目录

[功能概要设计 3](#_Toc456883778)

[业务顺序图 4](#_Toc456883779)

[系统工作流程图 5](#_Toc456883780)

[拣货 5](#_Toc456883781)

[订单分配给拣货员 5](#_Toc456883782)

[小车运货架到拣货员面前 5](#_Toc456883783)

[拣货员拣一个货架上的货 6](#_Toc456883784)

[小车将货架运回仓储区 7](#_Toc456883785)

[订单切换 8](#_Toc456883786)

[补货 9](#_Toc456883787)

[补货员对商品扫码，小车取货架 9](#_Toc456883788)

[小车运货架到补货员面前（同拣货） 9](#_Toc456883789)

[补货员将商品放到货架 10](#_Toc456883790)

[小车将货架运回仓储区（同拣货） 10](#_Toc456883791)

[商品切换 10](#_Toc456883792)

[盘点 10](#_Toc456883793)

[按货架盘点 10](#_Toc456883794)

[按商品盘点 11](#_Toc456883795)

[按拣货员/订单盘点 11](#_Toc456883796)

[软件模块图 12](#_Toc456883797)

[软件UML图 13](#_Toc456883798)

[包图 13](#_Toc456883799)

[类图 13](#_Toc456883800)

[数据表结构 14](#_Toc456883801)

[持久记录 14](#_Toc456883802)

[实时状态记录 16](#_Toc456883803)

[日志、异常记录 18](#_Toc456883804)

[通讯协议 19](#_Toc456883805)

[通信协议格式 19](#_Toc456883806)

[头文件属性 19](#_Toc456883807)

[功能码 19](#_Toc456883808)

[路径规划 21](#_Toc456883809)

[选择策略 21](#_Toc456883810)

[算法实现逻辑 22](#_Toc456883811)

[计算待选货架 22](#_Toc456883812)

[确定货架 22](#_Toc456883813)

[路径搜索 23](#_Toc456883814)

[待确定问题： 26](#_Toc456883815)

# 功能概要设计

1. 产品上架
2. 扫码仓库库位条码/直接手动输入库位编号（库区-通道-货架-层号-格号）
3. 再依次扫码产品/直接录入产品ID(按箱/组合上架产品暂不考虑)
4. 选择订单开始打包商品，绑定订单和盛放商品的容器，简称订单容器
5. 获取订单中的产品
   1. 选择小车设备（可能当前有多个设备可用）和目标货架（可能有多个货架上有对应商品）
   2. 分配设备取货（设备自行制定行走路线，给出相对坐标值，只需要向减少间距方向移动即可）
   3. 拣货员将商品从货架下，扫码/直接出库产品，然后拿至订单容器
   4. 设备归位货架（同b，都属于在两点间通过设备移动货架）
6. 循环2中步骤，直至订单完成，换新订单
7. 安排设备充电

