

北大虚拟仿真课程2017

地理虚拟仿真实验与应用

龚建华研究员

2017/4/13

中国科学院遥感与数字地球研究所

遥感科学国家重点实验室

电话：10-64849299，Email：gongjh@radi.ac.cn

虚拟地理环境网站：www.vgelab.org

龚建华

1965年生，博士，浙江海盐人。

现为中国科学院遥感与数字地球研究所“虚拟地理环境”方向研究员，博士生导师。

1987年毕业于西南交通大学测量工程系，

1987年至1989年在林业部华东林业调查规划设计院从事林业遥感，

1992年获北京大学信息科学中心理学硕士学位，

1995年获北京大学遥感与地理信息系统研究所理学博士学位，

1995年至1997年在中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室作博士后研究，

1997年至2001在中国科学院和香港中文大学地球信息科学联合实验室做博士后（合作）研究。

研究方向包括：地图与地学可视化、健康医学地理，虚拟地理环境。

联系地址：

北京朝阳区大屯路天地科学院区 (100101)

中国科学院遥感应用研究所

电话：10-64849299, 13701081095

电子邮件：gongjh@radi.ac.cn , jianhuagong@sina.com,

QQ: 981620489, 微信: vgegong

网址：www.vgelab.org

①VR/AR技术发展现状

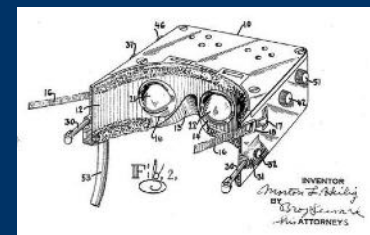
②虚拟仿真研究的理论思考

③头盔式VR技术与交互实验

④虚拟仿真实验案例

⑤结语与展望

- **VR 1.0**：上世纪**50-60年代**开始；1956年，摄影师Morton Heilig发明了Sensorama，一款集成体感装置的3D互动终端；1960年，Heilig 提交了一款VR设备的专利申请“用于个人使用的立体电视设备”；1965年，Sutherland发表了题为“终极显示”的论文；
- **VR 2.0**：上世纪**90年代**开始；1989年，美国VPL Research公司的创始人Jaron Lanier创造了“Virtual Realty”一词；
- **VR 3.0**：**2014年**开始？ Facebook 收购Oculus公司；



2014年，社交平台Facebook
收购 Oculus 立体眼镜公司



2016年6月，国家科技馆可观看和体验最新的虚拟现实技术，在虚拟世界里可开展虚拟登月、驾驶飞机降落航空母舰、穿越时空与恐龙相遇、教室里虚拟灭火等

头盔沉浸式VR技术与全新设备（消费级、大众化），开启了一个新的VR时代和一个全新的虚拟世界！

2016年，虚拟现实/增强现实技术产业发展元年



Oculus头盔



HTC Vive VR 头盔与交互设备



Gear VR 手机眼镜



大朋VR一体机



微软 HoloLens

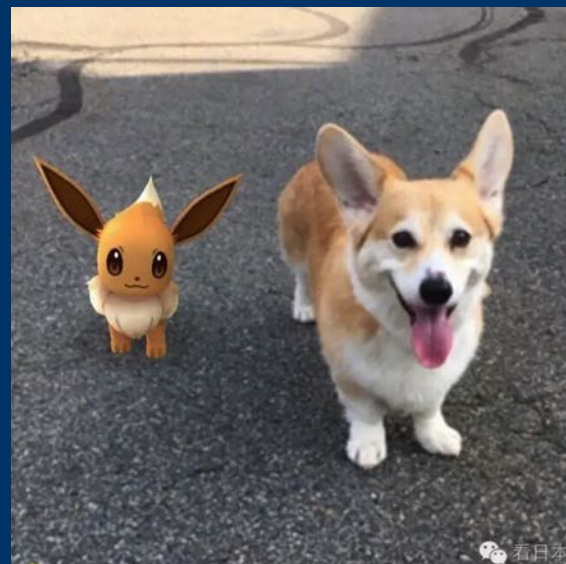


基于微软HoloLens AR/MR 眼镜的城市建筑三维管理沙盘，支持多用户协同（2016，南京）

任天堂和Niantics联合开发的AR游戏——Pokemon GO（口袋妖怪，中文名将定为精灵宝可梦）

这款游戏上线之前，任天堂市值不足**200亿美元**，上线之后，任天堂一周时间**涨逾80%**。任天堂市值7月19日**涨至390亿美元以上**，甚至已经超过索尼（市值383.8亿美元）。

根据Survey Monkey数据显示，这款游戏**日活跃用户数量（DAU）高达2100万**，已经击败之前的记录保持者糖果传奇，后者最巅峰时期拥有2000万日活用户。



增强虚拟现实技术

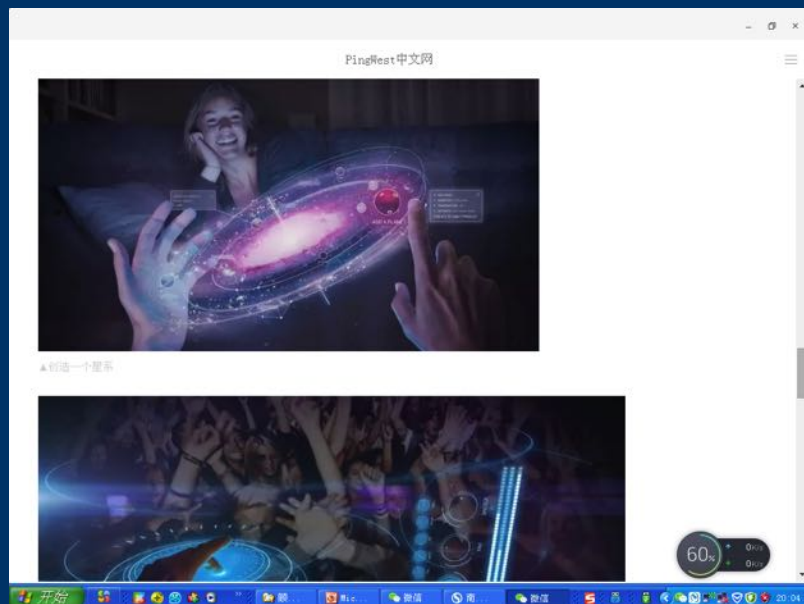


亮风台的Holo glasses，在地理沙盘上虚拟叠加了海水大气变化，三维+流体，中文语音+手势控制水面涨浮，大气流动。【郭蔚，2016】
(2016年11月16日第六届巴塞罗那全球智慧城市博览会)



增强现实/混合现实Magic leap公司

Brian 解释说：MR 技术主要将应用于日常生活和生意，其他科技公司在研发的VR产品则主要是在游戏和娱乐方面。



工信部《虚拟现实产业发展白皮书5.0》

2016-04-19

编制单位：中国电子技术标准化研究院 全国音频、视频及多媒体系统与设备标准化技术委员会 2016 年4 月

87870&易观·中国虚拟现实行业白皮书 2016

编制单位：87870.com & 易观，2017年2月

据IDC（2017）预测，总的头显出货量在**2021年将达到9940万**，比**2016年的1010万台**增加近10倍。

同时，AR头显的市值将从**2016年的2.09亿美元**增长至**2021年的487亿美元**。VR头显的市值会从**2016年的21亿美元**增长到**2021年的186亿美元**。

中国虚拟现实行业硬件市场规模

(单位：亿元)



数据说明：易观根据企业调研、公开信息以及易观方法论计算得出。

© Analysys 易观

www.analysys.cn

中国虚拟现实行业内容市场规模

(单位：亿元)



数据说明：易观根据企业调研、公开信息以及易观方法论计算得出。

© Analysys 易观

www.analysys.cn

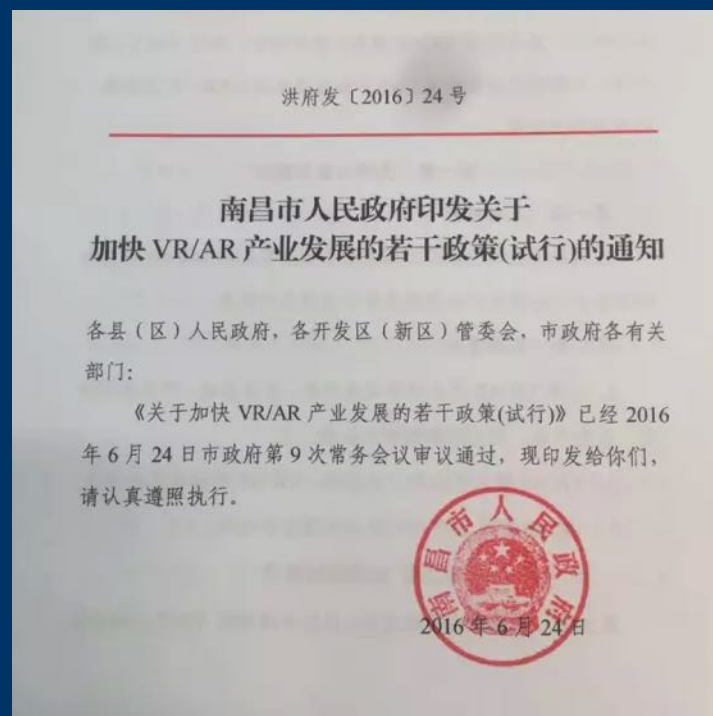
**2016年国内VR硬件市场规模
22.5亿,内容市场规模7.2亿。**

南昌、福州、长沙、青岛等在2016 年建立VR产业基地

中国(南昌)虚拟现实VR产业基地十亿创 投资基金正式成立（2016年6月26日）

“中国（南昌）虚拟现实VR产业基地”包括：设立中国（南昌）虚拟现实产业研究院；发起中国（南昌）虚拟现实天使创投基金和产业投资基金；组建中国（南昌）虚拟现实教育集团；搭建中国（南昌）虚拟现实公共服务平台；打造中国（南昌）虚拟现实学术交流中心；构建中国（南昌）虚拟现实企业创新中心；建设中国（南昌）虚拟现实主题公园；组织中国（南昌）虚拟现实国际博览会；引进成立中国（南昌）虚拟现实重点实验室。

按照构建世界级的虚拟现实产业中心的目标，“中国（南昌）虚拟现实VR产业基地”将不断完善产业链，在3-5年内，培养1万名专业技术人才；发起10亿元人民币为总规模的虚拟现实天使创投基金；落实100亿元人民币规模的虚拟现实产业投资基金；聚集1000家以上的虚拟现实产业链上下游企业；实现超过1000亿元人民币产值。



虚拟现实产业链

- ①**工具和设备类**可细分为：输入设备、输出设备、显示设备、拍摄设备、以及相关软件等；
- ②**内容制作**可细分为：影视、游戏等内容；
- ③**分发平台**可细分为：应用商店、社交影院、实体体验店、网店、播放器等内容；
- ④**行业应用**可细分为：工业、军事、医疗、教育、房地产、旅游、会展、等内容；
- ⑤**相关服务**可细分为：平台、媒体和孵化器等内容。

VR/AR技术与大众化应用产业发展存在的问题

- 1) **VR、AR标准规范**，严重缺乏，头盔式**VR**硬件接口种类繁多；
- 2) 内容制作是虚拟现实产业界的短板，当前的内容制作成本高、周期长，对于制作人员的要求也高，限制了虚拟现实应用的发展；
- 3) **VR**硬件设备还相对比较昂贵（**VR**头盔+交互设备+高端图形卡计算机）；
- 4) **VR**中的晕眩问题是个难题（延迟、**90帧fps**以上、运动多感知不匹配等）；

VR/AR技术与大众化应用产业发展存在的问题

5) 内容VR游戏、VR娱乐居多，其他专题与行业内容比较缺乏（VR购物、VR广告宣传、VR旅游、VR教育、VR科普、VR军事等刚刚发展）；

2013-2016中国虚拟现实行业部分领域应用投融资数量占比

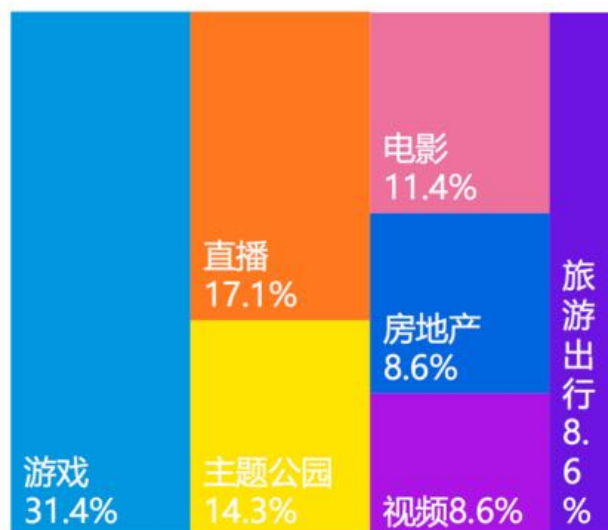


图 1-6 中国虚拟现实行业部分领域应用投融资数量占比 2013-2016

6) VR大众应用产业化的商业模式还不是很清晰（目前VR游戏比较清晰）；部分虚拟现实产品停留在概念炒作、透支行业发展阶段，用户体验难以满足消费者需求，低质量、高重叠的产品对市场发展造成了不良影响等。

