**物流配送系统功能详细列表**

**基础类**

**Bus（巴士）类功能**

* 巴士路线管理：沿固定路线行驶，到达终点站时自动反向行驶
* 巴士状态管理：支持"at\_station"（在站点）和"moving"（移动中）两种状态
* 站点停留：在每个站点停留指定时间
* 包裹运输：每辆巴士可携带一个包裹
* 方向检查：能够判断巴士当前方向是否能到达目标站点
* 线路检查：能够判断巴士是否在特定线路上运行

**Drone（无人机）类功能**

* 无人机状态管理：支持多种状态如idle、moving、charging等
* 电量管理：监控电量、自动充电、确保任务完成有足够电量
* 多种任务执行：
  + 取货任务（从取货点到巴士站）
  + 送货任务（从巴士站到送货点）
  + 直接运输任务（直接从取货点到送货点）
* 路径规划：维护未来停靠点列表，优化行驶路径
* 电池安全机制：低电量自动转为充电模式

**DroneFleet（无人机队列）类功能**

* 无人机管理：创建、跟踪和控制多个无人机
* 任务队列管理：维护取货、送货和直接运输三种类型的任务队列
* 任务分配优化：基于距离和电量为无人机智能分配任务
* 批量任务处理：积累多个任务后进行批量优化，提高整体效率
* 运输方式自动选择：根据距离对比，智能选择直接运输或巴士协作模式

**BusSystem（巴士系统）类功能**

* 巴士线路管理：支持多条线路同时运行
* 发车调度：定期向各线路发新车
* 巴士位置更新：更新所有巴士的位置状态
* 站点巴士检查：检查特定位置和方向的巴士（用于包裹交接）
* 运输统计：统计巴士成功运输的包裹数量

**工具函数**

* 距离计算：计算两点间欧氏距离、路径总距离
* 最佳线路选择：考虑站点排名，选择最优巴士线路
* 巴士站查找：找到离指定点最近的巴士站（可指定排名）
* 运输方式分析：对比无人机直接运输与巴士协作运输的距离优劣
* 包裹到达时间预测：预测巴士上包裹到达目标站点的时间

**系统流程功能**

* 任务初始化：将每个运输任务关联到相应包裹
* 运输模式选择：基于容差对比，自动选择最优运输方式
* 包裹状态追踪：实时记录包裹在系统中的位置和状态
* 无人机-巴士交接：
  + 取货无人机将包裹交给巴士
  + 巴士将包裹交给送货无人机
* 自动充电管理：无人机自动监测电量并在需要时充电
* 多目标优化：同时考虑距离、电量和交通网络结构

**数据收集与分析功能**

* 实体状态记录：记录每个时间步中所有无人机和巴士的状态
* 包裹轨迹追踪：记录每个包裹的完整运输路径和状态变化
* 站点流量统计：记录巴士在各站点的停靠情况
* 任务完成统计：统计各类任务的完成情况
* 数据导出：将模拟数据导出为DataFrame用于后续分析和可视化