

doi: 10.7690/bgzd.2026.02.013

# 基于 VR 技术的飞行器航迹跟踪训练系统

魏琛

(中国民航大学飞行分校, 天津 301500)

**摘要:** 为更加准确地预测飞行器的航迹, 贴合目标的真实运动轨迹, 提出一种基于 VR 技术研究飞行器航迹跟踪训练系统。在硬件设计上, 基于 VR 技术增强现实式手段设计演示框架, 实现跟踪训练与数据之间的交互响应。在软件设计上, 将飞行器航迹运行位置作为跟踪目标, 选择联合概率函数关联其运行位置; 以 VR 技术实现轨迹跟踪训练, 完成系统设计; 以 4 组飞行器目标进行跟踪训练实验。结果表明: 新系统可以在噪声条件下实现精准的跟踪训练, 具有应用价值。

**关键词:** 跟踪训练; 航迹跟踪; VR 技术; 飞行器

**中图分类号:** V27 **文献标志码:** A

## Flight Path Tracking Training System of Aircraft Based on VR Technology

Wei Chen

(Flight Academy, Civil Aviation University of China, Tianjin 301500, China)

**Abstract:** In order to predict the flight path of the aircraft more accurately and fit the real trajectory of the target, a flight path tracking training system of the aircraft based on VR technology is put forward. In terms of hardware design, a demonstration framework is designed based on VR technology and augmented reality to realize the interactive response between tracking training and data. In the software design, the aircraft track running position is taken as the tracking target, and the joint probability function is selected to associate its running position; the trajectory tracking training is realized by VR technology, and the system design is completed. In the experiment, four groups of aircraft targets are trained to track. The results show that the new system can achieve accurate tracking training under noise conditions, and has application value.

**Keywords:** tracking training; flight path tracking; VR technology; aircraft

## 0 引言

在现代化技术的成熟发展下, 精准定位和目标运动轨迹跟踪成为研究热点, 目前, 对目标的跟踪问题已经成为世界各国科学领域研究的重点问题。目标跟踪可分为单目标和多目标 2 种类型, 其中单目标是只对某个单一目标进行跟踪, 多目标则需要对多个目标进行同时跟踪, 这就要求跟踪具有连续性。以飞行器作为跟踪目标, 在对其跟踪过程中需对整个航迹进行分析, 从航迹开始关联其运动数据, 实时预估其运动状态。对飞行器的跟踪核心就是数据关联, 但在实际应用过程中, 存在数据不均匀的问题, 需要建立一个有效的轨迹跟踪训练方式或系统。邵江南等<sup>[1]</sup>基于深度学习目标检测方式提出了一个新的跟踪算法, 主要优势是解决了数据不均衡的问题, 在收缩损失函数的基础上对数据进行保留, 实现数据样本的置信度置换。该算法可以在跟踪过程中保持长时定位, 具有优越的跟踪性能,

但没有考虑到数据的噪音干扰。陈玉立等<sup>[2]</sup>通过注意力机制和生成对抗网络技术, 设计了一个飞行器短期航迹预测模型, 该模型通过对抗网络提取飞行器的航迹序列特征, 并在注意力机制下对航迹赋予权重, 提升航迹重要特征的影响力。2 种方式融合下设计模型具有较高的精准性, 但只能针对短期航迹路线进行预测。为实现高精度和长轨迹的飞行器跟踪, 需要对原有的方式进行改进, 虚拟现实技术可以进行信息交流和交互, 打破平面空间的限制, 该技术可分为多个类型, 包括沉浸式、桌面式、分布式和增强现实式, 在其自身的系统内能够模拟出虚拟空间, 从而还原真实场景的体验。近些年, 在国内外多个科技公司的研究中, 成功地将 VR 技术应用在虚拟仿真训练中, 从国家军事政策到学校教学等方面, 改变了原有的技术应用现状。笔者以 VR 技术为研究基础, 设计一款新的飞行器的轨迹跟踪训练系统, 为实现飞行器的轨迹跟踪提供技术支持。

