观点

精准健康中的众包与人在回路工作流：一种观点

Peter Washington，博士，信息与计算机科学，夏威夷大学马诺阿分校，美国夏威夷州檀香山

通讯作者：Peter Washington，博士，信息与计算机科学，夏威夷大学马诺阿分校，1680 East-West Road，美国夏威夷州檀香山，邮编 96822 电子邮箱：pyw@hawaii.edu

摘要

现代机器学习方法已为各种健康状况带来了高性能的诊断模型。若干机器学习方法，例如决策树和深度神经网络，原则上可以逼近任意函数。然而，这种能力既可视为优势，也可视为劣势：当输入数据具有异质性且维度很高、输出类别高度非线性时，过拟合倾向会加剧。对于依据主观标准诊断行为和精神疾病的诊断系统而言，这一问题尤其突出。一种新兴的解决方案是众包：众包工作者通过标注复杂的行为特征，获得金钱报酬或游戏化体验作为回报。随后，这些标签可用于得出诊断结果，既可以直接使用，也可以作为诊断机器学习模型的输入。本文观点介绍了这一新兴领域的现有研究，并探讨了众包驱动诊断系统这一新兴研究领域面临的挑战与机遇。若能妥善考量相关因素，将众包纳入用于预测复杂且细微健康状况的人在回路机器学习工作流中，便可加快筛查和诊断，并最终提升医疗服务可及性。

(医学互联网研究杂志 2024年;26:e51138) doi: 10.2196/51138

关键词

众包；数字医学；人在回路；人在回路；人机协作；机器学习；精准健康；人工智能；人工智能

引言

众包一词最早于 2006 [1], 被创造，指利用分布式的人类工作者完成一项中心任务。众包借助“群体的力量”，实现那些只有通过分布式的人群协作——无论是明确还是隐式地朝着共同目标努力——才能达成的目标。众包常用于公共卫生监测 [2]，，例如追踪流行病 [3,4]、量化烟草使用情况 [5]，、监测水质 [6]、追踪错误信息 [7]，，以及了解处方阿片类药物的黑市价格 [8]。在医疗保健领域，众包最常用于公共卫生；这一领域显然能够从可扩展、分布式的健康状况评估中受益。尽管在众包的流行病学应用中，抽样偏倚可能是一个问题 [9]，，但能够应对这些问题的方法已表现得相当稳健。

近期出现了一项规模较小、但可能带来变革的努力：将众包应用于精准健康，而非人群健康。在精准健康场景中，目标是利用众包工作者标注的信息进行诊断。这一基本模式有多种变体。用于诊断的众包工作流在底层任务、工作者激励策略、工人培训、工作者筛选和隐私要求方面可能各不相同。

在此，我介绍精准健康众包这一相对小众、新兴但正在发展的领域中已有的研究。随后，我将讨论随着该领域日趋成熟，必须应对的持续挑战及相应机遇。

XSL•FO
RenderX

医疗保健及其相关领域中众包的现有案例

精准健康领域中众包的应用案例相对较少。机器学习在健康领域取得的巨大成功 [10-15]再加上众包所需的人力成本，使得在可行且可实施的情况下，纯自动化方法更具吸引力。然而，经过测试的众包方法往往能很好地完成当前自动化方法尚无法胜任的预测任务，尤其是在精神病学和行为科学领域。

我想先重点介绍科学领域取得的成功，因为这些成果往往可以应用于健康领域，并已开始推动诊断工作取得进展。将众包任务包装成“公民科学”项目，可以成为一种有效的激励机制 [16]。这类项目往往会采用“游戏化”设计。游戏化是指将引人入胜的元素，尤其是类似游戏的功能，融入传统上繁重的工作流程，以促进更多人参与。庞大的众包规模、劳动者培训流程以及简单易行的识别任务相结合，使此前应用于精准健康领域的游戏化公民科学实验取得了成功。例如，在一项研究中，近 10 万名众包工作者在公民科学平台上对图像进行评分，正确识别癌症的受试者工作特征曲线下面积约为 95% [17]。在 BioGames 应用程序中，培训教程准确率超过 99% 的用户会获邀诊断疟疾 [18,19]。研究发现，众包规模庞大时，非专家众包工作者汇总后的诊断准确率可接近专家水平 [20]。另一个用于疟疾诊断的公民科学应用 MalariaSpot，使用血涂片诊断疟疾的准确率达到 99% [21]。如果标注任务相对简单，且非专家只需接受少量入门培训即可胜任，那么公民科学就能成为一种有效且经济实惠的方法。

