

智能增材制造: 基于人工智能的方法综述和展望

王渊彬, 郑湃, 彭涛, 杨华勇, 邹俊

增材制造技术被越来越广泛地应用于实际生产制造过程中, 其快速发展使得面向增材制造的产品开发的效率和可靠性变得越来越大。随着人工智能技术的崛起, 其能力在一些较为复杂的场景中已经能够逼近甚至超越人类。在增材制造快速扩张过程中, 人工智能在带来新的能力的同时也带来了新的机遇, 降低产品开发和制造过程对人和经验的依赖, 提升资源利用率。本文首先简要地介绍了人工智能技术的主要方法和理论, 然后系统性地总结了近年来基于人工智能的增材制造产品开发方法, 主要包含产品设计、工艺设计以及生产制造阶段。基于对现有研究的探讨, 总结出了当前的研究中尚未能解决的主要问题。针对这些问题, 本文提出了一种新的智能增材制造系统框架, 利用云计算的海量计算资源实现增材制造大数据和知识经验的数字化整合与建模, 并利用边缘计算实现生产过程中实时任务的快速反馈, 为后续的研究提供了新的思路。

增材制造, 人工智能, 产品开发, 边缘计算

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1581-2>

基于深度学习的单目深度估计的综述

赵超强, 孙琦钰, 张崇珍, 唐漾, 钱锋

深度信息对于自主系统感知环境并估计其自身状态十分重要。传统的深度估计方法, 如运动结构恢复和双目立体匹配, 通过建立多个视图上特征的对应关系实现特征深度信息的求取。同时, 以上两种方法所求得的深度图是稀疏的。从单个图像推断深度信息(单目深度估计)是一个不适的问题。随着深度神经网络的迅速发展, 基于深度学习的单目深度估计最近已得到广泛研究, 并在准确性方面取得了可喜的表现。同时, 通过深度神经网络可以实现端到端的从单个图像估计密集的深度图。为了提高深度估计的准确性, 目前也提出了各种网络框架、损失函数和训练策略。因此, 本综述中, 我们调查了当前基于深度学习的单目深度估计方法。首先, 总结了在基于深度学习的深度估计中广泛使用的数据集和评估指标; 其次, 根据不同的训练方式回顾了一些有代表性的方法: 有监督、无监督和半监督; 最后, 讨论了当前单目深度估计方法所面临的挑战并为该方向未来研究提供了一些思路。

自主系统, 单目深度估计, 深度学习, 无监督学习

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1582-8>

一种面向动态人造场景的鲁棒视觉同步定位与地图重建算法

刘嘉诚, 孟子阳, 尤政

本文提出了一种面向动态人造场景的结合点特征和结构化线条特征的鲁棒视觉同步定位与地图重建(SLAM)算法系统。本系统考虑了曼哈顿世界假设并利用了人造环境中丰富的结构化几何约束, 如平行性约束。该平行性约束在本文中被用来对初始生成的三维直线路标进行修正。为了应对动态场景, 该系统并行运行四个主要线程, 包括二维动态目标跟踪线程、视觉里程计估计线程、局部地图优化线程和闭环检测线程。其中, 二维跟踪器负责跟踪场景中的动态目标并在图像中用矩

形边界框捕获该动态目标, 本文基于此实现动态背景的分离和离群点、线特征的有效删除. 在三维直线的参数化方面, 本文在路标初始化过程以及投影过程中使用普吕克坐标表示, 而在无约束图优化过程中使用正交化表示. 本文在基准数据集和实际场景中评估了所提出的算法系统. 结果表明, 与现有的最先进的方法相比, 本文提出的算法系统在大多数实验中显示出了更优越的性能.

同步定位与地图重建, 曼哈顿世界, 动态场景, 线特征, 图优化

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1602-3>

网络物理系统的安全性: 针对明文攻击的安全控制

袁焯, 莫一林

人们对网络物理系统(CPS)的安全性兴趣激增, 但几乎所有关于信息物理系统安全性的研究都假定攻击者对物理系统模型是充分了解的. 本文认为这样不切实际的假设是可以放宽的, 因为即使信息物理系统是未知的, 攻击者仍然可以通过被动观察对系统的控制输入和监测数据来辨识这个系统. 在这样的设定下, 可以将已知输入输出数据的攻击归为明文攻击. 首先, 我们证明了攻击者能成功识别系统模型的充分必要条件. 其次, 设计了一种能使攻击者数值解出系统模型的基于谱分解的算法. 接着, 从防御者的角度出发, 本文提出了一种安全控制器的设计. 我们设计了一种低秩控制器, 能在使系统变得让攻击者不可攻击的同时, 保证原系统控制(如 LQG)效果. 最后, 一个数值算例验证了所提出的安全控制器设计的有效性.