# 业务顺序图

员工

中央系统

小车设备

到指定充电桩充电

进入待机状态

充电完成

小车空闲或电量低于40%

选择小车、货架

按预定路线，将货架送至拣货员，排队等候

送货架回指定位置

订单完成，换新订单

(扫描)订单拣货、扫码商品补货

拣货员拿商品下架、补货员上架

盘点员选货架盘点

选最近空闲小车

按预定路线，将货架送至盘点员，排队等候

盘点员记录实际商品名称规格和数量

# 系统工作流程图

拣货（暂不考虑通过设备运送订单货架，仅通过人工选择订单容器）

### 订单分配给拣货员

拣货员按开始按钮

中央系统为拣货员的N个空的订单容器绑定N个新订单（商品交叉）

初始订单分配完成

### 小车运货架到拣货员面前

中央系统安排小车排队等候

中央系统发现，拣货员面前已有小车在

否

是

中央系统完成，通过小车将货架运到拣货员前

小车按计划路线找到货架，并将货架运至拣货台

中央系统为小车规划好行走路线，并实时监控小车位置

中央系统找到订单中对应产品货架

拣货员已分配订单

中央系统找到最近拣货员的货架，找到空闲小车（最近货架）

中央系统安排小车执行完上个任务后执行当前任务

中央系统发现，有货架跟已分配小车重合

否

是

拣货员拣一个货架上的货小车将货架运回仓储区

中央系统检测扫码商品跟预期是否相同

是

否

拣货员放回后重拿商品，并扫码

中央系统识别出当前货架对应当前拣货员的一个商品并指示商品位置

拣货员将商品从货架拿出，并扫码

小车在拣货员面前

中央系统识别商品对应拣货员的订单容器，点亮订单容器的提示灯

拣货员将商品放入订单容器，并关闭订单容器的提示灯

中央系统检查货架上有其他产品，属于当前的N个订单中

是

否

拣货员完成一货架拣货

否

否

小车在拣货员面前

中央系统根据货架上SKU的出货频率，为货架算出新位置

中央系统为小车规划好行走路线，并实时监控小车位置

小车按计划路线将货架运至目标位置，并放下货架

中央系统判断小车电量符合标准

是

中央系统找到空闲的充电桩，并规划好路线，监控小车到充电桩充电

中央系统判断是否有新的搬运任务

小车充电完成，通知中央系统后进入待机状态

是

中央系统安排小车进行新一轮搬运

订单切换

拣货员将商品放入订单容器，并关闭订单容器的提示灯

是

不做操作

中央系统判断订单中商品是否完成

否

中央系统点亮订单完成指示灯

打包员换上空的订单容器，并关闭订单完成指示灯

中央系统为空的订单容器分配一份新的订单

订单切换完成

## 补货

补货应该是先给出补货计划，补货计划是对于订单的预期以及当前库存量得到的，所以，补货商品是在库存中有预期的对应库位的。

操作是拣货的逆向过程，区别有两点：1，定位货架的查询条件不同：当补货员扫描商品后，根据要补货的数量和货架自身空位量，以及最近一周跟补货商品的销售相似度，综合考虑来决定为哪个货架进行补货，从而选择哪个货架；而拣货需要是订单中的产品，所以只需要考虑，订单需要移动的货架数量、商品先进先出和距离拣货员的距离作为考虑因素。2，货架往返的执行结果不同：对于要补货的货架是上架商品，拣货是相反的下架商品。

### 补货员对商品扫码，小车取货架

补货员扫描商品二维码

中央系统算出当前数量的商品预期的所有货架

中央系统找到空闲的设备，并规划出相应的路径

中央系统安排小车取货架

小车取货架完成

### 小车运货架到补货员面前（同拣货）

### 补货员将商品放到货架

中央系统检测扫码库位跟预期是否相同

是

否

补货员重新扫码

中央系统识别出当前货架，并指示当前商品在货架的位置

补货员扫描库位码

小车在拣货员面前

补货员将指定数量的商品放入库位

中央系统检查货架上有其他位置，属于当前商品

否

拣货员完成一货架补货

是

### 小车将货架运回仓储区（同拣货）

### 商品切换

补货员换个商品进行扫码

## 盘点

盘点操作跟拣货类似，两个区别分别是：1，对于货架的选择条件，此处是随机一个货架；2，没有对货物的上下架，仅检查核实，操作之后没有商品的增减。

### 按货架盘点

随机选中一台货架，给出系统中货架上的产品及数量，由盘点员确认对应的实际结果。

### 按商品盘点

随机选中一款商品，给出系统中的货架上的产品及数量，有盘点员确认对应的实际结果。

### 按拣货员/订单盘点

# 软件模块图

拣货台信息

基础资料

设备信息

商品信息

库位信息

充电桩信息

订单信息

基础功能

设备通信

选车\货架策略

路径规划

业务模块

设备移动货架

设备排队

设备充电

商品入库上架

拣货盘点下架

应用模块

设备状态监控

订单状态监控

拣货

初始化\ 补货

盘点

# 软件UML图

## 包图

各资料信息表

数据访问层库

业务逻辑层库

UI应用层包

基础算法库

## 类图

基础信息类实体

基础功能类库

IDAL

DAL

DALMysql

DALRedis

数据访问类库

UI模块

拣货员、补货员使用的提示界面

订单的监控界面

小车的监控界面

# 数据表结构

持久记录（用于初始化）

|  |
| --- |
| **拣货员表** |
| 人员ID：1 |
| 姓名：张三 |
| 性别：男 |
| 权限：11 |
| 职位：管理员 |
| 年龄：20 |
| 手机：150XXX |
| 联系地址：南山蛇口 |

