



虚拟现实的人本计算及若干进展

李 胜

北京大学计算机学院
北京大学图形与交互技术实验室
2023.07.27

钱学森将“虚拟现实”译为“灵境”

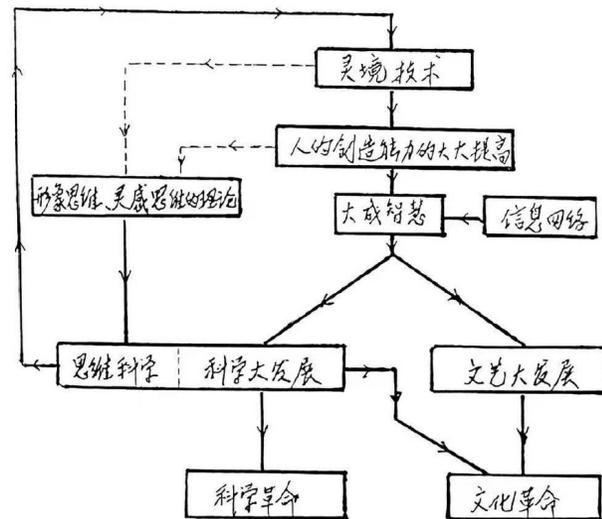
三十多年前的“灵境”

1990年，钱学森院士在致汪成为的手稿中，就已提到“Virtual Reality”（虚拟现实），并欲将它翻译为具有中国味儿的“灵境”，使之应用于人机结合和人脑开发的层面上。并强调**这一技术将引发一些震撼世界的变革，成为人类历史上的大事。**

1990年11月27日
致汪成为

汪成为同志：
前送“Virtual Reality”文，想已见到。
此词中译，可以是
1. 人为景境（不用“人造景境”，那是中国园林了），
2. 灵境。
我特别喜欢“灵境”，中国味特浓。
读的。
此致
敬礼！
钱学森
1990.11.27

1990年钱学森手稿



致汪成为同志汪成为同志钱学森同志：

我最近读汪成为同志写的《灵境是人们所追求的
一个和谐的人机环境，一个崭新的信息空间(cyberspace)》
颇有启发。也看了《高技术通讯》1990年9期33页-34页
清华大学计算机系曹建超教授石定钬院士写的《虚
拟现实技术及系统》。钱学森同志则多次在写的
文章中提到灵境技术与大成智慧的关系。由此引
起我的一个想法：灵境技术是继计算机技术革命之
后的又一项技术革命。它将引发一系列震撼全世
界的变革，一定是人类历史中的大事。具体关系图
附页图表。

谨教。

此致

敬礼！

钱学森

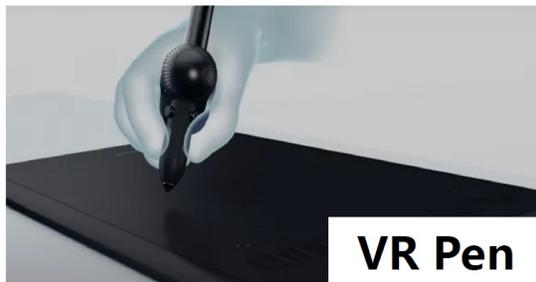


VR带来具身沉浸和体验享受



Meta Quest 2

搭载高通领域推出的处理平台，电池重量轻，处理**速度快**，**延迟低**，可驱动双眼分辨率近**4K**的画面。



VR Pen

Wacom VR Pen，内置压力传感器，笔握头部有一个显示应用内工具选项的表盘，兼容**6DoF定位追踪**的**3D绘画**功能。



Xperia View

索尼为Xperia手机推出的专属VR眼镜，可实现**4K HDR 沉浸式**体验。



触控背心TactSuit X40

有**40个**分散在前后的偏心旋转质量**振动电机**，支持Steam VR和Quest平台的游戏，并且可以将枪声转化为背心发出的“隆隆”声，**沉浸体验很强**。



HTC VIVE

人体工学设计，电池后置，可调节瞳距，双眼分辨率5k级别，拥有**120度**广阔视角，屏幕刷新率达到**120Hz**，清晰流畅可**缓解VR眩晕感**。



VR手套

Manus Prime II系列虚拟现实手套，为**顶级沉浸式虚拟体验**设计，手指**追踪精度高**，可精确测量和同步手指的伸展。



虚拟现实定义

- 采用以计算机技术为核心的现代高技术生成逼真的视、听、触觉一体化的一定范围的虚拟环境，用户可以借助必要的装备以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互作用、相互影响，从而获得亲临等同真实环境的感受和体验（赵沁平院士）

- 没有限定实现的技术手段
- 以真实世界为蓝本
- 人体验感是虚拟现实技术的核心



虚拟现实的典型特征

- 沉浸感 (Immersion)

- 用户产生一种沉浸于虚拟环境的感觉 (视觉、听觉等)

- 交互性(Interaction)

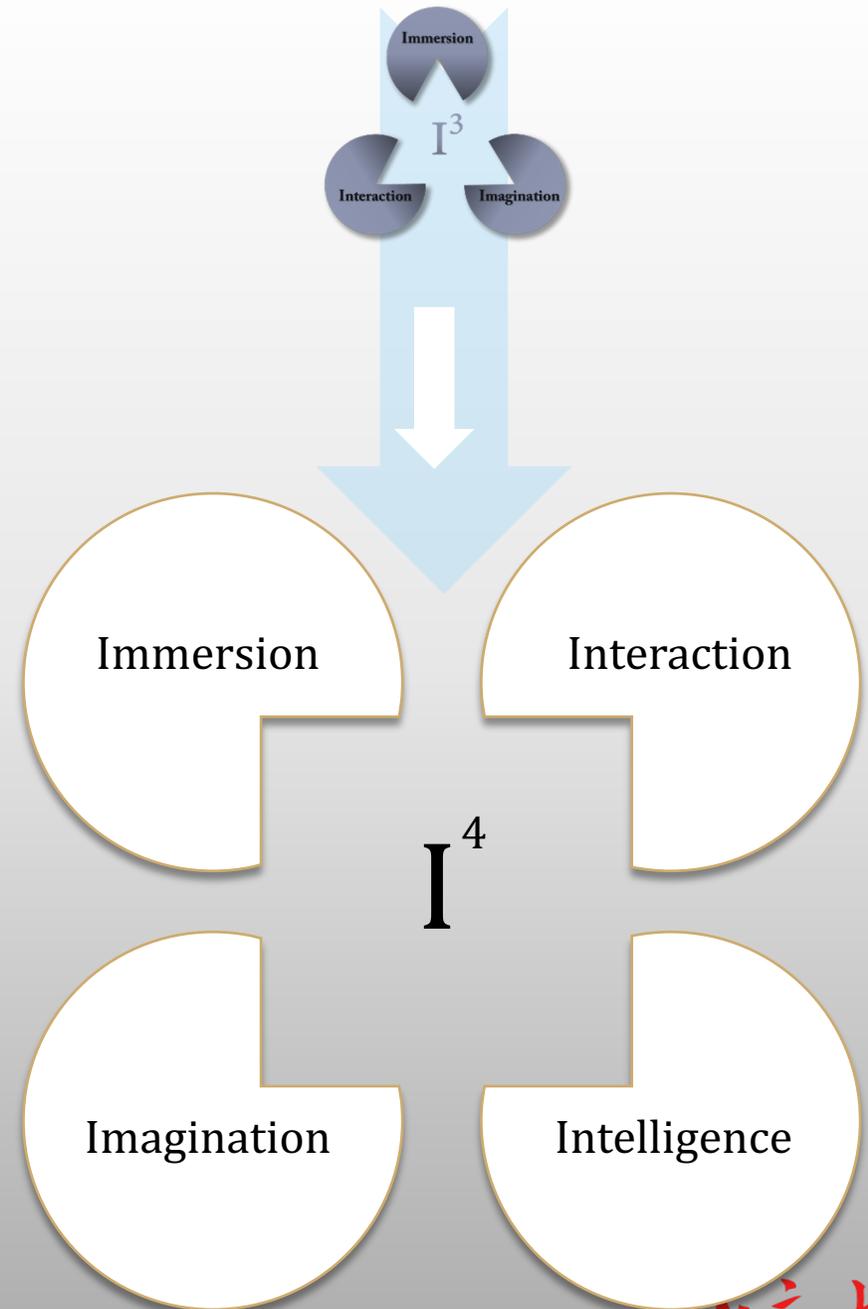
- 虚拟现实环境可以通过输入与输出
- 装置影响或被使用者影响

- 想象性 (Imagination)

- 可感知形式反映了设计者的思想
- 以及感知不存在信息的能力

- 智能性 (Intelligence)

- 可感知用户行为与情感
- 可以按照逻辑与用户进行人机对话



虚拟现实的人本计算 (Human-centered Computing in VR)

➤ 交互和用户界面设计

设计符合人类习惯和认知特点的虚拟交互方式和用户界面，使用户自然而直观地与虚拟环境进行沟通和操作

➤ 用户行为建模

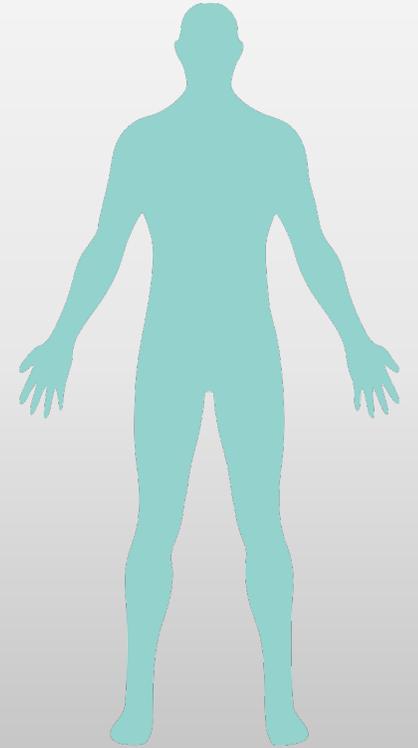
对用户虚拟环境中的行为进行建模和分析，包括用户的头部和手部动作、身体姿态、视线焦点等，以助于理解用户的意图和交互方式

