

News & Highlights

AI越来越多地参与决策,但人类裁判仍占主流

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

2024年7月14日,2024年欧洲杯锦标赛冠军赛如期举行,比赛将决出欧洲最佳国家足球队。在比赛只剩下不到五分钟时,西班牙队和英格兰队比分为1比1平,此时西班牙球员Mikel Oyarzabal在禁区顶端扑球,踢进了看似制胜的一球[1]。然而,在这次进攻中,Oyarzabal的位置接近越位,或者说离球门太远。越位判罚向来难以判断——进攻球员的头部、身体或脚部不能在球和倒数第二名防守球员之前[2]。为了确保判罚准确,场上的主裁判本可以向视频助理裁判(VAR,图1)寻求帮助。VAR实际上是一组负责监控比赛多路视频画面的官员[3]。



图1. 美国职业足球大联盟比赛中,裁判正在观看视频回放。图片来源:SounderBruce/Wikimedia (CA BY-SA 4.0)。

但这次无需进行VAR复核了,因为人工智能(AI)已经给出了判决。2024年欧洲杯采用了名为半自动越位技术的AI比赛监控系统,在每个体育场上方安装了十台

摄像机[4]。摄像机每秒捕捉50帧画面,使AI系统能够确定每位球员29个身体部位(包括头部、上臂和膝盖)的位置[5]。球内还装有一个传感器,可以精确追踪球的运动轨迹,并检测到球被踢出[4]。AI判定Oyarzabal差一点越位——在球传给他时,英格兰队一名防守球员的右膝盖骨位于Oyarzabal的前方[6],因此进球有效,西班牙队最终赢得了冠军。

AI在足球领域已得到了应用。2022年世界杯以及2023年女足世界杯采用了与2024年欧洲杯类似的AI系统来判罚越位,英格兰英超联赛、意大利意甲联赛和西班牙西甲联赛等主要国家联赛也采用了这一系统[5]。此外,AI还用于判断球是否越过球门线[7]。其他运动项目和体育比赛,包括美国职业棒球大联盟(MLB)、美国国家篮球协会(NBA)以及男子和女子体操比赛等[8-9],也在测试或已引入基于AI的裁判或评判系统。至少在最初阶段,AI主要用于辅助人类裁判做最困难的决定。网球比赛在这方面走得更远。近20年前,网球比赛就首次引入了自动司线系统以应对球员挑战。到2025年,几乎所有顶级男子赛事都不再使用司线员[10]。

体育界正在积极拥抱AI,希望它能提高判罚的准确性,通过消除冗长的视频回放来加快比赛进程,并在评分往往很主观的比赛(如体操)中提高客观性。美国弗吉尼亚州林奇堡大学的物理学教授John Eric Goff表示,球迷们可以期待AI裁判将扩展到更多体育项目,“任何可以用到的地方,它都会被使用。”

体育与AI的结合也具有更广泛的影响。AI正在进入越来越多的领域，而体育作为采用该技术的先驱，可能会提前预示其在实践中的表现以及人类的反应。“体育一直是AI首批成功应用的案例之一。”位于英国伦敦的体育数据和AI公司Stats Perform的首席科学家Patrick Lucey说道。

AI在体育领域的应用日益增多的一个原因是，该技术现已足够强大，能够追踪快速的运动动作。“AI具有极高的计算速度和强大的处理大数据集的能力。”Goff说道。另一个原因是对裁判工作的不满。裁判难免会犯错，而视频回放一度被视为解决这些错误的方法。然而，球迷、教练和球员都厌恶VAR和其他回放系统，并对结果持怀疑态度，因此回放会打断比赛并可能导致比赛长时间暂停。以2022年为例，美国国家橄榄球联盟（US National Football League）比赛的观众平均需要等待2分25秒才能得到回放判定——尽管在2005年，回放过程几乎要多花一分钟[11]。而且，即使花费了数分钟仔细观看多个角度的慢动作回放，裁判仍然有可能误判[5]。

2006年，职业网球运动首次引入一种名为鹰眼（Hawk-Eye）（图2）[12]的AI司线系统。该系统现归日本东京的索尼集团所有，以英国AI工程师Paul Hawkins的名字命名。Hawkins于25年前开发了该系统，该系统最初用于板球比赛[13]。尽管每场比赛的设置细节各不相同，但该系统通常包括8~12台摄像机；这些摄像机围绕球场放置，以每秒高达340帧的速度进行录制[14]。鹰眼并非即时回放系统。相反，它通过分析摄像机捕捉到的图像来计算球的位置，并根据基于实际球场测量数据创建的球场计算机模型预测球会落在场内还是场外[15]。目前，其结果误差为2.2 mm，约为网球直径的3% [16]。



