**实验三实验报告**

**1. 实验背景**

**1.1 研究意义**

多机器人追逃问题是机器人学、人工智能和博弈论交叉领域的一个经典研究课题。这类问题在现实世界中有着广泛的应用前景，包括军事侦察、搜救任务、安全巡逻、野生动物保护以及无人机群协作等场景。通过研究追逃系统，我们可以深入理解多智能体系统中的协作策略、信息共享机制、路径规划算法以及在复杂环境下的决策制定过程。

**1.2 问题描述**

本实验构建了一个包含多个追踪者（Pursuer）和逃避者（Evader）的二维模拟环境。在这个系统中，追踪者的目标是尽可能快地捕获所有逃避者，而逃避者则试图躲避追踪者的追捕。整个过程在包含L型障碍物的复杂环境中进行，增加了路径规划和策略制定的难度。

**1.3 核心挑战**

该追逃系统面临的主要技术挑战包括：

**环境感知与建模**：机器人需要在有限的传感器范围内感知环境，包括识别障碍物、其他机器人的位置，并构建有效的环境地图。

**动态路径规划**：在动态变化的环境中，机器人必须实时计算最优路径，同时避免与静态障碍物和其他机器人发生碰撞。

**多智能体协作**：追踪者之间需要通过信息共享实现有效协作，避免重复搜索同一区域，提高整体捕获效率。

**策略对抗性**：追踪者和逃避者之间存在对抗关系，需要考虑对方的可能行为来制定最优策略。

**不完全信息决策**：由于传感器范围限制和障碍物遮挡，机器人必须在信息不完整的情况下做出决策。

**2. 模型设计**

**2.1 系统架构**

本模拟系统采用面向对象的设计模式，通过清晰的类层次结构实现了模块化和可扩展的架构。整个系统由七个核心类组成，每个类负责特定的功能模块，通过良好定义的接口进行交互。

**2.2 环境建模**

**2.2.1 障碍物系统**

Obstacle类负责环境中静态障碍物的建模和交互。该类支持矩形和圆形两种基本几何形状，提供了点包含检测、距离计算、排斥力生成和线段相交检测等核心功能。

障碍物的排斥力计算采用了基于距离的反比函数模型。当机器人接近障碍物时，系统会计算从障碍物边界到机器人的最短距离，并根据这个距离生成相应强度的排斥力。排斥力的方向始终指向远离障碍物的方向，强度随距离增加而衰减，这样设计能够确保机器人在接近障碍物时自然地调整路径。

**2.2.2 地图探索机制**

MapExplorer类实现了基于网格的地图探索算法。该系统将连续的二维空间离散化为规则网格，每个网格单元记录是否已被探索。当追踪者失去所有目标时，系统会自动切换到地图探索模式，引导机器人系统性地搜索未知区域。

地图探索算法的核心是最近未探索点搜索策略。系统为每个追踪者维护独立的目标分配，避免多个机器人同时前往相同区域。当发现路径被障碍物阻挡时，算法会自动寻找替代目标，并记录被阻挡的路径以避免重复尝试。

**2.3 机器人建模**

**2.3.1 基础机器人类**

Robot基类定义了所有机器人共享的基本属性和行为，包括位置、速度、半径、颜色、边界约束和障碍物列表。该类实现了基础的移动控制、边界检查、碰撞检测、距离计算和历史轨迹记录功能。

移动控制算法结合了目标导向和避障机制。系统首先计算指向目标的基础方向向量，然后叠加由障碍物产生的排斥力，形成综合的移动方向。当计算出的新位置无效时，系统会尝试沿着多个候选方向进行"滑动"，寻找可行的移动路径。

**2.3.2 追踪者建模**

Pursuer类继承自Robot，专门实现追踪行为。每个追踪者配备有传感器系统，能够在有限范围内检测逃避者。追踪者支持两种基本策略：最近目标优先和随机目标选择。

追踪者的行为状态机包括目标追踪模式和地图探索模式。在目标追踪模式下，追踪者优先追捕直接感知到的逃避者，或者根据共享信息前往最后已知位置。当所有追踪者都失去目标时，系统切换到协作探索模式，通过系统性搜索来发现隐藏的逃避者。

