

封面

人工智能在乒乓球模拟数据分析中的应用

主题方向：中国科创

专业领域/方向：计算机/体育

适用课程：智能体育工程、计算机

作者姓名：巫英才 谢潇 王伽臣 邓达臻 周正 张辉

工作单位：浙江大学计算机科学与技术学院

中国专业学位案例中心

2024 年 3 月 13 日

案例正文

人工智能在乒乓球模拟数据分析中的应用*

巫英才 谢潇 王伽臣 邓达臻 周正 张辉

摘要：乒乓球是一项速度快、技术细腻、对抗性强的拍类运动，在全球范围内有着庞大的群众基础。为了不断提升球员在比赛中的表现，诸多研究者致力于研发更高效、精准的数据分析技术来帮助球员挖掘潜在技战术模式，制定克敌制胜的策略。乒乓球的技战术分别由技术和战术组成，技术由每一次击球时的击球落点、击球身位、击球技术、击球效果等多种属性组成，每种属性包含数十种属性值，而战术则由连续三次击球组成。因此乒乓球的技战术模式结构复杂、类别多样，为模拟数据分析带来了巨大的挑战。人工智能技术通过其强大的数据处理能力、模式识别能力、个性化分析能力和实时反馈能力等特点，可以有效促进乒乓球模拟数据分析方法的发展。本案例梳理了传统的乒乓球数据分析技术方法所面临的挑战，说明了人工智能技术对乒乓球模拟数据分析的提升，并基于乒乓球顶级运动员的比赛数据进行应用示范，为学生学习人工智能+体育领域的研究提供了夯实的基础。学生们可以根据本案例深入研究人工智能+体育的应用场景。

Abstract : Table tennis is a fast-paced, technically intricate, and highly competitive racket sport with massive involved players. In order to enhance players' performance in matches, numerous researchers have contributed to developing more efficient and precise data analysis techniques to help players uncover potential technical and tactical patterns and devise strategies for victory. The technical and tactical aspects of table tennis consist of various attributes, with technical attributes including attributes such as the stroke placement, position, technique, and effectiveness of each stroke, each of which encompasses dozens of attribute values, while tactics are composed of sequences of three consecutive strokes. Therefore, the complex structure and diverse categories of technical and tactical patterns in table tennis pose significant challenges for simulation data analysis. Artificial intelligence technology, with its powerful data processing capability, pattern recognition ability, personalized analysis capability, and real-time feedback capability, can effectively promote the development of simulation

* (1)本案例系教育部学位与研究生教育发展中心 2022 年主题案例项目成果(项目名称: 新一代人工智能科教平台——智海平台建设及实践应用案例研究; 项目编号: ZT-221033516; 首席专家: 潘云鹤);

(2)本案例复制权、发表权、信息网络传播权等相关权益由教育部学位与研究生教育发展中心依法享有, 如有相关需要, 请取得教育部学位与研究生教育发展中心授权;

(3)本案例只供课堂讨论之用, 并无意暗示或说明某种行为是否有效。

data analysis methods in table tennis. This case study clarifies the challenges faced by traditional table tennis data analysis techniques, illustrates the improvement of table tennis simulation data analysis by artificial intelligence technology, and demonstrates its application based on match data of top table tennis athletes, laying a solid foundation for students to explore the intersection of artificial intelligence and sports research. Students can delve into the application scenarios of artificial intelligence in the field of sports based on this case study.

关键词：乒乓球、人工智能、模拟分析

Keywords : Table Tennis, Artificial Intelligence, Simulation Analysis

作者信息：巫英才，浙江大学计算机学院教授，副院长；谢潇，浙江大学教育学院研究员；王伽臣，浙江大学计算机辅助设计与图形系统国家重点实验室研究员；邓达臻，浙江大学软件学院研究员；周正，浙江大学教育学院研究员；张辉，浙江大学教育学院教授。

引言

体育是社会发展和人类进步的重要标志，是综合国力和社会文明程度的重要体现。2022 年，习总书记指出“建设体育强国，必须实现高水平的体育科技自立自强”。近年来，人工智能技术的创新突破为体育事业的发展带来了巨大的机遇。大量科技助力奥运夺冠成功的事例都已经证明利用好人工智能技术是提高训练水平、竞技能力和比赛成绩的重要方法。

乒乓球是我国的国球。然而，近年来，日、韩、德等主要竞争对手的水平不断提升，我国亟需运用人工智能和大数据等新技术，提高国乒队的备战水平，力保优势项目长盛不衰。该案例将展示一个乒乓球的典型应用，即如何使用人工智能技术辅助完成乒乓球模拟数据分析。

1. 乒乓球模拟数据分析

1.1 概述

乒乓球是一项速度快、技术细腻、对抗性强的拍类运动，在全球范围内有着庞大的群众基础。为了不断提升球员在比赛中的表现，诸多研究者致力于研发更高效、精准的数据分析技术来帮助球员挖掘潜在技战术模式，制定克敌制胜的策略。乒乓球的技战术分别由技术和战术组成，技术由每一次击球时的击球落点、击球身位、击球技术、击球效果等多种属性组成，每种属性包含数十种属性值，而战术则由连续三次击球组成。因此乒乓球的技战术模式结构复杂、类别多样，为数据分析带来了巨大的挑战。最早的关于乒乓球数据的研究可以追溯到 1963 年，吴焕群[1]提出了最经典的乒乓球战术分析方法——三段法。自此，学者们提出了各类的乒乓球数据分析方法，包括基于视频的分析方法、基于指标的分析方法和基于标记的分析方法等。这些分析方法为球队的赛前备战和日常训练提供了许多有价值的见解。

模拟分析在乒乓球数据分析中发挥着重要作用。首先，模拟分析可以帮助教练和选手更好地理解乒乓球比赛中的战术和策略。通过模拟分析，可以模拟不同的比赛情境，包括不同的对手风格、球路和速度等因素，从而帮助选手制定更有效的战术。其次，乒乓球比赛中，对手的战术和策略常常会发生变化，选手需要具备良好的应变能力。通过模拟分析，可以模拟不同的对手反应和战术调整，帮助选手在比赛中更快地作出正确的应对。综上所述，模拟分析对于乒乓球运动的重要性不言而喻，它不仅可以帮助提高选手的技术水平和比赛表现，还可以为教练和选手制定有效的训练和比赛计划提供重要的参考依据。

