Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng

News & Highlights

# DARPA机器人地下挑战赛

Mitch Leslie

*Senior Technology Writer*

在美国肯塔基州路易维尔市地下的一条狭窄的走廊中，一个一米高的方形机器人利用类似犬类一样的四肢，小心翼翼地从石坡上走下来。但当该机器人试图转身时，它失去了平衡，滚下了石坡，侧身着地。随后，这台经改装的商用型“Spot”机器人立即伸展身体并旋转四条腿，蹬着走廊的地面。差不多40 s后，它又站了起来，继续在走廊中行进。

这台机器人由一个国际研究团队操作。而在美国国防部高级研究计划局（US Defense Advanced Projects Research Agency, DARPA）举行的地下（SubT）挑战赛决赛中，还有150多台机器人试图通过地下赛道中的重重障碍[1]。这场比赛历时两年多，设置了严苛的地下以及工业环境，由此不断测试机器人的运动、导航、地图映射、搜索和感知能力[2–3]。比赛的宗旨就是为了促进搜救机器人以及战斗机器人的发展（美国国防部高级研究计划局隶属美国国防部[3]）。美国科罗拉多矿业学院（Colorado School of Mines in Golden）机械工程专业副教授Andrew Petruska说道：“这场比赛让机器人进入了一个全新的领域。”不过Petruska并没有参加挑战赛。

若能在地下或者危险环境下自动运行，机器人或能取代人类去完成一些危险任务[4]。Petruska说道：“很多地方我们都得派人类去，因为机器人到不了那种地方。”在矿洞里，机器人能进入充满毒气或可能塌方的区域。自然灾害后，机器人能够侦测不稳定结构，并定位幸存者。Petruska认为：“能够进入并探索此类区域的自动化系统的体型可不小。”

比利时布鲁塞尔皇家军事学院（Royal Military Academy）机器人和自动化系统高级研究员Geert De Cubber告诉我们，此类机器人的研究已经停滞多年。他说：“然而福岛事故给我们敲响了警钟。”福岛事故是指2011年日本发生的海啸以及部分核电站熔断事件。日本官员希望使用机器人检查受损反应堆，但是他们的机器人都无法完成任务，最后只得求助美国的机器人。这让De Cubber很震惊，因为日本“在机器人领域中有着最先进的技术，但是日本的机器人没一个能进入福岛。”

自此，研究人员在机器人领域不断取得进展。De Cubber说，如此成就一部分归功于人工智能（AI）的发展。到目前为止，一些搜救团队已经开始使用机器人。例如，2021年，在美国佛罗里达州一所公寓坍塌事故中，急救人员就部署了无人机和警用防爆小队机器人，用于搜救幸存者并评估建筑情况[5]。但是，目前尚未有全自动机器人能够通过建筑废墟这样复杂的环境[6]。

因此，SubT挑战赛诞生。美国国防部高级研究计划局因其创新而闻名。最好的例子便是2004年举行的大挑战赛（Grand Challenge），其中参赛者需要制造一台自动越野车。这场比赛被认为是无人驾驶汽车历史的起点[7]。Petruska说道：“美国国防部高级研究计划局并不投资眼前的技术，他们关注的是15年后可能实现的技术，然后努力在7年内实现这些技术。”

美国卡内基梅隆大学副教授Sebastian Scherer认为，

2095-8099/© 2022 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
英文原文：Engineering 2022, 13(6): 2–4
引用本文：Mitch Leslie. Robots Tackle DARPA Underground Challenge. *Engineering*, https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.04.003

环境中不确定因素越少，机器人的表现就越好。他带领的团队在SubT挑战赛中取得了第四名。然而，地下环境充满了不确定性。管道、洞穴和走廊有可能组成一个找不到出口的迷宫。随着机器人不断探索，它们需要不断评估自身周围环境，探测并辨认周围的物体以及可能出现的人类。例如，当一个机器人看见一个荧光马甲时，需要它能辨认出这是一位需要撤离的受伤工人还是一件挂在衣柜的备用马甲。此外，GPS信号无法传输到地下，而且机器人很可能无法与其他机器人和人类沟通，使任务难上加难。

参赛机器人需要完成四轮比赛，展示自身能力。2019年8月和2020年2月举办了前两轮比赛，机器人分别进入美国宾夕法尼亚州一所废弃矿洞和华盛顿州一座未完工核电站进行比赛[8–9]。2019年新冠病毒肺炎疫情来袭，因此在2020年11月举行的第三轮比赛上，参赛人员进行线上比赛。比赛内容为编写软件，模拟机器人通过虚拟路径[10]。

