



3DPFIX:提高远程新手的 3D 打印能力 通过人机协作排除故障

NAHYUN KWON,美国德克萨斯 A&M 大学

孙童美国乔治梅森大学

YUYANG GAO, Home Depot, USA

赵亮,美国埃默里大学

王旭,美国密歇根大学

金智恩*, 美国德克萨斯 A&M 大学

洪圣秀*, 美国乔治梅森大学

广泛使用的消费级 3D 打印机和在线学习资源使新手能够在远程环境中进行自我训练。虽然故障排除是 3D 打印的重要组成部分,但即使借助完善的在线资源(例如在线故障排除档案和在线社区帮助),该过程对于许多远程新手来说仍然具有挑战性。我们对 76 名活跃的 3D 打印用户进行了一项形成性研究,以了解远程新手如何利用在线资源进行故障排除及其挑战。我们发现远程新手无法充分利用在线资源。例如,在线档案静态地提供一般信息,很难搜索并将他们的独特案例与现有描述联系起来。在线社区可以通过提供更有针对性的建议来缓解他们的困难,但可以提供定制帮助的帮助者相当稀缺,因此很难获得及时的帮助。我们提出了 3DPFIX,这是一个由管道驱动的交互式 3D 故障排除系统,旨在促进人机协作,旨在改善新手的 3D 打印体验,从而帮助他们轻松积累领域知识。

我们构建了支持自动诊断和解决方案寻求的 3DPFIX。3DPFIX 建立在在线社区中积累的问答讨论中关于故障案例的共享对话之上。我们利用社交注释(即评论)为 AI 分类器构建带注释的故障图像数据集并提取解决方案池。我们的总结性研究表明,使用 3DPFIX 可以帮助参与者在诊断故障和找到更准确的解决方案方面花费比依赖他们的常规做法少得多的精力。我们还发现 3DPFIX 用户了解 3D 打印领域的特定知识。我们讨论了利用社区驱动的数据在开发未来人机协作设计中的意义。

CCS 概念:·以人为本的计算→协作和社交计算系统和工具;交互系统;·计算方法→计算机视觉。

其他关键词和短语:在线故障排除、3D 打印、远程新手、人机协作、社区增强型人工智能、人工智能驱动故障排除、模式开发

共同通讯作者

作者地址: Nahyun Kwon, nahyunkwon@tamu.edu,德克萨斯农工大学,美国德克萨斯州大学城;童史蒂文·孙, tsun8@gmu.edu,乔治梅森大学,费尔法克斯,弗吉尼亚州,美国;高玉阳, yuyang_gao@homedepot.com,家得宝,美国佐治亚州亚特兰大;梁昭, liang.zhao@emory.edu,埃默里大学,亚特兰大,佐治亚州,美国;徐王, xwanghci@umich.edu,密歇根大学,安娜堡,密歇根州,美国;金智恩, jeeun.kim@tamu.edu,德克萨斯农工大学,美国德克萨斯州大学城;洪圣洙, shong31@gmu.edu,乔治梅森大学,美国弗吉尼亚州费尔法克斯。



本作品根据 Creative Commons Attribution International 4.0 许可进行授权。

© 2024 版权所有/作者所有。

ACM 2573-0142/2024/4-ART11 [https://](https://doi.org/10.1145/3637288)

doi.org/10.1145/3637288

ACM 参考格式:

Nahyun Kwon, Tong Steven Sun, Yuyang Gau, Liang Zhu, Xu Wang, Jeeun Kim 和 Sungsoo Ray Hong.

2024. 3DPFIX: 通过人机协作改善远程新手的 3D 打印故障排除。

Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 8, CSCW1, 第 11 篇文章 (2024 年 4 月), 33 页. <https://doi.org/10.1145/3637288>

1 引言

随着技术和低成本 3D 打印机的出现[14, 78], 3D 打印已越来越受到更多新手用户的青睐。学习 3D 打印意味着要处理由多种因素引起的错误, 例如机器设置、校准、材料特性等。

处理失败的打印尝试是积累实践经验和熟悉 3D 打印领域不可或缺的垫脚石[6]。然而, 适应 3D 打印和故障排除可能非常耗时且要求很高, 尤其是对于没有高级用户现场支持的远程新手而言[2, 6, 37]。由于远程新手无法获得现场支持, 他们通常会利用在线资源, 主要分为在线故障排除档案和在线社区。在线档案是一个在线知识库, 以结构化的方式 (例如 Simplify3D 指南[62]) 介绍全面的 3D 打印故障类型、可行的潜在解决方案和其他在线教程[73]。另一种资源是在线社区, 例如 Thingiverse 论坛[38]、3DPrinting subreddit [64] 和 Stack Overflow [1], 小组成员可以在其中发布问题以寻求高级用户的帮助。虽然在线档案提供了全面的故障类型和解决方案, 但对于新手用户来说, 建立对 3D 打印故障排除的原理性理解以消化信息的成本可能很高[40, 56]。同时, 虽然在线社区可以提供适合个人具体情况的定制答案, 但找到适合远程新手的正确解决方案可能并不确定。此外, 当建议的解决方案不起作用时, 他们很容易无法忍受[37]。这些困难反过来可能会成为远程新手进入 3D 打印领域的障碍[6, 73]。

在本研究中, 我们通过一种新颖的人机协作设计改善了远程新手的 3D 打印故障排除体验。我们的设计旨在通过“边学边用”的方法帮助远程新手自然地建立对特定打印故障类型和一般 3D 打印知识的示意图[56]。为了确定新设计的要求, 我们通过在线调查对在线社区中的 76 名活跃 3D 打印用户进行了形成性研究 (S1)。基于以前的工作, 重点是了解新手如何使用即时打印服务 (例如, 创客空间、制造实验室、打印店) [6, 37], 我们进行了一项形成性研究 (S1), 以更具体地了解他们如何使用在线资源 (主要是在线档案) 和在线社区进行故障排除。特别是, 我们试图了解用户如何形成对故障排除任务的示意图, 制定他们的策略, 并感知挑战以及他们对利用在线资源的未来高级工具的渴望。S1 发现用户可以访问在线档案中列出的通用和常见解决方案, 但新手在搜索时更难理解如何用词汇解释他们的问题。当将他们的案例与每种打印故障类型提供的代表性图像进行匹配时, 他们对 3D 打印的有限理解和不熟悉的技术术语进一步限制了他们。同时, 我们发现新手用户倾向于依赖在线社区来获取定制解决方案, 因为他们可以轻松地使用通俗易懂的语言进行查询 (例如, 打印失败的照片和打印设置)。但由于寻求帮助的新手和可以提供帮助的专家数量不平衡, 获取答案不可避免地存在延迟。我们发现用户倾向于上传过去已经解释过的问题, 而不是通过阅读在线社区中累积的知识来做“功课”。

基于在 S1 中发现的见解,我们设计了 3DPFIX,这是一个提供 AI 驱动的“精选”故障排除工作流程的系统,用于检测故障类型并找到解决方案。在构建我们的设计时,3DPFIX 将社交注释[40] (由社区成员贡献的在线社区中积累的知识)转移到由 AI 提供支持的智能交互式故障排除指南中,以显著减少新手完成故障排除的工作量。

首先,为了在设计 3DPFIX 时利用社交注释,我们提取了 3D 打印社区中积累的与自动化问答过程相关的信息,例如用户发布的显示打印失败的照片和用于诊断/解决故障并实施故障类型分类模型的文本讨论线程。做出此设计决定是为了帮助远程新手通过简单地上传照片更轻松地表达他们的案例,而不是依靠特定领域的术语来描述他们的案例以供搜索。特别是在远程设置中,使用视觉提示可以引导用户进行自我调查,帮助他们更深入地了解问题 (例如,某种设置可能会导致打印时出现某些视觉提示)。这在远程设置中比仅使用当前的基于文本的搜索方案更有用。其次,3DPFIX 帮助用户更好地将他们的图像与 AI 建议的可能故障类型联系起来,3DPFIX 利用 XAI 技术,通常称为本地解释以及从在线社区收集的故障类型视觉特征的结构化解释。第三,在选择故障类型后,3DPFIX 会根据用户的查找,提出可行的解决方案,从最通用的解决方案开始,然后是高级解决方案。

为了了解新设计如何改善远程新手的故障排除体验,我们进行了一项总结性研究 (S2),研究对象包括实验环境中的 13 名新手用户和更自然环境中的 6 名用户。通过短时间部署 3DPFIX 以获得定性反馈,我们收到了 6 位活跃 3D 打印用户的评论。S2 发现了 3DPFIX 在帮助远程新手方面的几个积极信号。例如,S2 发现使用 3DPFIX 可以帮助参与者找到解决方案,并且显著减少工作量和认知负荷。他们在诊断故障类型方面的感知效率明显低于他们的常规做法。参与者找到的解决方案由 3D 打印专家在盲测环境中进行评估。结果,专家评审发现,他们使用 3DPFIX 找到的解决方案的评分明显高于基线分数。

最后,3DPFIX 显著提高了与基线相关的可学习性性能。

这项工作提供了以下贡献: · S1:了解远程新手的

的 3D 打印故障排除实践和挑战:我们力求更深入地了解远程新手如何在故障排除实践中利用在线资源以及他们通常遇到的挑战。根据我们的发现,我们得出了可以改善远程新手故障排除体验的设计要求。 · 3DPFIX:我们构建了 3DPFIX,这是一种基于 S1 发现设计的新型人机协作设计。

3DPFIX 利用从在线档案和社区中提取的集体社交注释,实现了一系列图像分类器,用于支持远程新手检测他们的故障类型和映射的解决方案。

· S2:3DPFIX 的效果:我们将远程新手对 3DPFIX 的使用与他们当前的实践进行比较,以了解 3DPFIX 如何在行为和感知方面对新手用户的任务表现和 3D 打印可学习性产生积极影响。

· 设计启示:我们反思在开发人工智能驱动的故障排除系统中考虑社交注释的意义,以改善用户的 3D 打印故障排除体验等等。

2 相关工作

我们简要介绍了一些实证研究,这些研究加深了我们对新手如何在现场学习 3D 打印技术和知识的理解。之前的几项研究都集中于有现场支持的 3D 打印新手,这在很大程度上可以帮助他们熟悉 3D 打印领域[37]。随着创客空间概念通过公共印刷中心、制造实验室和创造中心广泛传播,几项研究发现,现场帮助可以让缺乏 3D 打印知识的业余创客获得操作和维护机器的高级经验[6]。

但总体而言,由于 3D 专家稀缺[37],业余创客很难获得专家支持。同时,蓬勃发展的互联网文化使偏远地区的人们能够通过在线社区快速获得社会契约[53]。在线社区在让 3D 打印新手通过与更有经验的从业者的社交互动逐渐接受新概念方面发挥着关键作用[26]。然而,在没有专家现场支持的情况下在家打印 3D 物体可能会很棘手。一个例子就是从在线共享的 3D 物体调整机器上的打印参数[47]。由于新手难以学习 3D 建模软件,缺乏创建 3D 物体的先验知识,他们经常从公共存储库(如 Thingiverse)下载用户创建的 3D 文件[2, 37, 38]。由于并非每个 3D 建模者都会共享详细的打印设置,包括使用的机器或材料[47],而这些设置通常对成功的 3D 打印至关重要,因此新手需要花费更多时间来找到最佳设置。一项研究还指出,建模者不更新变化的情况很常见,即使更新,更新修改也经常是在容易被忽视的评论中进行的[71]。

接下来,我们回顾意义建构和社会注释方面的研究,以描述故障排除作为一种探索性认知任务的性质。意义建构是通过与信息资源交互来建立目标问题空间的内部表征的过程[51, 56]。已经提出了几种理论来解释用户在意义建构中的行为,包括成本结构模型[56]、信息觅食[50]等[70]。在早期阶段,意义建构侧重于单个用户和单个信息系统之间的生态系统。随着 CSCW 和社会计算文献的增长,意义建构影响了社会信息觅食理论的发展[49]。社会信息觅食对 CSCW 应用程序的设计产生了很大的影响,包括协作信息搜索[31, 32]、协作数据分析[69]、协作搜索[45]、社交网络问答[46]以及其他[9, 70]。3D 打印故障排除主要是通过新手和高级用户在远程环境中使用基于社交注释构建的信息存储库进行主动交互来实现的[40]。在既定的社会注释的基础上,新手通过定义搜索关键词、阅读文章、提炼关键词来逐步发展自己的内部表征,从而实现意义建构的目标。通过探索,他们可能熟悉特定领域的知识和语言、可行的 3D 打印机型号类型及其优缺点,更重要的是,他们熟悉打印故障的类型及其发生的合理原因、如何修复它们等等[2]。

虽然社交意义建构和注释启发了 CSCW 中的众多应用,但利用人工智能促进新手意义建构过程的方法相对较少,例如故障排除中的[30, 34, 35, 58, 76]。相反,许多人专注于改进 3D 打印计算管道,例如带有摄像机的实时故障检测系统。质量监控管道可以使用机器学习技术比较打印过程中 3D 对象的位置或形状[5, 13, 48]。在从业者领域, AI Build [72]提供了一种自主的、大规模的 3D 打印,并在基于机械臂的打印中实时检测和纠正故障,由计算机视觉技术提供支持。然而,这些方法需要额外的硬件支持,才能实时监控和捕获故障,

这可能不是最终用户的最佳解决方案[5, 13, 48, 72]。这种使用摄像头的监控技术也往往与照明条件、用于实验的特定打印机[13]以及用于精确定位摄像头的校准[5] 相关联。一般来说,以前的人工智能驱动技术旨在检测机器产生的缺陷,而不是支持人类操作员的理解。

通过我们的审查,我们发现了两个可以进一步研究的差距,以促进远程新手通过他们的故障排除经验学习 3D 打印。首先,虽然有几项研究已经提供了关于 3D 打印用户如何通过面对面环境激励他们学习的有用见解[15, 37, 53],但我们有机进一步了解新手如何使用在线资源来应对远程环境中的故障排除。因此,我们进一步研究了远程新手在利用流行的在线故障排除指南和征求高级用户支持以发现新设计机会方面的实践和挑战。其次,虽然社交信息搜寻和社交注释提供了一个有用的框架,设计师可以使用它将他们的见解转移到新的应用程序中,但在过去的文献中,为 3D 打印远程新手开发交互式人机协作设计尚未得到认真考虑。为了更好地支持我们的目标用户,我们采用以用户为中心的设计来开发一个可行的系统,以激励降低 3D 打印故障排除的障碍。

3 S1:形成性研究

与之前的研究(重点关注获得现场支持的新手)相比,研究 1 (S1)更进一步,旨在实现两个主要目标:寻求了解远程新手在处理 3D 方面的实践、挑战和未来愿望

打印故障排除。

建立支持工具的设计要求,以潜在地提高远程新手的故障排除流程。

首先,我们从 FixMyPrint 子版块[66]抓取了 26,894 篇帖子,以了解 3D 打印机用户如何在在线社区中交流故障排除。接下来,我们进行了一项在线调查,以了解新手与高级知识用户组相比,在利用现有在线资源进行故障排除方面的策略、挑战和愿望。