然而，传统的乒乓球数据分析方法难以完成乒乓球模拟数据分析。根据专家访谈，传统分析方法主要通过 Microsoft Excel 这一软件来对多场比赛数据进行

战术分析。首先，领域专家会根据特定的属性和指标来对所有战术进行过滤和排序，从而找到他们感兴趣的战术。然后，他们会检查特定的属性值，包括技术属性和上下文属性，以评估具体战术的表现。紧接着，他们会将类似的战术和相关的拍的表格型数据放到一起，以便他们找出特定战术表现好/坏的原因。最后，他们会手动回放相应的战术视频来验证他们的分析，并将相关视频剪辑出来以便给教练讲解他们战术分析过程中得到的见解。专家指出，这个工作流程在执行的时候十分耗时且容易出错，因为他们必须面对大量由文本和数字记录的表格型数据。并且，该传统分析方法主要面向的是历史数据的分析，难以支持模拟这一具有前瞻性的分析任务。

人工智能技术通过其强大的数据处理能力、模式识别能力、个性化分析能力和实时反馈能力等特点，可以有效促进乒乓球模拟数据分析方法的发展，为运动员和教练提供更加科学、准确和个性化的数据支持和指导。具体地，人工智能技术对乒乓球数据模拟分析的增强可以体现在三个方面：1) 设计数据驱动的乒乓球模拟模型，提高乒乓球模拟结果的精度；2) 设计面向乒乓球模拟过程的可视表达，提高乒乓球模拟过程的可解释性；3) 设计面向乒乓球调整策略的人机交互，加速发现最优乒乓球调整策略的分析过程。

1.2 乒乓球数据特点

乒乓球是一项对抗性运动，一般包括两名(单打比赛)或者四名(双打比赛)球员，在球桌上用球拍轮流击球。以单打项目为例，乒乓球单打比赛通常采用七局四胜制，即每场比赛包含四至七局比赛。在每一局比赛中，首先赢得 11 个回合的球员获胜(特殊情况除外)。在每个回合中，两名球员轮流击球，直到一名球员未能成功回球，使得另一名球员获得回合胜利。具体的数据结构如下：

拍：一拍是指一名球员用球拍击球一次的动作。在乒乓球数据分析中，比赛中的每一拍都作为比赛的基本分析单元被详细地记录了下来，同时记录了每拍的多种拍属性用于支持深入的战术分析[1]。通常，一场乒乓球比赛包含数百拍，每拍大约包含 20 个属性。专家将这些属性分为两个类别(如图 1 所示，即技术属性和上下文属性)。其中，技术属性描述每一拍的技术特点，包含击球落点、击球技术、击球身位、击球旋转以及击球球员。而上下文属性记录了一个回合的比赛环境，包括击球 ID(由比赛 ID，局 ID，回合 ID 以及拍 ID 组成)、当前比分、击球态势、击球效果。这些属性是评估战术效果的重要指标。

技术属性	
击球落点	球在球桌上的落点
击球技术	球员用于击球的技术
击球身位	击球时球员的身位
击球旋转	球被击出后的旋转类型
击球球员	击球的球员

上下文属性	
击球编号	每一拍的编号，包括这一拍在回合中的编号以及其所在的回合、局以及比赛的编号
比分情况	每一拍的比分情况，如果在此拍前没人得分，则这一项不会改变，否则两名球员中的某一位的得分会加一分
击球态势	每名球员击球时的态势，包括发球态势、接发球态势、进攻态势、防守态势、相持态势以及控制态势
击球效果	每一拍打出去后的效果，1为最好，7为最差

图 1 乒乓球中的拍属性定义

战术：战术能够揭示球员的打法策略。一个战术包含三个连续的拍[2]（如图 2 所示）。具体而言，如果一名球员想使用一项战术，他/她会先打出第一拍给对手，诱导其使用特定的技术属性将球击回。如果对手被成功诱导，他/她可以在第三拍中使用预先准备好的技术属性来接球，以完成他/她的战术。此时，如果第三拍直接得分，那么战术就是成功的。否则，第三拍会继续引导球员的下一个战术。因此，战术的属性由三个连续的拍的技术属性组成。

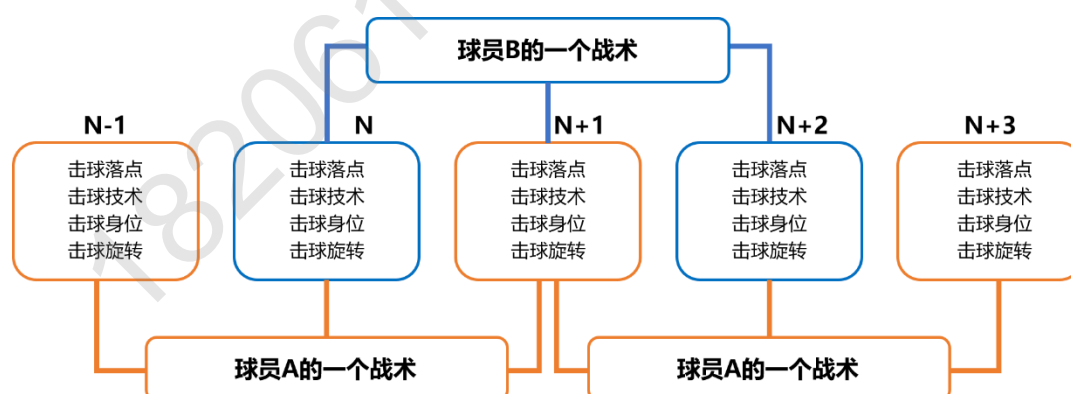


图 2 乒乓球中的战术定义和技术属性结构

战术调整策略：战术调整策略是指改变一名运动员的战术使用方法的策略。分析师通常会通过改变球员的技术属性（图 1）来进行战术调整。例如，在模拟比赛过程中，分析师会先提升球员在发球时使用逆旋转技术（一种发球技术）的比例，然后查看这样的调整是否可以提高该球员的获胜概率。当然，除了单个属性，分析师也会在模拟过程中同时改变多个技术属性，以查看不同战术调整策略对比赛胜率的影响。