用于公民科学的“游戏化”众包，即使不明确要求参与者接受正式培训，也取得了成功。Foldit [22-25] 和 EteRNA [26-31]是两款游戏，玩家即使没有生物学或化学背景，也能分别探索蛋白质设计空间和RNA折叠的设计空间。这两者都是 NP难（即计算复杂度很高）的问题，而众多玩家共同设计出的解决方案，其表现优于最先进的计算方法。这些解决方案已用于应对健康领域的挑战，例如寻找活动性结核病的基因特征，这种特征有望用于结核病诊断 [32]。其他游戏化体验则被用于为精准精神病学中的复杂分类任务构建训练库。值得一提的是，GuessWhat 是一款由自闭症儿童与其父母一起玩的手机你画我猜游戏 [33,34]。该游戏在为自闭症儿童带来治疗益处的同时 [35]，，还通过与游戏过程相关的元数据，整理出与自闭症相关行为的自动标签 [36,37]。这些自动标注的视频数据已被用于开发最先进的计算机视觉模型，以识别与诊断自闭症相关的行为，例如面部表情诱发 [38-41]，、眼神注视 [42]，、异常韵律 [43]，和异常身体运动 [44,45]。

另一种激励机制是付费众包。迄今为止，最受欢迎的付费众包平台是亚马逊土耳其机器人（MTurk） [46]。虽然专门面向精准健康的付费众包仍是一个相对新兴的领域，但对付费众包（尤其是在 MTurk 上）的整体研究已相当成熟。相关研究探讨了工人质量管理[47]，、众包工人人口统计特征[48]，、用于训练机器学习模型的标注生成[49-53]，、众包工作者的权利[54-56]，，以及众包工人社区与经济状况[57-59]。付费众包的初步研究结果喜忧参半。在一项根据图像评估糖尿病视网膜病变的研究中，MTurk 上约 81% 的图像被正确分类，但工作者未能正确指出病情严重程度[60]。在另一项针对青光眼性视神经病变的二元标注任务中，工作者的敏感度达到 80% 以上，但特异度低于 50%[61]。

在一项涵盖各种医学疾病的更广泛分类任务中，工作人员始终能够标注“容易”的病例，但在正确标注更复杂、更细微的任务时却困难重重，甚至拒绝进行标注 [62]。显然，要将这一方法应用于精准健康，传统的付费众包工作流程亟需进行广泛创新。

我对付费众包在基于非结构化家庭视频进行自闭症诊断中的效用进行了广泛研究，并取得了相对较高的诊断性能 [63-66]。在这些实验中，未经训练的标注者观看展示患有或未患有自闭症儿童的短视频，并回答有关视频中所呈现行为的问题。这些标注被作为输入提供给此前开发的机器学习模型。由于将复杂的特征空间（非结构化视频）简化为低维表示（由少量分类序数值构成的向量），模型在各项性能指标上的二分类测试表现均达到90%左右。这个结合了众包与机器学习的流程，或许可以扩展到精神病学领域的其他诊断场景，在这些场景中，输入特征空间复杂、异质且具有主观性。

持续存在的挑战与相应机遇

精准健康医疗保健领域的众包研究尚处于起步阶段，要推动临床转化，仍需解决诸多挑战。在接下来的章节中，我将重点介绍该领域亟待解决的若干问题，以及针对这些问题已发表的初步研究成果。

工人识别与培训

传统众包所需的工人培训可以很少，甚至无需培训，但复杂的标注任务需要识别合格工人。我发现，可以通过量化他们在

XSL•FO
RenderX

测试任务中的表现 [67,68] 并培训有潜力的工作者 [66]来识别工人。这类众包筛选范式需要领域特定流程。我们仍有很大的空间来开发新型众包系统，使其能够自然地支持工人识别和培训流程，以满足需要精心设计培训流程的众包工作流。

工作者留存

一旦确认了熟练的工作者，持续与他们互动并留住他们至关重要。我发现，反复受到人类（或类人聊天机器人）鼓励，并被视为更广泛研究团队的一员的工作者，往往乐于从事有偿工作，甚至会在研究结束后主动要求承担更多任务 [69]。因此，提供工作保障或许能够促进工作者长期留存。然而，在依赖内在动机的无偿场景中，留住工作者还需要更多创新。例如，可以探索建立众包工人社区，以此激发内在动机，进而促进工作者留存。

任务分配

有些工作者在一部分任务上表现出色，但在其他分配给他们的任务上表现不佳 [70,71]。我们可以通过算法创新，动态而有效、合理地将工作者分配到各个子任务中。强化学习可能是一种很有前景的方法，但在此类情境中尚未得到探索。

人类参与者隐私

精神病学和行为科学中的数据尤其敏感。从伦理角度来看，确保敏感健康信息得到适当处理，并维护工作者的隐私至关重要。在众包医疗中，实现隐私保护通常有两大类方法。第一类方法是对数据进行修改，以掩盖敏感信息，同时不删除诊断所需的信息。我曾探索过对视频数据进行隐私保护性修改，在隐藏参与者身份的同时，最大限度地保留工作者标注相关行为的能力 [70,71]。例如，在对身体动作进行视频分析时，可以跟踪并模糊面部，或者使用基于姿态的计算机视觉库将身体转换为骨架图。然而，有时如果不对数据进行严重破坏，就无法修改数据。因此，第二类方法包括仔细审查众包工作者、对其进行培训，并将其纳入安全计算环境。在我以往处理这一流程的经历中 [40], , 我发现众包工作者对严格审查程序所带来的“工作保障”前景非常 entusiasmo，因此愿意完成额外的隐私与安全培训（在我们的案例中为研究、伦理、合规与安全培训）。这些方法仍有很大的拓展空间，也可以开发涉及可识别和受保护的健康信息的众包新范式和新系统。

