

## 一、本项目的应用领域

本项目可以应用于影视影像等能够给用户提供的弧形墙幕且重视用户裸眼 3D 的身临其境体验感的领域。

## 二、背景技术

一种裸眼 3D 显示系统，所述裸眼 3D 显示系统包括：位置指示装置和显示装置；所述位置指示装置设置于用户头部，提供用于指示用户双眼所在位置的指示信号；所述显示装置用于根据所述位置指示装置发出的指示信号确定所述用户双眼相对于所述显示装置的位置，并根据所述位置显示 3D 图像。通过位置指示装置指示出用户双眼所在位置，显示装置根据位置指示装置信号，计算出用户观看姿态和用户相对于显示装置的距离，从而在显示时实时自动调整显示内容，使屏幕内容能够自动适应用户的位置、角度和距离，极大的扩大了裸眼 3D 有效观看区域，提高了整体观看效果。

## 三、本项目方案

### 1、项目内容

本项目的裸眼 3D 实现方法涉及如下步骤：

1.摄像头人眼目标检测：弧形墙幕中心点位置的地面处为三维坐标系原点，墙幕正中心坐标为 $(0,0, h_s)$ 。在室内场景设置深度摄像头，所在位置为 $(x_c, y_c, z_c)$ ，摄像头正对朝向距离 1 米处的坐标为 $(x_z, y_z, z_z)$ ，摄像头画面的高宽分别为 $h$ 和 $w$ ，摄像头视场角为 $\theta$ 。

对摄像头采集到的画面信息实时应用 PoseNet 姿态预测技术，分别识别包括鼻子、眼睛、耳朵、肩、肘、腕、胯、膝、脚踝在内的人体骨架关键点，获取识别对象眼睛在画面中所在的坐标点位置 $(x_u', y_u')$ ，并由深度摄像头所带的距离传感器获得该点的深度信息为 $d$ 。

2.三维空间下人眼定位：根据上述已知的信息，推测用户眼睛所处的三维空间坐标 $U(x_u, y_u, z_u)$ ，具体方法如下（如图 1 所示）：

假定监控摄像头水平，以弧形墙幕中心点位置的地面处为三维坐标系原点，定义摄像头所处位置坐标 $C(x_c, y_c, z_c)$ ，摄像头正对朝向 1 米处的坐标为 $Z(x_z, y_z, z_z)$ ，再以摄像头画面的左下角为原点，定义用户眼部在摄像头画面中的二维坐标为 $U'(x_u', y_u')$ 摄像头画面高和宽分别为 $h$ 和 $w$ ，由深度摄像头所带的距离传感器获得的摄像头距离用户的深度信息为 $d$ ，摄像头的视场角为 $\theta$ ，假设用户眼部在摄像头画面中成像的位置在三维空间中位于 $R$ 点。

则过 $C$ ， $Z$ 两点的直线 $l$ 的方程如下：

$$\frac{x - x_c}{x_z - x_c} = \frac{y - y_c}{y_z - y_c} = \frac{z - z_c}{z_z - z_c} \quad (1)$$

则过点 $Z$ ，且与 $l$ 垂直的平面的方程为：

$$(x_z - x_c)(x - x_z) + (y_z - y_c)(y - y_z) + (z_z - z_c)(z - z_z) = 0 \quad (2)$$

为了得到用户所在的三维坐标 $U(x_u, y_u, z_u)$ ，需求解 $\overrightarrow{CU}$ ，而 $\overrightarrow{CU}$ 的方向与 $\overrightarrow{CR}$ 相同，

且有

$$\overrightarrow{CR} = \overrightarrow{CZ} + \overrightarrow{ZR} = \overrightarrow{CZ} + \vec{g} + \vec{s} \quad (3)$$

其中， $\vec{g} = (x_a, y_a, z_a)$ 是 $\overrightarrow{ZR}$ 沿二维坐标系的 $x$ 轴方向向量， $\vec{s} = (x_b, y_b, z_b)$ 是 $\overrightarrow{ZR}$ 沿二维坐标系的 $y$ 轴方向向量。

其中：

$$\overrightarrow{CZ} = (t, u, v) = (x_z - x_c, y_z - y_c, z_z - z_c) \quad (4)$$

对于 $\vec{g}$ ，有

$$|\vec{g}| = \left| \frac{w}{2} - x_u' \right| \rho \quad (5)$$

其中

$$\rho = \frac{w_r}{w} = \frac{2}{w} \tan \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