1.3 乒乓球模拟数据分析需求

经过整理与分析，乒乓球模拟数据分析有着以下三方面需求，分别是模拟数据导航、模拟任务探索和模拟过程解释。

模拟数据导航可以帮助专家对他们想要分析的球员有一个整体的了解，从而促进分析过程的进行。具体包括：

- 1) 每位球员的比赛有哪些？对应的比赛结果是什么？当专家选择想要分析的数据时，他们会首先选择他们感兴趣的球员，并回顾他/她参加过的比赛的结果。通常，他们倾向于分析对抗激烈（比分接近）的比赛或能够揭示球员特点的比赛。
- 2) 某位球员的打法是什么？比赛中的关键战术是什么？一名球员的打法本质上是由他/她最常使用的战术类型和他/她得分最多的战术类型所决定的。这些信息可以为分析人员进行模拟分析时提供参考，以便在进行不同战术调整时提高调整的可行性。例如，如果一名球员常用的 A 战术得分率很低，那么专家将期望通过降低 A 战术的使用频率来提高球员的整体胜率。除了提供参考之外，球员的打法和关键战术对解释模拟结果也是十分重要的。

模拟任务探索可以帮助专家通过交互的方式将他们的经验和领域知识整合到战术调整的过程中，并增强战术调整策略的可行性，具体如下：

- 3) 哪些类别的拍最值得调整？一名球员可能存在很多需要调整的拍。但是，专家不可能依次将每种类型的拍都调整一遍来检查不同调整方法的效果，他们希望能快速找到关键的拍，这些拍对于提高整体比赛表现具有很重要的作用。这样可以帮助他们大幅缩短寻找最佳战术调整策略所需的时间。
- 4) 战术调整策略的效果如何？战术调整策略的可行性如何？为了评估具体的战术调整策略，专家需要知道战术调整策略的效果和可行性。具体而言，效果就是最终比赛获胜概率的增加/减少的量，可行性就是在实际情况中应用某个战术调整策略的难度。

模拟过程解释可以帮助专家理解比赛模拟的过程，解释战术调整之后的结果，并向选手讲解战术调整过程中获得的见解来提高他们的表现，具体如下：

- 5) 一个战术调整策略如何影响比赛中的技术和战术？由于战术调整策略对后续技战术的影响，专家需要了解特定战术调整策略效果好/坏的原因。例如，在回合的第二拍提高进攻性技术——快攻的使用率可以提升比赛胜率，是因为这样的调整可以进一步提高后续进攻性技术和战术的使用率，从而可以轻松提高最终的比赛胜率。

- 6) 如何在实践中运用某一个战术调整？当发现一个效果好的战术调整策略时，专家们期望了解如何在实际比赛场景中运用该调整策略，以便他们可以将其传达给球员。具体而言，专家需要检查战术调整后的技术和战术与调整之前的技术和战术之间的关系，从而为玩家提供实际的解决方案（例如，要在第三拍提高快攻的使用率，则需要使用钟摆发球技术来发球）。

2. 人工智能在乒乓球领域的应用现状

2.1 乒乓球战术分析方法

战术在乒乓球数据分析中占据重要地位，近年来，越来越多的研究开始专注于乒乓球战术分析。传统分析方法主要基于统计指标对乒乓球战术进行量化的评估。Tamaki 等人[3]使用了击球次数这一指标来评估不同乒乓球战术的有效性。Pradas 等人[4]则从乒乓球回合持续时间出发评价与比较乒乓球战术的有效性。一种基于乒乓球经典三段法的方法[2]，将乒乓球击球回合划分为发球阶段、接发球阶段以及相持阶段，并统计出每个阶段的相关统计指标进行多角度的乒乓球战术有效性的评估。Wu 等人[5]分析了运动员在比赛中使用的重要战术的演化过程。这些方法都从不同方面揭示了乒乓球战术的价值与有效性，但是这些经过人为选取的指标往往只能反映乒乓球战术的局部特征。因此，一种方法[6]尝试使用频繁子序列挖掘的技术去自动检测比赛中最常使用的战术并评估他们在比赛中的效果。尽管这些战术分析方法帮助研究人员发现了许多有价值的见解，但教练和球员很难信任和接受这些方法，因为其中复杂的数学模型难以理解。此外，这些基于数学模型的方法是针对特定的战术分析任务设计的，例如评估比赛中的战术表现、找出最关键的战术等，可能无法处理复杂的战术分析任务并挖掘出不规则的异常战术运用模式。

在此基础上，部分乒乓球分析方法选择了更细的分析粒度，尝试对每一拍都进行评估。目前的拍评估方法可以整体分为两类：视频驱动的方法、数据驱动的方法。起初，视频驱动的方法由于其直观易行，被分析师广泛采用。分析师会以各种方式来剪辑并组织击球相关的视频片段，并根据自己的专业知识反复观看视频片段来评估球员的击球表现。而数据驱动的方法则要求分析师事先从视频中采集关键的击球属性，然后使用统计指标和模拟模型来评估击球表现。比如，Wang 等人[7]通过采集视频中球员和球在每一帧时的位置数据来分析球员在比赛中的预判行为。虽然这些方法已经帮助分析们发现了许多深入的见解，但是它们非常繁琐且耗时，因为它们需要分析师耗费大量时间来对视频进行反复查看或者从视频中采集关键数据。此外，这些方法对于专家知识的依赖非常高，普通的分析人员很难通过这些方法来进行击球表现的分析。最新的前沿工作提出了一种自动化

的乒乓球击球表现评估框架[8]。该框架通过反绎学习技术将专家知识和机器学习模型进行有机融合，高效、准确地基于视频来对球员在比赛中的每一次击球进行评估。

2.2 比赛模拟与预测方法及其在乒乓球领域的应用

针对竞技体育比赛的预测分析与模拟分析逐渐成为研究热点。例如，一种方法[9]使用了马尔可夫过程对篮球比赛情境进行建模，并结合多元逻辑回归进行比赛结果的预测。然而，该类模拟预测方法直接得到了预测结果而忽略了比赛过程，缺乏可解释性，可用性较低。为了模拟乒乓球比赛的过程，Pfeiffer 等人[10]以及 Wenninger 和 Lames[11]提出了一个基于一阶马尔可夫链的乒乓球比赛模拟模型。这个模型是乒乓球比赛模拟分析领域的一个重要方法，它通过马尔科夫链的转移矩阵来模拟乒乓球比赛中拍与拍之间的状态转移特性。然而，由于马尔可夫性，这个模型无法对乒乓球比赛中的战术进行有效的建模。因为乒乓球中战术是由连续三拍组成，三个状态间的联系无法由一个一阶马尔科夫链模型来建模。因此，最新的领域研究[12]提出了一个混合二阶马尔科夫链模型，该模型通过对比赛进行精准划分并使用两个状态转移矩阵来充分模拟一场乒乓球比赛，包括比赛中的战术效果。与此同时，现有的模拟分析工作大多使用复杂的数学模型进行分析，而不采用任何可视分析方法或其他交互方式。因此，专家在探索模型空间和确定有意义的模式方面仍然感到十分困难。该工作进一步基于混合二阶马尔科夫链模型设计并开发了一个模拟可视分析系统。该系统提供了一个交互式界面可以帮助分析师灵活探索各类模拟任务，获取战术调整的最优策略，同时，该系统通过可视化比赛模拟过程来帮助解释模拟结果。