|  |
| --- |
| **货架信息表** |
| 货架ID：1 |
| 货架编码(6位：仓库2+行数1+列数2+层数1)：02A271 |
| 绝对坐标X，Y，Z：（2，3，1） |
| 货架层数：4 |
| 货架面数：2 |
| 各面（分号分隔）每层格数：01020201; 01020301 |
| 类型（冗余字段：1小2中3大11冷）：1 |

|  |
| --- |
| **SKU信息表** |
| SKU ID：1 |
| 商品名称：水杯 |
| 库存数量：3 |
| 型号：300ml |
| 颜色：红色 |
| 尺寸 (mm)：20\*200\*2000 |
| 重量(g)：200 |
| 备注信息：易碎 |

|  |
| --- |
| **商品信息表（bak）** |
| 商品ID(通过条码/ID唯一定位)：1 |
| SKU ID：1 |
| 货架ID：1 |
| 货架面号（最多4个面）：1 |
| 库位号（当前货架所有库位自下到上，自左到右编号）：2  {此库位仅用于显示给拣货员：若将库位，层号信息分别用数据记录表示，数据冗余不增加查询和计算效率} |
| 商品名称及规格（用于显示）：水杯；红色300ml |
| 生产日期：2015-07-01 |
| 过期日期：2016-12-31 |
| 尺寸规格(mm)：20\*200\*2000 |
| 重量(g)：200 |
| 数量：2 |
| 上架时间（扫码/指派）：2016-07-01 10:51:50 |
| 出库时间（扫码/指派）：2016-07-10 10:51:50 |
| 商品状态（0上架2出库3部分出库）：0 |

|  |
| --- |
| **设备信息表** |
| 设备ID：1 |
| 设备序号（可读编号）：S0012 |
| 状态（0待命1取货2运货4充电11故障）：1 |
| 绝对坐标X，Y，Z：（2，3，1） |
| IP地址：192.168.1.111 |
| 厂家：XX有限公司 |
| 生产日期：2016-07-17 |
| 上线日期：2016-07-19 |
| 备注：哈哈哈 |

|  |
| --- |
| **充电桩** |
| 序号ID：1 |
| 可读序号：DZ002 |
| 绝对坐标X，Y，Z：（2，3，1） |
| 状态（1空闲2工作中9故障）：2 |

|  |
| --- |
| **补货/拣货台** |
| 序号ID：1 |
| 可读序号：HT002 |
| 绝对坐标X，Y，Z：（2，3，1） |
| 类型（1补货2拣货）：1 |
| 状态（1空闲2工作中9故障）：2 |
| 并发订单数：6 |

|  |
| --- |
| **仓库内位置坐标表** |
| 位置ID：1 |
| 仓库序号：2 |
| 绝对坐标X，Y，Z：（2，3，1） |
| 状态（0正常9故障）：0 |
| 类型（1货架点2拣货台3补货台4充电桩5路交叉点）：1 |

|  |
| --- |
| **仓库内路线表** |
| 序号ID：1 |
| 仓库序号：2 |
| 位置1 ID：1 |
| 位置2 ID：2 |
| 类型（1正向2反响3双向）：1 |
| 状态（0正常8阻塞9故障）：0 |