收稿日期: 2024-11-09; 修回日期: 2024-12-20

第一作者: 魏琛(1980—), 女, 天津人, 硕士。

# 1 飞行器航迹跟踪训练系统硬件设计

## 1.1 基于 VR 技术构建飞行器航迹演示架构

运用“虚拟化”技术可以解决平面空间的限制，由于飞行器的轨迹跟踪具有随机性，通过 VR 技术能够对其运动场景重构，在模拟其运动变化的过程中达到跟踪训练的目的<sup>[3]</sup>。VR 技术包含多种形式，此次应用增强现实式方式设计飞行器的轨迹演示架构，增强跟踪训练系统的可扩展性<sup>[4]</sup>，如图 1 所示。

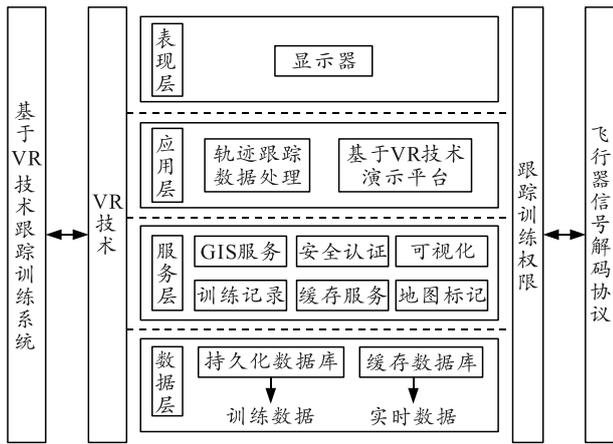


图 1 基于 VR 技术的演示架构

图 1 中，演示架构采用分层思想，每个层级之间通过 API 进行调节，层与层之间分配不同的功能模块。其中 VR 技术体现在应用层，负责飞行器航迹的演示，包括航迹起始和航迹维持以及数据处理<sup>[5]</sup>。VR 技术自身具有交互性，将其应用在飞行器演示模块，能够实现应用层与服务层的交互，对跟踪请求作出响应。

除此以外，通过演示模块产生的跟踪训练数据，直接可流转至数据层。设计了持久化数据库和缓存数据库，其中持久化数据库可以提供历史训练数据，能够保存用户设置。服务层对不同的功能做拆分处理，包括地图服务和航迹可视化服务，对 2 部分的通信结构进行分析，如图 2 所示。

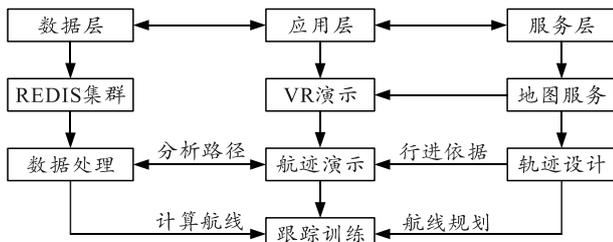


图 2 跟踪数据通信结构

在通信结构中同样采用分层模式，数据层主要通过 REDIS 集群处理跟踪数据，当某个处理器发生

故障时，可以直接切换服务器，以保证飞行器航迹跟踪的时效性。数据处理与演示模块形成异步通信连接，能够实时计算飞行器的航迹位置<sup>[6]</sup>。地图模块能够映射数据库中的所有数据，可以实现航迹路线设计和规划，基于此定义飞行器航迹跟踪的地图服务模块。

## 1.2 离线搭建飞行器轨迹地图服务功能模块

为实现飞行器的航迹跟踪训练，针对上述构建的演示平台，对其中地图服务功能模块进行设计，为其航迹设计和规划提供地图服务<sup>[7]</sup>。采用离线方式搭建地图服务功能模块，以 SUPERMAP-ISESERVER 构建面向服务式架构的企业级 GIS 功能模块，包括 GIS 服务和数据分析服务等，能够跨越层级进行地图服务。由于 SUPERMAP-ISESERVER 可以直接提供地图控件，为达到航迹跟踪目的，定义地图服务功能模块结构，如图 3 所示。

