

## 目录

功能概要设计 .....	3
业务顺序图 .....	4
系统工作流程图 .....	5
拣货 .....	5
订单分配给拣货员 .....	5
小车运货架到拣货员面前 .....	5
拣货员拣一个货架上的货 .....	6
小车将货架运回仓储区 .....	7
订单切换 .....	8
补货 .....	9
补货员对商品扫码，小车取货架 .....	9
小车运货架到补货员面前（同拣货） .....	9
补货员将商品放到货架 .....	10
小车将货架运回仓储区（同拣货） .....	10
商品切换 .....	10
盘点 .....	10
按货架盘点 .....	10
按商品盘点 .....	11
按拣货员/订单盘点 .....	11
软件模块图 .....	12
软件 UML 图 .....	13
包图 .....	13
类图 .....	13
数据表结构 .....	14
持久记录 .....	14
实时状态记录 .....	16
日志、异常记录 .....	18
通讯协议 .....	20
通信协议格式 .....	20
头文件属性 .....	20
功能码 .....	20

路径规划.....	23
选择策略.....	23
算法实现逻辑.....	24
计算待选货架.....	24
确定货架.....	24
路径搜索.....	25
待确定问题: .....	28

## 功能概要设计

1. 产品上架
  - a) 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）
  - b) 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)
2. 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
3. 获取订单中的产品
  - a) 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）
  - b) 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）
  - c) 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
  - d) 设备归位货架（同 b，都属于在两点间通过设备移动货架）
4. 循环 2 中步骤，直至订单完成，换新订单
5. 安排设备充电