确保可靠性和可重复性

将人类工作者纳入精准健康工作流程时，一个固有的挑战是人类响应的可变性，这种可变性既存在于同一工作者内部，也存在于不同工作者之间。我发现，尽管大多数众包工作者的标注模式并不一致，但仍有一些工作者能够针对广泛的数据点，持续提供高敏感性和高特异性的标注 [67]。因此，在为精准医疗工作流程招募众包工作者时，衡量其内部一致性以及相对于金标准的一致性至关重要。

应对财务限制

设置门槛最低的众包方法是付费众包。在此类情境下，财务限制可能会制约众包工作流的规模化。一种做法是从付费系统转向游戏化系统，或采用其他方式为众包工作者提供内在动机。然而，对于此类无偿解决方案而言，要为大规模流水线达到临界规模，可能难以实现。持续表现出色的付费众包工作者可以被提供众包驱动服务的公司和组织招募为全职员工或长期兼职员工。将此类工作流整合到经美国食品药品监督管理局（FDA）批准的流程中可能颇具挑战，但如果事实证明，未来几年数字精神病学领域的众包驱动解决方案仍将优于纯人工智能（AI）方法，那么探索这一方向仍然值得。

研究情境之外的转化

S

尽管精准健康领域的纯机器学习方法正开始通过正式的FDA审批程序转化到临床环境中，但将整合众包工作者而非临床专家的人在回路方法转化到临床环境，其前景令人望而生畏，尤其是考虑到上述挑战。然而，如果此类方法能够使某些仅凭机器学习难以诊断的疾病达到临床级性能，那么，将这些方法迁移到生产级工作流所需的额外实施和监管工作，很可能是值得的。

结论

虽然健康领域的机器学习已使多种疾病的诊断更加高效、精准且易于扩展，并将继续推动这一进程，但此类模型不太可能推广到精神病学和行为科学等更具挑战性的情境，因为这些领域需要识别复杂而微妙的人类社会行为。众包驱动的人在回路工作流有望缓解当前的一些局限，同时仍能实现高度自动化。我邀请数字表型分析 [72-76], 移动感知 [77-83], 情感计算[84-90], 及相关领域的研究人员，在单纯依靠人工智能导致表现不佳时，考虑将众包和人在回路方法纳入其研究方法。