图2. 鹰眼系统根据球场周围高速摄像机的输入数据预测网球的落点。球场屏幕会显示“回放”结果。图中鹰眼系统显示该球落在边线上，因此判定为“得分”。图片来源：Wikimedia Commons（CC BY 2.0）。

与鹰眼类似，2024年欧洲杯等足球联赛和锦标赛所采用的半自动越位技术同样依赖建模。该系统根据摄像头输入，为场上的球员创建三维虚拟形象，并能够比较他们在特定时间的位置，以判断进攻球员是否越位[5]。该系统是半自动的，因为它仍需VAR的协助，VAR会识别参与争议判罚的球员，并判断哪些球员触球[5]。

网球在AI裁判方面拥有最丰富的经验。大多数球迷、球员和官员——或许除了即将失业的司线员——都认为鹰眼系统改善了这项运动[12]。场上球员可以对判罚或行为不当提出异议，但他们几乎最后都会接受其裁决[12]。网球最初选择了一种系统，允许球员在每局比赛中挑战一定数量的人工判罚。这种挑战并没有造成恼人的中断，反而增添了戏剧性，因为球员和球迷会满怀期待地等待鹰眼在球场视频屏幕上播放球的运动轨迹动画。美国加州大学圣巴巴拉分校经济学副教授Daniel Martin表示，鹰眼并非100%判罚准确，但这并不重要。他研究了该技术对司线员的影响。“我们不需要AI做到完美，我们只需要它在人类犯错时表现出色。”

由于鹰眼技术在网球赛事中的表现优异，它已被职业板球、羽毛球、橄榄球、NBA以及各种足球联赛采用，这些赛事依靠该技术来判断球是否越过球门线进入球门。此外，鹰眼还为其他应用（如半自动越位判罚技术和基于AI的体操动作判定[9]）开辟了道路。

尽管AI在某些体育赛事应用中取得了成功，但一些体育项目的AI应用仍在探索阶段。MLB的经历揭示了一些复杂性。MLB于2019年开始在其较低级别的联赛中测试一个用于判断好球和坏球的自动化系统，但最终认为该系统尚未达到在大联盟比赛中使用的标准[17]。Goff表示，在棒球比赛中部署AI系统进展缓慢的一个原因是，系统判断一个球是否应被判为“好球”的难度比判断网球击球是否得手的难度要大，原因在于“网球场上的线不会动”。但是，由于球员身高不同，在棒球比赛中每次击球手站在击球板上时，从击球手膝盖下方延伸到肩膀与裤腰线之间的击球区[18]的大小都会发生变化。因此，MLB不得不反复调整AI系统判断一个球是否为“好球”的标准（如降低击球区的上限）以匹配裁判的判罚方式[19]。其结果是，MLB最早在2026年之前不打算在大联盟比赛中全面使用AI，并可能会设立一个挑战系统，而不是完全让AI进行好球和坏球的判定[17]。

AI的学习能力使其能够应用于其他情境中。例如，Enqi Ma及杜克大学（美国北卡罗来纳州达勒姆）土木与环境工程副教授Zbigniew Kabala的团队已训练AI来识别壁球运动中最具挑战性的判罚之一——干扰（interfer-

ence)，即一名球员阻碍另一名球员击球的情况[20]。Kabala表示，该应用的想法来自Ma，当时Ma还是一名高中生，如今已是美国宾夕法尼亚州费城宾夕法尼亚大学的本科生。研究人员从专业壁球比赛的视频中挑选了400个潜在的干扰实例，并对关键帧进行了数字化处理，收集了诸如球第一次和第二次弹跳的位置以及两名球员的相对位置等数据。随后，他们将这些数据输入到两个机器学习模型中。在仅使用9个变量的情况下，其中一个模型正确识别干扰的准确率达到86%，与人类裁判的表现相当[20]。Kabala说：“壁球是一项非常难以裁判的运动，所以我们对结果感到非常惊讶。”这些模型目前还无法用于壁球比赛的现场裁判工作，但研究人员正在努力对其进行改进。Kabala指出，他们仅使用了400个示例进行训练。“如果我们有4000个或40 000个示例，准确率应该会更高。”