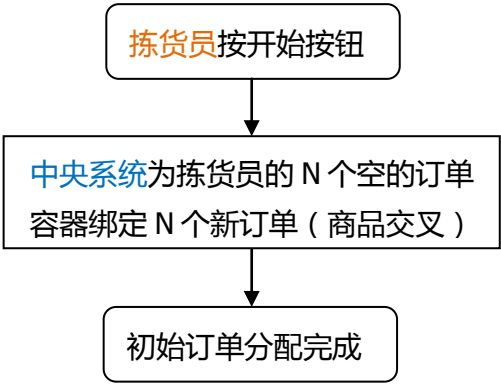
## 业务顺序图



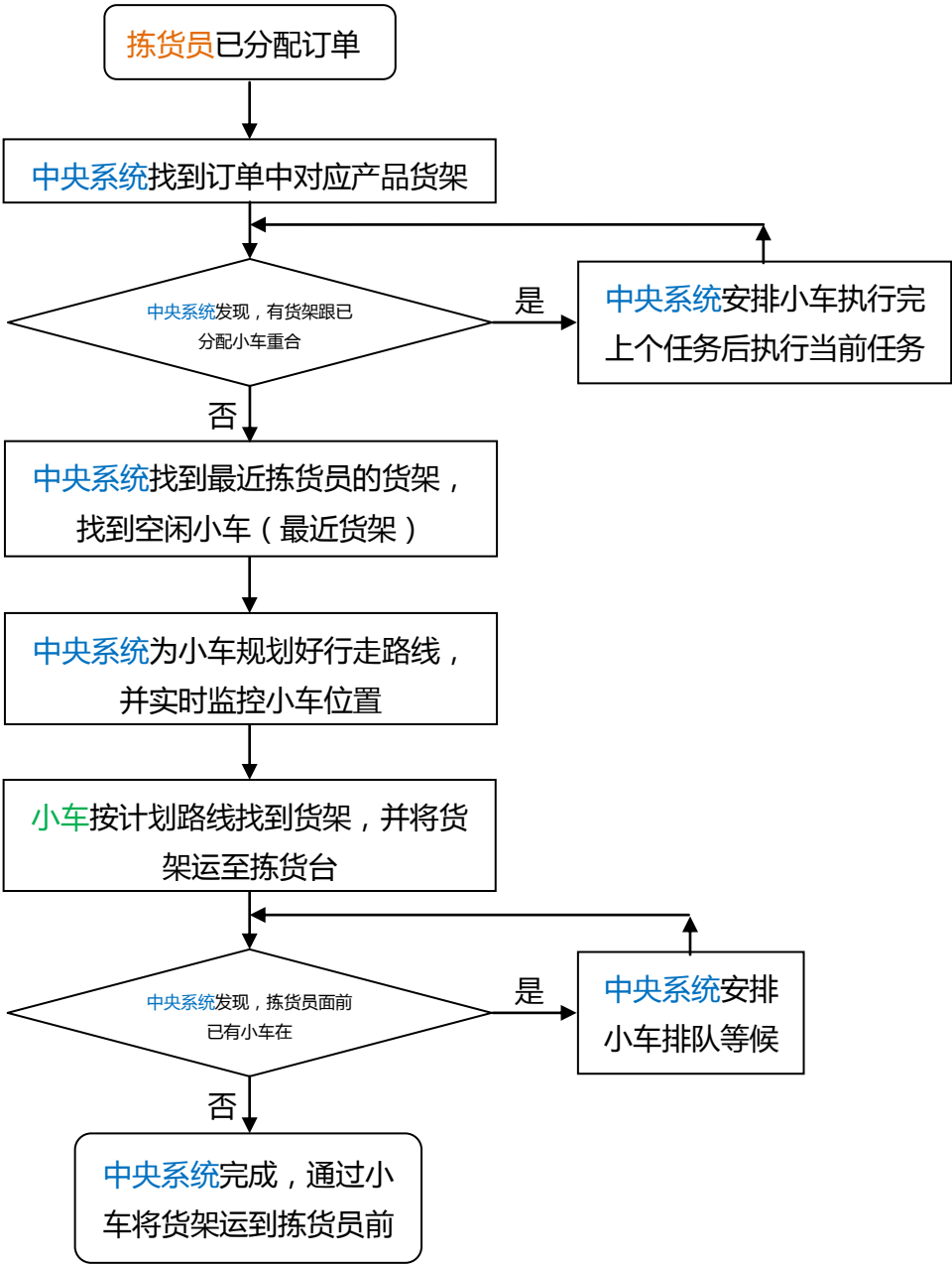
# 系统工作流程图

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）

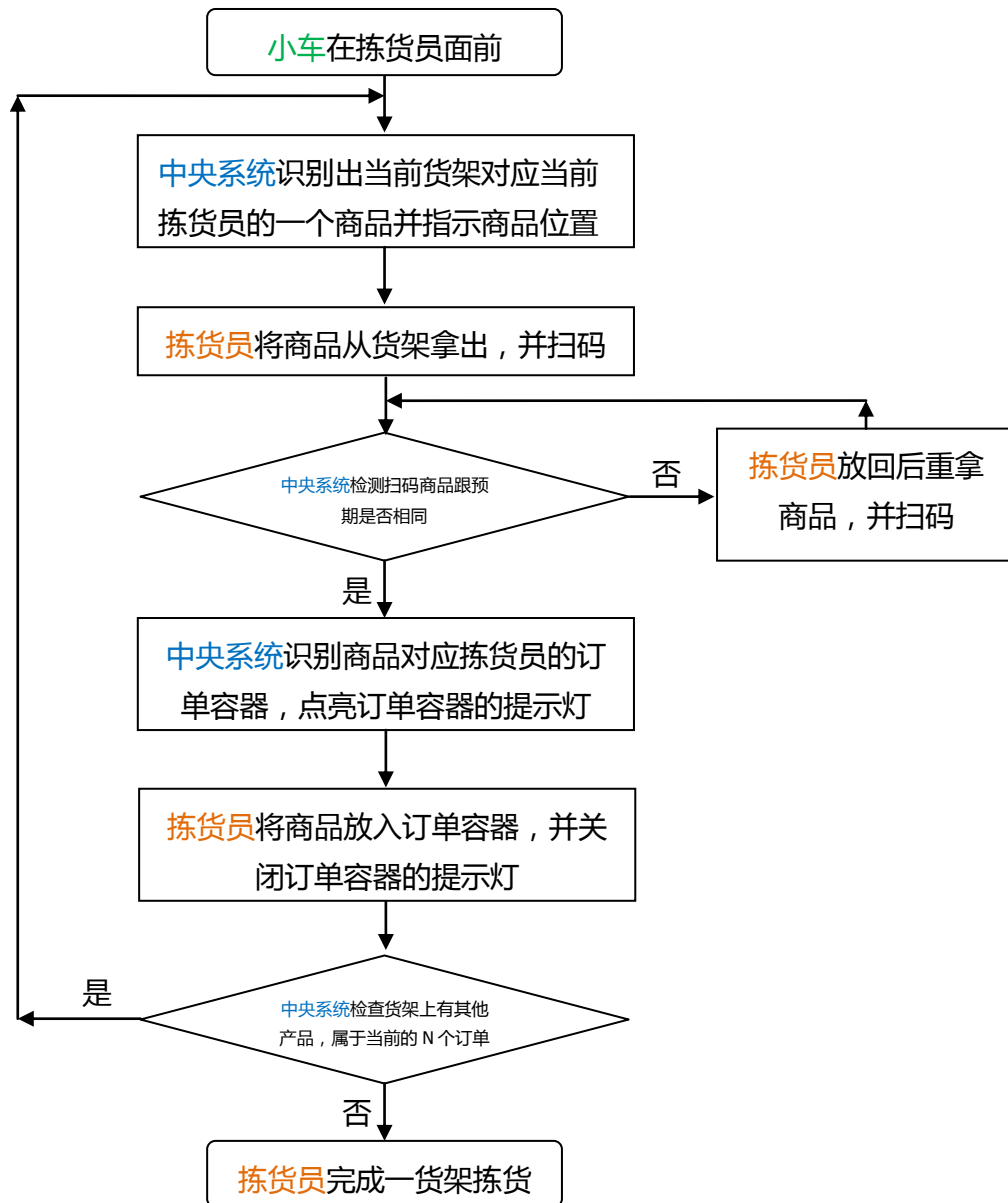
## 订单分配给拣货员



## 小车运货架到拣货员面前



## 拣货员拣一个货架上的货



## 小车将货架运回仓储区



## 订单切换



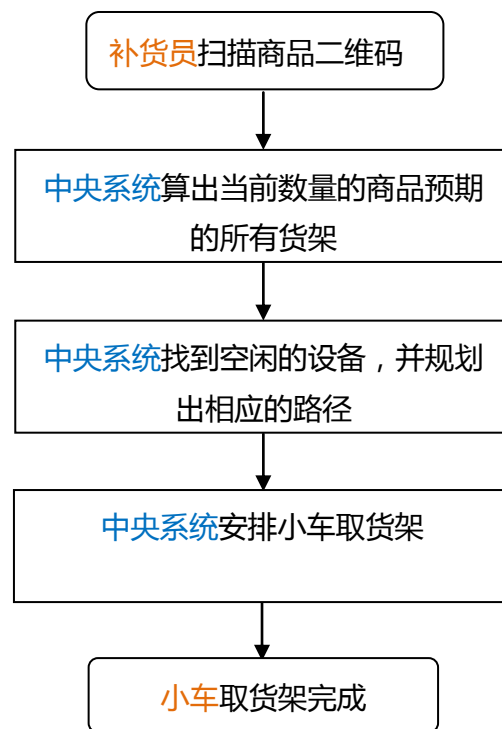


## 补货

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



### 小车运货架到补货员面前（同拣货）

## 补货员将商品放到货架



## 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

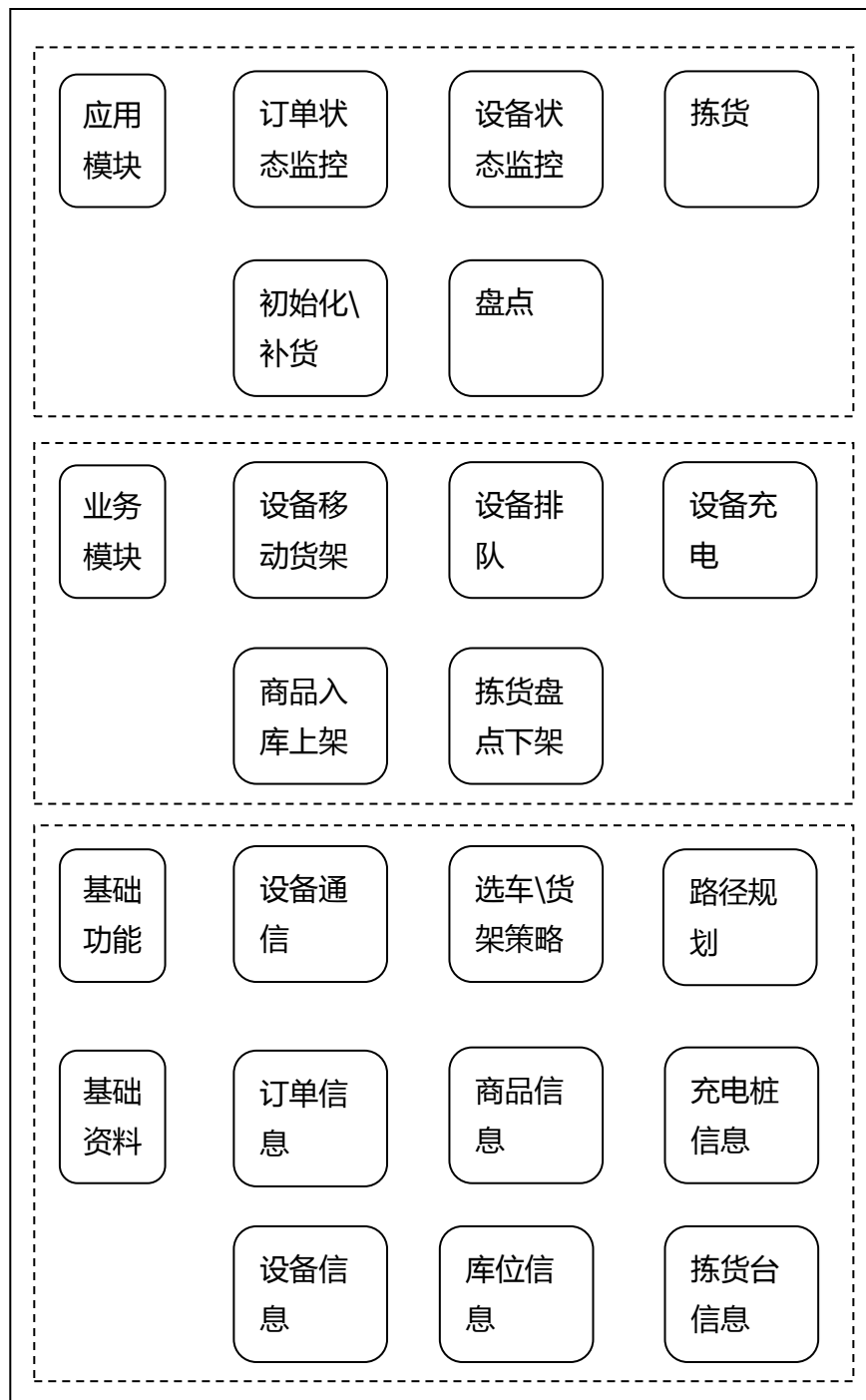