由于监控摄像头水平，则监控摄像头画面所在平面与三维坐标标系 $x$ 轴 $y$ 轴所在平面的交线 $l_{xy}$ 的方向向量即为 $\vec{g}$ 的方向。则有

$$\vec{g} = \frac{\rho \left| \frac{w}{2} - x_u' \right|}{f} (u, -t, 0) \quad (7)$$

其中:

$$f = \sqrt{t^2 + u^2} \quad (8)$$

对于 $\vec{s}$ , 有

$$|\vec{s}| = \left| \frac{h}{2} - y_u' \right| \rho \quad (9)$$

$\vec{s}$ 与 $\vec{g}$ 相互垂直, 已知 $\vec{g}$ ,  $\vec{s}$ 所在平面的法向量 $\overrightarrow{CZ}$ , 则有

$$\vec{s} = \frac{\left| \frac{h}{2} - y_u' \right| \rho}{i} (-tv, -uv, u^2 + t^2) \quad (10)$$

其中

$$i = \sqrt{v^2 t^2 + u^2 v^2 + (u^2 + t^2)^2} \quad (11)$$

代入式(3), 可得

$$\overrightarrow{CR} = (t + x_a + x_b, u + y_a + y_b, v + z_a + z_b) \quad (12)$$

从而可得

$$\overrightarrow{CU} = \frac{d}{j} (t + x_a + x_b, u + y_a + y_b, v + z_a + z_b) \quad (13)$$

其中

$$j = \sqrt{(t + x_a + x_b)^2 + (u + y_a + y_b)^2 + (v + z_a + z_b)^2} \quad (14)$$

故可得 $U(x_u, y_u, z_u)$ 的坐标为

$$x_u = \frac{d}{j} \left( t + x_a + x_b + \frac{j}{d} x_c \right) \quad (15)$$

$$y_u = \frac{d}{j} \left( u + y_a + y_b + \frac{j}{d} y_c \right) \quad (16)$$

$$z_u = \frac{d}{j} \left( v + z_a + z_b + \frac{j}{d} z_c \right) \quad (17)$$

### 3.虚拟场景下的视角估计：

由上文已经推出了用户眼睛所在三维坐标  $U(x_u, y_u, z_u)$ ，已知屏幕中心所处三维坐标  $V(0, 0, \frac{h_s}{2})$ ，( $h_s$ 为屏幕实际高度)。

只考虑俯视视角，忽视 $z$ 轴坐标，定义曲面屏中心点为坐标原点 $O(0,0)$ ，以此得到屏幕左侧 $A$ 点与屏幕右侧 $B$ 点坐标， $d$ 假设曲屏的半径 $r$ ，曲屏的圆心角 $\beta$ ，用户眼睛所在的二维坐标系坐标 $N(a, b)$ （其中 $a = x_u, b = y_u$ ），当前用户看向屏幕的坐标  $V(x_v, y_v)$ 可由如下方法计算（示意图如图 2 所示）：

$$\alpha = \arccos \frac{\overrightarrow{NA} \cdot \overrightarrow{NB}}{|\overrightarrow{NA}| \cdot |\overrightarrow{NB}|} \quad (1)$$

$$\overrightarrow{NA} = (p, q) = (-r \sin \frac{\beta}{2} - a, r \cos \frac{\beta}{2} - r - b) \quad (2)$$

$$\overrightarrow{NB} = (o, q) = (r \sin \frac{\beta}{2} - a, r \cos \frac{\beta}{2} - r - b) \quad (3)$$

将视野角 $\alpha$ 二等分，定义角二等分线与屏幕的交点为  $V(x_v, y_v)$ 其坐标计算方法如下：

$$y_v - b = k_v(x_v - a) \quad (4)$$

$$x_v^2 + (y_v + r)^2 = r^2 \quad (5)$$

其中 $k_v$ 为直线 $l_{Na_v}$ 的斜率，计算方法如下：

$$k_v = \tan \left( -\frac{\alpha}{2} + \arctan \left( \frac{q}{p} \right) \right) \quad (6)$$