XSL•FO
RenderX

致谢
本项目由美国国立卫生研究院（奖项编号 DP2-EB035858）提供的 NIH主任新锐研究者奖（DP2）资助。

利益冲突
未声明任何事项。

参考文献

1. Howe J. 众包的兴起。Wired。2006年6月1日。URL：https://sistemas-humano-computacionais.wdfiles.com/ local--files/capitulo% 3 _ _ _ _ [2024 03 29] Aredes-sociais/Howe The Rise of 2 Crowdsourcing.pdf 访问日期 - - 。Brabham DC, Ribisl KM, Kirchner TR, Bernhardt JM. 公共卫生领域的众包应用。Am J Prev Med. 2014 46 2 179 187 [10 1016 2013 10 24439353] ; ( ): - . doi: . /j.amepre. . .016] [Medline: 。Leung GM, 3 Leung K. 利用众包数据缓解流行病。Lancet Digit Health. 2020;2(4):e156-e157. [免费全文] [doi: 10 1016 2589 7500 20 30055 32296776] . /S - ( ) -8] [Medline: 。Stockham N, Washington P, Chrisman B, 4 Paskov K, Jung JY, Wall DP. 在基于互联网的COVID-19流行病学研究中，通过因果建模缓解选择偏倚和未测量混杂：模型开发与验证。JMIR Public Health Surveill. 2022 8 7 31306 [10 2196 35605128] ; ( ):e 。免费全文] [doi: . /31306] [Medline: 。5 Kraemer JD, Strasser AA, Lindblom EN, Niaura RS, Mays D. 公共卫生领域的众包数据收集：与具有全国代表性的人群烟草使用数据的比较。Prev Med. 2017;102:93-99. [免费全文] [doi: 10 1016 2017 07 28694063] . /j.ypmed. . .006] [Medline: 。Jakositz S, Pillsbury L, Greenwood S, 6 Fahnestock M, McGreavy B, Bryce J, et al. 通过参与实现保护：众包自来水水质监测以改善公共卫生。Water Res. 2020;169:115209. [doi: 10 1016 2019 31669904] ./j.watres. .115209] [Medline: 。Ghenai A, Mejova Y. 追踪寨卡热：运用众包 7 和机器学习追踪Twitter上的健康虚假信息。arXiv. 预印本于2017年7月12日在线发布。 [10 48550 1707 03778] doi: . /arXiv. . . Dasgupta N, 8 Freifeld C, Brownstein JS, Menone CM, Surratt HL, Poppish L, et al. 众包处方阿片类药物的黑市价格。J Med Internet Res. 2013 15 8 178 [10 2196 23956042] ; ( ):e 。免费全文] [9 doi: . /jmir.2810] [Medline: 。Wazny K. “众包”十年：一篇综述。J Glob Health. ; ( ): 。免费全文 doi: 2017 7 2 020602 [ ] [10 7189 07 29302322] . /jogh. .020602] [Medline: 。Chen PHC, Liu Y, Peng L. 如何开发用于医疗保健的机器学 10 习模型。Nat Mater. 2019;18(5):410-414. [doi: 10 1038 41563 019 0345 31000806] . /s - - -0] [Medline: 。Dua S, Acharya UR, Dua P, 编者。《医疗信息学中的机器学习》，第56卷。柏林，海德堡。施普林格；2014。12. Esteva A, Robicquet A, 11 Ramsundar B, Kuleshov V, DePristo M, Chou K, et al. 医疗保健深度学习指南。Nat Med. 2019 25 1 24 29 [10 1038 41591 018 0316 30617335] ; ( ): - . doi: . /s - - -z] [Medline: 。Ghassemi M, 13 Naumann T, Schulam P, Beam AL, Chen IY, Ranganath R. 健康领域机器学习的挑战与机遇综述。AMIA Jt Summits Transl Sci Proc. 2020 2020 191 200 [32477638] ; : - . 免费全文] [14 Medline: 。Shailaja K, Seetharamulu B, Jabbar MA. 医疗保健中的机器学习：综述。发表于：第二届国际电子、通信与航空航天技术会 2018 2018 议（ICECA）；2018年3月29日至31日；910-914；印度哥印拜陀。 [10 1109 2018 8474918] doi: . /iceca. . . 15 Yu KH, Beam AL, Kohane IS. 医疗保健中的人工智能。Nat Biomed Eng. 2018;2(10):719-731. [doi: 10.1038/s41551-018-0305-z] [Medline: 31015651]16. Das R, Keep B, Washington P, Riedel-Kruse IH. 用于生物医学研究的科学发现游戏。Annu Rev Biomed Data Sci. 2019 2 1 253 279 [10 1146 072018 34308269] ; ( ): - . 免费全文] [17 doi: . /annurev-biodatasci- -021139] [Medline: 。Dos Reis FJC, Lynn S, Ali HR, Eccles D, Hanby A, Provenzano E, et al. 众包公众参与大规模癌症分子病理学研究。EBioMedicine. 2015;2(7):681-689. [免费全文] [doi: 10 1016 2015 05 26288840] . / j.ebiom. . .009] [Medline: 。Mavandadi S, Dimitrov S, Feng S, Yu F, Sikora U, Yaglidere O, et al. 通过众包游戏开展分布式医学图像分析 18 与诊断：一项疟疾案例研究。PLoS One. 2012;7(5):e37245. [免费全文] [doi: 10 1371 22606353] . / journal.pone.0037245] [Medline: 。Ozcan A. 用于疟疾诊断的教育游戏。Sci Transl Med. 2014;6(233):233ed9. [免费全文] [doi: 19 10.1126/scitranslmed.3009172] [Medline: 24760185]20. Feng S, Woo M, Chandramouli K, Ozcan A. 基于游戏的平台：通过众包进行生物医学图像诊断，并对诊断人员开展标准化远程培训与教育。载于：《低资源环境下的光学与生物光子学》，第 9314 2015 7 [10 1117 12 2077884] 卷。。发表于：SPIE 21 BIOS；2015年2月-12日；美国加利福尼亚州旧金山。doi: . / . . Luengo-Oroz MA, Arranz A, Frean J. 众包疟原虫定量：一款用于分析感染疟原虫的厚血涂片图像的在线游戏。J Med Internet Res. 2012;14(6):e167. [免费全文] [doi: 10.2196/jmir.2338] [Medline:23196001]

