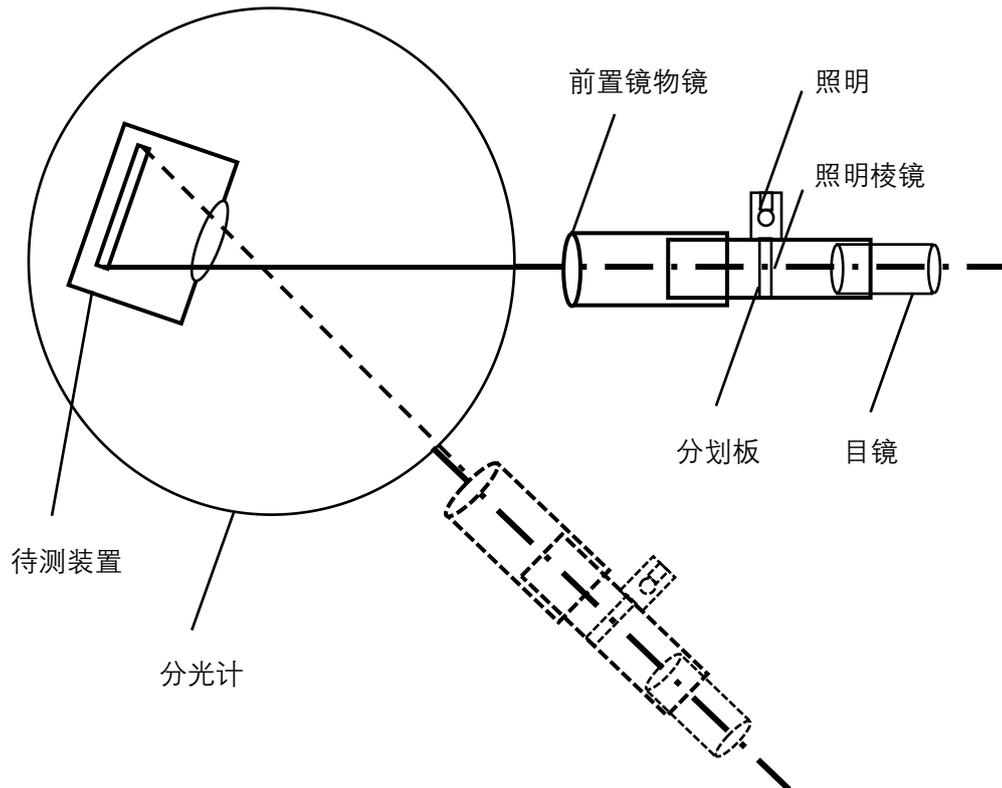


图4 视场角试验示意图

分光计前置镜前需安装狭缝保证细光线成像条件，所使用的前置镜的物镜焦距宜不小于200mm，目镜放大倍数不小于5倍。

6.2.6 畸变

a) 将虚拟现实设备置于分光计载物台上；

b) 调整虚拟现实设备以保证一个目镜设计出瞳中心置于分光计转台中心为准，另外，保证待测的视场方向(例如测水平方向畸变，视场方向为与双眼连线平行方向)和分光计转台旋转平面平行；

c) 在虚拟现实设备的屏幕上显示0.1倍全视场圆环图像，以及待测视场角(如0.9倍全视场角、0.7倍全视场角或者0.3倍全视场)下的圆环图像(见图5)，所述不同视场角下的圆环图像均为整机畸变矫正后的图像，如虚拟现实设备视场角为 100° ，0.1倍、0.3倍、0.7倍以及0.9倍全视场分别对应整机畸变矫正后 10° 、 30° 、 70° 以及 90° 视场角对应的图像位置，对于没有软件矫正的虚拟现实设备，0.1倍、0.3倍、0.7倍以及0.9倍全视场分别对应0.1倍、0.3倍、0.7倍以及0.9倍全像高的位置；

d) 通过安装在分光计的前置镜对准虚拟现实设备中的可观察到的两侧最大的显示区域边缘(目视或通过图像检测装置捕获)，同时记录下分光计度盘刻度；

e) 0.1倍全视场圆环图像的两侧边缘左右两侧的度盘刻度差为 ω_0 。待测视场角白色圆环图像的两侧边缘左右两侧的度盘刻度差为实际显示视场角 ω_R ，测量过程中，待前置镜对准圆环亮线的中心，进行度盘刻度的读取。

则系统在 β 倍全视场角下的畸变 $\Delta\omega_i$ ，见式(5)：

$$\Delta\omega_i = 1 - \frac{\beta}{0.1} \times \frac{\omega_0}{\omega_R} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\Delta\omega_i$ ——系统在 β 倍全视场角下的畸变；