由(4)(5)可得用户看向屏幕的位置的坐标为：

$$y_v = \frac{|k_v| \sqrt{-a^2 k_v^2 + 2abk_v + 2ak_v r - b^2 - 2br + k_v^2 r^2} - ak_v + b - k_v^2 r}{k_v^2 + 1} \quad (7)$$

$$x_v = a + \frac{y_v - b}{k_v} \quad (8)$$

从而可以得到用户的视角，即用户从 $N$ 点看向 $V$ 点，将这两点坐标输入虚拟场景中作为参数构建虚拟摄像头。

4.虚拟场景渲染：构建虚拟场景与模型，基于上一步骤中视角估计的结果，在虚拟场景中放置虚拟摄像头，渲染三维场景画面，确定屏幕显示内容。

5.画面形变：根据用户在空间中三维空间坐标不同，利用“视野 $n$ 分法”计算画面形变效果。本技术中仅考虑画面的横向形变，故以下均为俯视视角（该方法示意图如图 3 所示）。定义曲面屏的中心为坐标原点 $O(0,0)$ ，以此得到屏幕左侧 $A$ 点与屏幕右侧 $B$ 点坐标，曲屏的半径 $r$ ，曲屏的圆心角 $\beta$ ，用户眼睛所在的二维坐标系坐标 $N(a, b)$ ，画面形变的等分数量 $n$ （在一定范围内，参数 $n$ 越大，视觉效果越好）。当前用户的视野角度 $\alpha$ 可由如下方法计算：

与上述“3.虚拟场景下的视角估计”部分类似，可以得出与之相同的 $\overrightarrow{NA}$ ， $\overrightarrow{NB}$ 。

将视野角 $\alpha$ 分为 $n$ 等份，定义角等分线与屏幕的交点为 $a_1, a_2, \dots, a_n$ （点 $A$ 为 $a_0$ ，点 $B$ 为 $a_n$ ）。 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 的坐标计算方法如下， $a_i$ 的坐标记为 $(x_i, y_i)$ ：

$$y_i - b = k_i(x_i - a) \quad (1)$$

$$x_i^2 + (y_i + r)^2 = r^2 \quad (2)$$

由(1),(2)可得：

$$y_i = \frac{|k_i| \sqrt{-a^2 k_i^2 + 2abk_i + 2ak_i r - b^2 - 2br + k_i^2 r^2} - ak_i + b - k_i^2 r}{k_i^2 + 1} \quad (3)$$

$$x_i = a + \frac{y_i - b}{k_i} \quad (4)$$

其中 $k_i$ 为直线 $l_{Na_i}$ 的斜率，计算方法如下：

$$k_i = \tan \left( -i \frac{\alpha}{n} + \arctan \left( \frac{q}{p} \right) \right) \quad (5)$$

得到所有的 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 坐标后，我们便可以算出被分割的每一段的弧长：

$$\widehat{a_i a_{i+1}} = \left( \arctan \frac{y_i + r}{x_i} - \arctan \frac{y_{i+1} + r}{x_{i+1}} \right) r \quad (6)$$

由此可以得出画面 $n$ 等分中每一等分对应的屏幕的弧长。每段弧长与 $n$ 分之一的 $AB$ 弧长

之比，即为该段分区的形变比例，定义该比例为 $r_n$ ，则有

$$r_n = \frac{n\widehat{a_i a_{i+1}}}{\widehat{AB}} \quad (7)$$

其中

$$\widehat{AB} = \beta r \quad (8)$$

根据所得结果对弧形屏幕上画面对应部分进行相应比例的拉伸或放缩处理即可得到形变后的画面。

6.将形变后的画面显示在曲面屏上进行显示。

## 2、技术效果

采用上述技术方案后能够带来如下优点：

1.无须复杂的装置。用户将不再需要携带任何其他装置，可以显著提高裸眼 3D 的便利性以及用户体验。

2.使用弧形屏幕。弧形屏幕可以使展现的图像能够更直观地被用户大脑接受和处理，获得更为舒适的观看体验。弧形屏幕具备更为自然舒适的视野，更为宽广的可视角，可以提高用户沉浸感。

