

# 合成生物学、超材料和人工智能的融合

司黎明<sup>1,2</sup>, 吕昕<sup>1,2</sup>

1. 北京理工大学信息与电子学院, 北京 100081

2. 毫米波与太赫兹技术北京市重点实验室, 北京 100081

**摘要** 提出了合成生物学、超材料与人工智能互相融合的思想, 研究领域从合成生物学、超材料、人工智能拓展为生物超材料/超生物材料、智能超材料、智能合成生物学/生物人工智能, 再到智能生物超材料, 这种三向、三位一体的交叉融合为科学技术创新发展提供了新思路。

**关键词** 合成生物学; 超材料; 人工智能; 活体功能材料

21世纪是多元化的世纪, 被称为生命医学、纳米材料以及信息化的时代, 其间诞生的合成生物学(synthetic biology)、超材料(metamaterials)和人工智能(artificial intelligence, AI)学科引起了各国政府和国内外学者的广泛关注。合成生物学与超材料学科不仅诞生时间和发展历程非常接近, 而且具有非常类似的概念内涵, 合成生物学和超材料在2010年同时被《Science》杂志评为“21世纪前十年自然科学领域的十项重大突破”。随着20世纪“基因组学”和“分子生物学”的大力发展, 在2000年美国化学学会年会上, 美国斯坦福大学的Eric Kool

重新将合成生物学定义为基于基因或蛋白质等生物元件为结构单元, 通过将工程学原理与现代生物学相结合, 利用人工设计与合成方法实现改造现有生命体系甚至设计制作全新的生命体系<sup>[1-2]</sup>。与此类似, 在20世纪“左手材料”“人工负磁导率”和“人工负介电常数”发展的基础上, 在2000年美国物理学会年会上, 美国德州大学奥斯汀分校的Rodger Walser提出了“超材料”一词, 用来描述自然界不存在的、人工制造的非活体复合材料或结构<sup>[3-4]</sup>。随后, 合成生物学和超材料的内涵均获得进一步拓展和延伸<sup>[5-6]</sup>。可见, 广义的合成生物学将会近似等

收稿日期: 2020-01-06; 修回日期: 2020-04-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFF0212103); 国家自然科学基金项目(61527805); 高等学校学科创新引智计划项目(B14010); 北京理工大学创新研究基金项目(3050012211803)

作者简介: 司黎明, 副教授, 研究方向为电磁场与微波技术, 电子邮箱: lms@bit.edu.cn

引用格式: 司黎明, 吕昕. 合成生物学、超材料和人工智能的融合[J]. 科技导报, 2020, 38(9): 97-101; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.09.013

同于广义的超材料,比如合成生物学也有可能定义为超生物工程(meta-bioengineering)、超材料也可以包含具有活体特性的生物超材料(bio-metamaterials, bio-metasurfaces)等。

20世纪30年代,被称为人工智能之父的英国计算机科学家图灵(Alan Turing)提出了自动机理论,开创了人工智能研究的先河。1950年,图灵提出“机器能思考吗?”的问题,并发表论文给出实现人工智能的构思<sup>[7]</sup>。进入21世纪,人工智能极大地促进人类社会的发展,被认为是继蒸汽机技术、电力技术、信息技术后的第4次工业/技术革命<sup>[8]</sup>。从人类认识世界的历程来看,经历了4种范式的科学研究方法,已经从第1范式实验观测、第2范式理论推演、第3范式计算仿真的阶段,进入第4范式“人工智能分析密集型数据”时代<sup>[9-10]</sup>。按照人工智能所应对的对象,可简单分为仅处理大数据的弱人工智能阶段(低阶人工智能)和具有自由意志和心理感知的强人工智能阶段(高阶人工智能)。目前人类正处于低阶人工智能的发展阶段,同时正在大力发展高阶人工智能<sup>[11]</sup>。值得指出的是,从人工智能的名称就可以看出,它包含两个部分:“人工”和“智能”,其中“人工”指的就是由人工设计、人工创造和制造,而“智能”则来自于生物和活体,这表明人工智能与合成生物学、超材料同样具有天然融合的概念内涵。

为此,本研究通过合成生物学、超材料和人工智能3个学科的交叉融合,如图1所示,给出了从3

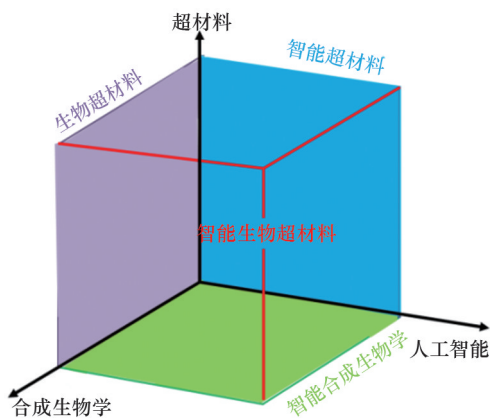


图1 合成生物学、超材料与人工智能融合的思想示意

条线到两两融合的3个面再拓展到三者融合的1个整体的学术思想,提出了生物超材料/超生物材料、智能超材料、智能合成生物学/生物人工智能、智能生物超材料等概念,并展望了潜在应用前景。

