编者按

全国大学生机器人大赛 (China University Robot Competition) 是一项中国大学生机器人技术创新、工程实践、公益性竞赛活动，每年举办一届。自 2002 年中央电视台举办首届大赛以来，大赛始终坚持“让思维沸腾起来，让智慧行动起来”的宗旨，在推动广大高校学生参与科技创新实践、培养工程实践能力、提高团队协作水平、培育创新创业精神方面发挥了积极作用，为我国机器人产业培育了大量的卓越工程师和优秀创业企业家。大赛目前含有 ROBOCON、RoboMaster、ROBOTAC 三大竞技赛项，每年参与高校 400 余所，覆盖本科、高职院校学生近万人，已成为国内技术综合性强、影响力大的大学生机器人赛事。

本刊特开辟机器人比赛栏目专题，陆续刊登由全国大学生机器人大赛组委会提供的有关赛事方面的相关文章，本期刊登由北京科技大学研究员王旭博士撰写的《竞技机器人比赛裁判原则与技术》一文，文章从全国大学生机器人大赛相关赛项的主题与规则、裁判技术、赛事特点等内容进行介绍，让读者更深入地了解这个具有 20 年发展历史、大量突出成果的工程实践育人平台。

竞技机器人比赛裁判原则与技术

◆ 王 旭
（北京科技大学，北京，100083）

摘 要

基于全国大学生机器人大赛三个竞技型赛事特点，本文介绍竞技型机器人竞赛的裁判执裁原则，并从技术及功能方面分析比赛裁判系统，阐明机器人竞赛裁判系统的开发使用，以有效减少人工裁判的误判、漏判现象，提高比赛的公平性和观赏性，为各类工程实践、机器人竞赛裁判工作的开展提供借鉴。

关键词：机器人大赛，ROBOCON，ROBOMASTER，ROBOTAC，创新创业

0 引言

机器人竞赛是推动机器人技术研发、培养机器人技术工程师的重要方式。由于机器人技术具有学科交叉性强、技术前沿变化快、工程实践性强等特点，使得机器人竞赛的规则设计、裁判执裁工作具有较高的专业性和复杂性。

在规则设计方面，需要融合技术导向、工程实现、安全限定、可比性、博弈均衡、可观赏性、背景文化等诸多因素。在裁判执裁方面，在深入理解规则设计内涵的基础上，需要充分认识到机器人竞赛在“竞赛”和“技术”、“人”和“机器”多方面的交叉结合：在“竞赛”维度寻求和其他体育竞技方面的共性优点，吸收借鉴其他比赛的优秀成果，在“技术”维度体现对机器人方案设计、工程实践的解读；对于比赛参与对象的“人”和“机器”，需要站在不同的视角进行综合观察和评价，做出相应的判断。同时，作为一项技术性赛事，将新技术工具用于机器人竞赛的裁判工作，特别是具有对抗性特点的竞技机器人比赛，是赛事设计者们研究的一项核心内容。竞技机器人比赛规则设计关键元素见图 1。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

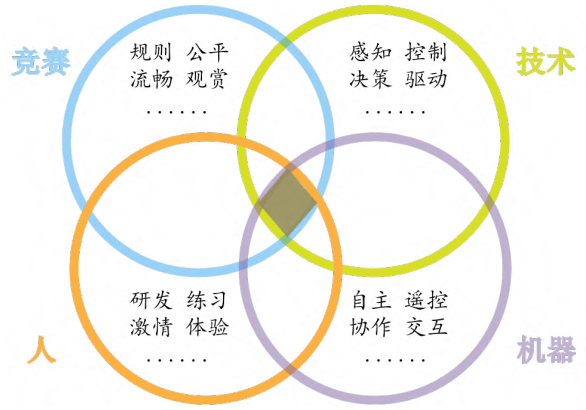


图 1 竞技机器人比赛规则设计关键元素

1 竞技机器人比赛执裁原则

为了适应机器人技术交叉性、前沿性带来的变化性特点，不断引导参赛者在设计方面进行创新、技术方面取得突破，高水平的竞技机器人比赛规则通常更新变化快，体现在机器人的任务设计、技术要求、比赛用品、比赛场地等方面的内容更新。就像机器人新产品的开发一样，创新性和完备性往往存在一定矛盾："1.0 版"的规则发布后，经过反复持续的参赛者问询、设计者验证，规则经常需要多次的"补丁"，创新者需要习惯这种"试错与迭代"模式。基于以上这些特点，提出以下 4 个竞技机器人比赛执裁原则。