在最后一轮比赛中，9支队伍在虚拟电路上竞赛，8支队伍派出真正的机器人进入石灰岩矿洞，并穿越城市、管道和洞穴模拟工事（图1）。美国国防部高级研究计划局人员尽可能将路线设计得困难些，并尽可能复制真实场景[11]。在比赛中，机器人会遇到各种困难，比如楼梯、高低差、铁轨、黑白相间墙壁的通道、迷雾、极黑的洞穴、陡坡，以及模拟山洞或天花板坍塌而悬挂的平板。Scherer对狭窄的管道感到惊讶，也惊讶环境中的颜色和纹理如此丰富，以致能骗过目标探测系统。各个小队的机器人不断深入，它们将要寻找差不多40个目标，包括手机、背包、手电，以及代表伤员的假人[1]。参赛选手可以在开赛前一小时内尽可能调查赛道。如果一个队伍的机器人在规定时间内找到并向美国国防部高级研究计划局指挥所报告的目标越多，该队伍得分就越高。

De Cubber称，为了研发搜救机器人以及战斗机器人，设计人员必须进行妥协。比如，有大型轮胎的机器人可以克服路上障碍，但也更有可能卡在狭小管道中。小型机器人可以穿过狭小空间，但不能越过障碍。无人机比路基机器人搜寻范围更广，但是算力更低。为了解决这些问题，Scherer和其探索者（Team Explorer）队伍的同事选择多种型号的机器人，而决赛中的其他队伍做出了同样的选择（图2）[12]。探索者队伍的路基机器人约有一米高，外形类似沙漠用越野汽车。Scherer说：“为了使牵引力达到最大，我们选用了尽可能大的轮胎。”团队还采用了两个无人机和一个行走式机器人。除了轮式、飞行式和行走式（图3）机器人，部分队伍还有履带式坦克型机器人。

**图1.** 美国国防部高级研究计划局SubT挑战赛的一支队伍正在做决赛前的准备工作。决赛将于2021年9月在美国肯塔基州路易维尔市举行。图中靠后的位置便是测试赛道的入口。来源：DARPA（公共来源）。

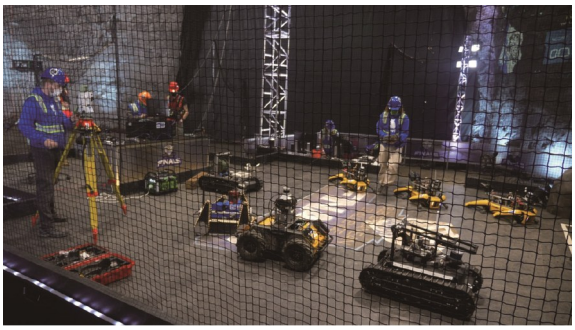
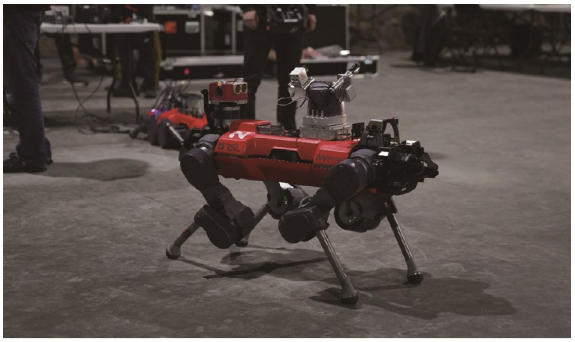


**图2.** SubT挑战赛上各式各样的机器人。在这些机器人中，有三种履带式、一种轮式、三种“Spot”行走式机器人。来源：DARPA（公共来源）。



(a)

(b)

**图3.** （a）专家称，机器人类别中表现最好的是行走式机器人，如图中的蜘蛛型。（b）四足动物机器人帮助三头犬队成功赢得比赛。来源：DARPA（公共来源）。

除了要穿过各种地形，地下行动中还有其他问题需要SubT挑战赛参赛队伍解决。没有GPS引导，决赛中的机器人需要根据四周环境绘制地图，而其中多数团队选择了激光雷达技术[13]。Scherer团队和其他队伍的机器人在赛道沿途布置通讯站。如此一来，各个队伍的机器人都能与各自的操作员交换信息[14]。各个队伍只能配备一名操作员，经允许可引导自身队伍中的机器人。不过，Scherer说，一旦机器人深入管道，便会与操作员失去联系，并且只能自动前进。