①VR/AR技术发展现状

②虚拟仿真研究的理论思考

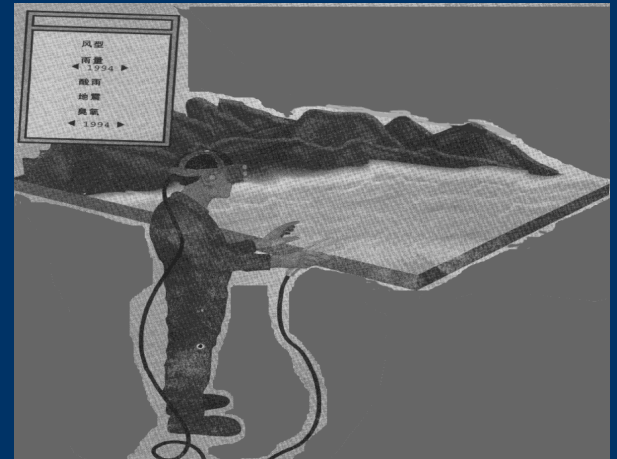
③头盔式VR技术与交互实验

④虚拟仿真实验案例

• 结语与展望

2.1 20年的虚拟地理研究

1995年-1997年，在中科院地理所信息室陈述彭先生与周成虎院士指导下，结合虚拟现实与地理学，初步形成虚拟地理环境概念想法。



中国科学院
国家计划委员会 地理研究所

博士后研究工作报告

题目：地学可视化
-理论、技术及其应用

博士后姓名：龚建华
合作导师：陈述彭院士

工作完成日期：1995年9月—1997年9月
报告提交日期：1997年11月

中国科学院
国家计划委员会 地理研究所

博士后出站报告

目 录

序 言	1
1 地学可视化研究框架	3
1.1 科学计算可视化	3
1.2 地学可视化	4
1.2.1 地图可视化	4
1.2.2 地理可视化	7
1.2.3 GIS的可视化	8
1.2.4 地学多维图解	8
1.2.5 虚拟地理环境	9
1.3 结论	9
2 面向对象的可视数据模型	11
2.1 可视数据模型概念提出	11
2.2 面向对象技术的应用	12
2.2.1 地理现实世界概念模型	12
2.2.2 可视数据模型中地理对象属性分类	13
2.3 体三维可视数据模型	15
2.3.1 体三维面向对象处理	15
2.3.2 体三维数据空间结构	16
2.3.3 瞬时动态时空模型	19
2.4 小结与讨论	20
3 地学可视化技术原理	21
3.1 三维真实感图形显示	21
3.1.1 坐标变换、投影变换	22
3.1.2 三维立体显示中隐藏点的消除	24
3.1.3 光照模型	24
3.1.4 纹理映射	25
3.2 地学分析模型	25
3.2.1 地形分析模型	26
3.2.2 植物树木的计算机生成	27
3.3 计算机动态与地学分析	28
3.3.1 动态地学分析的空间认知与信息流	28
3.3.2 海量地学数据快速处理方法	29
3.4 地学网络可视化与虚拟地理环境	32
3.4.1 地学网络可视化	32
3.4.2 虚拟现实与虚拟地理环境	32
3.5 小结与讨论	34

关键内容：地学可视化，地学多维图解，图形思维与分析，虚拟地理环境

2001年起，与林琿教授一起正式发展虚拟地理环境概念与理论技术。虚拟地理环境概念发展，从1997-1998年起，也近20年了。



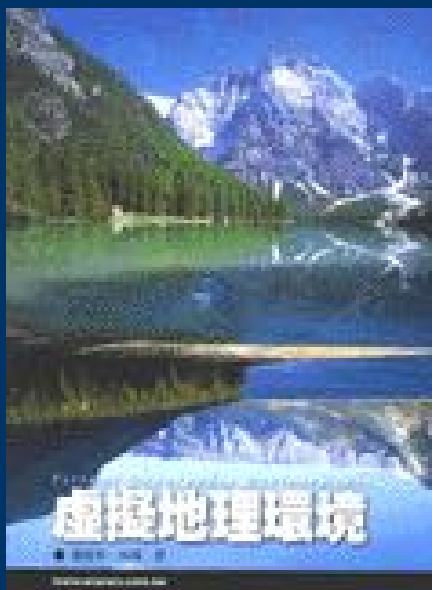
1997年



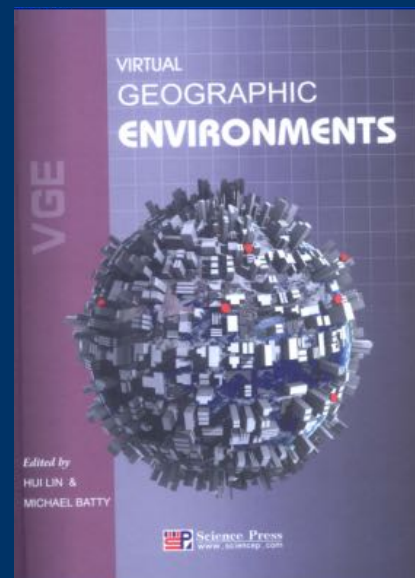
1999年



2001年



2002年



2009年

虚拟地理环境概念

虚拟地理环境=虚拟现实技术+地理环境（地理学）

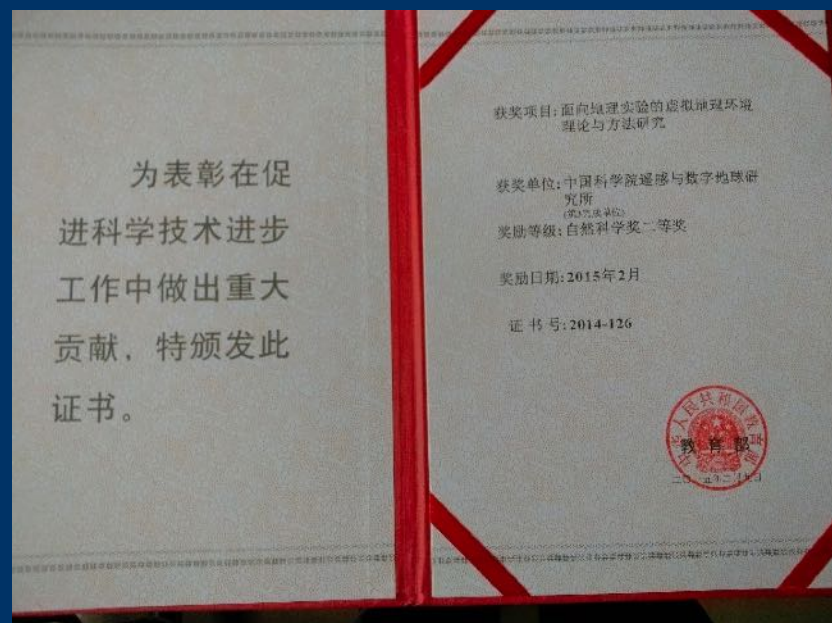
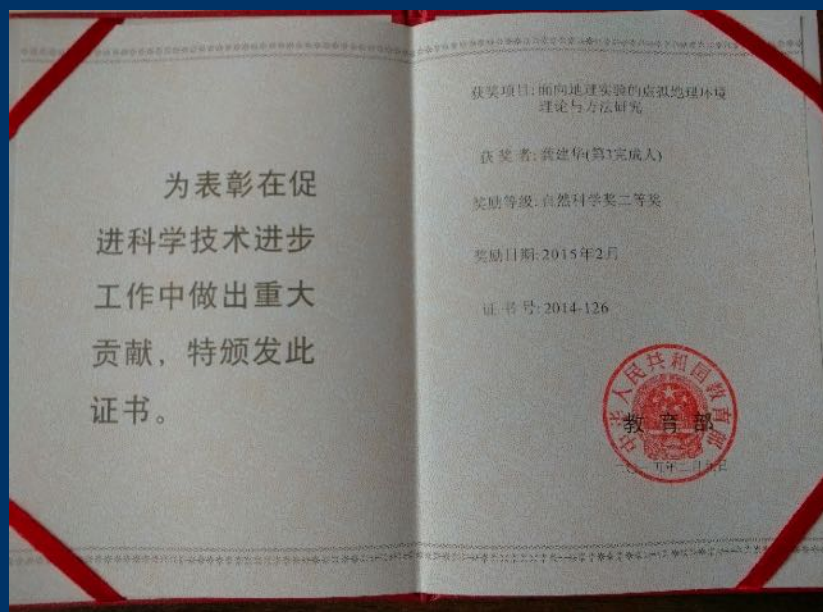
虚拟地理环境是一种由计算机生成的数字化地理环境，可通过多通道人机交互和分布式地理协同实现对自然和人文地理环境的系统感知、认知和综合实验分析。

根据表达的内容不同，可将虚拟地理环境分为包括相似与增强的现实地理环境、再现与复原的历史地理环境、预测与规划的未来地理环境等几种类型。

虚拟地理环境广义定义：是以化身人、化身人群、化身人类为主体的一个虚拟共享空间与环境，它既可以是现实地理环境的表达、模拟、延伸与超越，也可以仅是指赛博空间中存在的一个虚拟社会世界。



2015年获教育部高等学校科学研究优秀成果奖(科学技术)自然科学奖二等奖：“面向地理实验的虚拟地理环境理论与方法研究。”



2016年8月，筹备成立了“国际数字地球学会虚拟地理环境专业委员会”



◆名誉主任:高俊院士

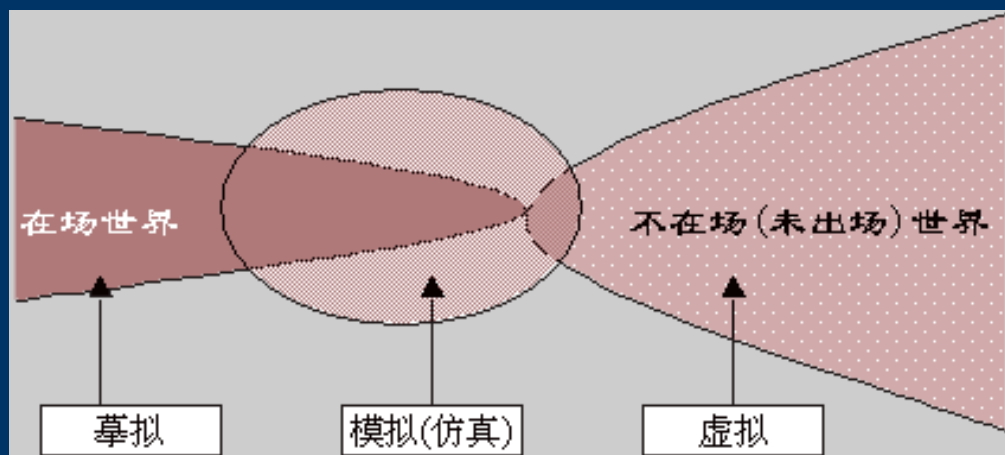
◆主任: 林珪教授

◆副主任: 闫国年、龚建华、朱庆、游雄、陈崇成

◆秘书长: 陈旻

2.2 地理虚拟仿真实验原理

1) 仿真（模拟）与虚拟概念与哲学思考



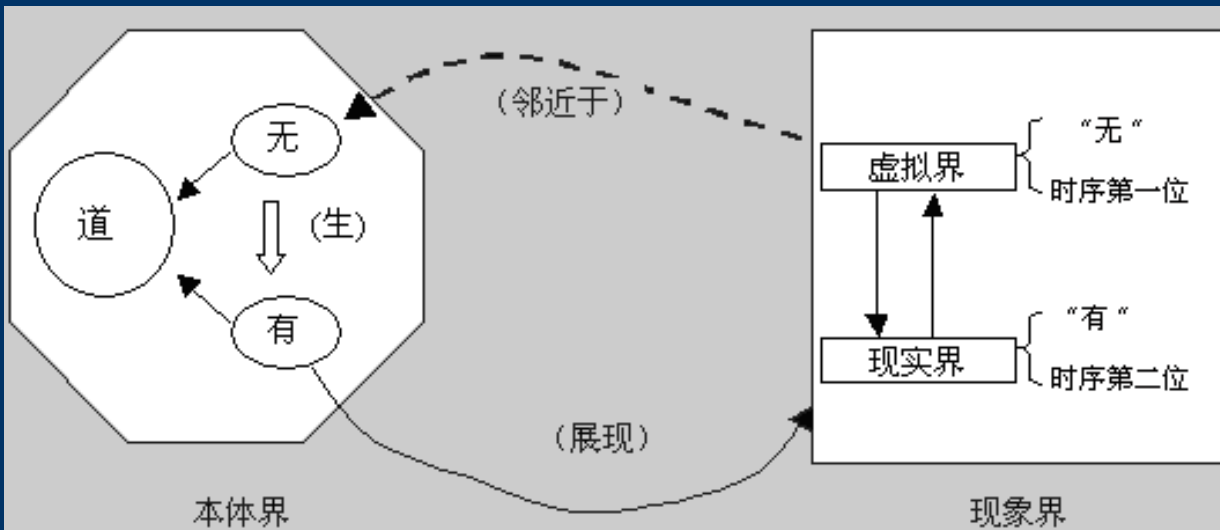
何为“真”？本质、规律？
1) 人们的认识，符合于客观规律的就是真理；2) 真理，被理解为存在(自身的本质)的无遮蔽状态，即去蔽（海德格尔）

摹拟是对当前在场的现实事物或现象进行表达，是摹仿自然，在哲学上，是主客二分关系模式的表现，是以在场为首要原则（张世英 1999）；

虚拟与摹拟的区别是前者着重表示不在场（未出场）的事物或现象，后者表示当前在场的事物或现象。而模拟（仿真）是在表达在场物的基础上，再表达一些与在场物相关的未出场事物或现象，但模拟（仿真）的对象内容虽包含了在场世界和不在场世界，然而，在场事物或现象仍是模拟（仿真）的主要重点。

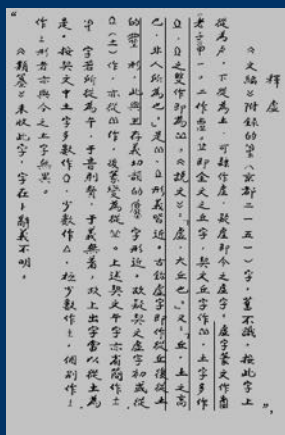
虚拟与模拟的关系可理解为：虚拟是模拟的延伸，但强调不在场（未出场）的事物或现象这一侧面。

虚拟的本体论



根据现象界的“无”与本体界的“无”具有某种内在的类似性、相通性，虚拟界比现实界更邻近于本体界的“无”。

“虚”的字源学与艺术论



关于“虚”字，依据“虚”的甲骨文考释，“虚”是丘，又与“墟”字相通，所以，从“丘”，到“墟”，再到“虚”，则也可以认为是从具体到抽象的进一步变化转向。

“虚”，则更多地远离了“废墟”的情景，转向了更广义的“空”和更主观的“想象”实在，更具有主观性和能动性。但应该指出，中文“虚”字，含有的对于往昔已逝事物的追忆，“废墟”留下的遗迹、痕迹，则隐约地留在了“虚”的深层涵义世界。