2.3 体育数据可视化方法及其在乒乓球领域的应用

近年来，体育数据可视化已成为热门的研究方向。在足球领域，研究人员研发了诸多高效的可视化工具来分析足球比赛中的团队战术（例如足球阵型、传球战术和跑动轨迹）、成绩排名、比赛视频、关键事件以及比赛表现。此外，篮球作为另一项热门运动也得到了广泛研究。在篮球领域，研究人员通常会对球员的空间移动特征进行分析来研究球员的投篮能力、防守能力、跑动模式以及得分预测。而在乒乓球领域，也有不少可视化的相关工作。Wang 等人[13]提出了一个基于图标的乒乓球技战术可视挖掘系统——Tac-Miner。该系统通过基于语义的战术投影和可交互战术图标帮助分析师进行战术风格的发掘，同时支持不同战术效果之间的对比分析和关联分析。此外，Wang 等人提出了一种 IoT+VA 的智能训练系统——Tac-Trainer[14]，帮助教练员精准检测并自动优化训练过程。Lan 等人[15][16]分别就乒乓球比赛的模拟分析和不同回合之间的排序列对比两个任务开发了两个可视分析系统 SimuExplorer 和 RallyComparator。Chen 等人[17]提出了一种乒乓球视频的增强方法，用于制作更生动、直观的乒乓球讲解视频。然

而以上这些可视化的系统和方法均面向乒乓球历史数据的分析,无法直接被用于乒乓球的比赛模拟任务中。

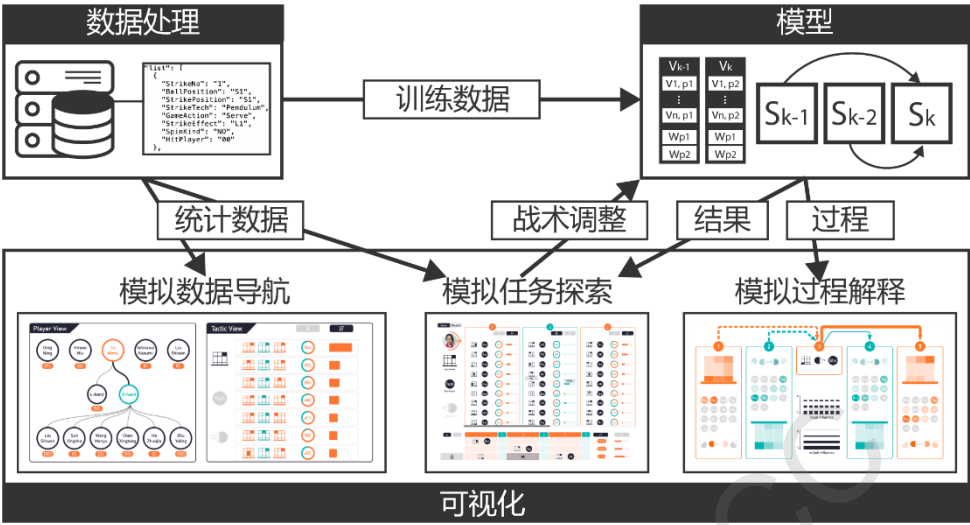


图 3 乒乓球模拟数据分析流程

3. 基于人工智能技术的乒乓球模拟数据分析

3.1 概述

根据图 3 所示,基于人工智能的乒乓球模拟数据分析包括数据处理、模型建立和可视化三个关键模块。首先是数据处理模块,其任务是从原始数据库中提取所需的属性数据,并为比赛建模和前端可视化提供数据接口。其次是模型模块,它利用数据处理模块提供的数据为每位球员建立混合二阶马尔可夫链模型,以进行准确的乒乓球比赛模拟。最后是可视化模块,该模块是模拟可视分析的系统界面,包括模拟数据导航、模拟任务探索和模拟过程解释三个部分。在模拟数据导航部分,专家可以找到感兴趣的数据集和战术,以便进行进一步分析。在模拟任务探索部分,用户可以灵活调整战术。一旦某一战术被用户调整,模型模块将接收到该调整策略并实时地将模拟结果发送回模拟任务探索部分进行可视化,以便辅助对比和评估。最后,在模拟过程解释部分,模拟过程将以直观的方式呈现,以便专家对在探索部分生成的结果进行推理和验证。

3.2 球员视图

在专家分析乒乓球比赛时,首先会选择一名球员并关注他/她的相关比赛。专家倾向于按照对手的惯用手将对手进行分组,并选择对阵相同惯用手的对手的比赛以得出更具体且可实行的结论。因此,系统中比赛被组织成两层层级结构,即第一层按照球员划分,第二层按照对手的惯用手划分。这种组织方式支持了专家建议的渐进式比赛概览。系统采用节点链接树来展示球员视图中比赛的层级结构(见图 4 (A))。每个节点由一个圆圈编码,圆圈下方显示球员名称或类别名

称（惯用手），以及对应的胜率。初始情况下，球员视图横向显示数据库中的所有球员供专家选择（见图 4(A1)）。一旦专家选择了一名球员，相应的圆圈将变为橙色，并成为树的根节点。根节点的两个子节点分别是左撇子球员和右撇子球员（见图 4(A2)）。专家可以继续选择左撇子球员或右撇子球员以显示对手的详细信息，作为树状图的叶子节点（见图 4(A3)）。专家选择了感兴趣的球员和他/她的对手后，相应的比赛数据将被用来支持后续的模拟分析。