信息物理系统, 安全性, 安全控制, 明文攻击

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1621-y>

分布式加速优化算法: 常微分方程的见地

陈蕊娟, 杨涛, 柴天佑

本文考虑了分布式优化问题, 其目标是最小化由无向连通图上个体的局部光滑且强凸目标函数之和构成的全局目标函数. 一些已有文献提出了用分布式加速算法来解决这一问题. 本文提出了从常微分方程(ordinary differential equation, ODE)角度来理解这些现有分布式算法的见解. 更具体地说, 首先, 推导出一个等价的二阶 ODE, 它是这些现有算法通过采取小步长得到的精确极限. 此外, 针对二次型目标函数, 证明了 ODE 的解指数收敛到唯一的全局最优解. 通过数值仿真对理论结果进行了验证和说明.

分布式加速优化算法, 指数收敛, 常微分方程

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1596-8>

贻贝足丝蛋白黏附机理研究进展

阚亚鲸, 魏志勇, 谭启檐, 陈云飞

贻贝作为一类常见的海洋生物, 在高盐度的潮湿环境中拥有多样性的吸附能力. 贻贝的吸附行为由其足丝盘中分泌的贻贝足丝蛋白介导, 而且主要依赖于蛋白中所含有的 3,4-二羟基苯丙氨酸(多巴). 研究表明, 多巴及其分子结构中的儿茶酚基团在贻贝足丝蛋白与表面之间的黏附, 以及蛋白之间的共聚交联过程中发挥了关键性作用. 此外, 黏附行为还取决于接触表面的化学特性以及环境酸碱度等因素. 对于贻贝足丝蛋白黏附机理的全面认知, 是开发与应用仿贻贝黏性材料中最基本、也是最复杂的问题. 为此, 本文围绕该主题对相关研究工作进行了总结, 进一步明确了由多巴介导的相互作用在贻

贝足丝蛋白黏附中的主导作用,同时阐述了蛋白中其他氨基酸以及因素的贡献.所涉及的分子间及分子内相互作用,不仅为贻贝足丝蛋白提供了多样、稳定的黏附能力,而且影响着足丝盘的形成以及结构特征.

贻贝足丝蛋白,黏附机理,多巴,儿茶酚,表面力仪

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1541-8>

碳纳米管/石墨相氮化碳纳米复合材料基全固态超级电容器

陆超, 陈曦

全固态超级电容器具有高功率密度和工作稳定等特点,是一种高效的能量存储装置,可用于为智能电子设备供电.开发具有快速离子和电子的传输效率的电极材料,对于提高超级电容器能量存储能力十分关键.本文报道了一种碳纳米管/石墨相氮化碳纳米复合材料,具有大比表面积、多孔结构和高导电性等优点,可用于超级电容器高性能电极材料.这是因为复合材料的大比表面积和孔隙结构可以为在电化学反应过程中迁移进来的离子提供存储空间,而高导电性可以促进电子和离子的快速迁移.另外,复合电极材料中的大量氮活性位点为超级电容器提供了赝电容效应,有利于实现器件的高储能容量.由此制备的超级电容器在 1 A/g 的电流密度下,比电容高达 148 F/g,并且此器件具有良好的倍率特性,在 1~10 A/g 宽电流密度范围内均可工作.值得一提的是,器件还可以在空气中稳定工作超过 10000 个充放电循环,储能容量保持率为 93%.本工作开发了一种具有高效电荷传输能力的复合电极材料,为高性能全固态储能器件的发展提供了有益思路.

碳纳米管,石墨相氮化碳,纳米复合材料,氮掺杂,高容量,超级电容器

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1554-x>

T 形三官能交联剂增韧水凝胶

李庆宇, 徐子扬, 张董飞, 杨建海, 刘文广

目前,开发一种溶胀平衡后具有高断裂韧性的单网络水凝胶仍然具有挑战性.在这项工作中,我们通过迈克尔加成反应和酰化反应合成了一种新型的 T 形三官能交联剂(T-NAGAX),其骨架上具有双乙烯基,侧链上具有双酰胺基.通过一锅法光引发聚合反应,T-NAGAX 可用于制备化学交联水凝胶.与常规交联剂 N,N-亚甲基双丙烯酰胺相比,利用 T-NAGAX 交联的具有代表性的聚丙烯酰胺水凝胶、聚(N-丙烯酰基 2-甘氨酸)水凝胶和聚(N-异丙基丙烯酰胺)水凝胶,展现出更好的断裂韧性和更高的力学强度,这是由于水凝胶交联网络中引入了额外的氢键交联作用.这些水凝胶有望被用作承重软组织的替代物.另外,T-NAGAX 交联剂有望广泛用于增韧各种类型的水凝胶.

