

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

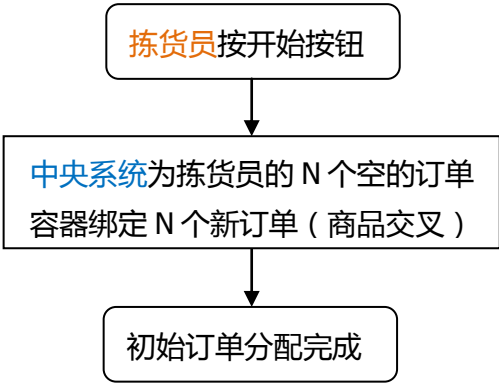
业务顺序图



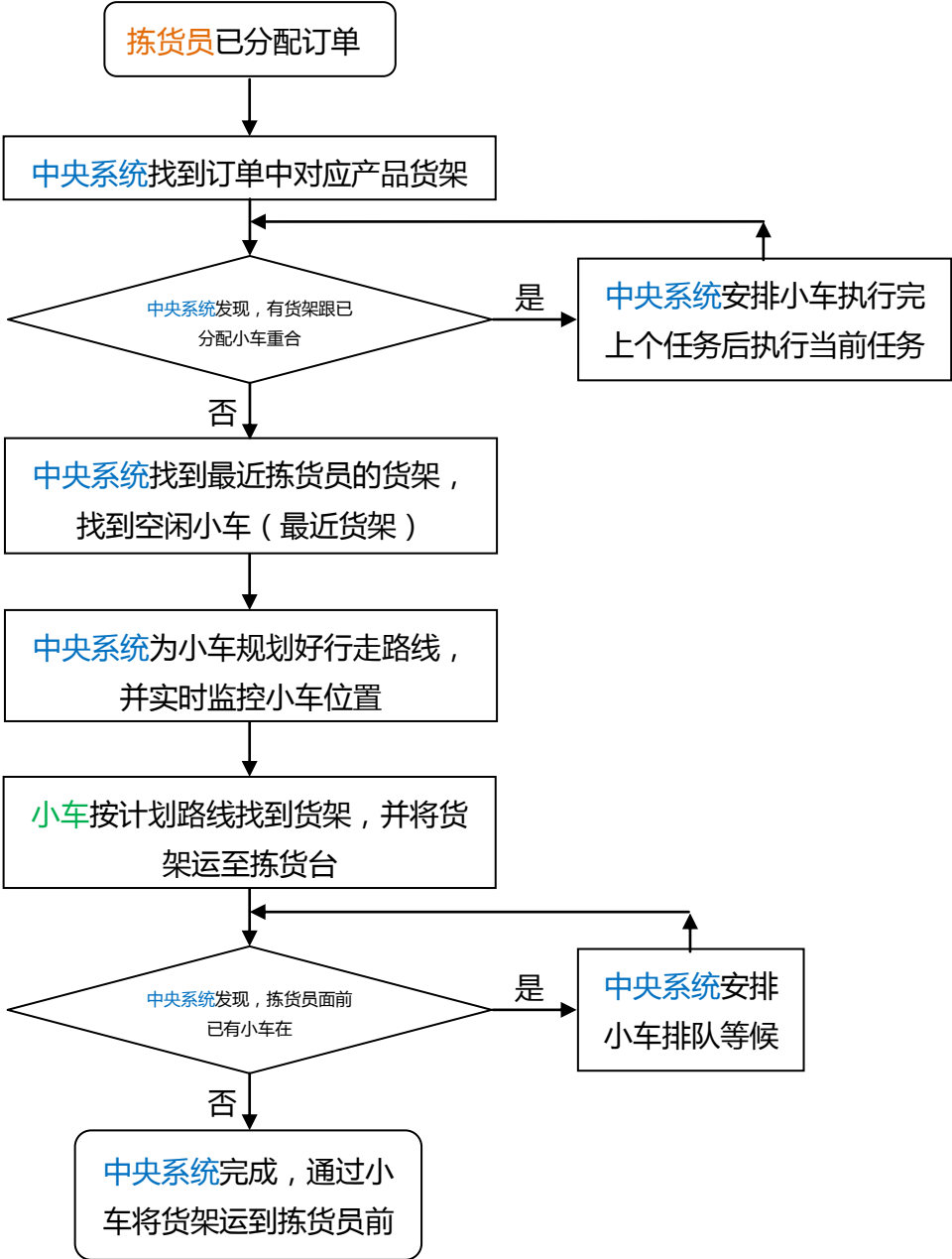