XSL• FO RenderX

22. Cooper S, Khatib F, Makedon I, Lu H, Barbero J, Baker D, et al. 分析《Foldit》食谱中的社交游戏过程宏。2011 11 6 29, 。发表于：FDG ' ：第届国际数字2011 1, 2011 9 14 [10 1145 2159365 2159367]游戏基础会议论文集；6月至7月；-；法国波尔多。doi: . / .23 。Curtis V. 参与在线公民科学游戏的动机：一项关于Foldit的研究。Sci Commun. 2015;37(6):723-746. [doi: 10.1177/1075547015609322]24. Eiben CB, Siegel JB, Bale JB, Cooper S, Khatib F, Shen BW, et al. 在Foldit玩家指导下通过主链重塑提高狄尔斯–阿尔德酶活性。Nat Biotechnol. 2012 30 2 190 192 [10 1038 2109] ; ( ): - . 免费全文] [doi: . /nbt. [22267011]Medline: 25. Kleffner R, Flatten J, Leaver-Fay A, Baker D, Siegel JB, Khatib F, et al. Foldit独立版：源自电子游戏、采用Rosetta的蛋白质结构操作界面。Bioinformatics. 2017;33(17):2765-2767. [免费全文] [doi: 10.1093/bioinformatics/btx283] [Medline: 28481970]26. Andreasson JOL, Gotrik MR, Wu MJ, Wayment-Steele HK, Kladwang W, Portela F, et al. 众包RNA设计发现了多样、可逆、高效且自包含的分子开关。Proc Natl Acad Sci U S A. 2022 119 18 2112979119 [10 1073 35471911] ; ( ):e 。免费全文] [doi: . /pnas.2112979119] [Medline: 。Krüger A, Watkins AM, Wellington-Oguri R, Romano J, Kofman C, DeFoe A, et al. 社区科学设计出具有有益表型的核糖体。Nat Commun. 2023;14(1):961. [免费全文] [doi: 10.1038/s41467-023-35827-3] [Medline:36810740]28. Lee J, Kladwang W, Lee M, Cantu D, Azizyan M, Kim H, et al. 来自大型开放实验室的RNA设计规则。Proc Natl Acad Sci U S A. 2014 111 6 2122 2127 [10 1073 24469816] ; ( ): - . 免费全文] [doi: . /pnas.1313039111] [Medline: 。Shi J, Das R, Pande VS. SentRNA：融入人类设计策略先验以改进计算RNA设计。arXiv. 预印本于2019年3月6日在线发布。 [10 48550 1803 03146] doi: . /arXiv. . . Treuille A, Das R. 通过电子游戏实现科学严谨性。Trends Biochem Sci. ; ( ):507-509. [免费全文] [doi: 10 1016 2014 08 25300714] . /j.tibs. . .005] [Medline: 。Wayment-Steele HK, Kladwang W, Strom AI, Lee J, Treuille A, Becka A, et al. 通过高通量实验评估并改进RNA二级结构软件包。Nat Methods. 2022;19(10):1234-1242. [免费全文] [doi: 10 1038 41592 022 01605 36192461] . /s - - -0] [Medline: 。Sweeney TE, Braviak L, Tato CM, Khatri P. 用于肺结核诊断的全基因组表达：多队列分析。Lancet Respir Med. 2016;4(3):213-224. [免费全文] [doi: 10.1016/S2213-2600(16)00048-5] [Medline:26907218] 。Kalantarian H, Jedoui K, Washington P, Wall DP. 用于图像自动情绪标注的移动游戏。IEEE Trans Games. 2020 12 2 213 218 [10 1109 2018 32551410] ; ( ): - . 免费全文] [doi: . /tg. .2877325] [Medline: 。Kalantarian H, Washington P, Schwartz J, Daniels J, Haber N, Wall D. 用于自闭症研究的众包视频游戏化移动系统。2018 4 7, 。发表于：2018年IEEE国际医疗信息学会议（ICHI）；6月-；-；纽约州纽约市。doi: . /ICHI. .35 2018 350 352 [10 1109 2018 00052] 。Penev Y, Dunlap K, Husic A, Hou C, Washington P, Leblanc E, et al. 一款用于改善自闭症儿童社交沟通的移动游戏平台：可行性研究。Appl Clin Inform. 2021 12 5 1030 1040 [ ] ; ( ): - . 免费全文 doi: . /s- - [10 1055 0041 1736626] [Medline: 34788890]36 。Kalantarian H, Washington P, Schwartz J, Daniels J, Haber N, Wall DP. 你猜怎么着？利用结构化视频中的面部情感理解自闭症。J Healthc Inform Res. 2019;3(1):43-66. [免费全文] [doi: 10 1007 41666 018 0034 33313475] . /s - - -9] [Medline: 。Kalantarian H, Jedoui K, Washington P, Tariq Q, Dunlap K, Schwartz J, et al. 使用面部情绪标注图像及其在儿科医疗保健中的潜力。Artif Intell Med. 2019 98 77 86 [10 1016 2019 06 004] ; : - . 免费全文] [doi: . /j.artmed. . . [31521254]Medline: 38. Hou C, Kalantarian H, Washington P, Dunlap K, Wall DP. 利用数字化智能手机自闭症疗法的视频数据训练情绪检测分类器。medRxiv. 预印本于2021年8月1日在线发布。 [10 1101 2021 07 28 21260646] doi: . / . . . . Kalantarian H, Jedoui K, Dunlap K, Schwartz J, Washington P, Husic A, et al. 面向家长报告的自闭症儿童的情绪分类器性能：定量可行性研究。JMIR Ment Health. 2020 7 4 13174 [ ] ; ( ):e 。免费全文 doi: . / [10 2196 13174] [32234701]Medline: 40. Washington P, Kalantarian H, Kent J, Husic A, Kline A, Leblanc E, et al. 利用领域专用人工智能改进发育儿科数字疗法：一项机器学习研究。JMIR 儿科与家长. 2022;5(2):e26760. [免费全文] [doi: 10.2196/26760] [Medline: 35394438]41. Washington P, Kalantarian H, Kent J, Husic A, Kline A, Leblanc E, et al. 使用发育障碍儿童移动治疗游戏中的帧训练情绪检测分类器。arXiv. 预印本于12月2020 [10 48550 2012 08678] 16, 在线发布。doi: . /arXiv. . 42. Varma M, Washington P, Chrisman B, Kline A, Leblanc E, Paskov K, et al. 使用游戏化移动应用识别与自闭症谱系障碍相关的社交参与指标：注视固定与视觉扫描方法的比较研究。J Med Internet Res. 2022;24(2):e31830. [免费全文] [doi: 10.2196/31830] [Medline: 35166683]