NBA仅依靠AI检测一种违规行为（即干扰球），也有望从这项技术更广泛的应用中受益。佐治亚理工学院（美国佐治亚州亚特兰大）本科生Ayush Pai正在开发一种机器学习系统，该系统能够识别出更多的违规行为。该系统利用比赛录像中的标注静态图像，学习识别篮球及球员身体不同部位的位置，从而能够判罚走步和二次运球[21]。Pai发布了一段描述其系统早期版本的视频后，收到了来自NBA和部分联盟裁判的反馈。他表示，裁判们告诉他，如果这个系统不会让他们丢掉工作，他们将非常欢迎这样一个能帮助他们做出精准判罚的系统。Pai表示，他目前正在改进该系统，以识别更多的违规行为，包括打手犯规和阻挡犯规等。他预测，AI裁判“将成为NBA未来的重要组成部分”。

Daniel Martin和西北大学（美国伊利诺伊州埃文斯顿）管理经济学与战略专业博士生David Almog领导的研究团队发现，AI裁判能够通过提高人类裁判准确性这一令人惊讶的方式带来更好的判罚[22]。研究人员分析了2006年网球引入挑战赛前后698场比赛的鹰眼数据后发现，总体而言，一旦球员可以对判分提出质疑，边线判分的准确性就提高了8%。

但有一个例外——发球点在边线20 mm以内。在这种情况下，裁判在挑战开始后的判罚错误率几乎升高了23%，通常是因为他们判罚的球实际上出界了[23]。Almog表示，有两个变化可以解释这一明显的矛盾。他说，在引入鹰眼后，边裁的注意力更加集中，这表明“他们本可以做得更好”。一旦球员可以提出挑战，边裁也变得更加保守，判罚更多的贴边球为界内球。Almog解释说，在底线球判罚方面，边裁注意力提升的效果超过了他

们更加保守的判罚倾向，且他们的总体判罚准确率有所提高。但发球速度远快于底线击球，即使多加注意也无法提高准确性——裁判的感知能力已经达到极限，Almog说。在这些击球中，裁判倾向于谨慎行事，因此导致准确性降低。

Martin补充道，该研究的结果不仅与体育相关。AI的许多新应用或拟议应用都涉及监督人类并纠正其错误，如汽车的车道修正功能以及检查医生和法官决策的系统[22]。企业和组织正急于部署这些系统，因为它们似乎是提高绩效的低成本方式。但“我们需要知道人类会如何反应”，他说。

专家表示，尽管AI技术有所进步，但在大多数情况下，AI尚无法取代人类裁判。裁判不仅需要做出AI尚无法做出的判罚，还需要管理比赛、维持球员纪律并承担其他关键职能。就连网球比赛也没有放弃人类裁判，而是保留了司线员，他们负责记分并担任比赛管理人员。Goff表示，尽管球迷们喜欢抱怨错误的判罚，但他们并不准备将裁判工作完全交给机器。“人类所犯的误差是体育乐趣的一部分。”

References

- [1] Douglas S. Spain wins record fourth European championship title by inflicting another painful loss on England [Internet]. New York City: Associated Press; 2024 Jul 14 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://apnews.com/article/spain-england-euro-2024-final-dc46b104e6bf3b94b7d6d70e18f8220d>.
- [2] Thomas J. Offside rule in soccer, explained: the simple definition and how referees still manage to get it wrong [Internet]. Charlotte: The Sporting News; 2024 Jun 19 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.sportingnews.com/us/soccer/news/offside-rule-soccer-explained/joz30fulyxepkne3soxqvers>.
- [3] Nag U. Explained: what is VAR in football [Internet]. Lausanne: International Olympic Committee; 2023 Dec 25 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://olympics.com/en/news/what-is-var-in-football>.
- [4] Kulkarni S. AI and Euro 2024: VAR is shaking up football—and it's not going away [Internet]. London: Nature; 2024 Jun 13 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-01764-4>.
- [5] Johnson D. Premier league semi-automated VAR offside: all you need to know [Internet]. Bristol: ESPN.com; 2024 Apr 11 [cited 2024 Jul 31]. Available from: https://www.espn.com/soccer/story/_/id/39920409/premier-league-semi-automated-var-offside-all-need-know.
- [6] Dean S. Why was Mikel Oyarzabal's Spain goal not ruled out for offside and did VAR check it? [Internet]. London: The Telegraph; 2024 Jul 14 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.telegraph.co.uk/football/2024/07/14/mikel-oyarzabal-spain-winner-var-goal-check-motion-sensors/>.
- [7] Burrows B. What is goalline technology? How Sweden penalty against USWNT was allowed [Internet]. New York City: New York Times; 2023 Aug 6 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.nytimes.com/athletic/4753037/2023/08/06/what-is-goalline-technology/>.
- [8] Dowsett B. AI is helping referee games in major sports leagues, but limitations remain [Internet]. New York City: Scientific American; 2024 May 2 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.scientificamerican.com/article/ai-is-helping-referee-games-in-major-sports-leagues-but-limitations-remain/>.
- [9] Taylor Price J. How AI is changing gymnastics judging [Internet]. Cambridge: MIT Technology Review; 2024 Jan 16 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.technologyreview.com/2024/01/16/1086498/ai-gymnastics-judging-jss-world-championships-antwerp-paris-olympics/>.
- [10] Fendrich H. Electronic line calls at all ATP men's tennis events by 2025

