

“2020年GIS理论方法年会”报告，2020，11月21-22日，杭州

数字孪生与虚拟地理环境 发展思考

龚建华研究员

2020/11/22

虚拟地理环境工程研究室

中国科学院空天信息创新研究院

①数字孪生技术现状；

②从VGE发展看数字孪生；

③数字孪生对于GISci发展的思考；

数字城市的未来—数字孪生城市

李德仁院士（2020）认为数字孪生城市是数字城市的最高阶段，数字孪生城市既是数字城市的目标，也是智慧城市建设的新高度。



数字孪生如果运用到城市中，就是在**BIM**和**城市三维GIS**基础上利用物联网技术对**物理城市的人、物、事件和水、电、气**等所有**动静态要素数字化**，在网络空间再造一个与之完全对应的“**虚拟城市**”，形成物理维度上的**实体城市**和信息维度上的**数字城市****共生共存、虚实交融**的格局；在突发公共疫情发生时，可以用网络空间的数字孪生城市的监控来代替对物理城市的封城。

Digital Twin



Physical Space

" In 2003 I introduced the term Digital Twin in *Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management* (pg. 133). I attributed it to John Vickers of NASA whom I work with. We have subsequently used this term in current projects."

Dr. Michael Grieves
Florida Institute of Technology

Data

Information



Virtual Space

Copyright © 2018 Lockheed Martin Corporation.

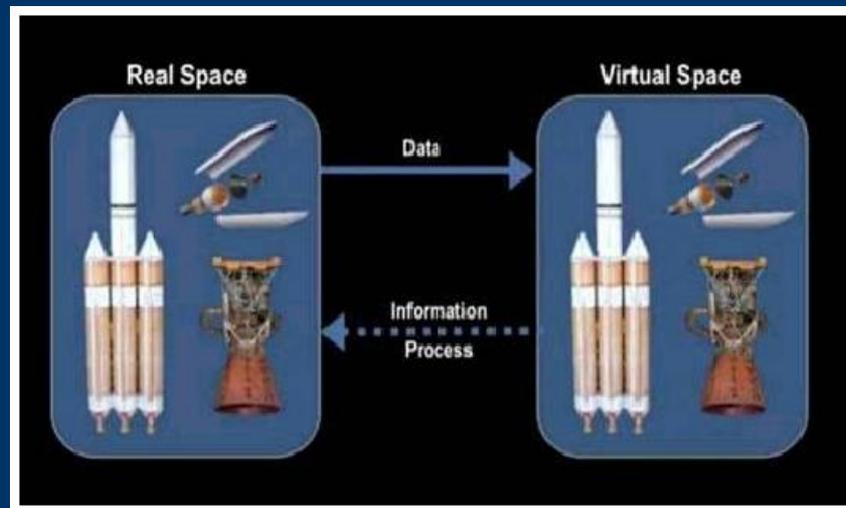
学术界，2003年密歇根大学Michael Grieves
首次提出 数字孪生“Digital Twin”概念

数字孪生 (Digital Twin)

Digital Twin 数字孪生：是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在**虚拟空间**中完成映射，从而反映相对应的**实体装备**的全生命周期过程。

“到了 2035 年，当航空公司接收一架飞机的时候，将同时还验收另外一套数字模型。每个飞机尾号，都伴随着一套高度详细的数字模型。” (美国《航空周报》)

每一特定架次的飞机都不再孤独。因为，它有一个忠诚的影子，从不消失，伴随一生。这就是数字孪生。



数字孪生白皮书（2019年）

中国电子信息产业发展研究院

数字孪生应用白皮书

— 2020 版 —

主编单位：中国电子技术标准化研究院 树根互联技术有限公司

2020年11月

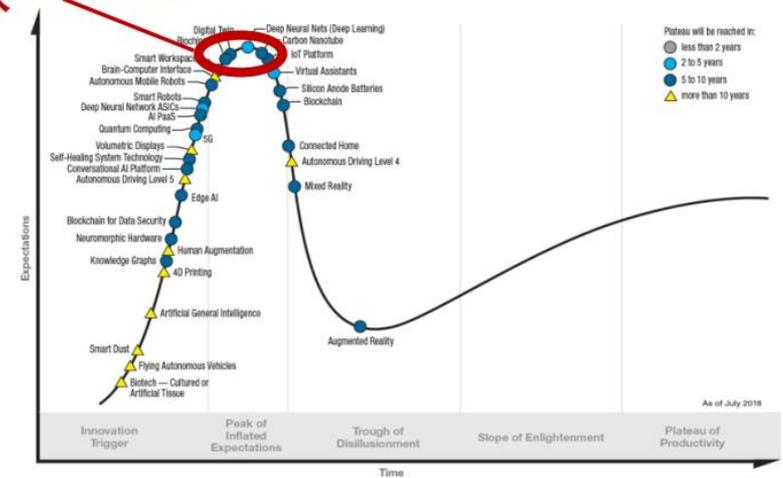
2019年，Gartner认为数字孪生处于期望膨胀期顶峰，将在未来5年将产生破坏性创新。

Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017



Gartner

Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018



Gartner

- “孪生”的概念起源于美国国家航空航天局的“阿波罗计划”，即构建两个相同的航天飞行器；
- 空客、洛克希德马丁、西门子、奔驰等工业公司；

工业4.0（航天、飞机、汽车、工厂等产品的数字孪生），数字经济（实体经济）、数字基建、新基建等

特别是在智能制造领域，数字孪生被认为是一种实现制造信息世界与物理世界交互融合的有效手段。

GIS与数字孪生

经过多年发展，工业 / 工程 / 城市场景的不同工具的边界逐渐消失（数字孪生应用白皮书，2020）：

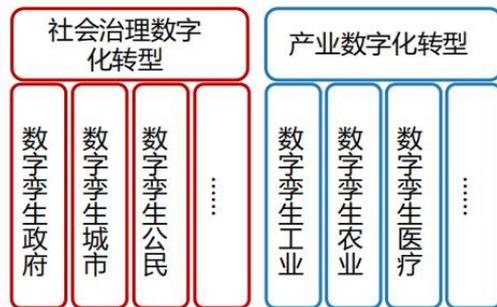
- ✓ 国际上 **Autodesk** 与 **ESRI** 建立战略合作关系，企图把 **BIM** 和 **GIS** 数据融合起来；
- ✓ **Bentley Systems** 跟西门子、**Cesium** 和 **AGI** 等公司力推开源数字孪生联盟，围绕 **iModel.js**，形成了数据驱动的开源体系。
- ✓ 国内以传统 **GIS** 平台软件和基于开源渲染引擎二次开发的产品开始向数字孪生平台转型，如泰瑞的 **SmartTwins** 数字孪生底座平台，超图的三维**GIS**可视化平台等。