1.1 有"法"可依

作为赛场上的"根本大法"，比赛规则需要得到充分地尊重、严肃地对待。规则设计者需要尽可能让所有执裁中需要判断的情况都对应到规则的文字描述范围内，即让规则覆盖赛场上绝大多数可能出现的情况。需要特别说明的是，这里的规则包括以下 3 部分内容。

（1）最新修订版的比赛规则。

修订版的比赛规则需要有修订明细表，说明规则编号、修订要点、修订时间等内容，便于参赛者理解。

（2）赛前说明会后发布的"问答汇总"

规则设计者需要建立规则问询渠道，回复并发布参赛者针对规则提出的有关问题。一方面是协助参赛者理解规则、消除误解，另一方面也是促进规则设计者对规则的修订与完备。赛前说明会上集中对参赛者提出的问题进行回复，并做好详细完整的"问答汇总"记录，最后公开发布。

（3）裁判工作实施细则。

裁判工作实施细则是裁判组发布的比赛期间的具体执裁细则，包括检查、计分、判罚等细节和判断方式，作为执裁者和参赛者共同遵守的依据。

规则制定完备的一个标准是对比赛规则中任何问题的回应，都能以"比赛规则"、"问答汇总"、"裁判工作实施细则"这 3 个文档中发布的文字为依据。因此，提问、回答、申诉争议，都应该注明"根据比赛规则（问答汇总或裁判实施细则）x.x"所述，说明问题涉及的规则出处，以提高沟通效率。

1.2 违"法"必究

对违规者的宽容则是对守法者的不公平。虽然高水平竞技机器人比赛的技术难度高、准备周期长、投入精力大，但是赛事裁判不能以这些特点为理由，对违规者放松要求；另一方面，在紧凑激烈的比赛进程中，赛事裁判也不能以比赛进程、时间进度为理由将可以定量判断的"严重犯规"按"大事化小"处理。一旦发现或收到申诉的犯规行为，经过查实，在申诉期内裁判必须按规则进行相应的处理，不得以任何理由放弃、推迟处理。

1.3 知错就改

无论是人工裁判还是裁判技术系统，都存在出现偏差和错误的可能。执裁工作必须建立明确且公开的反馈及纠错机制。一旦发现错误，在申诉期内须根据已公布的申诉流程、依据规则对应细则进行相应处理，即使暴露出裁判执裁工作的疏漏、失误、错误，也要坚决纠正。

1.4 自由裁量权

面对千变万化的比赛情况，规则总会存在"未加限定"或需"定性判断"的情况。比赛规则中通常会通过"最终解释权"赋予执裁者"自由裁量权"。对于竞技机器人比赛规则的自由裁量权，应该遵循以下 3 项原则。

（1）以保障参与者安全为原则。

为了取得竞争优势，竞技型机器人在技术上往往追求更快的速度，更强的驱动，所以机器人的设计必须保证不对现场参与者，包括本方操作者、对手、裁判、观众造成安全威胁。

（2）以尊重公平竞争精神为原则。

赛场竞技不能违背竞技精神。如何判断某一行为是否违背竞技精神，属于主观定性判断。对于这一原则，执裁者可以以"解答、处理结果可以被记录、被公开"为判断依据。

（3）以鼓励创意创新、技术进步为原则。

在不违背"安全和公平竞争"两条原则的基础上，可遵循"法无禁止即允许"的准则，鼓励创意创新、鼓

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

励开拓尝试，在赛场上呈现出多样的、出人意料、超越平凡的设计，有利于促进交流与创新。

2 竞技机器人比赛裁判系统

裁判工作是实现竞技赛事的竞争性、公平性、规则约束性的重要保障。在体育竞技中，由于运动员速度、力量、技巧、团体协作等方面水平的不断提升，通过技术手段辅助裁判判断的需求与日俱增。随着计算机、传感器、人工智能等技术的快速发展，越来越多的技术设备被用于竞技体育赛事，比较熟知的有电子计时器、抢跑提示器、“鹰眼”、门线技术等，这些技术的使用对竞技体育的公正性、裁判执裁效率的提高都起到了很好的促进作用。各类体育运动项目中首次使用的技术装备统计见表 1。