中文“虚”字，是面向过去的，是回忆式的，是静的，是“空”的；而西方的“Virtual”一字，则是面向未来的，是动的，具有面向显现的生机与潜在活力。“虚”与“Virtual”体现了东西方文化的某种细微差异性特征。



仿真：强调的是在场（出场）事物或现象，以“真（真理）”的揭示为科学目标；

虚拟：强调的是未在场（未出场）的事物或现象，与“人”主体性密切相关。

2) 虚拟仿真实验概念与方法

实验，是科学研究的一种基本实践活动，是在一个可控环境下，实验者（主体）依据一定的假设、理论等，通过中介交互方法（或工具）人为地调控或改变研究对象（客体）的某些条件、要素，使某些事物（或现象、过程）发生或再现，从而发现或验证知识、获取与认识规律。

仿真，是利用模型复现实际系统中发生的本质过程，并通过对系统模型的实验来研究存在的或设计中的系统，又称模拟。**仿真科学与技术体系**：一门具有**综合性、实验性的新学科**，以相似理论、建模理论、仿真系统理论、仿真方法论、仿真的可信性理论和仿真综合应用理论为基本理论，以计算机、相关物理效应设备及仿真器为工具；利用模型运行对已有或假想系统进行研究、分析、设计、生产、试验、评估、运行和维护活动的一门学科（王精业等，2007）。

虚拟地理实验概念

虚拟地理实验，是在计算机网络虚拟空间与环境下开展的一种地理计算与协同分析实验。

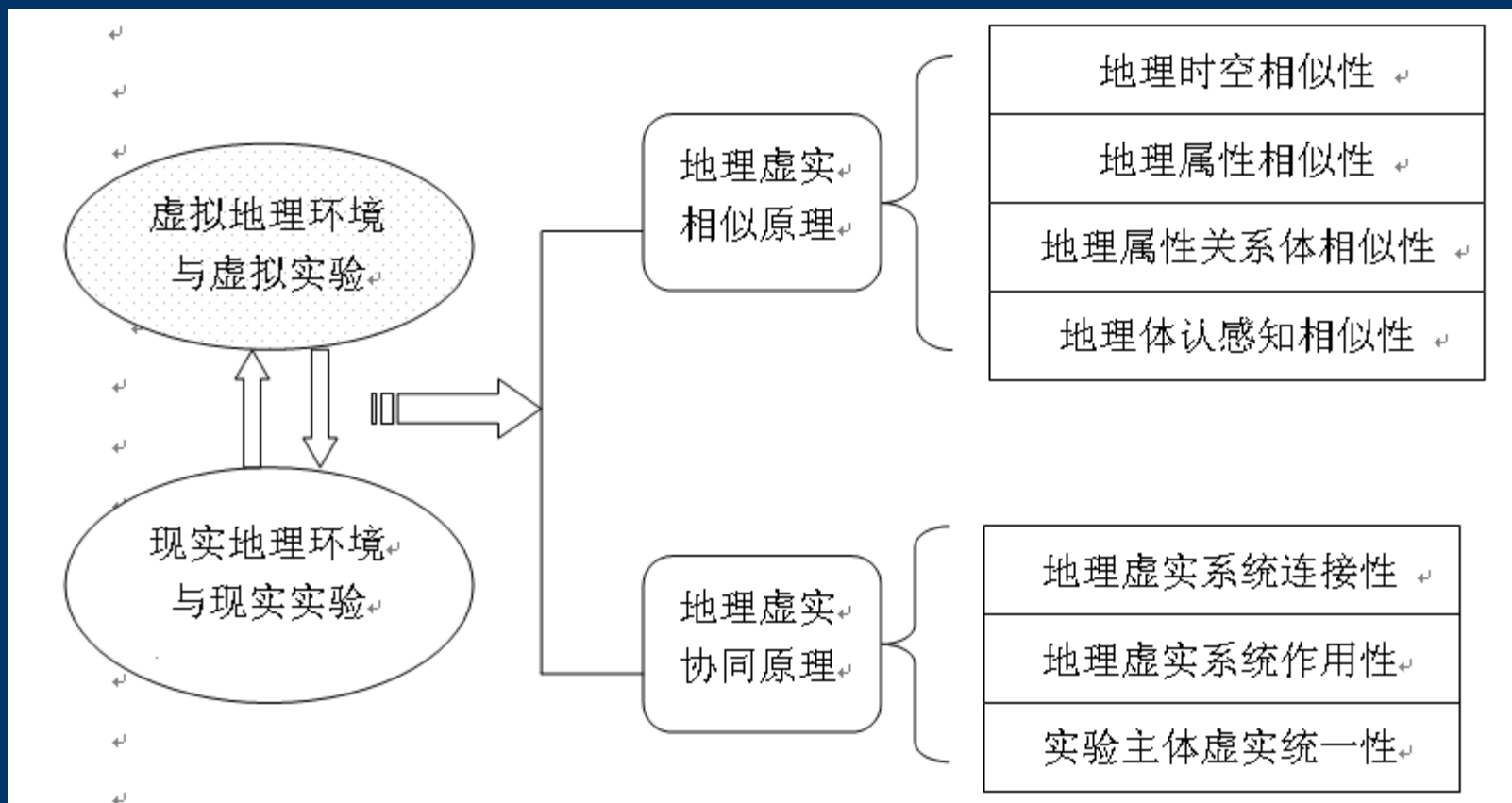
定义：基于协同虚拟地理环境，依据一定的假设、理论、模型、情景设想等，通过人机交互技术控制、调整某些参数、规则、或条件开展时空计算、数据统计、图谱协同分析、反馈互动等，**从而在虚拟地理多维信息世界中“查考自然，逼迫自然白露真像”**，以获取或验证某种地理经验与知识。

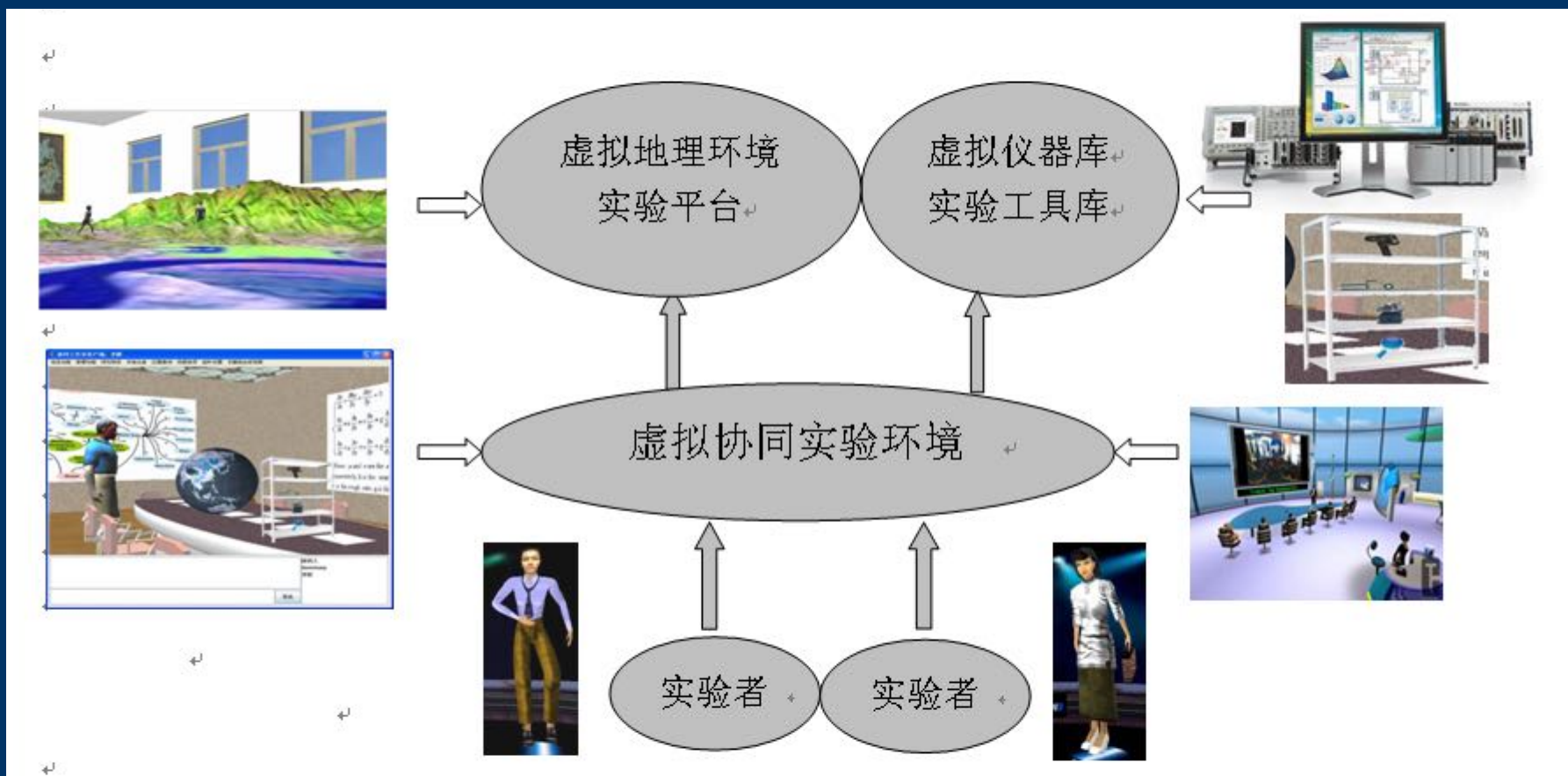
虚拟地理实验可以具体分为：经验驱动型虚拟地理实验和理论驱动型虚拟地理实验。

1) **经验驱动型虚拟地理实验**，是没有预先明确的假设与理论，主要是依据实验主体相关地理问题与地理系统等的经验、零碎知识、直觉判断，通过不断的调控参数、条件、或情景设置等，探索与发展新的地理现象、模式、特征与规律等，属于**逻辑归纳方法**，可以认为是一种**探索类虚拟地理实验**；

2) **理论驱动型虚拟地理实验**，则是已经具有一定的假设或理论模型等，然后通过参数、规则等调整与修改，计算获取相应的现象与数据，从而分析已有理论或模型的有效性、正确性等，属于**逻辑演绎方法**，是一种**验证类虚拟地理实验**。

虚拟科学、虚拟实验的 核心理论是“虚实论”





虚拟地理实验室结构组成



计算地理学是地理学中利用计算技术对地理事物建模、分析地理信息、模拟地理过程的方法体系，以及地理运筹、地理软件工程原理的方法论学科。

计算地理学的意义在于为整个地理信息科学乃至整个地理学提供分析工具。



提出并阐述了基于元胞自动机、多智能体系统和GIS的地理模拟系统（**Geographical Simulation Systems**）的新概念

计算地理，地理模拟（数字计算）

计算实验，虚拟实验（实验科学视角）

文章编号: 1673-6338 (2013) 04-0399-10

论虚拟地理实验思想与方法

龚建华^{1,2}

(1. 遥感科学国家重点实验室 中科院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

2. 浙江中科空间信息技术应用研发中心, 浙江 嘉善 314100)

摘要: 结合传统的实验思想与方法以及最新的虚拟地理技术, 阐述并发展“虚拟地理实验”思想、概念、特征与方法。从虚拟地理环境、三条黄河、仿真虚拟科学等阐述了虚拟地理实验思想的最初形成与发展; 从实践哲学角度, 探讨了虚拟实践的特征、以及与现实实践的相互关系, 并认为复杂性地理科学的研究需要集成现场实验、实验室实验以及计算虚拟实验等的多样化实践形式。探讨虚拟地理实验的特征、类型, 尝试建立虚拟地理实验核心理论的虚实相似原理和虚实协同原理; 最后, 以洪水动力过程与人群活动过程为例, 开展了虚拟自然地理实验与虚拟人文地理实验的初步应用原型试验。

关键词: 虚拟地理环境; 虚拟实验; 现场实验; 虚拟实践; 仿真科学; 虚拟工程

中图分类号: P28 **文献标识码:** A **DOI 编码:** 10.3969/j.issn.1673-6338.2013.04.012

虚拟地理实验概念框架与应用初探

龚建华¹, 李文航^{1,3}, 周洁萍¹, 李毅¹, 赵琳², 庞毅²

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 辽宁省水利水电科学研究院, 辽宁 沈阳 110003; 3. 北京大学信息技术学院, 北京 100871)

摘要: 从实验科学与实验地理学的角度, 结合空间信息与虚拟地理环境技术, 讨论“虚拟地理实验”概念、特征及研究理论与框架。以辽宁浑河沈阳城市段防洪为案例, 介绍虚拟地理实验在城市洪水模拟和防洪工程规划中的应用。

关键词: 地理科学; 实验地理学; 虚拟地理实验; 虚拟地理环境; 城市防洪模拟实验

中图分类号: P208; K90 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0504(2009)01-0018-04

实验与逻辑一直是所有学科的两大学科支柱, 实验是现代科学发展的重要特征与标志。中国地理学家在 20 世纪 50 - 60 年代已认识到实验对于地理科学理论与方法发展的重要性^[1-3], 建立了大量野外地理观测台站、实验基地和室内用于地理实验的物理模型。

和地理问题的相似性模拟表达, 在理论假设的基础上, 通过模型构建、参数与条件调控计算以及可视化分析反馈, 在虚拟地理环境信息世界中“查考自然, 逼近自然真面目”, 以获取新的地理经验与知识。虚拟地理实验是在计算机与网络支持下的数字与虚拟环境中开展的地理实验, 它既可以与野外定位地

虚拟地理环境研究的兴起与实验地理学新方向

林晖¹, 黄凤茹¹, 闫国年²

(1. 香港中文大学太空与地球信息科学研究所, 香港新界沙田;

2. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046)