3.根据用户位置对弧形屏幕上的三维物体的部分位置进行放缩或拉伸处理。如此处理可以使三维物品最后呈现出的效果更真实，呈现出更好的裸眼 3D 效果。

## 四、附图及说明

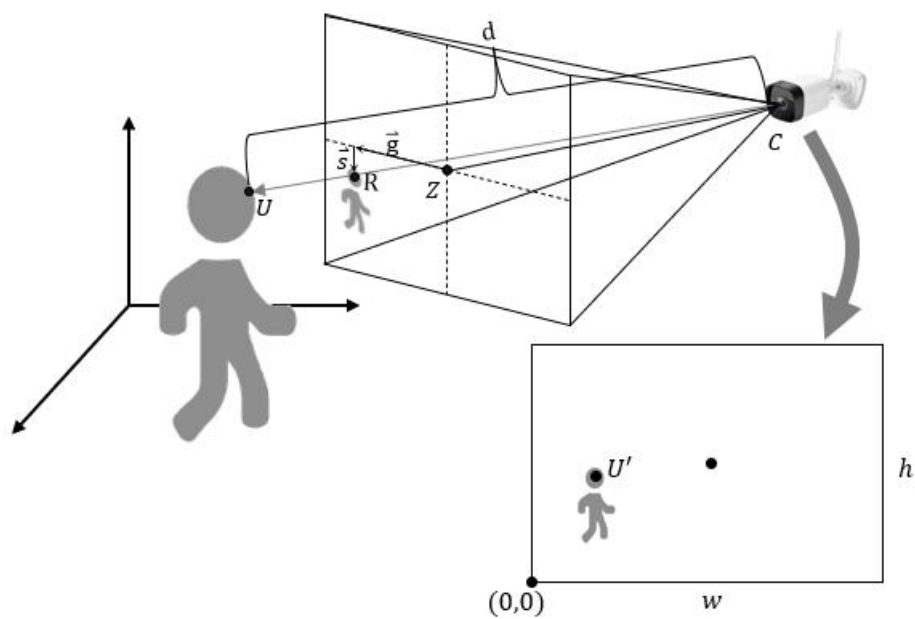


图 1 由用户眼睛所在监控摄像头中二维坐标求出其在三维空间中的坐标原理示意图