表 1 各类体育运动项目中首次使用的技术装备

年份	运动项目	比赛	技术装备
1931	击剑（重剑）	奥运会	电动裁判器
2004	击剑（佩剑）	奥运会	无线电动裁判器
2006	网球	美国职业网球赛	“鹰眼”系统
2008	跆拳道	亚洲跆拳道锦标赛	电子护具
2010	足球	欧洲冠军杯	门线技术
2018	足球	世界杯	视频助理裁判
2019	艺术体操	世界艺术体操锦标赛	竞技体操辅助打分系统
2022	花样滑冰	冬奥会	花样滑冰人工智能辅助评分系统
	自由式滑雪		人工智能裁判与教练系统

不同于体育竞技，机器人比赛的赛场面对的是自动运行或遥控操作的机器人，除了任务设定，机器人一般不能感知到人工裁判的指令；另一方面，竞技机器人完成任务或发生对抗时，会和比赛场地、比赛用品、对方机器人产生交互作用，这种交互发生的速度往往很快、冲击力很强，存在一定的危险性；再有，作为一项机器人赛事，执裁过程中不能有太多人为干预，这样会影响比赛的连贯性；同时执裁的结果又需要及时在现场公布，以便观众能够实时掌握比赛的状态。这些因素综合起来对竞技机器人比赛裁判系统提出了很高的要求，主要体现在以下四方面。

（1）保障公平。

裁判系统的执裁标准可以量化，执裁尺度要统一，避免出现误判、漏判等现象。

（2）提高效率。

通过系统实现自动判罚与结果输出，提高执裁效率。

（3）连贯性。

裁判系统在工作过程中可以直接对场上的机器人、比赛用品发出指令或自动记录得分情况，这样减少了人工干预，保障比赛顺畅连贯。

（4）观赏性。

裁判系统可将比赛状态数据实时输出，并将数据导入直播系统，系统可以进行比分显示、舞台效果控制（获胜时灯光闪烁等效果），提高比赛的沉浸感和观赏性。

2.1 裁判系统功能

自 2015 年开始，全国大学生机器人大赛（CURC）在 ROBOTAC、RoboMaster、ROBOCON 几个赛项上进行了实践探索，针对比赛的特点及规则，开发出相应的裁判系统。综合几个赛项的共性因素，竞技机器人比赛裁判系统一般分为感知、传输、判断、显示 5 个功能模块。

2.1.1 感知模块

裁判系统的感知模块主要是对机器人自身状态、机器人与场地交互信息、机器人与比赛物品交互信息的采集，这些信息是比赛进程和状态的判断依据。

（1）机器人状态。

以 ROBOTAC 和 RoboMaster 比赛为例，二者的规则设计是以多人在线战术竞技（MOBA）游戏为基础，机器人的任务及对抗方式也与游戏类似。因此机器人自身状态的主要数据是“编号”和“血值”，表明在对抗状态下不同机器人的生命值 HP（Hit Point）。机器人一般安装有以加速度或力传感器为检测元件的生命柱，通过加速度变化率或作用力测量外界的击打力量。比赛过程中，若测量值超过阈值则判定攻击有效，则本方机器人“减血”，模拟物理伤害。减血状态通过 LED 灯的颜色变化、灯柱长短、生命柱亮灭等进行显示。图 2 是 ROBOTAC 竞赛机器人的生命柱。