摘要: 虚拟地理环境是一个可用于模拟和分析复杂地学过程与现象, 支持协同工作、知识共享和群体决策的集成化虚拟地理实验环境与工作空间, 是地理学研究的虚拟实验室, 可为现代实验地理学研究提供科学方法和技术手段。本文阐述虚拟地理环境和实验地理学研究的发展过程及当前进展, 探讨虚拟地理环境与虚拟地理实验对现代实验地理学研究的意义, 并分析当前虚拟地理环境研究的关键问题及存在的误区。虚拟地理环境的兴起与发展为地理过程表达、地理知识获取、地理问题求解提供了新思路、新方法和新技术。实验地理学的研究方

在本报告中，“虚拟仿真实验”，从技术上可以理解为，主要是采用虚拟现实或增强现实技术开展计算仿真（模拟）的理论与方法。一般地，“**虚拟仿真实验**”，也可以直接简称为“**虚拟实验**”。

①VR/AR技术发展现状

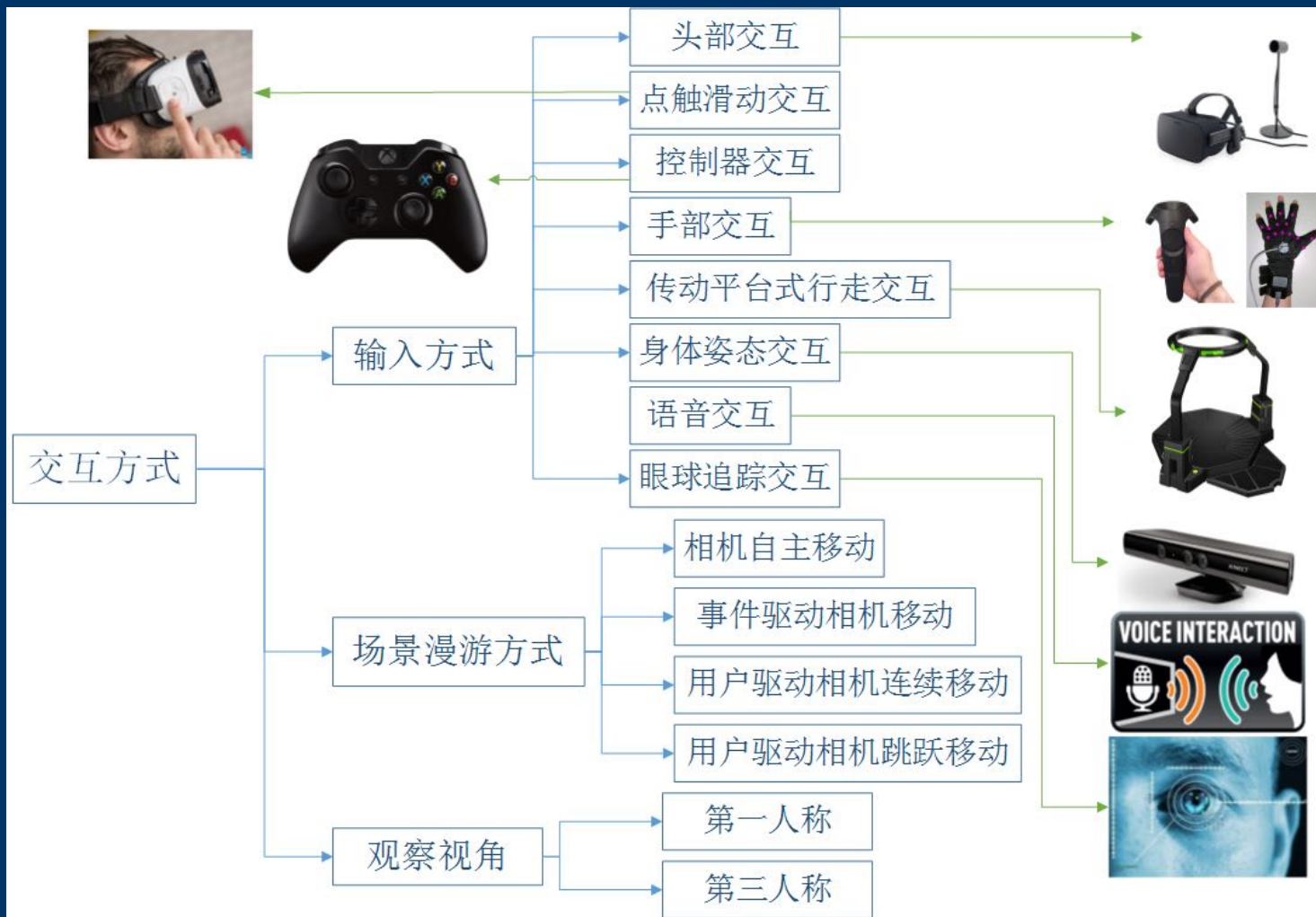
②虚拟仿真研究的理论思考

③头盔式VR技术与交互实验

④虚拟仿真实验案例

• 结语与展望

头盔式VR的人机交互方式与技术



VR对于GIS技术发展的机遇与挑战



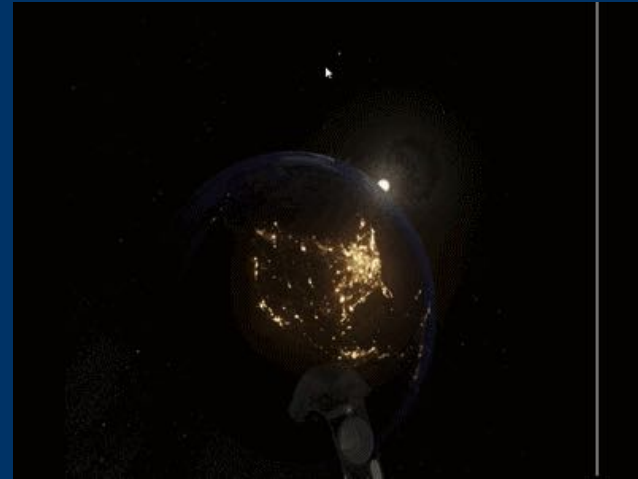
VGE = VR+GIS



- ① 虚拟空间感知与认知，美学（全新的虚拟空间与环境）
- ② 人机交互（身体交互，动作捕捉）；
- ③ **AR**移动交互（室内**AR**交互、室外**AR**交互）
- ④ 三维地理数据采集与**VR**处理（倾斜摄影、视频建模等）；
- ⑤ 三维/时空数据模型与高效组织；
- ⑥ **VR**图形实时渲染（90帧以上）；
- ⑦ 大数据可视化与可视分析；
- ⑧ 多人协同与交流交互会商；
- ⑨ 人群计算模拟技术；
- ⑩ 社会人群**VR**参与互动协同技术；

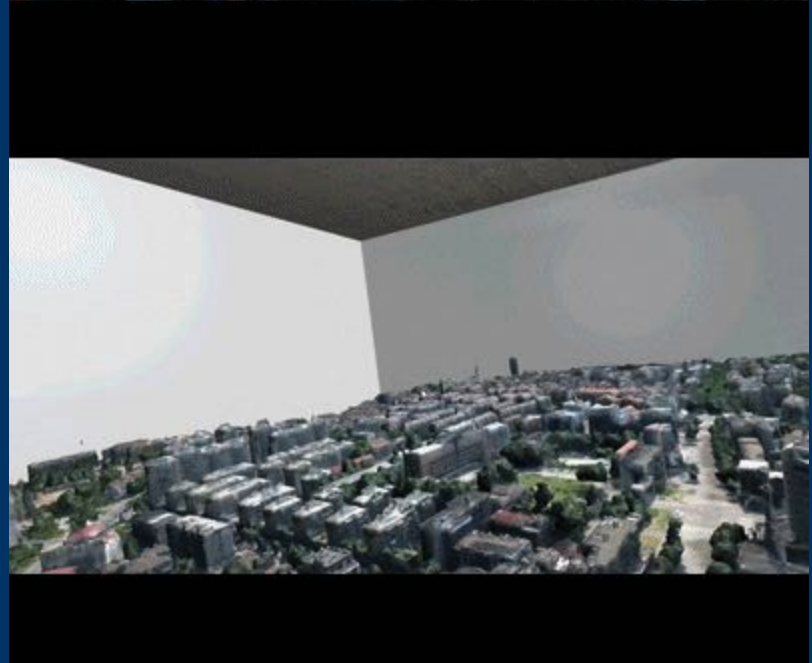
头盔式VR实验一：全球尺度体验交互

- HTC VIVE
- 控制器手柄，双手柄交互
- 场景平移、缩放、旋转，子场景空间进出



头盔式VR实验二：区域尺度体验交互

- HTC VIVE
- 控制器手柄
- 用户驱动相机跳跃移动
- 鸟瞰观察角度



头盔式VR实验三：社区/学校/室内尺度体验交互

- Oculus CV 1 / Gear VR
- Xbox One手柄控制器
- 相机自主移动（跟随者模式）
- 用户驱动相机连续移动
- 场景元素的交互使用头部目视交互



头盔式VR实验四：室内与物体尺度体验交互

室内微观尺度HMD-VGE系统交互试验问题

- HTC VIVE
- 控制器手柄
- 用户驱动相机跳跃移动（瞬间传送）
- 容易迷失方向

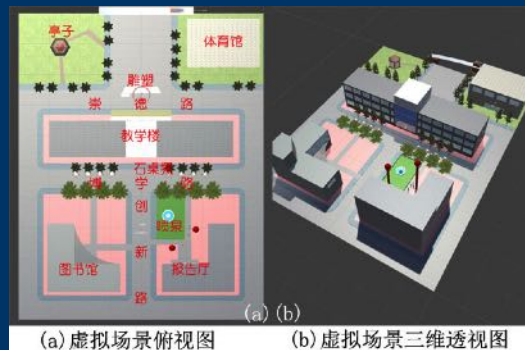


头盔式VR实验五： 基于虚拟亲历行为的空间认知对比实验



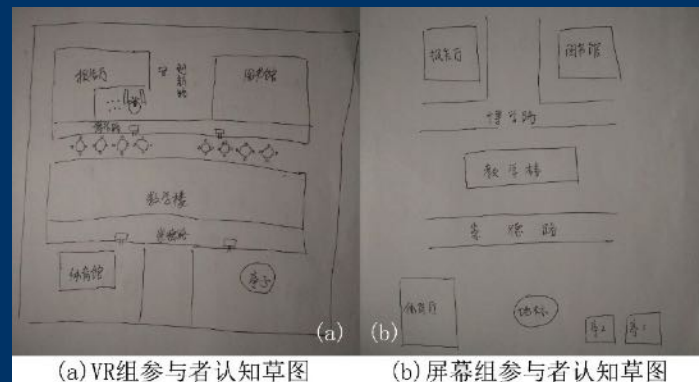
(a) 基于头盔式VRGIS的地学虚拟环境

(b) 基于屏幕空间的地学虚拟环境



(a) 虚拟场景俯视图

(b) 虚拟场景三维透视图



(a) VR组参与者认知草图

(b) 屏幕组参与者认知草图

利用参与者绘制的认知草图和虚拟场景中活动轨迹与视线轨迹数据，从空间认知效果、遗忘细节、视线轨迹等三个方面进行对比分析。结果表明，**VR组**的潜在优势体现在，**1）空间认知三个层次**的认知效果比屏幕组均有了显著的提升，尤其是**短时记忆的提升**效果要优于长时记忆；**2）能感知更多的细节**，但平均遗忘率要略高于屏幕组；**3）观察视线平均变化量**明显大于屏幕组，水平方向的变化更加明显；**4）对虚拟人物的注意程度**要显著高于屏幕组。