数字孪生的出现不是概念炒作，而是信息化发展到一定程度的必然性结果，数字孪生正成为人类解构、描述、认识物理世界的新型工具。

数字孪生不仅仅是一项通用使能技术，也将会是数字社会人类认识和改造世界的方法论。



数字孪生将成为支撑社会治理和产业数字化转型的发展范式。



数字孪生落地的关键是“数据+模型”，亟需分领域、分行业编制数字孪生模型全景图谱。



总结与思考

CCID 赛迪

阶段性

数字孪生的出现不是概念炒作，而是信息化发展到一定程度的必然性结果，数字孪生正成为人类解构 描述 认识物理世界的新型工具。

长期性

数字孪生是一套支撑数字化转型的综合技术体系，技术在发展，应用在深化，体系在演进，其应用推广也是一个动态的、

艰巨性

数字孪生=数据+模型+软件，我国在数据采集、模型积累、软件开发等方面存在诸多短板，成为制约数字孪生发展的瓶

数字孪生白皮书（2019年）

中国电子信息产业发展研究院

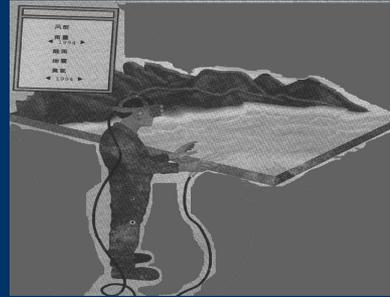
①数字孪生技术现状；

②从VGE发展看数字孪生；

③数字孪生对于GISci发展的思考；

20余年的虚拟地理环境发展

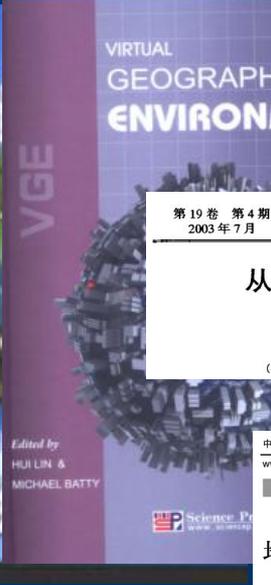
虚拟地理环境概念与体系发展，从1997-1998年起，20余年了。



1997-98年

1999年

第31卷 第1期 2002年2月	测绘学报 ACTA GEOAETICA et CARTOGRAPHICA SINICA	第31卷 第1期 2002年2月	测绘学报 ACTA GEOAETICA et CARTOGRAPHICA SINICA	Vol.31, No.1 Feb., 2002
文章编号: J001-1595(2002)01-0001-06	中图分类号: P208	文章编号: J001-1595(2002)01-0007-05	中图分类号: P208	文献标识码: A
论虚拟地理环境		基于虚拟现实技术的战场环境仿真		
林 琿, 龚建华 (香港中文大学 地理系 地球信息科学联合实验室, 香港)		游 雄 (信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052)		



第19卷 第4期 2003年7月	地理与地理信息科学 Geography and Geo-Information Science	Vol.19 No.4 July 2003
从地图到地理信息系统与虚拟地理环境——试论地理学语言的演变		
林 琿 ¹ , 龚建华 ² , 施晶晶 ¹ (1. 香港中文大学地球信息科学联合实验室, 香港; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)		

第9卷 第2期 2005年3月	遥感学报 JOURNAL OF REMOTE SENSING	Vol.9, No.2 Mar., 2005
虚拟地理环境的地理学语言特征		
林 琿 ¹ , 朱庆 ^{1,2} (1. 香港中文大学地球信息科学联合实验室; 2. 测绘遥感信息工程国家重点实验室(武汉大学) 湖北 武汉 430079)		

中国科学: 地球科学 2011年 第41卷 第4期: 549-551 www.scichina.com earth.scichina.com	《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
地理分析导向的虚拟地理环境: 框架、结构与功能	
阎国年 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046 E-mail: gyan@njnu.edu.cn	
收稿日期: 2010-12-06; 接受日期: 2011-03-09 国家自然科学基金重点基金(批准号: 407700527)资助	

Annals of the Association of American Geographers Publication details, including instructions for authors and subscription information: http://www.tandfonline.com/loi/raag20
Virtual Geographic Environment: A Workspace for Computer-Aided Geographic Experiments Hui Lin ^a , Min Chen ^a & Guonian Lu ^b ^a Institute of Space and Earth Information Science, The Chinese University of Hong Kong ^b Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education of PRC, Nanjing Normal University
Version of record first published: 05 Jul 2012