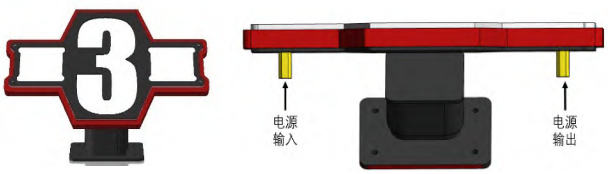


图 2 ROBOTAC 竞赛机器人生命柱

（2）机器人与场地。

机器人在比赛场地中的位置是比赛的一项重要信息，

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

因为它会影响机器人操作比赛物品、机器人之间交互、给操作手提供坐标反馈等方面。ROBOTAC 和 RoboMaster 均使用超宽带技术（UWB），采用二维定位的方式在比赛场地之外放置定位信号基站，通过信号的到达时间差（TDOA）测得场地内机器人精确的位置信息，实现机器人的全场定位，定位原理如图 3 所示。

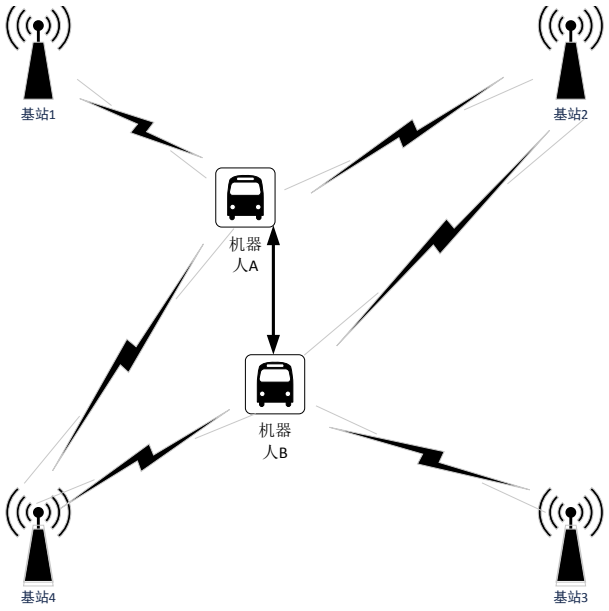


图 3 基于 TDOA 的定位原理示意图

（3）机器人与比赛用品

机器人完成任务或跨越障碍需要与比赛道具进行交互。例如，需要感知到机器人击打的堡垒、能量机关等比赛道具，其工作原理和生命柱相似；对于通道中的道闸、升降门开关，需要机器人设计有相应的手抓和执行机构进行操作；机器人在“加血区”进行“加血”时，需要通过射频识别（RFID）或 UWB 技术进行相对位置的标定。

2.1.2 信息传输模块

机器人感知模块中采集到的各类信息，需要传输到裁判系统中进行综合处理，竞技机器人比赛一般采用无线传输方式。基于稳定性、数据容量、采样周期、通信距离、使用频段、组网等要求，无线传输方式通常采用 Wi-Fi 方案。

RoboMaster 比赛中还会将机器人视角下的图像信息，通过无线图传传输到操作者的电脑上，使操作手可以用第一人称视角（FPV）进行机器人操作。在电脑的操作界面上，还会叠加有机器人的状态、位置、时间、对阵、赛场情况等赛事信息。

2.1.3 计算判断模块

信息感知和传输模块一般是安装在机器人和比赛用品上的硬件设备，计算判断模块则是集成在裁判系统中的上位机软件。软件的前端主要功能是进行通信配置、比赛控制、结果显示，后端则是将赛场上收集的各单元状态信息进行综合处理，根据规则设定的判定原则，对机器人的得分、状态、胜负进行自动判定与数据存储。

例如，ROBOTAC 比赛控制界面可以实现选择比赛类型、手动加减分、选择学校、选择道具的组别、控制投影显示、比赛的开始 / 停止等配置和控制功能，如图 4 所示。



图 4 ROBOTAC 比赛控制界面

另外，ROBOCON 比赛常使用的场景是：人工裁判通过多个摄像头分别观察记录不同的得分点与得分，从操作终端将数据传输到裁判系统汇总，根据规则设定的得分条件，自动计算出比赛双方的最终得分，并显示在软件中场地对应的得分点位置，从而提高判断的效率和准确性。图 5 为 2021 年在中国举办的第二十届 ABUROBOCON 机器人比赛中使用的裁判计分汇总软件界面。