β ——待测视场角相对于全视场角的比例；

ω_0 ——待测设备实际显示的 0.1 倍全视场角下的显示视场角；

ω_R ——待测设备实际显示的待测视场角。

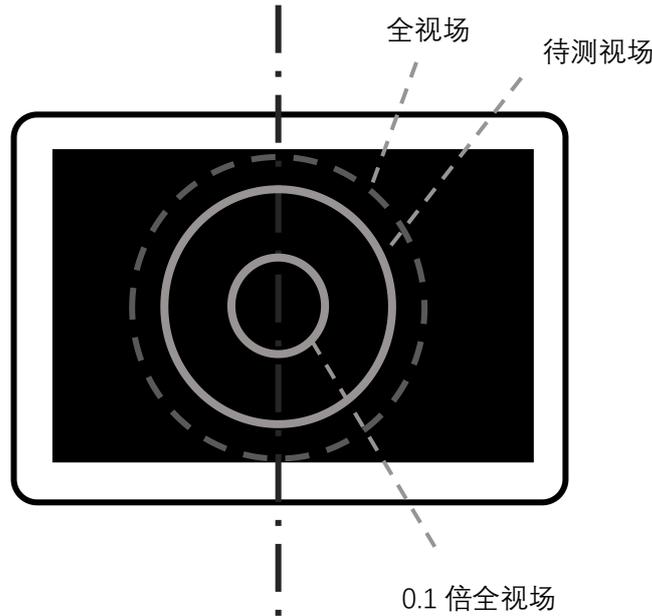


图 5 畸变试验示意图

6.2.7 色散

- a) 将虚拟现实设备置于分光计载物台上；
- b) 调整虚拟现实设备以保证一个目镜设计出瞳中心置于分光计转台中心为准，另外，保证待测的视场方向(例如测水平方向畸变，视场方向为与双眼连线平行方向)和分光计转台旋转平面平行；
- c) 在虚拟现实设备的屏幕上显示指定的方框图像，方框图像为整机畸变矫正后的图像(见图 6)，圆环图像的两侧边缘分别对应视场角为 $+\omega_i$ 和 $-\omega_i$ ；
- d) 虚拟现实设备分别显示蓝色、绿色、红色三种颜色的图像；
- e) 通过安装在分光计的前置镜对准虚拟现实设备中的可观察到的两侧最大的显示区域边缘(目视或通过图像检测装置捕获)，同时记录下分光计度盘刻度；
- f) 左右两侧的度盘刻度差为实际显示视场角，对应蓝色、绿色、红色三种颜色图像，其显示视场角分别为 ω_{blue} 、 ω_{green} 、 ω_{red} 。

系统色散见式(6)：

$$\Delta\omega_{i,color} = \max \left\{ \frac{|\omega_{blue}-\omega_{green}|}{\omega_i}, \frac{|\omega_{blue}-\omega_{red}|}{\omega_i}, \frac{|\omega_{red}-\omega_{green}|}{\omega_i} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\Delta\omega_{i,color}$ ——系统在半视场角 ω_i 下的色散；

ω_i ——待测半视场角；

ω_{blue} ——待测设备蓝色图像实际显示视场角；

ω_{red} ——待测设备红色图像实际显示视场角；

ω_{green} ——待测设备绿色图像实际显示视场角。

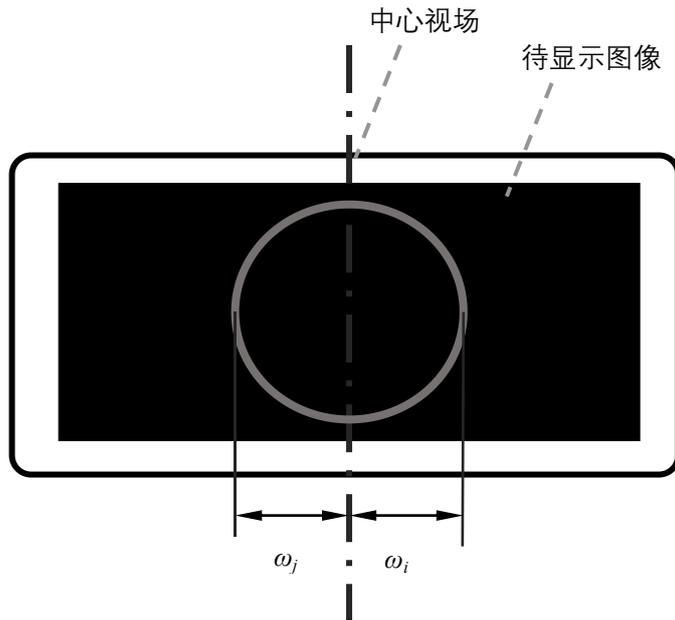


图 6 色散试验示意图

6.2.8 中心角分辨率

- a) 利用 6.2.5 测定待测设备的视场角，通过假设的系统平台获得中心视场的位置；
- b) 调整分光计上前置镜的位置，使其所在的角度为距离中心视场-2.5°位置处；
- c) 在显示元件上运行试验程序，扫描图像见图 7，对其像素位置坐标编号(按照笛卡尔直角坐标系)，并逐行进行扫描自左向右扫描坐标，每次只有一列像素为白色，其余为黑色，每次点亮 0.5s，直至扫描完整个屏幕，找到和前置镜分划板叉丝重合的像素坐标编号为 P₁；
- d) 将分光计上前置镜的位置调整到距离中心视场2.5°位置处，重复上述显示试验程序内容，找到和前置镜分划板叉丝重合的像素坐标编号为 P₂。

则中心角分辨率α见式(7)：

$$\alpha = \frac{P_2 - P_1}{5} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- α——中心角分辨率；
- P₁——虚像距离，单位为毫米(mm)；
- P₂——测试设备焦距，单位为毫米(mm)。