①VR/AR技术发展现状

②虚拟仿真研究的理论思考

③头盔式VR技术与交互实验

④虚拟仿真实验案例

• 结语与展望

✓ 虚拟自然地理实验：洪水演进模拟实验：沈阳浑河城市防洪，堰塞湖溃坝洪水演进

✓ 虚拟人文地理实验：人群应急疏散模拟实验：学校人群火灾应急疏散演习

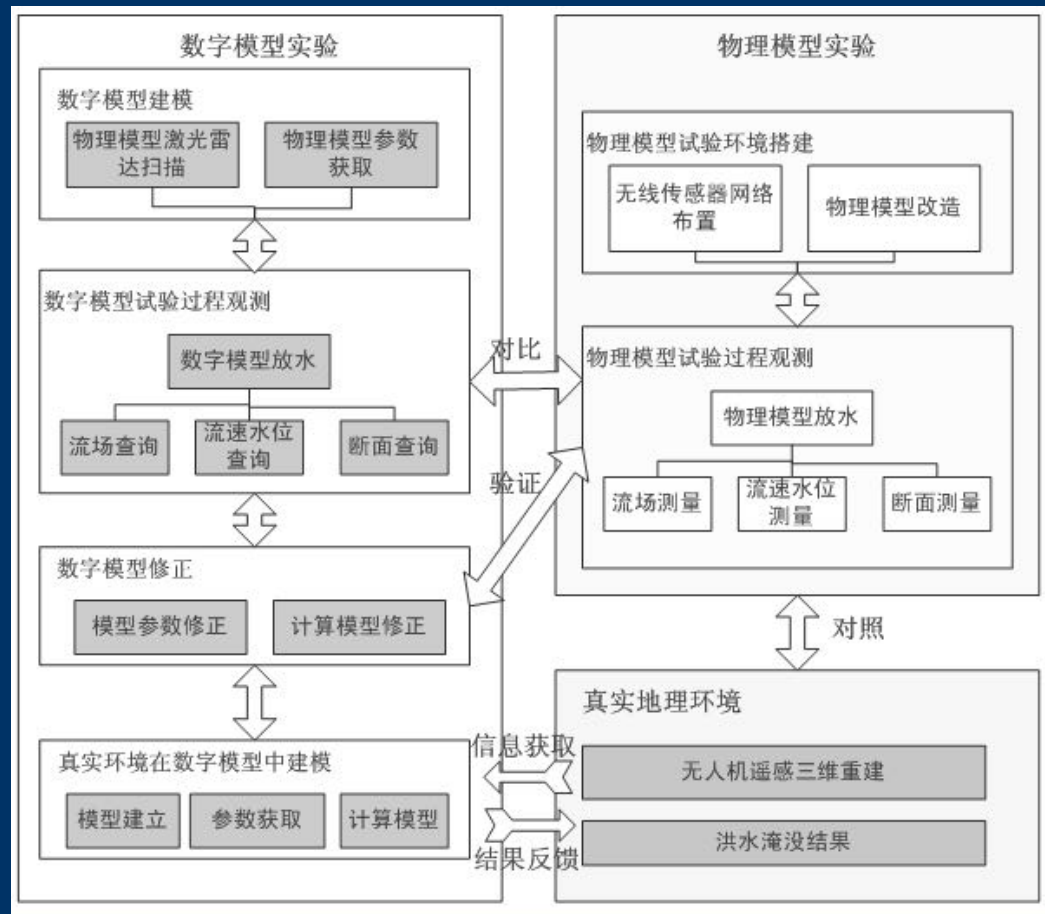
1) 虚拟自然地理实验-洪水演进计算实验

浑河沈阳城市模拟大厅



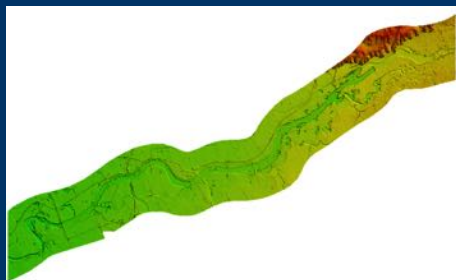
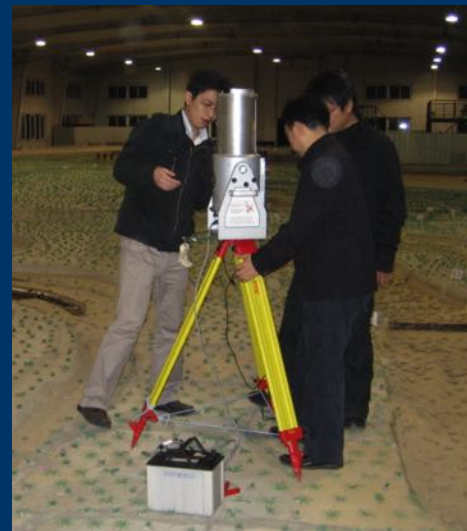
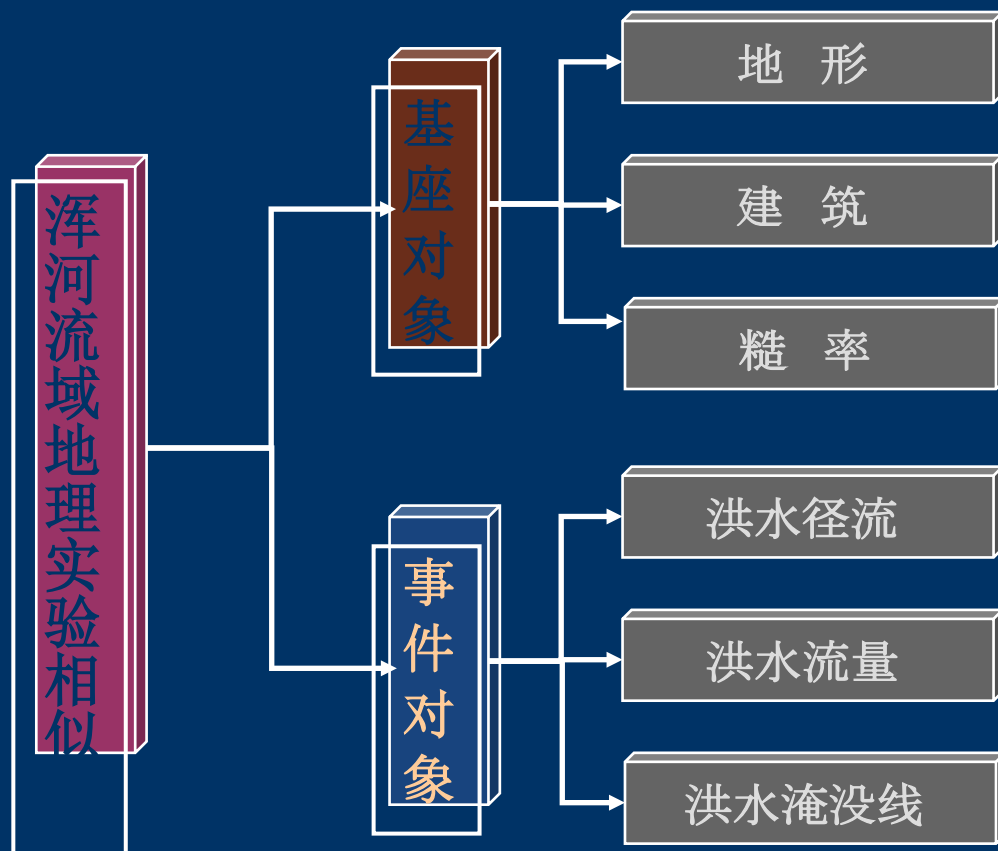
总体实验框架

借助于传统地理实验的思路与方法，并**主要以辽宁浑河沈阳城市段洪水物理模型与试验为核心**，开展协同虚拟地理实验的基本理论、方法与关键技术研究。



物理与数字模型联动实验

浑河流域地理实验相似元确定

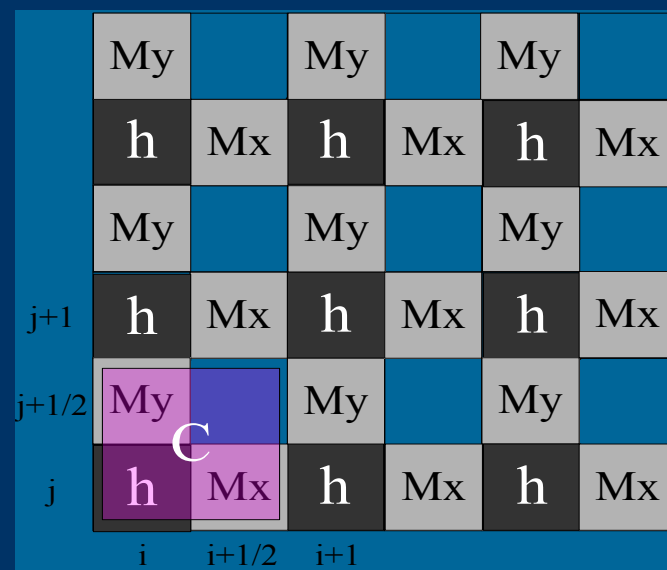


基于CA的洪水演进计算模型

Cellular Conversion Rule (Based on Saint-Venant equation)

Step1: Calculate new unit discharge

$$\begin{cases} M_{i,j}^{k+1} = M_{i,j}^k - g \frac{\Delta t (h_{i+1,j}^k + h_{i,j}^k)(z_{i+1,j}^k - z_{i,j}^k)}{\Delta x} - gn_{i,j}^2 \frac{\bar{u}_{i,j} \Delta t \sqrt{(u_{i,j}^k)^2 + (v_{i,j}^k)^2}}{[(h_{i+1,j}^k + h_{i,j}^k) / 2]^{1/3}} \\ N_{i,j}^{k+1} = N_{i,j}^k - g \frac{\Delta t (h_{i,j+1}^k + h_{i,j}^k)(z_{i,j+1}^k - z_{i,j}^k)}{\Delta y} - gn_{i,j}^2 \frac{\bar{v}_{i,j} \Delta t \sqrt{(u_{i,j}^k)^2 + (v_{i,j}^k)^2}}{[(h_{i,j+1}^k + h_{i,j}^k) / 2]^{1/3}} \end{cases}$$



Step2: Calculate new unit water depth

$$h_{i,j}^{k+1} = h_{i,j}^k - \frac{\Delta t (M_{i+1,j}^{k+1} - M_{i,j}^{k+1})}{\Delta x} - \frac{\Delta t (N_{i,j+1}^{k+1} - N_{i,j}^{k+1})}{\Delta y}$$

h: water depth

Mx: unit discharge in x-axis direction

My: unit discharge in y-axis direction

洪水演进为案例的虚拟自然地理实验

International Journal of
Geographic Information Sciences

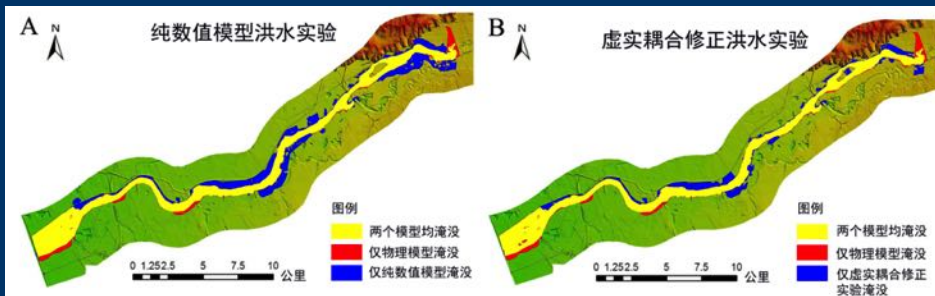
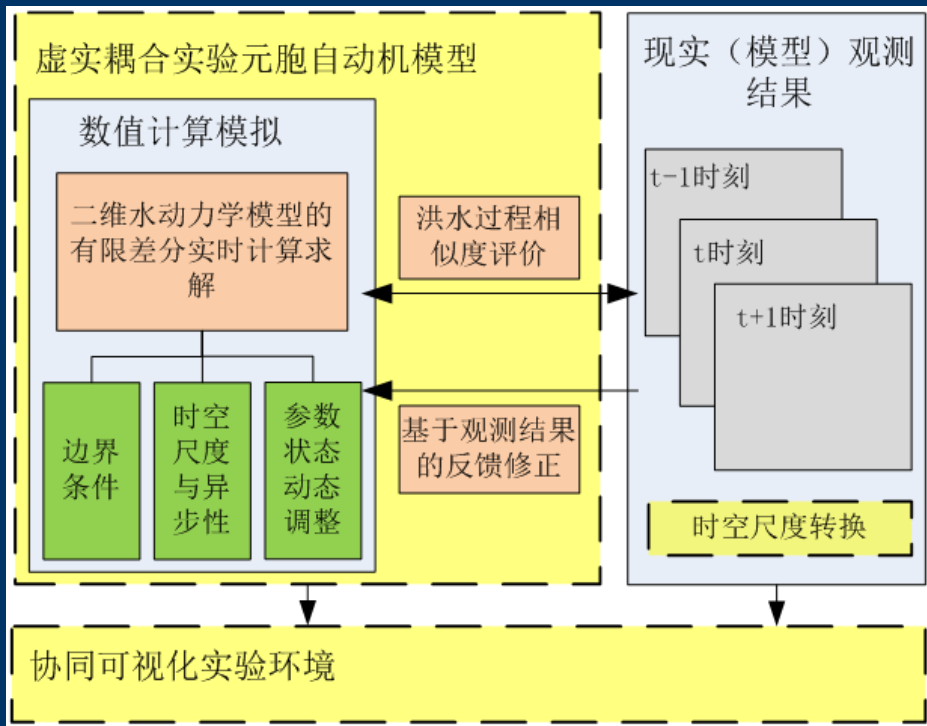


图 2、虚实耦合洪水淹没范围对比结果。

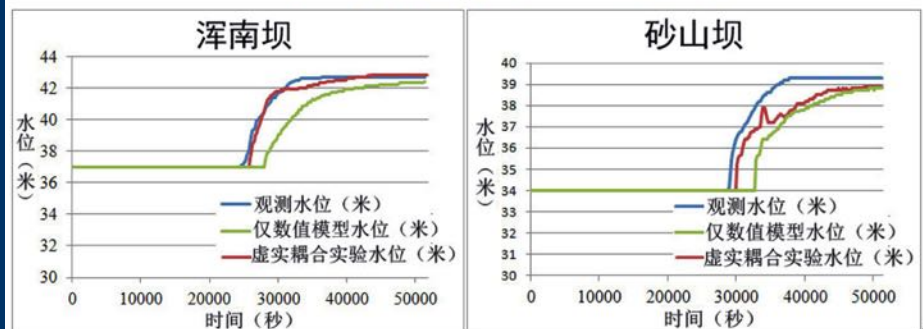
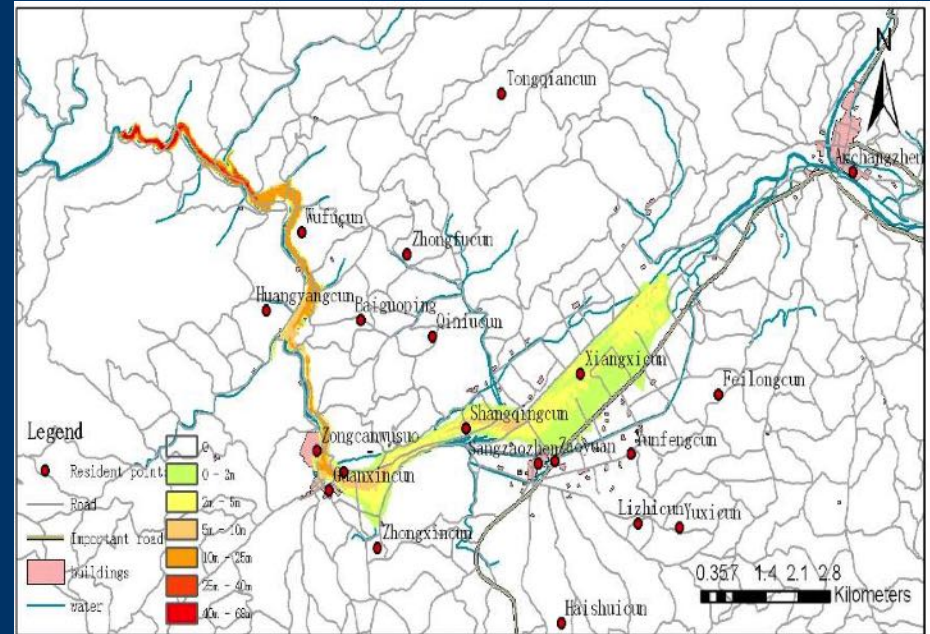
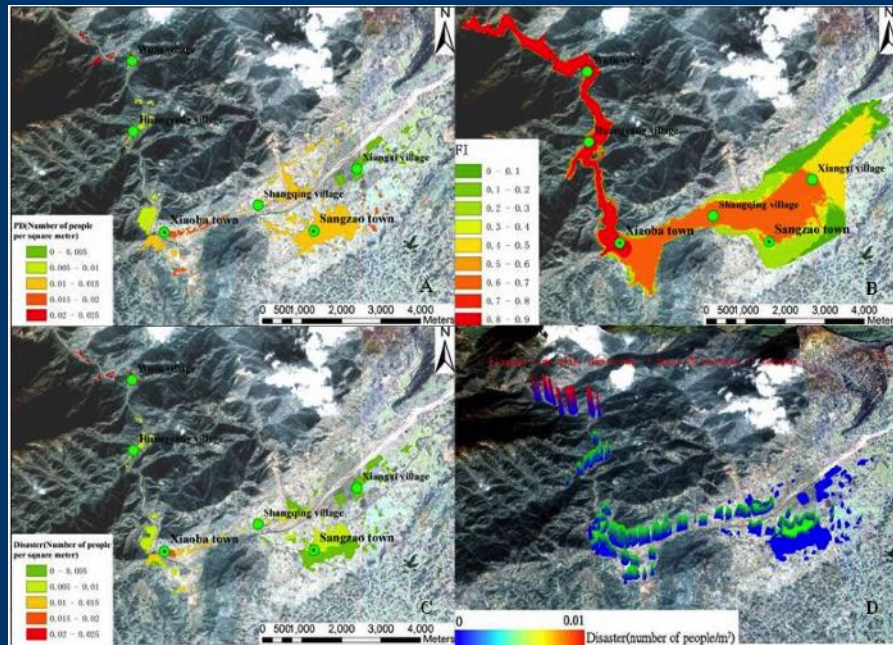