➤ 感知和情感计算

通过感知用户的生理和情感状态，如心率、情绪和压力等，来推断用户体验的质量和情感反应，以提高用户的情感投入和满意度

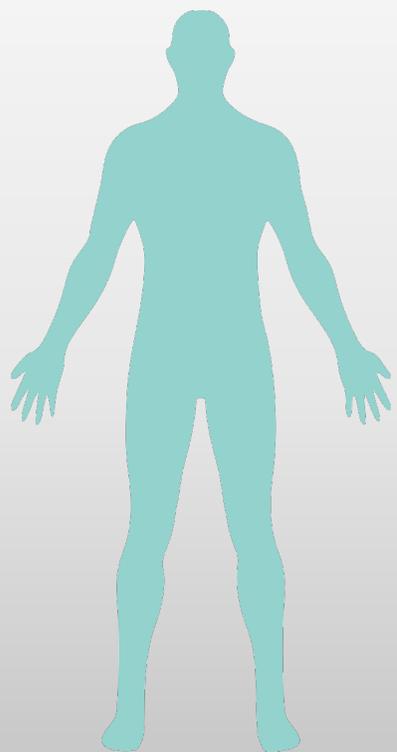
➤ 多模态融合

将视觉、听觉、触觉等多种感官信息融合在一起，以提供更真实和身临其境的虚拟体验。





虚拟现实的人本计算研究框架



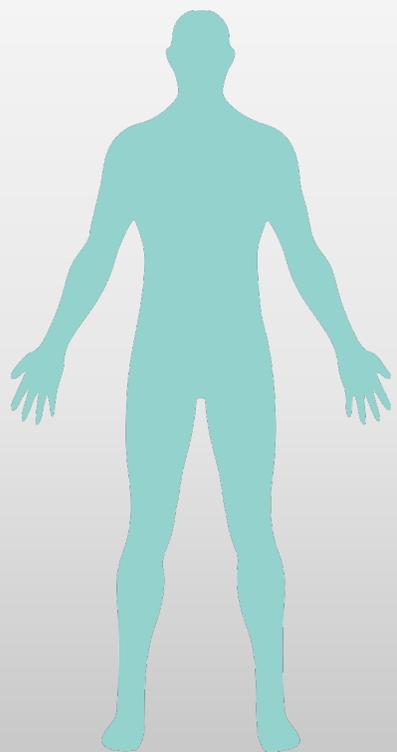
特征计算



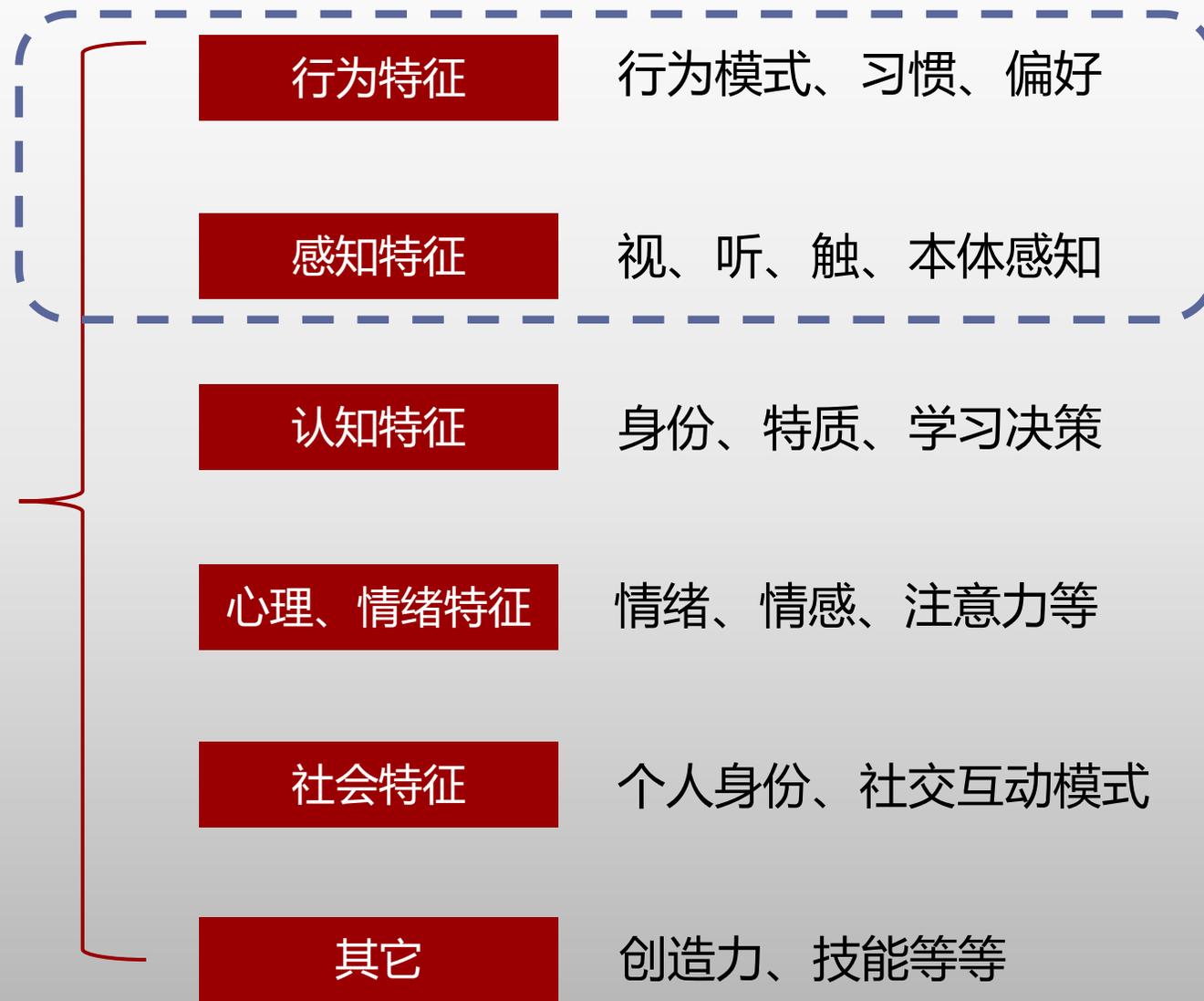
服务于VR系统设计、增强体验、达成功能



虚拟现实的人本计算之：眼动行为计算



特征计算



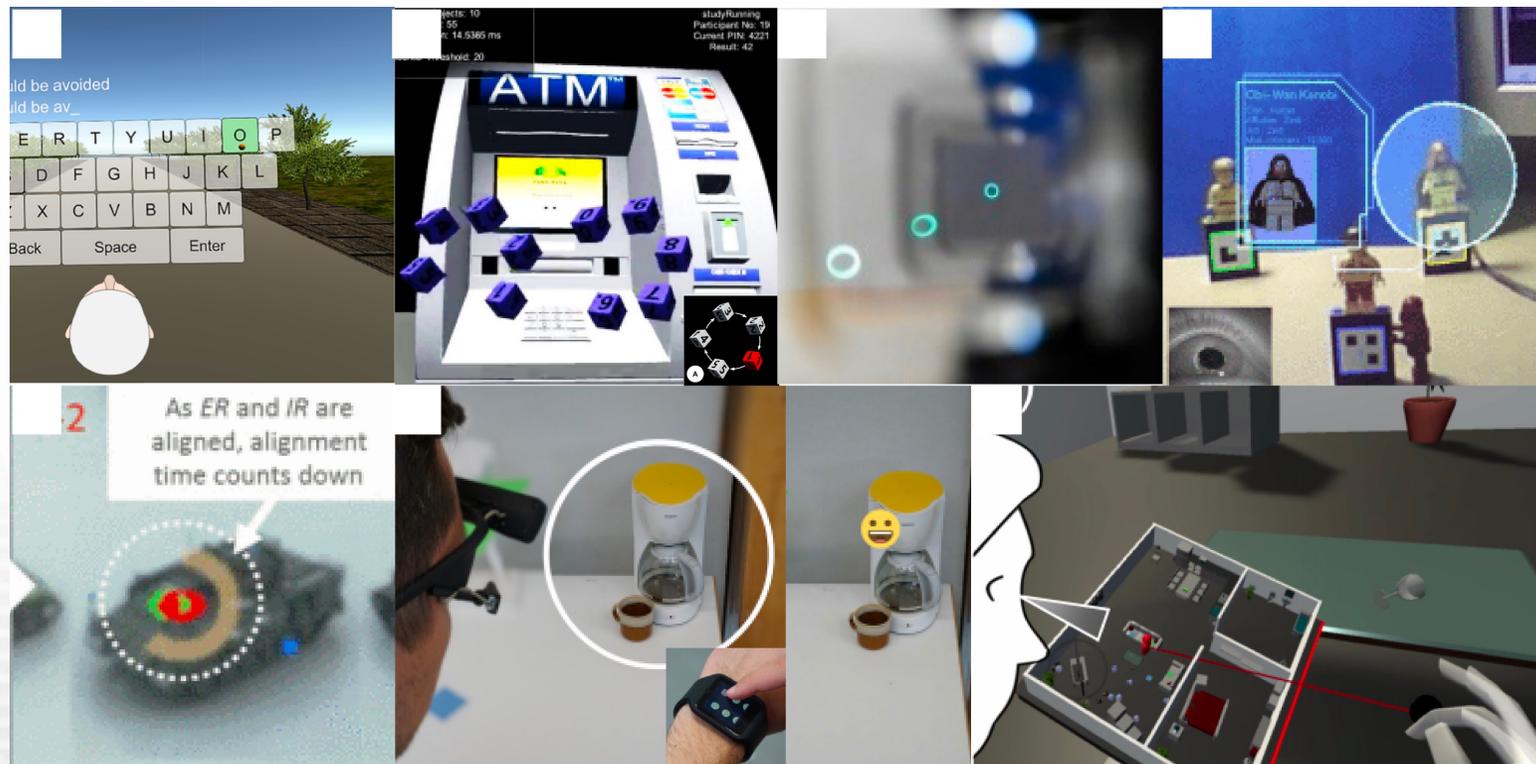
交互方式的新趋势—眼动交互方式



眼动行为



眼动追踪传感器

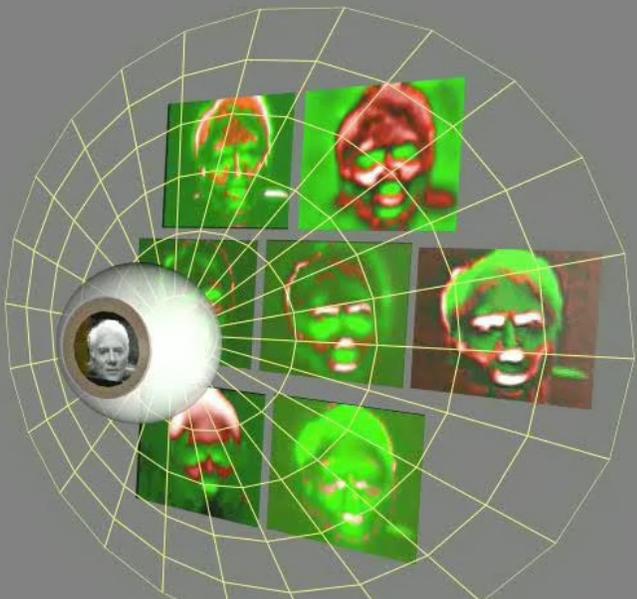


交互：眼动追踪、手势跟踪、语音

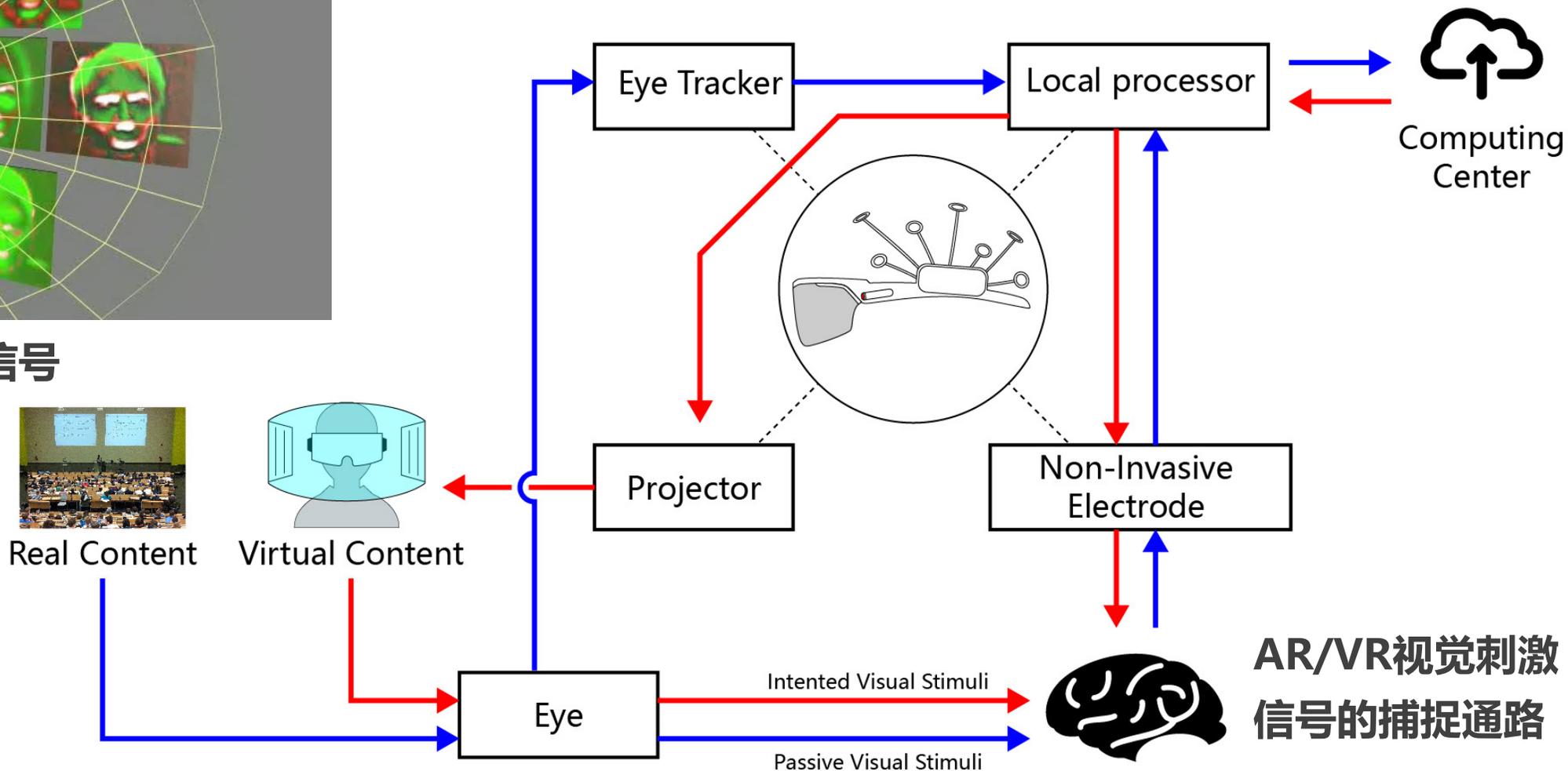
思想自由 兼容并包

眼动交互各种应用场景
[A. Plopski et al. 2022]