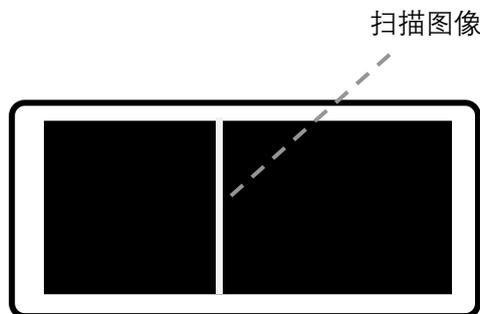


图 7 中心角分辨率试验示意图

6.2.9 全视场平均角分辨率

根据6.2.5和6.1.1测定的视场角和显示分辨率的试验方法测定待测虚拟现实显示装置的水平或垂直视场角和单目可看到水平或者垂直有效像素数分别为 θ 和 P' 。

则全视场水平或者垂直平均角分辨率 α_{avg} 见式(8)：

$$\alpha_{avg} = \frac{P'}{\theta} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

α_{avg} ——全视场水平或者垂直平均角分辨率；

P' ——有效像素数；

θ ——视场角。

6.2.10 亮度对比度

- a) 将虚拟现实设备与亮度计置于暗室中，将亮度计放置在虚拟现实设备的出瞳位置；
- b) 启动虚拟现实设备，显示纯黑图像，记录此时的亮度值，10min内重复记录3次，取亮度平均值 L_{min} ；

c) 显示纯白图像，记录此时的亮度值，10min内重复记录3次，取亮度平均值 L_{max} 。

则亮度对比度见式(9)：

$$C = \frac{L_{max}}{L_{min}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

C ——亮度对比度；

L_{max} 纯白图像亮度的平均值，单位为坎德拉每平方米(cd/mm^2)；

L_{min} 纯黑图像亮度的平均值，单位为坎德拉每平方米(cd/mm^2)。

6.2.11 调制对比度

调制对比度的测量中应采用图像测量设备作为光学测量装置，且图像测量设备的测量场应不低于 5° 。

DUT应当安装在稳定的平台上以确保显示图像稳定性。光学测量装置与DUT之间的相对位置通过六轴运动平台进行调节。测试前，应调节光学测量装置的位置，确保光学测量装置的入瞳中心位于DUT的眼点位置，光学测量装置的光轴平行于DUT的光轴。

采用九点法对DUT的虚像进行调制对比度测试。

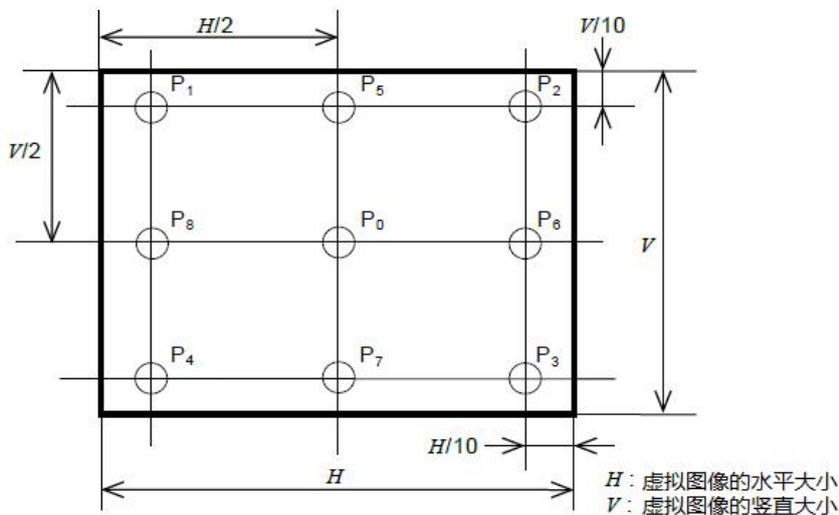


图8 九点法位置示意图

测试步骤如下：

- a) 根据俯仰角 θ ，方位角 ϕ ，调节光学测量装置至特定的距离和观察方向；
- b) DUT显示垂直线对调制对比度测试图像；

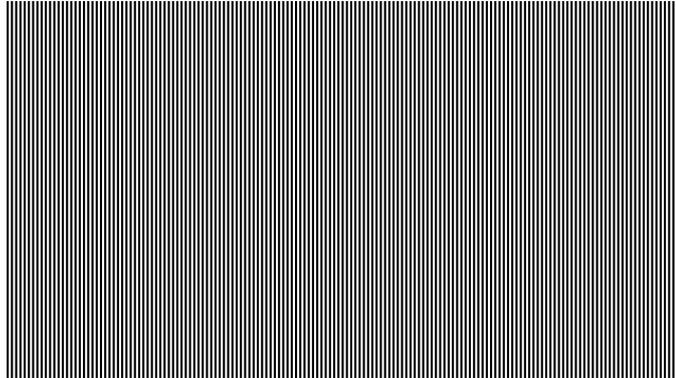


图 9 调制对比度测试图像

- c) 调节光学测量装置的焦距使得暗条纹和亮条纹亮度差最大；
- d) 在 P_0 点测试DUT的图像，获得最大的相对亮度值 $L_{vM,0}$ 和最小的相对亮度值 $L_{vm,0}$ ；
- e) 重复步骤4对其他测试点进行测试；
- f) 更换水平像素线对调制对比度测试图，重复a)到e) 的操作，并根据公式计算在像素线对调制对比度测试图下的调制对比度；
- g) 根据需要，更换其它像素宽度线对调制对比度测试图，并重复a)~f) 的步骤。