XSL•FO
RenderX

43. Chi NA, Washington P, Kline A, Husic A, Hou C, He C, 等. 基于众包半结构化语音录音的自闭症分类：机器学习模型比较研究. JMIR 儿科与家长. 2022;5(2):e35406. [全文免费] [doi: 10.2196/35406] [Medline: 35436234]44. Lakkapragada A, Kline A, Mutlu OC, Paskov K, Chrisman B, Stockham N, 等. 用于辅助自闭症检测的异常手部运动分类：机器学习研究. JMIR 生物医学工程. 2022;7(1):e33771. [全文免费] [doi: 10.2196/33771]45. Washington P, Kline A, Mutlu OC, Leblanc E, Hou C, Stockham N, 等. 使用移动摄像机和少量训练样本进行活动识别：在检测自闭症相关撞头行为中的应用. 2021. 发表于：CHI '21：人机交互会议；2021年5月 8 1 7 [10 1145 3411763 3451701] -13日；-；日本横滨。
46 doi: . / . . Paolacci G, Chandler J, Ipeirotis PG. 在亚马逊土耳其机器人平台上开展实验. 判断与决策.
2010 5 5 411 419 [10 1017 1930297500002205] ; ( ): - . 全文免费] [doi: . /s . Ipeirotis PG, Provost F, Wang J. 亚
47 马逊土耳其机器人平台上的质量管理. 2010. 发表于：HCOMP '10：ACM SIGKDD 人类计算研讨会论文集；2010年7月25日；64-67；华盛顿特区。[doi: 10.1145/1837885.1837906]48. Lee YJ, Arida JA, Donovan HS. 众包方法在癌症研究中的应用：系统综述. 癌症医学.
2017 6 11 2595 2605 [10 1002 4 28960834] ; ( ): - . 全文免费] [doi: . /cam .1165] [
49 Medline: . Ross J, Zaldivar A, Irani L, Tomlinson B. 土耳其机器人工作者是谁？亚马逊土耳其机器人平台上的工作者人口统计特征. ResearchGate. 2009. URL: https://www.researchgate.net/publication/
268427703_ _ _ _ _ _ _ _ _ [2024 03 22] Who are the Turkers
50 Worker Demographics in Amazon Mechanical Turk accessed - - . Russakovsky O, Deng J, Su H, Krause J, Satheesh S, Ma S, 等. ImageNet 大规模视觉识别挑战. 国际计算机视觉期刊. 2015 115 211 252 [10 1007 11263 015 0816] ; : - . doi: . /s - - -
51 y . Sheng VS, Zhang J. 众包机器学习：过去研究和未来方向简述. Proc AAAI Conf Artif Intell.
2019 33 01 9837 9843 [10 1609 33 01 33019837] ; ( ): - . doi: . /aaai.v i . . Sorokin A, Forsyth D. 使用
52 亚马逊土耳其机器人进行实用数据标注. . 发表于：2008 IEEE计算机学会计算机视觉与模式识别会议研讨会；2008年6月23日至28日；1-8；安克雷奇，阿拉斯加州。[doi: 10 1109 2008 4562953] . /cvprw. . . Xintong G, Hongzhi W, Song Y, Hong G. 众包数据挖掘简述.
53 专家系统与应用 . 2014 41 17 7987 7994 [10 1016 2014 06 044] ; ( ): - . doi: . /j.eswa. . . . Irani LC, Silberman MS.
54 Turkopticon：打破亚马逊土耳其机器人平台上的工作者不可见性. 2013. 发表于：CHI '
13 2, ：SIGCHI 人机交互会议论文
2013 611 620 [10 1145 2470654 2470742]
集；2013年4月27日 - 5月；-；法国巴黎。doi: . / .55 . Irani L, Silberman
MS. 从批判性设计到关键基础设施：Turkopticon 的经验教训. Interactions. 2014;21(4):32-35. [10 1145 2627392] doi: . / .
56 Kummerfeld JK. 量化并避免众包中的不公平资格认证劳动. arXiv. 预印本于2021年5月26日在线发布。
[10 48550 2105 12762] doi: . /arXiv. . . Hansson K, Ludwig T. 群体动态：众包中的冲突、矛盾与社群. Comput
57 Support Coop Work. 2019 28 791 794 [10 1007 10606 018 9343] ; : - . 全文免费] [doi: . /s - - -z .
58 Shen XL, Lee MKO, Cheung CMK. 探索众包社群中的在线社会行为：关系管理视角. Comput Human Behav.
2014 40 144 151 [10 1016 2014 08 006] ; : - . doi: . /j.chb. . . . Wu W, Gong X.
59 在线众包社群中的动机与持续参与：社群承诺的调节作用. Internet Res.
2021 31 1 287 314 [10 1108 01 2020 0008] ; ( ): - . doi: . /intr- - - . Brady CJ, Villanti
60 AC, Pearson JL, Kirchner TR, Gupta OP, Shah C. 利用众包快速分级糖尿病视网膜病变眼底照片. J Med Internet Res. 2014年10月30日;
16 10 233 [10 2196 3807] ( ):e . 全文免费] [doi: . /
[25356929]
jmir. Medline: 61. Mitry D, Peto T, Hayat S, Blows P, Morgan J, Khaw KT, 等. 将众包作为筛查工具，通过数码摄影检测青光眼性视神经病变的临床特征. PLoS One. 2015;10(2):e0117401. [全文免费] [doi: 10 1371 25692287] . /
62 journal.pone.0117401] [Medline: . Cheng J, Manoharan M, Zhang Y, Lease M. 人群中有医生吗？需要诊断！（费用不到5美元）. iConference 2015 论文集. 2015 73844 [2024 03 22] . URL:
63 https://www.ideals.illinois.edu/items/ accessed - - . Leblanc E, Washington P, Varma M, Dunlap K, Penev Y, Kline A, 等. 特征替换方法使机器学习自闭症检测能够可靠地分析家庭视频. 《科学报告》. 2020;10(1):21245. [全文免费] [doi: 10.1038/s41598-020-76874-w] [Medline: 33277527]64. Tariq Q, Daniels J, Schwartz JN, Washington P, Kalantarian H, Wall DP. 通过机器学习分析家庭视频移动检测自闭症：开发与前瞻性验证研究. PLoS 医学. 2018;15(11):e1002705. [全文免费] [doi:
10 1371 30481180] . /journal.pmed.1002705] [Medline: . Tariq Q, Fleming SL, Sch
65 wartz JN, Dunlap K, Corbin C, Washington P, 等. 使用孟加拉国儿童的家庭视频，通过机器学习模型检测发育迟缓和自闭症：开发与验证研究. 医学互联网研究杂志. 2019;21(4):e13822. [全文免费] [doi: 10.2196/13822] [Medline: 31017583]