3.1 初步观察在此阶段,我们观察了

FixMyPrint subreddit [66] (一个拥有超过 10 万名成员的热门在线 3D 打印故障排除社区)中成员的行为,以了解他们如何分享 3D 打印问题以及如何通过论坛讨论与他人互动以解决问题。我们还研究了 FixMyPrint 的政策和公告,以了解它们如何促进有效的故障排除相关沟通。我们的观察发现,新手对有针对性的解决方案的需求日益增长,寻求解决问题的答案的帖子也不断增加(见图1, (a))。这些需求似乎与积极参与的 3D 打印爱好者和专家的利他动机相一致,他们希望作为一个社区造福 3D 打印新手。

不幸的是,大量帖子最终都没有得到答复。一个可行的原因是问题反复充斥在论坛上。其中许多问题具有共同点,因此可以通过搜索和查找类似案例在之前的帖子中轻松找到现有的解决方案,而新手并不常用这种做法。主页上的公告建议在发布问题之前先阅读在线网络档案,尤其是 Simplify3D 指南[62],以及其他选项,例如 Rigid.ink [63] Matterhackers [43]和 Reprap [54] (如果需要)。

该社区的 AutoModerator 会立即为每个新帖子发送一条自动评论,称“大多数常见的打印质量问题都可以在 Simplify3D 打印质量指南中找到”。许多

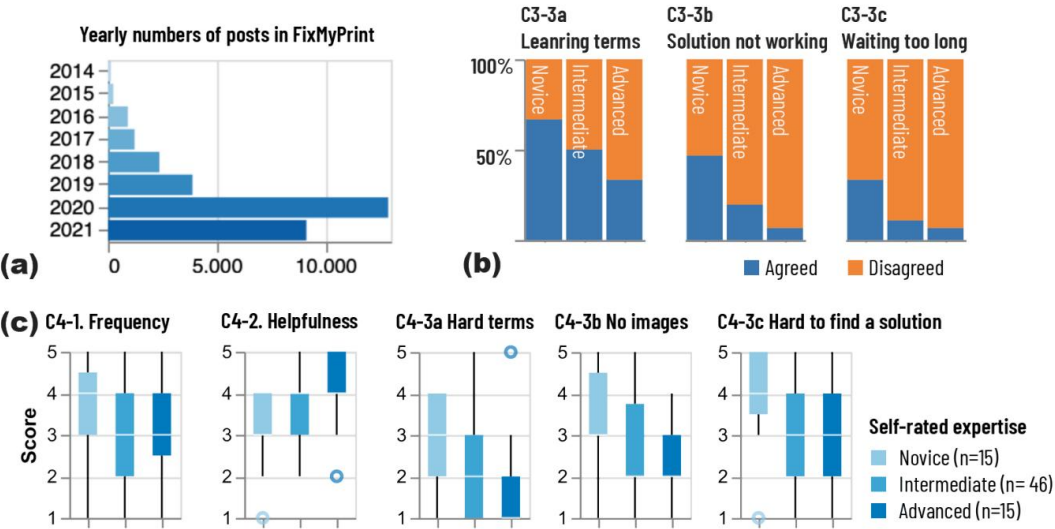


图 1. (a) FixMyPrint 中间答帖子的年度数量 (2021 年统计 1 月至 6 月之间的帖子) ;(b) C3-3 的调查结果,用户对在线社区的看法随其自我评估的专业水平而变化;(c) C4-3 的调查结果,用户对在线档案的看法随其自我评估的专业水平而变化

在线社区的内部推荐系统将热门帖子拉到主页,进一步边缘化了不繁忙的帖子,并贬低了那些几乎没有讨论的帖子。在我们与社区版主的非正式交谈中,他们似乎意识到了这个问题,鼓励用户在最初的尝试由于缺乏关注而未得到解决时重新发布帖子。

如图1 (a) 所示,寻求有针对性的答案的需求正在飙升,而专家阅读和评论的可用性却保持不变,从而导致不平衡。在我们从 FixMyPrint 子版块收集的 ≈ 27 个帖子中,15% 的帖子 (≈ 6 个)从未得到过答复,近 50% 的帖子有 3 条或更少的评论。考虑到最终解决方案所需的讨论深度,我们的数据表明大量帖子最终都是失败的尝试。对于至少有一条评论的帖子,获得第一条评论的平均时间约为 789 分钟,这表明等待关注的时间平均接近 13 小时,这甚至不能保证解决问题。我们认为这种供需不平衡会阻碍新手找到有效的解决方案并及时获得 3D 打印领域的知识。通过我们的观察,我们被激励去深入了解新手面临的挑战,并进一步确定当前的在线档案如何带来更多挑战。

3.2 在线调查3.2.1 方法

论。为了更深入地了解 3D 打印用户在排除故障时面临的挑战,我们设计了一项调查,并联系了在线社区中活跃的 3D 打印从业者。为了招募具有不同专业水平的在线 3D 打印用户,我们在热门的 Reddit 3D 打印社区发布了邀请传单,包括 FixMyPrint [66]、Ender3 [65]、3DPrinting [64]和 Prusa3D [67],这些社区至少有 4 万名成员。然后,我们联系了最近通过直接消息发布查询的 842 名选定 subreddits 成员。

我们还向拥有超过 2000 名成员的热门 3D 打印相关 discord 频道发送了邀请传单,标题为 Print Everything [11]、Creality 3D Printers [10]和 Prusa3D [55]。我们的邀请得到了 76 份回复。

在调查中,我们首先要求参与者分三个等级对自己的专业知识进行自我评估:新手()和高级()。我们使用自我评估的~~商业~~知识,而不是使用工作年限等更量化的指标。与教育等可以使用定量指标公平反映人们专业知识的其他领域不同,3D打印在定义专业知识方面具有高度的随意性。例如,参加大量研讨会以及紧密投入和参与创客空间可能会在短时间内大大提高他们的专业知识。在76位受访者中,有15人自评为新手,46人自评为中级,15人自评为高级。然后,我们询问了以下5个类别的9个问题: C1.打印环境:您使用什么类型的耗材和打印机?

C2.故障排除的常见策略:请说明您使用的不同“策略”

处理故障排除时使用在线资源。

C3. 关于使用在线社区

C3-1. 使用网络社区时,您通常会如何解决问题?

C3-2. 网络社区的哪些方面对您帮助最大?

C3-3.请说明您是否同意以下陈述:在使用在线社区时,(a)我通过讨论学习了技术术语和一些有用的技巧;(b)建议的解决方案并没有真正解决我的问题;(c)我需要等待很长时间才能得到其他人的回复。

C4. 关于使用网上档案C4-1. 您多久查

阅一次网上档案?

C4-2. 阅读在线档案对解决您的问题有多大帮助?

C4-3.请指出您在多大程度上同意以下方面在应用从在线档案中学到的信息:使用在线档案时,(a)很难理解技术术语;(b)档案中的示例图像没有一个与我的情况相似;(c)很难找到适用于我自己的打印问题的具体解决方案C5.进一步说明:开放式问题,他们可以自由地描述他们重新使用在线档案的经验

使用在线资源来解决故障。

对于 C1-3 中的问题,我们提供了受访者可以选择的多项选择项,其中包括“其他”来描述不属于任何选项的进一步答案。

3.2.2 结果.关于常见的故障排除策略(C2),阅读知名的在线档案和最受欢迎的建议(N = 61,79%的参与者),其次是搜索以前的在线社区帖子(64%),以及在在线社区上发布问题(51%)。

相对较少的受访者依赖 YouTube (11%) 或谷歌搜索 (9%) 等视频来源。

在线社区:难以搜索和获得及时帮助。我们设计了 C3,以确认我们在初步在线社区观察中发现的使用模式,并更多地了解障碍和需求。似乎用户会发布自己的问题,因为无论他们的专业水平如何,搜索关键文章通常会失败。P32 (中级)提到:“首先,[我] 查找以前有类似问题的帖子,然后询问那些回答这些帖子的人,如果都不起作用,就发布我自己的帖子,详细说明设置 [...] 以及失败的地方,并附上失败的特写”。最常见的故障排除策略(C3-1)是从之前的讨论板上搜索处理类似问题的帖子(69.2%),然后上传带有失败打印照片的帖子(62.8%)。许多人明白,清晰明了的讨论记录和细节对于获得更准确的建议非常有用,而且它们有助于建立资产和健康的社区,从而在长期内吸引更多成员。许多受访者表示,他们最初的帖子包含了足够的细节:“我发现提供尽可能多的细节以及发布图片是一种很好的方式,不仅可以为自己提供帮助,还可以为未来的人们提供资源(P14,中级)”。

尽管如此,一些新手参与者发现很难找到符合他们情况的正确讨论记录。例如,P19 (新手)指出了 Reddit 搜索功能的问题:“Reddit 的去中心化模型由于缺乏标签或使用关键词而限制了搜索功能”。P17 (新手)提到“搜索并不总是有帮助,但我还是会尝试,只是为了尽职尽责”。

由于不懂用什么专业术语来清晰的描述正在发生的事情,新手通过文本查询找到讨论类似案例的正确帖子的成功率必然受到限制。

一些受访者发现在网络社区中很难获得他人的评论 (C3-3),而大多数受访者认为即时支持是关键。61.5% 的受访者注意到,当无法获得“同步反馈”或“即时支持”时,网络社区的好处会大大减少。“唯一真正的问题是,可能需要很长时间才能得到一个回复,有时帖子最终根本没有得到答复”(P26,中级)。

如第3.1节所发现的,在线社区的核心价值似乎是从经验丰富的用户那里获得的定制反馈,没有领域特定语言。61.5% 的受访者喜欢使用在线社区进行故障排除,因为他们可以使用失败的打印照片来诊断问题。同时,专业知识较低的人觉得他们学到的关于 3D 打印语言的知识比专业知识较多的人更多 (见图1.(b) C3-3a)。

另一方面,使用在线社区的风险在于问答中的供需差距,这不可避免地无法实现同步反馈,降低了及时获得解决方案的机会。有趣的是,我们发现新手用户认为等待时间比高级用户组更长 (见图1 (b) C3-3c)。例如,P10 (中级)注意到新手用户请求帮助的需求很高,而提供有用建议的资深用户数量相对较少,他表示“与真正能提供帮助的用户相比,需要帮助的用户太多了。这让我更难得到答复”。尽管高级用户组感知的等待时间比新手组短,但他们也意识到了这个问题;P13 (高级)批评 Reddit 的可用性;“Reddit 不是进行故障排除的合适论坛。故障排除应该通过实时 (和更具互动性的)反馈来完成。

发布一堆照片然后等待不会带来好的结果”。

总之,我们发现在线社区的讨论和经验丰富的用户的定制建议对远程新手有益。他们学习特定领域的语言,并通过从他人那里获得建议、尝试推荐的解决方案以及在无法解决时寻求进一步帮助来体验有用的技巧,以巩固他们的 3D 打印知识。然而,我们也发现在线社区中经验丰富的用户很少,这使得新手很难获得建议。

在线档案:不熟悉的技术术语,难以找到适用的问题和解决方案。C4的主要目标是了解用户对使用在线档案的看法有何不同以及原因,以及是否存在因他们的专业知识而产生的差异。我们对每个 C4 问题进行了 Spearman 等级相关分析,零假设是受访者的李克特量表比率在不同专业水平的群体之间不会有所不同 (0)。关于使用在线档案的频率 (C4-1),Spearman 等级相关检验发现,频率不会因他们的专业水平而产生显著差异 ($M = 3.53, SD = 1.20, M = 3.27, SD = 1.18$,和 $M = 3.27, SD = 1.18, r(74) = 0.036, p = 0.754$,见图1 (c))。

另一方面,我们发现专业知识较少的人往往认为在线档案的用处明显小于经验更丰富的人群 ($M = 3.93, SD = 0.77$,尤其注意到 $M = 3.07, SD = 0.85, M = 4.13, SD = 0.81, r(74) = 0.449, p = 0.000$,见图1 (c))。我们认为 远大于 和 之间的差距。 这些结果 和 表明,专业水平并不影响使用频率,但

与高级用户相比,新手可能不太可能获得有用的信息。

关于了解可能造成在线档案难以使用的因素的分析,斯皮尔曼等级相关拒绝了这一类别中的所有零假设。首先,技术

对于新手来说,使用在线档案的障碍可能比经验丰富的人更大 ($M = 2.65, SD = 1.07$, 和 $M = 2.47, SD = 0.96, r(74) =$:
 $M = 3.40, SD = 1.20, 0.030$, $-0.250, p =$

见图1 (c), C4-3a)。接下来, Spearman 等级相关检验发现, 相关示例

如果他们的专业技能

水平较低 ($M = 2.11, SD = 1.02, 0.001, 0.180, SD = 1.11$,

$r(74) = -0.313, p = 0.006$, 见图1, C4-3b)。最后, 自我评价专业水平较低的人,

将一般水平的解决方案描述应用于其具体案例时会遇到更多困难 ($M =$

$4.00, SD = 1.10$, $M = 3.07, SD = 2.93, SD = 0.92, 0.001, p = 0.019$,

见图1 (c), C4-3c)。这些发现可以解释为什么人们认为在线档案不那么

对于专业知识水平较低的用户尤其有用。新手可能需要投入更多时间和

努力理解特定领域的语言, 以充分消化文章。关于

术语也可能对新手搜索帖子的方式产生负面影响, 因为基于文本的

服务。虽然图像更直接、更直观地传递背景信息, 但代表性图像

所展示的标志可能不为人所熟悉, 因此也很难找到相似之处, 因为每一个标志

不同用户的症状和症状可能各不相同。即使他们能够找到相关文章,

新手在几个建议的解决方案中选择一个时也可能会遇到障碍。

3.3 远程新手设计要求

远程新手的愿望似乎很简单 (1)能够轻松识别他们的问题,

(2)使用简单的询问, (3)获得针对性的解决方案, 直接解决问题, 而无需

规避或预测。“远程专家”有很大帮助, 因为他们可以立即注意到

用最少的文本/视觉信息显示的问题, 并给出直接的答案

比检查现有帖子更容易发现看似独特的印刷问题。然而, 绝大多数

发帖量的增加使得专家成为一种不确定的资产。

为了弥补我们在 S1 中发现的差距, 我们提出了一种新颖的人机协作系统, 利用从现有在线社区获得的社交注释, 这些社区积累了远程

随着时间的推移, 专家的知识可以提高远程新手的 3D 打印故障排除能力

体验。利用社交注释 (评论), 我们寻求扩大人工智能作为策展人的角色

他们可以平衡在线专家的负载。这些远程专家的作用包括指导

帮助新手识别问题的类型, 用通俗易懂的语言匹配可行的解决方案, 从而能够

针对性的解决方案与人类专家的定制解决方案相似。具体设计要求

我们从 S1 中学到的知识如下。

DR1. 轻松表述问题: 故障排除通常从调查失败打印中值得注意的视觉特征开始, 以了解打印故障类型。通过视觉调查

问题是一种直观和直接的诊断故障类型的方法。为了便于

诊断, 我们的第一个 DR 是使用照片作为输入。通过启用基于图像的搜索, 远程新手

可以避免描述不熟悉的领域术语。考虑到基于文本的通信出现在

在线档案和社区, 我们假设由

基于视觉的模式可以更好地协助远程新手。

DR2. 用户上传图像与故障类型的可靠关系: 诊断 3D

无法通过参考每种类型的单个代表性图像来识别打印故障类型

完整, 因为失败的视觉特征可能因情况而异。为了帮助远程

为了让新手更好地识别图中所示的最可能出现的故障, 系统应该帮助用户

获得故障类型的可视化推理 (例如 [8, 23, 24])。通过该系统, 用户应该

能够了解哪些视觉特征属于某种故障类型。

DR3. 思路畅通, 不会被不熟悉的技术术语打断: 使用同义词而不进行明确的说明可能会让用户感到困惑 (例如, 字符串 -

抖动、振动 (重影/波纹/振铃), 新设计应该解释

快速掌握较新的技术术语。考虑到用户群体可能拥有不同的知识水平,按需提供也是必不可少的。

DR4. 优先考虑通用解决方案,按需提供针对具体案例的解决方案:由于打印失败的常见原因有多种(例如,打印温度过低和/或打印速度过高会导致挤出不足),因此可能会有多种不同的操作建议。