眼睛行为的独特双工特性

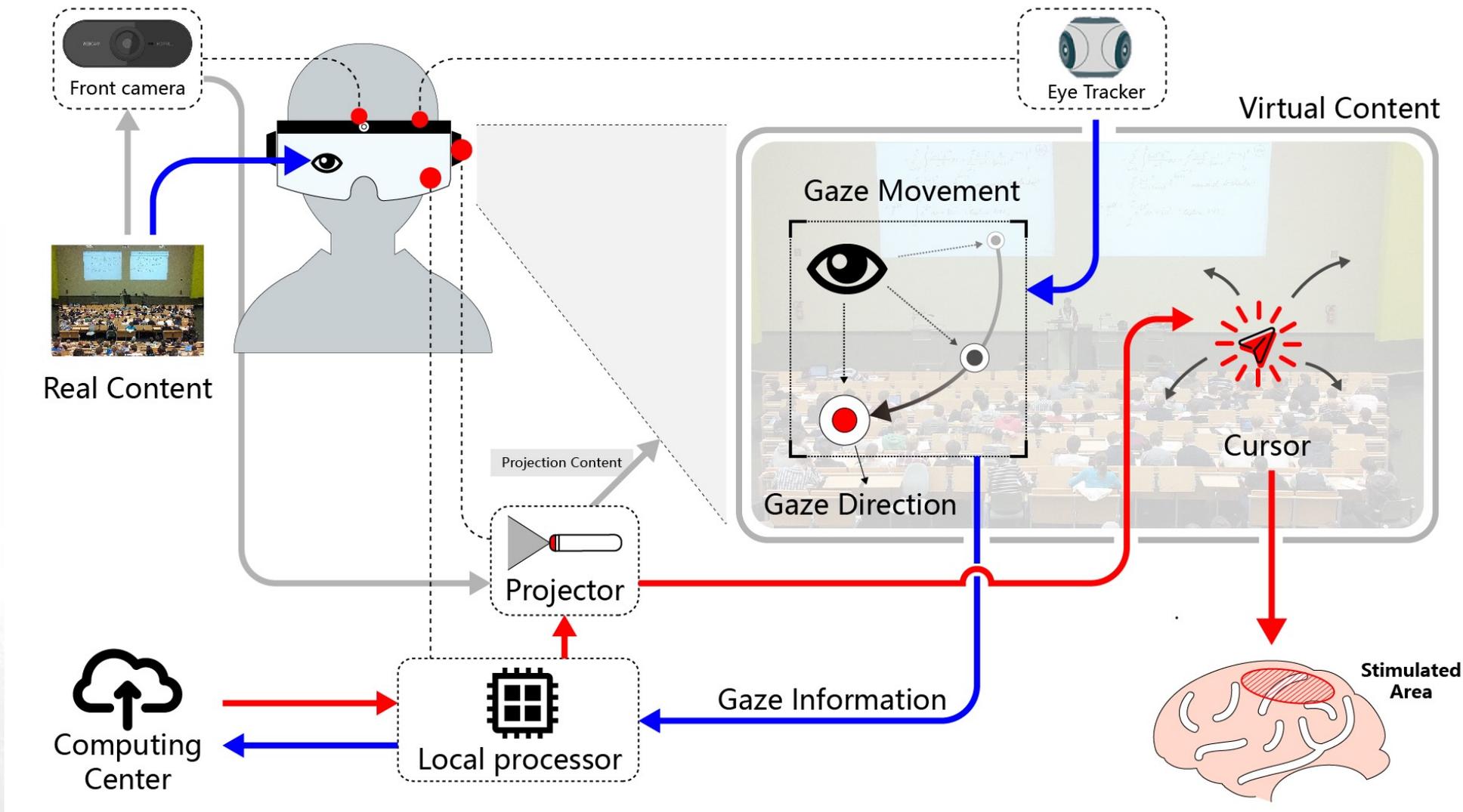


被动视觉刺激信号

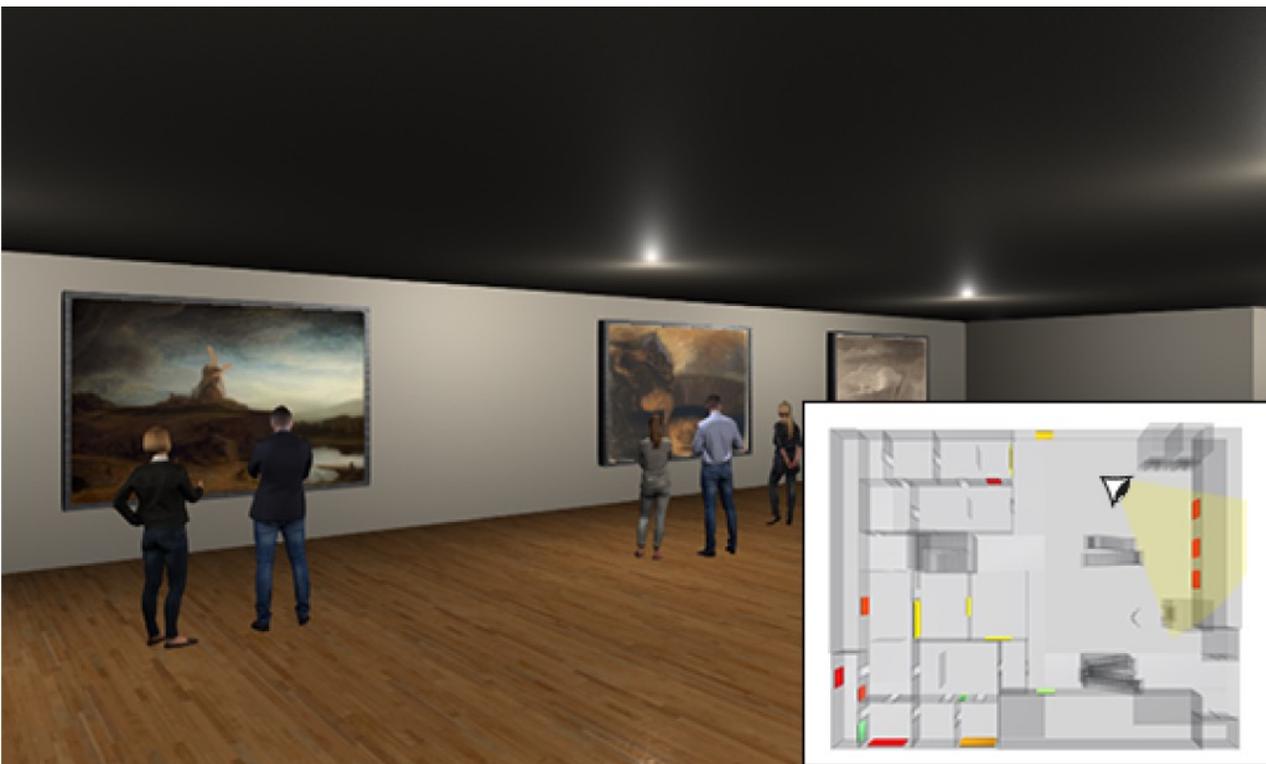


AR/VR视觉刺激
信号的捕捉通路

眼睛行为的独特双工特性



眼动行为特征的对虚拟现实系统的作用



三维场景设计
[Alghofaili et al. 2019]



虚拟现实内容生成
[Sitzmann et al. 2018]

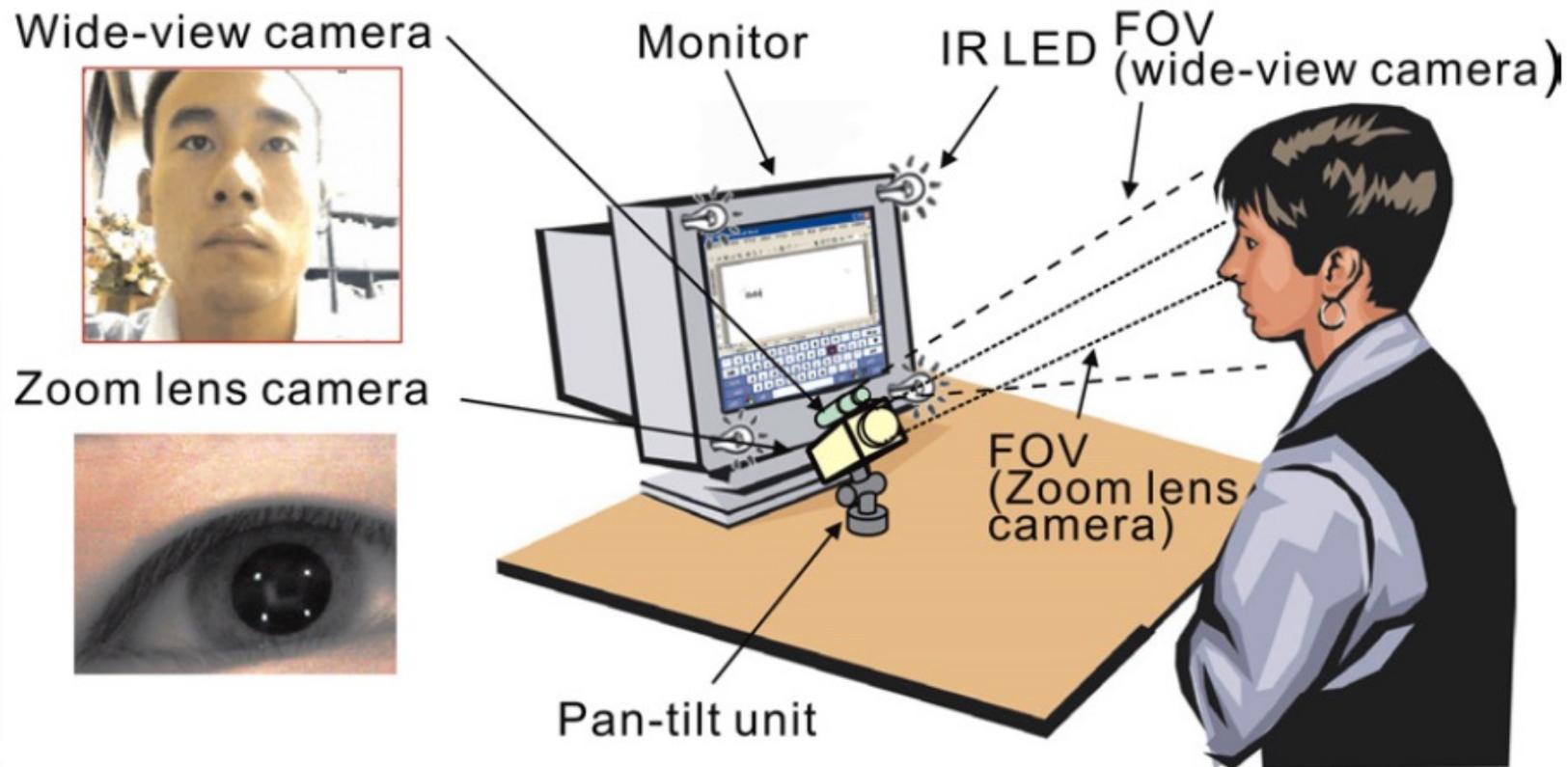
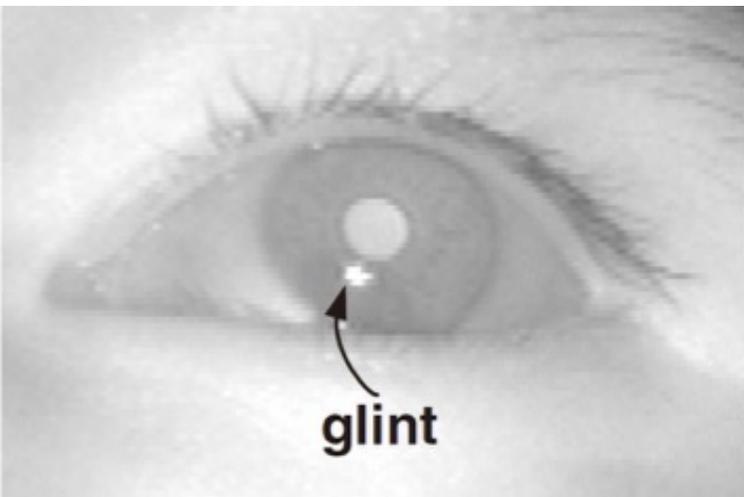
眼动行为特征的对虚拟现实的重要作用



基于注视点的高效渲染