随机选中一台货架，给出系统中货架上的产品及数量，由盘点员确认对应的实际结果。

### **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

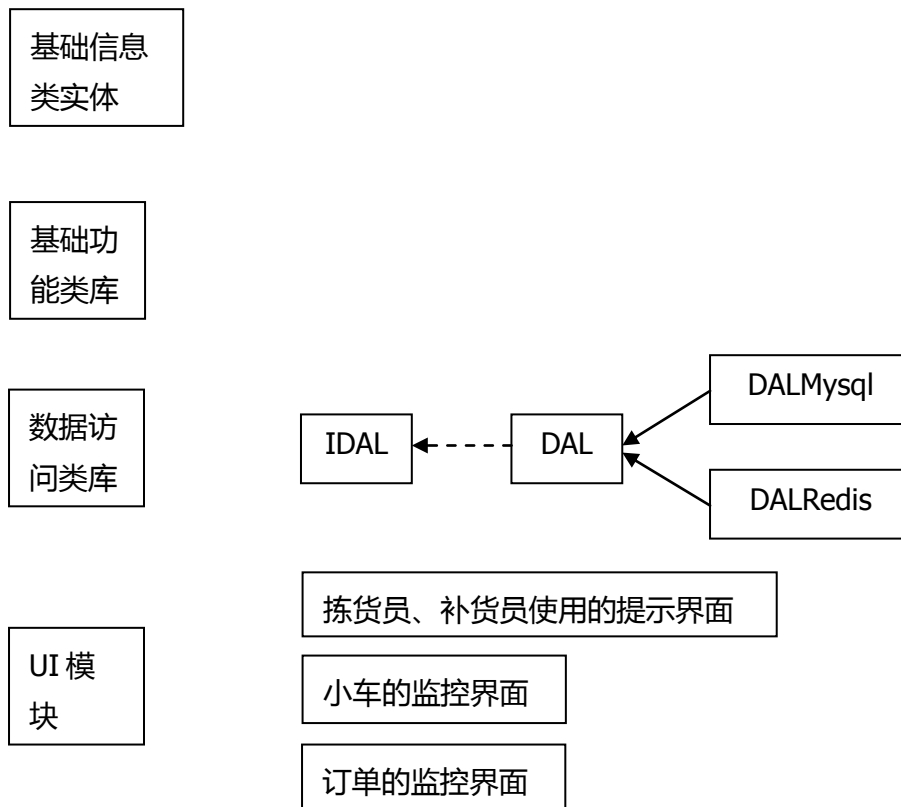


## 软件 UML 图

### 包图



### 类图



## 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
坐标索引 : 2
位置历史 : 3 , 2
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
条码编号 : DE34553233
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

订单信息表
自增 ID : 1
订单编号 : SD0012
SKU 信息 : 1,2;4,1
商品总数 : 3
优先级 : 1