图 3、虚实耦合洪水水深曲线对比结果。

以室内洪水物理模型试验为基础，提出了虚实耦合洪水实验的理论和方法。通过实验发现，虚实耦合洪水实验相比与纯数值模型试验，能提高洪水模拟的精度。

洪水演进为案例的虚拟自然地理实验



Reviewer: 2

Comments to the Author

I have read the manuscript Spatial-temporal simulation and risk analysis of dam-break flooding based on cellular automata (Manuscript ID: IGIS-2012-0434.R1)

I find the abstract and introduction good and clearly written. The authors do a good job in introducing the reader for using CA as a prediction tool in hazard assessments.

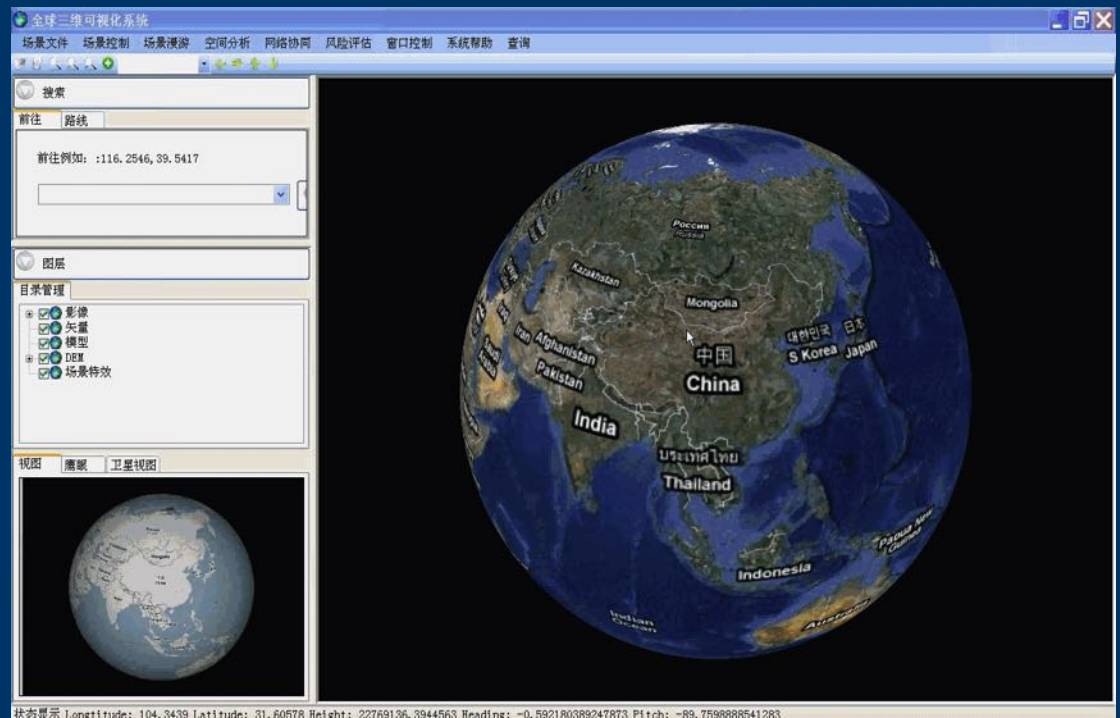
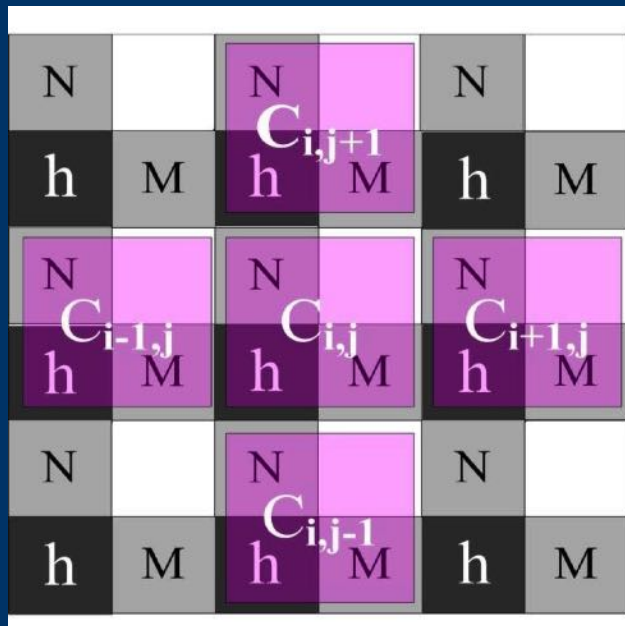
It is clearly written, easy to follow and to the point.

I find this manuscript to be ready to be published in IGIS.

构建元胞自动机模型完成了堰塞湖溃决后灾害演化的时空模拟，并进行了元胞自动机各项模拟参数的敏感性分析。

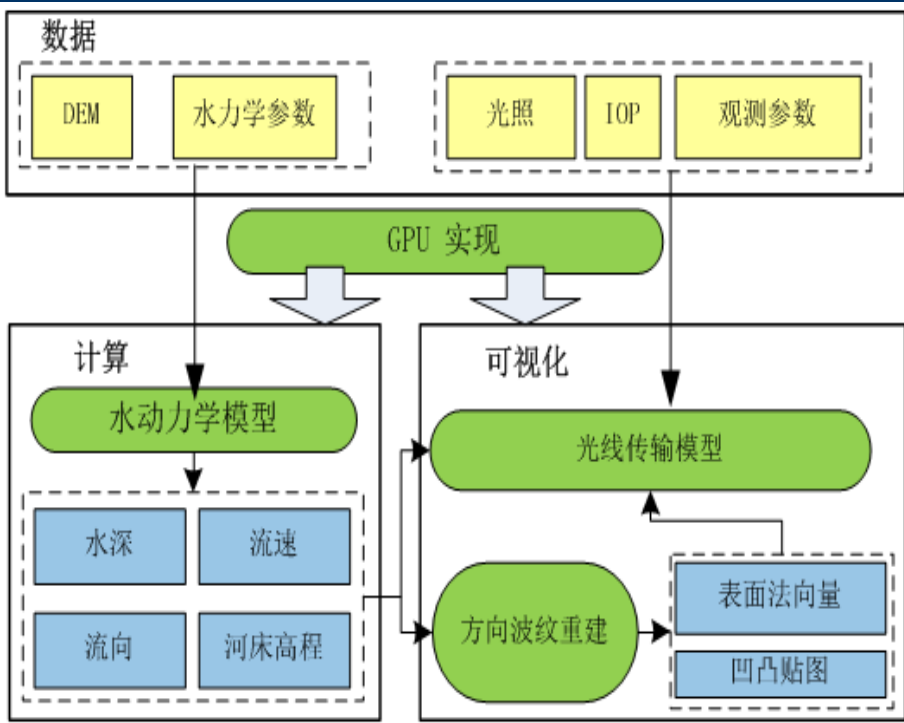
堰塞湖溃决风险评估

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + gh^2/2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \\ \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + gh^2/2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - g \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \end{cases}$$

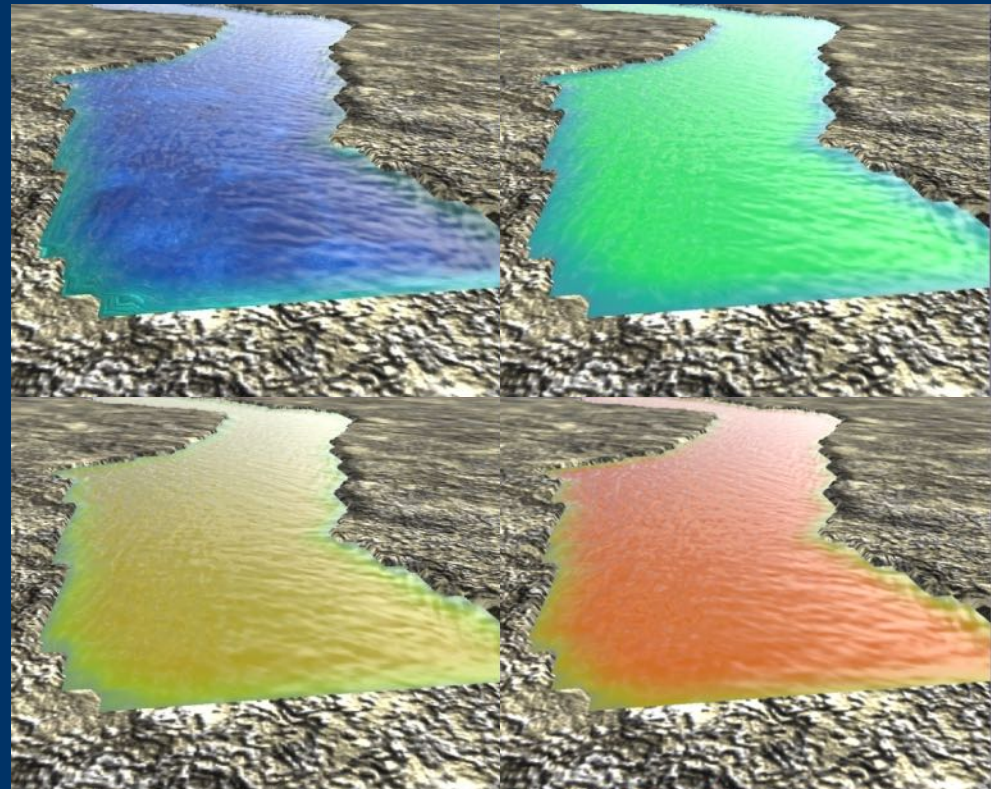


选择全溃情形下洪水演进模拟，约**33**分钟演进到晓坝镇，约**59**分钟演进到桑枣镇，约**2小时46分**演进到安昌镇，直接影响为下游晓坝和桑枣，而对安昌、黄土、花荪、界牌等**4**镇影响较小，洪水在河道中演进。

洪水演进为案例的虚拟自然地理实验



$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + gh^2/2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \\ \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + gh^2/2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - g \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \end{cases}$$



