

世界超高清视频产业联盟标准

T/UWA xxxx-xxxx

基于双目视差的裸眼 3D 系统参考架构与通用技术要求

The Reference Architecture and General Requirements of Binocular
Disparity-based Glasses-Free 3D Systems

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx 发布

xxxx-xx-xx 实施

世界超高清视频产业联盟 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 裸眼 3D 系统 glasses-free 3D systems	1
3.2 双目视差 binocular parallax	1
3.3 视差范围 parallax range	1
3.4 视差屏障 parallax barrier	1
3.5 柱状透镜 lenticular lens	1
3.6 指向光源 directional backlight	2
3.7 电子透镜 electronically controlled lens	2
4 缩略语	2
5 参考架构	2
6 通用要求	4
6.1 总体要求	4
6.2 内容层	4
6.2.1 内容层通用需求	4
6.2.2 3D 视频采集	5
6.2.3 2D 视频生成 3D 视频	6
6.2.4 其他技术集成	6
6.3 内容分发层	7
6.4 资源层	7
6.5 网络层	7
6.6 内容呈现层	8
6.7 管理、操作和维护	10
6.8 安全	11
附 录 A（资料性）3D 视频采集相关概念介绍	12
A.1 3D 立体视觉	12
A.2 3D 影像的三种视差关系	12
A.3 立体空间创建	14
A.4 如何建立舒适安全的 3D 空间深度	16
A.5 制作中可能出现的 3D 误差	17

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》给出的规则起草。

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。

本文件由世界超高清视频产业联盟提出并归口。

本文件主要起草单位：xxx、xxx、xxx。

本文件主要起草人：xxx、xxx、xxx。

基于双目视差的裸眼 3D 系统参考架构与通用技术要求

1 范围

本文件规范了基于双目视差的裸眼 3D 系统参考架构及通用技术要求，包括基于双目视差的裸眼 3D 系统概述、参考框架和通用技术要求。

本文件适用于提供基于双目视差的裸眼 3D 系统的参考架构及明确通用技术要求。

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。

3 术语和定义

下列术语以及定义适用于本文件。

3.1

裸眼 3D 系统 glasses-free 3D systems

无需特殊眼镜或其他辅助设备即可观看 3D 效果从内容采集、编码、存储、传输到终端播放的端到端系统。

3.2

双目视差 binocular parallax

双眼观察同一物体时，由于两眼位置差异造成的物体在视网膜上形成不同位置的投影。

3.3

视差范围 parallax range

裸眼 3D 显示设备能够呈现的立体效果的深度范围。

3.4

视差屏障 parallax barrier

一种放置在显示屏前的光栅，通过控制光线的方向，使得不同角度看到的图像不同，从而使左右眼分别看到不同的图像，产生 3D 效果。

3.5

柱状透镜 lenticular lens

一种在显示屏前覆盖柱状透镜阵列的技术，通过折射原理，使不同角度看到的图像不同，产生 3D 效果。

3.6

指向光源 directional backlight

通过控制背光源的发光方向，使不同视角的观察者看到不同的图像，从而产生 3D 效果。

3.7

电子透镜 electronically controlled lens

通过动态调整透镜的光学特性，使光线在不同方向上产生不同的折射或聚焦，从而为左右眼提供不同的视角图像。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

5G 第五代移动通信技术（5th Generation Mobile Communication Technology）

API 应用程序接口（Application Programming Interface）

CDN 内容分发网络（Content Delivery Network）

CPU 中央处理单元（Central Processing Unit）

FTTH 光纤到户（Fiber to the Home）

GPU 图形处理单元（Graphics Processing Unit）

OS 操作系统（Operating System）

SBS 一种用于存储和播放 3D 内容的视频显示格式（Side by Side）

SDK 软件开发工具包（Software Development Kit）

VM 虚拟机（Virtual Machine）

Wi-Fi 无线局域网（Wireless Fidelity）

5 参考架构

基于双目视差的裸眼 3D 系统是一种通过利用双眼视差原理，实现裸眼观看 3D 视频获得 3D 效果的系统。基于内容层通过采集、编码、生成等方式得到可用于裸眼观看的 3D 视频，并通过网络将其传递给不同类型的终端，从而实现基于双目视差的裸眼 3D 系统端到端的服务过程，如下图 1。