状态（0 未处理，1 已处理）：0
拣货台 ID：1
拣货台 ID：1
导入订单/下单时间：2016-07-15 10:10:10
开始拣货时间：2016-07-15 11:10:10
备注：哈哈哈

仓库内站点（补货/拣货台/充电桩）
序号 ID：1
可读序号：HT002
仓库 ID：1
IP 地址：192.168.1.10
位置索引：1
绝对坐标 X, Y, Z：（2, 3, 1）
类型（5 补货 3 拣货 2 充电桩）：2
状态（1 空闲 2 工作中 9 故障）：2
备注：

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 路交叉口）：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
自增序号：1
订单 ID：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
拣货台 ID：1
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（1 拣货中 2 完成拣货 9 异常）：1
拣货备注：2016-07-20 10:10:10（2），2016-07-20 10:13:10（1）

实时拣货商品表
员工每次开始为一个订单拣货，增加一个订单的所有商品记录
自增序号：1
站台 ID:1
订单 ID：1
SKU ID：11
总数量：2
已完成数量：1
状态（完成 0，未完成 1）：1
最后更新时间：2016-07-01 13:50:10

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
自增序号：1
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）
自增序号：1
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
当前功能：1
起点位置索引：1
终点位置索引：2
当前位置索引：3
当前绝对位置 X, Y, Z：1, 2, 3
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）