调制对比度见式 (10)：

$$C_{m,j} = \frac{L_{vM,i} - L_{vm,i}}{L_{vM,i} + L_{vm,i}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- $C_{m,j}$ —— P_i 点的调制对比度；
- $L_{vM,i}$ ——测试点 P_i 点处测量场的最大亮度；
- $L_{vm,i}$ ——测试点 P_i 点处测量场的最小亮度。

6.3 交互技术

6.3.1 跟踪模式

- a) 测试方法：
 - 1) 在虚拟现实设备上运行虚拟现实应用软件；
 - 2) 检查虚拟现实应用软件能否读取虚拟现实设备自身的位置姿态数据。
- b) 预期结果：
 - 1) 虚拟现实专用软件在头盔中正常运行；
 - 2) 位置姿态数据的读取有以下4种情况：
 - i) 能够读取数据, 返回位置数据与姿态数据；
 - ii) 能够读取数据, 返回姿态数据；
 - iii) 能够读取数据, 返回数据为空；
 - iv) 不能够读取数据。
- c) 结果判定：
 - 1) 若为预期结果b)2) i)，则该设备的跟踪模式判定为6DOF；
 - 2) 若为预期结果b)2) ii)，则该设备的跟踪模式判定为3DOF；
 - 3) 若为预期结果b)2) iii)，则该设备的跟踪模式判定为0DOF或不具有跟踪功能；
 - 4) 若为预期结果b)2) iv)，则该设备的跟踪模式判定为0DOF或不具有跟踪功能。

6.3.2 角度漂移

用于试验虚拟现实设备放置在转动平台上，见图10，从上向下看，逆时针转动为正方向，进行如下操作：

- a) 将头盔固定在转台上，运行程序记录此时的姿态。
- b) 令转台随机以±10°、±20°、±30°转动，转速以5°/s、10°/s、20°/s随机分配到每次转动中。保证经过10次转动后头盔回到最初位置，再次记录此时的姿态。
- c) 计算设备在初始位置和停止位置之间的姿态差值，为单次实验的角度漂移。
- d) 重复进行10次实验，取最大值为该设备的角度漂移值。

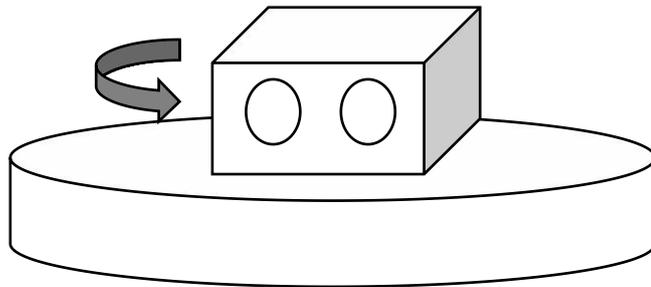


图 10 角度漂移测试设备

6.3.3 转动跟踪误差

虚拟现实设备按照逆时针转动方式，测其绕X、Y、Z轴转动的角度跟踪误差(对于部分依靠头盔自身传感器定位跟踪方案的设备，测量x轴旋转时可以将设备翻转向上，保证跟踪不会因为摄像机的遮挡而被干扰)，见图11。

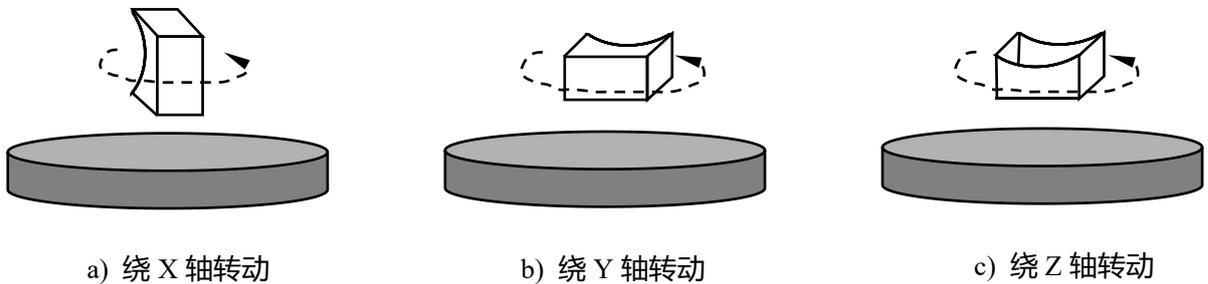


图 11 设备显示器转动方向规定

在进行该测量时，规定设备显示器的“姿态数据”的计算方法为：将虚拟现实设备静置在待测量点，读取100个跟踪系统测得的跟踪姿态，取其均值作为设备在该测量点的姿态数据。

具体试验过程如下：

- a) 将高精度光学平台放置在由厂家提供的有效测量区域中，使设备显示器固定在平台上进行转动；
- b) 令设备以 10°为固定转动角进行转动，10min内完成9次转动，得到10个记录点的姿态数据，要求每次转动间隔不超过1min，每次转动速度不低于10°/s；