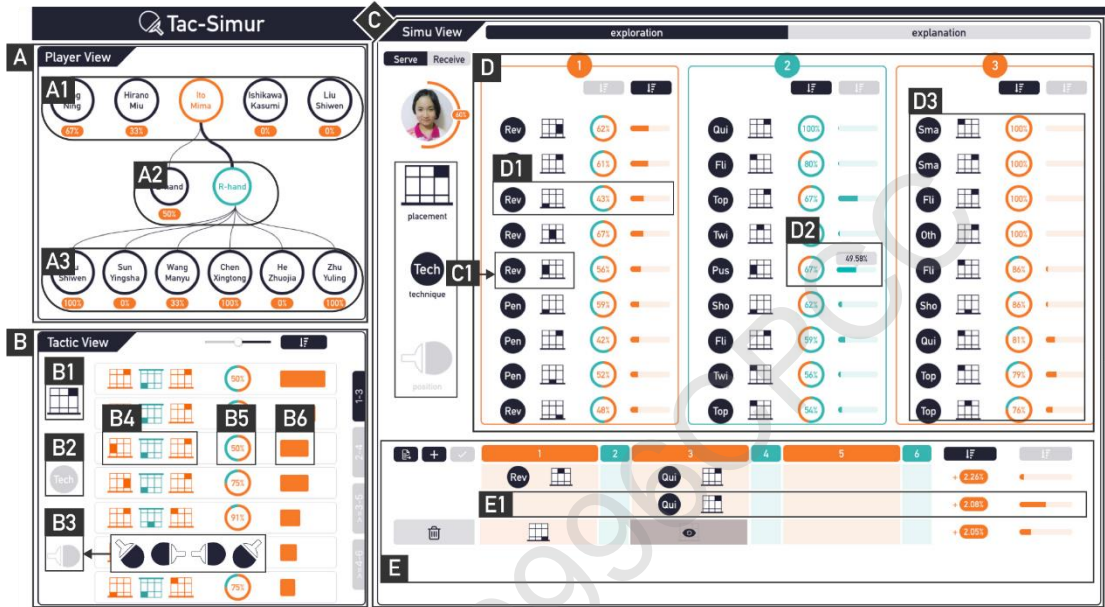


图 4 乒乓球模拟数据分析系统

3.3 战术视图

战术视图是一个战术列表，包含了所选比赛中目标球员使用的所有战术。这些战术通过图标呈现，可以按照得分率或使用率进行排序和过滤，并根据回合阶段进行分类。每个击球属性的呈现方式如下：

1) 击球落点：采用常见的乒乓球桌上的击球位置网格，根据领域专家提供的实际落点分区标准，将桌面分成了九个网格（见图 4(B1)）。填充的网格表示特定的击球位置。

2) 击球技术：使用技术名称的缩写来表示击球技术（见图 4(B2)）。

3) 击球身位：采用了球拍来编码击球身位，不同的身位可以通过不同的握拍方式来体现。四个不同的方向分别表示侧身、反手、正手和反侧身（见图 4(B3)）。

该列表旨在帮助专家找到后续分析所需的战术。由于使用更多属性进行筛选会大幅减少可选择的战术调整策略，从而限制了探索的范围，因此列表中的每个战术都是由一种属性描述的。每行包含三个部分：战术名称（见图 4(B4)），得分率（见图 4(B5)）和使用率（见图 4(B6)）。战术的得分率使用甜甜圈图表示，

使用率则用柱状图呈现。这两种图标易于理解，有助于进行高效的排序。

3.4 模拟视图

在战术视图中选择了感兴趣的战术后，专家可以在模拟视图对所选的战术进行调整。模拟视图由探索组件（图 4 (D)）、评估组件（图 4 (E)）和解释组件组成。专家可以使用探索组件探索潜在的战术调整策略，并使用评估组件对不同的战术调整策略进行评估。而解释组件则提供战术调整策略的结果和过程的可视化解释。探索组件提供了被选中战术的全面的调整选项。该组件同时展示了三个连续拍（即一种战术）中所有可能的调整选项，三拍中的每一拍都提供了一个可选的拍列表(图 4 (D3))。列表中的每一拍都包含三个部分，从左到右分别为击球属性、得分率和可行性。击球属性的图标和得分率的甜甜圈图均与战术视图中相同。使用率被可行性所取代，以帮助评估不同调整选项的可行性，加快专家的决策过程。根据得分率或可行性系数对排列表中的所有拍的进行排序。正在分析的球员的头像会被放置在视图的左上角，并附有一个所选比赛的胜率。一旦选择了一个战术调整策略，胜率就会根据模拟结果发生相应的改变。

评估组件记录了专家探索过的战术调整策略。每行包含一个战术调整策略及其效果和可行性（图 5 (E1)）。系统仅提供第六个回合之前的调整选项。每一个调整策略由专家在模拟组件的拍列表中选中的拍的相同图标来记录。调整策略的效果由混合二阶马尔可夫链模型进行计算，并以显示精确值的方式清晰地显示在每一个调整策略后面。可行性用柱状图展示。

解释组件解释了如何实践具体的战术调整策略以及该战术调整策略效果好/差的原因（图 5 (A)）。调整的拍位于视图中央（图 5 (E)）。为避免信息过载，此处只显示与被调整拍直接相关的前两个拍（如果存在）（图 5 (C)）和后两个拍（图 5 (H)）。根据模型的模拟原理，用线连接拍序列以说明它们之间的相关性（图 5 (B)）。当前被调整拍与前后拍之间的关系也在系统中进行了说明(图 5 (F))。当前被调整拍的拍序号记为 N 时，第 $N-2$ 与 $N-1$ 拍对第 N 拍的影响使用虚线表示，第 N 拍对第 $N+1$ 与 $N+2$ 拍的影响使用实线表示。线的粗细编码了相应影响的权重 λ 。解释组件展示了在每一拍中可能影响被调整拍以及可能已经被被调整拍影响的拍属性。组件中所展示的属性数量与对应的战术调整策略中的属性数量相同（图 5 (E)）。