经典眼动追踪技术

瞳孔角膜反射法



眼动追踪设备

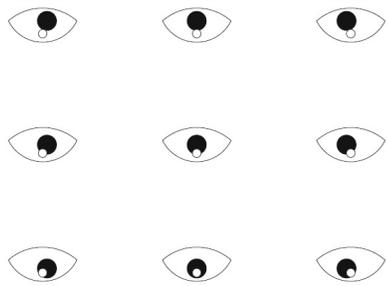
各式眼镜式眼动仪



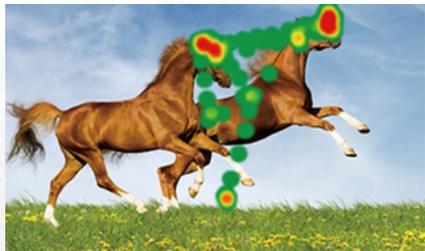
• 唯物辩证法

“外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”（《毛泽东选集》第1卷）

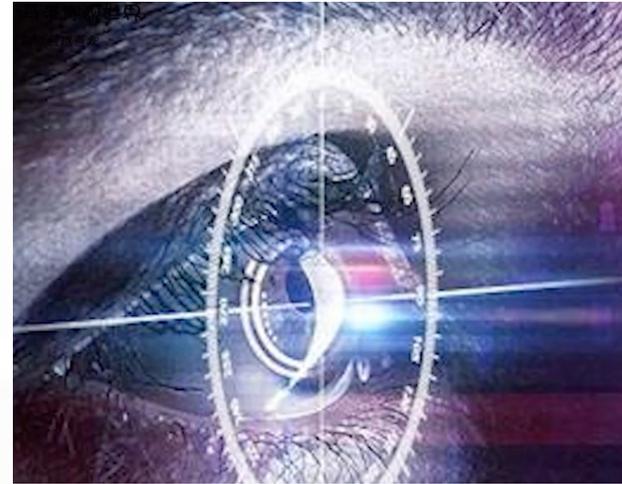
外因



→ 眼动行为

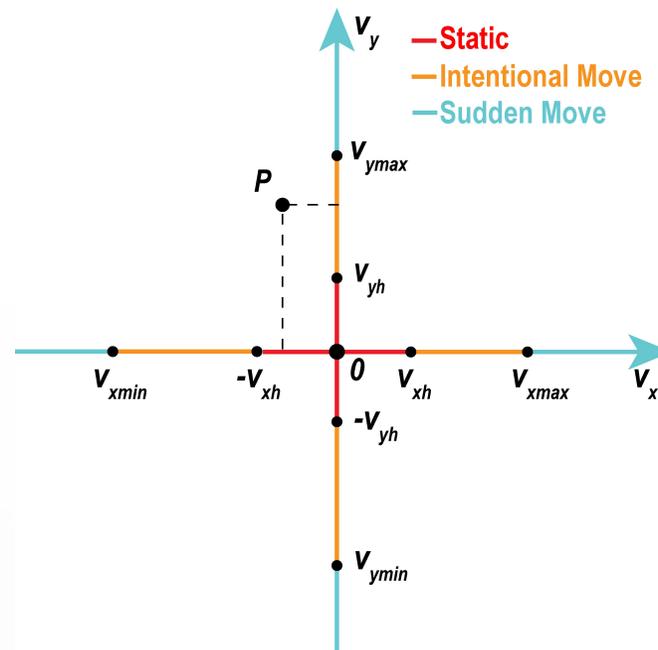
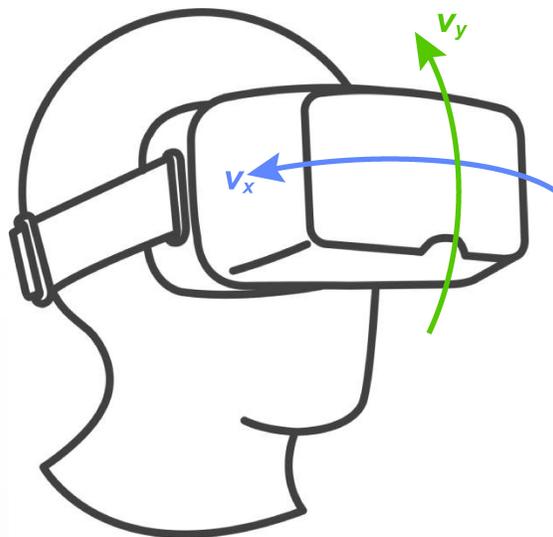