## 1 生物超材料/超生物材料

生物超材料/超生物材料(meta-biomaterials)是合成生物学与超材料的融合,有望实现具有自然界不存在特性的活体复合材料或结构。传统的超材料主要关注新型结构单元的设计及其周期或非周期的排列方式,但是所提出的力学、声学、电磁学或热学超材料都是非活体的复合材料或结构。合成生物学将生命体系中已知发挥功能的最基本的单元称为生物元件,比如氨基酸序列、核苷酸序列等,进行人工设计与合成。合成生物学就是基于这些已知生物元件构建现有活体细胞甚至设计制作全新的生命体系<sup>[12]</sup>。也就是说,与超材料相比,合成生物学所利用的生物元件,基本上都是现有已知的基因或蛋白质单元,缺少像超材料设计人工生物元件的思想。因此,合成生物学与超材料的概念内涵类似,通过互相融合,可以形成活体复合材料或结构的生物超材料/超生物材料学科方向,如图2所示,传统的超材料只能对外界输入的信息按照设计的结构和编码做出固定响应,而生物超材料或超生物材料能对外界信息按照生物响应机制和特定需求做出智能化的响应。生物超材料/超生物材料的

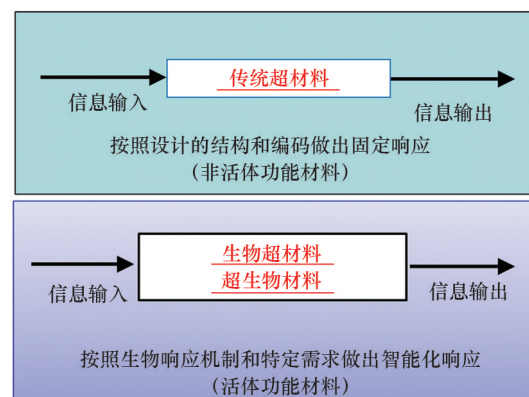


图2 传统非活体超材料与生物超材料/超生物材料对外界信息响应示意

潜在应用包括医疗健康、新能源、环境保护、生物医药与细胞组织工程等领域。

## 2 智能超材料

智能超材料(intelligent metamaterials)是超材料与人工智能学科的融合,其主要特点是能够快速灵活产生和响应复杂而有特定目标的力、声、电、磁和热信号。狭义的智能超材料是低阶人工智能与超材料的融合,在单元结构设计、结构排列方面具有数据处理量大、响应速度快的优点。而广义的智能材料则是高阶人工智能与超材料的融合,不仅可以具有快速大数据处理能力,而且能够主动感知外界复杂环境,提取有用信息并作出合理响应的人工智能复合材料或结构。2019年,基于机器学习的超材料设计(狭义智能超材料)被提出<sup>[13]</sup>, Jeewandara 绘制了一种可应用于卫星(satellite)集成陀螺仪方向感知(integrated with gyroscope to sense the flying direction)的狭义智能/可重编程超表面(smart metasurface, reprogrammable metasurface)功能示意图(图3<sup>[14]</sup>),其基本组成包括:操作说明书(manual instruction),现场可编程逻辑门阵列(FPGA, field programmable gate array),装有快速反馈算法的微控制器单元(MCU loaded with feedback

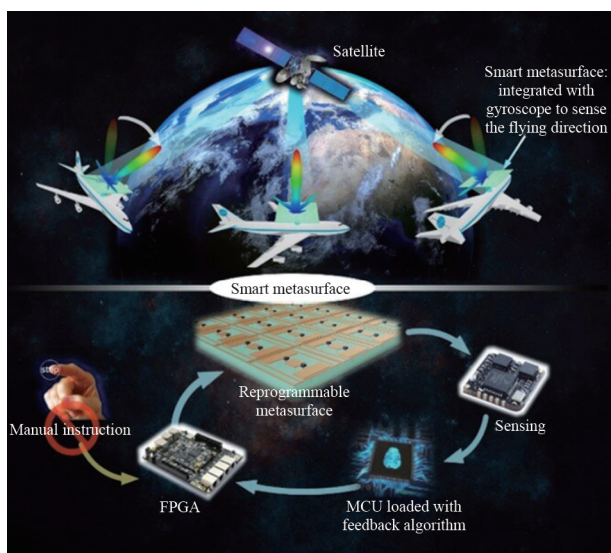


图3 一种狭义智能超材料功能示意

algorithm)和传感器(sensing),但是与超材料和强人工智能相融合的广义智能超材料相比,还存在较大的差距。目前主要依赖于强人工智能的实现。初步设想的广义智能超材料功能如图4所示,全世界科学家正向着广义的智能超材料方向努力。智能超材料将在未来5G/6G通信、增强/虚拟现实、智能军事装备、无人驾驶、空天一体化网络、智慧城市、太赫兹技术等领域得到大规模推广和应用。

