



News & Highlights

全球首个大学云实验室即将落成

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

经年累月地泡在实验室中进行移液操作，苦苦挣扎于重复且枯燥的流程，研究生和科学家们时常会觉得自己像是机器人。但从2023年秋季开始，就职于美国宾夕法尼亚州匹兹堡的卡内基梅隆大学（CMU）的研究人员将会摆脱这种噩梦，转而把这些工作交给真正的机器人去做。这所大学正在建设一座“云实验室”，该实验室造价4000万美元，几乎可实现完全自动化[1]。CMU用户可以通过远程计算机屏幕，虚拟指挥实验室中200多个科学仪器进行实验。CMU将成为世界上第一所拥有云实验室的大学[2]。一些可提供各种类似自动化实验室程序的商业机构已经存在了约十年，美国加利福尼亚州南旧金山的翡翠云实验室（Emerald Cloud Lab）便是其中之一，目前该公司负责CMU的设施提供，并将负责之后的运营。

云实验室将科学家们从单调沉闷的实验室工作中解放出来，提高其生产力，且有望降低研究成本。通过标准化的实验程序，这些设施还可以帮助解决科学中的可重复性问题——很多重要的发现是研究人员无法复制的[3]。对于那些没有能力配备相关设施的学校的学生来说，这些实验室可以为他们提供科学职业培训。通过扩大用户访问范围，类似CMU这样的云实验室可以帮助实现“科学的民主化”，CMU梅隆科学学院院长及云实验室项目负责人Rebecca Doerge评价道。

位于美国加州门洛帕克的Transcriptic公司是第一家提供多种自动化实验室服务的商业云实验室，该公司成立于2012年；2019年，该公司与3Scan公司合并成立Stra-

teos公司，目前负责门洛帕克和圣地亚哥云实验室设施的运营[4–6]。2014年，翡翠云实验室进入市场[7]。科学家们可以利用这种云实验室远程选择任意仪器组合来进行任何他们想做的实验。Doerge说，这种多功能性“打开了科学的大门”，可以让研究人员更具创造性。相比之下，还有一些可远程操作的实验室能够依靠自动化来完成如细菌基因工程之类的特定工作[8]。在这些实验室中，所有的仪器均可被集成起来共同完成一个实验过程，Doerge说道。

科学家们无需踏入云实验室就能进行实验（图1）。例如，翡翠云实验室的客户可登录该公司网站，选择自己想要执行的实验程序和条件。然后软件将他们的选择转化为一系列可控制实验室设备的指令。一旦研究人员将他们的样品运到实验室，机器人就会接手。这些仪器，包括天平和离心机等基本设备，以及质谱仪、DNA测序仪和多肽合成仪等更复杂的设备，大部分均为自动化。但实验室仍需配备部分工作人员，这些工作人员负责设备的清洁和维护，溶剂和样品的添加，以及其他任务的执行[9]。该公司业务发展和战略主管Toby Blackburn说：“顾问可随叫随到，对一些与代码有关的实验问题进行解答，并对出现故障的仪器进行故障排除。”一些自动化化学实验室原型目前正在使用人工智能帮助研究人员设计和运行实验[10]。但翡翠云实验室并不提供与执行程序相关的建议，Blackburn说道。

据Blackburn说，翡翠云实验室设施全年无休，24小



(a)



(b)



(c)

图1。(a)位于美国加利福尼亚州南旧金山的翡翠云实验室设施中200多种仪器中的一部分。(b)翡翠云实验室中的一排自动化设备。(c)由Strateos公司负责运营的美国加州圣地亚哥的云实验室设施的视图。工作人员仍在执行一些必要的工作，如将样品送上仪器，但他们无需做像移液这样乏味且重复的工作。资料来源：(a)、(b)翡翠云实验室，经许可。(c) Strateos公司，经许可。

时运行，一次通常可运行大约50个实验。由于签署了保密协议，他不能透露大多数客户的身份，但这些客户“均匀分布在大型制药公司、生物技术初创公司以及学术机构中”，他说道。费用取决于客户类型以及他们想要同时进行的实验数量。举例来说，一个生物技术公司账户的使用费用每月约为24 000美元起。