实时状态记录（用于跟踪调试 - Mysql）

|  |
| --- |
| **实时订单表**  订单开始拣货时增加记录，每次录入商品更新记录 |
| 订单号：5542144 |
| 商品总数：5 |
| 商品信息（SKU ID，数量）：1,2;3,1;4,1;6,1 |
| 拣货员ID：3 |
| 取货设备（冗余字段：设备编号）：1,2 |
| 取货商品（冗余字段：SKU ID，条码ID，数量;）：1,1,1;1,2,1;3,3,1 |
| 已取数量：3 |
| 状态（0新订单 1拣货中2完成拣货9异常）：1 |

|  |
| --- |
| **实时移动货架表**  给设备发布取货任务时增加记录，小车业务状态改变后更新状态 |
| 货架ID：1 |
| 设备ID：1 |
| 商品数量：1 |
| 商品ID（通过条码/ID唯一定位）：1,2,3 |
| SKU ID（同个SKU包含多个商品）：1,2,3 |
| 订单ID：1,2,3 |
| 拣货台ID：1,2,3 |
| 状态（1取货中2已出库）：1 |
| 开始取货时间：2016-07-01 13:50:10 |
| 到达货架时间：2016-07-01 13:59:10 |
| 搬起货架时间：2016-07-01 13:59:10 |
| 送达货架时间：2016-07-01 13:59:10 |
| 完成拣货时间：2016-07-01 13:59:10 |
| 送回货架时间：2016-07-01 13:59:10 |

|  |
| --- |
| **实时员工行为（拣货/补货）表**  员工每次扫码拣货、补货后增加一条记录 |
| 员工ID：1 |
| 行为类型（1拣货2补货3上班4下班）：1 |
| 商品ID：11 |
| SKU ID：11 |
| 所在站台ID：22 |
| 操作时间：2016-07-01 13:50:10 |

|  |
| --- |
| **实时设备位置表**  设备连接后，每秒增加5条记录（前期先用Mysql，吞吐支持不到时再独立） |
| 设备ID：1 |
| 状态（0候命中1取货中2运货中3电量低4充电中11故障12失联）：1 |
| 绝对位置X，Y，Z：（2，3，1） |
| IP地址：192.168.1.111 |
| 当前时间：2016-07-01 13:50:10 |
| 备注：电量低时记录电量，取货中时记录商品名称，运货中时记录货架编号 |

日志、异常记录每步操作（用于历史备案 - 文档/Nosql）

|  |
| --- |
| **行为记录表** |
| 记录时间：2016-07-01 11:20:50 |
| 对象类型（1设备2拣货员）：1 |
| 行为主体ID：1 |
| 操作步骤（功能名称）：设备取货 |
| 日志内容（操作记录）：设备接收取货指令（XXX） |

|  |
| --- |
| **异常记录表** |
| 记录时间：2016-07-01 11:20:50 |
| 对象类型（1设备2拣货员）：1 |
| 行为主体ID：1 |
| 操作步骤：设备取货 |
| 异常信息：发信息（XXX）获取设备（XXX）状态，响应超时 |

# 通讯协议

## 通信协议格式

|  |  |
| --- | --- |
| 开始位 | < |
| 包数据高字节 | 0 |
| 包数据低字节 | N1 |
| 保留位高字节 | 头文件属性 |
| 保留位低字节 | 头文件属性 |
| 功能码1 | 0x01 |
| 功能1数据高字节 | 0 |
| 功能1数据低字节 | N1 |
| 功能2、3 | 功能保留（6位） |
| 功能码4 | 0x04 |
| 功能4数据高字节 | 0 |
| 功能4数据低字节 | N4 |
| 数据位1 | 0xAF |
| 数据位2 | 0xAF |
| …… | …… |
| 数据位N1 | 0xAF |
| 若有其他功能的数据则依次顺序排序，若没有则不保留位置（包括功能1） | |
| 校验码 | 0xAF |
| 校验码 | 0xAF |

## 头文件属性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 属性名称 | 所在位置 | 参数说明 |
| 是否需要回复 | 低字节低位第2位  0000 0000 0000 0010 | 0：不需要回执  1：需要 |
|  |  |  |
|  |  |  |