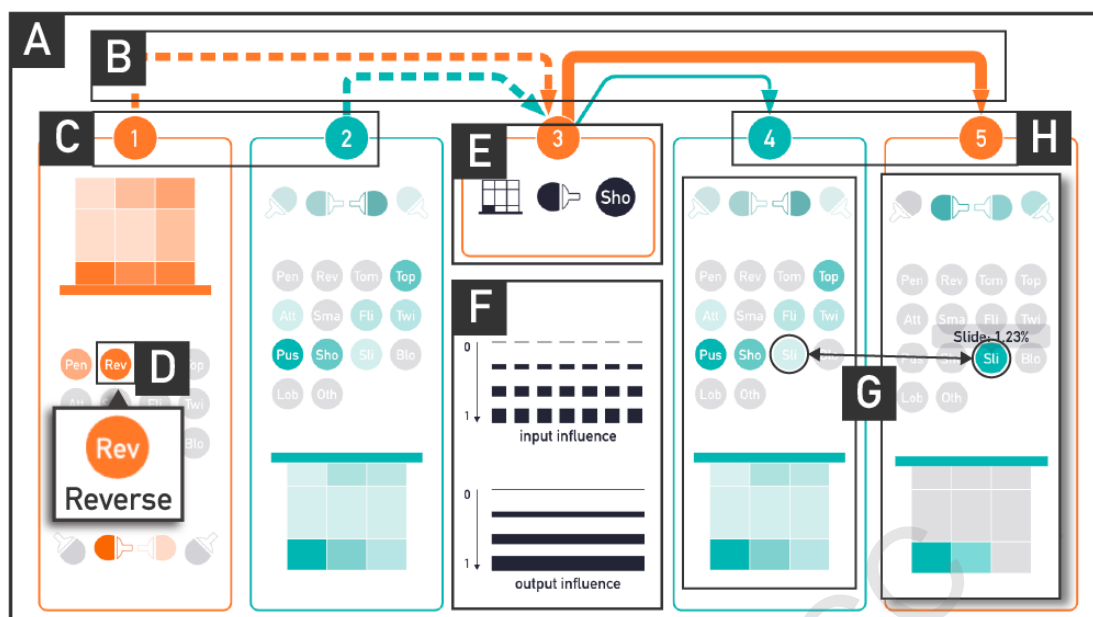


图 5 乒乓球模拟数据分析系统中的解释视图

4. 案例分析

两个案例分析分别基于丁宁的 7 场比赛的和伊藤美诚的 12 场比赛数据进行分析。所有比赛数据均来自于 2018 年的世界级高水平比赛，包括“世界杯、世界锦标赛和 ITTF 世界巡回赛”。

4.1 丁宁打到正手长球的弧圈战术

该案例主要关注的是如何通过调整丁宁的接发球回合来提高她的表现。专家们首先在球员视图中选择了丁宁来研究她的比赛。由于丁宁的比赛只有 7 场，他们决定分析所有丁宁的比赛。在战术视图中，他们首先从击球技术的角度来查看丁宁在发球阶段的战术。同样，他们根据得分率对战术进行排序，并仅显示使用率大于 1% 的战术。如图 6(A) 所示，所有战术的得分率与使用率成正比，大多数得分率都大于 50%。专家们认同这个结果，并解释说丁宁在发球阶段表现良好，因此在发球阶段，她的表现的提升空间很小。之后，他们以相同的排序和过滤条件查看丁宁在接发球阶段中的战术。如图 6(B) 所示，与发球阶段相比，丁宁在接发球阶段的战术表现较差，因为大多数战术的得分率都低于 50%（图 6(B2)）。这个结果也符合专家对丁宁的了解。他们解释说，丁宁在接对手的发球时经常使用控制技术——搓球，这意味着丁宁经常无法在第一时间发起进攻并失去了主动权。他们决定以这些战术作为突破口来提高丁宁的表现，并选择了所有这些战术。

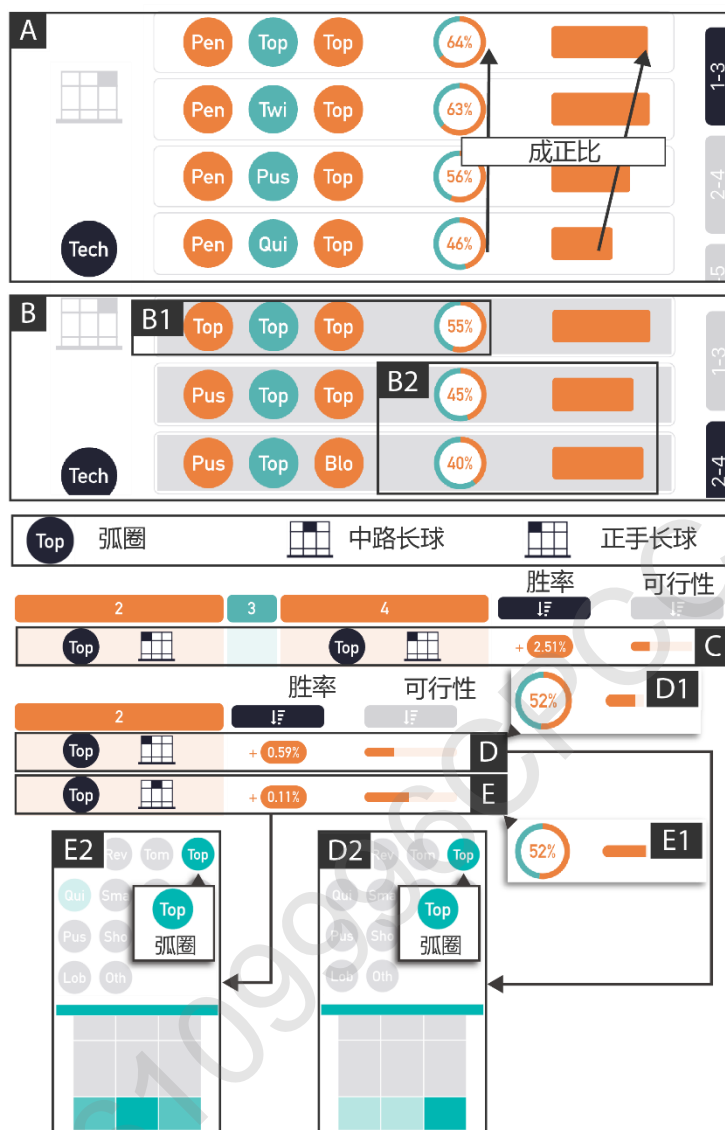


图 6 案例：丁宁打到正手长球的弧圈战术

4.2 伊藤美诚连续打到反手长球的快攻战术

该案例分析旨在通过调整伊藤美诚的发球回合来提高其表现，从而了解该运动员未来可能的调整方向。专家首先在球员视图中点击了伊藤美诚的头像。然后，分别检查了她与左撇子球员和右撇子球员的对阵情况，他们发现伊藤美诚与右撇子球员的比赛比与左撇子球员的比赛更多。因此，为了更显著地提高伊藤的整体表现，他们选择了伊藤美诚所有与右撇子球员的比赛进行进一步的模拟分析。

随后，专家来到战术视图中浏览伊藤的战术。正如他们所指出的，发球阶段（即回合的前三个拍）中使用的战术是表现分析的重点。因此，他们直接查看了使用击球技术描述的发球阶段中的战术。他们将所有战术按得分率进行排序，并通过调整滑块仅显示使用率大于 1% 的战术，以快速找到伊藤的关键战术（图 7 (A1)）。根据图 7 (A2) 中的这四种战术，专家发现在大多数战术中，伊藤的对手的回球技术是控制性技术——“搓球”，而伊藤的第三个技术是进攻性技术

