



系统控制漫谈

数字孪生之乱象

张霖 北京航空航天大学

自从数字孪生一词横空出世，在学术界和工业界很快掀起一股热浪。从 2010 年 NASA 为数字孪生定名，已经过去十多个年头。如今数字孪生领域仍呈现出一派繁荣的景象。但在这些繁荣表象的背后，其真实情况却令人担忧。

数字孪生的本质

先来看看数字孪生本来的含义。关于数字孪生的定义虽然有多种不同的表述，但就其含义而言已形成了基本的共识，即数字孪生是描述与其所对应的物理对象的一种数字化模型，通过不断采集来自物理对象的数据，使这个模型与物理对象在全生命周期保持一致。

研究数字孪生的目的是构建一个能反映物理对象真实特性的数字模型，从而通过对数字模型的分析来了解物理世界，或者在数字世界中试错，而不必承担在物理世界中做同样事情可能带来的

风险和需要花费的高昂成本。

数字孪生与普通数字模型最重要也最本质的区别是，数字孪生是一个“动态”模型，这种动态性表现为数字孪生随着它所描述的物理对象的变化而自动、实时地变化，它会与该物理对象一起成熟或者一起衰老。这种特性被称为数字孪生的实时自演化特性。另外对数字孪生还附带一个更为苛刻的要求，即希望它与物理对象形成闭环，也就是将基于孪生所做的分析和决策实时地反馈给物理对象，从而影响其行为。

不妨看一个汽车模型的例子。下图中左下方是一辆崭新的汽车 (a)，其上方是这辆车的数字模型 (a1)。现在很多类似的产品都可以在出厂时为用户提供一个数字模型。因为产品设计基本是采用数字化设计，因此这个模型是本来就有的。但是这个模型能不能算是这辆汽车的数字孪生呢？那就要看它是否具有随着汽车的使用而自动演化



的能力。如果多年之后这辆车已经破旧，变成了右下角照片的样子 (b)，而数字模型 (a1) 还是最初的样子，那么这个模型就不是这辆车的数字孪生。因为它没有与这辆车“在全生命周期保持一致”。如果还用这个模型去分析甚至去影响这辆破旧汽车的运行状态，这就无异于刻舟求剑。一个停留在某一瞬间的数字模型对于一个不断变化的物理对象而言只具有纪念意义，不再具有实用价值，无法用它去理解当下，甚至预测未来。

没有了实时自演化的特性，数字孪生这一“新”概念和普通的数字模型就没有任何区别，它的存在也只相当于给数字模型起了个更加通俗的名字，就像“氨酚伪麻美芬片”又叫“白加黑”。这个概念存在的价值也就大打折扣了。

事实上，对一个数字模型来讲，能够满足这一特性是非常困难的。凡是使用模型作为工具的领域，一直都在寻求一个精准的模型，这种精准的一个重要方面就是模型可以随时反映物理对象的动态变化。这是多少代人的理想。然而经过多

年的努力，在这方面所取得的进展非常有限，只能在特定条件下，对非常简化的模型的少量参数进行在线校准，而这种简化模型本身与物理对象相去甚远。对稍微复杂的模型，要做到哪怕是部分参数的实时演化都几乎没有办法，更不要说实时跟踪物理对象结构的变化了。



数字孪生概念的火爆为这一理想的实现带来了希望，它让更多领域的人关注到这个问题，也让从事这方面研究的人员数量爆炸式增长。这本来是一件令人欣喜的事。但在高调唱响并激起大众的广泛兴趣和关注之后，却无奈地发现这块骨头并不是那么好啃，在稍加尝试之后，便扭头改道

寻找更便捷的路径。于是一些大家都不愿意看到的乱象便悄然发生了。

乱象一：避重就轻，顾左右而言他

这些年，数字孪生的文章数量飞速增长，但文章所讨论的问题和取得的进展却不容乐观。早些年的文章大多是在讲概念、搭框架、谈愿景，等概念讨论得差不多了，需要真正触及实质问题了，大量的文章却避重就轻，含糊其辞。这些文章大致可分成以下几类：

一类是以数字孪生为标题，但讨论的却是些传统问题，只是把一些已经很成熟的理论方法拿来改头换面，远看热热闹闹，近看却了无新意。或者虽冠以数字孪生之名，但内容却和数字孪生扯不上多少关系，这种文章纯粹是为了蹭热点。另一类是调子起得很高，对数字孪生的难点和核心问题描述得也还算准确，但当你满怀期待去寻找希望的答案时，文章却戛然而止，让人异常失落。还有一类是拼凑一堆时髦的名词，和数字孪生貌似相关实则无益，对实质问题一笔带过，浅入浅出。还有一类是基于数字孪生的各种应用，这类文章占了相当大的比例，这个问题涉及另一个乱象，后面再讲。

当然也有正面讨论数字孪生核心问题且具有一定理论深度的文章，但进展依然有限，要么模型过于简单，要么条件过于苛刻，结果离实际应用尚远，但总归方向还是对的。只可惜这类文章数量太少。

乱象二：鱼目混珠，新瓶装旧酒

不知从什么时候开始，大屏幕已经成为数字孪生的标配。似乎只要装上一个大屏幕，在屏幕里展示一下生产线或者几台机器的动画，就成了数字孪生。或者在设备上连上网线或装上几个传