单网络,氢键,水凝胶,韧性,交联剂

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1537-6>

Zn(II)多角色有序辅助合成规模化的超薄层级孔碳纳米片

徐领松, 孟凡成, 魏香凤, 林长浩, 郑联喜, 刘节华

ZIF 基金属有机骨架衍生碳材料具有高表面积、高电导率和多孔结构等优点,被视为超级电容器的理想电极材料.然而,在大多数报道中 2-甲基咪唑和 Zn(II)的比例为 4:1~20:1.过量的 2-甲基咪唑的低利用率导致生产成本的增加,限制了其商业应用.本文报道了一种新颖的 Zn(II)多角色序列辅助合成方法,以 2-甲基咪唑和 Zn(II)按照 1:1 的投料比,从 Zn(II)溶液, ZnO, ZnO/ZIF-8 核-壳纳米结构序列过程,辅助合成了 3D 层级微孔-介孔-大孔碳纳米片.由于多角色 Zn(II)的协同作用,该碳材料具有 1800 m²/g 的高表面积.在单电极体系中,该材料在 1.0 和 50 A/g 的电流密度下分别具有 377 和 221 F/g 的高比电容,并且在 2.5 V 宽电压窗口的对称超级电容器中表现出高的电容(24.4 F/g)和功率密度(62.5 kW/kg).此外,在 10 A/g

的电流密度下, 经过 10000 个充放电循环, 对称型的超级电容器依然具有 85.8% 电容保持. 更重要的是, 该方法适合规模化生产低成本的层级孔碳, 并且多数化学物质都可以循环使用.

多角色 Zn(II), 层级孔碳, 氮掺杂, 碳纳米片, 超级电容器

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1510-0>

基于矩分析的随机边光滑有限元方法在电磁成形中的应用

阳琴, 汪兵, 李射, 崔向阳

结合矩分析和边光滑有限元法(ES-FEM), 本文提出一种新的随机方法——基于矩的随机边光滑有限元法(MSES-FEM)研究电磁不确定问题. 首先, 基于边光滑有限元法通过光滑伽辽金弱形式得到电磁场和力学场的离散方程, 并利用矩分析计算响应的前四阶矩, 研究各随机变量对电磁响应的影响. 最后, 利用最大熵理论得到随机响应的概率密度函数. 为显示本文方法的有效性, 以准静态电磁问题和电磁成形问题为例, 对不同材料特性下的电磁响应进行了讨论. 数值算例的结果表明, 该方法的计算结果与蒙特卡洛结果几乎一致, MSES-FEM 具有高精度、高效率的优点.

边光滑有限元法, 矩分析, 电磁成形, 最大熵理论, 概率密度函数

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1489-2>

基于光顺性能的机器人铣削路径优化方法

彭景福, 丁烨, 张刚, 丁汉

工业机器人用于五轴铣削加工时, 末端执行器绕刀轴矢量旋转的自由度是功能冗余的. 当将由 CAM 系统生成的刀具路径转换成机器人运动路径时, 需要对该冗余自由度进行求解. 不当的冗余自由度求解可能导致机器人关节出现剧烈的运动, 进而极大地降低加工效率和工件表面质量. 本文提出一种功能冗余自由度优化求解的新方法. 首先, 建立关节加速度水平上的全局光顺性能指标; 其次, 以光顺性能指标最小化为目标, 以关节限位规避、运动奇异避免及刚度性能为约束, 建立路径光顺优化模型; 最后, 采用序列线性规划方法对基于图的离散搜索方法获得的初始可行解进行迭代优化, 以一条五轴刀路为例进行仿真及加工实验验证. 结果表明, 与基于图的方法相比, 本文提出的方法能够生成更加平滑的关节路径, 进而获得了更高的加工效率和表面质量.