美国加州大学戴维斯分校的化学副教授Justin Siegel是云实验室的早期爱好者，在Transcriptic公司开业后不

久后他便开始使用该公司的服务。Siegel的研究包括新蛋白质设计，在他看来，将常规实验室工作移交出去具有几个优点。首先，他的实验室已经配备有价值超过一百万美元的设备，这些设备基本处于闲置状态，因此没有必要再投资购买额外的仪器。另一个优点是，在执行一种名为Kunkel诱变的DNA链变异方法时[11]，Transcriptic公司的报价为每个样本约25美元（至少在最初阶段），而他自己的学生进行这项工作则需要50美元。另外，他的实验室无需挤出一天或更多的时间来进行Kunkel诱变实验。Siegel说：“节省了大量时间和成本。”他还补充道，使用云实验室比与研究组织签订合同来承担这项工作要便宜得多[12]。这些私人实验室通常不具备与云实验室相同的自动化水平，他们虽然可以进行各种实验，但价格相当昂贵，他说道。

Siegel表示，使用云实验室可以提高研究的质量。学生们也无需再花费数小时的时间在常规程序中。他说：“这些程序枯燥无聊，也是容易出错的地方。”学生们也能有更多机会来思考自己的项目，提出新的想法。他表示：“我宁愿付钱让他们做一些用脑子的事情，而不是做一些连猴子都能做的事儿。”

Doerge表示，云实验室最大的优点之一是它们可以提高研究的可重复性[13]。云实验室不仅可以提供实验结果，而且还详细记录了实验程序进行的条件，这些信息对于其他想要进行重复实验的科学家来说至关重要。此外，为了进行云实验室实验，研究人员必须提供如何完成每个程序的精确指令，然后将其编码成为实验室机器人的指令[9]。使用相同的代码，可以用完全相同的方式进行重复实验。

由于这些优势，制药业，尤其是那些可以避免对昂贵设备进行投资的初创公司，已经开始广泛使用云实验室[14]。但商业云实验室的目标成本一直是不固定的。对于多数学术研究人员以及大学生和中学生来说，云实验室的费用依旧让他们望洋兴叹。早期的云实验室爱好者Siegel表示，大约五年前Transcriptic公司提高学术客户的价格时，他停止了云实验室的使用。此后他的学生自己进行实验，对此学生们抱怨连连，他说道。

Doerge表示，在CMU看来，建立自己的云实验室有几个好处。它将减少大学科学家的启动成本，可以使残疾的研究人员开展实验室工作。云实验室也将成为吸引新教师和学生的的重要因素。通过对实验室设备访问的改善，云实验室将允许学生进行自己的实验。且由于该大学的云实验室将配备与翡翠云实验室相同的设备及软件，因此拥有CMU实验室熟练操作能力的学生也可以为进入与翡翠云

实验室签约合作的公司工作做好准备。“我们发现，云实验室平台有望成为未来科学的一个重要组成部分。” Doerge 说道。

CMU 实验室将于 2023 年春季向内部用户开放，2023 年秋季向外部用户开放。大约 80% 的实验室时间将预留给 CMU 的学生、员工和科学家以及他们在其他机构的合作者（至少在最初阶段）。Doerge 表示，其余 20% 的时间将会为匹兹堡的生命科学初创企业保留。这些行业客户将以每月约 20 000 美元的价格对实验室时间进行购买，该价格与商业化的翡翠云实验室收费相似，但学术界将享受一个大折扣。CMU 用户每月将支付约 8000 美元至 9000 美元，而非 CMU 的学术研究人员每月将需要支付约 12 000 美元。Doerge 表示，这些费用将足以支撑云实验室的运营成本。

CMU 生物科学助理教授 Huaiying Zhang 表示，目前 CMU 有意将云实验室的访问权限扩展至那些无力负担先进实验设施的学校和学院。由她领导的一个项目将对云实验室能否使资源匮乏的高中生受益进行测试，而这些学校几乎没有资金可用于科学实验室的建设和运维。她表示，大学经常为这类学校提供一些项目，但这些项目通常需要将学生领入大学校园开展实验工作，这样做成本非常高且涉及复杂的后勤工作。但从 2024 年春季开始，位于美国佐治亚州劳伦斯维尔的中央格威内特高中（Central Gwinnett High School）的一个班级约 30 名学生将能够通过 CMU 云实验室对基础生物学实验进行远程管理，如对不同温度下细胞的生长进行测量。美国国家科学基金会将拨款用于支付该实验室的费用。Huaiying Zhang 表示，如果该项目成功，她希望创建一个门户网站，允许其他学校的学生登录 CMU 实验室进行他们自己的实验。“如果我们能让更多人参与进来，这将具有非常大的规模化潜力，” 她说道。