## 功能码

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 功能名称 | 功能码 | 数据位数据格式 |
| 上位机：查询状态 | 0x10 | 工作状态（1 Byte）{0闲置，2充电，3取货架，4送拣货台，5排队，6归位货架，1故障}，电量（1 Byte）{百分比值}，X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |
| 上位机：  安排充电 | 0x20 | 充电桩ID（2 Byte），第一步X（2 Byte），第一步Y（2 Byte）, 第一步Z（1 Byte）, ……,第i步X（2 Byte），第i步Y（2 Byte）, 第i步Z（1 Byte）……, 最后一步X（2 Byte），最后一步Y（2 Byte）, 最后一步Z（1 Byte） |
| 上位机：  移动到位置等待 | 0x21 | 保留位（2Byte）,第一步X（2 Byte），第一步Y（2 Byte）, 第一步Z（1 Byte）, ……,第i步X（2 Byte），第i步Y（2 Byte）, 第i步Z（1 Byte）……, 最后一步X（2 Byte），最后一步Y（2 Byte）, 最后一步Z（1 Byte） |
| 上位机：  去找货架 | 0x22 | 货架ID（2位），第一步X（2 Byte），第一步Y（2 Byte）, 第一步Z（1 Byte）, ……,第i步X（2 Byte），第i步Y（2 Byte）, 第i步Z（1 Byte）……, 最后一步X（2 Byte），最后一步Y（2 Byte）, 最后一步Z（1 Byte） |
| 上位机：  运货架到拣货台 | 0x23 | 拣货台ID（2位），第一步X（2 Byte），第一步Y（2 Byte）, 第一步Z（1 Byte）, ……,第i步X（2 Byte），第i步Y（2 Byte）, 第i步Z（1 Byte）……, 最后一步X（2 Byte），最后一步Y（2 Byte）, 最后一步Z（1 Byte） |
| 上位机：送回货架到仓储区 | 0x24 | 货架ID（2位），第一步X（2 Byte），第一步Y（2 Byte）, 第一步Z（1 Byte）, ……,第i步X（2 Byte），第i步Y（2 Byte）, 第i步Z（1 Byte）……, 最后一步X（2 Byte），最后一步Y（2 Byte）, 最后一步Z（1 Byte） |
| 小车：  当前状态 | 0x30 | 工作状态（1 Byte ）{0闲置，2充电，3取货架，4送拣货台，5排队，6归位货架，1故障}，电量（1 Byte）{百分比值}，X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |
| 小车：  电量低 | 0x31 | 电量（2 Byte）{百分比值），X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |
| 小车：  遇到障碍 | 0x32 | 障碍距离（2 Byte），X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |
| 小车：  超载 | 0x33 | 货物重量（2 Byte），X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |
| 小车：  货物不稳 | 0x34 | 货物重量（2 Byte），X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |
| 小车：  未知异常 | 0x39 | 保留位（2Byte）,X坐标（2 Byte），Y坐标（2 Byte），Z坐标（1 Byte） |