——“弧圈”。这与专家对伊藤的打法风格的假设相符。专家进一步解释说，这意味着在伊藤发球后，倾向于抢先进行进攻。但是，这些战术的得分率与使用率成反比，这意味着伊藤在发球阶段的表现较差，说明有着较大的可调整空间。因此，专家决定分析如何对伊藤发球阶段的战术进行调整从而提高发球效果。

专家选择了从击球落点这一维度调整伊藤的战术。他们在模拟视图中使用击球落点来描述所有拍并让系统先生成最佳的战术调整策略。系统生成的结果表明，在第三拍（图 7(B2)）进行调整的效果（即提升的胜率）远远大于在第一拍进行调整的效果（图 7(B3)）。这验证了专家的认知。专家解释说，这是因为回合的第一拍对最终结果的影响有限。因此，无论专家在第一拍调整哪些属性，最终的获胜率都不会受到明显的影响。因此，专家将注意力转向了在第三拍上进行调整的这个最佳调整策略（图 7(B2)）。他们发现，在所有具有相同技术的调整选项中，最佳调整策略的原始得分率（图 7(B1)）并不是最高的（图 7(B4)）。这一发现刷新了专家的认知。因此，他们将原始得分率最高的调整项添加到评估组件中（图 7(B5)）。他们注意到，新添加的调整策略（图 7(B2)）的效果（即提升的胜率）与最佳调整策略几乎相同（图 7(B5)）。

但是，考虑到可行性，他们最终选择了系统生成的最佳调整策略。为了弄清最佳调整策略的原理和实践方法，专家们来到了解释组件。他们注意到这个调整策略主要影响了第五拍，因为与第四拍的实线相比，第五拍的实线更粗（图 7(C2)）。在第五拍中，伊藤最有可能使用快攻技术来配合被调整拍中的快攻技术（图 7(C5)）。专家们进一步点击第五拍的快攻技术，他们发现由快攻打出来的拍的落点也是反手长球，与被调整拍的落点相同（图 7(C3)）。他们评论说，在以前没有这个系统的时候，模拟分析很难得发现这一模式。他们进一步得出结论，这个调整策略通过增加伊藤的连续打到反手长球的快攻战术，提高了伊藤的表现。这个战术应该是伊藤的主要战术之一。至于这一调整策略的实践方法，专家们检查了第二拍，因为从第二拍延伸出的虚线比从第一拍延伸出的虚线更粗（图 7(C1)）。如图 7(C4) 所示，这个调整策略大多数是在伊藤的对手在第二拍使用进攻性技术（即弧圈和挑球）后发生的。根据专家的观察，这表明伊藤即使对手先攻击，仍然可以通过连续打到反手长球的快攻战术重新夺回主动权，这与专家对伊藤打球风格的认识相符。

通过案例分析得出启示，教练可以专注于训练伊藤连续打到反手长球的快攻战术，使其在发球回合的第三拍提升这种战术的使用率来提高她的表现。

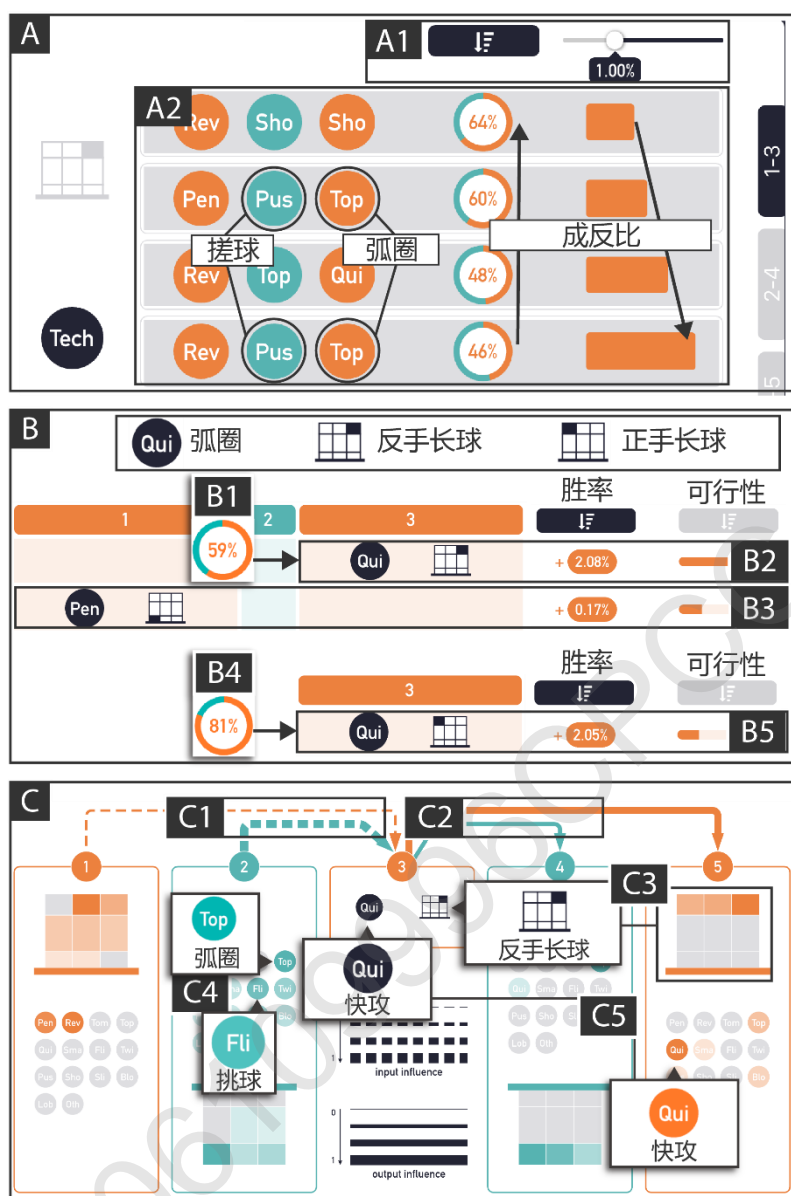


图 7 案例：伊藤美诚连续打到反手长球的快攻战术

5. 案例总结与启示

本案例介绍了人工智能技术在乒乓球模拟数据分析中的应用。本案例首先对乒乓球数据分析领域、乒乓球数据特点和乒乓球模拟数据分析的应用场景与现状进行了介绍，梳理了传统的乒乓球数据分析技术方法所面临的挑战，说明了人工智能技术对乒乓球模拟数据分析的提升主要提升在哪些方面。随后，本案例介绍了人工智能领域前沿的面向乒乓球模拟数据分析的方法，详细介绍了分析流程与框架，说明了方法的使用场景。最后，本案例提供了两个基于真实数据的乒乓球模拟数据分析案例，结合乒乓球专家的讲解与系统使用过程的描述为学生详细展示了人工智能技术在乒乓球模拟数据分析领域的真实应用过程。