2001年 2002年 2009年



第六届全国虚拟地理环境会议

2017年11月4-5日 成都



第七届全国虚拟地理环境会议

2019.10.31 福州大学

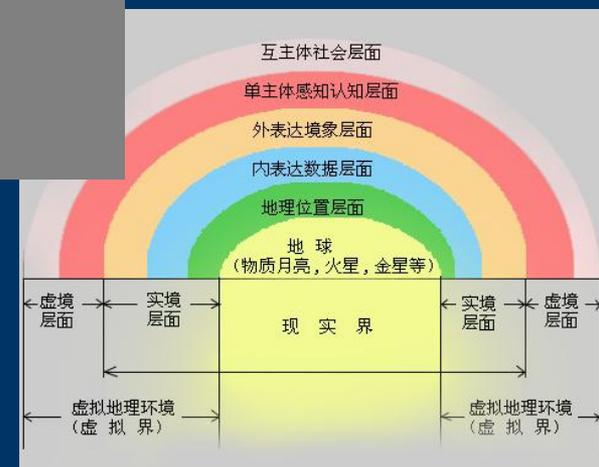
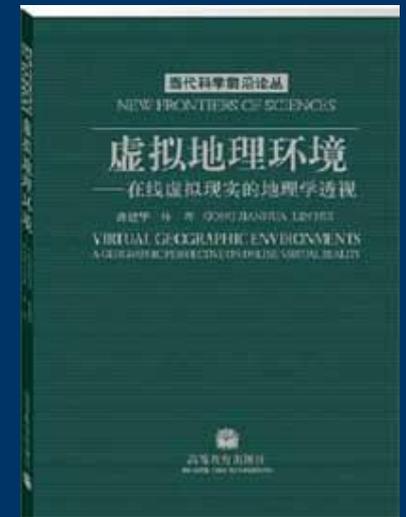
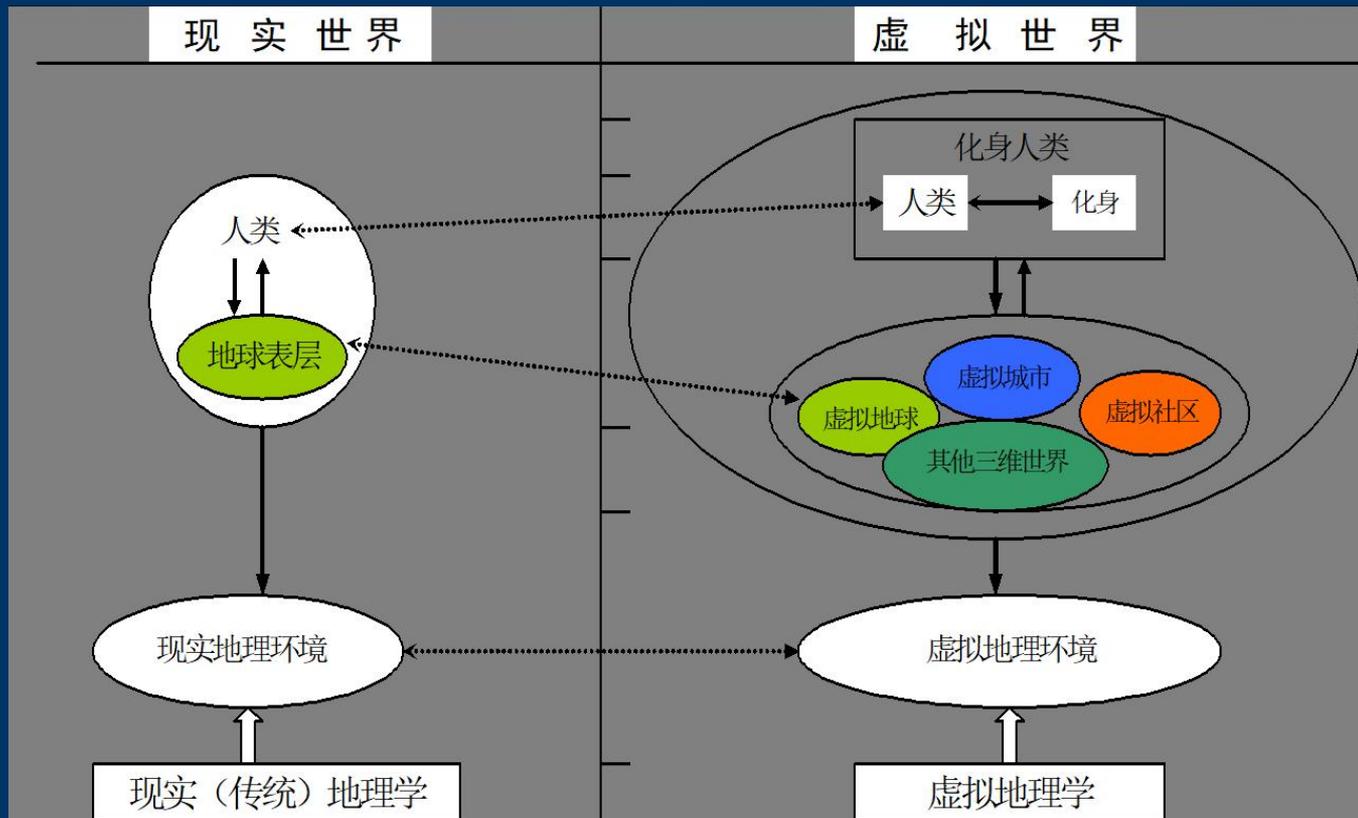


每2年一次的全国VGE会议



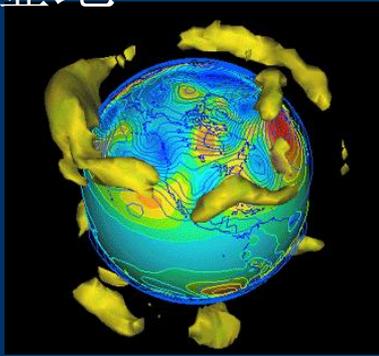
- ◆ 2016年8月，成立了“国际数字地球学会中委会虚拟地理环境专业委员会（筹备）”
- ◆ 2017年10月14日，VGE专业委员会正式成立；