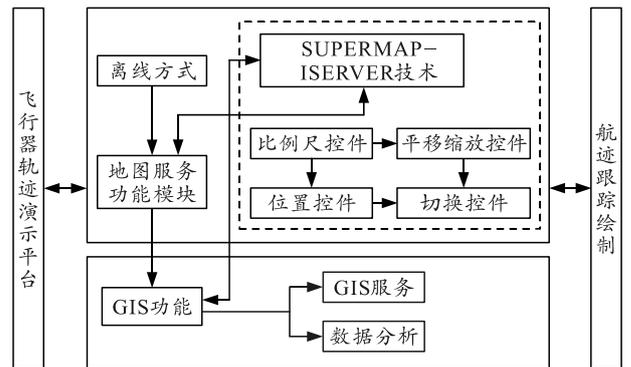


图 3 基于 SUPERMAP-ISESERVER 的地图服务模块

图 3 中，直接通过 SUPERMAP-ISESERVER 构建 GIS 模块，遵循状态转移服务技术，将飞行器的航迹运动作为抽象业务进行发布，在跟踪时可以实现数据的均衡负载和安全控制<sup>[8]</sup>。此次训练系统的地图服务模块主要关注于中国地图，在比例尺、平移缩放、切换和位置经纬度控件下，可以直接调用测距接口实现测距功能，满足航迹跟踪绘制的要求。

# 2 基于 VR 技术飞行器航迹跟踪训练系统软件设计

## 2.1 联合概率关联飞行器航迹运行目标

飞行器的航迹跟踪需要对其位置和速度进行分别描述，笔者以关联概率表示飞行器的航迹运行目标，对其 2 个分量特征进行向量表示<sup>[9]</sup>。将飞行器的航迹运动看作匀速直线形式，则：

$$j(n) \rightarrow u(n). \tag{1}$$

式中： $j(n)$ 为连续运动的联合概率，表示飞行器的匀

速运动值, 可作为速度分量:  $u(n)$  为飞行器运动目标<sup>[10]</sup>。在对飞行器目标跟踪过程中, 受噪声条件等干扰, 目标的加速度难以维持 0 值; 因此, 对飞行器的轨迹目标, 需要通过位置和速度 2 个向量表示, 则其运行状态向量为:

$$\mathbf{i}(n)=[j(n) \times k(n)]^p. \quad (2)$$

式中:  $\mathbf{i}(n)$  为运行状态向量;  $k(n)$  为位置分量;  $j(n)$  为速度分量<sup>[11]</sup>;  $p$  为采样时间间隔。基于此, 对位置分量进行离散处理, 得到连续采样时间内的状态方程:

$$\begin{bmatrix} k(m+1) \\ j(m+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & p \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k(m) \\ j(m) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p^2/2 \\ p \end{bmatrix} o(m). \quad (3)$$

式中:  $\begin{bmatrix} k(m) \\ j(m) \end{bmatrix} = l(m)$  为飞行器的目标状态向量;  $m$

$$d = \begin{cases} s \times \Delta e_1 = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2} - \sqrt{(X-X_1)^2 + (Y-Y_1)^2 + (Z-Z_1)^2} \\ s \times \Delta e_2 = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2} - \sqrt{(X-X_2)^2 + (Y-Y_2)^2 + (Z-Z_2)^2} \\ s \times \Delta e_3 = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2} - \sqrt{(X-X_3)^2 + (Y-Y_3)^2 + (Z-Z_3)^2} \end{cases}. \quad (4)$$

式中:  $(X_0, Y_0, Z_0)$ 、 $(X_1, Y_1, Z_1)$ 、 $(X_2, Y_2, Z_2)$ 、 $(X_3, Y_3, Z_3)$  为设计的 4 组参考点<sup>[14]</sup>;  $(X_0, Y_0, Z_0)$  为辅助跟踪点;  $d$  为飞行器目标位置;  $s$  为飞行速度;  $\Delta e_1$ 、 $\Delta e_2$ 、 $\Delta e_3$  为接收数据的时间差。