- [Internet]. New York City: Associated Press; 2023 Apr 28 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://apnews.com/article/electronic-line-calling-tennis-4eba9447760c0c0908192529d42d92a7>.
- [11] History of instant replay [Internet]. New York City: NFL Football Operations; [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://operations.nfl.com/officiating/instant-replay/history-of-instant-replay/>.
- [12] Newcomb T. The history of tennis umpiring: how Hawk-Eye changed the game [Internet]. New York City: Sports Illustrated; 2015 Nov 11 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.si.com/tennis/2015/11/11/history-of-hawk-eye-tennis-umpiring>.
- [13] Stevenson S. The man who saved tennis [Internet]. New York City: Slate; 2012 Nov 6 [cited 2024 Aug 12]. Available from: <https://slate.com/culture/2012/11/hawk-eye-saved-tennis-from-bad-line-calls-paul-hawkins-invention-designed-for-cricket-has-moved-to-other-sports.html>.
- [14] Boyo S. How Sony's Hawk-Eye electronic line-calling system transformed the U.S. open [Internet]. New York City: CNBC; 2023 Sep 12 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.cnbc.com/2023/09/09/how-sonys-hawk-eye-works-at-the-us-open.html>.
- [15] Pilhofer A. Hawk-Eye wins over players, fans and officials [Internet]. New York City: New York Times; 2008 Sep 6 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://archive.nytimes.com/straightsets.blogs.nytimes.com/2008/09/06/hawk-eye-wins-over-fans-officials-and-players/>.
- [16] Potts M, Fisher T. How does Hawk-Eye work at Wimbledon? [Internet]. London: RadioTimes; 2024 Jun 28 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.radiotimes.com/tv/sport/tennis/wimbledon-hawk-eye/>.
- [17] Blum R. Robot umpire challenge system could be tested next spring training, 2026 regular season use possible [Internet]. New York City: Associated Press; 2024 Jul 16 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://apnews.com/article/mlbpa-robot-umpires-b78336fdfea08f70fe4269911f145f6c>.
- [18] Strike zone [Internet]. New York City: Major League Baseball; [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.mlb.com/glossary/rules/strike-zone>.
- [19] Blum R. What is a strike in baseball? Robots, rule book and umpires view it differently [Internet]. New York City: Associated Press; 2023 Jul 9 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://apnews.com/article/mlb-robot-umpires-strike-zone-40ec7285ae4d1ccaf2621adcb8d72b02>.
- [20] Ma E, Kabala Z. Refereeing the sport of squash with a machine learning system. *Mach Learn Knowl Extr* 2024;6(1):506–53.
- [21] Pai A, Culbertson I. AI basketball referee v2.0 [Internet]. San Francisco: GitHub; 2023 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://github.com/ayushpai/AI-Basketball-Referee>.
- [22] Almog D, Gauriot R, Page L, Martin D. AI oversight and human mistakes: evidence from centre court. 2024. arXiv:2401.16754.
- [23] What tennis reveals about AI's impact on human behavior [Internet]. London: The Economist; 2024 Feb 15 [cited 2024 Jul 31]. Available from: <https://www.economist.com/science-and-technology/2024/02/15/what-tennis-reveals-about-ais-impact-on-human-behaviour>.