→ 内因 → 眼动特征行为



基于眼动头动协调性机理的眼动行为特征模型

虚拟现实系统眼动计算



	<i>Static</i>	<i>Intentional Move</i>	<i>Sudden Move</i>
水平方向	0.1345	0.5883	0.1511
竖直方向	0.1484	0.4969	-0.0906

眼睛注视位置与头部旋转速度之间的相关系数

协调机制：注视位置与头动速度具有很强的相关性，发现眼动头动趋势相同，但之间存在延迟（也即头动落后于眼动）

眼动计算模型

$$x_g(t) = \alpha_x \cdot v_{hx}(t + \Delta t_{x1}) + \beta_x \cdot a_{hx}(t) + F_x(t + \Delta t_{x2}) + G_x(t) + H_x(t)$$

$$y_g(t) = \alpha_y \cdot v_{hy}(t + \Delta t_{y1}) + F_y(t + \Delta t_{y2}) + G_y(t) + H_y(t)$$

x_g, y_g : 注视位置

v_{hx}, v_{hy}, a_{hx} : 头动速度及加速度

F_x, F_y : 内容

G_x, G_y : 任务

H_x, H_y : 其他因素

$\alpha_x, \alpha_y, \beta_x$: 头动速度及加速度的线性影响系数

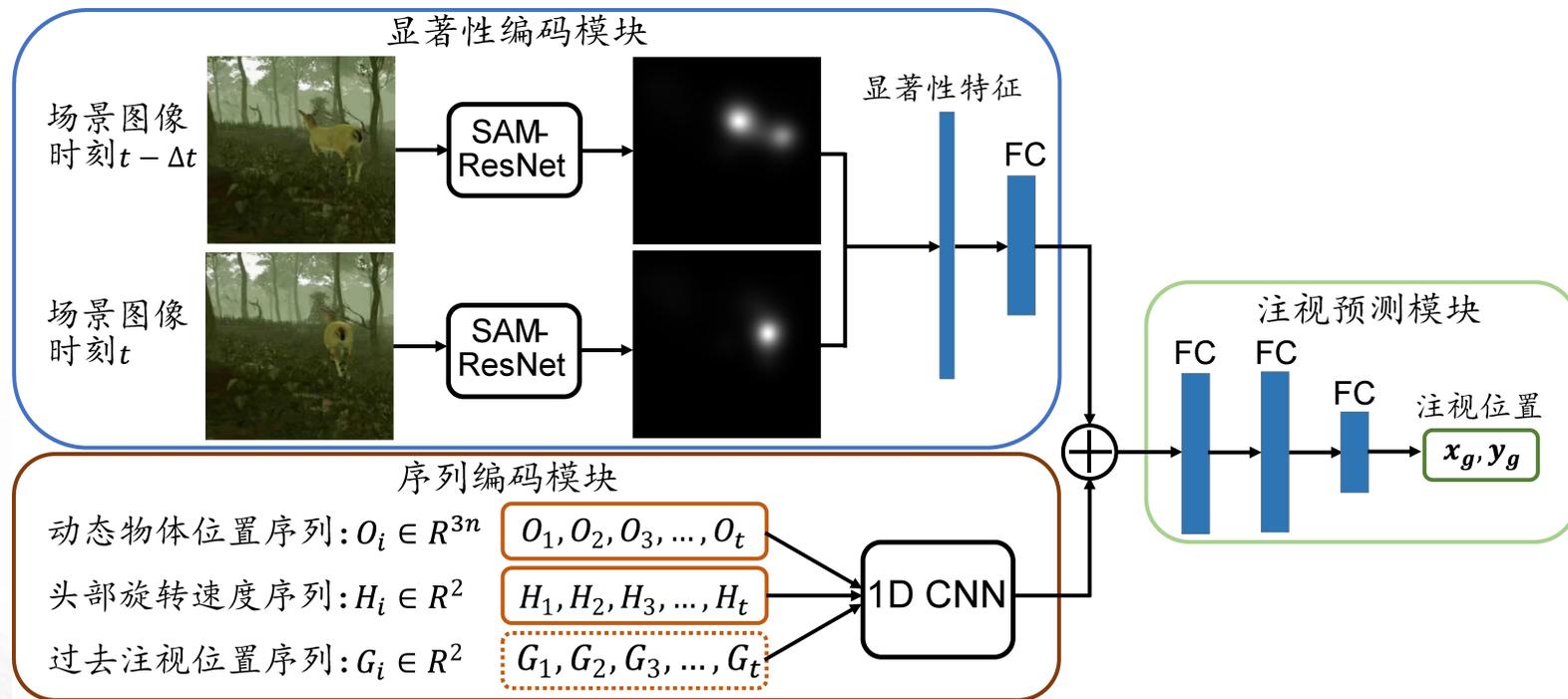
$\Delta t_{x1}, \Delta t_{y1}$: 眼动头动延迟

眼动头动相关性

眼动头动延迟

眼动行为的特征深度挖掘及未来时刻预测

DGaze模型实现未来时刻眼动行为的预测



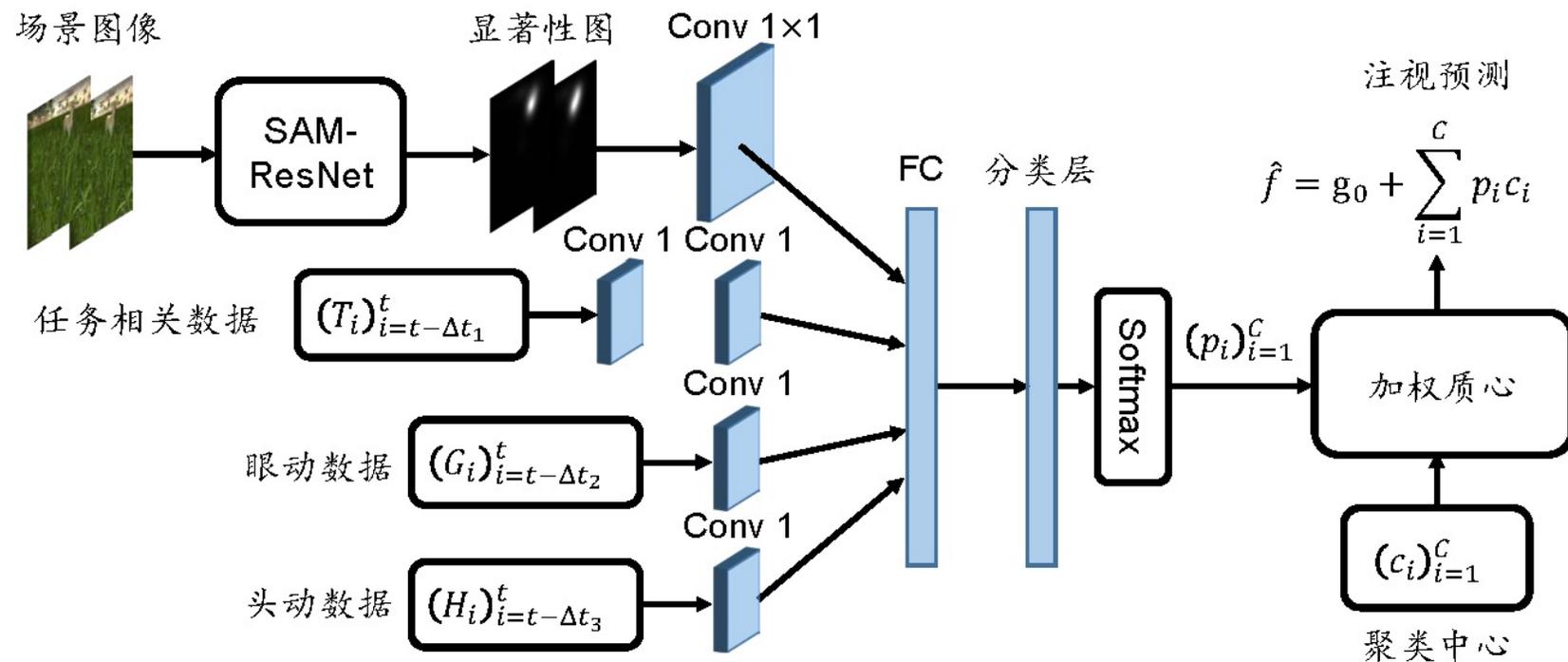
预测的高精度结果

DGaze模型框架

