

# 数字孪生、图灵测试和城市模型

## Digital Twins, Turing Tests and Urban Models

迈克尔·巴蒂 著 林旭辉 译 Michael BATTY, LIN Xuhui (translator)

**摘要** 数字孪生已经成为热门话题,它是计算机在科学理论和实践发展过程中的最新阶段。如果回到20世纪20年代,“模型”一词意味着“实物的简化”或“抽象概念”,当时几乎不为人知,但计算机一出现,计算机模型首先兴起,紧随其后的是各种模型的快速发展。在科学领域,理论的概念现在几乎可以与模型的概念互换。重点阐述计算机或数字模型背景下数字孪生的定义,并提出困扰该领域的语义学悖论和难题。围绕“如何定义一个好模型”,引入图灵测试的“宽松版本”变体,即简单地提出“你能看出孪生和真实事物之间的区别吗?”这一问题。基于该测试对伦敦数字模型的应用,建议未来的发展方向是对同一地点开发数字模型的多种版本、示例和应用,从而启动数字模型的对比,并为它们的集成提供平台,以此为信息预测提供更丰富的背景。

**Abstract** Digital twins have become all the rage and are simply the latest stage in the process of using computers in the development of scientific theory and practice. If you go back to the 1920s, the term "model" meaning a "simplification of the real thing", or an "abstraction" was barely visible but once computers emerged, the idea of computer models first, but fast on their heels, models of many kinds gained momentum. In science, the notion of theory has now become almost interchangeable with the idea of model. In this short note, I will focus on defining digital twins in the context of computer or digital models, raising paradoxes and conundrums that pertain to the semantics dominating the field. After some brief discussion of definitions, I will ask the question "how do we define a good model" and then introduce variants of a "relaxed version" of Turing's famous test that simply asks the question "can you see the difference between the twin and the real thing". This is one of many open question pertaining to such tests but then, using applications from our own work on digital models in London, I suggest that the way forward is to develop many variants, many examples, many applications of digital models of the same place, thereby initiating comparisons and providing platforms for their integration. We imply that many rather than one model, one twin, thus provides a much richer context for informed prediction.

**关键词** 数字孪生;多模型;城市模拟

**Key words** digital twins; multiple models; urban simulations

文章编号 1673-8985 (2023) 05-0001-03 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20230501

### 作者简介

迈克尔·巴蒂

英国伦敦大学学院

教授,规划专业荣誉教授, m.batty@ucl.ac.uk

林旭辉(译)

英国伦敦大学学院

巴特莱特可持续建造学院

博士研究生, xuhui.lin.16@ucl.ac.uk

## 0 引言

数字孪生的概念首先出现在生产工程中,其中“孪生”由格里夫斯<sup>[1]</sup>在2003年首次定义为物理工件或过程的数字描绘,用于理解和控制相关流程。这样的孪生是实物的模型、“简化”或“抽象”,这一概念通常舍弃了真实世界的大部分内容,只保留工件或过程的本质。在模型和孪生之间的差异程度上,人们普遍认为孪生明确与真实世界“共享信息”,其中信息不可避免地是数字化的。模型也可以共享信息,但这一点并不是那么明显。原因在于数字

孪生是在试图复制物理系统,而比我们在思考城市时所常用的许多模型更接近真实世界。孪生的理念是它以某种方式与真实系统融合,但不会成为真实系统本身。从这个意义上说,孪生作为真实系统的控制器是符合逻辑的。但这也是一个悖论,因为孪生不能与真实系统完全相同,仅仅构建一个与真实事物完全相同的孪生是没有意义的,否则孪生本身就将成为真实系统。然而,这些定义仍然有些含糊不清,因此语义学上的争论仍然存在<sup>[2-3], [4]2129-2132</sup>。

本文将更详细地阐述这些定义性问题。首

先,本文会定义“孪生”的概念,并指出可能存在多个孪生、三元组、相同和非相同孪生等不同形式,甚至可能有混合型的孪生,其中既包含数字体现,又包含非数字体现。本文会将真实系统的模型或孪生概念进行扩展,即在模型或孪生与真实世界联系起来的环路中我们将自身也嵌入其中。因此,我们无法单独讨论模型,而是需要超越“模型与真实世界接口”的讨论,扩展到我们自己如何组织这种虚实并置。随后本文将进一步探讨处理多重模型的方法,随着计算和分析能力使得我们能够为同一系统建立多个模型,处理多重模型将变得尤为重要,并且这些模型并不妨碍我们继续建模。