虚拟地理环境/现实地理环境、虚拟地理学/现实地理学的研究对象及其相互关系（2001）

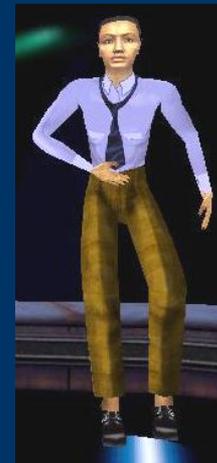


虚拟地理环境

实地/虚地



人/化身人



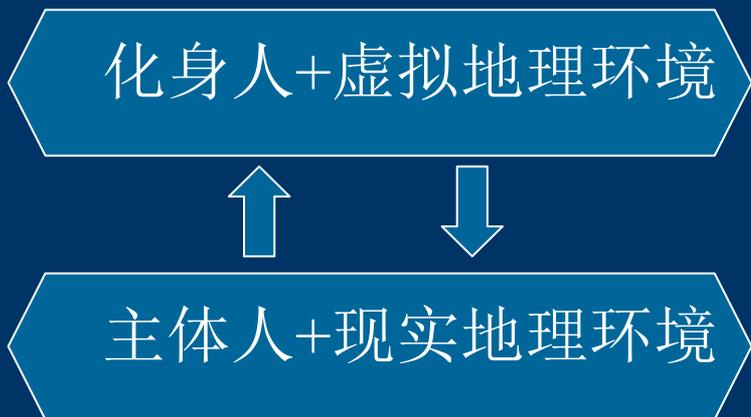
从虚实关系 论虚拟地理环境发展

龚建华研究员
2017/11/5

中国科学院遥感与数字地球研究所
浙江中科空间信息技术应用研发中心

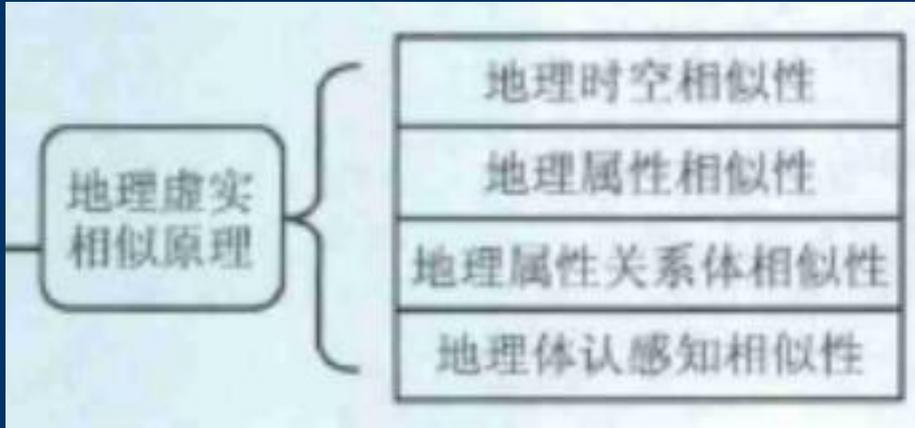
电话：10-64849299，Email：gongjh@radi.ac.cn

虚拟地理环境网站：www.vgelab.org



- ① 虚实相似与仿真；
- ② 虚实增强与协同；
- ③ 虚实孪生与相生；

1) 虚实地理相似 (VGE、GIS有比较好的长期研究)



2013年 第30卷第4期
Journal of Geomatics Science and Technology
2013 Vol. 30 No. 4

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. 浙江中科院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、以及与实践实践的相互关系, 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



城市景观 (场景感知) 相似



地理过程相似



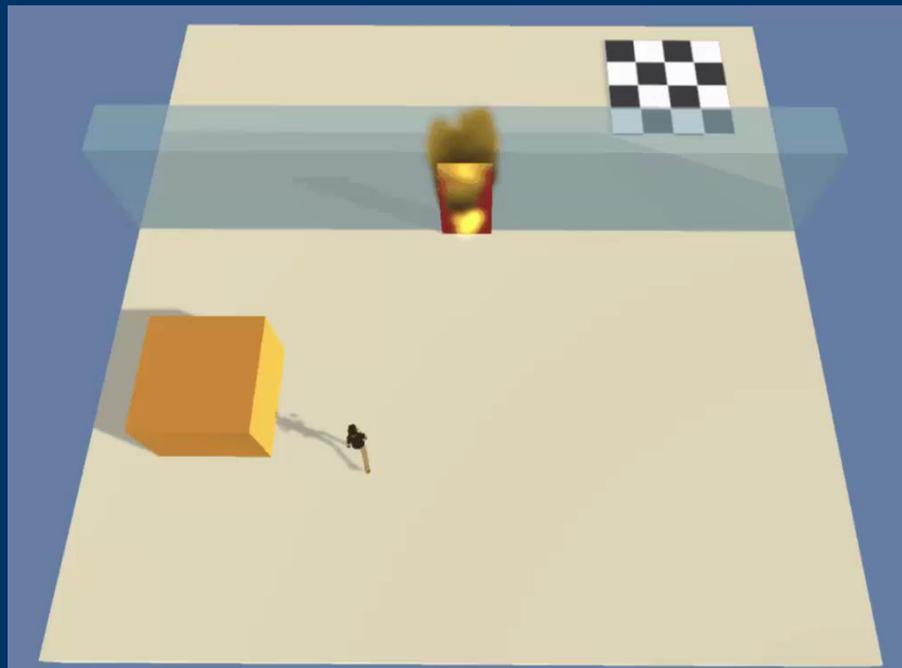
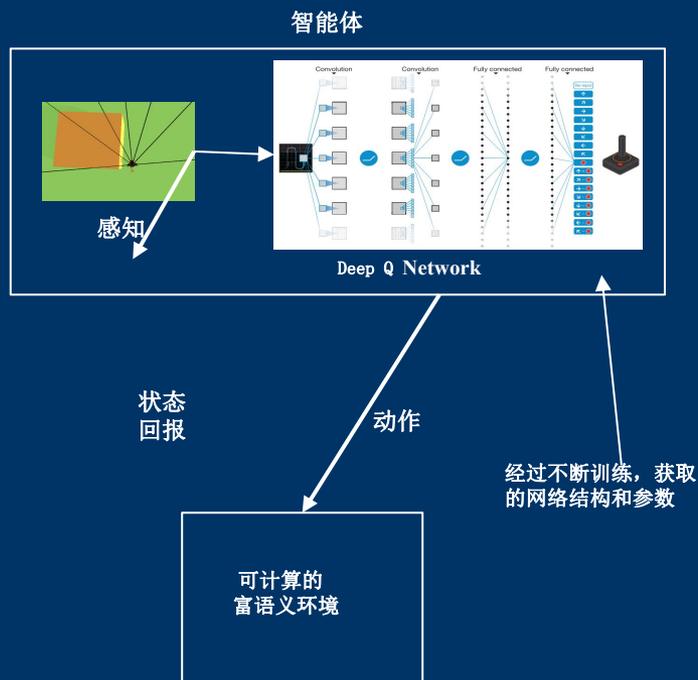
自然交互感知相似