优点：通过提前预测可为当前任务预留大量预处理时间，例如为高质量渲染做准备

注视是交互的根本

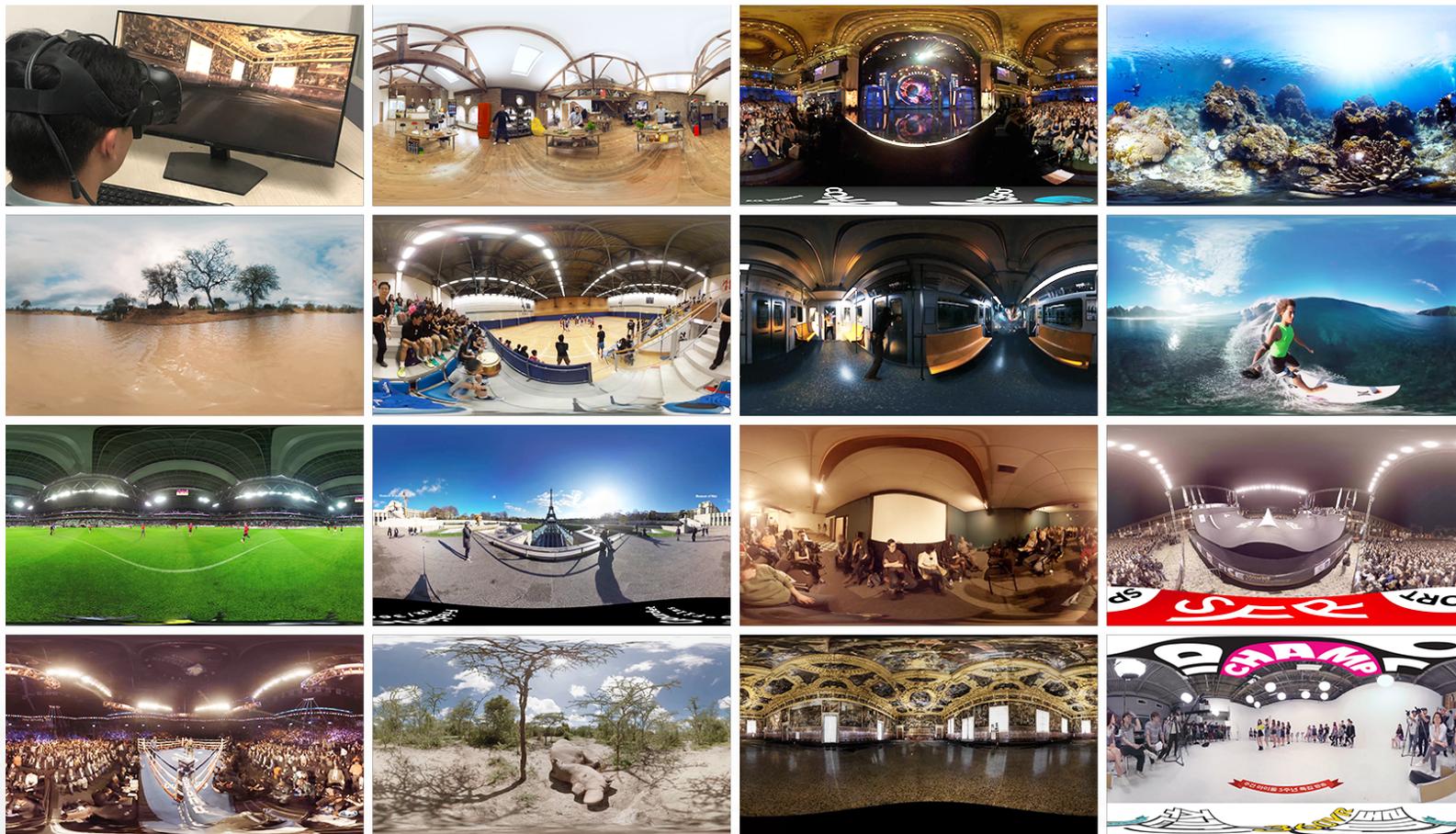
多种任务场景中的注视行为



FixationNet模型框架

通过眼动行为特征识别任务的模型

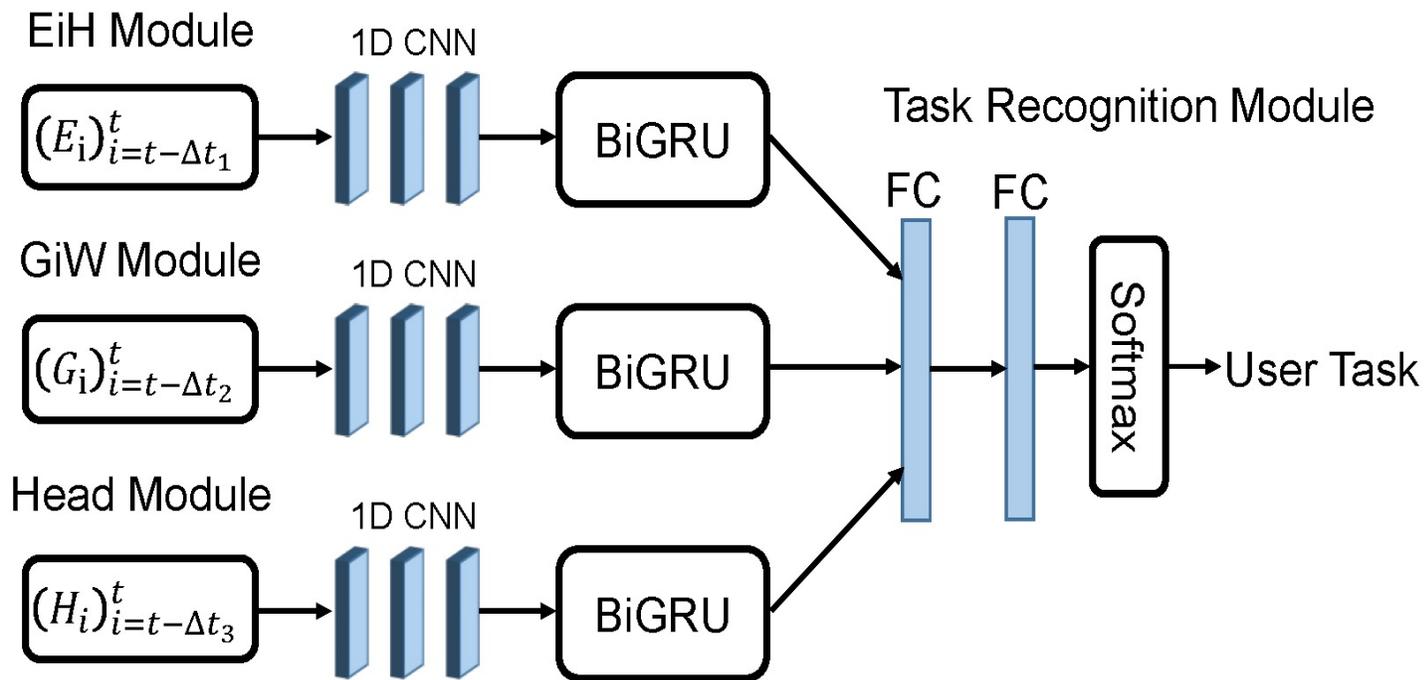
- 发现用户执行任务的眼动行为的模式



360全景视频场景

通过眼动行为特征识别任务的模型

EHTask模型



EHTask模型框架

		Ours	LDA	SVM	BC	RFo	RFe
Cross-User	Window	84.4 %	54.0 %	54.3 %	49.3 %	<u>62.8</u> %	48.7 %
	MV	97.8 %	76.1 %	75.3 %	65.3 %	<u>83.1</u> %	68.3 %
Cross-Scene	Window	82.1 %	53.8 %	54.1 %	49.0 %	<u>62.6</u> %	48.3 %
	MV	96.4 %	74.2 %	75.3 %	64.4 %	<u>83.6</u> %	72.2 %

EHTask模型在用户交叉和场景交叉下的预测表现均远好于以往方法

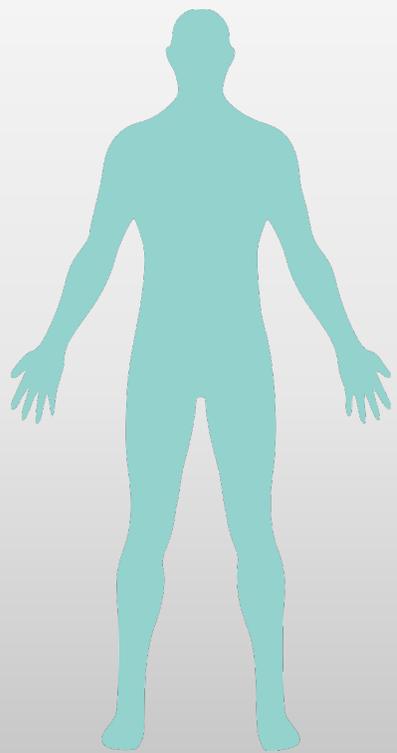
应用案例：国产增强现实飞行视景仿真系统及模拟器

眼动行为的计算和预测支撑VR/AR飞行视景仿真与模拟器（CCTV报道）





虚拟现实的人本计算之：眩晕感知



特征计算



感知 – 晕动

生理基础

理论解释

影响因素

减缓晕动

认知 – 临场感

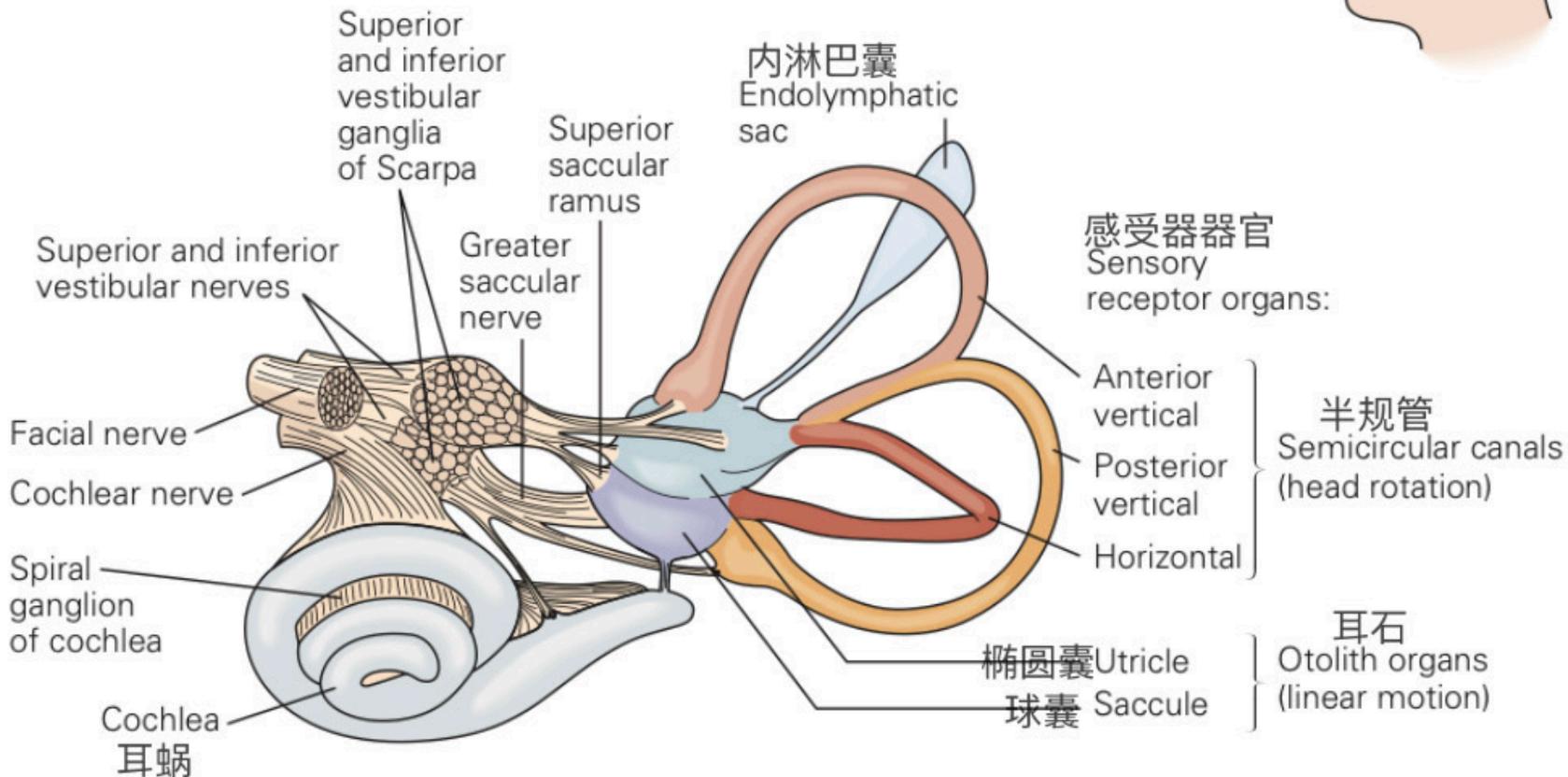
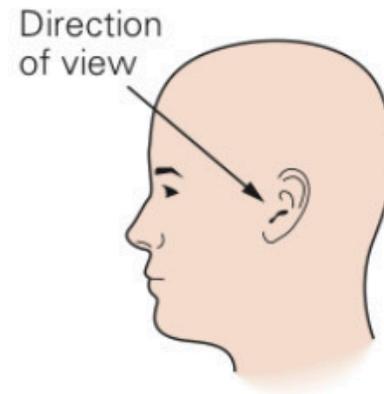
位置错觉