此外,搜索以前的讨论是查找有用对话的常见行为,但一刀切的做法并不适用于本案例。内置搜索功能仅限于检索适用的帖子,新手缺乏专业知识可能会导致选择错误的建议。因此,提高在现有帖子中查找适用帖子的能力至关重要,帮助用户在众多替代方案中选择最值得首先尝试的高度适用的解决方案最终将有助于减少反复试验的时间。为了应对使用两个在线资源的挑战,我们在提供可行解决方案时采用了视觉信息搜索口号“先概览,缩放和过滤,按需提供详细信息”[60]。在线档案列出了通用解决方案以及故障本身的描述和导致此类问题的常见原因。此外,由于在线社区倾向于鼓励新手添加上下文(例如,打印机和灯丝类型和设置)以进行准确诊断和针对特定案例的解决方案,我们将首先提供诊断故障和通用解决方案的详细描述(概览)。如果需要,用户可以继续打开更多不属于一般案例的特定案例解决方案(按需提供详细信息)。此外,如果可用于单个解决方案,系统应提供条件或线索,以进一步缩小选项搜索范围(缩放和过滤)。

4 3DPFIX:用于自动 3D 打印故障排除的 AI 驱动设计

在线社区已经积累了大量有关 3D 打印故障和讨论的真实图像数据,作为一种社交注释的形式。虽然此类资源提供了大量有关图像中显示的问题的文本记录,即社交注释,但根据我们的 S1 发现,远程新手获取解决方案的过程并非没有不确定性。例如,他们的许多帖子可能根本没有得到任何关注,他们可能不得不等到其他有经验的用户回复,或者他们可能会忽略现有的帖子并提出相同的问题。使用静态在线档案也很有挑战性,因为技术术语不熟悉,难以将他们的案例与描述联系起来,以及选择要尝试的建议。为了为远程新手提供更好的故障排除体验,3DPFIX 提供了基于我们在 S1 中得出的 DR 构建的交互式功能。特别是,它提供了由 AI 建议的 3D 打印故障类型的自动诊断,并帮助用户根据我们从 3D 打印在线档案和社区中提取的社交注释找到相应的解决方案。

4.1 3DPFIX 设计概述和实施遵循 S1 中定义四个设计要求,

3DPFIX 具备四个主要功能:(1)从用户上传的照片中诊断故障类型(DR1), (2)通过灰度显着性注意力图进行视觉推理,为 CNN 模型的决策和代表性样本图像提供局部解释(DR2), (3)根据需要使用悬停窗口详细解释技术术语(DR3), (4)具有过滤条件的通用和特定案例解决方案以缩小搜索范围(DR4)。

#1. 基于图像的诊断,便于问题表达(DR1):失败打印的视觉特征在识别 3D 打印故障类型中起着关键作用;通过用户上传的照片进行自动诊断是新手最直观、最简单的方法。用户可以通过使用我们的基于 Web 的界面上失败打印的照片来开始。3DPFIX 通过使用所有 CNN 分类模型逐步计算其存在概率来检查它是否包含任何类型的 3D 打印故障。3DPFIX 在几秒钟内显示结果,并让用户直接识别

在同步设置中,3DPFIX 不会直接向用户显示预测概率,因为呈现数值可能会使用户感到困惑,这可能是由于客观解释[75]。相反,3DPFIX 以四个级别呈现预测结果的抽象标签:极有可能(75% - 100%)、有可能(50% - 75%)、不太可能(25% - 50%)和极不可能(0% - 25%)。如图2所示,“显示 AI 的最佳猜测”已激活,默认情况下仅显示“极有可能”故障类型。根据偏好,用户还可以启用“查看所有故障类型”以检查 3DPFIX 支持的所有故障类型。

#2. 诊断的视觉推理,用于用户上传的照片与诊断的故障类型之间的可靠关系 (DR2):除了诊断之外,3DPFIX 还对诊断结果进行视觉推理,这不仅可以帮助用户更好地理解分类模型的决策,还可以学习各种视觉特征以识别不同类型的故障。如图2的下半部分所示,我们的工具还为每种诊断类型提供了 Grad-CAM [59]生成的灰度显着性图。显着性图显示用于预测的区域,突出显示兴趣点。这种强调有助于用户专注于照片中的问题部分,并有助于 CNN 模型的视觉解释,它用于做出决策[52]。单击每种故障类型后,3DPFIX 会在“这是什么问题?”选项卡下提供详细描述。此选项卡包含从我们的图像数据集中提取的具有不同视觉特征的几个代表性图像(见图6),这将为用户提供另一种视觉推理,以了解为什么诊断出此类故障类型。这些图像可帮助用户辨别常见的视觉特征,便于通过外观了解打印故障。此外,用户还可以阅读每种故障类型的文字说明,例如

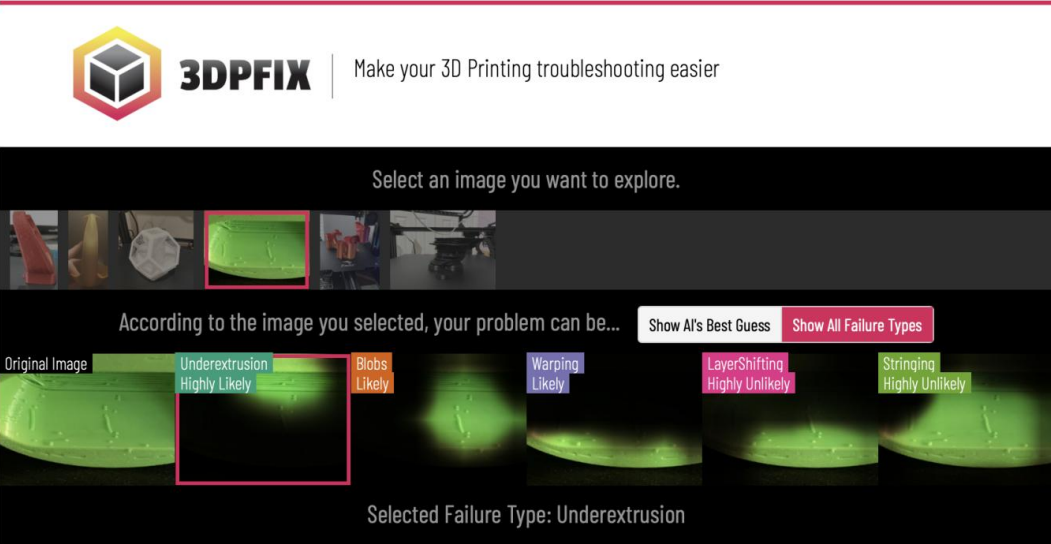


图 2. 这是界面的顶部,用户可以选择他们上传的 3D 打印图像进行诊断(上部)以及相应的故障类型预测(由我们的模型生成的显着图)(下部)。图像是可点击的选项卡,其中红色边框表示活动选择。

系统还显示每种故障类型预测的可能性(极有可能:75% - 100%,有可能:50% - 75%,不太可能:25% - 50%,极不可能:0% - 25%)。用户可以单击特定的故障预测,以进一步探索界面底部的解决方案(如图3.5.4所示)。用户还可以使用切换按钮“显示所有故障类型”或“显示 AI 的最佳猜测”,以过滤掉“极有可能”级别以下的预测。

它在 3D 打印社区中被称为**什么**（行话）、**什么原因**会导致它，以及**通常会出现哪些视觉特征**。在这里，用户可以了解故障类型、术语、视觉特征和线索（导致故障的原因），然后用户进入下一步了解解决方案。

#3. 悬停功能可查看技术术语的详细说明 (DR3)：在 3D打印领域,有许多技术术语指的是特定设置或各种提高打印质量的技术。远程新手在故障排除过程中经常会因为不熟悉的技术术语而遇到障碍，这使他们转而寻找外部资源。

为了尽量减少此类干预,如图 4 所示,3DPFIX 使用了悬停框,就像许多百科全书网络服务（如维基百科)所采用的那样,以进一步帮助新手学习文本中描述解决方案时使用的技术术语。根据他们的知识水平,用户可以轻松地根据需要将鼠标悬停在术语上,并阅读描述和图像。

#4. 精心策划的解决方案搜索流程 (DR4)：3DPFIX 精心策划了两种类型的解决方案,引导用户遵循合理的故障排除流程,首先查看最通用的解决方案,然后继续基于视觉信息搜索口号的自定义或高级解决方案[60]。用户可以从“查看常见解决方案”开始探索可能解决许多一般问题的常见解决方案（图5,(a)）。他们还可以参考“线索”来更深入地了解可能存在的其他现象,这将有助于他们自我诊断问题。

关于观察结果（例如,打印时发出爆裂声、床在晃动)或设置（例如,使用 PLA 时打印温度低于 180 度、安装新固件)的线索可能会引导用户找到特定的解决方案集。例如,如果用户在使用 PLA 作为材料且温度设置低于 180 度时出现挤出不足,则打印喷嘴的低温可能是无法完全熔化和融合 PLA 以安全地 3D 打印材料的原因[28]。一流的试验必须将喷嘴温度提高到 210 度左右,这往往适用于各种类型的机器。如果用户可以从线索列表中发现任何潜在原因,则用户可以通过浏览给定的选项来过滤相关解决方案。“常见解决方案不起作用？”选项卡（图5, (b)）为那些无法通过最常见解决方案解决问题的人展示了更多特殊情况的解决方案,以尝试这些高级解决方案。他们还可以按难度级别筛选和排序解决方案,其中解决方案卡的配色方案反映了直观理解的难度级别。虽然新手会先尝试最简单的选项,但“困难”的解决方案可能会提醒他们需要更多

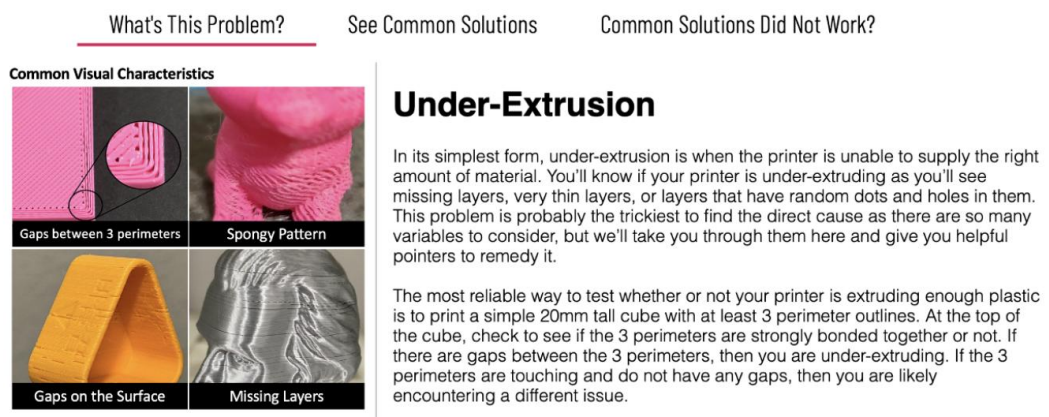


图 3. 界面底部有 3 个选项卡,用于通过图 2 中的模块调查所选故障类型的解决方案。第一个选项卡“这是什么问题?”显示了有关故障类型的常见视觉特征的示例照片,以及右侧易于理解的描述。

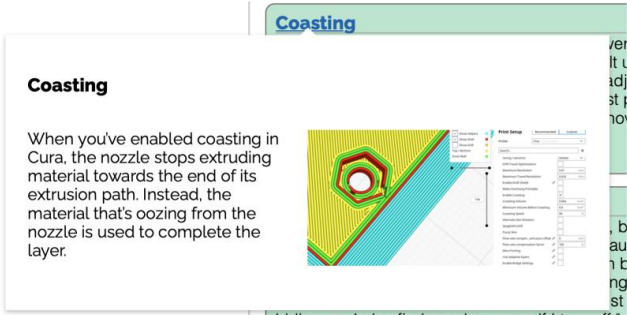


图 4. 解决方案中的某些技术术语在鼠标悬停在术语上时会显示详细的解释和示例照片（蓝色下划线）。这些带下划线的术语也可以点击进入外部网站,获得更全面的描述。

奉献精神。解决方案卡显示标题和简短描述以传达关键信息。

如果用户需要更多详细信息,例如如何使用最广泛使用的切片软件之一 Cura 来提高喷嘴温度,他们可以点击卡片中的“查看详细信息”或“查看视频”,如果需要,可以将他们重定向到相关的在线网络文档或操作方法视频。

4.2 示例用户场景这里,我们以一位投

机用户 Teddy 为例,介绍了 3DPFIX 的一个示例用户场景。在旁听了当地图书馆的 Maker 研讨会并了解了许多价格实惠的 3D 打印机后,Teddy最近购买了一台价格不到 100 美元的廉价 3D 打印机,用于他在家中的业余项目。由于疫情导致许多面对面会议被取消,他无法与研讨会讲师见面,他按照许多操作视频安装和设置了打印机,然后尝试使用从 Thingiverse 下载的 3D 文件进行第一次 3D 打印[38]。然而,他发现他的 3D 打印件表面有很多缝隙,这使得外墙看起来彼此分离。虽然他

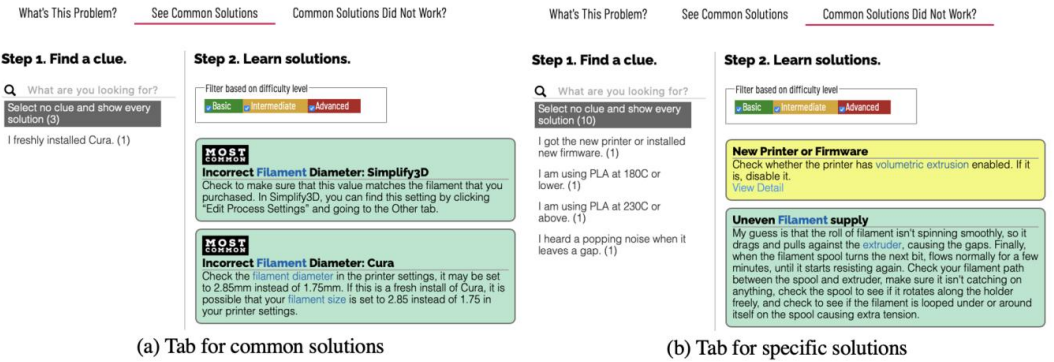


图 5. 底部的第二和第三个选项卡用于查找解决方案。用户通常从“查看常见解决方案”开始,他们可以在“步骤 1. 寻找线索”(左侧)中搜索现有线索,或直接转到“步骤 2. 了解解决方案”(右侧)浏览他们认为与 3D 打印失败相关的解决方案卡。解决方案卡按其难度级别进行颜色编码(基础为绿色,中级为黄色,高级为红色)。还提供难度级别过滤器。如果用户在常见解决方案选项卡中找不到所需的解决方案,他们可以转到最后一个选项卡查看系统提供的更全面的解决方案。所有导航和过滤功能与上一个选项卡中的相同。