在面对一个系统模型时,我们通常会试图探讨该模型与真实事物的“拟合”程度或其估计值的好坏。在计算建模中,如果想知道一个AI表现究竟如何,“图灵测试”是一个非常好的程序。本文将在构建城市的计算模型时(某些情况下即“数字孪生”),提出为数字孪生设计的图灵测试。本文还将概述英国伦敦大学学院高级空间分析中心(Centre for Advanced Spatial Analysis, CASA)如何就同一地点(伦敦东部的奥林匹克公园)构建出不同的计算模型。这些模型设想都非常不同,因此导向了不同的预测和设计<sup>[5]</sup>。其中的关键挑战在于“如何整合与同一地点相关的不同模型”以及“为该地点所定义的不同现实到底有多么密切相关”。从这个意义上说,这种挑战比计算模型本身涉及更为广泛的内容,因为这关系到我们如何整合各种知识,用于不同复杂性的问题求解<sup>[6]</sup>、不同类型的规划和不同可能的未来。

## 1 多种定义:数字孪生和计算模型

数字孪生的主流概念是:某种物理系统的抽象。从这个意义上说,物理性是“硬”的,而不是“湿”或“软”的。因此,数字孪生如果去“映射”以社会经济或人为行为为主的系统,将会困难得多。然而,即使在物理系统中,也很难将数字孪生限制为纯物理表达,因为人类总是以某种方式存在于虚实循环中,而且通常需要为单个物理系统开发多个数字孪生。此外,对于同一系统的多个

模型,也总是可以反映出最先构建孪生的人类自身的直觉和行为意图。戈登·帕斯克<sup>[7]</sup>在《控制论方法》一书中绘制了一幅精彩的漫画,揭示了困扰数字孪生简单定义的所有难题(见图1)。

在帕斯克的漫画中,人类明显是与传感器相结合的一环,这代表了数字孪生的另一个关键特征,即孪生必须在真实物体与其孪生或模型之间进行交互和信息传递。此外,在这幅漫画中,模型从何处开始,真实系统在何处结束,都存在于黑盒中的某个地方,而定义好的模型和孪生的大部分工作就在于在真实系统、更广泛的环境、孪生及其环境,以及贯穿整个系统的人类之间建立正确的关系。

数字孪生的一个相关特征是:它通常是真实系统的反馈控制器,甚至与真实系统的融合也与控制机制相关,而反过来这又是需要被管理的一部分。数字孪生与某些模型一样具有预测能力,但也存在某些模型仅仅具有预测功能,而不能仿真真实系统。也就是说,如果没有现在或过去的孪生,就不可能拥有未来的数字孪生。还是说这是有可能的?这一想法还有很多模糊性。最后,需要指出的是,未来可能有许多数字孪生。单个模型的每个版本都可能是一个孪生,因为一个模型只要不断调整其元素,就会生成自身的多个版本。同时也可能存在相关的生态系统,包括数字孪生、集成孪生、具有不同特性的孪生等。有关数字孪生还有很多问题有待解决,本文将提出许多开放性问题的,去探索这些新的诠释。

## 2 模型有多好?孪生有多好?图灵测试

当我们构建一个模型时,通常需要尽可能地使其接近真实情况。这往往涉及微调和修正参数值以更接近真实系统,但也可能需要从真实系统本身获取更多数据,以便训练出更好的模拟结果。目前,我们为城市规划建立的大多数模型都与真实城市的丰富性和多样性相差甚远,许多模型很难被视为人类生物学意义上的孪生。当我们面对的是一个无法直接触及的真实系统,为了确定模型或数字孪生是该系统的优良复制品,我们会希望模型的结果与真实系统完全相同。这本质上就是艾伦·图灵提

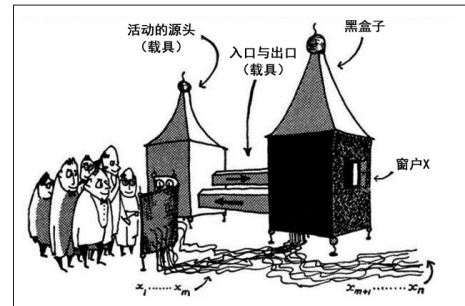


图1 数字孪生是图片的哪一部分?

Fig.1 What bit of the picture is the digital twin?

资料来源:戈登·帕斯克.控制论方法[M].伦敦:半径出版社,1961.