综上，本案例通过分析和展示人工智能技术在乒乓球模拟数据分析中应用，

为学生们未来在计算机/体育领域的研究提供了夯实的基础。学生们可以根据本案例深入研究人工智能+体育的应用场景，如人工智能+竞技体育表现分析、人工智能+体育人才选拔等。比如，网球、羽毛球等隔网类运动与乒乓球有着相似的运动特点。因此，本案例所介绍的乒乓球模拟可视分析系统可被快速迁移应用于此类运动中。对于大球类运动如足球和篮球等，它们更强调团队战术。在战术模拟方面，系统需要增加更多关于团队配合定义与挖掘的模块，同时考虑进攻与防守两方面的团队战术进行比赛模拟。具体来说，足球可以通过人工智能分析球队的阵型变化、球员间的传球路线、跑位策略等，优化进攻和防守的整体协调性。AI 可以模拟不同的足球战术方案，如高压逼抢、反击战术等，帮助教练制定最有效的比赛策略。篮球可以分析球员的投篮位置、传球选择、防守站位等，优化球队的进攻效率和防守稳固性。AI 可以模拟不同的篮球战术布置，如挡拆战术、区域防守等，帮助球队在比赛中取得优势。

学生们在研究人工智能技术在乒乓球模拟数据分析中的应用课题中，可以深入思考以下问题（但不局限于）：

（1）基于人工智能的乒乓球模拟环境构建，特别是将运动员的个人特点，如击球手、擅长的运动打法、运动体能指标等特征融入到模拟环境的构建中，进一步提升乒乓球模拟的精度。

（2）面向黑盒模拟过程的可视表达设计，如何基于该案例的模拟解释设计，进一步拓展为黑盒的模拟模型解释功能。

（3）基于模拟结果的训练计划优化，如何根据所得到的优秀的调整策略，对运动员现有的训练计划进行可行的调整与完善，以科学地提高运动竞技水平。

（4）面向其他运动领域的拓展，如何基于所展示的人工智能技术在乒乓球模拟数据分析中的应用，提取出核心部分进行拓展，将其应用于网球、篮球、足球等其他热门体育领域。

案例的使用条件及流程如下：

- （1）明确研究对象（运动类别），确认领域是否有研究需求
- （2）调研现有方法，梳理领域现状
- （3）发现现有方法面临的主要挑战，确立主要研究的科学问题
- （4）参考交叉领域前沿方法，制定研究计划，设计并迭代研究方案
- （5）参考本案例 3、4 节进行数据处理与分析，完成方法验证

正文共 11789 字。

参考文献/资料

- [1] WU H. The statistical method of techniques and tactics in table tennis. *The Material of Sport Science and Technique*, 1963, 21:18-20.
- [2] WU H, LI Z, TAO Z, et al. Methods of Actual Strength Evaluation and Technical Diagnosis in Table Tennis Match. *Journal of National Research Institute of Sports Science*, 1989, 1:32-41.
- [3] TAMAKI S, YOSHIDA K, YAMADA K. A Shot Number Based Approach to Performance Analysis in Table Tennis. *Journal of Human Kinetics*, 2017, 55(1):7-18.
- [4] PRADAS F, MARTÍNEZ P, RAPÚN M, et al. Assessment of Table Tennis Temporary Structure. *Proceedings of the 12th ITTF Sports Science Congress*. 2011:80-85.
- [5] WU J, LIU D, GUO Z, et al. TacticFlow: Visual Analytics of Ever-Changing Tactics in Racket Sports. *IEEE TVCG*, 2022, 28(1):835-845.
- [6] WU J, LIU D, GUO Z, et al. RASIPAM: Interactive Pattern Mining of Multivariate Event Sequences in Racket Sports. *IEEE TVCG*, 2023, 29(1): 940-950
- [7] WANG J, WU Y, ZHANG X. et al. Tac-Anticipator: Visual Analytics of Anticipation Behaviors in Table Tennis Matches. *CGF*, 2023, 42(3): 223-234.
- [8] WANG J, Deng D, XIE X, et al. Tac-Valuer: Knowledge based Stroke Evaluation in Table Tennis. *Proceedings of the ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2021: 3688-3696.
- [9] VRAČAR P, ŠTRUMBELJ E, KONONENKO I. Modeling basketball play-by-play data. *Expert Systems with Applications*, 2016, 44:58-66.
- [10] PFEIFFER M, ZHANG H, HOHMANN A. A Markov Chain Model of Elite Table Tennis Competition. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 2010, 5(2):205-222.
- [11] WENNINGER S, LAMES M. Performance Analysis in Table Tennis - Stochastic Simulation by Numerical Derivation. *International Journal of Computer Science in Sport*, 2016, 15(1):22-36.
- [12] WANG J, ZHAO K, DENG D, et al. Tac-Simur: Tactic-based Simulative Visual Analytics of Table Tennis. *IEEE TVCG*, 2020, 26(1):407-417.

- [13] WANG J, WU J, CAO A, et al. Tac-Miner: Visual Tactic Mining for Multiple Table Tennis Matches. IEEE TVCG, 2021, 27(6):2770-2782.
- [14] WANG J, MA J, HU K, et al. Tac-Trainer: A Visual Analytics System for IoT-based Racket Sports Training. IEEE TVCG, 2023, 29(1): 951-961
- [15] LAN J, ZHOU Z, WANG J, et al. SimuExplorer: Visual Exploration of Game Simulation in Table Tennis. IEEE TVCG, 2022, 29(3), 1719-1732..
- [16] LAN J, WANG J, SHU X, et al. RallyComparator: visual comparison of the multivariate and spatial stroke sequence in table tennis rally. Journal of Visualization, 2022, 25(1):143-158.
- [17] CHEN Z, YE S, CHU X, et al. Augmenting Sports Videos with VisCommentator. IEEE TVCG, 2021, 28(1):824-834.