直接对飞行器的航迹进行虚拟模拟, 可能会产生误解的情况, 主要是因为飞行器在运行过程中会产生杂波, 因此在 VR 技术辨认过程中需要模拟噪声环境。

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} C_{1,0}^2 - R_1 \\ C_{2,0}^2 - R_2 \\ \vdots \\ C_{F,0}^2 - R_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2X_1 & -2Y_1 & -2Z_1 & 1 \\ -2X_2 & -2Y_2 & -2Z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -2X_F & -2Y_F & -2Z_F & 1 \end{bmatrix} \times \mathbf{v}_g. \quad (5)$$

式中  $\mathbf{G}$  为假定的噪声矩阵。

跟踪点的位置定义为  $(r_F, f_F, v_F)$ ,  $\mathbf{v}$  为未知矢量;  $\mathbf{v}_g$  为飞行器航迹的前测点。则辨认过程为:

$$\begin{bmatrix} r \\ f \\ \mathbf{v} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_{1,0} & Y_{1,0} & Z_{1,0} \\ X_{2,0} & Y_{1,0} & Z_{1,0} \\ X_{3,0} & Y_{1,0} & Z_{1,0} \end{bmatrix} \times \left\{ \begin{bmatrix} r \\ f \\ \mathbf{v} \end{bmatrix} C_F + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} C_{G,0}^2 - R_1 - R_0 \\ C_{2,0}^2 - R_2 - R_0 \\ C_{3,0}^2 - R_3 - R_0 \end{bmatrix} \right\}; \quad (6)$$

$$C_F = s \times \Delta e_F; \quad (7)$$

$$R_F = r_F^2 + f_F^2 + v_F^2; \quad (8)$$

$$X_{F,0} = r - r_F. \quad (9)$$

式中  $C_F$  为测量目标与跟踪点的距离<sup>[15]</sup>。通过数据

为量测时刻<sup>[12]</sup>; 令  $\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 1 & p \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  为飞行器的轨迹转移

矩阵; 令  $\mathbf{I} = \begin{bmatrix} p^2/2 \\ p \end{bmatrix}$  为跟踪过程中的噪声矩阵<sup>[13]</sup>;

$o(m)$  为跟踪过程中产生的数据误差。在连续时间内对飞行器目标进行跟踪, 对其不同的状态进行表示, 并利用 VR 技术辨认目标的运行轨迹, 实现跟踪训练。

## 2.2 VR 技术辨认目标实现轨迹跟踪训练

通过 VR 技术建立虚拟 3 维空间, 在空间中将飞行器作为跟踪训练目标。为实现不同时期内的目标位置跟踪, 需要设定辅助点。笔者设定 4 组辅助点, 并将其中组设置为辅助跟踪点, 则在 VR 技术下对飞行器目标的位置辨认过程。

的时间差获取形式, 对飞行器目标进行预估, 在整个训练过程中融合噪声条件, 可以防止误解的问题。至此, 笔者基于 VR 技术实现飞行器轨迹跟踪训练系统设计。

## 3 实验测试分析

通过 VR 技术设计了新的系统。为验证该系统能够实现飞行器的航迹跟踪训练, 采用对比测试的方式完成论证。采用基于深度学习的系统和基于注意力机制系统作为对照组, 分别与本文中系统进行对比, 验证不同系统的应用效果, 如图 4 所示。