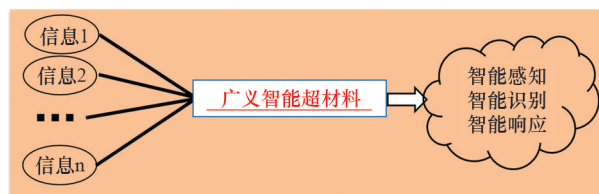


图4 广义智能超材料示意

## 3 智能合成生物学/生物人工智能

智能合成生物学(intelligent synthetic biology)/生物人工智能(bio-AI, strong AI)是人工智能与合成生物学的融合,一方面是将传统费时费力、周期长、依赖实验人员操作水平的生物合成过程,转化为智能全自动一体化生物合成流程;另一方面,借助合成生物学的内部机理,推动低阶人工智能向高阶人工智能的发展。合成生物学结合工程化的理念,对现有的生物体系进行重新设计和改造,或者设计和构筑新的新的生命体系,将有效解决人类环境污染、能源紧张、粮食缺乏、医疗健康等方面的实际技术难题<sup>[15]</sup>。随着人工智能的发展,大数据仿真计算机和自动化实验室设备逐渐被应用在合成生物学的设计、改造、构筑过程中,大幅度提高了合成生物学的效率。反之,由于合成生物学有望从根本上回答:“生命是什么?生命如何起源,又如何演化?”等基本科学问题,对于人工智能如何获得心理感知和自由意识,发展高阶人工智能或生物人工智能是一个有益的尝试和探索。智能合成生物学/生物人工智能将在健康医疗、生物医药、复杂信号感知与识别、高性能仿真与计算等领域实现颠覆式的产业应用。

## 4 智能生物超材料

智能生物超材料(intelligent bio-metamaterials)是合成生物学、超材料和人工智能有机融合的一个新概念(图5),涉及领域多、研究难度大、但可实现三者的优势互补、互相融合,其功能会大幅度提升。根据初步的设想,智能生物超材料的特点和优势主要有:1)通过综合应用低阶人工智能或高阶人工智能方法,快速设计具有自然界中不存在的活体或非活体单元结构(含生物元件),获得活体或者非活体的复合材料或结构;2)包含的概念和内涵会日益广泛,智能生物超材料与其说是一种材料,不如说是一种方法论,包括获得高阶人工智能的方法、高效生物合成的方法、实现自然界不具备性能的活体或非活体材料的方法;3)整合了合成生物学、超材料和人工智能3个方向,具体表现为研究内容上的互相统一、研究方法上互相借鉴,进而推动三者一体化协调发展。这种跨学科的交叉融合,必将在生物医学、新材料、电子通信等领域取得颠覆性技术的突破。