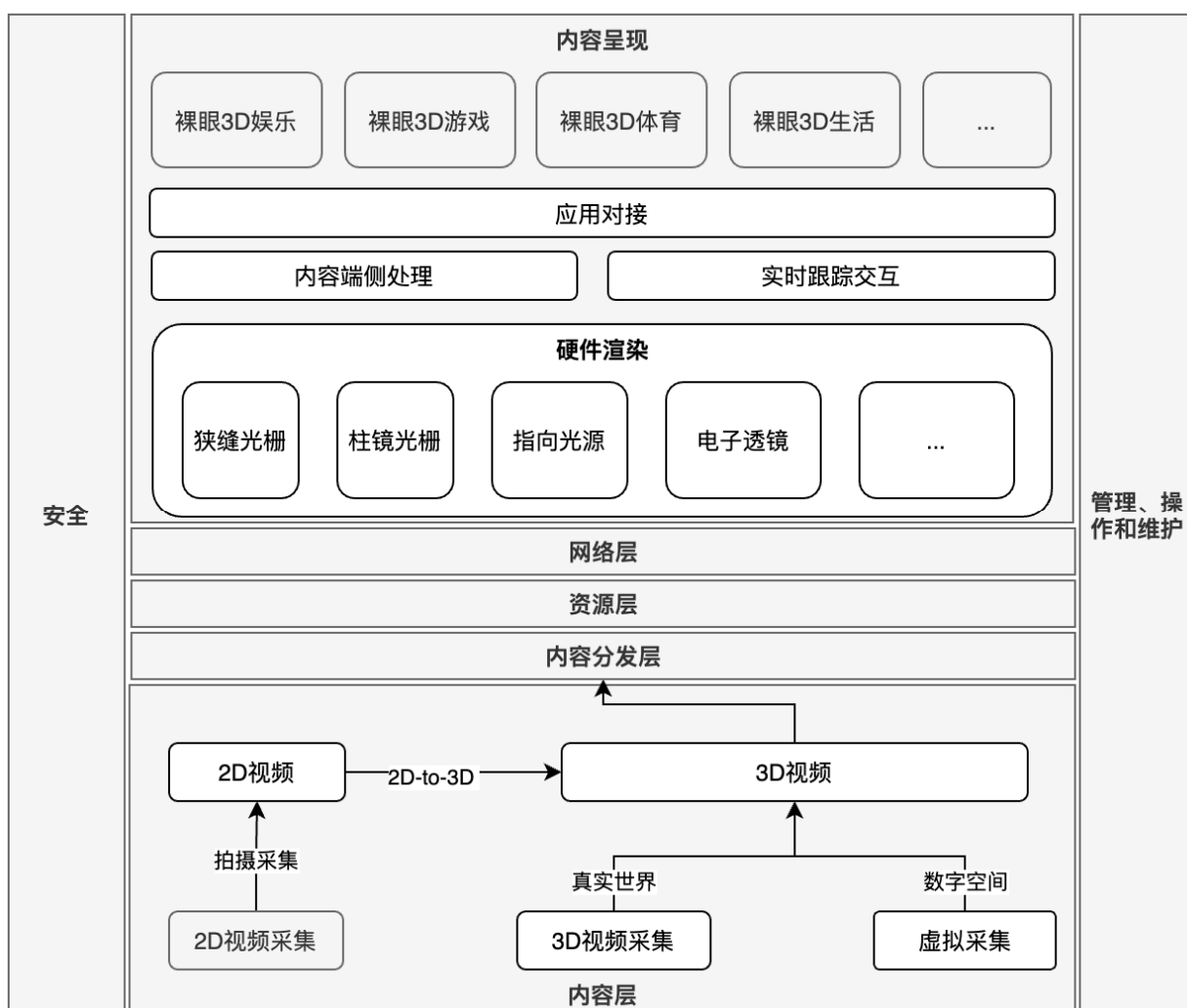


图 1 基于双目视差的裸眼 3D 参考架构

a) 内容层提供用于基于双目视差裸眼3D系统显示的内容，包含拍摄采集、编码处理等：

- 3D 视频采集，通过特定的技术和设备，将现实场景中的三维信息记录下来，并生成具有立体视觉效果的视频；
- 2D 视频到 3D 视频转换技术，将常规的 2D 视频转换为具有立体效果的 3D 视频；
- 3D 视频编码处理，对 3D 视频进行编码处理，以提高视频质量和压缩效率；
- 虚拟采集，通过双目虚拟摄像头或带深度采集的虚拟摄像头采集数字空间场景，生成裸眼可视的 3D 视频；

b) 内容分发层负责将经过处理的裸眼3D视频内容从云资源池高效分发至相应的裸眼3D用户终端；

c) 资源层提供包括中央处理单元（CPU）和图形处理单元（GPU）在内的通用硬件计算资源，以及虚拟机、容器或应用程序虚拟化等基本软件功能；

- d) 网络层为其他功能层、管理、操作、维护功能模块、裸眼3D用户和裸眼3D服务提供商提供稳定可靠的通信能力；
- e) 内容呈现层负责从云端接收并发送终端相关数据，执行部分本地化处理/计算任务，并基于软硬件环境展现裸眼3D内容。该层涉及内容的应用对接、端侧处理、实时跟踪交互以及硬件渲染模块；
- f) 管理、操作和维护模块为内容层、内容分发层和内容呈现层等相关功能层提供集中的操作、管理和维护功能，涵盖用户认证、内容介绍、裸眼3D技术集成管理和裸眼3D终端管理等方面；
- g) 安全模块致力于提供多维度的安全机制，确保云端运行、服务提供、数据保护和用户体验等方面的安全性。

6 通用要求

6.1 总体要求

a) 双目成像

系统应具备双目成像功能，能够同时向用户的左右眼呈现不同的图像。

b) 实时调整

系统应具备实时调整视差，以适应用户的位置和视角变化，确保立体效果在不同观看角度下的稳定性。

c) 适应不同观察距离

系统应能够适应在一定范围内不同距离的观察者，确保立体效果在不同的观看距离下保持一致。

d) 用户友好的界面

系统宜提供简单易用的界面，方便用户调整设置和浏览内容。

e) 兼容性

系统宜具备广泛的兼容性，能够与各种不同类型的内容源兼容，如电影、游戏、应用程序等。

f) 舒适性

系统设计应考虑用户的舒适度，避免长时间使用导致眼部疲劳或不适感。

6.2 内容层

6.2.1 内容层通用需求

a) 部署服务器应支持常见的云资源池形式，如物理机和虚拟机等；

b) 应支持软硬件故障后的系统恢复，包括数据备份/恢复和服务节点切换。相应的服务器故障的主要类型包括插拔硬盘、网络断开、关机和重新启动等；

c) 在硬件和软件的配合下，应提供管理系统故障的能力；

- d) 设计寿命宜大于10年；
- e) 应具备在模块中隔离故障（例如，服务节点等）；
- f) 总体服务能力应具备7*24小时稳定运行性能和99.9%的可靠性；
- g) 故障停机时间应满足在三个月内总时长不超过2小时；
- h) 要求相关服务器和其他设备的短期故障不会导致警报和服务数据丢失；
- i) 随着业务承载需求的增加，应具有灵活的可扩展性，实现支持业务节点的无缝添加和节点中服务器的便捷开通，从而提高承载能力；
- j) 兼容性要求：
 - 应具备与软件版本的兼容性。当软件版本升级或修订时，有能力与之前的应用内容兼容；
 - 应具备与基于双目视差的裸眼 3D 系统架构开发的应用程序内容兼容。