VR人群疏散演练系统



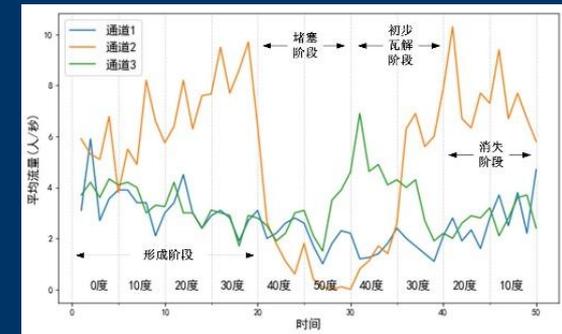
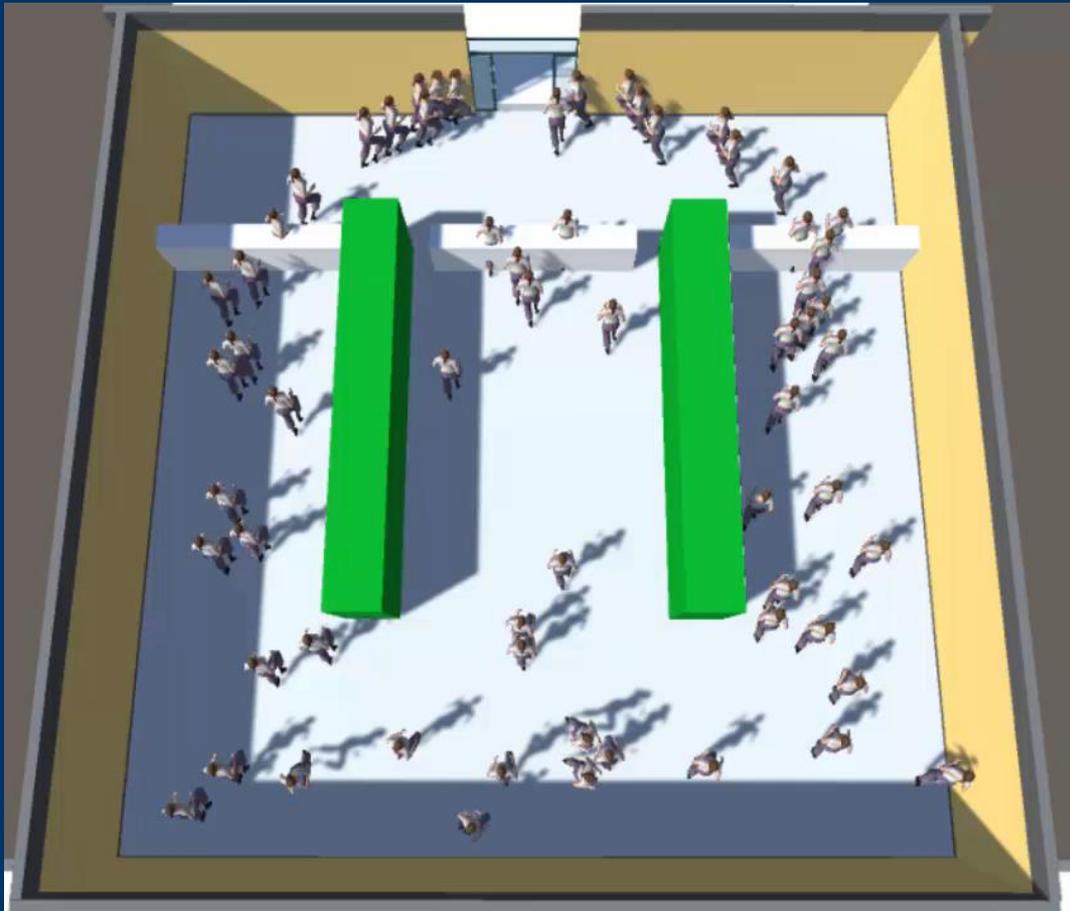
入选全国移动科普项目库，面向全国中小学使用

基于人工智能（深度强化学习）的人群模拟技术



基于人工智能（深度强化学习）的人群模拟技术

动态瓶颈模拟：设定动态瓶颈场景的障碍物每5秒旋转10度，从0度增加到50度，再次减小到0度为一个完整过程。



2) 虚实增强 (增强虚拟, 增强现实)



哥伦比亚大学, 1997



CUHK, 1999

分布式VGE, 分布式虚拟现实, 互联网与VRML/X3D/Web3D的发展;

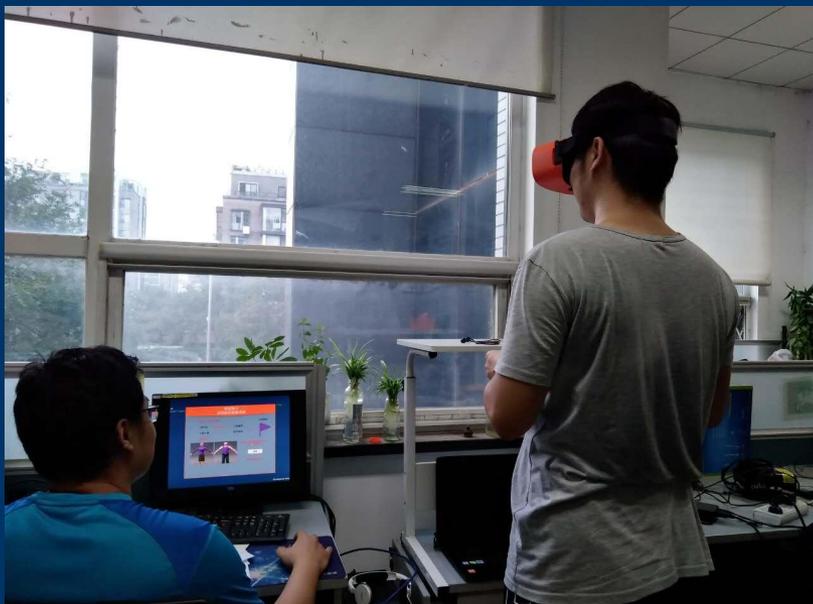
沉浸式VGE, 主要大屏幕投影式VR, 个人沉浸式VR比较少;