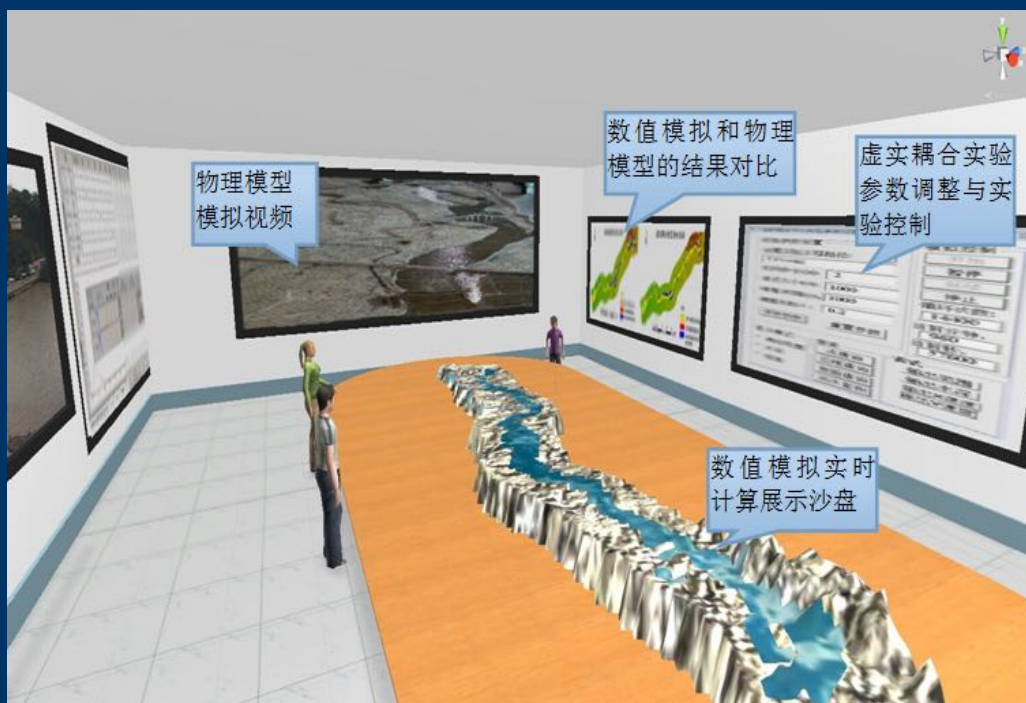
研究完成了支持人眼视觉感知的不同水质情况下洪水高性能计算模拟与可视化

基于元胞自动机的洪水模拟人群疏散



采用势能场的方法表达环境和洪水对个人的影响，势能场可以随着时间的推移而更新。个体寻径的过程主要是由潜在的能量场计算。

洪水演进为案例的虚拟自然地理实验



协同虚拟地理实验室原型系统

2) 虚拟人文地理实验-应急状况下（火灾、地震等）人群疏散VR

基于社会力模型的人群行为活动计算模拟与VR表达体验

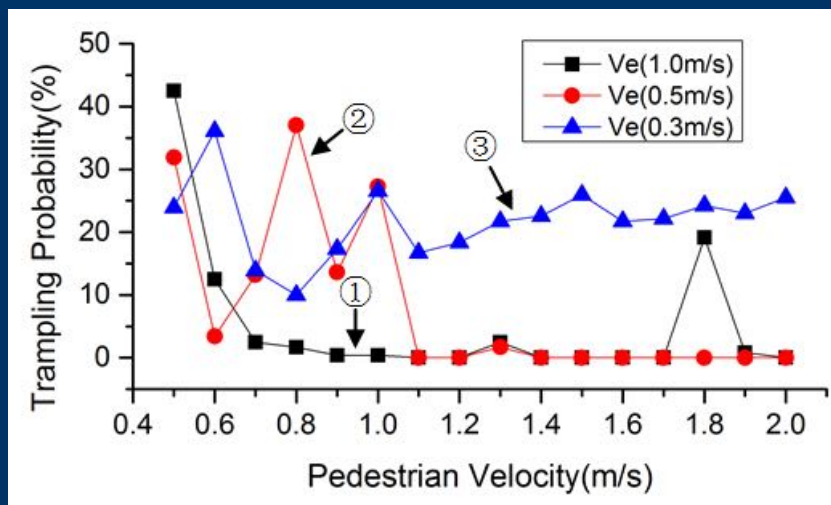
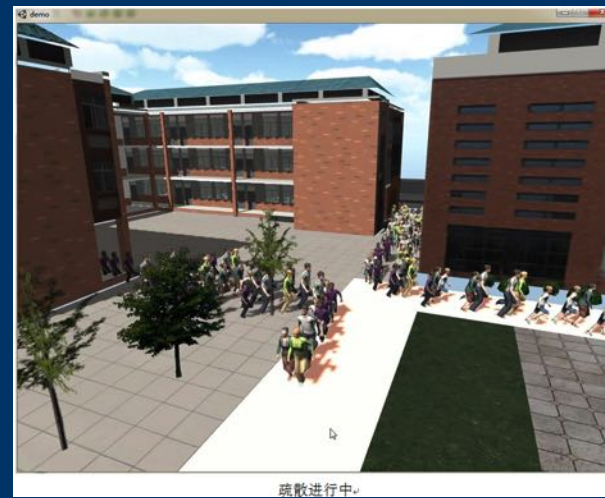
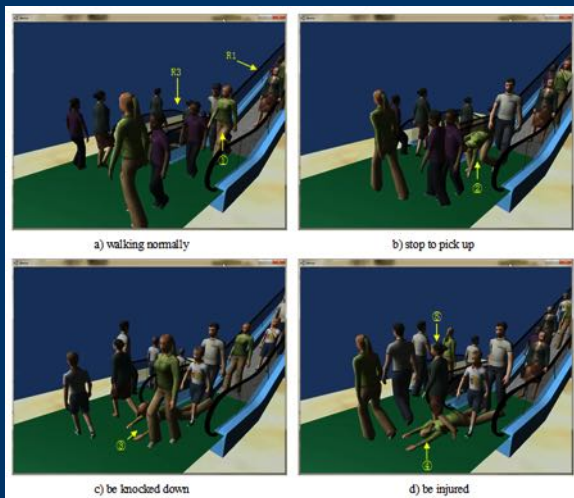
$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t) \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_w f_{iw}$$

自驱力

个体间

个体与
环境

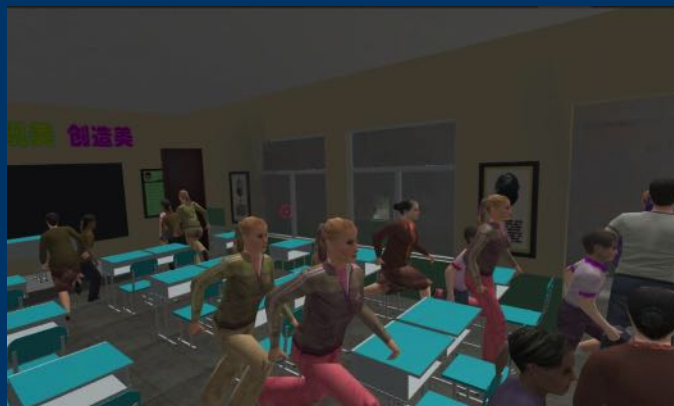
社会力模型是从微观个体出发，通过抽象行人个体在疏散过程中的各种受力（包括目标吸引力、行人作用力、障碍物作用力等），驱动个体完成疏散的行为；



实现了扶梯中行人个体踩踏
模拟及风险评价

学校内火灾人群疏散计算模拟

火灾人群疏散模拟的跟随者VR体验



教室中



走廊中



楼梯中



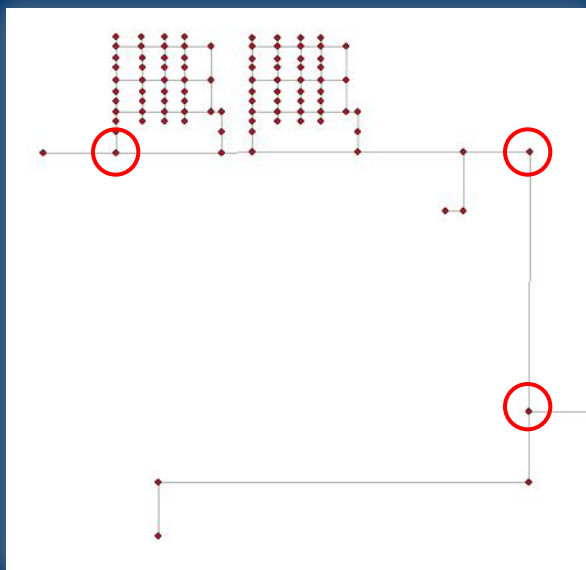
室外

跟随某个化身，以第一人称视角体验从室内到室外的疏散过程



1) 促进人群行为修正以 降低VR晕眩感

- 晕眩感是VR系统中的难点，重要原因之一是虚拟视点位移和**尤其是视角变换**，**导致体验者的虚实运动状态不一致而产生的感觉紊乱**；
- 人群疏散的特殊性：视点连续位移，**视角经常变换**；



非VR版的行进轨迹
(拓扑图)

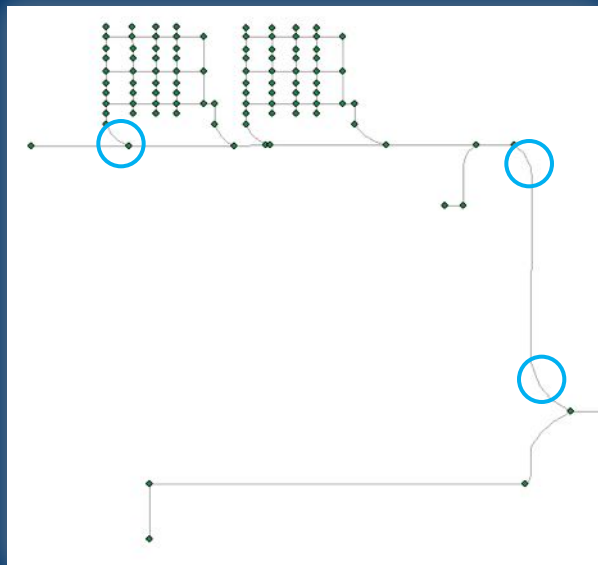


非VR版的行进轨迹
(三维模拟)

- 非VR模式下的行为直接移植到VR，**晕眩感很强**；

1) 促进人群行为修正以降低VR晕眩感

- 策略：修改人群行为算法，将直角拐弯行为修正为**弯道渐变**行为；



修正后的行进轨迹
(拓扑图)



修正后的行进轨迹
(三维模拟)

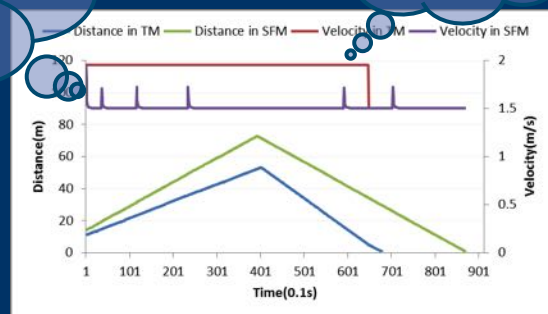
- 结果：**可有效降低转向时的晕眩感；**
- 扩展：修正交互手柄的位移算法；

2) VR促进人群行为模型修正

$$\begin{cases} \dot{\vec{v}}_a = \frac{1}{\tau} (\vec{V}_a^{ld}(t) \vec{e}_a - \vec{v}_a(t)) \\ \vec{v}_a(t) = (1 - \eta_a(t)) \vec{V}_a^{ld} + \eta_a(t) \vec{V}_a^{max} \\ \eta_a(t) = 1 - \frac{\langle V_a(t) \rangle}{V_a^{ld}} \end{cases}$$

$$[V_a^{ID}, V_a^{max}]$$

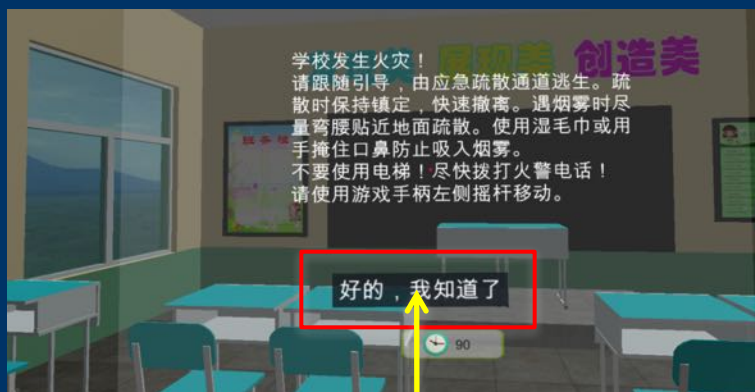
$$V_a^{ID}$$



- VR对细微的运动状态变化非常敏感;
- 社会力模型在同一路段上会存在加速、减速的过程, 在非VR空间中感觉不明显, 但在VR空间中会产生强烈的惯性效果, 类似于急驶急停, 容易导致晕眩感;
- 在构建VR系统的程中, 对模型进行了修正, 改为**匀速前行**;
- 结果: **可减轻VR体验的晕眩感**

3) VR中交互方式

- Oculus目前没有手柄;
- 方案
 - 目视交互: 注视场景中的可交互对象一定时间, 即完成交互操作



可交互按钮

目视交互模式

4) 虚拟/混合人群实验

- VR对人群模拟的最有突破的贡献;
- 目标: 人群行为建模, **人群行为参数获取**等; (举例: SCI)

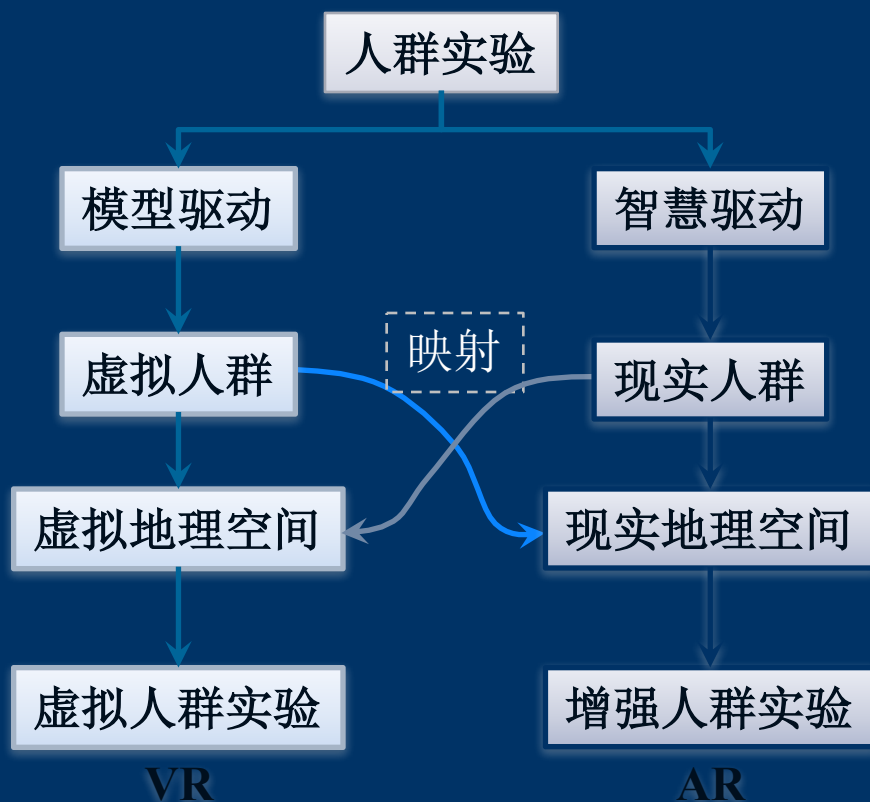


现实人群实验的问题

- 人员组织: **需要组织很多人;**
- 非常耗时: 需要花费很长的时间制定疏散草案, 演习需要停课;
- 不易重复: 每年一次, 很难针对多种参数反复演练;
- 数据获取: 房间遮挡, 完整的疏散数据很难获取;
- 灾源模拟: 安全第一, 很难引入灾源;