# 路径规划

直接按坐标接近来决定行走方向，转弯越少越好

选择策略（移动总曼哈顿距离最短）

选订单：

初始订单时，按时间前N个(选择有更多共同商品，或者在相同货架的订单)；

换新订单时，最早订单（选择跟当前拣货员待拣商品更多重合的订单）

选货架：

拣货时，选择拥有更多待检订单商品、靠近拣货台的货架

补货时，选择跟对应SKU出货频率接近的货架，同时满足更接近（大于）当前商品尺寸空库位的货架

选小车：

最靠近货架的空闲小车

# 算法实现逻辑

绿色背景为当前方案

## 计算待选货架

Si：第i个货架，Gi：第i个商品SKU，Gic：第i个商品有c个

1，当前拣货员 =》 所有订单

G1：S1+S2, S2+S3, S1+S3

G2：S1, S3

G3：S2, S3

G4：S2, S4

=》所有商品SKU 及 数量

=》 所有商品货架 及 对应货架上商品数量

=》按商品SKU分类取得所有货架组合

=》计算每个商品满足数量的货架组合

=》货架原子集（用小单元组合）

=》从每个商品的组合中挑选一个重新组合，并去重

=》货架原子集（用小单元组合）

2，当前拣货员 =》 所有订单

S1：G1c, G2c

S2：G1c, G3c, G4c

S3：G1c, G2c, G3c

S4：G4c

=》所有商品SKU 及 数量

=》 所有商品货架 及 对应货架上商品数量

=》所有货架组合

=》计算所有商品满足数量的货架组合

=》货架原子集（用小单元组合）

## 确定货架

获得货架集合

=》集合所有货架到拣货台的总距离

=》最小距离，相同距离用最少货架，货架数相同随机取

## 路径搜索

数据结构的复杂度

V：节点数；E：路径数；Degree(V)：节点维度（V节点路径数）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构名称 | 空间  复杂度 | 时间复杂度 | | |
| 增加一条路径 | 相邻节点的路径 | 遍历一个节点的路径 |
| 路径 | E | 1 | E | E |
| 邻接矩阵 | V2 | 1 | 1 | V |
| 邻接链表 | E+V | 1 | Degree(V) | Degree(V) |

由于仓库的结构中每个节点仅跟附近节点有路径，大部分节点之间没有连接，使用邻接矩阵将太多空间闲置，路径的查询效率相对有点低，暂时考虑使用邻接链表实现。

搜索算法

1. 深度优先搜索：沿一条路纵向搜索
2. 广度优先搜索：按层次横向搜索

最短路径算法

1. Dijkstar：从未访问节点中选择距离出发点最短路径的节点，直到所有节点被访

=》结果是两点间的最短路径，若需要计算所有节点间距离也可以，则需要为每个节点都执行当前算法，整体时间复杂度跟floyd算法一致，但floyd算法的计算量小。

**在未访问节点中寻找最短路径节点的算法逻辑：**

**初始代码逻辑**：外层循环遍历未访问节点列表，内层循环遍历已访问节点列表，依次判断两个循环中节点间的最短距离，两个列表节点数和固定，时间复杂度为O（n2）=n\*(n-m)，m,n分别为未访问和全部节点数



**优化后的逻辑**：先在未访问节点列表中循环，找到跟起点建立联系节点的最短距离，再循环更新未访问节点中通过所选节点被缩短的距离，时间复杂度为O（n）=2\*m， m为未访问节点数（未访问节点会越来越少）



1. Floyd-Warshall：计算每个节点（A）对任意两点间（X、Y）距离的贡献，若XY两点间距离因节点A而缩短，则用A作为XY间路线的一站

=》结果是任意两点间的最短距离，优点是一次计算一直使用，缺点是计算的时间复杂度较高（O(V3)）

1. 最终算法（两种都实现，分别用于不同场景）
2. 默认使用第二种算法，调度时只需知道起止点则不需要计算路径，可以直接使用初始计算结果
3. 当设备遇到故障或者遇到堵塞时，需要重新规划路线时，将某个位置设为不可行，通过第一种方案重新计算路径。

# 待确定问题：

1. 对接原OMS/WMS数据（订单、产品）的方案

关键点：

* 订单信息：仅需要可以定位到商品即可（商品ID），需要OMS提供接口获取订单对应的产品（通常商家可能不愿意提供订单的客户信息）
* 产品所在库位信息：跟WMS系统绑定，或者用WMS中产品信息进行初始化
* 库位、拣货台、充电桩及设备信息：独立导入/录入

1. 数据存储方案

关键点：

* + 基础信息存储在持久数据库Mysql中（数据格式相对固定不考虑Nosql，收费不考虑Sqlserver，选择Mysql）
  + 多个小车位置状态改变频繁，每秒更新5次小车位置，Mysql可以胜任100台左右小车，若更多小车，则需要引入实时数据库ExtremeDB（会有高并发不考虑内存数据库Sqlite）

1. 对设备的路径规划及运动控制是设备独立实现，不采用中心调度
2. 入库/补货阶段如何通过商品二维码跟商品SKU做绑定