出的挑战,用来确定计算机是否能够模拟人类智能。本文不探讨图灵测试的局限性。简而言之,该测试就是一个人询问一个系统的过程,除了提问我们没有其他方法来了解这个系统。如果系统对问题的回答与我们期望的人类回答一致,那么该系统就通过了测试,我们认为它就是人类。我们可以修改这种测试方法来确定模型的预测是否与真实系统的预测相同。在戈登·帕斯克的漫画中,如果真实系统输出的信息与模型输出的信息相同,那么无论从哪个角度来看,该模型都可以被看作孪生。而要实现这种测试的关键问题是需要提问者事先对系统一无所知,但这在笔者看来是不可能的。

帕斯克漫画的一个特点是他的模型和系统是非常物理主义的。实际上,在城市规划领域中,城市的三维表达的出现(通常与社会经济的二维模型并存)使得数字孪生的概念更加接近我们周围的现实。下一节中会展示两个关于物理表达的示例;另外两个示例则关注社会和经济系统。到目前为止,还没有人完全弄清楚媒介表达对于数字孪生的重要性。它们显然是数字化的,但真实系统本身是否可以数字化,还是必须具有一定的物质性才能使孪生概念具有意义?数字孪生是否由非数字和数字两部分组成,人类始终参与其中的事实是否削弱了数字孪生不只是计算模型这一观点?

## 3 多个模型和不只一个孪生:同一场地的不同模型

正如引言中提到的,高级空间分析中心的

几位团队成员正在以2012年伦敦奥运会场馆为中心，独立构建伦敦东部地区的数字模型。比较这些模型，甚至整合它们的想法，这在学术上很有趣，在专业上也彼此相关，因为这些模型关注该地区的不同方面，而这些方面在未来的规划和设计中将彼此交融。模型的焦点是Here East媒体中心，它最初是一座非智能建筑，正被改造成建筑信息系统或模型，用于持续的数字化维护和监测。该区域有很多与教育相关的信息技术。整个园区正在使用三维模型建模，并将实时数据导入园区空间，最近随着Crossrail高速铁路的开通，新的交通设施也得到发展（见图2）。

笔者的研究涉及一个更大规模的项目，即在英国的普查区域尺度上建立土地利用交通模型，每个普查地区的平均人口约为5 000人。该模型涵盖了园区内的所有出行情况，并将这些出行与英国新基础设施项目联系起来。同时，笔者团队也正在开发许多其他模型，这些模型本身并不是仿真模型，但是通过数字信息进行城市分析确实有助于了解该地区的情况。随着越来越多数字模型的构建，愈发明显的事实是要试图找到一个单一最佳模型是错误的，或者至少是有局限性的。未来的方向是构建多个模型而不是一个模型<sup>[4]2129-2132</sup>。幸运的是，现

在的计算系统和数据已经使其成为可能。

#### 4 开放式问题，有针对性的答案

对数字孪生在许多领域和地方的更大规模研究而言，本文只是一个引子。研究者需要更清楚地了解数字孪生的局限性。毫无疑问的是，数字孪生吸引了学术界的兴趣，各个团体开始考虑用计算模型将不同的想法结合起来，并以数字化方式加以推进。这些想法可以以无数种方式展开，但要取得进展，还需要好的范例。有关数字孪生仍有许多问题有待解决，特别是如何在不同的问题背景下使用同一个系统的不同数字孪生，无论是针对一个地方、一个行业，还是一台机器等。目前，数字孪生的联盟、生态和系统正在构建和发展，如何发挥这些影响并发展出更好的科学成为一个紧迫的任务。

（这项研究部分由艾伦·图灵研究所的QUANT2-Contract-CID-381581合约下支持。2023年6月20日至6月22日，本文的早期版本在蒙特利尔麦吉尔大学举行的“计算城市规划和管理会议”上宣讲。感谢已故的戈登·帕斯克留下的知识产权以允许本文引用1961年伦敦半径出版社出版的《控制论方法》一书中的漫画。）