前20年VGE研究较弱, 因为AR/MR设备等问题

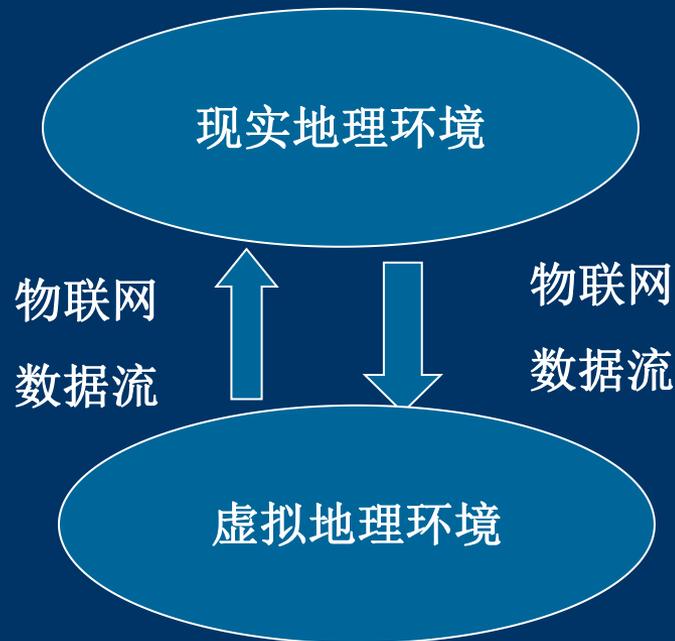
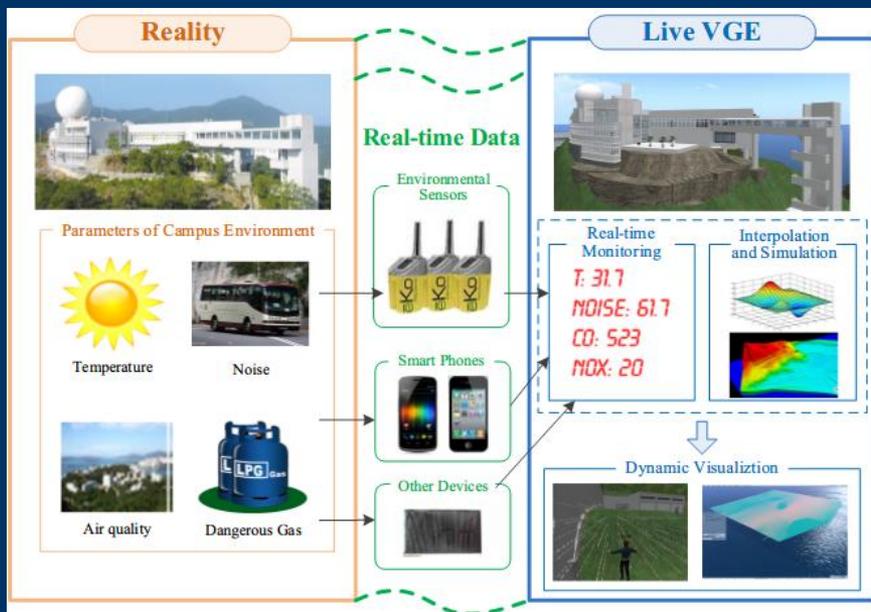
VR 化身建模
(数字孪生)



增强虚拟，真人参与的地铁火灾逃生虚拟实验



增强虚拟，实时VGE



实时虚拟地理环境Live VGE (车伟涛，林琚)

增强地理环境概念与AR可视化（2018）

增强地理环境是在虚拟地理环境概念框架下对虚拟地理环境的新拓展，可以理解为：

- ① 虚实地理空间、虚实地理对象和虚实地理过程等集成融合的人机交互环境；
- ② 虚拟地理环境与现实地理环境之间的一个桥梁、一扇门，连接了两个地理世界，并让两个世界形成信息流和相互协同作用。