6.2.2 3D 视频采集

- a) 通用技术要求：
 - 3D 影像的正视差（入屏视差），不应超过人眼常规瞳距的范围（约 65mm 左右）；详见附录 A.4；
 - 3D 影像的负视差（出屏视差），建议不超过三倍人眼常规瞳距，避免出现左右眼视线过分会聚向近处中央的情况（过强的对眼体验）；
 - 制作中避免各种可能出现的 3D 误差，例如垂直误差、渲染误差、边框效应等（详见附录 A.5）
 - 应避免空间跳跃较大的画面切换，并降低镜头之间的切换频率；
 - 应控制景深范围，确保主要拍摄对象在焦点范围内，前景和背景的物体不要过于模糊；
 - 应控制视差范围，不要过大或过小。过大的视差会导致 3D 效果不自然且难以观看，过小的视差则无法体现明显的立体感；
 - 快速移动和旋转可能导致观众感到不适，拍摄时要保持平稳，尽量避免剧烈的运动；
- b) 用摄像机模仿双眼实际采集：
 - 可采用一体式摄像机拍摄或立体支架摄像系统拍摄。其中，立体支架摄像系统拍摄时应确保左右眼摄像机保持同步锁定；
 - 采用两台摄像机拍摄时，基于摄像机的物理尺寸的不同，可以选用水平式支架或者垂直式支架。对于被摄区域距离较远的场景，可以适当拉开摄像机的间距，以取得更好的立体感觉；
 - 前期拍摄和后期制作应采用双路高清格式，左右眼信号应采用不低于 1920*1080 分辨率。
- c) 用虚拟摄像机模仿双眼采集或者模仿带深度的摄像机进行采集：

- 在虚拟场景中应设计具有明显深度差异的物体，增强立体感；
- 应避免平面场景或背景过于复杂，以免干扰立体视觉效果；
- 应具备高渲染性能的 GPU 设备，不低于 128GB 的内存，确保画面渲染的帧率稳定。

6.2.3 2D 视频生成 3D 视频

2D视频生成3D视频从功能模块划分上可分为能力引擎模块和能力平台模块。其中，能力引擎模块主要负责将2D视频图像序列转换成3D视频图像序列，能力平台模块主要负责2D视频解码、3D视频编码、视频合成、视频转码等。

a) 能力引擎模块：

- 应提供对应 2D 视频图像序列转换成 3D 视频图像序列的能力支持，例如单目深度估计、虚拟视点合成、空洞填充、遮挡修复等技术；
- 应提供简洁、易用的 API 接口，方便应用程序调用能力引擎模块能力；
- 应能够调整视差、亮度、对比度等参数，以适应不同硬件、不同个体的显示要求；
- 应控制转制效率，例如，引擎调用时长与 2D 片源时长比值小于 3 比 1。

b) 能力平台模块：

- 应提供对 2D 视频内容的解码，支持常见的视频编码格式，如 H.264、H.265、AVS3 等；
- 应提供对 3D 视频内容的编码，支持常见的视频编码格式，如 H.264、H.265、AVS3 等；
- 应提供 3D 视频内容的转码，如 1920x1080 分辨率，3840x2160 分辨率；
- 应控制转制效率，能力平台调用时长与 2D 片源时长比值小于 5 比 1；
- 应输出左右格式的 3D 画面。

6.2.4 其他技术集成

- a) 应具备基于云资源池构建对应的裸眼3D内容处理技术服务的能力；
- b) 应具备基于边缘节点构建对应的裸眼3D内容处理技术服务节点的能力；
- c) 应具有基于GPU的视频编码的能力；
- d) 应具备至少一种2D视频到3D视频转换技术，将常规的2D视频转换为具有立体效果的3D视频；
- e) 应具备至少一种3D视频编码处理，对3D视频进行编码处理，以提高视频质量和压缩效率；
- f) 针对3D数字空间，应支持通过双目虚拟采集画面和3D视频编码，生成裸眼可视的3D视频；
- g) 应具备客观评测方式，评测3D视频质量，以便提升生产效率；
- h) 应具备服务无缝迁移、数据安全保障的能力；
- i) 应具备与裸眼3D内容处理运营服务对接的能力，用以提供裸眼3D内容处理技术集成服务；

- j) 对于裸眼3D弱交互服务，应提供云转码、内容分发和内容交付网络（CDN）资源调度等能力；
- k) 对于裸眼3D强交互服务，应提供至少一种基于虚拟机、容器和应用程序虚拟化的方法来构建并行的裸眼3D实例的能力：
 - 应支持基于云资源池运行的驱动程序，包括渲染驱动程序、视频低延迟压缩编码和视频流传输；
 - 每个云渲染服务器或虚拟机应具有多应用渲染并行的能力。对于可以使用单核CPU和单核GPU运行和流处理的渲染服务，应具备CPU和GPU之间最小内核数量的并行运行能力；
 - 应具备在画面帧数和相应的画面声音数据采集之间实现低时延映射同步，时间差宜不大于100ms。

6.3 内容分层

提供裸眼3D内容聚合、推荐和分发功能。

- a) 应提供有效的裸眼3D内容下载或在线运营路径；
- b) 应为裸眼3D视频服务提供CDN功能；
- c) 应提供与裸眼3D内容分发相匹配的存储能力。

6.4 资源层

- a) 应提供通用物理或虚拟形式的CPU、GPU、存储、网卡等硬件资源；
- b) 应提供通用软件系统，包括安全的操作系统、硬件驱动程序和通用图形界面；
- c) 应提供合规的虚拟机、容器或应用程序虚拟化及软硬件资源的并发复用机制；
- d) 应提供通用的云资源池配置、扩展、迁移、管理等功能；
- e) 应提供数据存储和数据备份的能力；
- f) 应提供安全可靠的虚拟机、容器或应用程序虚拟化等相关的一键迁移和安全的数据同步机制。

6.5 网络层

- a) 对于弱交互裸眼3D服务场景，丢包率应不大于 10^{-4} ；对于强交互VR服务，丢包率宜不大于 10^{-5} ；
- b) 对于有线接入，宜使用光纤到户（FTTH）接入技术；
- c) 对于无线蜂窝接入，宜使用5G以及5G演进的网络接入；
- d) 对于Wi-Fi接入，应采用Wi-Fi 5.0，宜采用Wi-Fi 6.0；
- e) 宜为裸眼3D服务提供确定性网络接入保障；
- f) 宜提供链路路径选择和网络加速等网络保障机制；
- g) 宜在裸眼3D边缘计算节点之间，使用光纤直接连接，以便减少多人远程交互的延迟。

6.6 内容呈现层

内容呈现层涵盖了多元化的应用内容，从表现形式来看，涵盖了裸眼3D游戏、裸眼3D娱乐、裸眼3D体育以及裸眼3D生活等多个领域；而从行业应用的角度出发，基于双目视差的裸眼3D系统内容可细分为裸眼3D教育培训、裸眼3D医疗保健、裸眼3D文化娱乐以及裸眼3D工业制造等多个方面。在功能模块划分上，该层可区分为应用对接模块、内容端处理模块、实时跟踪交互模块以及硬件渲染模块。