通讯记录表
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）

员工行为记录（拣货/补货/登入/登出）表
员工每次扫码拣货、补货后增加一条记录

自增序号：1
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

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	
上位机：	0x11	

回执		
上位机： 停止移动	0x12	
上位机： 转向	0x13	顺 0/逆 1 旋转 ( 1Byte ) , 转动次数 ( 1Byte )
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 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 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 )
小车： 当前状态 /心跳	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 } , 小车 ID ( 2 Byte ) , 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：	0x34	货物重量 ( 2 Byte ) , X 坐标 ( 2 Byte ) , Y 坐标 ( 2 Byte ) , Z

货物不稳		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 )
小车： 找到货架 并抬起	0x41	小车 ID ( 2Byte ) ,X 坐标 ( 2 Byte ) , Y 坐标 ( 2 Byte ) , Z 坐标 ( 1 Byte )
小车： 到拣货台	0x42	小车 ID ( 2Byte ) ,X 坐标 ( 2 Byte ) , Y 坐标 ( 2 Byte ) , Z 坐标 ( 1 Byte )
小车： 送回货架 并放下	0x43	小车 ID ( 2Byte ) ,X 坐标 ( 2 Byte ) , Y 坐标 ( 2 Byte ) , Z 坐标 ( 1 Byte )
拣货员： 请求订单	0x50	拣货员 ID ( 2 Byte ) , 拣货台 ID ( 2Byte ) , 订单数量 ( 2Byte ) , 保留位 ( 1Byte )
拣货员： 找到商品	0x51	拣货台 ID ( 2Byte ) , 商品条码(10 Byte) , 商品数量 ( 2Byte ) , 保留位 ( 3Byte )
拣货员： 商品放入 订单分拣	0x52	货架 ID ( 2Byte ) , 订单 ID ( 2Byte ) , 商品 ID ( 2Byte ) , 保留位 ( 1Byte )
上位机： 分配订单	0x61	1 是 2 否初次分配 ( 2Byte ) , 第一张订单 ID ( 2Byte ) ,第一订单商品总数 ( 2Byte ) ,保留位 ( 1Byte ) , ..... , 第 i 张订单 ID ( 2Byte ) ,第 i 订单商品总数 ( 2Byte ) ,保留位 ( 1Byte ) , ..... , 最后一张订单 ID ( 2Byte ) , 最后一订单商品总数 ( 2Byte ) ,保留位 ( 1Byte )
上位机： 当前商品 对应订单	0x62	订单 ID ( 2Byte ) , 商品 ID ( 2Byte ) , Sku ID ( 2Byte ) , 保留位 ( 1Byte )
上位机： 货架待拣 商品对应 信息	0x63	货架 ID ( 2Byte ) , 商品库位 ( 2Byte ) , 商品 ID ( 2Byte ) ,保留位 ( 1Byte ) , 货架库位类型 ( 20Byte ) , 商品名称 ( 30Byte ) ,
上位机： 拣货结果	0x64	0 成 1 败 ( 2Byte ) ,失败原因 ( 30Byte )

## 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

$S_i$  : 第  $i$  个货架,  $G_i$  : 第  $i$  个商品 SKU,  $G_{ic}$  : 第  $i$  个商品有  $c$  个