计算各个记录点与其相邻记录点之间的夹角 $\theta_i (i = 1, 2, 3, \dots, 9)$ 。

则设备的转动跟踪误差见式(11)：

$$RTE = \left| \theta_{step} - \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^N \theta_i \right| (n = 9) \dots\dots\dots (11)$$

式中：

RTE ——转动跟踪误差；

θ_{step} ——固定转动角；

θ_i ——各个记录点与其相邻记录点之间的夹角；

N——总转动次数。

6.3.4 移动跟踪误差

试验环境无光照要求,高精度光学平台的平移精度为0.1mm及以上,高精度光学平台的旋转精度为0.1及以上。虚拟现实设备的坐标系见图12。

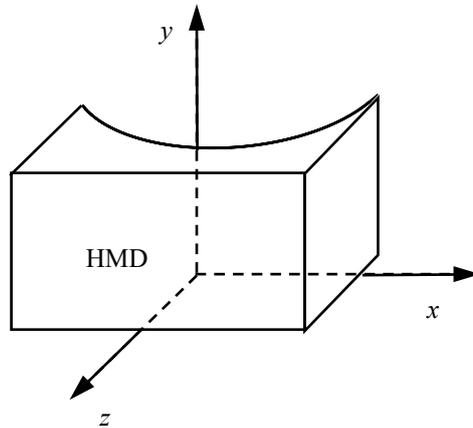


图 12 虚拟现实设备显示器坐标系规定

在进行该测量时,规定设备显示器的“位置数据”的计算方法为:将虚拟现实设备静置在待测量点,读取100个跟踪系统测得的跟踪位置,取其均值作为设备在该测量点的位置数据。

具体试验过程如下:

- a) 将高精度光学平台放置在由厂家提供的有效测量区域中,使设备显示器固定在平台上进行平移;
- b) 令设备以100mm为步长步进,完成9次步进,得到10个记录点的位置数据,要求每次步进间隔不超过1min,每次步进速度不低于0.1m/s;
- c) 计算各个记录点与其相邻记录点之间的距离 $d_i (i = 1, 2, 3, \dots, 9)$ 。

则设备的移动跟踪误差见式(12):

$$TTE = \left| d_{step} - \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n d_i \right| (n = 9) \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

TTE——移动跟踪误差;

d_{step} ——步长,单位为毫米(mm);

d_i ——各个记录点与其相邻记录点之间的距离,单位为毫米(mm);

n——总步进次数。

6.3.5 移动灵敏度

试验环境无光照要求,高精度光学平台的平移精度为0.1mm及以上,高精度光学平台的旋转精度为0.1及以上。虚拟现实设备的坐标系见图12。

在进行该测量时,规定设备显示器的“位置数据”的计算方法为:将虚拟现实设备静置在待测量点,读取100个跟踪系统测得的跟踪位置,取其均值作为设备在该测量点的位置数据。

具体试验过程如下:

- a) 将高精度光学平台放置在由厂家提供的有效测量区域中,并将设备显示器的X/Y/Z轴与高精度光学平台的平移方向重合,记录起始点的位置数据;
- b) 移动距离L,记录该点的位置数据,若该点的位置数据与起始点位置数据之间的距离 L' 满足 $0.5L < L' < 1.5L$,则本次移动被检测到,该L有效;
- c) 减小L,重复步骤a)、b),直至移动不能被检测,则根据表1,按此时的L划分设备在X/Y/Z轴的移动灵敏度等级。

表 1 移动灵敏度分级

L 取值 (mm)	$0 \leq L \leq 2.0$	$2.0 \leq L \leq 5.0$	$5.0 \leq L \leq 10.0$
灵敏度等级	达到 2.0mm	达到 5.0mm	达到 10.0mm

6.3.6 转动灵敏度

虚拟现实设备按照逆时针转动方式，测其绕X、Y、Z轴转动的角度跟踪误差(对于部分依靠头盔自身传感器定位跟踪方案的设备，测量Z轴旋转时可以将设备翻转向上，保证跟踪不因为摄像机的遮挡而被干扰)，见图11。

在进行该测量时，规定设备显示器的“姿态数据”的计算方法为：将虚拟现实设备静置在待测量点，读取100个跟踪系统测得的跟踪姿态，取其均值作为设备在该测量点的姿态数据。具体试验过程如下：

a) 将高精度光学平台放置在由厂家提供的有效测量区域中，并将设备显示器的X/Y/Z轴与高精度光学平台的转轴重合，记录起始点的姿态数据；

b) 转动角度 α ，记录该点的姿态数据，若该点的姿态数据与起始点姿态数据之间的夹角 α' 满足 $0.5\alpha < \alpha' < 1.5\alpha$ 则本次转动被检测到，该 α 有效；

c) 减小 α ，重复步骤a)、b)，直至转动不能被检测，则根据表2，按此时的 α 划分设备在X/Y/Z轴的移动灵敏度等级。

表 2 转动灵敏度分级

α 取值 (°)	$0 \leq \alpha \leq 1.0$	$1.0 \leq \alpha \leq 2.0$	$2.0 \leq \alpha \leq 5.0$
灵敏度等级	达到 1.0°	达到 2.0°	达到 5.0°