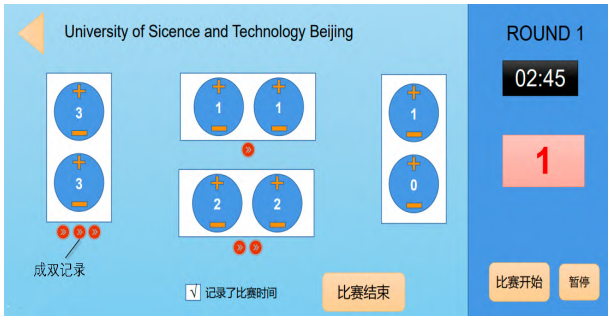


图 5 2021ABUROBOCON 比赛信息计分汇总界面

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.1.4 效果呈现模块

竞技机器人比赛不仅场地大、机器人数量多、得分点分散，同时还要求机器人和场地道具的所处状态、比赛时间、得分情况能够实时显示在比赛现场的大屏幕和直播画面上，便于裁判掌握和观众理解。

RoboMaster 比赛充分借鉴了电竞游戏设计，将对阵信息、比赛时间、得分状态、机器人位置、比赛状态等信息叠加到比赛视频实时画面中，具有很好的视觉效果。图 6 是 RoboMaster 比赛实况画面。



图 6 RoboMaster 机器人比赛实况画面

RoboMaster 赛事通过利用增强现实技术（AR），对视频画面中的机器人进行信息标注和动态显示，将“血量”值叠加到机器人的运动画面中，这样有利于赛事进程和效果呈现。叠加 AR 血条显示的 RoboMaster 比赛画面见图 7。



图 7 叠加 AR 血条显示的 RoboMaster 比赛画面

另外，比赛结束后，根据裁判系统记录的各类信息，还可以显示出参赛双方的各类技术统计，便于选手和观众的理解以及对比赛信息的掌握。赛后技术统计如图 8、图 9、图 10 所示。



图 8 RoboMaster 赛后技术统计

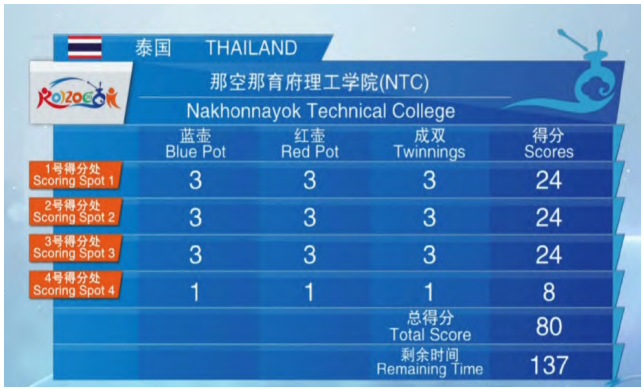


图 9 ROBOCON 赛后单场技术统计



图 10 ROBOCON 赛后综合排名统计

2 .1.5 视频助理裁判

为避免因裁判系统不稳定或人工裁判观察不清晰导致的问题，竞技机器人比赛一般设置有视频助理裁判岗位（VAR），通过视频监控并全程记录比赛中的关键得分位置、关键得分机器人等重要内容。当有比赛争议、申诉情况时，裁判通过调取相应场次的比赛视频，可进