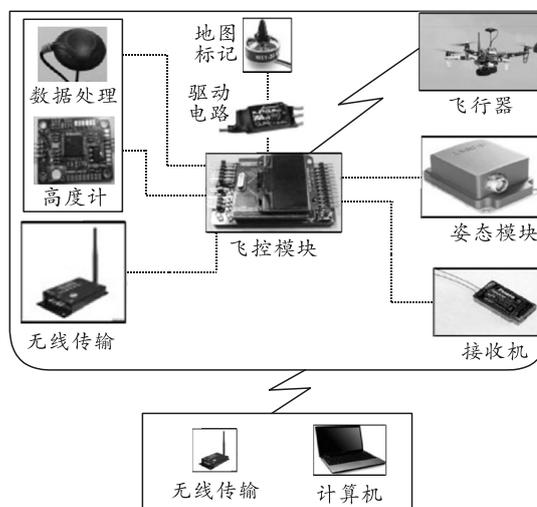


图 4 系统实物

### 3.1 飞行器跟踪测试条件设置

笔者选择了 2 组传统训练系统与本文中系统进行比较, 将不同系统同时连接在 Matlab 测试平台中, 在同一飞行器目标运动时对比各组系统的跟踪效果。由于飞行器在行进过程中会产生噪音, 本次测试环境设备为杂波环境, 同时选择 4 个飞行器作为测试目标, 具体运动状态设置情况如表 1 所示。

表 1 飞行器运动状态设置详情

目标	初始位置/m	速度/(m/s)
$Q_1$	(1 200, 200)	250
$Q_2$	(200, 1 200)	250
$Q_3$	(400, 1 400)	300
$Q_4$	(1 400, 400)	300

表 1 中内容所示, 本次选择的 4 组目标初始位置和速度不一致, 其中  $Q_1$ 、 $Q_2$  的速度比  $Q_3$ 、 $Q_4$  的稍慢一些。在此基础上, 设计杂波噪声按照  $4 \times 10^{-5}$  泊松形式分布, 量测噪声的方差为 100, 系统的采样时间周期为 1.5 s。具体飞行器的运动目标轨迹, 如图 5 所示。

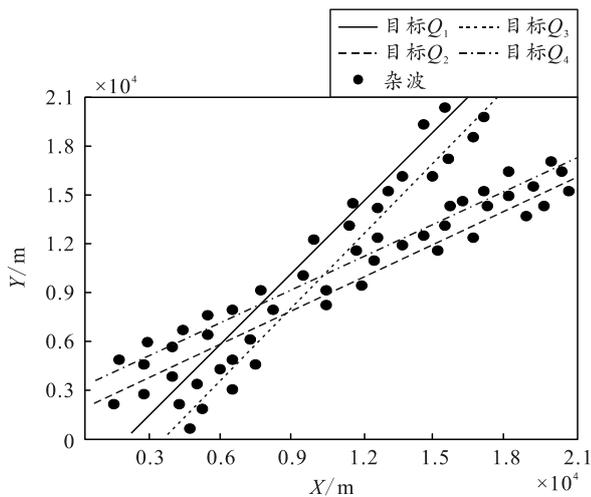


图 5 飞行器运动轨迹

图 5 中, 此次选择的飞行器在空间中进行匀速直线运动, 且 4 组目标在运动过程中会发生交叉, 杂波基本围绕在目标的运行轨迹周围, 其起始端和终止端较多。为验证不同跟踪训练系统的应用效果, 以上述 4 组目标的运动轨迹作为关联训练内容, 分别采用不同的系统进行跟踪训练, 并统计跟踪结果, 获取目标跟踪的位置均方根误差。