更多的云实验室也正在建设当中。Doerge 表示，有几所大学已经与她联系，希望量身打造自己的云实验室，美国政府对此也很感兴趣。她表示，在全国各地建立一些联邦云实验室可以降低政府的研究资助成本，因为这样资助机构就不必资助每位科学家来装备一个完整的实验室。

但截止到目前，除了 CMU 之外，没有任何政府机构

或大学宣布将建立更多云实验室。但需求是存在的，Siegel 表示道。他说，如果价格合适，“我会立刻重新开始使用云实验室。”

References

- [1] Arnold C. Cloud labs: where robots do the research [Internet]. London: Nature; 2022 Jun 13 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01618-x>.
- [2] Mullin R. Carnegie Mellon partners on a cloud-based laboratory [Internet]. Washington, DC: Chemical & Engineering News; 2021 Sep 2 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://cen.acs.org/business/informatics/Carnegie-Mellon-partners-cloud-based/99/i32>.
- [3] Wilson C. The replication crisis has spread through science—can it be fixed? [Internet]. London: New Scientist; 2022 Apr 6 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.newscientist.com/article/mg25433810-400-the-replication-crisis-has-spread-through-science-can-it-be-fixed/>.
- [4] Lentzos F, Invernizzi C. Laboratories in the cloud [Internet]. Chicago: Bulletin of the Atomic Scientists; 2019 Jul 2 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://thebulletin.org/2019/07/laboratories-in-the-cloud/>.
- [5] Newton C. Inside the secret robot lab that's shaking up science [Internet]. Washington, DC: The Verge; 2013 Dec 18 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.theverge.com/2013/12/18/5216738/inside-transcriptic-the-secretrobot-lab-that%27s-shaking-up-science>.
- [6] Mullin RA. \$56 million boost for smart-lab developer Strateos [Internet]. Washington, DC: Chemical & Engineering News; 2021 Jun 11 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://cen.acs.org/business/investment/56-million-boostsmart-lab/99/i22#>.
- [7] Buhr S. Experimenting with drugs in the cloud [Internet]. San Francisco: TechCrunch; 2014 Jul 8 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://techcrunch.com/2014/07/08/experimenting-with-drugs-in-the-cloud/>.
- [8] Robotic labs for high-speed genetic research are on the rise [Internet]. London: The Economist; 2018 Mar 1 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.economist.com/science-and-technology/2018/03/01/robotic-labs-for-high-speedgenetic-research-are-on-the-rise>.
- [9] Ireland T. Cloud labs and remote research aren't the future of science—they're here [Internet]. London: The Guardian; 2022 Sep 11 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.theguardian.com/science/2022/sep/11/cloudlabs-and-remote-research-arent-the-future-of-science-theyre-here>.
- [10] O' Neill S. AI-driven robotic laboratories show promise. *Engineering* 2021; 7 (10):1351–3.
- [11] Liu B, Long S, Liu J. Improving the mutagenesis efficiency of the Kunkel method by codon optimization and annealing temperature adjustment. *N Biotechnol* 2020;56:46–53.
- [12] Theuer C. Where to find the real crisis in clinical research? Follow the money [Internet]. New York City: Forbes; 2022 Sep 19 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/forbesbooksauthors/2022/09/19/where-to-find-the-real-crisis-in-clinical-research-follow-the-money/?sh=7fcf33e24935>.
- [13] Jessop-Fabre MM, Sonnenschein N. Improving reproducibility in synthetic biology. *Front Bioeng Biotechnol* 2019;7:18.
- [14] Cumbers J. Running your pharma company out of a Starbucks: drug discovery moves to the cloud [Internet]. New York City: Forbes; 2020 Mar 13 [cited 2022 Sep 25]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2020/03/13/running-your-pharma-company-out-of-a-starbucks-drug-discovery-movesto-the-cloud>.