**2.3.3 逃避者建模**

Evader类同样继承自Robot，实现逃避行为。逃避者具有威胁检测能力，能够感知传感器范围内的追踪者。系统为逃避者提供了两种逃避策略：避开最近威胁和综合考虑所有威胁。

避开最近威胁策略计算到最近追踪者的反向向量作为移动方向，这种策略简单高效但可能忽略其他潜在威胁。综合威胁评估策略则考虑所有检测到的威胁，通过距离加权计算综合逃避方向，提供更全面的威胁响应能力。

**2.4 信息共享机制**

**2.4.1 分布式通信模型**

SharedInformation类实现了机器人之间的信息共享机制。该系统维护两个独立的知识库：追踪者共享的逃避者信息和逃避者共享的追踪者信息。每条信息记录包括目标位置、最后观察时间和检测者身份。

信息共享机制采用了基于时间的记忆管理策略。系统会定期清理过期信息，确保决策基于相对新鲜的数据。这种设计平衡了信息的时效性和系统的计算效率。

**2.4.2 协作策略**

追踪者通过信息共享实现了有效的协作行为。当一个追踪者检测到逃避者时，这个信息会立即广播给所有其他追踪者。即使失去直接视觉接触，追踪者仍可以根据共享的最后已知位置进行搜索。

信息融合算法优先考虑直接感知信息，其次是共享信息。系统会根据信息的来源和时效性分配不同的可信度权重，确保决策的可靠性。

**2.5 路径规划算法**

**2.5.1 人工势场方法**

系统采用人工势场方法进行实时路径规划。目标位置产生吸引力，引导机器人向目标移动；障碍物产生排斥力，使机器人远离碰撞危险。这两种力的矢量叠加形成最终的移动方向。

势场算法的优势在于计算简单、实时性强，能够产生平滑的路径。同时，该方法天然支持动态环境，当目标或障碍物位置发生变化时，力场会自动调整，无需重新规划整条路径。

**2.5.2 局部最优解决方案**

为了解决传统势场方法容易陷入局部最优的问题，系统实现了多方向尝试机制。当机器人在某个位置无法找到有效移动方向时，算法会尝试多个候选方向，寻找可行的"滑动"路径。这种设计显著提高了系统在复杂环境中的鲁棒性。

**2.6 仿真控制系统**

**2.6.1 主仿真循环**

PursuitEvasionSimulation类协调整个系统的运行。主仿真循环包括信息更新、机器人状态更新、碰撞检测、目标捕获判断和历史记录等步骤。系统支持实时仿真和步进仿真两种模式，便于分析和调试。

**2.6.2 交互式界面**

系统提供了丰富的交互式控制界面，包括参数调节滑块、实时控制按钮和可视化开关。用户可以动态调整机器人数量、速度参数、捕获距离等关键参数，实时观察不同配置对系统行为的影响。

可视化系统提供了多层次的信息展示，包括机器人轨迹、传感器范围、目标连线、探索网格和系统状态统计。这种丰富的可视化反馈有助于理解系统的内部工作机制和性能特征。

**2.7 性能评估指标**

系统设计了多个性能评估指标来量化追逃效果。主要指标包括捕获率（已捕获逃避者数量与总数的比例）、平均捕获时间、地图探索完成度、路径规划效率等。这些指标能够全面评估不同策略和参数配置的效果，为系统优化提供定量依据。

通过这种全面而系统的模型设计，本实验构建了一个功能完整、可扩展的多机器人追逃仿真平台，为相关算法研究和性能分析提供了有力的工具支持。

**实验结果**

**图片包含 图示

AI 生成的内容可能不正确。**

在图中，红色代表的是追踪者，蓝色代表的是逃避者，L型的黑色物体代表地图中的障碍物。程序中有多个可以动态调节的滑块，包括追踪者的数量，逃避者的数量，追踪者的速度，逃避者的速度以及捕捉的距离。图片包含 图示

AI 生成的内容可能不正确。

当追踪者没有感知到逃避者的时候，会自动进行了地图的遍历来查找逃避者

图示

AI 生成的内容可能不正确。

而当逃避者感知到追踪者或者追踪者感知到逃避者之后，群体内都会进行信息共享，逃避者会共同远离感知到的追踪者，追踪者会共同抓捕感知到的逃避者。图形用户界面, 图表

AI 生成的内容可能不正确。

直到最后将所有逃避者抓获