### 3.2 跟踪训练对比及结果分析

根据设定的行驶路线, 分别采用 3 组测试系统进行跟踪训练, 截取横纵坐标在 8 000 m 以内的航线轨迹, 以局部图进行分析, 结果如图 6 所示。

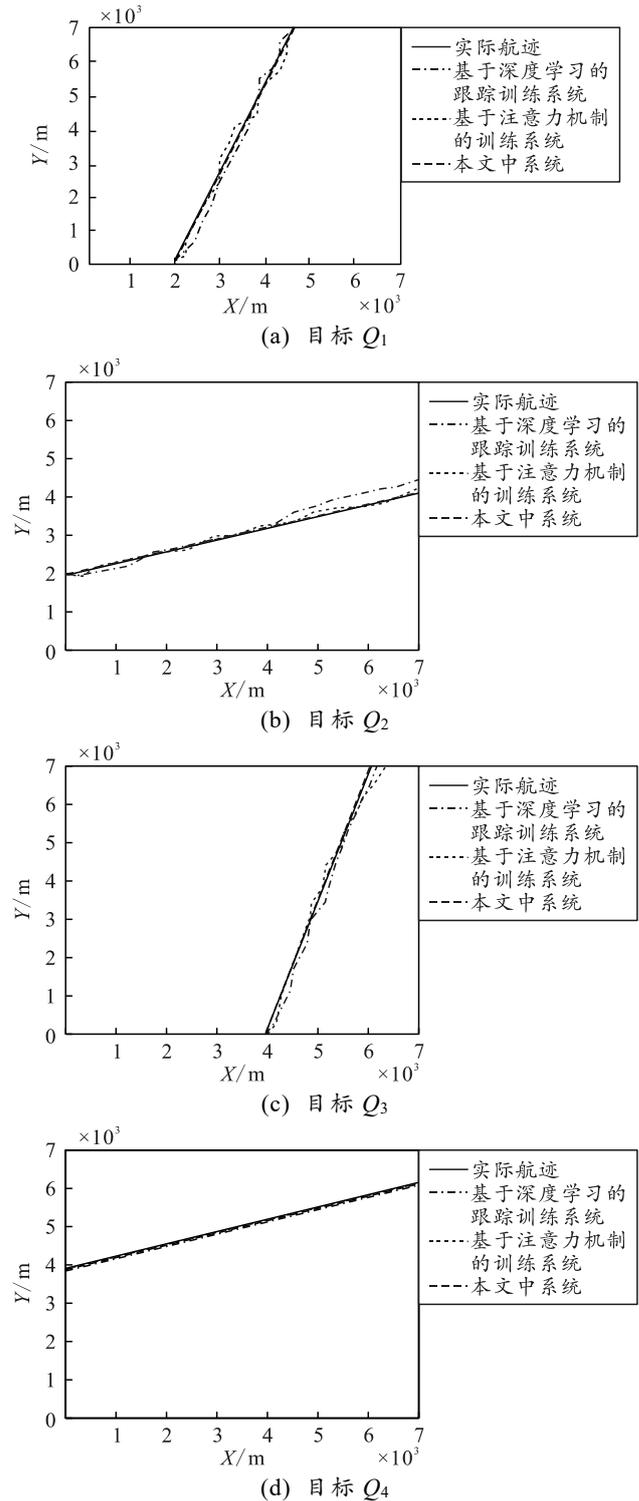


图 6 局部跟踪训练轨迹对比

图 6 中, 受杂波干扰影响传统系统的跟踪轨迹会发生波动, 最终跟踪训练位置与设计位置会存在一些偏差, 但 2 组系统之间的差别不大, 而本文中系统的跟踪轨迹整体平滑, 说明本文中系统具有较好关联性, 可以实现飞行器轨迹的跟踪训练。

为进一步验证各组方法的跟踪轨迹训练效果,

以不同噪声密度为测试条件，对不同系统的跟踪均方根误差进行比较。噪声密度分别为  $1 \times 10^{-5}$ 、 $4 \times 10^{-5}$ 、 $8 \times 10^{-5}$ 、 $12 \times 10^{-5}$ ，误差计算公式如下：

$$q = \sqrt{\sum (z-w)^2 / a} \quad (10)$$

式中： $q$  为均方根误差； $a$  为测量数量； $w$  为实际位置数据； $z$  为跟踪位置数据。获取不同噪声条件下的目标跟踪结果，代入到式(10)中，不同系统的平均均方根误差如图7所示。