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

行多角度、慢镜头回放，作为判罚的参考依据。

综合以上功能，一套完整的竞技机器人裁判系统架构如图 11 所示。

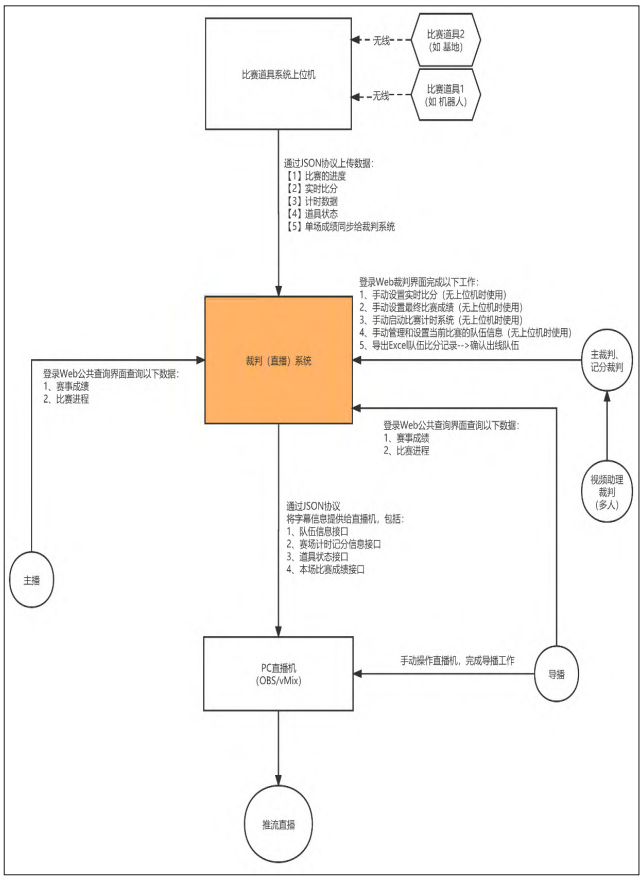


图 11 竞技机器人裁判系统架构

2.2 裁判系统发展趋势

通过软硬件结合方案，建立机器人、比赛用品、数据中心网络连接的裁判系统，实现了比赛中各机器人、比赛道具状态通过无线方式与裁判系统上位机的实时通信，具有显示比赛状态和自动记录判罚的功能，减少人工裁判的误判、漏判现象，有效地提高了比赛的公平性和观赏性。

竞技机器人比赛裁判系统未来的发展是对如何营造一个“公平、高效、有趣、热血”的参与体验氛围进行不断探索，具体体现在以下几个方面。

（1）将可量化的判罚自动化。

结合技术的进步，尽可能将规则中的定量描述（例如得分、到达位置、有效击打、成功取放物品等），通过建立量化标准、完善算法，经过数据采集、计算判断，自动得出准确的判罚结论。

（2）不可量化的判罚数据化、智能化。

对于一些需要主观的、定性的判断（例如故意、阻挡、安全隐患、异常状态等），通过丰富学习数据库，优化判断算法，给出判断结论，供人工裁判参考。

（3）网络化连接参与者。

比赛不仅关注输赢，还应该重视参与者在比赛过程中的体验。裁判系统产生的各类数据可以和直播画面、现场舞台效果控制结合，将灯光、声音、视频等表演性元素融入更多艺术化、仪式感的设计；还可以和观众佩戴的智能硬件连接，将比赛状态数据、观众参与进行互动性设计，让参与者沉浸、投入其中，点燃激情、释放热爱。

3 科技与人文

无论是竞技体育还是竞技机器人赛事，规则中所提到的“当裁判员认为时”，都不可避免地需要依靠人的主观判断，当面对哨令“可吹可不吹”的情形，该如何进行恰当的选择？



图 12 2021ROBOTAC 线上执裁

在跆拳道比赛中，选手通常会佩戴电子护具，然而有些选手为了“适应”感应器的分布会提取练习专门的踢击方法，目的是让电子系统错判踢击力度，这显然违背了这项技术的使用目的，这种行为应该如何避免？

一场机器人之间的竞赛，其结果是否只是数据的汇总和模型的计算？在机器上运行的裁判系统是否会受到黑客的攻击？裁判系统是否会被开发者植入“后门”，留下作弊的空间？

人类的想象无限，但技术的发展会有局限性，在充满创造性和不确定性的竞技比赛中，高水准的判罚需要对比赛具有“深度解读”的能力，在“公平性、判罚效率、连贯性、观赏性”方面努力做到平衡。正如人们所说：“一个好的裁判不仅仅是执法者，也是艺术家，这也正是机器裁判和人工裁判的追求目标”。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net