急于自己解决问题,很多视频教程都没有展示如何解决这个具体问题。事实上,Teddy 不知道该怎么称呼它,也不知道如何清楚地描述这个问题,这使得文本搜索几乎不可能。他想起了参加研讨会时学到的许多支持社区,于是贴了一张照片来寻求社区用户的帮助。

不幸的是,他的帖子没有引起任何关注。

他决定使用 3DPFIX。几秒钟后,他的问题得到了诊断,了解到这是一个称为“挤出不足”的已知问题,可能是由于打印温度设置过低或细丝可能潮湿等原因造成的。由于系统显示灰度显着性图,突出显示具有独特视觉特征的区域(如图2所示),他还能够了解可能的不同故障,可能需要在未来的打印试验中再次查看。虽然他的问题似乎显然是挤出不足,但看到他和样本图像之间的视觉相似性,Teddy 还想检查所有其他可能的故障类型,以确保没有其他相关问题。他点击“显示所有故障类型”按钮,并检查样本图像,在“这是什么问题?”下显示常见的视觉特征,如图2所示。查看所有可能的选项后,Teddy 确信这确实是挤出不足,并了解如何识别将来以各种形式出现的相同问题。现在,他已经懂得了需要检查表面是否有“海绵状图案”。

进入解决方案阶段后,Teddy 尝试了针对挤出不足提出的所有常见解决方案,但问题仍未解决。然后,他进入了涵盖大多数可能情况的特定解决方案选项卡。通过进一步提示导致问题的设置的线索,他发现“当它留下间隙时,我听到了砰的一声”与他当前的设置相匹配。他展开卡片查看相关解决方案,其中指出这可能是由湿丝引起的。他仔细阅读了链接的网络文章,了解到它甚至会因其他类似问题(例如斑点)而加剧打印质量。一个建议是使用特殊设备将其干燥,而他选择购买用密封乙烯基包装的新丝,并解决了问题。

4.3 实现基于 Web 的用户

界面的后端框架建立在 Flask [18] 上,这是一个用 Python 编写的轻量级 Web 应用程序框架。基于 Python 的后端可以使用我们预先训练的深度学习模型、事后解释技术 (Grad-CAM) 和数据可视化库 (PyTorch、Matplotlib、OpenCV) 进行实时模型分类和视觉解释生成。前端用基本 HTML、CSS、JavaScript 和用于动态元素的附加库 (D3、jQuery) 编写。视觉解释由 Grad-CAM [59] PyTorch 库生成,这是一种流行的事后技术,它计算梯度显着性图[61],通过突出显示“重要”像素(即,这些像素的强度变化对预测分数影响最大)来可视化模型预测。通过对模型生成的注意力分数逐像素应用 S 形函数(斜率 = 4),所有图都转换为灰度。这可以将注意力区域(透明映射)与非注意力区域(暗映射)区分开来。

用户可以通过查看此显著图的注意区域来假设模型对故障类型的判断。映射越亮,模型的注意力就越高。然后,每个显著图作为每个预测的可点击选项卡传递到前端。通过选择一个,界面将在底部显示与所选故障类型相关的相应介绍、线索和解决方案,以供用户进一步调查。

4.4 3DPFIX数据集

从高层次上讲,我们的系统是通过从在线社区中堆积如山的用于 3D 打印故障排除讨论的问答记录中提取和组织领域知识来实现的。

(1) 执行自动 3D 打印故障诊断: 我们收集了一个原始帖子数据集,其中包含

用户上传的故障图像和相应的文本讨论。我们利用 Reddit 帖子中与用户上传的照片相关的丰富文本信息,包括正文和主题中的论述,并开发了基于关键字的帖子自动分类,从而对图像进行了分类。使用此标记的图像数据集,我们训练了单独的多元分类模型,每个模型管理一个故障。生成的分类器可用于从用户上传的照片中检测 3D 打印故障。

(2) 根据诊断的问题提出解决方案:

· 我们使用分类帖子来提取针对每个 3D 的百科全书用户建议
打印失败。

· 然后,我们根据用户反馈分数 (赞成票) 提取高质量评论,以及从相关主题中指出具体案例是最可行解决方案的线索。

4.4.1 数据准备。我们从 FixMyPrint 子版块收集了一个多模态数据集,其中包含来自 30,780 篇原始帖子的 28,030 张图片。该数据集涵盖了该子版块自 2014 年至 2021 年 7 月存在期间的所有帖子。这些帖子遵循一个共同的主题结构,即一个帖子和后续评论。通常,多个用户会在一个主题中以不同深度讨论特定的 3D 打印问题。

4.4.2 通过基于文本的分类构建图像数据集。为了通过 AI 自动进行基于图像的故障诊断,并构建涵盖社区中随时间积累的各种案例的解决方案集,我们构建了一个带有相应 3D 打印故障注释的图像数据集。FixMyPrint 的多模态 (图像和文本) 帖子数据集可以作为确定每个帖子试图解决的 3D 打印故障类型的良好来源。这为我们提供了一个独特的机会,可以使用对话自动标记帖子中的图像。因此,我们最初的目标是开发一种基于文本的自动分类方法来对每个帖子的 3D 打印故障图像进行分类。首先,由于此 subreddit 中的讨论具有高度的领域特定性,因此它们不同于大型语言模型通常在其上进行训练的日常对话或新闻文章,例如 BERT [16, 17, 74]。我们决定在分类中引入启发式方法并探索基于关键词的方法,因为零样本分类技术 [74] 似乎不是一个可行的解决方案,因为它们在帖子分类中的准确率较低。我们使用现有的知名故障排除档案作为基础文档与帖子进行比较,因为这些资源 (例如 Simplify3D) 提供了常见 3D 打印故障的预定义列表。对于每种打印故障类型,它们还提供了一份附带文档,其中详细描述了该现象、可能发生的原因以及用户的潜在解决方案。我们特意选择了 Simplify3D 的打印质量指南 [62], 其中介绍了 27 种故障类型,因此我们从 27 个基础文档开始。我们使用基础文档的余弦相似度 [3] 对至少有一条评论的 26,232 个帖子进行了初步的自动帖子分类。此外,为了提高基于关键字的分类的准确性,避免不同文档主题中出现任何重叠关键字,我们为每种故障类型定义了一个代表性词,我们称之为“故障特定关键字”,它可以代表一种独特的故障类型。首席研究员手动加权了每种类型的故障特定关键字, (例如,不粘在打印床上 - bed、拉丝或渗出 - string、层移位 - shift、挤出不足 - extrude、翘曲 - warp、斑点 - seam、支撑上方表面不良 - support)。我们选择了 5 种最常见的类型,它们具有独特的视觉效果

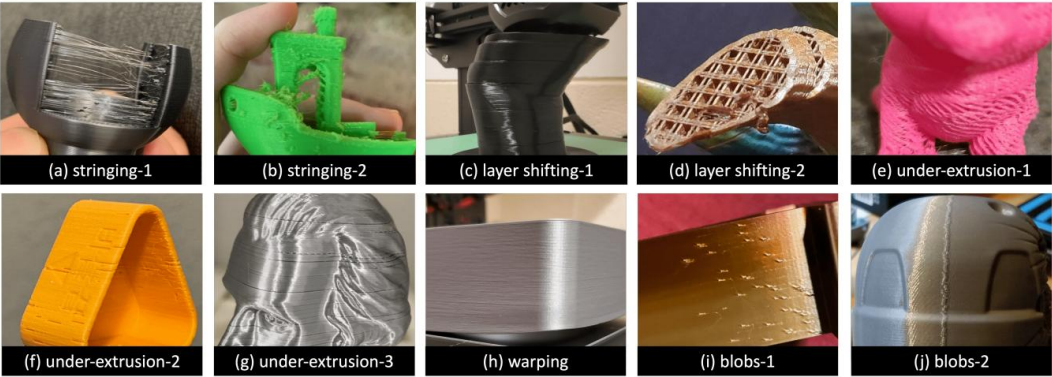


图 6. 五种选定故障类型的不同视觉特征: (a)拉丝 - 细丝, (b)拉丝 - 分支, (c)层移位 - 侧视图中移位, (d)层移位 - 顶视图中移位, (e)挤压不足 - 海绵状表面, (f)挤压不足 - 表面有空隙, (g)挤压不足 - 缺失层, (h)翘曲 - 模型底部弯曲, (i)斑点 - 零星的痘痘, (j)斑点 - z 接缝。

特征作为起点,为系统演示构建初始图像数据集。由于这项工作不是部署研究,我们选择首先探索一小部分故障类型,然后计划通过研究更普遍的方法来减少体力劳动来扩大覆盖范围。打印机和先进材料的多样性不断增加将改变社区中正在讨论的未知/未知打印故障的维度和复杂性。未来,我们将提出一个流程,进一步促进人机协作,以快速适应 3D 打印的新趋势。我们在第 6.3 节详细介绍了这个过程。在两位研究人员 (包括一位 3D 打印专家)同意的情况下,我们结合了相似度得分结果,并使用故障特定的关键字 (例如,stringing - string、warping - warp)对具有高相似度的结果进行了验证。这种方法从整个数据集中随机抽样的 100 个帖子中对所选的五种类型实现了 73% 的准确率,表明基于关键字的分类性能不错。

4.4.3 图像数据的人工专家验证和分类模型的技术评估。

在使用图像进行自动分类后,人类专家验证了分类结果,定义了标签。在此过程中,我们凭经验发现,每种故障类型可能都有多种可分类的视觉特征,如图6中的一些示例所示。这一发现用于告知用户常见的视觉特征 (如图3 所示) 。

人工专家验证分别针对拉丝 (N=439)、层移位 (N=631)、挤出不足 (N=283)、翘曲 (N=199) 和斑点 (N=226) 确定了训练数据集。正如图7中数据集中的真实图像所示,一些打印件可能同时具有多种故障的视觉特征。例如,图7 (a) 中用于校准的典型测试 3D 模型具有拉丝 (细线、树枝状结构)的视觉特征以及海绵状图案

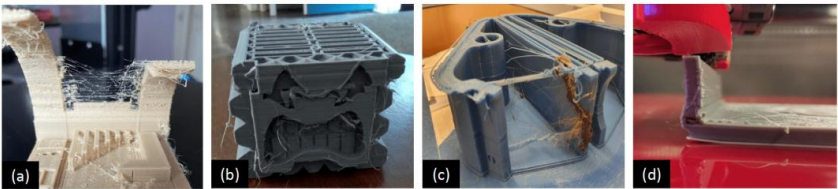


图 7. 来自 FixMyPrint 数据集的具有多个故障的打印示例图像:(a) 拉丝和挤出不足,(b) 层移位和拉丝,(c) 层移位和拉丝,以及 (d) 层移位和翘曲

故障类型	训练集 验证集		测试集
	累计曲线下面积	累计曲线下面积	累计曲线下面积
拉丝 97.15 99.66 88.51 92.59 挤出不足 95.55 99.18 82.14 87.89 层移			81.89 96.13
位 翘曲 斑点			85.88 93.55
	94.19 98.27 77.78	81.69	73.61 81.10
	94.12 98.51 87.18	90.21	80.99 89.37
	95.57 99.26 91.11	95.17	87.50 92.03

表 1.5 二种类型的二分类模型的 ACC (准确率)和 AUC (ROC 曲线下面积)在 20 个 epoch 内,批量大小为 32,打印失败率降低。所有模型均使用 ResNet18.Adam 优化器,学习率为 0.0001。使用预训练权重初始化模型,我们微调整个层。

表面,这意味着挤压不足。另一方面,图7 (b) 和 (c) 显示串连和层移位,但具有不同的视觉特征。为了捕获这些多个类,我们训练了一个二分类模型 (ResNet18 [29]), 一个模型可以确定输入照片包含一种故障类型。这样,一个模型负责提取每次只展示一种故障类型的不同特征。为了避免在训练过程中产生混淆,我们还设置了训练集中的负类样本不呈现任何独特的视觉特征。

由于我们精心选择了能够为失败提供明显视觉提示的训练样本,因此如图 6 所示,我们目前的数据集样本数量相对较少。我们仍然选择采用基于 CNN 的方法,实现分类自动化,优于更经典的算法(例如 SIFT)或传统的 ML 方法(例如 XGBoost、随机森林)。这是因为我们的数据集是可扩展的,社区可以发现更多案例。此外,即使是相同的故障类型也可能表现出不同的视觉特征。我们相信使用基于 CNN 的方法不仅可以有效解决大数据集,还可以自动提取视觉特征,而无需定义

随着数据集的增长,手动特征的增加也随之增加。我们选择了 ResNet18 [29]模型进行训练,并使用 Adam 优化器[39],学习率为 0.0001。我们使用预训练的 ResNet18 初始化权重模型并在训练过程中对所有层进行微调。所有五个二分类模型都收敛在 20 个 epoch 内,批量大小为 32。四种模型分别针对拉丝、挤压不足、翘曲和 blobs 在测试集上的准确率达到 80% 以上,而层移位模型的准确率略低,测试准确率为 73.61%,如表 1 所示。所有五个模型都表现出相当好的面积下曲线(AUC, [42])至少有 80% 的 AUC 用于测试集,这意味着我们的模型表现良好

总体而言能够很好地检测一种故障类型。

4.4.4 通过提取关键词对话构建建议列表。通过结合自动文本分类和基于图像的人工专家验证,我们最终得到了标注了故障类型的后数据集。旨在提取各种质量建议。根据每个故障类型标记社区帖子,这种方法确保了选择的自由。多种可行的解决方案。由于单一问题可能存在多种原因和建议,问题,覆盖社区中积累的广泛失败案例至关重要。为了创建一份详尽的建议清单,我们首先检索了属于每个失败的所有评论。按点赞数(正面反馈)对评论进行分类和排序,因为这可以反映他们的质量以及所含建议的帮助程度。一位研究人员浏览了评论。按点赞数降序排列,并提取建议。我们从中提取了线索建议(见图5),可以具体说明失败的原因。然后我们使用了在线存档[62],看看这些建议是否被涵盖(常见的解决方案)。如果没有,我们定义了这些建议作为具体解决方案。如图5所示,这种将常见和使用具体的解决方案来指导用户进行合理的故障排除流程,因为常见的解决方案可以解决大多数问题。

5 S2:总结性研究

我们通过两个步骤评估 3DPFIX。首先,我们进行了一项实验研究,让参与者在受控的实验室环境中完成预定义的任务。我们的目的是了解我们的设计要求驱动的 3DPFIX 的几个子组件如何单独工作以改善远程新手在故障排除过程中的当前实践。为了弥补实验室研究的人工设置并在自然和情境环境中获得更多真实世界的反馈,我们部署了 3DPFIX 3 周,并鼓励活跃的 3D 打印用户自由使用 3DPFIX 和他们迄今为止遇到的故障照片。