6.6.1 应用对接模块

a) 接口设计：

- 应提供简洁、易用的 API 接口，方便应用程序调用裸眼 3D 软硬件能力；
- 应设计兼容性良好的接口，以适配不同类型的应用程序和操作系统。

b) 功能支持：

- 应提供对应裸眼 3D 硬件的配套能力支持，例如狭缝光栅、柱镜光栅、指向光源和电子透镜等技术；
- 应能够调整视差、亮度、对比度等参数，以适应不同硬件、不同个体的显示要求；
- 可调节视差范围应为 0-10 毫米，以适应不同深度感知需求；
- 可调节亮度范围应为 200-1000 尼特，以适应不同环境光线条件；
- 应支持至少 1000:1 的对比度，以保证图像质量。

c) 实时性能：应保证接口调用的实时性能，确保应用程序可以在实时场景中响应用户的操作并进行相应的裸眼3D渲染。接口调用的延迟应小于16毫秒，以确保实时交互体验；

d) 灵活性和定制化：

- 应支持定制化需求，允许应用程序根据具体场景需求进行参数调整和功能扩展；
- 应提供灵活的配置选项，允许开发人员根据应用需求进行定制化设置；
- 应允许对视差、亮度、对比度等参数进行细粒度的调节，满足不同应用场景的需求。

e) 错误处理和异常情况：应提供良好的错误处理机制，当硬件设备出现异常或者接口调用失败时，能够及时地进行错误提示和处理；

f) 文档和示例：

- 应提供详细的文档和示例代码，帮助开发人员快速理解和使用内容对接层的功能；
- 应提供技术支持和培训，确保开发人员能够顺利地集成和使用内容对接层。

6.6.2 硬件要求

a) 应具备不低于1920x1080的屏幕分辨率；

- b) 应具备至少60帧每秒（FPS）的屏幕刷新率；
- c) 必要时宜具备眼球跟踪所需的摄像头设备；
- d) 应具备良好的耐用性和可靠性，能够长时间稳定运行。

6.6.3 内容端处理模块

- a) 应满足对3D视频内容的解码：
 - 使用播放器对 3D 视频内容进行解码，支持常见的视频编码压缩格式，如 H.264、H.265 等；支持视频显示格式 SBS；
 - 实现针对不同裸眼 3D 硬件的解码优化，确保输出的内容符合硬件要求，包括分辨率、格式等；
 - 应支持至少 1920x1080 分辨率，优选 3840x2160 分辨率；
 - 应支持至少 60 帧每秒（FPS），优选 120 帧每秒，以确保流畅的 3D 效果。
- b) 宜根据裸眼3D硬件的特性，定制化生成内容，包括但不限于：
 - 调整视差以实现更加立体的效果；
 - 优化亮度、对比度等参数以适应特定硬件的显示要求；
 - 针对不同分辨率和刷新率进行适配。

6.6.4 实时跟踪交互模块

- a) 应支持人眼跟踪：
 - 集成人眼跟踪技术，实时追踪用户双眼位置和视线方向；
 - 根据用户视线动态调整 3D 内容的显示，确保用户在移动时仍能保持稳定的裸眼 3D 效果；
 - 应支持亚毫米级别的跟踪精度，确保视线跟踪的准确性；
 - 人眼跟踪的延迟应小于 10 毫秒，以确保实时响应。
- b) 应支持用户交互响应：

基于人眼跟踪数据，实现用户交互响应功能，包括但不限于：

 - 通过眼球移动控制光标或视角；
 - 支持手势识别和头部追踪等交互方式；
 - 交互响应应具备高精度，误差小于 1 度；
 - 交互响应时间应小于 20 毫秒，以确保流畅的用户体验。

6.6.5 成像渲染模块

- a) 狭缝光栅

- 光栅的孔径和间距应小于 100 微米，且孔径间距需均匀分布，确保视角分离效果良好，以避免左右眼图像重叠；
- 材料透耐用性应符合长期使用要求，包括耐磨损、抗黄化等；
- 宜具备精确光线分离能力，确保左右眼视差效果清晰；
- 光栅应能够适应 0.5-5 米的观看距离，并在水平±30 度、垂直±15 度的范围内保持清晰视差效果；
- 透射率应大于 90%，散射率应小于 5%，以确保高亮度、清晰图像；
- 加工误差应在 1 微米以内，确保光栅精密稳定。

b) 柱镜光栅

- 镜面设计应确保光学分离效果，左右眼视差准确，减少图像重叠；
- 反射率应大于 95%，并宜具有抗氧化、防划痕能力，确保长期使用的稳定性；
- 光栅应能够有效分离光线，确保左右眼获取不同图像；
- 应支持 0.5-5 米的观看距离，并在水平±30 度、垂直±15 度范围内保持左右眼分离效果；
- 透射率应超过 90%，散射率应低于 5%，提升图像亮度和清晰度；
- 工艺精度应在 1 微米以内，确保光栅在使用过程中的可靠性。

c) 指向光源

- 光源应能实现角度精确定位，确保立体影像层次感；
- 光源强度应在 200-1000 尼特范围内可调，方向支持±10 度的精细调节，适应不同环境需求；
- 光源应具备良好的定位稳定性，减少图像漂移；
- 色温范围应在 4000K-6500K 之间可调，色彩分布均匀。

d) 电子透镜

- 透镜可实现 0-50 毫米范围的焦距调节，并在深度、形状上具备高分辨率调节能力；
- 材料需透光率高、折射均匀，保证清晰图像传递；
- 透镜调节宜支持不同场景深度变化，确保实时成像效果；
- 实时响应时间应小于 10 毫秒，保证流畅成像；
- 避免失真和模糊，确保光学性能稳定；
- 焦距调节精度应达到 0.1 毫米以内，提升视角精准性。