6.3.7 移动跟踪范围

具体试验过程如下：

a) 将虚拟现实设备固定在高度为170cm的支架上，放置在跟踪空间内。由厂家提供3个至5个初始位置，保证设备在此位置时可以返回位置数据。

b) 将虚拟现实设备放置在初始位置，在空间内向一个测试方向移动，直到跟踪信号消失，记录信号消失的位置，见图13。

c) 然后返回初始位置，再向下一个测试方向移动，直到8个测试方向都探测到跟踪边缘。然后更换到下一个初始位置，将3个至5个测试位置的数据全部记录。

d) 所有边界点在水平面的投影可连成一个多边形，此多边形的面积即为设备的移动跟踪范围。

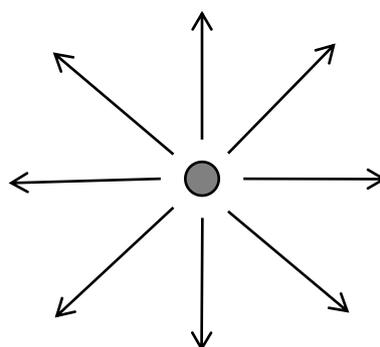


图 13 黑点为初始位置，8 个箭头为测试方向

6.3.8 系统移动延迟

试验进行时，应保证虚拟现实设备在运动过程中，均能够反馈自己的六自由度位置信息，以免出现无测量数据返回或其运动到跟踪范围以外而带来的大幅测量偏差。

光编码轨道的长度为0.5m~1m,光敏传感器的采样率1kHz以上,可控传动设备要求可以带动虚拟现实设备进行匀速平移或旋转,示波器的采样率100MHz以上。

移动延迟试验装置见图14,一个光敏传感器(设为 S_1)被固定在虚拟现实设备的视窗上,另一个光敏传感器(设为 S_2)固定在设备托盘(托盘与设备的位置相对固定)上,并紧贴光编码轨道,本试验中设光敏传感器在有光输入时输出高电平,否则输出低电平。

光编码轨道由相同大小的发光面板组成(亦可将一个大的发光面板分划为多个等面积的部分),通过点亮/熄灭的方式,形成亮暗相间的轨道,设亮面板为1,暗面板为0,则参考配置为111001010101011100,以该方向为正方向。

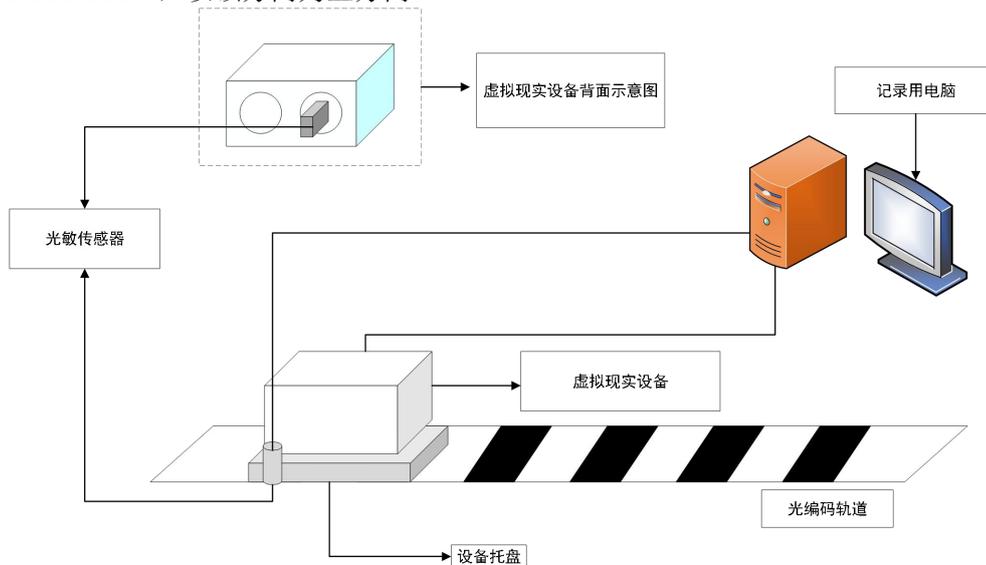


图 14 移动延迟试验装置

通过移动延迟试验装置进行试验,具体试验过程如下:

a) 初始化:

使用传动装置带动虚拟现实设备以小于0.05 m/s的速度沿着光编码轨道进行匀速移动,并通过光敏传感器 S_2 记录波形变化,当波形跳变时,记录下此时虚拟现实设备计算出的位置坐标。

b) 测试:

1) 运行延迟测试程序,使设备显示器在 S_2 输出高电平的位置显示白色画面,输出低电平的位置显示黑色画面;

2) 将虚拟现实设备放置在光编码轨道的一端,然后使用传动装置带动设备在滑轨上移动,并保证设备中间的1010101010部分进行速度为0.5m/s的匀速运动;

3) 按照步骤2),在滑轨上往返一次为一组,共进行10组运动,并使用计算机记录传感器产生的信号;

4) 对记录的信号进行数据处理,见图15,以光编码轨道的黑白交界处K为纵坐标,以 S_1 信号上升沿与下降沿的时间T为横坐标,拟合出图中实线信号,同时,还可以以 S_2 信号上升沿与下降沿的时间 T' 为横坐标,拟合出图中虚线信号(横坐标中未标明 T');