5.1 方法5.1.1 研究结

构。我们首先进行了一项实验研究。值得注意的启发式指标 (例如 NASA TLX [27] 或系统可用性量表 [4]) 已经开发出来并被广泛用于衡量整个交互系统的一般可用性。然而,复杂的交互系统有许多组件 (功能),每个组件支持不同的目标,因此,采用这种启发式方法可能会妨碍研究人员了解每个子组件如何帮助用户实现某个目标的细节 [33]。同样,3D 打印故障排除可以通过集体理解各种元素来完成,例如识别失败打印的视觉特征、了解可能导致特定问题的原因以及找到最适用的解决方案来尝试;3DPFIX 包含几个功能来支持用户实现这些元素。我们旨在衡量 3DPFIX 的组件如何改善用户实现以下目标的体验: (1) 诊断/了解故障类型, (2) 找到适用的解决方案,以及 (3) 学习 3D 打印知识和技术术语。我们通过回顾提取了这 3 个主要指标此外,人机交互研究人员已经逐渐适应将实验研究作为评估交互系统的方法 (例如, [77]), 该方法基于两个前提: (1) 设置可以自然捕捉用户当前实践的基线条件, (2) 定义一个实用、具体的任务,同时具有明确的 “基本事实” 来科学地衡量人类用户的任务效率和任务有效性。因此,我们选择进行实验研究进行评估,并遵循这种比较结构,以更好地揭示系统的每个组件如何有助于让用户实现核心子目标,从而成功排除故障。

在我们的 S2 设置中,我们将基线条件定义为参与者使用任何参与者可以使用的在线资源的 “最佳实践”,遵循他们所处的最自然条件。为了防止任何偏见,我们没有指定他们可以在研究中使用的资源,但我们允许他们使用任何方法,并提到了一些示例,例如谷歌搜索、在线文章和在线社区。在我们的试运行中,我们发现,给定一个特定的在线资源,受试者的行为在完成任务时与特定资源高度相关。我们认为这是人为的,会导致偏见行为。对于实验条件,参与者仅使用 3DPFIX 来完成相同的任务,而没有任何其他在线资源。我们选择了一项受试者内研究,要求参与者使用他们熟悉的在线资源 (基线条件: C1, 以下简称 C1) 和使用 3DPFIX (实验条件: C2, 以下简称 C2) 进行故障排除,以进行直接比较 [41]。

5.1.2 参与者。对于我们的实验研究,为了确保研究的可靠性,我们首先决定招募至少 12 名参与者,这是 CHI 社区最常用的样本量 [7]。在招募方面,我们使用了便利和滚雪球抽样策略 [12]。

我们首先联系了我们的熟人,他们 (1) 对 3D 打印感兴趣,或 (2) 在美国两所主要研究型大学之一的创客空间工作。如果他们有兴趣学习 3D 打印,但对该领域没有高级知识,我们邀请他们参与我们的研究。我们还请他们推荐潜在的参与者



图8. S2实验研究流程。

符合我们纳入标准的人。参与是自愿的,不提供任何报酬。我们发出邀请时,IRB 已获得研究人员机构委员会的批准。总共有 13 名参与者符合我们的招募标准 (男性=5,女性=8)。他们的年龄在 18 至 34 岁之间。在人口统计调查中,P8 和 P10 自我评估他们具有一定程度的 3D 打印知识并具有解决问题的经验,而其余人 (N=11)将自己评估为新手 刚开始学习或在故障排除方面经验有限。

5.1.3 研究程序。同意参与后,所有参与者都被要求完成人口统计调查。人口统计调查结束后,参与者将收到一个远程同步研究链接。主要作者 (以下简称“主持人”)在 Zoom 上与每位参与者一对一会面,主持会议,并在每次会议结束后与最后一位作者沟通。

在研究开始时,主持人要求以电子方式签署同意书。同意后,研究从研究入门会议开始,其中包含介绍、研究目的和研究步骤。完成研究入门后,我们将参与者分成两组,以平衡两种条件的排序效应。我们选择这种受试者内设计来捕捉参与者对 C1 和C2 直接比较的看法。第一组 7 名参与者首先使用 C1,即基线 (见图 8 上行),而第二组 6 名参与者从 C2,即实验条件开始 (见图8下行)。在 C1 中,鼓励参与者使用任何喜欢的故障排除策略,包括阅读在线档案、观看教程视频、搜索帖子或向在线 3D 打印社区发布问题。对于 C2,参与者只允许使用 3DPFIX;禁止使用其他在线资源。

为了开展受试者内研究,我们准备了两组问题。第一组问题包含挤压不足和层移位的示例 (PS1,下称 PS),第二组问题包含斑点和拉丝的示例 (PS2,下称 PS)。为了使他们的故障排除任务切合实际,我们从 Ender3 [65]和 3DPrinting [64]子版块检索了四个示例,并咨询了专家的意见,包括 (1)问题发生的可能性和 (2)解决问题的复杂性,以控制PS1 和 PS2之间的难度级别。

在将 PS1 和 PS2 分配到每个条件时,无论条件的顺序如何,参与者总是先使用 P1 (即图 8 中的阶段 1),然后使用 P2 (即图 8 中的阶段 2)。因此,我们从方法论上将问题集和条件分离。

完成每种情况后,参与者完成调查,旨在评估他们感知和行为的任务效率、任务有效性和学习。详细问题将在后面的小节中解释。在任务绩效调查的第一部分,我们收集了他们对完成的情况的行为数据和态度感知。在学习能力绩效调查的后半部分,我们评估了每种情况如何促进他们对给定故障类型的学习,并帮助他们获得有关 3D 打印的一般知识。例如,我们展示了两张不同的图像,并要求参与者识别故障类型。我们注意到,学习能力调查只在他们的第一次试验中提出,因为参与者可以在第一次试验中了解四种不同类型的故障,这已经影响了他们在以下条件下的表现,具体取决于他们参与使用和学习程度。对于

1问题集中的图像不包含在我们用于训练分类模型的数据集中。

	任务效率	任务有效性		易学性
	故障识别 解决方案寻求	故障识别 解决方案寻求		
行为Q1 态度Q3	Q2 问5	问题 1 第四季度	Q2 Q8 Q7a-Q7d 的	Q6 表 2. S2 中

测量类型以及我们调查设计中对应问题的映射。

对于那些已经在第一种情况下详尽浏览了所有可能的故障类型的人而言,这些知识可能会用于回答第二种情况下的可学习性调查。

完成两种条件后,所有参与者都被邀请参加半结构化访谈。访谈平均持续了 27 分钟。在访谈中,我们重点关注以下方面:(1)在 3D 打印故障排除中使用 3DPFIX 的显著优点和缺点是什么,以及系统中的功能有何关联,(2)基于3DPFIX 与他们当前实践的直接比较的个人经验,(3)3DPFIX 可能的改进以及新设计如何改善人们的 3D 打印故障排除体验。3DPFIX 被部署为一个 Web 应用程序(可在[匿名审查]处获得),参与者可以使用任何现代 Web 浏览器访问。要求参与者在研究期间共享屏幕,同时记录整个过程以供进一步分析。

5.1.4 测量。我们测量了参与者的行为和态度任务效率(即,使用系统如何帮助他们减少工作量)、任务有效性(即,使用系统如何帮助他们获得高质量的结果)和可学习性(即,使用系统如何帮助扩展他们对 3D 打印领域的内部表示)。在测量这三个方向时,我们设计了调查来捕捉用户对 C1 或 C2 的行为表现和态度。为了测量任务效率和有效性,我们将测量分为(1)故障识别:检测准确的 3D 打印故障类型,以及(2)解决方案寻求:得出合理的行动计划,从而产生理想的结果。我们没有要求参与者测量完成每项任务的时间,以免增加他们的工作量。相反,第一作者回顾了研究的视频记录,并计算了测量故障识别和解决方案寻求行为任务效率所需的时间。表2显示了我们的测量如何与我们通过调查实施的具体问题相匹配。

我们实施的具体调查问题如下: · Q1.您确定的故障类型是什么?请解释原因。
· Q2.搜索后,您会采取什么措施来修复该类型的故障?解释您认为的原因

您的计划可行。· Q3.我能够以较少的精力和时间识别故障类型。· Q4.我能够使用工具准确地识别故障类型。· Q5.我能够以较少的精力和时间找到解决方案。· Q6.我能够准确确定针对此类故障的解决方案。· Q7a.我能够了解给定图像在此条件下显示的故障类型。· Q7b.我能够了解有关此 3D 打印故障的 3D 打印相关知识。· Q7c.我能够了解可以解决故障的有用建议和技巧。· Q7d.我能够了解3D 打印中故障排除的逻辑流程(问题识别 - 找到线索/情况表明问题 - 寻求解决方案)。· Q8. [附加未见过的图像]此图像显示的故障类型是什么? · Q9.您还有其他想法想分享吗?

在定义上述问卷时,我们参考了标准的可用性问卷(例如NASA TLX [27]、SUS [4])以及类似的先前研究(例如[8, 76]),这些研究通过实验研究评估了它们的交互系统。基于先前的研究,我们调整了问题以适应

我们制定了三个主要指标,主要关注每个指标的行为/态度效率(所花费的时间)和有效性(准确性)。此外,对于易学性,我们添加了已识别的主要障碍(例如,问题表达、寻找适用的解决方案、困难的技术术语)作为衡量组成部分。在实施调查时,我们将 Q1、Q2、Q8 和 Q9 设为开放式简答题,而其余问题则采用 1-7 的李克特量表评分,范围从非常不同意到非常同意。为了评估参与者在 Q1 和 Q2 中的答案质量,我们招募了一位 3D 打印专家,该专家已使用 3D 打印机 4.5 年,在 3D 打印方面拥有丰富的知识和故障排除经验。所有参与者的答案和状况信息在提供给 3D 打印专家进行分析时均已匿名化。根据参与者的反应,包括故障识别和他们选择尝试的解决方案,专家用 True/False 评分参与者的故障识别,并采用 1-7 的李克特量表对解决方案的质量进行评分。

在分析 Q1 和 Q2 的行为有效性时,我们使用皮尔逊卡方检验进行零假设分析,通过计算两种条件下 True 和 False 标签的频率。对于 Q1 和 Q2 的行为效率中的所有序数反应以及 1-7 Likert 量表 (Q3-7),我们使用了 Kruskal-Wallis 检验。我们使用 Scipy 和 statsmodels 等 Python 软件包进行所有统计分析。此外,主持人使用迭代编码方法[57]来分析定性数据。

完成每场访谈后,我们首先根据记录中的回答建立代码以提取独特或有意义的方面,然后写下分析以结合不同访谈的见解并进行综合。完成所有访谈后,我们最终进行了基于共识的图表来构建我们的发现。

5.1.5 部署程序。实验研究使我们能够了解几个子组件如何协同工作以帮助用户排除故障。为了了解 3DPFIX 如何在更现实、更少人为的环境中与用户全面合作,我们在短时间内部署了 3DPFIX,以获取已经遇到故障的活跃 3D 打印用户的反馈。

我们通过在线社区分发了传单,包括 subreddits (例如,FixMyPrint [66]、3DPrinting [64]、Ender3v2 [65])、discord 服务器(例如,Creativity 3D [10])和在线论坛(例如,3D Printing Space [19]),这些社区积极讨论 3D 打印相关事宜,例如故障排除、材料和打印机。鼓励用户使用他们迄今为止遇到的失败打印的照片,不受任何故障类型的口头/功能限制,并通过 Google 表单提交自愿反馈。由于这是完全自愿的,因此不向用户提供任何补偿。在调查中,他们被要求回答四个可选问题:

· 您如何描述使用 3DPFIX 的总体体验?您认为 3DPFIX 对新手有何帮助?

· 您在使用 3DPFIX 时遇到任何困难或问题吗? · 您会向其他 3D 打印新手推荐 3DPFIX 吗?为什么或为什么不推荐? · 您还有其他改进 3DPFIX 的意见吗?

通过为期 3 周的部署,3DPFIX 获得了 6 位 3D 打印用户 (U1-6) 的 30 次上传尝试和书面反馈。

5.2 结果

如图9和图10所示, 3DPFIX 的表现优于基线。由于分布不遵循正态分布,我们使用 Kruskal-Wallis 检验来比较两组的感知效率 (Q3,5)、感知有效性 (Q4,6) 和行为可学习性 (Q8)。功效分析结果表明,我们从 13 位参与者收集的数据具有足够的功效 (> 80%) 来正确检测出基线组和实验组之间的任何显著差异。Cohen's d 效应大小足够大,因此较小的样本量仍然可以产生所需的

11:22

Nahyun Kwon 等人。

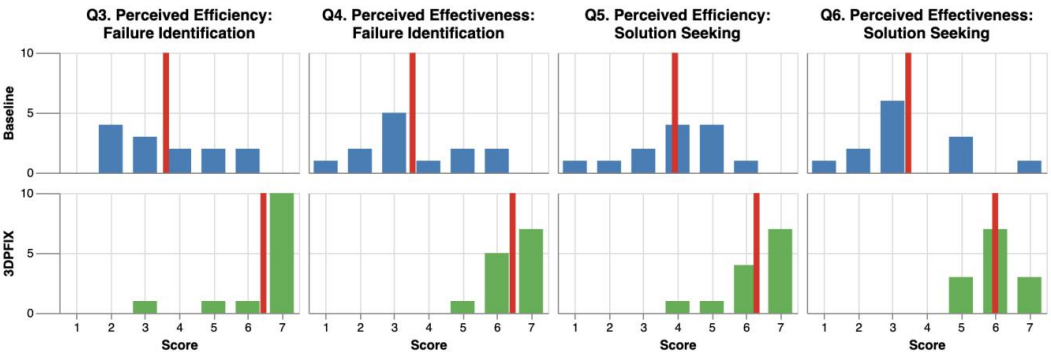


图 9. 13 位参与者在 7 点李克特量表上的感知回答分布,其中 1 代表“非常不同意”,7 代表“非常同意”,在两种不同的条件下:基线使用在线资源 (顶部,蓝色条形图)和使用 3DPFIX 的实验 (底部,绿色条形图)。红线代表平均值。对于参与者感知效率和效果的所有 4 个指标,使用 3DPFIX 的效果优于基线。

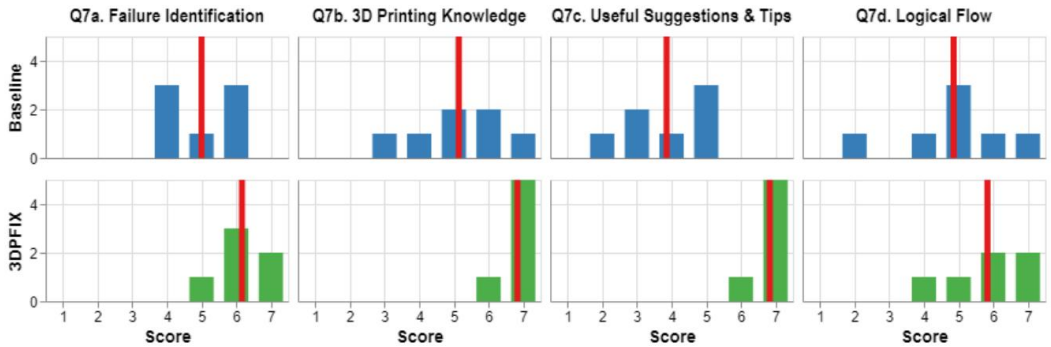


图 10. 两种条件下参与者感知的学习能力反应分布:基线使用在线资源 (顶部,蓝色条形图)和使用 3DPFIX 的实验 (底部,绿色条形图)。使用 3DPFIX 时,所有 4 个指标 (按 7 点李克特量表:1 表示“非常不同意”,7 表示“非常同意”)与基线相比,性能有所提高。