6.7 管理、操作和维护

- a) 应具备基于云的基础资源池或通用服务器，提供裸眼3D操作和管理的能力；

- b) 应具备集中管理和调度云资源池的能力；
- c) 应具备与各种裸眼3D应用程序交互的能力，包括导入和发布裸眼3D应用程序的能力；
- d) 应具备调用和管理裸眼3D技术集成服务的能力；
- e) 应具备不同裸眼3D技术集成服务认证、调用、移除的能力；
- f) 应具备完整的用户认证、服务计费、数据分析、系统操控和维护等功能；
- g) 应具备通过与裸眼3D终端接口，完成用户认证、内容同步和计费等功能；
- h) 宜采用SDK、API等形式，提供内置的裸眼3D终端服务的能力。

6.8 安全

- a) 应具备根据服务节点划分安全域，支持部署防火墙、入侵检测、异常流量检测和过滤等能力；
- b) 应具备防病毒能力和过程（逻辑）安全保证，包括访问权限限制、安全审计等能力；
- c) 应具备通过用户管理、权限管理、日志管理等确保服务安全的能力；
- d) 应具备对元数据、用户访问数据、业务运营数据等安全保护能力，并使用加密技术对网络传输的重要数据进行加密。

附录 A
(资料性)
3D 视频采集相关概念介绍

A.1 3D 立体视觉

通过模拟人的双目视觉特性，实现 3D 视频采集及传输、显示方式。人的双目间距约 55-65mm（如图 2），这使得我们的双眼在观察同一物体时，会产生轻微的视角差和透视感，而我们的大脑通过解析带有视差的双目画面来判断真实距离感。可以使用双镜头 3D 相机或两台 2D 相机组合而成的 3D 拍摄支架系统，来模拟双目视觉特点进行拍摄，从而获得带有视差的双目影像，人在观看这样获取的 3D 影像时，就会产生立体空间感受。

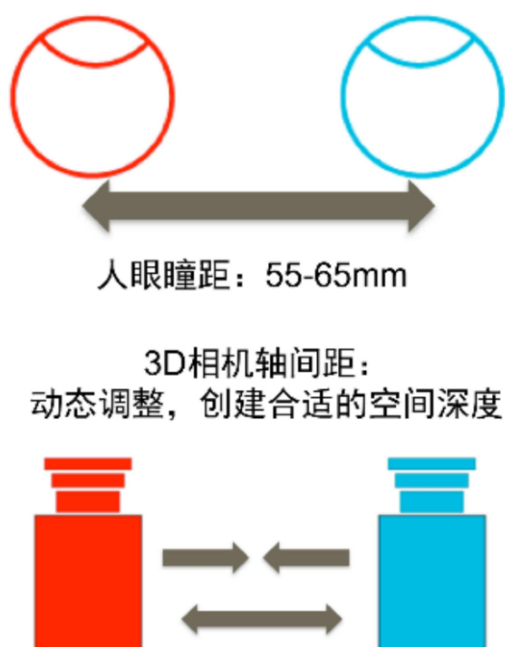


图 2 人眼瞳距

A.2 3D 影像的三种视差关系

当我们将双目 3D 相机左镜头和右镜头捕捉到的两幅画面重合，可以看到不同物体在空间中的位置不同，会出现不同大小的视差（左右眼看到的同一物体的影像之间的距离差），共分成三种情况：零视差、正视差和负视差。