似真性错觉

临场感测量

自我认知错觉

• 眼动头动行为与眩晕的关系？



旋转加速度

线性加速度

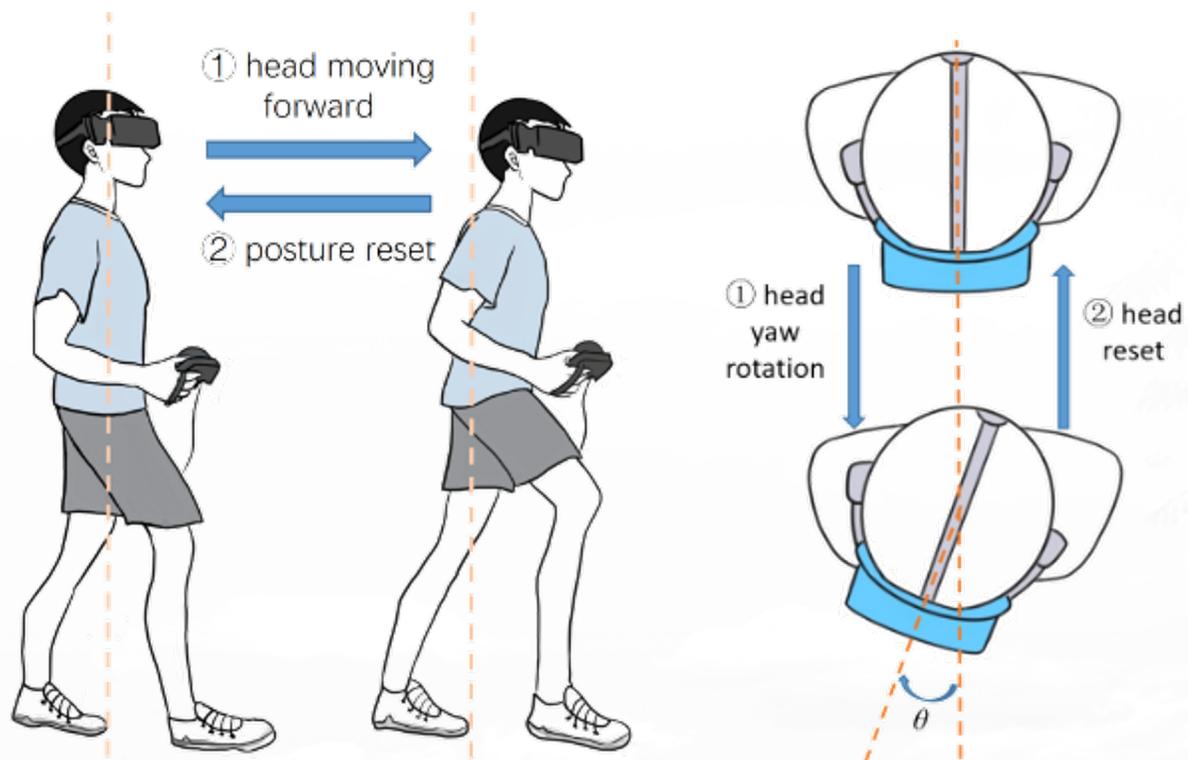
头动行为辅助的眩晕缓解技术

• 提供前庭觉反馈

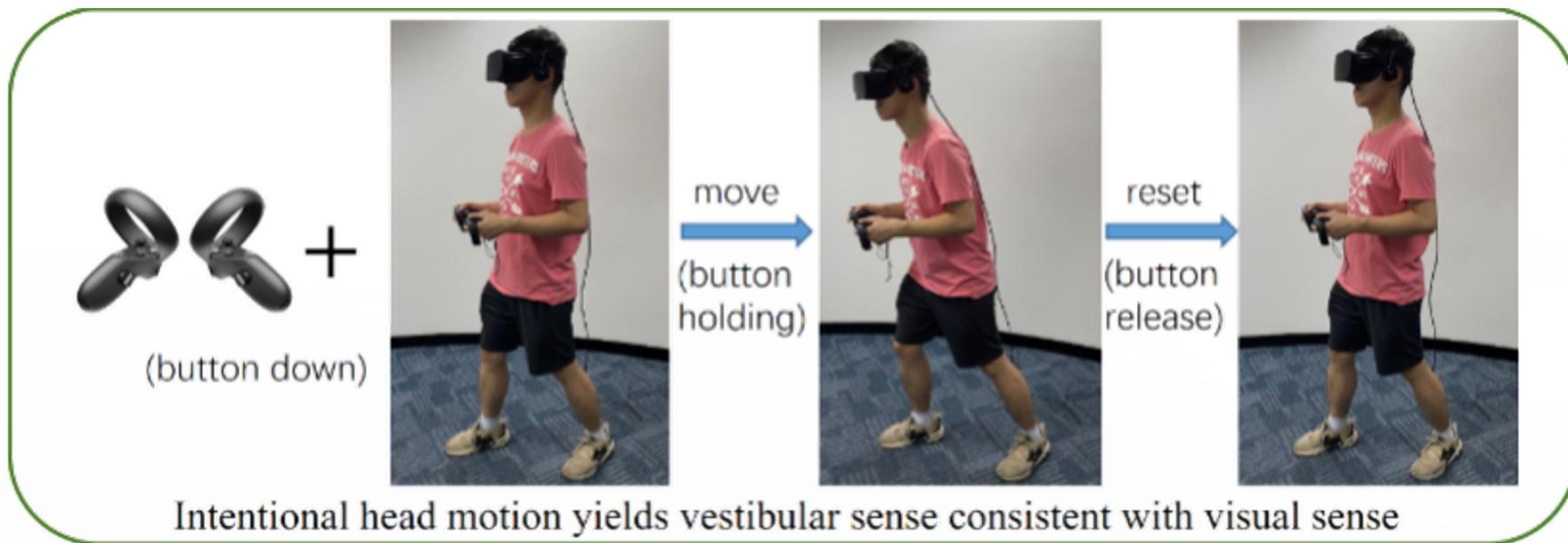
- 当视觉与前庭觉的感知匹配时，晕动会得到缓解
- 不需要完全匹配

• 主动运动伴随的辅助移动 (locomotion)交互方式

- 按住
- 朝向意图方向前进/旋转
- 复位



头动行为辅助的眩晕缓解技术

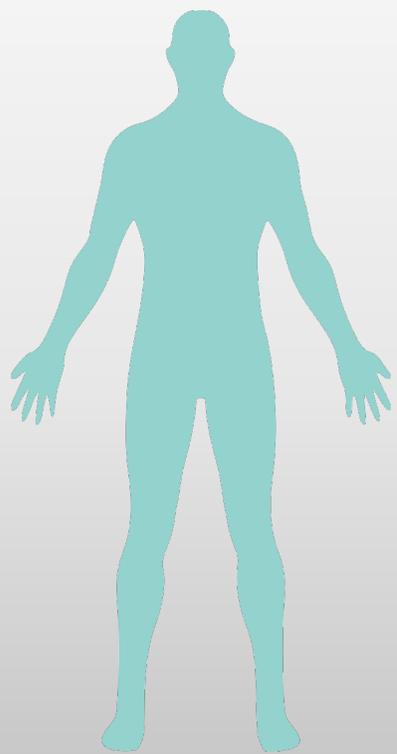


我们的方案	启动	前进	停止
视觉	向前加速度	匀速	向后加速度
前庭觉	向前加速度	匀速	向后加速度

基于倾斜的方案	启动	前进	停止
视觉	向前加速度	匀速	匀速
前庭觉	向前加速度	匀速	向后加速度



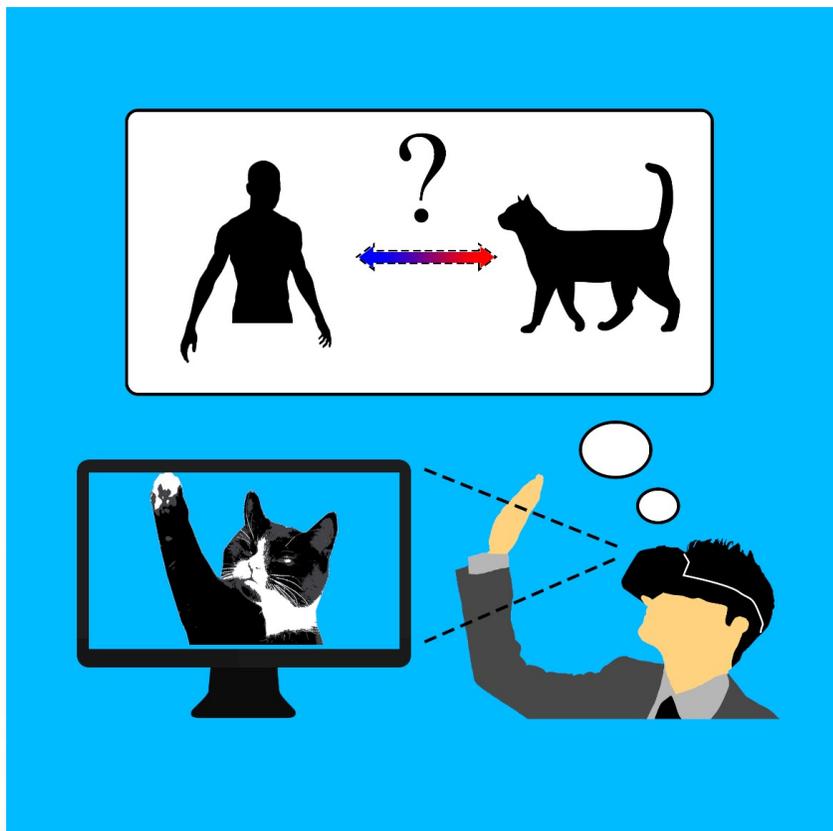
虚拟现实的人本计算之：自我认知



特征计算



从感知到高层次的自我认知错觉



在虚拟场景中扮演角色之后，对自我身份的认知？

我们在虚拟场景中的行为是否会变得

像角色本身？

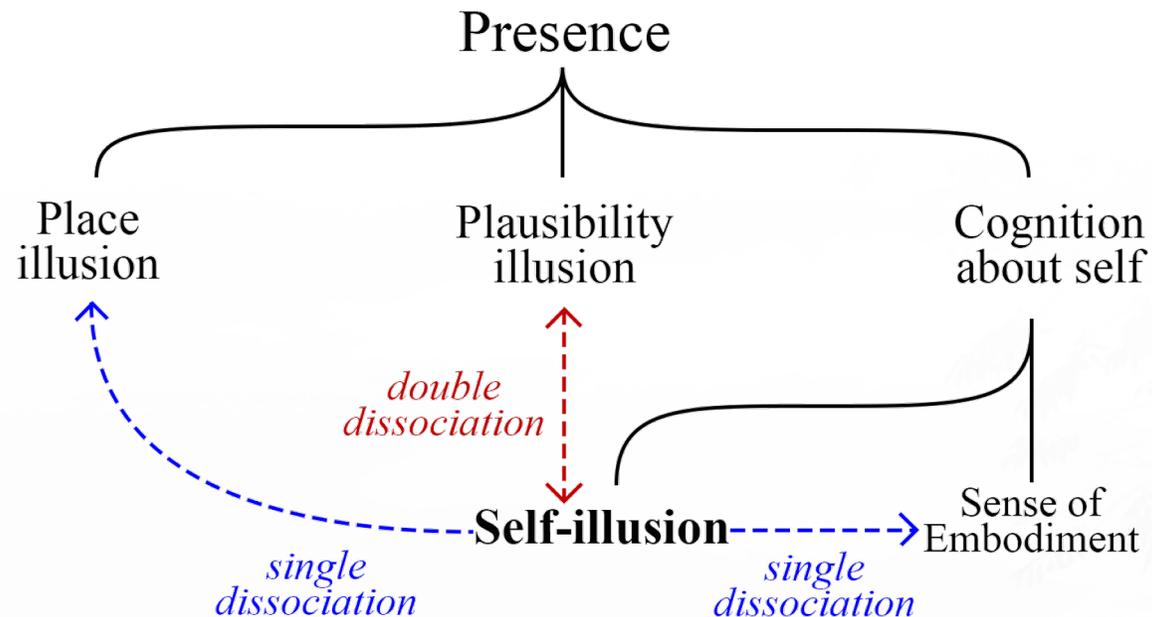
用户进行角色扮演游戏

• 自我错觉 (self-illusion)

- 关于自我认知的泛化错觉，感受到与虚拟角色的关联