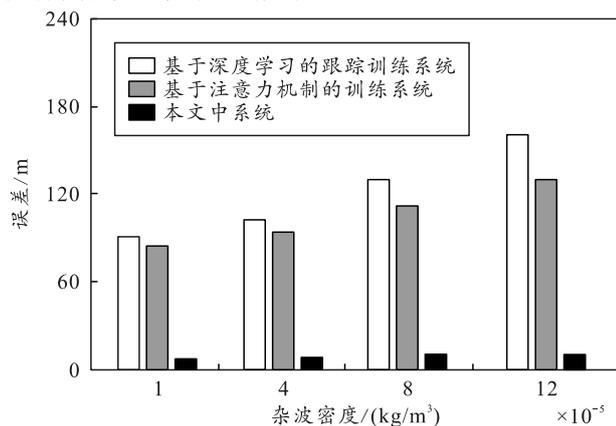


图7 跟踪训练轨迹误差对比

由图7可知：2组传统系统的均方根误差要高于本文中系统，且随着噪声密度的增加不断增加，本文中系统基本上可以保持不变。当均方根误差可以稳定在同一水平时，说明能够在杂波环境中进行很好地航迹关联跟踪。综合上述情况可知，本文中系统具有应用价值。

#### 4 结束语

笔者在VR技术的基础上设计了新系统，并在实验中证明其有效性，较传统系统具有一定的跟踪训练优势，能够投入实际的使用中，具有较好的应用价值。由于时间有限，在设计过程中仍存在少许的不足之处，如只进行了单一轨迹的跟踪，无法全面地分析系统的应用价值，存在一定的局限性。后续研究会针对此问题，进行更深层次地分析，提出更加全面的跟踪训练系统，为其在实际中的应用提供理论支持。

#### 参考文献：

- [1] 邵江南, 葛洪伟. 一种基于深度学习目标检测的长时目标跟踪算法[J]. 智能系统学报, 2021, 16(3): 433-441.
- [2] 陈玉立, 佟强, 谌彤童, 等. 基于注意力机制和生成对抗网络的飞行器短期航迹预测模型[J]. 计算机应用, 2022, 42(10): 3292-3299.
- [3] 赵雪峰, 刘臻, 赵浩阳, 等. 基于VR技术的手机线上多维直观交互体育训练系统[J]. 中国现代教育装备, 2022(16): 56-58.
- [4] 张保, 王明生. 基于VR技术的吊装设备模拟训练系统设计研究[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(6): 63-66.
- [5] 秦钰戩, 夏丰领, 黄国勇. 基于改进A\*算法的飞行器航迹规划[J]. 电视技术, 2022, 46(6): 95-100.
- [6] 田灿, 张远, 倪少波. 一种带有观测器的高速飞行器预测滑模控制方法[J]. 航天控制, 2022, 40(2): 15-21.
- [7] 王凯旋, 李焯, 薛晨琛, 等. 面向平行系统的飞行器航迹仿真模型架构设计[J]. 宇航总体技术, 2022, 6(1): 7-12.
- [8] 纪寿汉, 詹祥粉. 基于增强现实技术的多功能虚拟训练系统设计[J]. 现代电子技术, 2022, 45(2): 105-109.
- [9] 王彬彬. 基于SVM与Meanshift跟踪算法的运动视频目标跟踪[J]. 现代电子技术, 2022, 45(1): 56-60.
- [10] 刘浩楠, 宋骊平. 基于核Fisher判别的群结构更新模型及群目标跟踪算法[J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44(10): 3012-3019.
- [11] 祝元, 黄珍, 王绪明. 基于深度强化学习的智能船舶航迹跟踪控制[J]. 中国舰船研究, 2021, 16(1): 105-113.
- [12] 潘昕, 冯国利, 侯新国. 基于分层强化学习的AUV路径跟踪技术研究[J]. 海军工程大学学报, 2021, 33(3): 106-112.
- [13] 林淑彬, 吴贵山, 姚文勇, 等. 基于光照自适应动态一致性的无人机目标跟踪[J]. 智能系统学报, 2022, 17(6): 1093-1103.
- [14] 蔡超, 葛超, 武振波, 等. 基于动态RCS的无人飞行器隐身突防航迹规划[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(11): 72-78.
- [15] 齐文彬, 高慧萍. 一种轮式拖拉机的行走装置VR跟踪系统研究[J]. 农机化研究, 2021, 43(1): 241-246.