XSL•FO
RenderX

66. Washington P, Tariq Q, Leblanc E, Chrisman B, Dunlap K, Kline A, 等. 众包隐私保护短家庭视频特征标注，用于机器学习自闭症谱系障碍检测. 《科学报告》. 2021;11(1):7620. [全文免费] [doi: 10.1038/s41598-021-87059-4] [Medline: 33828118]67. Washington P, Leblanc E, Dunlap K, Penev Y, Kline A, Paskov K, 等. 通过众包机器学习实现精准远程医疗：测试众包工作者在基于视频的自闭症特征识别中的差异性. J Pers Med. 2020;10(3):86. [10 3390 32823538] 全文免费] [doi: . /jpm 10030086] [Medline: . Washington P, Leblanc E, Dunlap K, Penev Y, Varma M, Jung JY, 等. 为儿童自闭症谱系障碍的远程医疗诊断筛选可信赖的众包工作者. Pac Symp Biocomput. 68
2021 26 14 25 [ ] ; : - . 全文免费 Medline: 69. [33691000]
Washington P, Kalantarian H, Tariq Q, Schwartz J, Dunlap K, Chrisman B, 等. 在线自闭症筛查的有效性：比较付费与无偿诊断任务的众包研究. 医学互联网研究杂志. 2019;21(5):e13668. [全文免费] [doi: 10.2196/13668] [Medline: 31124463]70. Washington P, Tariq Q, Leblanc E, Chrisman B, Dunlap K, Kline A, 等. 众包隐私保护短家庭视频特征标注，用于机器学习自闭症谱系障碍检测. 《科学报告》. 2021;11(1):7620. [全文免费] [doi: 10.1038/s41598-021-87059-4] [Medline: 33828118]71. Washington P, Chrisman B, Leblanc E, Dunlap K, Kline A, Mutlu C, 等. 在隐私保护下，众包标注能够根据短家庭视频近似得出临床自闭症印象. Intell Based Med.
2022 6 100056 [ ] ; : . 全文免费 doi: . / [10 1016 2022 100056] [35634270]
j.ibmed. . Medline: 72 . Insel TR. 数字表型分析：行为新科学的技术. JAMA. 2017;318(13):1215-1216. [doi: 10 1001 2017 28973224] . /jama. .11295] [Medline: . Huckvale K, Venkatesh S, Christensen H. 迈向临床数字表型分析：适时探讨目标、质量与安全的契机. NPJ Digit Med. 73
2019 2 88 [10 1038 41746 019 0166 31508498] ; : . 全文免费] [doi: . / s - - -1] [Medline: . Onnela JP. 数字表型分析数据收集与分析中的机遇和挑战. Neuropsychopharmacology. 74
2021 46 1 45 54 [10 1038 41386 020 0771 32679583] ; ( ): - . 全文免费] [doi: . /s - - -3] [Medline: . Onnela JP, Rauch SL. 利用基于智能手机的数字表型分析，促进行为与心理健康. Neuropsychopharmacology. 75
2016 41 7 1691 1696 [10 1038 2016 26818126] ; ( ): - . 全文免费] [doi: . /npp. .7] [Medline: . Washington P, Mutlu CO, Kline A, Paskov K, Stockham NT, Chrisman B, 等. 从图像中对行为和心理状态进行机器学习分类的挑战与机遇. arXiv. 预印本于2022年1月26日在线发布。[doi: 10 48550 2201 11197] . /arXiv. . . Baumeister H, Montag C, 编. 数字表型分析与移动感知：心理信息学的新进展. 瑞士沙姆. 施普林格国际出版；2019. 78. Laport-López F, Serrano E, Bajo J, Campbell AT. 移动感知系统、应用与机遇综述. Knowl Inf Syst. 76