当左右眼看到同一物体的像完全重合，没有出现重影效果，即称为零视差（如图 3）。此时物体刚好出现在 3D 屏幕上（不出屏也不入屏）。

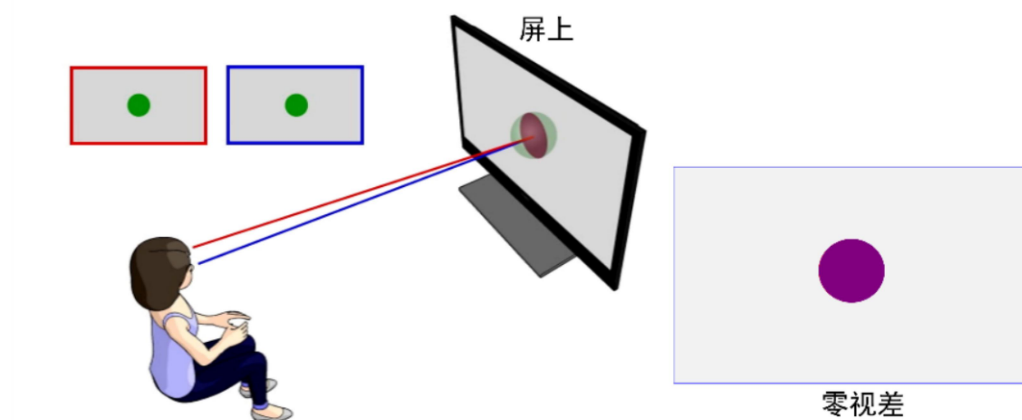


图 3 零视差

当左右眼看到同一物体的像出现重影，且左眼看到的像在右眼看到的像的左侧，即称为正视差（如图 4）。此时物体刚好出现在 3D 屏幕后方（入屏）。

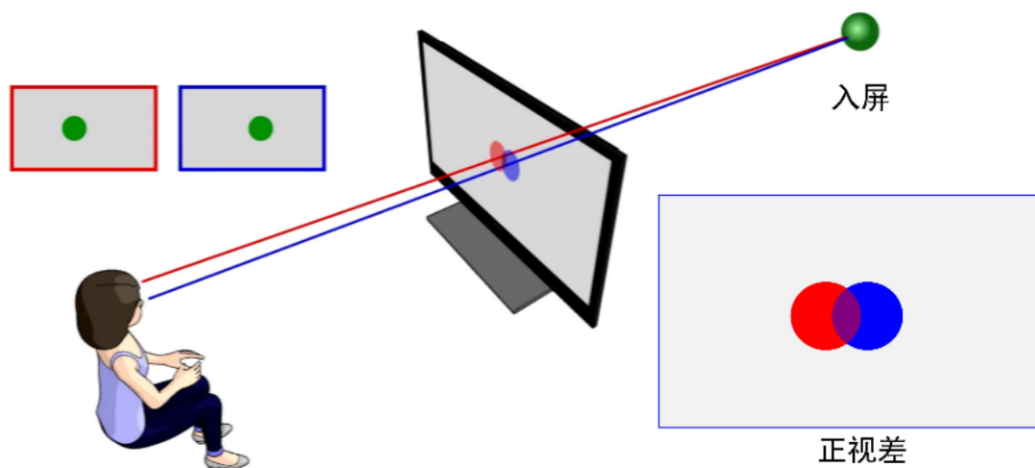


图 4 正视差

当左右眼看到同一物体的像出现重影，且左眼看到的像在右眼看到的像的右侧，即称为负视差（如图 5）。此时物体刚好出现在 3D 屏幕前方（出屏）。

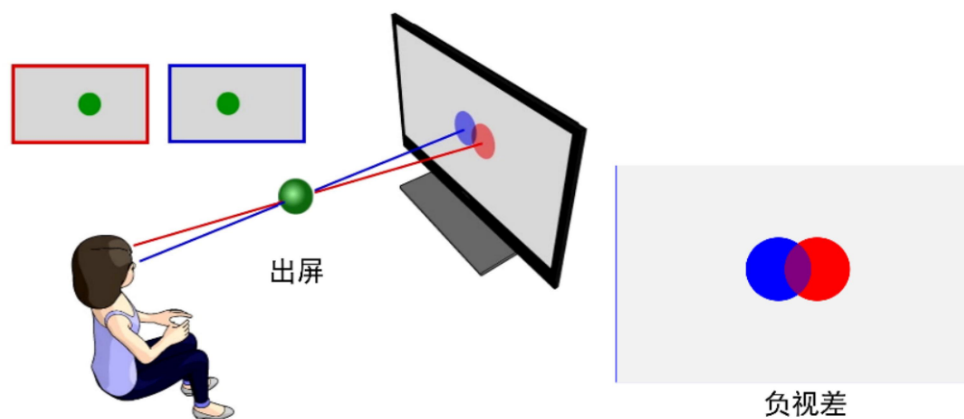


图 5 负视差

A. 3 立体空间创建

通过调整双目镜头的光轴间距（IAD，Inter Axial Distance），可以改变 3D 空间的深度，调整双目视线会聚点的位置，从而改变 3D 画面中的物体和屏幕的空间位置关系（出屏、屏上或入屏），如图 6。

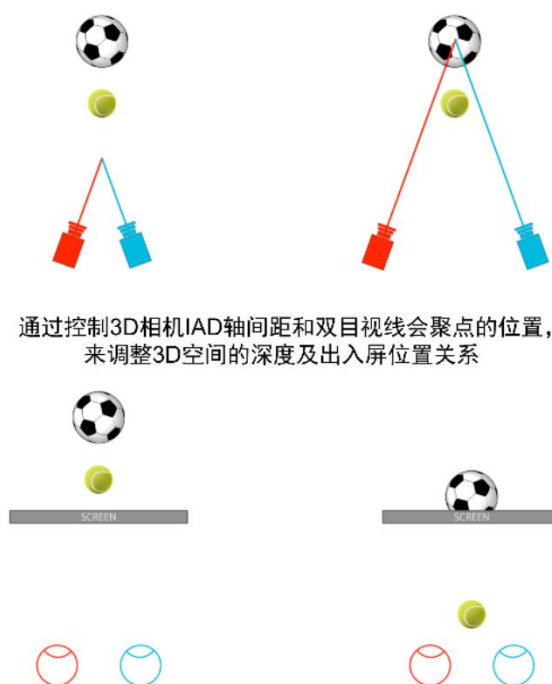


图 6 光轴间距调整 1

当轴间距 IAD 调整越大时，创建出的 3D 立体空间的深度也会增大；同理，轴间距缩小，则 3D 立体空间深度也会减小；如果轴间距是 0，则左右眼不再有视差，看到的就 2D 影像。



图 7 轴间距 IAD 调整 2

在 3D 拍摄中，由于镜头的物理焦距不一定与人眼的等效焦距相同，所以双目的轴间距也不一定要完全符合人眼的瞳距。立体空间的深度创建，会根据镜头的焦距、拍摄空间的实际深度、拍摄对象与相机的距离，以及导演的主观设计，进行动态调整，目的是为保证观看者的舒适体验。

通过控制双目视线的会聚点（Convergence point）位置，可以改变 3D 空间中物体与屏幕的位置关系，即产生出屏、入屏和屏幕上这三个不同的空间关系。双目视线会聚点所在的平面，称为会聚面，双目视线重合在同一点时，位于该点的物体不会产生视差重影，其空间位置刚好处于 3D 屏幕上（既不出屏，也不入屏）。那么位于会聚点前后的物体，就会在 3D 空间中，处于屏幕前（出屏）或者屏幕后（入屏），如图 8。

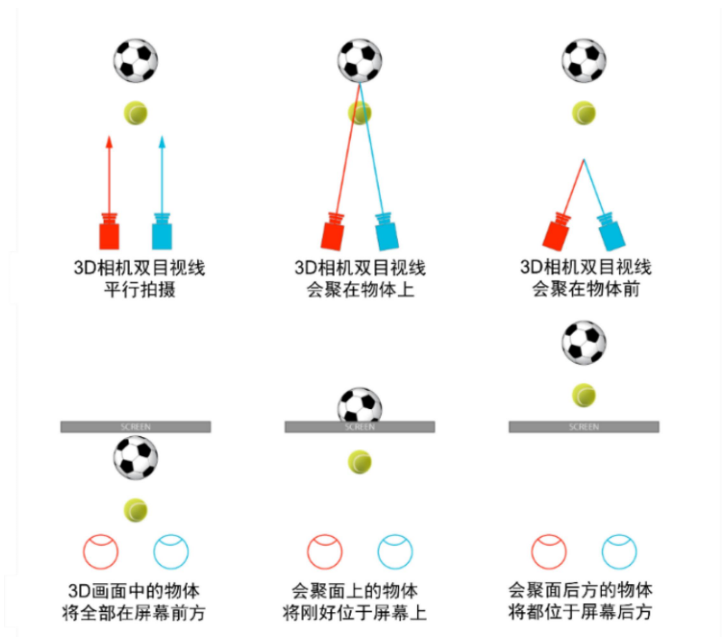


图 8 3D 相机双目聚焦

A. 4 如何建立舒适安全的 3D 空间深度

a) 3D影像的正视差（入屏视差），不应超过人眼正常瞳距（约65mm左右）；如果超过，会出现左右眼视线分别向两侧发散的情况（Divergence），通常观众会感到强烈不适感，如下图9；