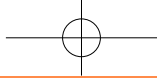
感器，在大屏幕里画上几条五颜六色的曲线或一堆大大小小的圆饼方块，也号称数字孪生。还有把一些多年前的可视化技术，配上高分辨率渲染或再加上个VR眼镜，也变成了数字孪生。实际上，屏幕里的动画除了展示之外并没有得到进一步的应用，而传感器的数据和动画之间也没有建立什么联系，动画背后也没有体现设备运行机理的数学模型，更谈不上和设备之间形成闭环。这种指鹿为马的做法大行其道，让数字孪生真假难辨。如今屏幕是越做越大，画面也越来越炫，但花团锦簇的背后却难有真知灼见。

当然，不能说数字化展示没有意义，但仅停留于此绝不是数字孪生。而事实上，数字孪生最核心、最困难的部分未必是视觉上可以表现出来的。数字孪生所描绘的美好愿景无疑是令人向往的，使人们对未来的数字世界充满期待。但如果照这种模式发展下去，这种期待最终也只能化为泡影。



乱象三：概念泛化，边界模糊不清

数字孪生的概念本来经过多年的讨论已经达成基本共识。但近年来其内涵却呈现出不断模糊的迹象。出现这种现象大致有两个方面的原因。一是随着研究的深入，发现构建一个具备核心特



征的、真正意义上的数字孪生远比想象的要困难得多，因此不得不退而求其次，在表述上做各种变通，使本来清晰简明的概念变得讳莫如深。二是由于数字孪生概念的火爆，原来从事相关领域研究开发的人员和企业有意把自己的工作和数字孪生进行关联，把一些似是而非的东西贴上数字孪生的标签，导致数字孪生内涵被不断放大，以至于和许多相关技术的界限变得模糊不清。

近来 NASA 的阿波罗 13 模拟器被当作数字孪生的鼻祖，而那个模拟器是一个虚实结合的半实物仿真系统，这也让数字孪生中“数字”的概念不再纯粹，无疑也让数字孪生概念的内涵进一步扩大。

被泛化的数字孪生概念在一定程度上掩盖了数字孪生的本质特性，无益于集中精力针对数字孪生最核心的理论和技术开展攻关。模糊的概念也导致在一些科研项目中提出不切实际的指标，比如要求一年内构建几百甚至上千个数字孪生模型，等等，迫使项目交账时不得不以次充好，甚至弄虚作假，既带坏了学术研究的风气，又造成科研资源的极大浪费。

因此，数字孪生概念的泛化最终结果只是给一些传统数字化技术更换了一个更加响亮的名字，这虽然对数字化技术的普及推广具有一定的积极作用，但由其所产生的负面影响，将阻碍数字化技术的真正突破和健康发展。

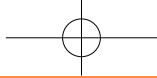
乱象四：核心技术远未突破，应用却已遍地开花

数字孪生的标志性特征是跟随物理对象的实时自演化能力，模型的自动演化技术是数字孪生最核心、也是最难实现的技术，需要坚实的基础理论作为支撑。但自从数字孪生概念诞生至今，相关理论并没有取得实质性进展。如果再考虑到与物理对象的闭环反馈，就更缺乏有效的方法和手段。但令人匪夷所思的是，在数字孪生核心技术远未获得实质性突破的情况下，各类应用却已经遍地开花。

前面提到，在有关数字孪生的各类文章中，有相当多是基于数字孪生的各种应用，它们把应用的场景描述得美轮美奂，应用的效果展示得繁花似锦，但就是不提其所基于的数字孪生是如何获得的。这类基于一个不存在的假设而演绎出的各种结果，实乃空中楼阁，其实际价值可想而知。



如果说我们对学术文章里的所谓应用大可不必当真，那么在各行各业如雨后春笋般涌现出的数字孪生应用，就着实令人费解了。近年来，在各类报告和宣传中，数字孪生的应用案例越来越多，而且都取得了不俗的效果。但如果随便找几个案例认真分析一下便不难发现，所应用的“数字孪生”其实并不具备真正数字孪生的关键特征，也就是说，应用的仍是些贴着数字孪生标签的常



规技术。实际情况是，要在众多的案例中寻找一个真正意义上的数字孪生应用非常困难。

不过话说回来，企业为了商业利益，追逐或炒作一些时髦的概念也无可厚非，而学术研究的不求甚解大多也是出于无奈，毕竟直击要害的问题太难突破，而无关痛痒的表面文章做起来则容易得多。所以多数人也就见怪不怪，进而选择随波逐流甚至浑水摸鱼。

然而由此所带来的虚假繁荣，可能给人们造成误导，以至盲目乐观而做出一些不符合科学规律的冒进的决策，反而会对这一本来充满美好前景的技术造成严重的伤害。

更加令人不安的是，这些乱象又岂止存在于数字孪生这一个领域！

如今科研人员的学术生涯被几步一堆的食饵切割成了几年一段的时间碎片，他们内心被搅得春心荡漾又焦虑不安，因此追逐热点的快餐式科研便成为一种常态。这导致表面繁华的背后是一地鸡毛，绚丽的烟花散去也只剩一缕青烟。

这正是：

本为生计入学林，锦衣玉冠却销魂，
求得浮云遮望眼，镜花水月不是春。
灯红酒绿人声沸，荒草茫茫掩孤坟，
繁华散去空落寞，蹉跎岁月误乾坤。



【作者简介】张霖，北京航空航天大学教授。曾任国际建模仿真学会（SCS）主席，亚洲仿真联盟（ASIASIM）主席，中国仿真学会常务副理事长，北航自动化学院副院长。现任中国工业合作协会仿真技术产业分会会长，中国仿真学会智能物联系统建模仿真专委会主任，中国仿真学会常务理事，复杂产品先进制造系统教育部工程研究中心主任。SCS Fellow，中国仿真学会会士，国家 863 主题项目首席专家，国家重点研发计划项目负责人。