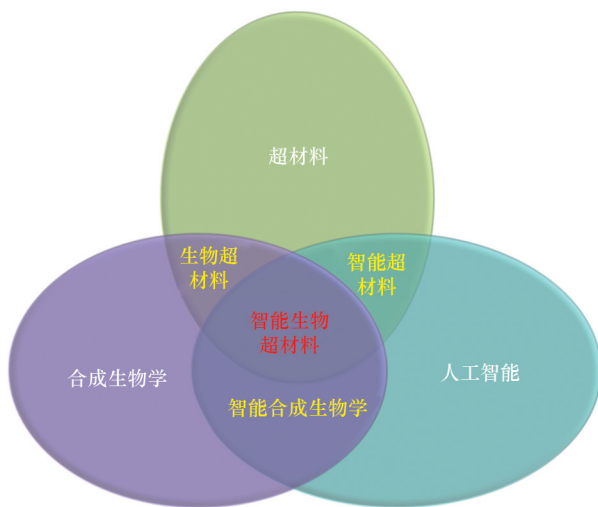


图5 智能生物超材料的范畴

## 5 结论

科学研究的目的是寻求客观规律、理解事实现象,探索未知领域,获取新知识,不断提升人类对物

质世界的认识。学科的发展也是经历了从最初的笼统模糊、到分割细分、再到有机交叉与融合。学科的分割细分,虽然有利于从通过简化、抽象、归纳来部分的理解现实世界,通过利用统一的方法和技术解决事实现象中面临的某一类问题,但是只有从整体上把握才能真正理解和认识事实现象,更好地解决任何现实问题一定是跨学科的。颠覆性技术是对已有传统或主流技术产生颠覆性效果的技术,可以是全新技术,也可以是现有技术的跨学科、跨领域交叉融合。不过跨学科和颠覆性技术往往涉及学科领域多、参数变量多、方法和手段不成熟、研究难度大。本文从学科发展的角度,提出了智能生物超材料的概念,以期有志深入此医工融合的领域者起到借鉴作用。通过合成生物学、超材料与人工智能的融合,发展出生物超材料/超生物材料、智能超材料、智能合成生物学/生物人工智能、智能生物超材料的新概念。智能生物材料所带来的颠覆性技术将推动人类的进步,未来应用前景广阔,中国应该积极进行战略布局,力争抢占发展先机。

## 参考文献(References)

- [1] Rawls R L. 'Synthetic biology' makes its debut[C]. The Chemical Engineer News, 2000, 78(17): 49.
- [2] Benner S A, Sismour A M. Synthetic biology[J]. Nature Reviews Genetics, 2005(6): 533-543.
- [3] Walser R M. Metamaterials: What are they? What are the good for?[C]. Bulletin of the American Physical Society, 2000, 882.
- [4] McEvoy M A, Correll N. Materials that couple sensing, actuation, computation, and communication[J]. Science, 2015(347): 1261689.
- [5] 赵国屏. 合成生物学——革命性的新兴交叉学科,“会聚”研究范式的典型[J]. 中国科学: 生命科学, 2015, 45(10): 905-908.
- [6] 周济. 广义超材料: 超材料与常规材料的融合[J]. 中国材料进展, 2018, 37(7): 484-490.
- [7] Turing A M. Computing machinery and intelligence[J]. Mind, New Series, 1950, 59(236): 433-460.
- [8] 蔡自兴, 徐光佑. 人工智能及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [9] Hey T, Tansley S, Tolle K. The fourth paradigm: Data-in-

- tensive scientific discovery[M]. Washington: Microsoft Research, 2009.
- [10] Agrawal A, Choudhary A. Perspective: Materials informatics and big data: Realization of the ‘fourth paradigm’ of science in materials science[J]. *APL Material*, 2016 (4): 53208.
- [11] Lu H, Li Y, Chen M, et al. Brain intelligence: Go beyond artificial intelligence[J]. *Mobile Networks & Applications*, 2017, 23(2): 368–375.
- [12] Knight T F. Engineering novel life[J]. *Molecular Systems Biology*, 2005, 1(1): 20050020.
- [13] Bessa M A, Glowacki P, Houlder M. Bayesian machine learning in metamaterial design: Fragile becomes super-compressible[J]. *Advanced Materials*, 2019, 31(48): 1904845.
- [14] Jeewandara T. Smart metamaterials that sense and reprogram themselves[EB/OL]. (2019–11–11) [2020–01–05]. <https://phys.org/news/2019-11-smart-metamaterials-re-program.html>.
- [15] Way J C, Collins J J, Keasling J D, et al. Integrating biological redesign: Where synthetic biology came from and where it needs to go[J]. *Cell*, 2014, 157(1): 151–161.

## On the merging of synthetic biology, metamaterials and artificial intelligence

SI Liming<sup>1,2</sup>, LÜ Xin<sup>1,2</sup>

1. School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

2. Beijing Key Laboratory of Millimeter Wave and Terahertz Technology, Beijing 100081, China

**Abstract** Synthetic biology is a burgeoning field that involves synthesis of novel biological systems not generally found in nature through re-designing and engineering biological parts. Metamaterials are a class of non-living materials that achieve exotic material properties from artificial unit cells by periodic/nonperiodic arrangement. Artificial intelligence and big data are known as the fourth paradigm of science after empirical, theoretical, and computational-driven approaches, meanwhile, the fourth industrial revolution after steam power, electrical energy, and information technology. Some new concepts are proposed by merging synthetic biology, metamaterials and artificial intelligence together in this paper. We will see the expansion of research areas from synthetic biology, metamaterials and artificial intelligence into bio-metamaterials/meta-biomaterials, intelligent metamaterials, intelligent synthetic biology/bio-AI, and even to intelligent bio-metamaterials. We believe that such interdisciplinary studies will provide new ideas for science and technology innovations and are expected to develop disruptive technologies in the fields of biomedicine, materials science and information technology.

**Keywords** synthetic biology; metamaterial; artificial intelligence; living functional materials ●



(责任编辑 徐丽娇)