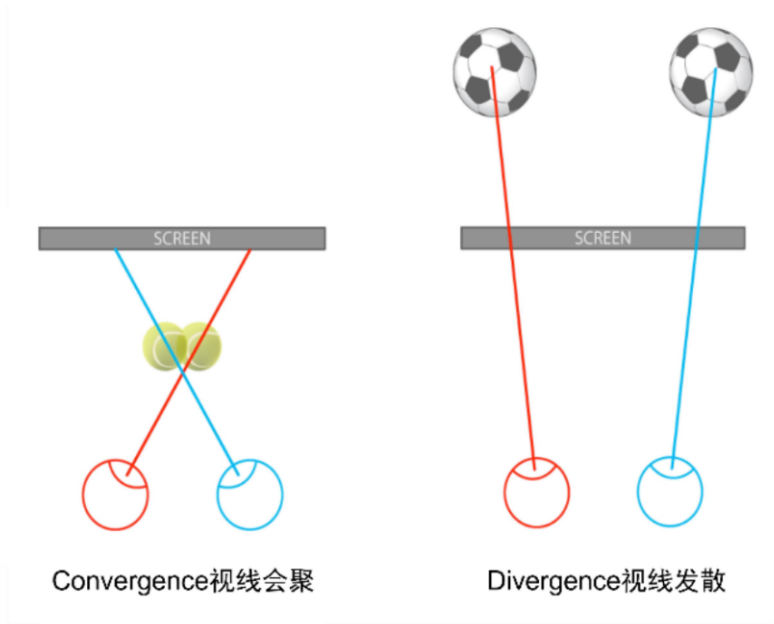


图 9 视线会聚与视线发散

- b) 3D影像的零视差位置（会聚面，Convergence Point），理想情况下与拍摄焦点位置（一般是画面主体）相同。特殊情况下，如有创作需要，或者需要降低边框效应（Edge Violation）对观看者的影响，可适当改变会聚面的位置。
- c) 人的视觉特性，双目视线的焦点和会聚点，永远在同一个位置，同时移动不能分离；但是3D拍摄时，镜头的焦点和两个镜头轴线的会聚点，是可以放在不同物体上的；而且，观众在观看3D影像时，视线焦点一定是在屏幕上，但视线会聚点却可能放在出屏或者入屏的物体上（相当于视线会聚点不在屏幕上），就会出现视线焦点和会聚点不一致的情况，如果这个偏离过大就会产生不适感。所以3D拍摄中，应控制好深度空间范围，尽量不要创造一个深度过大的3D空间画面（迫使观众在观看最远或者最近的物体时，焦点和会聚点过分分离）；或者也可以采用大景深拍摄方式，让整个3D空间主要拍摄对象都在焦点清晰范围内（相当于扩大了景深范围），也可以缓解会聚点和焦点不一致带来的不适感。

A.5 制作中可能出现的 3D 误差

鉴于人类的视觉特性，左右眼在视觉处理上呈现高度同步，且双目位置保持平行、左右对称，这些固有的生理特点要求我们在创建 3D 影像时必须严格遵循视觉规律。而 3D 拍摄技术的核心在于采用双镜头或双相机的工作模式，确保各项技术指标精确无误，这是制作高质量 3D 影像的关键所在。在 3D 影像制作过程中，常见的误差表现为双目左右眼画面可能出现的不一致情况，具体类型包括但不限于，下图 10：