第47卷 第8期
2018年8月

测绘学报
Acta Geodaetica et Cartographica Sinica

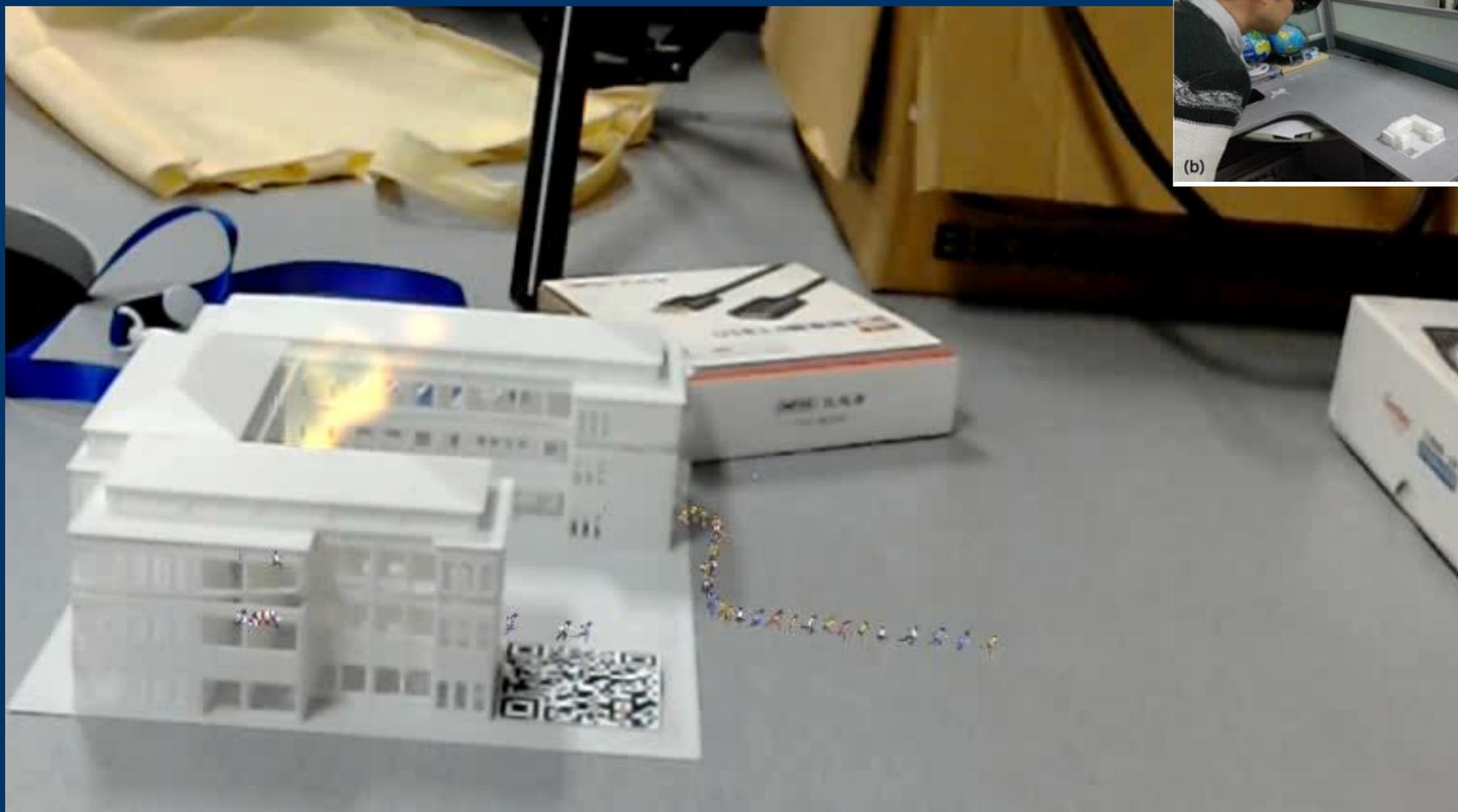
Vol.47, No.8
August, 2018

引文格式：龚建华,李文航,张国永,等.增强地理环境中过程可视化方法——以人群疏散模拟为例[J].测绘学报,2018,47(8):1089-1097. DOI:10.11947/j.AGCS.2018.20180111.
GONG Jianhua, LI Wenhua, ZHANG Guoyong, et al. An Augmented Geographic Environment for Geo-process Visualization—A Case of Crowd Evacuation Simulation[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47(8): 1089-1097. DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20180111.

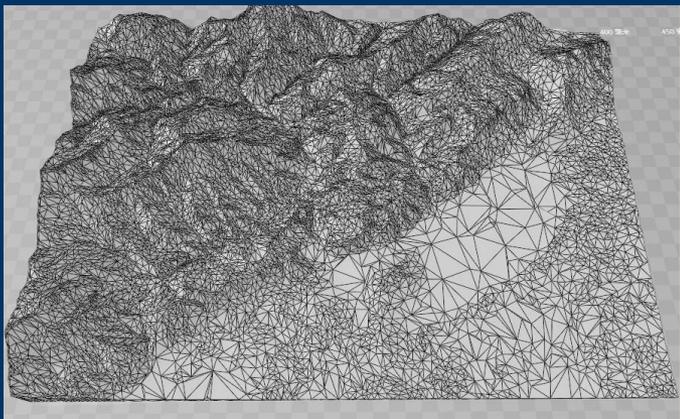
增强地理环境中过程可视化方法——以人群疏散模拟为例

龚建华^{1,3}, 李文航¹, 张国永^{1,2}, 申 申^{1,2}, 黄 琳^{1,2}, 孙 康^{1,3}

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100012; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 浙江中科空间信息技术应用研发中心, 浙江 嘉兴 314199



基于三维打印沙盘的AR人群疏散模拟可视化



三维
打印
→



- ◆ 基于AR Marker的小空间高精度虚实场景融合
- ◆ 基于三维打印技术实现地形模型精确制作和虚实遮挡渲染计算

基于三维打印与AR的洪水演进增强可视化



International Journal of Digital Earth

ISSN: 1753-8947 (Print) 1753-8955 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tjde20>

An efficient flood dynamic visualization approach based on 3D printing and augmented reality

Guoyong Zhang, Jianhua Gong, Yi Li, Jun Sun, Bingli Xu, Dong Zhang, Jieping Zhou, Ling Guo, Shen Shen & Bingxiao Yin

To cite this article: Guoyong Zhang, Jianhua Gong, Yi Li, Jun Sun, Bingli Xu, Dong Zhang, Jieping Zhou, Ling Guo, Shen Shen & Bingxiao Yin (2020): An efficient flood dynamic visualization approach based on 3D printing and augmented reality, International Journal of Digital Earth

3) 虚实孪生与相生 (混合/融合现实)

VR+人工智能 (VR 4I)

把人工智能技术与VR结合起来，发展智能的自然人机交互技术、虚拟对象智能化等 (赵沁平院士，2017)。



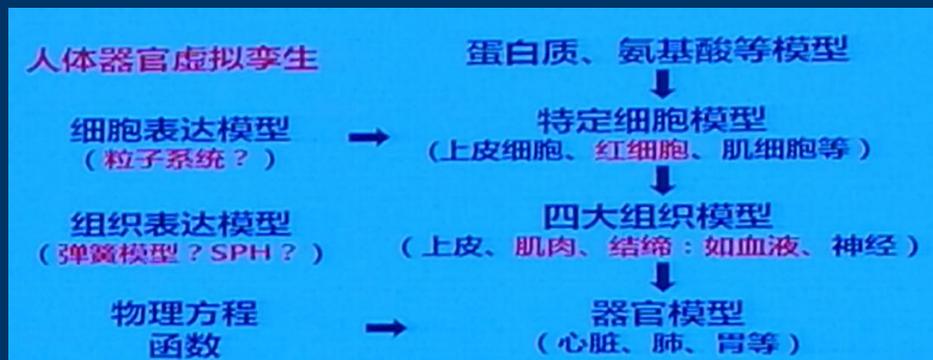
虚拟对象智能化

建模技术

- 固化 → 可演化进化 (孪生)
- 跟踪人 (化身) → 人身 + AI (虚拟人)
- 几何、物理 → 生理、智能 (虚拟人体)



虚拟人体



雄安新区智慧城市建设

（数字孪生应用
白皮书，2020）

根据雄安智能城市规划，面向雄安新区智能城市建设和发展过程中面临的“**数字城市与现实城市同步规划建设**中协同一致性问题”等重要问题设立了五项研究内容：

- ① **数字孪生框架体系及关键技术**；
- ② 面向智能城市的新型融合网络体系；
- ③ 基于全域时空信息的**智能城市混合现实及推演技术**；
- ④ 数字孪生体系构建及应用示范；
- ⑤ 国家新区城市发展指标与创新生态体系。