机器人铣削, 功能冗余自由度, 路径优化, 光顺性能, 序列线性规划

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1529-x>

基于配电网静止同步补偿器的新型散热器的实验研究

陈浩, 李强

为满足配电网静止同步补偿器(DSTATCOM)的冷却要求, 设计了一种新型的自然对流-相变耦合散热器. 散热器具有两块倾斜的蒸发板, 从而能够满足 DSTATCOM 的并联运行要求, 工质 R245fa 在散热器中由重力和浮力驱动进行循环流动. 本文从实验和理论上研究了填充率和加热功率对散热器性能的影响. 实验结果表明, 填充率以及加热功率对散热器的热性能具有显著影响. 在 25℃ 环境温度下, 散热器可以在不同的加热功率和填充率下成功启动. 由实验结果同样可知, 散热器散热性能良好, 当加热功率为 3000 W、填充率为 80% 时, 上下两块蒸发板的最高温度分别为 60.14℃ 和 67.85℃. 在相同工况下, 两块蒸发板与冷凝板之间的传热热阻分别为 $6.6 \times 10^{-3} \text{℃/W}$ 和 $1.2 \times 10^{-2} \text{℃/W}$. 此外, 通过比较可以得知, 实验结果与计算结果吻合较好.

自然对流, 相变, 热性能, 最高温度, 传热热阻

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1601-1>

高通量太阳能热化学反应器热特性与热应力分析

张昊, 帅永, BACHIROU Guene Lougou, 蒋博书, 黄兴

利用太阳能热化学反应系统将温室气体转化为高品质液态燃料, 是解决当前化石燃料日益枯竭问题的一种有效途径. 然而, 高通量的太阳辐照容易引起热应力集中的问题, 从而导致反应器破损, 严重威胁系统运行的安全性和可靠性. 本文将蒙特卡罗射线追踪法与计算流体力学相结合, 对反应器入口的热辐射分布和腔体的热应力分布进行了数值研究. 基于实验结果和热特性分析, 详细讨论了热应力集中的形成机理和改善腔体热应力分布的策略. 仿真结果表明, 当工作温度达到 1000℃或氙灯功率达到 9.0 kW 时, 反应器大概率会发生破损, 这与相关的实验结果相吻合. 此外, 陶瓷腔体破损通常发生在通孔的内边缘处(包括光圈、进气口和热电偶测温孔), 并沿着这些孔的连线延伸, 最终导致脆性断裂. 通过合理地控制开孔方向和通孔间距, 可以使最大压应力降低 21.78%.

太阳能热化学反应器, 热/机械应力, 可靠性评估, 太阳模拟器, 流动换热

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1486-2>

Al 掺杂 $\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ge}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ (LAGP) 中的超离子扩散与 Li/Al 反位之间纠缠的第一性原理研究

江长坤, 卢侠, 曹达鹏

作为一种离子导体, Al 掺杂 $\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ge}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ (LAGP) 展现出了快离子输运特性, 然而, 目前仍不清楚其快离子输运的根源. 在此背景下, 我们采用密度泛函理论(DFT)计算了 LAGP 固体电解质中 Li 离子快速迁移动力学结构瓶颈问题. 计算结果表明, Al 的掺杂导致高能位点 36f Li 位的出现, 这对 Li 的扩散起到了重要的促进作用, 并且能大大降低 Li 离子的扩散能垒. 此外, 本文还首次研究了 Li/Al 反位缺陷, 计算表明该缺陷会导致 LAGP 中 Li 离子占据能量较高的位点. 而且, Li/Al 反位引起的局部结构畸变会导致 Li 扩散时的配位环境发生变化(晶格场畸变), 这对 Li 扩散同样有非常明显的促进作用, 因此可能是导致超离子扩散的主要原因. 综上所述, 促使锂离子占据高能位点或许是实现快离子输运的有效方法, 而这也为开发高性能锂离子电池以及电解质材料提供了一条新的有益途径.