5) 对每一组上升或下降的实线与虚线,求其平移的时间差,然后将所有时间差取均值,即为该设备的移动延迟时间。

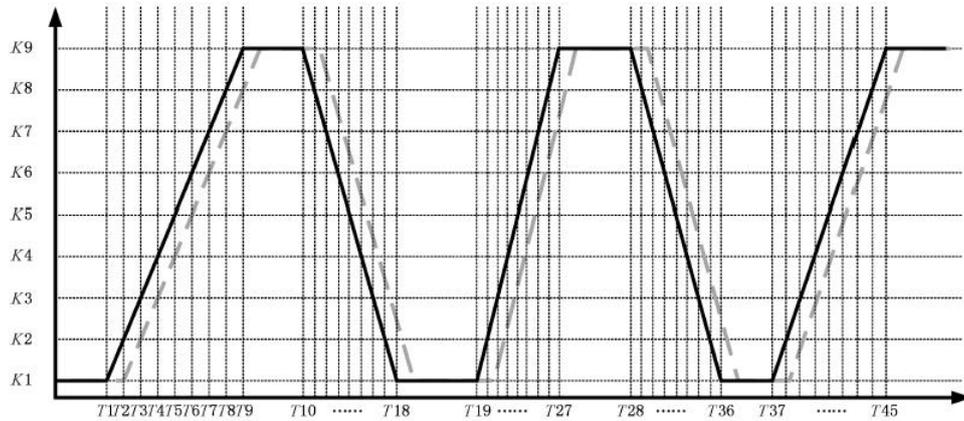


图 15 移动延迟信号测试

6.3.9 系统转动延迟

试验进行时，应保证虚拟现实设备在运动过程中，均能够反馈自己的六自由度位置信息，以免出现无测量数据返回或其运动到跟踪范围以外而带来的大幅测量偏差。

光编码轨道的长度为 $0.5\text{m}\sim 1\text{m}$ ，光敏传感器的采样率 1KHz 以上，可控传动设备要求可以带动虚拟现实设备进行匀速平移或旋转（参考设备：机械臂），示波器的采样率 100MHz 以上。

转动延迟试验装置见图16，一个光敏传感器（设为 S_1 ）被固定在虚拟现实设备显示设备的视窗上，另一个光敏传感器（设为 S_2 ）固定在设备托盘（托盘与设备的位置相对固定）上，并紧贴光编码旋转台，本试验中设光敏传感器在有光输入时输出高电平，否则输出低电平。

光编码轨道由相同大小的发光面板组成（亦可将一个大的发光面板分划为多个等面积的部分），通过点亮 / 熄灭的方式，形成亮暗相间的旋转台，设亮面板为1，暗面板为0，则参考配置为111001010101011100，由起始位置逆时针为正方向。

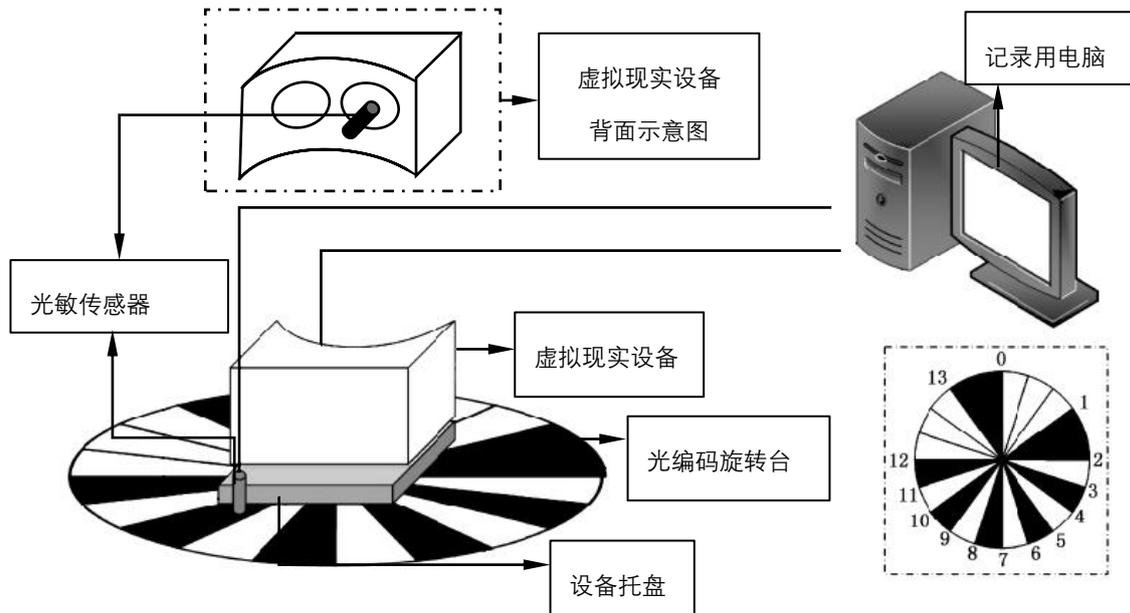


图 16 转动延迟试验装置

通过转动延迟试验装置进行试验，具体试验过程如下：

a) 初始化:

使用传动装置带动虚拟现实设备显示设备以小于 $0.1^\circ/\text{s}$ 的速度沿着光编码旋转台进行匀速转动,并通过光敏传感器 S_2 记录波形变化,当波形跳变时,记录下此时显示设备计算出的位置坐标。

b) 测试:

1) 运行延迟测试程序,使头盔在 S_2 输出高电平的位置显示白色画面,输出低电平的位置显示黑色画面;

2) 将虚拟现实显示设备放置在光编码旋转台的起始位置,然后使用传动装置带动设备在旋转台上转动,并保证设备在中间的10101010部分进行角速度为 $10^\circ/\text{s}$ 的匀速转动;

3) 按照步骤2),在转台上顺、逆时针转动一次为一组,共进行10组运动,并使用计算机记录传感器产生的信号;

4) 对记录的信号进行数据处理,见图17,以光编码旋转台的黑白交界处 K 为纵坐标,以 S_1 信号上升沿与下降沿的时间为横坐标,拟合出图中黑色实线信号,同时,还可以以 S_2 信号上升沿与下降沿的时间 T' 为横坐标,拟合出图中灰色虚线信号(横坐标中未标明 T');

5) 对每一组上升或下降的实线与虚线,求其平移的时间差,然后将所有时间差取均值,即为该设备的转动延迟时间

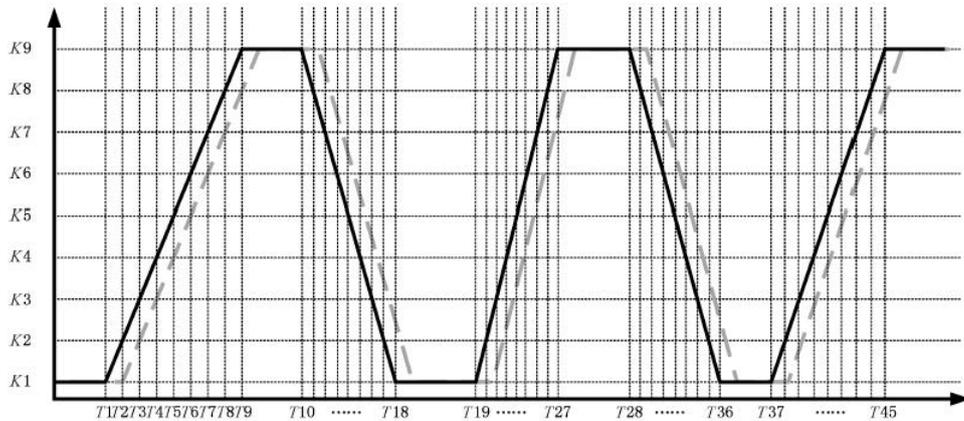


图 17 转动延迟信号测试

6.3.10 散热性

具体试验过程如下:

a) 设备放置于可以精确控制温度及湿度的恒温恒湿柜当中;

b) 使用经过标定过的标准数据采集仪,采集温度信号,测量端为标定过的T型热电偶,利用标准数据采集仪所带软件,实时读取转化成的温度信号值;

c) 环境温度取 25°C ,产生双目全分辨率视频进行连续播放,先用红外温度仪取得温度最高的3个点,将3个点与热电偶进行连接,开始采集温度曲线,待温度达到稳态时,记录对应曲线中的最高温度,比较3个点的温度值,取3个点温度的最高值;

d) 待设备恢复到常温后,重复进行上述测试3次,取三次测量得到的温度值的平均值作为表征散热性的温度值。

7 评价规则

7.1 评价指标类型

评价指标类型宜分为三类:必须评价项(M)、可选评价项(O)、不适用评价项(N)。

7.2 级别判定

虚拟现实设备宜由高到低分为三级:一级、二级、三级。各个级别的评价指标分布详见表3。

表3 虚拟现实设备级别判定表

序号	类别	指标名称	一级	二级	三级
1	显示屏幕	显示分辨率	M	M	M
2		显示刷新率	M	M	M
3	光学方案	瞳距范围	M	M	M
4		出瞳距离和出瞳直径	M	M	M
5		虚像距离	M	O	O
6		双目合像精度	M	M	M
7		视场角	M	M	M
8		畸变	M	O	O
9		色散	M	O	N
10		中心角分辨率	M	M	M
11		全视场平均角分辨率	M	M	M
12		亮度对比度	M	M	M
13		调制对比度	M	M	M
14	交互技术	跟踪模式	M	M	M
15		角度漂移	M	M	M
16		转动跟踪误差	M	N	N
17		移动跟踪误差	M	O	O
18		移动灵敏度	M	O	O
19		转动灵敏度	M	N	N
20		移动跟踪范围	M	O	N
21		系统移动延迟	M	M	O
22		系统转动延迟	M	M	O
23		散热性	M	M	M

7.3 评价准则

7.3.1 一级虚拟现实设备评价准则

虚拟现实设备通过检测，M类指标需全部满足第4章节中的指标要求。

7.3.2 二级虚拟现实设备评价准则

虚拟现实设备通过检测，M类指标需全部满足第4章节中的指标要求，O类指标至少满足50%第4章节中的指标要求，N类指标无需满足。

7.3.3 三级虚拟现实设备评价准则

虚拟现实设备通过检测，M类指标需全部满足第4章节中的指标要求，O类指标至少满足20%第4章节中的指标要求，N类指标无需满足。