图 77 雄安新区面向智能城市的数字孪生框架体系

虚实关系与数字孪生

- ①虚实相似与仿真虚拟：相似的目标是未来预测，虚拟的目标是未来可能性选择与互动反馈；
- ②虚实增强与协同：增强现实，增强虚拟，虚实协同作用与控制；
- ③虚实孪生与相生：智能化，演化与进化，数字与物质孪生体相生与共生；

①数字孪生技术现状；

②从VGE发展看数字孪生；

③数字孪生对于GISci发展的思考；

数字孪生的特征本质思考

- ① 数字孪生的**虚实二象**思维方式，“孪生”概念是个生物性概念，具有非常大的想象空间；
- ② 数字孪生是**全生命周期**的时间维方法；
- ③ 现实世界、实体的**感知网**，实体-数字回路信息的**实时性**；
- ④ 数字孪生与**虚拟/增强/混合现实**、大数据、人工智能等新技术密切相关；
- ⑤ 数字孪生起源与概念思想提出于**工业产品的数字化、智能化等**，与以前的数字地球（政府、地学界）、智慧地球（IBM）等有区别；

6) 数字孪生：与未来的机器人、自动驾驶车、增强现实等发展密切相关；

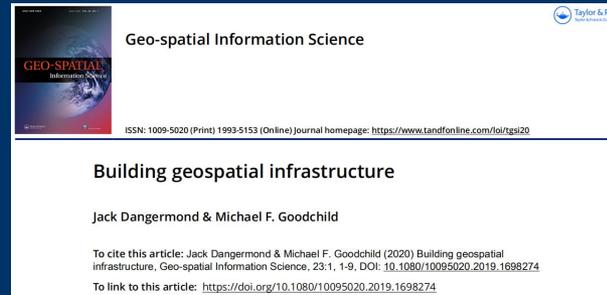


51WORLD 自动驾驶仿真

数字孪生思维与技术促进 地理信息科学、地理学的发展

- 1) 数字孪生城市是数字城市的最高阶段，数字孪生城市既是数字城市的目标，也是智慧城市建设的新高度（李德仁院士，2020）
- 2) 数字孪生，为GIS、智慧城市等应用产业界提供了新的推动力和机会（尤其国家的数字基建、新基建等发展战略）；

3) 数字孪生推动地理信息科学、虚拟地理学、虚拟科学与虚拟工程等的发展



Today we might describe **Digital Earth as an instance of a digital twin, or a digital replica.** Systems such as Google Earth have emphasized the replication of **how the Earth looks**, but in principle **a digital twin should also replicate how the Earth works**, by using software to reproduce the processes that modify the Earth's physical and social systems (Dangermond & Goodchild, 2020)

数字孪生技术发展会促进形成新的“可计算人地关系”，推动虚拟地理学、现代地理学的发展。

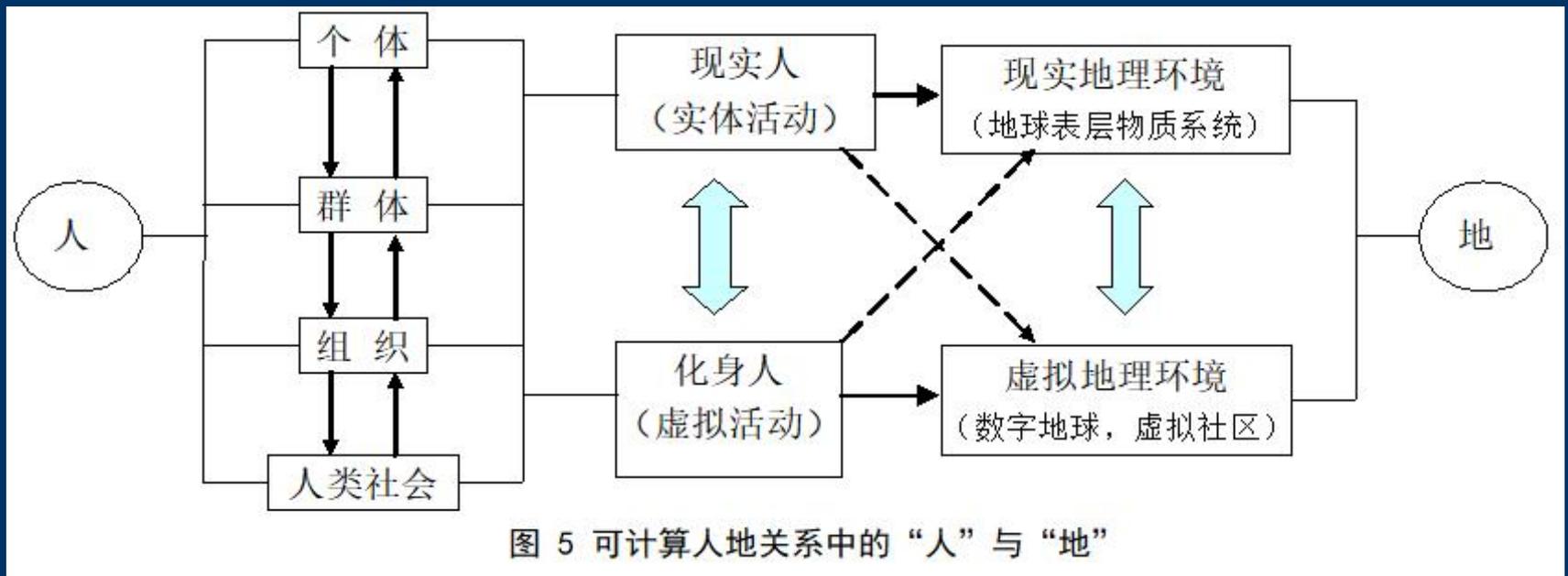


图 5 可计算人地关系中的“人”与“地”

谢谢聆听!

邮箱: gongjh@aircas.ac.cn

<http://people.ucas.edu.cn/~jhgong>

<http://blog.sciencenet.cn/u/VGEGONG>