$\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ge}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$ (LAGP), Li/Al 反位, 超离子导体, 第一性原理计算, 锂离子电池

<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1562-3>

考虑温度影响的超深井水力延伸极限模型研究

李鑫, 胡志强, 高德利, 刘奎

水力延伸极限预测模型可以从钻井水力机泵条件的角度预测油气井水力延伸深度. 为了克服以往预测模型未考虑温度影响且只适用于水平井的缺点, 本文建立了考虑温度影响的超深井水力延伸极限预测模型. 本模型同时考虑钻井泵额定压力和额定功率的影响, 并考虑温度对水力压耗的影响, 对超深井水力延伸极限的预测结果进行了修正. 同时, 本文分析了中国石化在顺北油田开发的一口超深井, 并对其井筒温度剖面和水力延伸极限进行了分析和预测. 结果表明, 考虑温度影响的水力延伸极限大于不考虑温度影响的水力延伸极限. 相同深度下, 较高的入口温度和较大的地温梯度意味着较高的钻柱内和环空钻井液温度以及较大的水力延伸极限. 此外, 该水力延伸极限随钻井液排量和密度的增加而减小, 随钻井泵额定压力和额定功率的增加而增大. 为了保证达到设计深度, 存在最大的钻井液密度和最大钻井液排量和最小的钻井泵额定压力和额定功率. 本研究对于精确地预测超深井的最大深度具有重要意义, 并对在钻井泵等装备的极限能力范围内合理地进行井身结构设计和钻井工程设计具有重大的指导意义. 此外, 精确地预测超深井的最大深度对于规避钻井风险和安全事故具有重要作用.

水力延伸极限, 热传递, 井筒温度剖面, 水力参数, 超深井

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1456-8>

大断面隧道预应力锚杆-锚索协同支护解析方法

罗基伟, 张顶立, 房倩, 李奥, 孙振宇, 曹利强

为了对大断面隧道预应力锚杆-锚索协同支护力学特性进行分析, 在考虑围岩应变软化特性、锚杆和锚索弹塑性以及支护滞后特性的基础上, 本文建立了锚杆-锚索-围岩相互作用力学模型. 针对大断面隧道锚杆-锚索支护下的不同力学工况, 提出了求解隧道围岩应力和位移的解析方法, 并通过数值模拟对此解析方法进行验证. 然后基于这一力学模型, 通过参数分析对大断面隧道预应力锚杆-锚索支护系统进行研究, 分析了锚杆和锚索的预拉力、截面积、长度和支护密度对隧道支护的影响, 研究结果可以为大断面隧道支护设计提供参考. 在此基础上, 建立了考虑预应力锚杆-锚索支护的围岩特性曲线, 研究表明: 在大断面隧道建设中, 锚杆及锚索的预应力和及时支护是至关重要的. 此外, 将该模型应用于京张高铁八达岭长城站特大断面隧道的围岩变形分析, 结果表明这一力学模型是进行大断面隧道预应力锚杆-锚索支护设计的有效工具.

锚杆-锚索协同支护, 解析模型, 预应力, 大断面隧道, 加固

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1531-9>

有向网络下多欧拉-拉格朗日多智能体系统分布式固定时间跟踪控制

姚玲玲, 王和

本文主要研究一般有向通信网络下多欧拉拉格朗日系统跟踪虚拟信号的分布式控制器设计问题, 被跟踪的虚拟信号具有一般非线性动力学. 首先, 针对作为虚拟信号的领导者, 设计了一类分布式协同观测器, 使得每个跟随者可以在固定时间内观测到领导者的实时状态; 其次, 针对每个满足欧拉拉格朗日动力学的跟随者设计了一类具有抗干扰特性的局部跟踪控制器, 使得跟随者能够在固定时间内跟踪到对应的观测器状态. 最后, 通过一个仿真算例来验证所提出控制算法的有效性.

固定时间跟踪, 多欧拉拉格朗日系统, 抗干扰控制, 有向网络

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1566-9>

基于分数阶扰动观测器的一类不确定分数阶非线性时滞系统的自适应滑模输出跟踪控制

王震, 王新河, 夏建伟, 沈浩, 孟波

本文针对一类具有不确定性的分数阶非线性时滞系统的目标输出跟踪问题, 提出了一种基于分数阶扰动观测器的自适应滑模控制方法. 利用分数阶扰动观测器估计系统的外部扰动, 同时使用滑模控制自适应估计系统的未知内部干扰. 此外, 采用 Gronwall 不等式方法保证分数阶非线性时滞系统的输出跟踪误差是一致有界的. 基于上述方法, 本文首先针对分数阶线性时滞系统提出了一种基于分数阶滑模控制的分数阶扰动观测器; 其次, 结合自适应估计研究了分数阶非线性时滞系统的自适应滑模控制; 最后, 以分数阶非线性时滞系统为例验证了本文方法的有效性.

自适应滑模控制, 分数阶, 扰动观测器, 时滞, 不确定性

<https://doi.org/10.1007/s11431-019-1476-4>