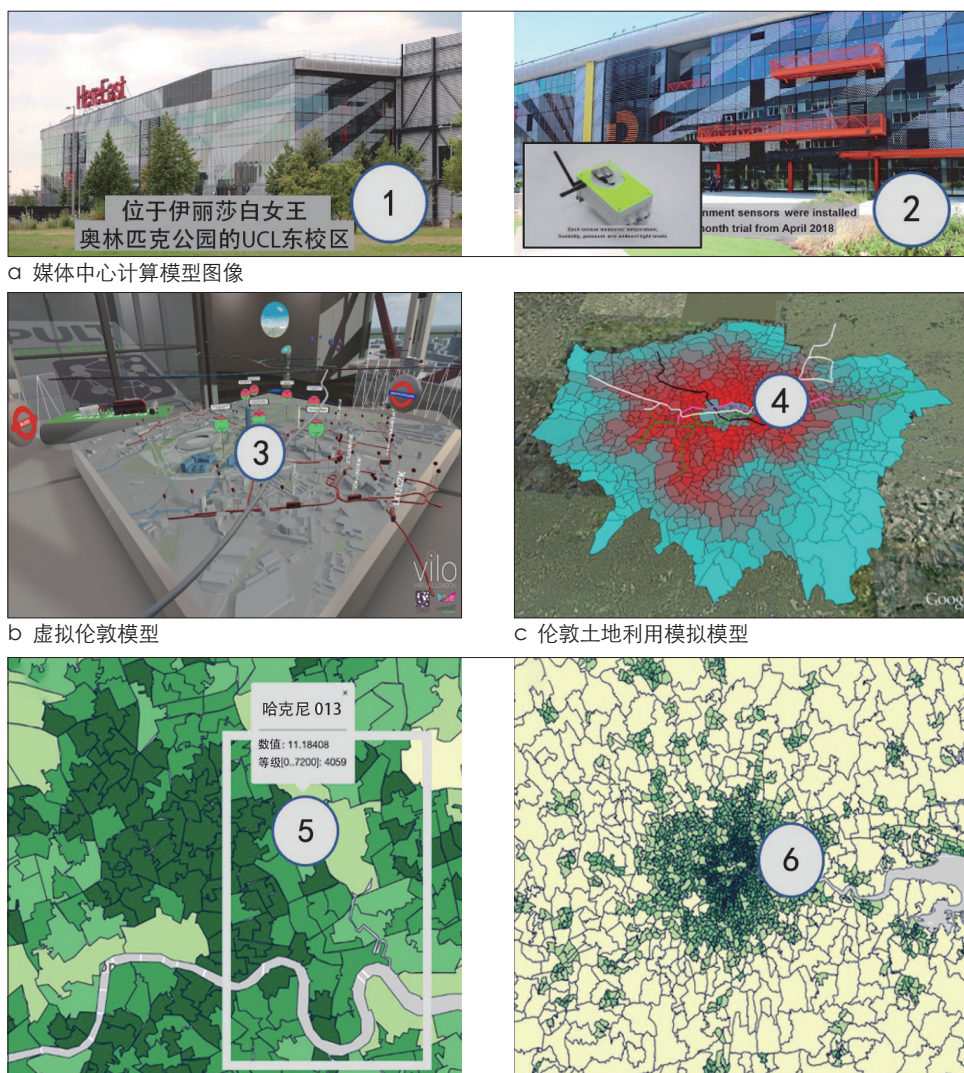


图2 以伦敦东部奥林匹克公园为中心的多个关于Here East建筑的数字孪生

Fig.2 Images of many digital twins – computer models – centred on the Olympic Park in East London

资料来源:笔者根据相关资料绘制。

#### 参考文献 References

- [1] GRIEVES M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication[EB/OL]. [2021-10-14]. [https://theengineer.markallengroup.com/production/content/uploads/2014/12/Digital\\_Twin\\_White\\_Paper\\_Dr\\_Grievess.pdf](https://theengineer.markallengroup.com/production/content/uploads/2014/12/Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grievess.pdf).
- [2] BATTY M. Digital twins[J]. Environment and Planning B, 2018, 45(5): 817-820.
- [3] BATTY M. Map is not the territory, or is it?[J]. Environment and Planning B, 2019, 46(4): 599-602.
- [4] BATTY M. Multiple models[J]. Environment and Planning B, 2021, 48(8): 2129-2132.
- [5] BATTY M, HUDSON-SMITH A, SIGNORELLI V, et al. More than one twin: an ecology of model applications in East London[M]//WAN L, NOCHTA T, TANG J, et al. Digital twins for smart cities – conceptualization, challenges and practices. London: ICE Publications, 2023: 69-85.
- [6] CALDARELLI G, ARCAUTE E, BARTHELEMY M, et al. The role of complexity for digital twins of cities[J]. Nature Computational Science, 2023, 3: 374-381.
- [7] PASK G. An approach to cybernetics[M]. London: Radius Books, 1961.