- 同时仍清楚地意识到虚拟角色并不是现实中的自我

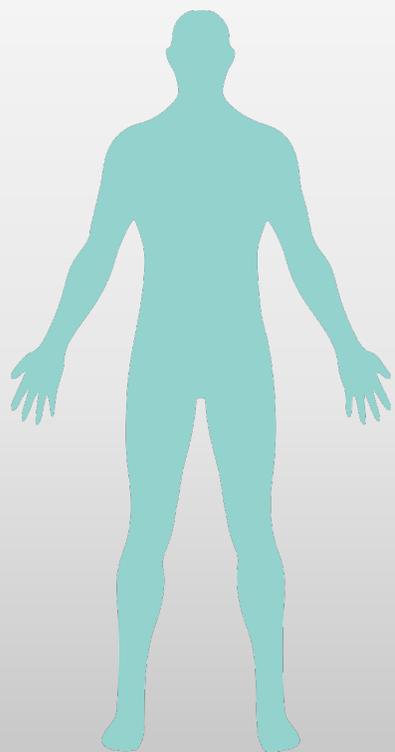
• 对行为的影响

- 这种错觉会让用户在虚拟现实中产生与扮演角色相匹配的行为反应





虚拟现实的人本计算之：社会角色认知



特征计算





Cristina等人就利用虚拟现实来帮助参与者改变性别的偏见

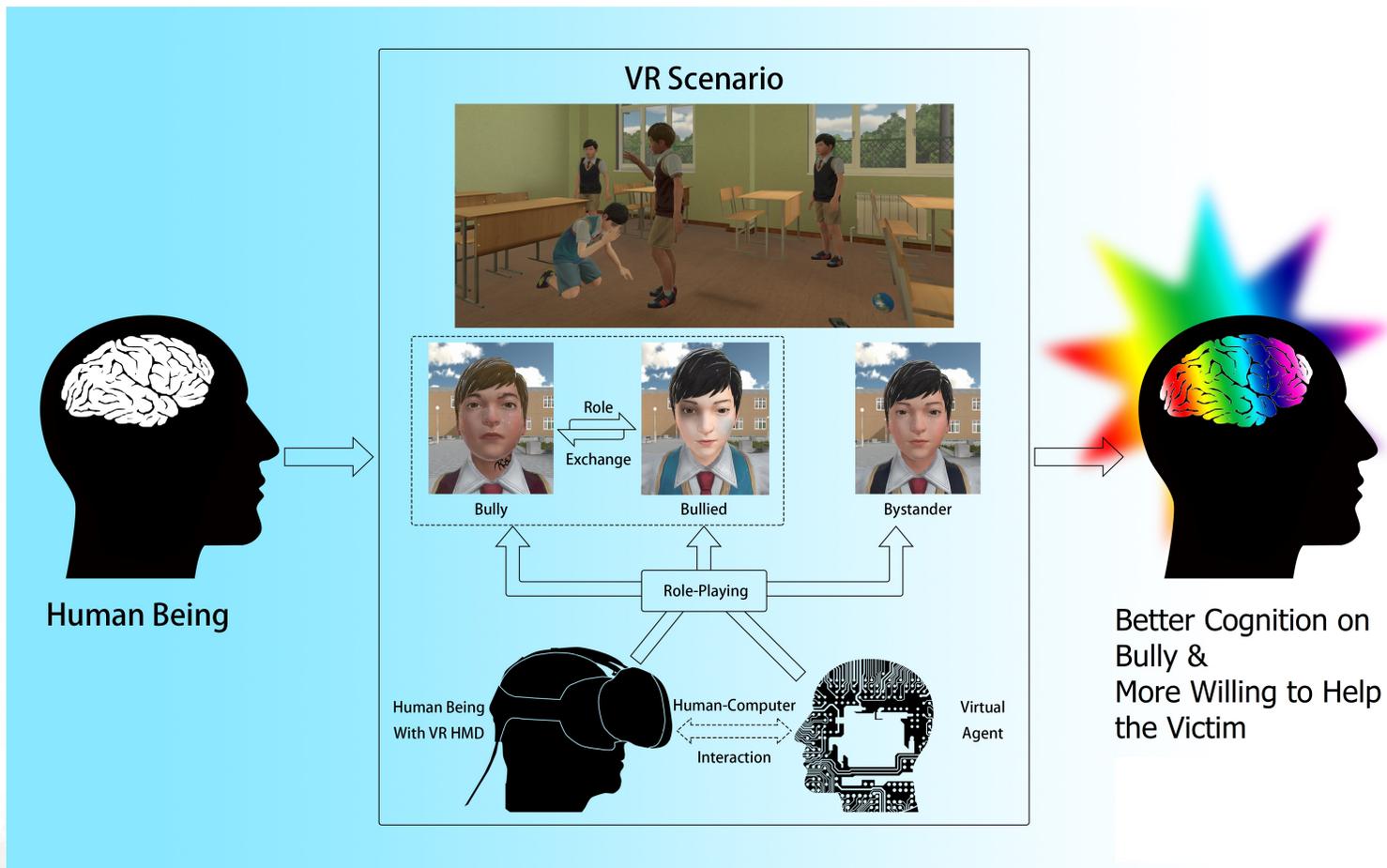
◆ 意义

- 在沉浸式虚拟现实系统中，以第一人称单独扮演某个社会角色是一个重要的产生心理作用的常用方法。作用未必明显。

◆ 创新性

- 我们的研究创新性地提出了社会角色交换的扮演方法，发现了角色交换对参与者认知的影响。

以校园反霸凌为实验系统，经过合理角色交换的用户，能对校园霸凌有更深刻的认识，并且面对霸凌事件变得更敢于干预阻止。



用户的社会认知改善，对霸凌有更明确的认知，更愿意帮助受害者。对预防和降低校园暴力有重要作用和意义。

◆ 亮点

- 经过特定顺序的角色交换后，能达到最好的认知改善效果，使用户对霸凌有更明确的认知，更愿意帮助受害者
- 我们的实验还揭示了单纯的角色扮演可能带来的弊端，第一人称在某些情况下可能效果不如第三人称。

◆ 应用场景

- 减少校园霸凌
- 减少人际矛盾
- 提升同理心

联系方式：

lisheng@pku.edu.cn

[lishengpku.github.io](https://github.com/lishengpku)



谢 谢