4) 虚拟/混合人群实验

- **新的实验策略**：当人数不足时，部分为真实的人，部分使用模拟的人群代替；



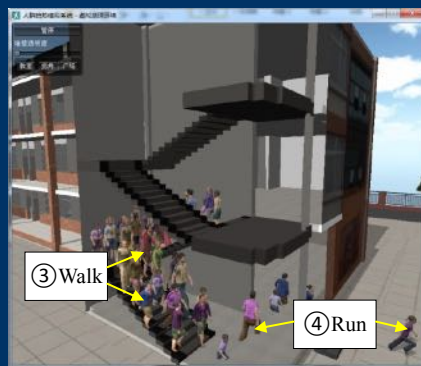
- **模型驱动**
基于数学模型模拟出的人群，
行为由规则决定；
- **智慧驱动**
现实的人，
行为由人自己判定并决定；
- **两种人群实验模式**
虚拟(VR)人群实验；
混合(AR)人群实验；

4) 虚拟/混合人群实验 (可行性)

- 可行性基础：定性上，数学模型可以取得与现实演习相似的结果；



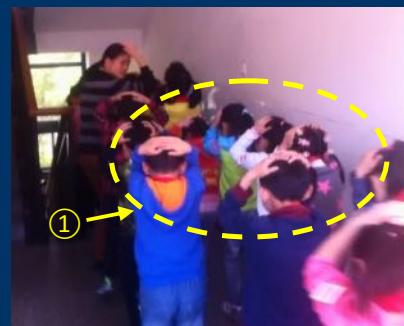
a) Motion changes in the real drill



b) Motion changes in the simulated process

状态变化

人群特征



a) Congestion in the real drill



b) Congestion in the simulated process

4) 虚拟/混合人群实验 (可行性)

- 可行性基础：定性上，数学模型可以取得与现实演习相似的结果；



a) Lane phenomenon in the real drill b) Lane phenomenon in the simulation

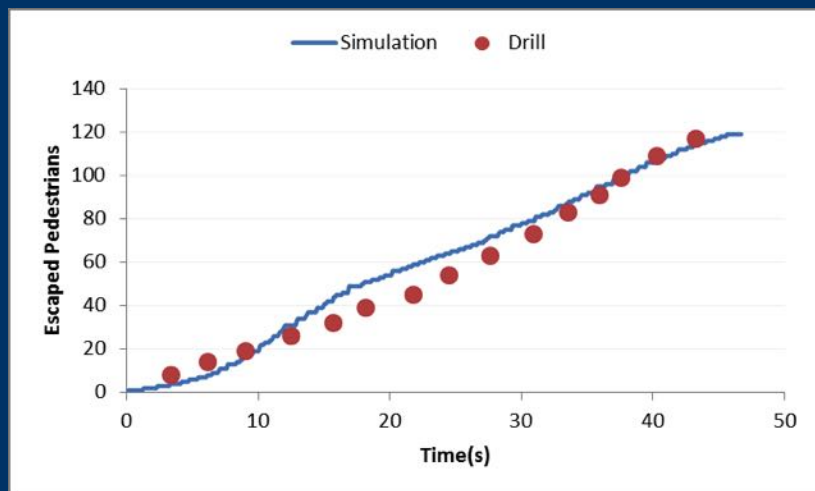
室外行为

Lane Formation



4) 虚拟/混合人群实验（可行性）

- 可行性基础：定量上，数学模型可以取得与现实演习相似的结果；



模拟疏散曲线与现实采样结果对比

结果：时间曲线上相似→整体疏散过程相似

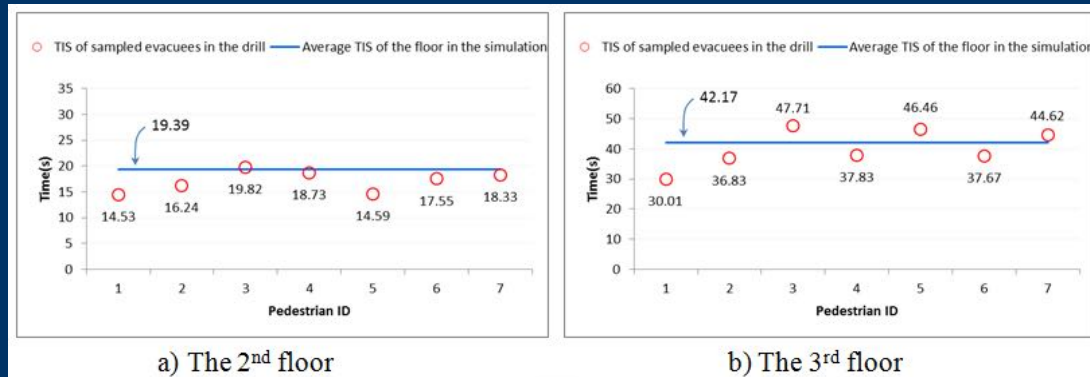
PPCC

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N})}}$$

Sampled Time(s)	Escaped evacuees in the real drill	Escaped evacuees in the simulation	PPCC
3.36	8	4	0.983
6.13	14	8	
9.05	19	16	
12.45	26	31	
15.71	32	44	
18.19	39	51	
21.76	45	59	
24.51	54	64	
27.62	63	72	
30.9	73	79	
33.53	83	87	
35.95	91	95	
37.57	99	99	
40.25	109	107	
42.25	117	114	

4) 虚拟/混合人群实验 (可行性)

- 可行性基础: 定量上, 数学模型可以取得与现实演习相似的结果;



Item	F2_R3	F2_R4	F3_R3	F3_R4
Average TIS of the class in simulated evacuation (s)	21.76	17.02	43.91	40.43
Average TIS of this floor in the simulated evacuation (s)	19.40		42.17	
Average TIS of this floor in the drill (s)				

结果: 各楼层疏散时间采样相似→局部疏散结果相似

结果: 各楼层疏散时间采样相似 → 局部疏散结果相似

4) 虚拟/混合人群实验 (可行性)

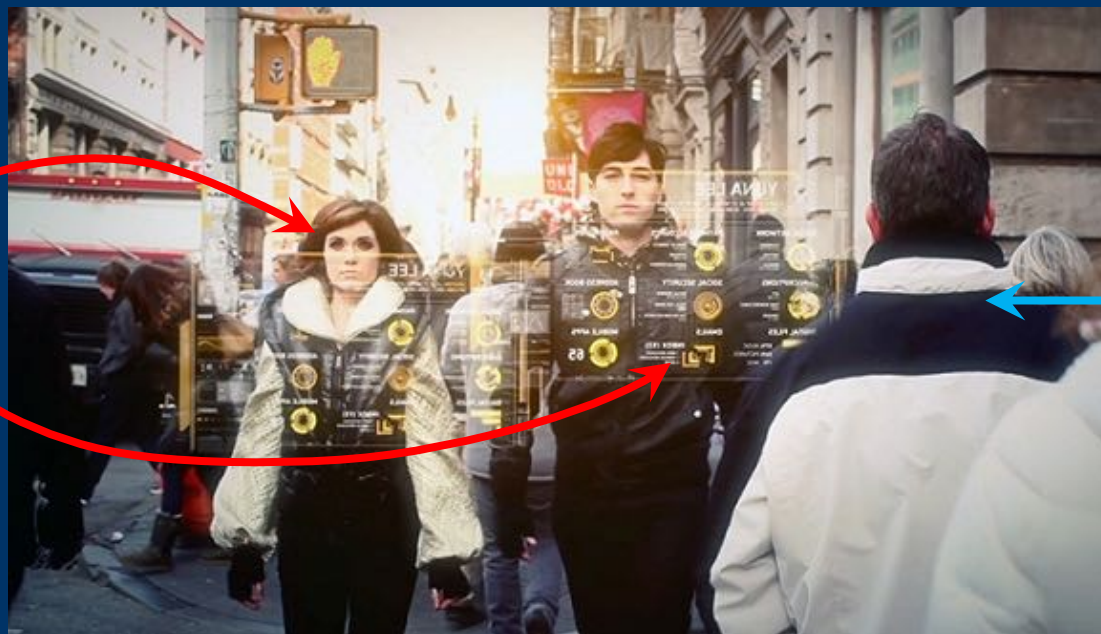


虚拟人群实验

- 平台：VR头盔；
- 目标场景：**虚拟**的地理环境；
- 实验过程：一个或多个智慧驱动的人，（通过网络协同）参与到一个或多个模型驱动的人群行为过程中，两种类型的“人”之间产生实时交互；

4) 虚拟/混合人群实验 (设想)

模型驱动
的人群



智慧驱动
的人群

- 平台：AR眼镜；
- 目标场景：**现实**的地理环境；
- 参与者：一个或多个模型驱动的人群，参与到一个或多个智慧驱动的人（现实人）的行为过程中，两种类型的人之间产生实时交互；

①VR/AR技术发展现状

②虚拟仿真研究的理论思考

③头盔式VGE技术与交互实验

④虚拟仿真实验案例

⑤结语与展望

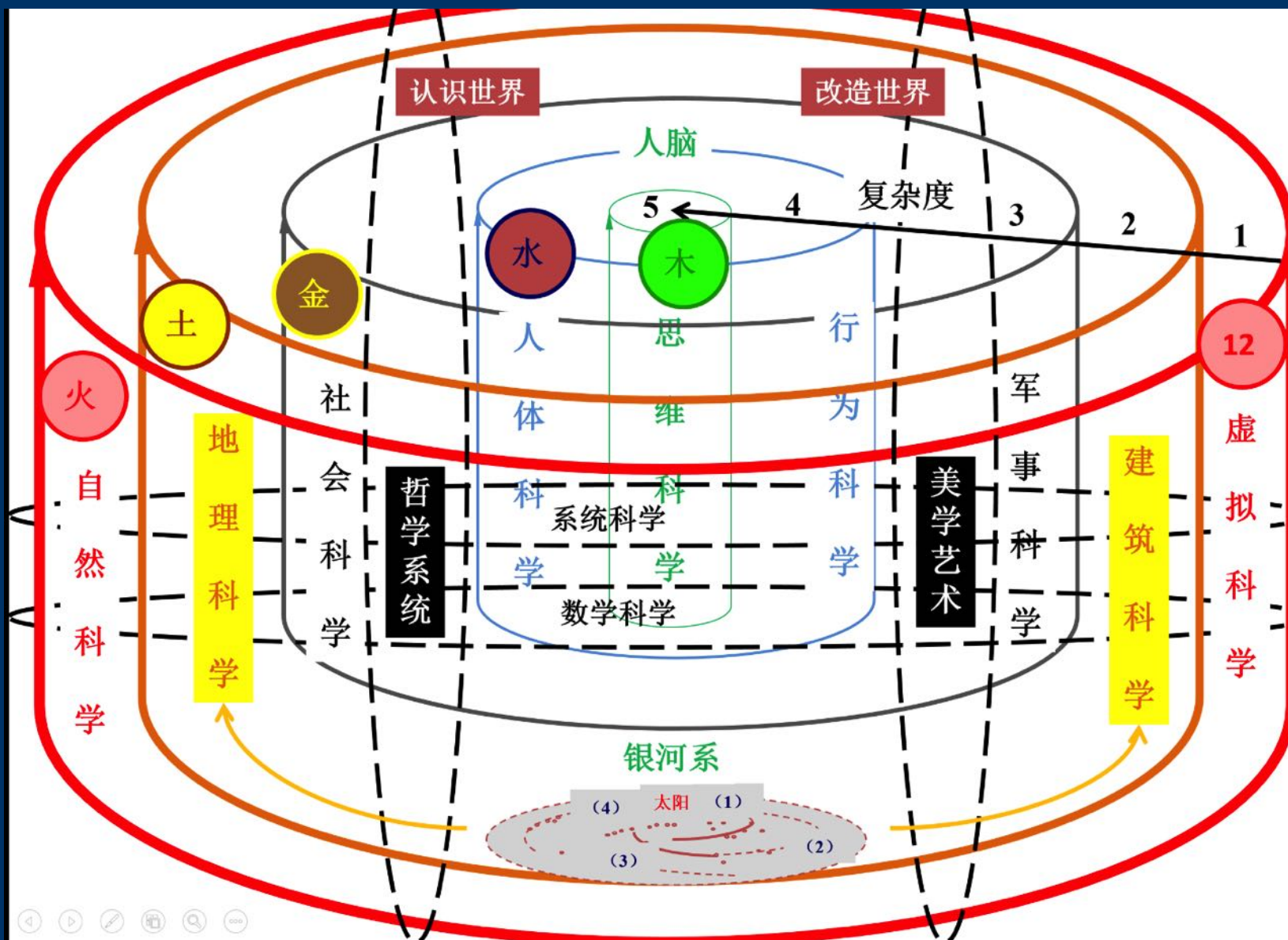
小结

- ①VR/AR技术与产业发展（消费级VR与AR）
- ②虚拟与仿真的概念，以及地理虚拟仿真实验的相关理论（理论性的思考）
- ③头盔式VR技术与交互实验（技术研发）
- ④虚拟仿真实验案例（洪水演进与人群疏散模拟）

虚拟科学 – 马蔼乃教授

虚拟科学，是马蔼乃先生提出的一个新的学科门类，发展了钱学森创建的包括11个门类的现代科学技术体系。马蔼乃认为地理环境，已经从农业社会的自然环境发展到工业社会的自然环境与人工环境，两个交融的环境了，面临的信息社会，还有虚拟环境，则是三个交互的环境了。

研究自然环境有自然科学的支撑；研究人工环境，应该有人工科学的支撑，研究虚拟环境应该有虚拟科学的支撑。



科幻小说：《三体》与 VR-《三体》

和VR技术都在探索人类的想象空间。



“我觉得VR会引发一场关于人类生存状态的‘革命’。它将促成人类历史上的第二次大迁徙。”刘慈欣说，“从如今的现实，迁徙到未来的虚幻世界中。”



《三体》作者刘慈欣，由《三体》、《三体Ⅱ·黑暗森林》、《三体Ⅲ·死神永生》组成，第73届雨果奖最佳长篇故事获奖作品

虚拟现实主题影视



盗梦空间

一个虚拟的星球
化身+意识
三维立体

一个虚拟的
多层世界，
梦+意识
多维

知识点与问题点

- 何为头盔式虚拟现实技术与增强现实技术？
- 仿真、虚拟、以及虚拟（仿真）实验的概念；
- 虚拟实验、虚实耦合实验（如大规模人群活动虚拟实验等）对于人文地理学、社会科学等的发展影响与意义？

Thank You! 谢谢

中科院VGE研究团队

www.vgelab.org

gongjh@radi.ac.cn