2020 62 1 145 174 [10 1007 10115 019 01346 1] ; ( ): - . doi: . /s - - - . Macias E, Suarez A, Lloret J. 移动感知系统. Sensors (Basel). ;13(12):17292-17321. [全文免费] [doi: 10 3390 24351637] . /s131217292] [Medline: . Nazir S, Ali Y, Ullah N, García-Magariño I. 利用移动计算的影响实现医疗保健物联网：系统性文献综述. Wirel Commun Mob Comput. 77
2019 2019 1 20 [10 1155 2019 5931315] ; : - . 全文免费] [doi: . / / . Silva BMC, Rodrigues JJPC, de la Torre Díez I, López-Coronado M, Saleem K. 移动健康：当前状态综述，聚焦于 79
2015 2015 56 265 272 [10 1016 2015 06 26071682] . J Biomed Inform. ; : - . 全文免费] [doi: . /j.jbi. . .003] [Medline: . Sim I. 移动设备与健康 . N Engl J Med. ; ( ): - . doi: /nejmra 80
2019 381 10 956 968 [10 1056 1806949] . Yürür O, Liu CH, Sheng Z, Leung VCM, Moreno W, Leung KK. 移动感知的情境感知：综述与未来方向. IEEE Commun Surv Tutor. 81
2014 18 1 68 93 [10 1109 2014 2381246] ; ( ): - . doi: . /comst. . . Picard RW. 情感计算. 马萨诸塞州剑桥. 麻省理工学院出版社；. 85. Picard RW. 情感计算：挑战. Int J Hum-Comput Stud. 2003;59(1-2):55-64. [doi: 82
2000 10 1016 1071 5819 03 00052 1] . /s - ( ) - . Poria S, Cambria E, Bajpai R, Hussain A. 情感计算综述：从单模态分析到多模态融合. Inf Fusion. 86
2017 37 98 125 [10 1016 2017 02 003] ; : - . doi: . /j.inffus. . . . Scherer KR, Bänziger T, Roesch E, 编. 情感计算蓝图：资料集与手册. 英国牛津. 牛津大学出版社；2010. 87
88. Tao J, Tan T. 情感计算：综述. 载于：《情感计算与智能交互》. 柏林，海德堡. 施普林格；2005. 发表于：第一届国际会议 ACII 2005；2005年10月22日至24日；981-995；中国北京。[doi: 10.1007/ 11573548_125]89. Wang Y, Song W, Tao W, Liotta A, Yang D, Li X, 等. 情感计算系统综述：情绪模型、数据库与最新进展. Inf Fusion.
2022 83 84 19 52 [10 1016 2022 03 009] ; - : - . doi: . /j.inffus. . . . Zhao S, Wang S, Soleymani M, Joshi D, Ji Q. 面向大规模异构多媒体数据的情感计算：综述. ACM Trans Multimed Comput Commun Appl. 2019;15(3s):1-32. [doi: 10.1145/3363560] 90

XSL• FO RenderX

缩略语

人工智能：人工智能 FDA：美国食品药品监督管理局 MTurk：亚马逊土耳其机器人

由 A Mavragani 编辑；于 22.07.23 提交；经 E Vashishtha、MO Khursheed、L Guo 同行评审；于 02.09.23 向作者发送意见；于 15.11.23 收到修订稿；于 30.01.24 接受；于 11.04.24 发布

请引用为：Washington P. 关于精准健康中的众包和人在回路工作流的观点。医学互联网研究杂志 2024年;26:e51138。网址：*https://www.jmir.org/2024/1/e51138* doi：*10.2196/51138* PMID：*38602750*

©Peter Washington。最初发表于《医学互联网研究杂志》（https://www.jmir.org），11.04.2024。这是一篇开放获取文章，依据《知识共享署名许可协议》（https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/）的条款发布，允许在任何媒介中不受限制地使用、分发和复制，但须适当引用最初发表于《医学互联网研究杂志》的原始作品。必须附上完整的书目信息、指向 https://www.jmir.org/ 上原始出版物的链接，以及本版权和许可信息。

XSL•FO
RenderX