1, 当前拣货员 =》所有订单

=》所有商品 SKU 及 数量

=》所有商品货架 及 对应货架上商品数量

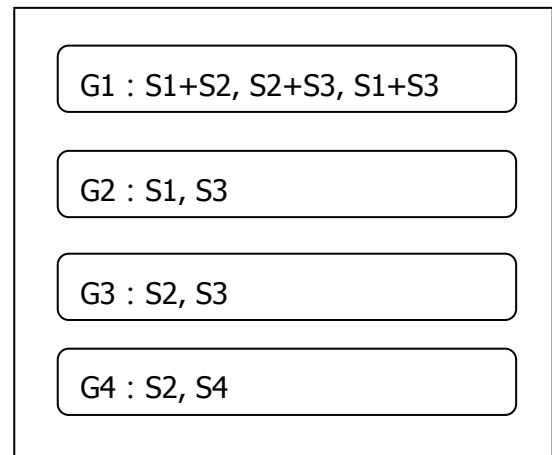
=》按商品 SKU 分类取得所有货架组合

=》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

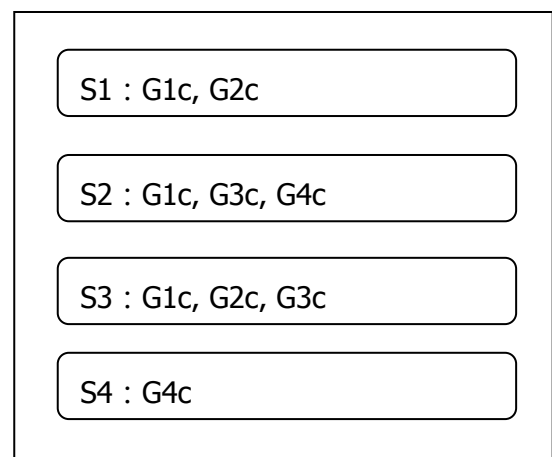
=》所有商品 SKU 及 数量

=》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	$V^2$	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。

下标	数据	节点位置	名称	边指针列表								
1	22	22, 33, 11	AA	索引	权重	距离	索引	权重	距离	索引	权重	距离
				2	1	1	3	1	1	4	1	1
2	33	22, 43, 11	AB	索引	权重	距离		索引	权重	距离		
				1	1	1		3	1	1		
3	44	22, 53, 11	AC	索引	权重	距离		索引	权重	距离		
				1	1	1		2	1	1		
4	55	32, 53, 11	CA	索引	权重	距离						
				1	1	1						
5	45	33, 53, 11	CB									
6												

## 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. Dijkstra：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，数据结构用邻接链表

=》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  $O(n^2) = n \times (n - m)$ ，m,n 分别为未访问和全部节点数

```
int minIdx = 0, minDistance = Int32.MaxValue, tmpLen;
foreach (int item in UnkownList)
{
    foreach (KeyValuePair<int, int> visitor in VisitedList)
    {
        tmpLen = graph.CheckEdgeDistance(item, visitor.Key);
        if (tmpLen > 0 && tmpLen + visitor.Value < minDistance)
        {
            minIdx = item;
            minDistance = visitor.Value + tmpLen;
        }
    }
}
pathList.Add(graph.GetHeadNodeByID(minIdx));
VisitedList.Add(minIdx, minDistance);
UnkownList.Remove(minIdx);
```

**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  $O(n) = 2 \times m$ ，m 为未访问节点数（未访问节点会越来越少）

```

int minIdx = 0, minDistance = Int32.MaxValue, tmpLen;
//先找到当前最小的距离值
foreach (KeyValuePair<int, int> item in UnkownList)
{
    if (item.Value > 0 && item.Value < minDistance)
    {
        minIdx = item.Key;
        minDistance = item.Value;
    }
}
pathList.Add(graph.GetHeadNodeByID(minIdx));
VisitedList.Add(minIdx, minDistance);
//再更新新节点减少的距离
foreach (KeyValuePair<int, int> item in UnkownList)
{
    tmpLen = graph.CheckEdgeDistance(item.Value, minIdx);
    if (tmpLen > 0 && (item.Value < 0 || tmpLen + minDistance < item.Value))
    {
        UnkownList[item.Key] = tmpLen + minDistance;
    }
}

```

2. 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，数据结构用邻接矩阵  
 =》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（ $O(V^3)$ ）
3. 最终算法（两种都实现，分别用于不同场景）
  - a) 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
  - b) 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

### 2. 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）

### 3. 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

### 4. 入库/补货阶段如何通过商品二维码跟商品 SKU 做绑定