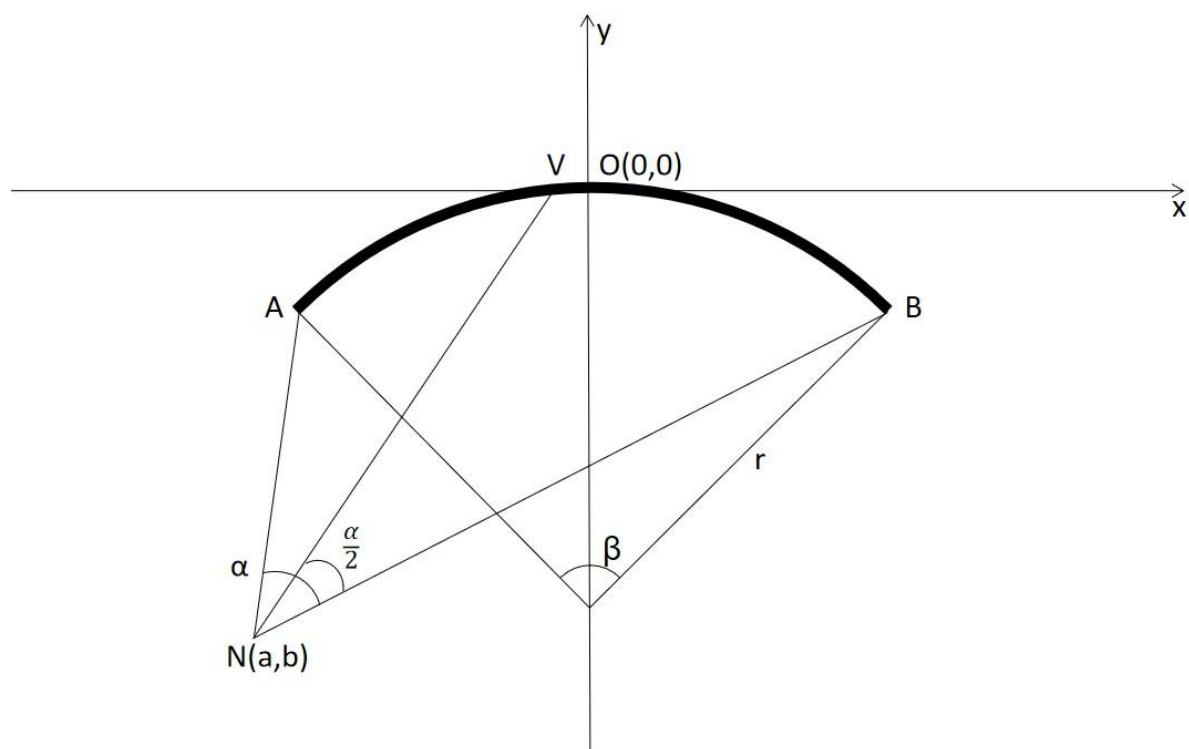


图 2 虚拟场景下的视野估计原理示意图

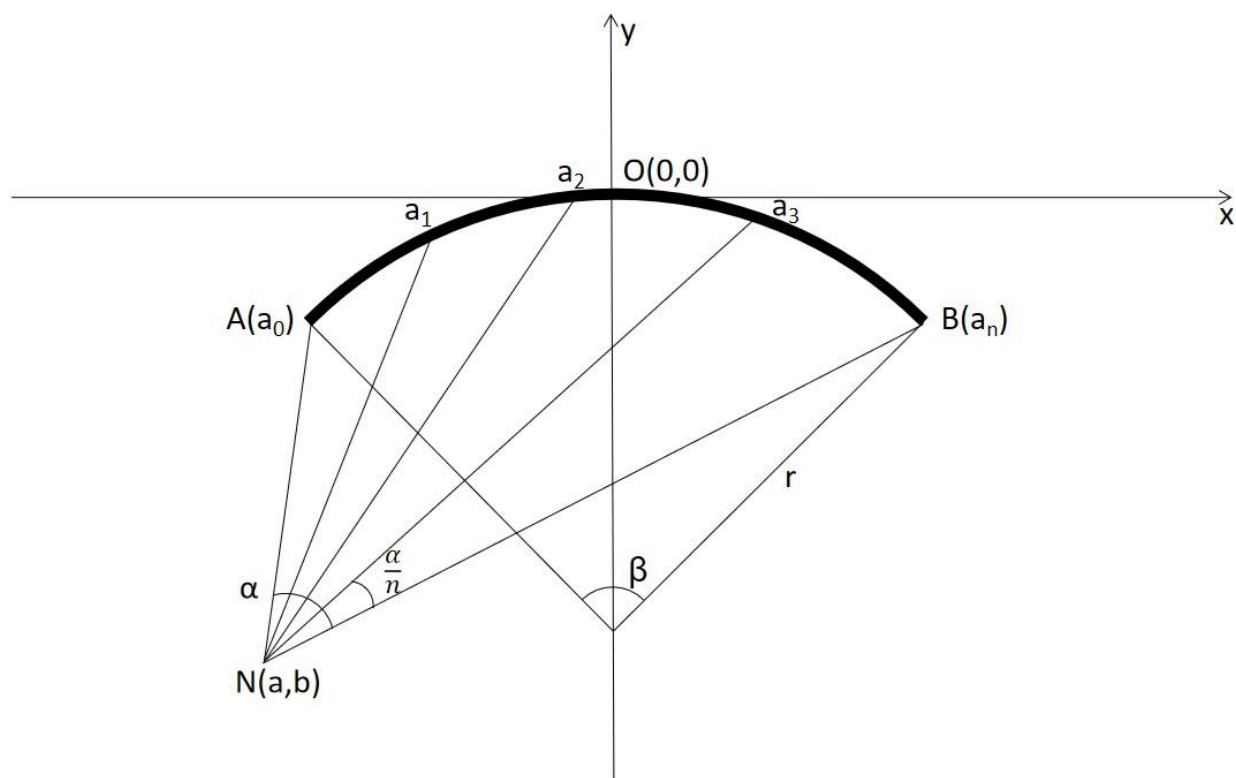


图 3 视野 n 分法示意图

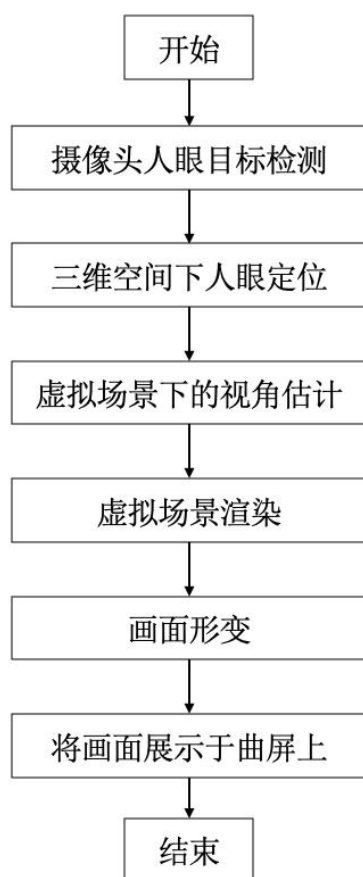




图 4 裸眼 3D 实现方法流程图