类别	措施	N p 值	规模效应 (科恩 d)	力量 在 N
故障识别	任务效率 (Q3)	13 0.000107	-2.09471	1
	任务有效性 (Q4)	13 0.000148	-2.01261	1
寻求解决方案	任务效率 (Q5)	13 5.86E-05	-2.43937	1
	任务有效性 (Q6)	13 0.000321	-2.0381	1
易学性	行为可学习性 (Q8) 7 0.012475 故障识别 (Q7a) 7 0.048668 技术知识 (Q7b) 7 0.095791 故障排除技巧 (Q7c) 7 0.001879 逻辑流程 (Q8d)	7 0.048668	-1.63979	1
			-1.30191	0.99
			-0.78662	0.74
			-3.17091	1
		7 0.240433	-0.69518	0.634

表 3. S2 中测量的功效分析结果与相应样本量。在评估可学习性方面测量,仅使用了第一个条件 (N = 7),因为第二个条件可能存在学习效应。

统计检验的功效。表3显示了所有测量的功效分析结果，13名参与者，包括p值、Cohen's d和效果大小。

5.2.1有效问题识别 #1:找到正确的表示。3DPFIX显著减少了参与者在识别和学习故障准确命名方面的努力

通过简化探索正确表示（关键字搜索）的过程，可以简化类型。使用

3DPFIX，其在故障识别方面的感知效率比基线显著提高。

与基线（= 1.44）相比，参与者认为他们能够

用 3DPFIX 可以以较少的精力和时间识别故障类型（= 6.46, $t = 1.15$, $p < 0.005^*$ ）。在行为效率方面，

确定问题（ $p > 0.05$ ），但平均完成时间提高了约 50%

使用 3DPFIX（= 253 秒）。识别问题的主要困难在于

并在基线中找到解决方案，许多参与者指出找到正确的表示

搜索（P6，“由于我不知道确切的术语，我开始使用关键字 3D

印刷问题”）。表示的困难和自动诊断的需求是

也得到了用户的认可。“该系统对新手尤其有用，因为他们可能不知道搜索问题的相关关键词，他们甚至可能不知道存在的问题

（U3）。在 C1 期间，我们观察到所有参与者都参与了一个循环

寻找合适的表现形式，例如阅读文章或其他在线档案，并选择

关键词从资源中进行另一轮搜索（转移表示）。大多数参与者

从一般的表述开始，例如“3D 打印失败”、“3D 打印机问题”，以及

“3D 打印常见问题”，因为他们不知道要搜索的确切技术术语。一些

参与者首先通过描述视觉特征来获取更具描述性的表征

用他们自己的话来说。例如，P4 和 P7 选择了“3D 打印点、气泡”和“凸起在

层”来描述斑点。P7 用“外壳没有粘在

内部网格”。然而，人们并不总是能够轻易地表达失败，尤其是当

术语更偏向技术，“对我来说，搜索穿线和换挡很容易，因为

术语更贴近日常生活 用日常用语很容易描述 但对于不足

和斑点，这并不容易”（P11）。“对于某些图像，描述起来比较容易，但对于某些情况，我

不知道如何描述。在这种情况下，很难搜索，因为我不知道确切的术语[

从文本查询开始搜索]”（P8）。找到正确的表示对于

有一定印刷经验的参与者（P10）。P10 指出，她依靠以前的

知识和经验。然而，有些失败也是新的，所以她仍然需要一个在线

搜索以调查正确的技术术语。

5.2.2有效问题识别 #2:了解打印失败的视觉特征。3DPFIX通过支持参与者

理解常见的视觉特征。使用 3DPFIX，它们的感知有效性

故障识别准确率显著高于基线。参与者认为

失败识别率显著提高（= 1.33, 0.91, $p < 0.005^*$ ）。此外，从专家对其答案的评审来看，3DPFIX 的有效性（Q1）

= 6.31,

=

（答案的准确性）使用 3DPFIX 比基线有显著提高（ $p = 0.006^*$ 皮尔逊卡方检验）。

无论他们最初的表述（搜索关键词）多么具有描述性，所有参与者都使用了以图片为导向的搜索策略，在 Google 的“图片”标签下搜索类似图片

搜索结果或查看在线文章中的代表性图像。P6 解释了她的方法，

从一般表示开始，比较图像以找出相似之处。如果失败了，

她浏览了图片标签。然而，8 名参与者（P1、3-6、8、11-12）指出，由于

3D 打印故障的多外观特征。他们发现很难获得

相同或相似的视觉特征。此外,这样的过程需要大量的时间和精力。“图像可能看起来与在线资源中的不一样。需要一些知识才能诊断”

(P2)。这种不确定性最终降低了他们做出决定的信心。P12 指出,她在她目前的实践中甚至无法找到可以进行比较的不同图像。

另一方面,3DPFIX 帮助参与者了解打印失败的视觉特征。因此,我们可以通过两个关键特征对故障类型检测产生信心:(1)灰度显著图(见图3)和(2)故障的常见视觉特征(见图2)。

12 名参与者(P1,3-13)强调他们更喜欢灰度显著图(1),帮助他们了解哪个部分有问题。突出显示要关注的部分。此外,3DPFIX 通过仔细检查 AI 对 3DPFIX 支持的所有故障类型的决策,提高了参与者对他们识别的故障类型的信心。“3DPFIX 为可能的故障类型,这样我就可以查看所有这些,并自信地挑选出最相关的一个,我可以做出根据人工智能的预测做出自己的决定”(P3)。从部署来看,U1 提到:“我真的很喜欢它展示了其他可能失败的例子。它有助于比较和找出实际的在排除故障之前,我会先检查问题。很多时候,我发现自己在排除随机可能出现的故障问题,而不知道具体问题。此工具确实有助于缩小选择范围并对每个问题给出了清晰、出色的解释”。此外,几位参与者提到他们依靠灰度显著图来评估人工智能的可信度。他们提到了显著图,他们就能信任模型的结果(N=5,P1,4,6,8,12),因为重点对不合理的地方进行反思可以帮助他们理解 AI 犯了意想不到的错误(P8)。P1 评论道:“如果蒙版(高亮区域)没有突出显示印刷品,那么人工智能的决定可能是错了。这是复核人工智能决策的方法”。然而,部署中的一位用户(U3)报道称,显著性图一开始有点难以理解,这表明应该对普通人如何看待地图的灰度区域进行额外的描述。

提供每次故障的常见视觉特征的代表性图像也有帮助。参与者(P3,4,6-8,12)通过将 these 代表性图像与给定图像。具有共同视觉特征的图像确实帮助我找到了哪个问题在图像中显示。在基线中,我想查看其他带有斑点的图像,但这花费了太多时间看看其他人是否也有和我一样的问题”(P4)。同样,U1 也提到“即使 AI 的猜测是错误的,也有多个其他例子可以参考”。P6 特别感谢学习描述常见视觉特征的具体术语系统(例如,海绵状图案,表面间隙,以及挤出不足导致的缺失层)图3),指出“只有经验丰富的用户才能知道[如何调用它]。由于 3DPFIX 可以告知每个视觉特征的特定关键词,我可以使用它进行进一步的搜索”。

5.2.3 高效求解:轻松深入指导求解。3DPFIX 改进

参与者能够更轻松地找到高质量的解决方案并制定故障排除计划,帮助他们获得 3D 打印知识。关于专家对参与者解决方案的评审质量方面,3DPFIX 的表现明显优于基线(= 1.93, = 2.32, p = 0.006*)。在决定如何解决他们发现的故障(解决方案)时,参与者认为他们能够用更少的精力和时间获得解决方案(p < 0.005*)使用 3DPFIX(= 1.50)。= 6.46, = 0.63)比基线(= 3.54, 尽管最后没有给出正确答案,但他们对他们使用 3DPFIX 得出的解决方案(= 0.68)比基线(= 6.0, = 3.46, = 1.55)。他们对基线条件下解决方案的信心显著低于使用 3DPFIX。有趣的是,行为方面没有显著差异两种条件之间的效率(p > 0.05),甚至参与者花费更多时间寻找使用 3DPFIX 平均需要 376 秒才能解决问题。根据我们的观察,

大多数参与者在使用 3DPFIX 时表现出更多的参与度。例如,他们希望探索系统的每一个功能,并通过仔细阅读来提高学习热情。通过解决方案列表和链接的文章/视频,尽管他们花了更多时间使用 3DPFIX 与基线相比,他们认为自己在决策上花费的时间和精力明显减少。尝试的解决方案,这可以表明我们承担的心理负担越少,参与度就越高。

参与者能够使用 3DPFIX 有效地深入访问各种解决方案。具体来说,他们提到 3DPFIX 的以下功能帮助他们浏览解决方案: (1)使用不同的选项卡提供常见和特定的解决方案,(2)“查看详细信息/查看视频”使参与者能够查看更多相关信息,(3)可视化难度级别和线索过滤,以及(4)在鼠标悬停在技术术语上时提供简单的描述(见图5)。在基线时,许多参与者遭受了太多在线资源的困扰,而那些含糊不清或太笼统。他们不知道从哪里开始,也不知道哪些建议是常见的。并且一开始就可。新手参与者(N=11)对网上大量的资源,因为他们发现其中许多都以非常笼统的方式讨论了类似的建议。从部署来看,U5 也提出了同样的担忧,他表示在互联网上搜索可能会让人不知所措。P3 抱怨她能找到的资源太少,并提到“告诉我要提高打印温度,[但如何]?”。P8 担心错过通过滚动和浏览获取来自在线支持社区的重要和有用信息。通过她可以信任的一般但不太合理的解决方案。相反,参与者

(第 4-5、7-8、12 页)赞赏 3DPFIX 的流程,它引导用户首先阅读常见的解决方案。如果需要,可以使用两个不同的选项卡“常见解决方案”和“常见解决方案不起作用?”。“当问题太多时,人们确实会感到压力。一次获取太多信息,最好一步一步来。对于常见的解决方案,我相信那些是我所寻找的东西”(P3)。提供相关网络资源的直接链接,以获得更多使用“查看详细信息”和“查看视频”按钮查看详细信息也支持参与者(P4-5、7-9、12)更好地深入了解解决方案。虽然每个解决方案中包含的简短描述。解决方案卡(如图5所示)有助于快速做出决策,链接的视频进一步帮助理解该怎么做:“对于关于回缩距离的建议,我无法理解它的作用是什么。链接的在线资源确实回答了我的问题,“增加距离,但它会做什么呢?”(P9)对于新手来说,有难度级别标签和线索过滤功能很有帮助(P1-2, 4, 6-8),因为它还为他们提供了从哪里开始的指导“它告诉他们从哪里开始,我会从最基本的问题开始”(P2)。“我想我会从最基本的解决方案开始,如果我认为会起作用,我会检查线索。我会根据我的情况找到最好的一个”(P6)。参与者也喜欢 3DPFIX 的便捷导航。所有参与者都提到 3DPFIX 很容易理解和使用方法,简单的交互和布局对用户友好。

5.2.4提高可学习性:3D打印知识和技术术语。如图10

结果表明,3DPFIX 显著提高了参与者在三个学习能力方面的感知学习能力指标。参与者认为他们能够了解任务中给出的故障类型材料明显优于 ($p < 0.05$)。比基线 ($= 0.93$)时 $= 5.0$, 他们使用 3DPFIX ($= 0.69$)。结果证明 3DPFIX 可以提高参与者的获取有关特定故障的 3D 打印知识的经验 ($= 5.14$, $= 1.25$, $= 6.8$, $= 0.37$, $p < 0.05$)。故障排除技巧的可学习性感知显著使用 3DPFIX ($= 0.37$) 比基线 ($= 1.12$) 有所改进, $= 3.86$, 这表明 3DPFIX 可以提供比基线更多样化和更详尽的建议 ($p < 0.005^*$)。在理解逻辑故障排除流程方面,两组的反应没有显著变化 ($p = 0.24$)。不过,我们看到平均值 ($= 1.46$)略有不同。 $= 4.86$, 使用 3DPFIX 时高出 18% ($= 1.07$)。从获取技术角度来看,3DPFIX 的

技术术语的悬停功能（如图4所示）提高了新手参与者学习技术术语的能力。“如果我不使用 3DPFIX，我需要再次搜索该术语并返回我正在查看的来源。这需要付出双倍的努力。悬停功能确实节省了我的时间和精力”（P4）。U1 还报告说，突出显示常见 3D 打印术语的定义对新手特别有用。

5.2.5 用户反馈和限制。我们的部署传单告知，3DPFIX 是一个正在进行的项目，计划在未来扩大其范围。传单和系统本身都没有对用户以上传的故障案例类型施加任何口头或功能限制，以确保公平和自然的环境。尽管 3DPFIX 目前的范围很广，但部署中的大多数用户（N = 5）都喜欢 3DPFIX 目前对新手的能力和潜力。他们表示愿意向新手推荐 3DPFIX，作为一种快速有效的诊断问题（U1-4）、获得即时反馈（U2, 5）和通过易于遵循的工作流程（U4）了解常见故障（U1, 5）的方法。U6 虽然比较中立，但强调 3DPFIX 需要扩展其故障案例知识库，这是我们未来进行纵向部署研究的主要重点之一。作为潜在的改进领域，两名参与者（U2, 5）分享了对误报问题的经验。他们提到，3DPFIX 正确识别了故障，但也错误地将另一种故障类型标记为“极有可能”故障。U2 怀疑照片方向可能是一个因素，而 U5 则将其归因于背景杂乱。尽管通过不收集个人身份信息保持匿名，但我们观察到至少有一名参与者尝试多次上传。例如，U5 报告使用同一张照片进行了两次单独的试验，每次都是在不同背景下拍摄的。在他们第一次尝试使用杂乱的背景时，系统错误地将背景识别为“挤压不足”问题。然而，在第二次尝试使用清晰的背景时，U5 指出系统准确地将真正的问题诊断为“斑点”，背景中没有任何误报。U2 和 U5 都建议为新手提供清晰的说明，说明如何拍摄照片以实现最佳 AI 性能。我们相信，提高分类模型的性能以及提供清晰的说明将是我们未来工作的重点，以使 3DPFIX 在现实场景中更有效。此外，U3 指出解决方案选项卡中文字较多，建议结合视觉辅助工具，帮助用户了解特定方法如何影响打印结果。最后，在部署的前三周内，我们在 30 次上传尝试中收到了 6 次书面反馈，我们意识到有些用户可能进行了多次尝试。我们鼓励用户在与系统交互后自愿提交单独的 Google 表单。我们承认，提供个人书面反馈的过程可能对某些用户来说很艰巨，可能导致反馈响应数量与上传尝试总数相比较少。在我们的纵向部署研究中，我们计划实施一个内置反馈系统，使用户能够直接在 3DPFIX 界面内提交反馈，而不是将他们重定向到 Google 表单。此外，我们打算通过将传单分发到创客空间、打印中心和 3D 打印车间来扩大我们对潜在用户群的覆盖范围。这种更广泛的推广将使我们能够收集具有不同专业水平的用户的反馈，从而增强我们对 3DPFIX 性能和可用性的理解。