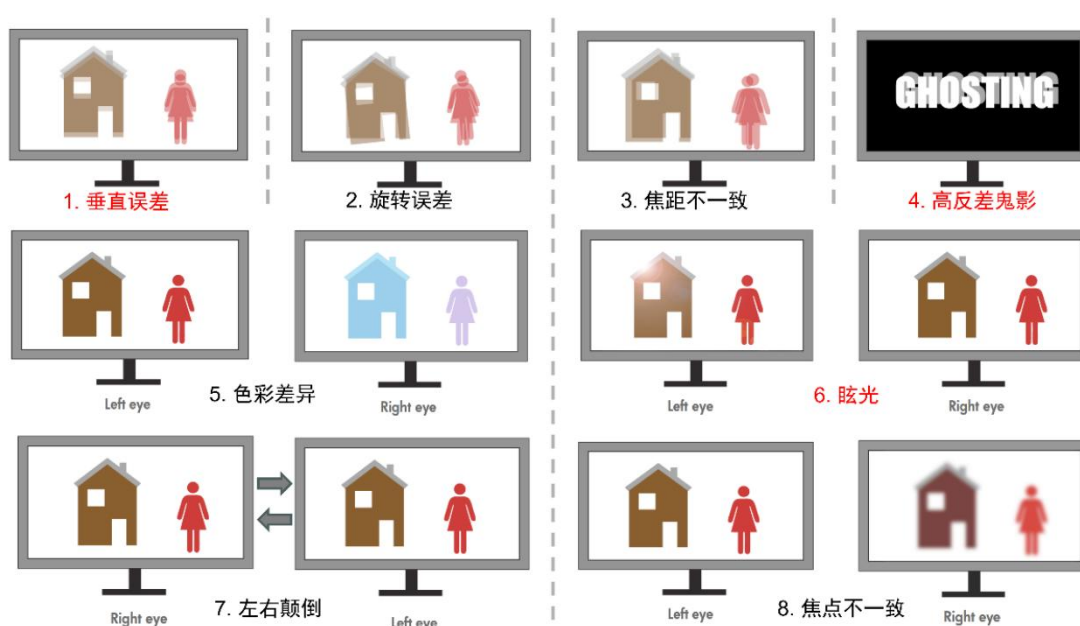


图 10 3D 误差

a) 垂直误差

通常因摄像机或镜头光轴不严格平行，导致左右眼画面中同一物体的视差，存在不应有的高低差；

b) 旋转误差

通常因两台相机拍摄 3D 时有水平偏差，导致左右眼画面水平不一致；

c) 焦距不一致

3D 相机镜头焦距设置不一致导致；

d) 高反差鬼影

在拍摄高反差场景时，由于双眼信号交错显示带来重影的感觉，一般容易出现在高对比度的明暗交接处；

e) 色彩差异

拍摄 3D 的两台相机参数影调不一致导致；

f) 眩光

逆光拍摄环境下，左右眼两支镜头进入了不同角度、位置的杂散光线，导致双目画面出现不一致情况；

g) 左右颠倒

3D 制作输出文件时，将左右眼的画面搞反，导致看到的 3D 画面中所有物体的空间位置和前后关系颠倒，产生错误和不适；

h) 焦点不一致

3D 相机镜头焦点设置不一致导致；

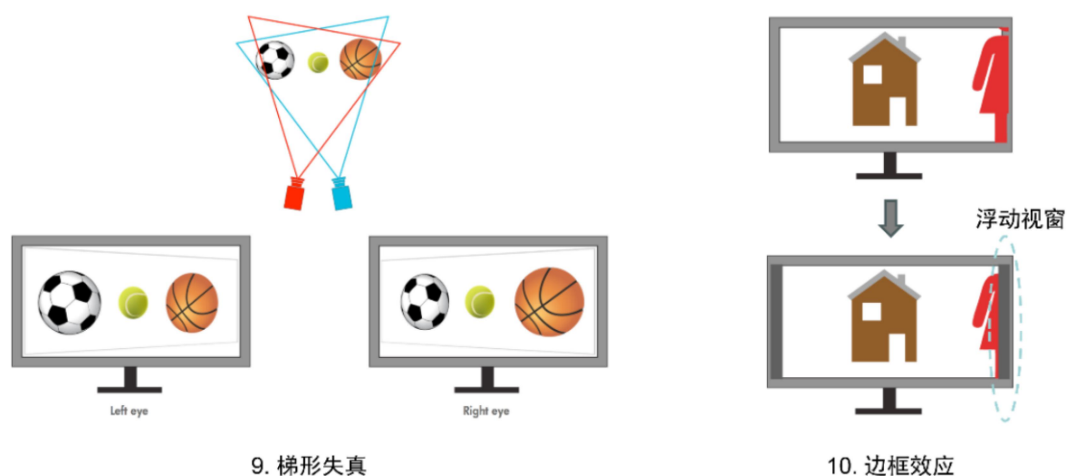


图 11 梯形失真与边框效应

i) 梯形失真

如果 3D 两支镜头拍摄时过分向中间会聚，由于透视原因（近大远小），在立体画面的两侧边缘位置会产生不适感（左右眼看到的边缘物体大小不一致），如图 11；

j) 边框效应

在 3D 影像制作中，当物体被设定在出屏（负视差）位置时，若其部分区域因拍摄构图需求被屏幕边框裁切，观众可能会产生该物体被遮挡部分实际位于屏幕后方的错觉，进而引发对物体实际空间位置的感知冲突。为优化观看体验，避免边框效应带来的困扰，3D 制作过程中通常会审慎考虑将不能完整出屏的物体置于入屏位置。同时，基于空间透视原理，画面两侧的物体常处于距离观众较近的位置，这些区域最易发生边框效应，因此，3D 影片中的多数画面会采取不出屏的处理方式，以确保观众观看时的舒适度。

通常而言，当 3D 相机两支镜头同时捕捉到物体的完整影像时，观众能够舒适地欣赏 3D 效果。然而，由于视差的存在，3D 拍摄过程（如图 12）中，任意一支镜头（单眼）的画面边缘可能会出现另一支镜头未捕捉到的部分画面。若观众注意到某物体在一只眼看到的画面中呈现，而在另一只眼中却未出现，大脑可能无法准确解析这一差异。特别是对于位于 3D 影像边缘侧出屏位置的物体，若其被边框裁切的部分未能完整呈现，甚至可能未被另一支镜头捕捉，这将给观众的视觉解析带来挑战。然而，若此类情况发生在入屏位置，观众的大脑会将其解析为物体部分被边框遮挡的正常现象，从而可能不会产生任何困扰，如图 11。

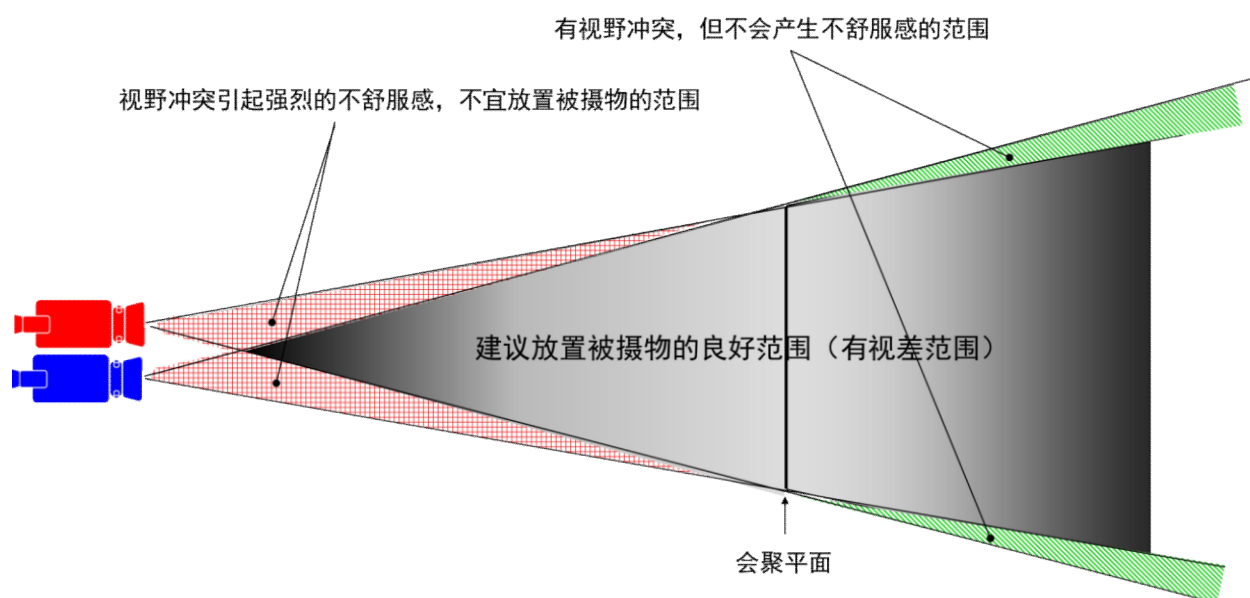


图 12 3D 拍摄过程