这场比赛还会测试机器人的另一项品质——韧性。参赛机器人，比如能滚下坡的“Spot”机器人，在遭遇障碍物后能重新站起来。不过，决赛中的障碍物还是让部分机器人停滞不前[1]。这些机器人在铁轨上摔倒、滑下陡坡、退出迷雾、撞上空中障碍物，或因为无法决定下一步行动而停止行动。甚至还有一个机器人被比赛中的障碍物难住，不断撞墙。

Scherer队伍的机器人团队完成了93%的赛程，在参赛队伍中位列第一[1]。其他三个队伍，三头犬（Cerberus）、CSIRO Data16和玛瑙（Marble）队，虽然没能走到最后，但是他们的机器人报告的目标更多，所以他们在最终名次中高于探索者团队[1]。

De Cubber说，虽然取得了如此成就，机器人还是不能胜任搜救行动；机器人不仅昂贵，而且研究人员还必须先解决几个问题，比如让机器人能适应更多地形。他补充道，机器人还必须易于操控，方便搜救人员进行操作。搜救人员还必须对机器人进行额外培训，才能将其融入工作流程。De Cubber预测，在“下个五年中”不会看到SubT挑战赛中的机器人出现在现场搜救行动中。不过，Petruska认为：“这场比赛还是证明了机器人在搜救领域取得的成就。我们正不断让系统自动化更有意义，让系统无需外部操控便能自行决策。”

## References


[1] Montgomery D. The Pentagon's $82 million super bowl of robots [Internet]. Washington, DC: Washington Post; 2021 Nov 10 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://www.washingtonpost.com/magazine/2021/11/10/darpa-robot-competition/.

[2] DARPA Subterranean (SubT) Challenge [Internet]. Washington, DC: Defense Advanced Research Projects Agency; [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://www.darpa.mil/program/darpa-subterranean-challenge.

[3] Atherton KD. These robots are DARPA's hope for the future of cave warfare or disaster relief [Internet]. New York City: Popular Science; 2021 Oct 6 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://www.popsci.com/technology/darpasubterranean-challenge-robot-winners/.

[4] Atherton KD. DARPA wants cave robots that can scout ahead for threats or missing people [Internet]. New York City: Popular Science; 2021 Apr 16 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://www.popsci.com/story/technology/darpa-subterranean-challenge-robots/.

[5] Murphy RR. How robots helped out after the surfside condo collapse [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Aug 2 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/building-collapse-surfside-robots.

[6] Ackerman E. Why robots can't be counted on to find survivors in the Florida building collapse [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Jun 26 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/why-robots-cant-help-find-survivors-in-the-florida-building-collapse.

[7] Davies A. An oral history of the DARPA grand challenge, the grueling robot race that launched the self-driving car [Internet]. San Francisco: Wired; 2017 Aug 3 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://www.wired.com/story/darpa-grand-challenge-2004-oral-history/.

[8] Ackerman E. All of the winners in the DARPA Subterranean challenge tunnel circuit [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2019 Aug 26 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/all-of-the-winners-in-the-darpa-subterranean-challenge-tunnel-circuit.

[9] Ackerman E. Late nights, cool hacks, and more stories from the DARPA SubT urban circuit [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2020 Mar 20 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/late-nights-cool-hacks-and-more-stories-from-the-darpa-subt-urban-circuit.

[10] Ackerman E. Watch DARPA's SubT cave circuit virtual competition [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2020 Nov 16 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/darpa-subt-cave-circuit-virtual-competition.

[11] Ackerman E. See inside DARPA's incredible Subterranean finals course [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Oct 5 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/darpa-subt-finals-slideshow.

[12] Ackerman E. DARPA SubT finals: meet the teams [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Sep 21 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/darpa-subterranean-challenge.

[13] Vanderbilt T. Here come the underdogs of the Robot Olympics [Internet]. San Francisco: Wired; 2021 Feb 1 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://www.wired.com/story/darpa-challenge-robot-olympics-underdog/.

[14] Ackerman E. DARPA SubT finals: robot operator wisdom [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Sep 23 [cited 2022 Mar 7]. Available from: https://spectrum.ieee.org/darpa-subterranean-challenge-operator.