6 讨论及设计启示

我们提供了通过 S1 和 S2 学到的高级见解，涉及系统设计人员在利用社交注释构建用于故障排除的新应用程序和用于探索性任务的更广泛应用程序时可以考虑的因素。

6.1 利用社交注释设计故障排除界面在将社交注释应用于 3D 打印故障排除领域时,我们主要考虑以下几点:(1) 考

虑用户感知的子任务复杂性,即在用户故障排除过程中进行的几次大大小小的交互中,哪些子任务通常会阻碍他们取得进展;(2) 社交注释-AI 转移可行性;即,使用社交注释是否可以构建一个表现良好的 AI 模型。人机协作方面的文献表明,如果用户认为 AI 自动完成的任务在认知上具有挑战性,他们会对 AI 驱动的功能有更高的评价[20, 76]。然而,实现 AI 驱动设计及其性能的方式将受到数据的数量和质量的限制。在定义 AI 驱动功能在支持故障排除方面的范围时,设计人员可以考虑以下四个部分:

- S1. 高要求子任务,高性能 AI:有希望的部分。AI 驱动的功能可以通过认知分担来帮助新手,因此该细分市场中的功能可能会被视为有用。设计师可能会将构建属于该细分市场的 AI 放在最高优先级。

- S2. 要求苛刻的子任务,低性能 AI:挑战部分。通过实现此功能,设计师可以期待非常积极的用户端效果。为了实现此功能,设计师可以专注于诊断对性能产生负面影响的因素。

- S3. 简单的子任务,高性能的人工智能:潜力部分。虽然可以构建一个可行的人工智能驱动功能,在用户的任务中发挥作用,但提供该功能的方式应该经过仔细考虑和设计。即使任务本身并不费力,如果新手在整个过程中重复执行此类任务,此功能也会很有用。例如,对于经常在复杂文章中“翻译”未知术语的用户,拥有高性能的特定领域词汇简化模型会很有用。

- S4. 子任务简单,AI 性能低下:不受欢迎的部分。没有强有力的理由来实现属于这一部分的功能,因为用户端的价值尚不明确,而开发高性能 AI 的成本却很高。

考虑这两个因素可以帮助设计师确定 AI 在故障排除中的作用,并降低构建被认为无用或不可行的 AI 的风险。在我们的案例中,我们发现制定词汇查询可能是一个学习障碍,阻碍新手积累知识。由于我们计划使用的在线资源中收集了社交注释,因此用基于图像的方法替换词汇查询是可行的。总的来说,我们认为值得考虑根据任务复杂性和可行性对可能的子任务进行排名,并考虑可用的社交注释。

6.2 改进未来故障排除设计中的沟通方式 在众多学习模块中,对于我们在 S1 中确定的远程新手

来说,最明显的模块是使用准确的领域术语提出查询。最终,人工智能在故障排除中的最终作用是将新手的询问与在线资源中积累的相关社交注释联系起来。从这个意义上说,进一步开发人工智能如何更好地阐述用户的情况并连接到相关解决方案至关重要。必须基于对目标任务性质的深入考虑,精心设计一种向系统表示一个人的表示的模式。我们介绍了两个新方向。

- 基于视觉的人机循环:计算机视觉的快速发展使基于视觉的人工智能模型在许多任务中的表现优于人类。然而,当谈到我们与基于视觉的模型交互的方式时,我们的交互方式是一次性使用,而不是迭代的。我们正处于设计人类与基于视觉的模型之间的反馈循环的早期阶段[22, 25, 68]。

我们期望设计一种新型的通信循环,实现基于视觉的问题的阐述和调整,从而为故障排除开辟一个有趣的设计空间。在早期工作中,注意力分支网络[21]和卷积人机循环[44]已被引入计算机视觉领域。CSCW 中的一项最新研究开始在 HCI 和 CSCW 领域中应用这种反馈循环[25]。·人与人工智能之间的多模态交互:视觉问答(VQA) 的最新进展已经开发出结合图像和文本的强大模型架构 [79]。

虽然我们期望这种基于多模式的通信设计能够开辟一种与系统交互的新方式来执行故障排除任务及其他任务,但我们发现与人机交互领域中此方向相关的研究相对较少。

6.3 可扩展 3DPFIX 数据集的社交注释

我们最初根据 Simplify3D 打印质量指南[62] 定义的 27 个基础文档构建了 3DPFIX 数据集,用于对案例进行分类。这就引出了一个重要的问题: Simplify3D 指南中介绍的故障类型是否足够全面,能够捕捉到打印故障的当代趋势?正如在实际操作中观察到的那样,随着打印技术的发展,新打印机的出现和高级切片算法解决已知的主要打印问题(例如 Ultimaker Arachne),可能会出现新的故障类型、术语和视觉特征。因此,著名的在线档案库可能无法及时提供全面的支持案例。为了验证这一假设,我们首先通过从 FixMyPrint 数据集中检索 1,000 张最近的图像来检查最近的社区话语子集,并通过检查视觉提示和相应的评论手动注释图像。注释由对 3D 打印故障有广泛了解的第一作者完成,并由另一位拥有 10 多年经验的 3D 打印专家作者验证。我们发现了社区成员最近报告的 20 种常见故障类型:

挤出不足、拉丝、斑点、[Z 形接缝]、层移位、翘曲、过热、振动、床面调平、打印喷嘴太近/太远、挤出过度、层分离和[分层]、填充物和外壁之间的间隙、顶部可见线条、桥接、弱填充、 [意大利面条、Z 形绑定、枕头、象脚]

初始 3DPFIX 数据集涵盖的故障类型以蓝色突出显示。初始数据集涵盖上述 6 种类型(z-seam 是 blob 的子类),约占社区最近报告的故障类型的 30%。根据我们的假设,我们发现了 4 个新案例和 6 个新术语(分别以红色和 [括号] 突出显示),它们不属于 Simplify3D 指南。静态指南与实际案例之间的这种差距以及对远程新手的需求不断增长促使我们构建了一个可扩展且可推广的管道,该管道从社交注释中提取在线社区中积累的领域知识,并构建一个大型图像数据集,用于自动检测和社区用户积累的解决方案池。更重要的是,管道方法最终减少了标记数据所需的人工劳动,使我们的系统能够在未来通过人机协作提供新案例。3DPFIX数据集管道(参见附录中的图11以获得高级视图)由三个步骤组成:

- (1)视觉特征词典:从在线帖子数据库的子集中,定义一个词典
使用评论(即社交注释)的故障类型和视觉特征
- (2)失败图像数据集:通过引用视觉注释帖子来扩展数据集
功能词典和评论
- (3)解决方案池:从带注释的帖子中提取解决方案

除了图6 中已经显示的内容之外,我们还提供了具有不同视觉特征的故障类型词典,其中包括附录图12中列出的所有 20 种印刷故障类型。我们

设想这可以作为一个有用的参考,以扩展 3DPFIX 数据集以用于新兴的 3D 打印问题,例如,通过对最少一组图像进行人工注释以及最先进的 ML 技术,如少量学习方法(例如[36]),可以使用大量未注释的数据集和一些带注释的示例有效地训练模型。

6.4 纵向部署研究在 S2 设置中,我们为参

与者提供了一种特定的错误类型,并要求他们解决问题。为了弥补实验室设置中的人工因素,我们在短内部署了系统,并收到了真实用户对自己故障的评论。这使我们能够在不太人工的设置下获得反馈。作为一项未来的工作,我们计划进行一项部署研究,以长期改善远程新手的故障排除体验,以更好地了解3DPFIX在现实情况下提供由 3DPFIX 管道支持的可靠且可扩展的故障诊断和解决方案建议的能力。

6.5 替代设计选择和多模态数据集在这项工作中,我们能够收集宝贵

的意见和建议,以通过 S2 改进 3DPFIX 的设计。来自 S2 小型部署的一位用户提到,在呈现解决方案时拥有更多的视觉辅助将有助于用户更好地理解概念。同样,在未来的工作中,我们将积极收集来自真实用户的反馈,并不断改进 3DPFIX 的设计。此外,根据之前研究的观察[75],数值可能会让新手感到困惑,我们没有透露数值表示(例如 90% 的概率),而只显示了分类信息(例如,高度可能)来提供 AI 的决策理由。考虑到 AI 已经变得越来越普遍,并且数值对于教育目的有益,我们将考虑在未来的部署研究中选择切换到数值表示。

目前,3DPFIX 考虑视觉信息(图像)和文本(解决方案)。例如,当前设计鼓励用户考虑“线索”,而不是在数据集中包含声音数据。例如,如果他们在打印过程中听到爆裂声,则灯丝可能需要干燥。它不仅限于视觉和文本信息,我们认为构建多模态数据集(例如音频数据以及视觉/文本)非常重要。收集视频而不是图像也是收集声音数据的有效方法,这可以为诊断故障提供额外的证据。

7 结论

在本文中,我们根据通过 S1 确定的设计要求设计了 3DPFIX 来支持远程新手的故障排除体验。在实施 3DPFIX 时,我们利用在线资源中积累的社交注释,希望这种方法可以改善新手更高效、更有效地解决问题的方式。我们的 S2 表明,使用 3DPFIX 时,参与者的任务效率、任务有效性和可学习性相关表现明显高于依赖他们当前实践的情况。我们希望这项工作能够激励产生一个成熟的系统,该系统可以改善人们在 3D 打印领域及其他领域的现实故障排除实践。

致谢

这项工作部分由国家自然科学基金会 IIS-2213842 和未来工作资助号 2026513 资助。

参考

[1] 2009. Stack Overflow.

11:30

Nahyun Kwon 等人。

- [2] Celena Alcock, Nathaniel Hudson and Parmit K Chilana. 2016 年。在 thingiverse 上使用、定制和打印 3D 设计的障碍。第 19 届支持小组工作国际会议论文集。195–199。
- [3] Mohammad Alodadi and Vandana P Janeja. 2015 年。使用 tf-idf 和余弦相似度计算患者支持论坛中的相似度指标。2015 年国际医疗信息学会议。IEEE, 521–522。
- [4] Aaron Bangor, Philip T Kortum and James T Miller. 2008 年。系统可用性质表的实证评估。国际。人机交互杂志 24, 6 (2008), 574–594。
- [5] Felix Baumann and Dieter Roller. 2016 年。基于视觉的 3D 打印流程错误检测。MATEC 网站上会议, 第 59 卷。EDP Sciences, 06003。
- [6] Alexander Berman, Francis Quek, Robert Woodward, Osazuwa Okundaye and Jeeun Kim. 2020 年。“任何人都可以打印”：支持与 3D 打印服务的合作, 以促进更广泛地参与个人制造。第 11 届北欧人机交互会议论文集：塑造体验, 塑造社会。1–13。
- [7] Kelly Caine. 2016 年。CHI 样本大小的当地标准。2016 年 CHI 人类因素会议论文集：计算系统。981–992。
- [8] Minsuk Choi, Cheonbok Park, Soyoung Yang, Yonggyu Kim, Jaegul Choo and Sungsoo Ray Hong. 2019 年。Aila：通过基于注意力的深度神经网络进行文档分类的专注交互式标记助手。2019 年 CHI 计算系统人为因素会议论文集。1–12。
- [9] John Joon Young Chung, Jean Y Song, Sindhu Kutty, Sungsoo Hong, Juho Kim and Walter S Lasecki. 2019 年。用于估计集体人群答案的有效引出方法。《ACM 人机交互论文集 3, CSCW》(2019 年) , 1–25。
- [10] 深圳市创想三维科技有限公司 2020. Creality 3D 打印机官方 Discord 服务器。<https://discord.com/invite/Ay3sBqXAG7>。访问日期: 2022-01-15。
- [11] Print Everything Discord 社区. 2020 年。Print Everything Discord 服务器。<https://discord.com/invite/DzZmRms8j7>。访问日期: 2022-01-15。
- [12] John W Creswell and Cheryl N Poth. 2016 年。定性探究和研究设计：五种方法中的选择。圣人出版物。
- [13] Ugandhar Delli and Shing Chang. 2018 年。使用监督机器学习实现 3D 打印中的自动过程监控。Procedia Manufacturing 26 (2018 年) , 865–870。
- [14] PFDm Dudek. 2013 年。FDM 3D 打印技术在复合材料元件制造中的应用。冶金材料学报, 58, 4 (2013 年) , 1415–1418。
- [15] Zeynep Erden, Georg Von Krogh and Seonwoo Kim. 2012 年。志愿者在线社区中的知识共享：社区慷慨的作用。《欧洲管理评论》9, 4 (2012 年) , 213–227。
- [16] 拥抱的脸. 2016 年。拥抱的脸。<https://huggingface.co/>。访问日期: 2021-09-05。
- [17] Hugging Face. 2020 年。Hugging Face 文档：预训练模型。<https://huggingface.co/transformers/预训练模型.html>。访问日期: 2021-09-06。
- [18] Flask. 2022 年。Web 开发，一步一步来。<https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/>。访问日期: 2022-01-16。
- [19] 3D 打印空间论坛. 2023 年。<https://3dprinting.space/>。访问日期: 2023-07-13。
- [20] 乔纳斯·弗里奇·林赛·麦克唐纳·维默伦·克里斯蒂安·雷米·迈克尔·莫斯·比斯克贾尔和彼得·达尔斯拉德。 2019。绘制人机交互中创造力支持工具的图景。2019 年 CHI 计算机系统人为因素会议论文集。1–18。
- [21] Hiroshi Fukui, Tsubasa Hirakawa, Takayoshi Yamashita and Hironobu Fujiyoshi. 2019 年。注意力分支网络：学习用于视觉解释的注意力机制。IEEE/CVF 计算机视觉与模式识别会议论文集。10705–10714。
- [22] Yuyang Gao, Siyi Gu, Junji Jiang, Sungsoo Ray Hong, Dazhou Yu, and Liang Zhao. 2022. Going Beyond XAI: A 解释指导学习的系统调查。arXiv 预印本 arXiv:2212.03954 (2022)。
- [23] Yuyang Gao, Tong Sun, Rishab Bhatt, Dazhou Yu, Sungsoo Hong and Liang Zhao. 2021 年。Gnes：学习解释图神经网络。2021 年 IEEE 国际数据挖掘会议 (ICDM)。IEEE, 131–140。
- [24] Yuyang Gao, Tong Steven Sun, Guangji Bai, Siyi Gu, Sungsoo Ray Hong and Zhao Liang. 2022 年。研究：用于指导视觉解释的强大框架。第 28 届 ACM SIGKDD 知识发现与数据挖掘会议论文集。432–442。
- [25] Yuyang Gao, Tong Steven Sun, Liang Zhao and Sungsoo Ray Hong. 2022 年。通过交互式注意力对齐实现人眼与深度神经网络之间的对齐。ACM 人机交互论文集 6, CSCW2 (2022 年) , 1–28。
- [26] Betty Gray. 2005 年。在线实践社区中的非正式学习。国际电子学习与远程教育杂志：教育/国际电子学习和远程培训杂志 19, 1 (2005)。
- [27] Sandra G Hart and Lowell E Staveland. 1988 年。NASA-TLX（任务负荷指数）的发展：实证和理论研究的结果。《心理学进展》。第 52 卷。爱思唯尔, 139–183 页。

- [28] Zachary Hay.2021 年.PLA.TPU.ABS 等的最佳 3D 打印温度。<https://all3dp.com/2/the-best-不同耗材的打印温度/>
- [29]何开明,张翔宇,任少卿,孙健.2016 年.深度残差学习在图像识别中的应用。IEEE 计算机视觉与模式识别会议论文集。770–778。
- [30] Jeffrey Heer.2019 年.代理加自动化:将人工智能设计到交互系统中。美国国家科学院116,6 (2019), 1844–1850。
- [31] Sungsoo Hong,Minhyang Suh,Nathalie Henry Riche,Jooyoung Lee,Juho Kim 和 Mark Zachry.2018 年.协作动态查询:支持分布式小组决策。2018 年 CHI 计算机系统人为因素会议论文集。1–12。
- [32] Sungsoo Hong,Minhyang Suh,Tae Soo Kim,Irina Smoke,Sangwha Sien,Janet Ng,Mark Zachry 和 Juho Kim. 2019. 协作信息搜索设计:了解用户挑战并部署协作动态查询。《ACM 人机交互论文集 3》,CSCW (2019) ,1–24。
- [33] Sungsoo Ray Hong,Sonia Castelo,Vito D Orazio,Christopher Benthune,Aecio Santos,Scott Langevin,David Jonker, Enrico Bertini 和 Juliana Freire.2020 年.《面向使用 AutoML 系统评估探索性模型构建过程》。arXiv 预印本 arXiv:2009.00449 (2020 年)。
- [34] Sungsoo Ray Hong,Jessica Hullman 和 Enrico Bertini.2020 年.模型可解释性中的人为因素:行业实践、挑战和需求。ACM 人机交互论文集 4,CSCW1 (2020 年) ,1–26。
- [35] Sungsoo Ray Hong,Jorge Piazzentin Ono,Juliana Freire 和 Enrico Bertini.2019 年.向领域专家传播机器学习:了解支持模型构建过程的挑战和机遇。在 CHI 2019 研讨会上,以人为本的机器学习的新视角。ACM。
- [36] Shell Xu Hu,Da Li,Jan Stühmer,Minyoung Kim 和 Timothy M Hospedales.2022 年.突破小样本学习简单流程的极限:外部数据和微调发挥重要作用。IEEE/CVF 计算机视觉与模式识别会议论文集。9068–9077。
- [37] Nathaniel Hudson,Celena Alcock 和 Parmit K Chilana.2016 年.《了解 3D 打印新手:临时创客的动机、工作流程和障碍》。《2016 年 CHI 计算机系统人为因素会议论文集》 ,384–396。
- [38] MakerBot Industries.2008 年.Thingiverse。<https://www.thingiverse.com/>,访问日期:2022-01-15。
- [39] Diederik P Kingma 和 Jimmy Ba.2014 年.Adam:一种随机优化方法。arXiv 预印本 arXiv:1412.6980 (2014)。
- [40] Aniket Kittur,Andrew M Peters,Abdigan Diriyeh 和 Michael Bove.2014 年.《站在巨人的模式上:社会增强信息搜寻》。《第 17 届 ACM 计算机支持协同工作和社会计算会议论文集》 ,999–1010。
- [41] Jonathan Lazar,Jinjuan Heidi Feng 和 Harry Hochheiser.2017 年.人机交互研究方法。摩根·考夫曼。
- [42] Charles X Ling, Jin Huang, Harry Zhang 等, 2003 年.AUC:一种统计上一致且更具判别力的测量方法而非准确性。《Ijcai》第 3 卷,519–524 页。
- [43] MatterHackers.2016 年.3D 打印机故障排除指南。<https://www.matterhackers.com/articles/3d-printer-故障排除指南>,访问日期:2021-08-26。
- [44] Masahiro Mitsuhashi,Hiroshi Fukui,Yusuke Sakashita,Takanori Ogata,Tsubasa Hirakawa,Takayoshi Yamashita 和 Hironobu Fujiyoshi 2019.通过注意力图将人类知识嵌入深度神经网络中。arXiv 预印本 arXiv:1905.03540 5 (2019)。
- [45] Meredith Ringel Morris,Jarrod Lombardo 和 Daniel Wigdor.2010 年.WeSearch:支持桌面显示器上的协作搜索和感知。2010 年 ACM 计算机支持协同工作会议论文集。401–410。
- [46] Meredith Ringel Morris,Jaime Teevan 和 Katrina Panovich.2010 年.《人们在社交网络上询问什么问题?为什么?状态消息问答行为调查研究》。《SIGCHI 计算机系统人为因素会议论文集》 ,1739–1748 年。
- [47] Lora Oehlberg,Wesley Willett 和 Wendy E Mackay.2015 年.在线创客社区中的物理设计混搭模式。第 33 届 ACM 计算机系统人为因素年会论文集。639–648。
- [48] Konstantinos Paraskevoudis,Panagiotis Karayannis 和 Elias P Koumoulos.2020 年.利用计算机视觉和人工智能实时检测 3D 打印远程缺陷(串接)。《过程》8,11 (2020 年) ,1464。
- [49] Peter Pirolli.2009 年.一个基本的社会信息搜寻模型。在 SIGCHI 人类行为学会议论文集上计算系统中的因素。605–614。
- [50] Peter Pirolli 和 Stuart Card.1995 年.信息访问环境中的信息觅食。SIGCHI 计算机系统人为因素会议。51–58。
- [51] Peter Pirolli 和 Stuart Card.2005 年.通过认知任务分析确定的分析师技术的意义建构过程和杠杆点。国际情报分析会议论文集第 5 卷。弗吉尼亚州麦克莱恩,

11:32

Nahyun Kwon 等人。

美国,2-4。

- [52] Alun Preece.2018 年。在人工智能中间“为什么”：智能系统的可解释性 观点和挑战。智能会计、财务和管理体系 25, 2 (2018), 63–72。
- [53] Thierry Rayna,Ludmila Striukova 和 John Darlington.2015 年。共同创造和用户创新：在线 3D 《工程与技术管理杂志》第 37 卷 (2015 年),第 90-102 页。
- [54] RepRap.2021 年。打印故障排除图解指南。https://reprap.org/wiki/Print_Troubleshooting_Pictorial_Guide。访问日期:2021-08-26。
- [55] Prusa Research.2018 年。Prusa3D Discord 服务器。<https://discord.com/invite/cjk3FuJ>。访问日期:2022-01-15。
- [56] Daniel M Russell,Mark J Stefik,Peter Pirolli 和 Stuart K Card.1993 年。意义建构的成本结构。在会议录中 INTERACT '93 和 CHI '93 计算系统人为因素会议。269–276。
- [57] 约翰尼·萨尔达尼亚.2015 年。《定性研究人员的编码手册》。Sage。
- [58] Aécio Santos,Sonia Castelo,Cristian Felix,Jorge Piazzentin Ono,Bowen Yu,Sungsoo Ray Hong,Cláudio T Silva,Enrico Bertini 和 Juliana Freire.2019 年。Visus:用于自动机器学习模型构建和管理的交互式系统。《人机交互数据分析研讨会论文集》。1-7。
- [59] Ramprasaath R Selvaraju,Michael Cogswell,Abhishek Das,Ramakrishna Vedantam,Devi Parikh 和 Dhruv Batra. 2017. Grad-cam 通过基于梯度的定位从深度网络提供视觉解释。IEEE 国际计算机视觉会议论文集。618–626。
- [60] Ben Shneiderman.2003 年。《眼睛有它：信息可视化的数据类型分类任务》。在《工艺信息可视化》。Elsevier,364–371。
- [61] Karen Simonyan,Andrea Vedaldi 和 Andrew Zisserman.2013 年。《深入卷积网络：可视化图像分类模型和显著性图》。arXiv 预印本 arXiv:1312.6034 (2013 年)。
- [62] Simplify3D.2021 年。打印质量故障排除指南。<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-故障排除/>。访问日期:2021-08-26。
- [63] 3D SOURCE.2022 年。终极 3D 打印质量故障排除指南 2022 年。<https://rigid.ink/pages/ultimate-故障排除指南>。访问日期:2021-08-26。
- [64] 3DPrinting Subreddit.2010 年。<https://www.reddit.com/r/3Dprinting/>。访问日期:2022-01-15。
- [65] Ender3 Subreddit.2018 年。<https://www.reddit.com/r/ender3/>。访问日期:2022-01-15。
- [66] FixMyPrint Subreddit.2014 年。<https://www.reddit.com/r/FixMyPrint/>。访问日期:2022-01-15。
- [67] Prusa3D Subreddit.2016 年。<https://www.reddit.com/r/prusa3d/>。访问日期:2022-01-15。
- [68] Tong Steven Sun,Yuyang Gao, Shubham Khaladkar, Sijia Liu, Liang Zhao, Young-Ho Kim, and Sungsoo Ray Hong. 2023. 通过局部解释设计人类和卷积神经网络之间的直接反馈循环。ACM 人机交互论文集 7,CSCW2 (2023),1-32。
- [69] Anthony Tang,Melanie Tory,Barry Po,Petra Neumann 和 Sheelagh Carpendale.2006 年。桌面显示器上的协作耦合。SIGCHI 计算系统人为因素会议论文集。1181–1190。
- [70] James J Thomas.2005 年。照亮道路：可视化分析的研究和发展议程。IEEE 计算机社会。
- [71] Tiffany Tseng 和 Mitchel Resnick.2014 年。《产品与过程：在线呈现和挪用 DIY 项目》。在 2014 年设计交互系统会议论文集上。425–428。
- [72] Carlota V. 2019. Ai Build 实现人工智能实时检测和纠正 3D 打印错误。<https://www.3dnatives.com/en/ai-build-3d-printing-errors-110620195>。访问日期:2021-09-06)。
- [73] Russell Wade,Nigel P Garland 和 Gary Underwood.2017 年。3D 打印给家庭用户带来的挑战。(2017 年)。
- [74] Thomas Wolf,Julien Chaumond,Lysandre Debut,Victor Sanh,Clement Delangue,Anthony Moi,Pierric Cistac,Morgan Funtowicz,Joe Davison, Sam Shleifer 等人。2020年。Transformers:最先进的自然语言处理。2020年自然语言处理实证方法会议论文集：系统演示。38–45。
- [75] Yao Xie,Melody Chen,David Kao,Ge Gao 和 Xiang Anthony Chen.2020 年。CheXplain:帮助医生探索和理解数据驱动 AI 支持的医学影像分析。2020 年 CHI 计算系统人为因素会议论文集。1-13。
- [76] Chuan Yan,John Joon Young Chung,Kiheon Yoon,Yotam Gingold,Eytan Adar 和 Sungsoo Ray Hong.2022 年。FlatMagic:通过人工智能驱动的设计为数字漫画专业人士改善平面着色。2022 年 CHI 计算系统人为因素会议论文集。
- [77] Chuan Yan,John Joon Young Chung,Kiheon Yoon,Yotam Gingold,Eytan Adar 和 Sungsoo Ray Hong.2023 年。FlatMagic:通过人工智能驱动的设计为数字漫画专业人士改善平面着色。2023 年 CHI 计算系统人为因素会议论文集。
- [78] Mark Zastrow.2020 年。3D 打印变得更大、更快、更强大。<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00271-6>。访问日期:2021-01-08。
- [79] Rowan Zellers,Yonatan Bisk,Ali Farhadi 和 Yejin Choi.2019 年。从识别到认知：视觉常识推理。IEEE/CVF 计算机视觉与模式识别会议论文集。6720–6731。

附录

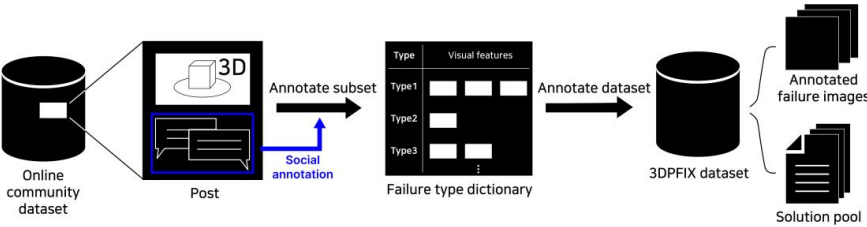


图 11.利用社交注释 (评论)的 3DPFIX 数据集构建管道。

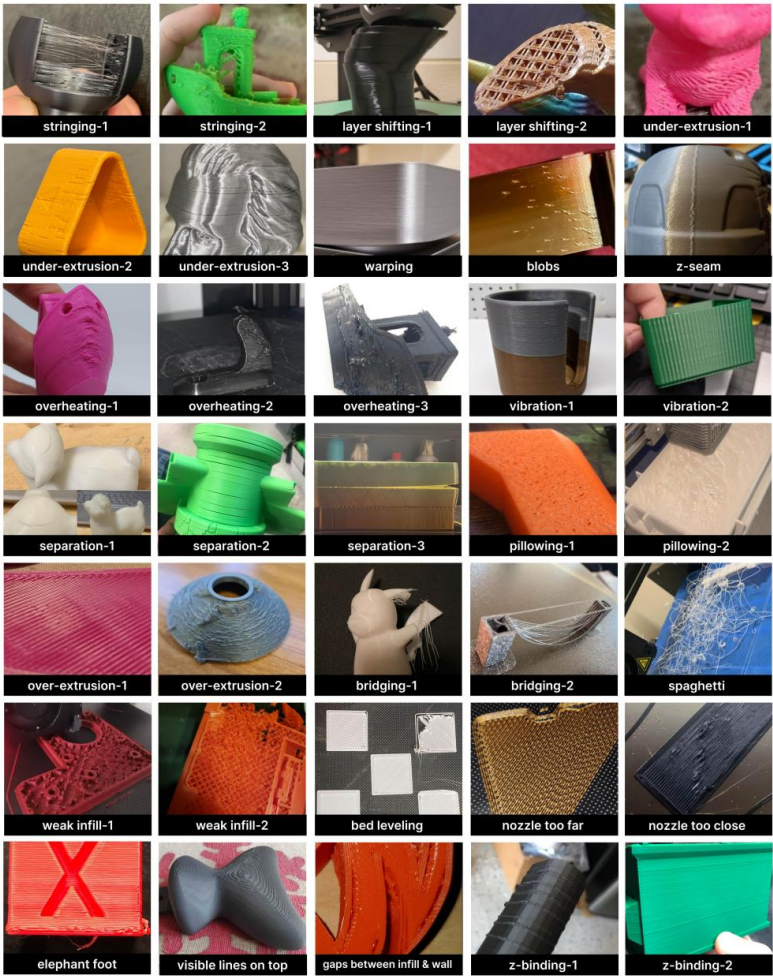


图 12. 从在线社区最近的帖子中发现的 20 种故障类型的故障类型词典。

2023 年 1 月收到;2023 年 7 月修订;2023 年 11 月接受