系统工作流程图

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



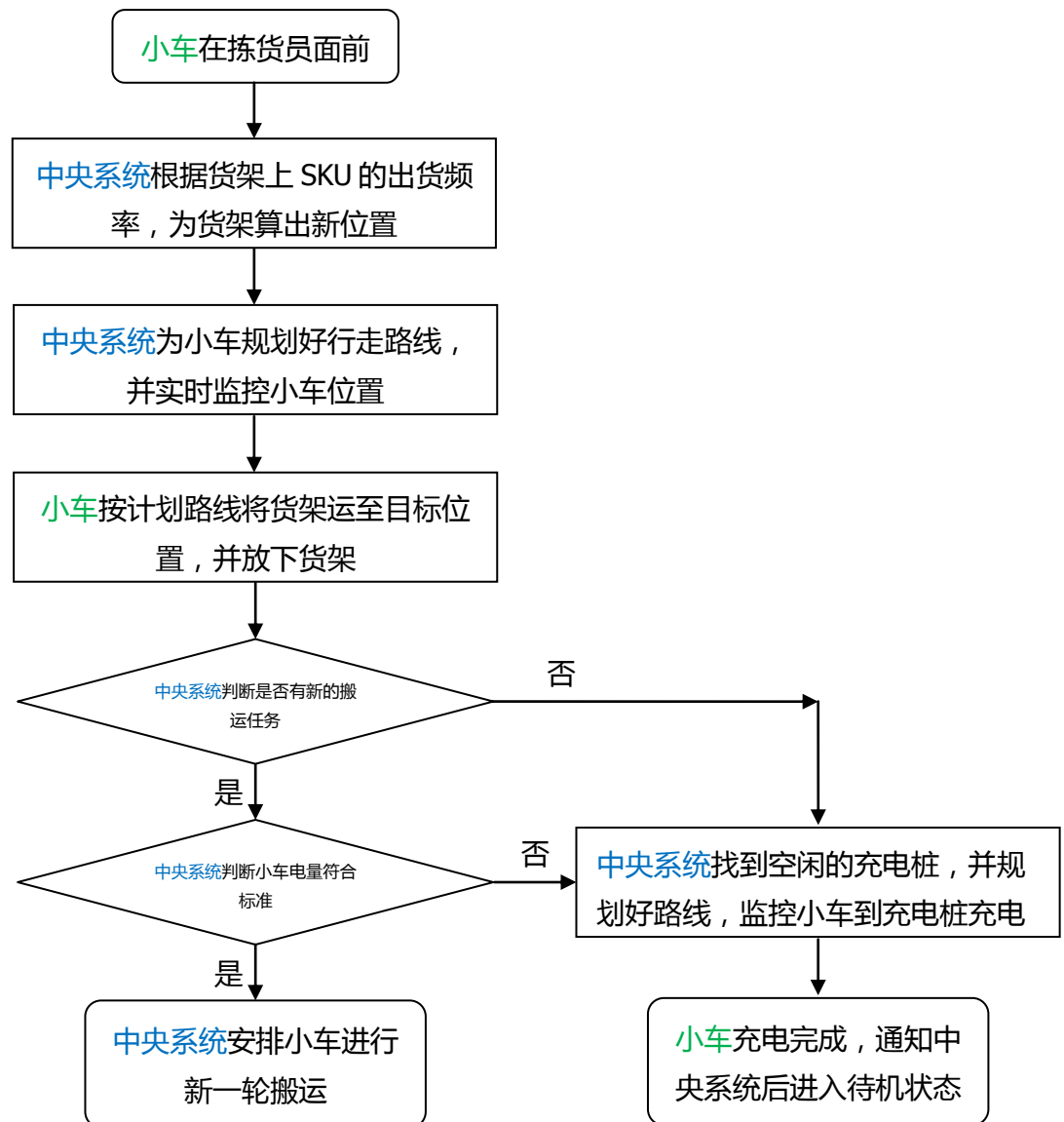
小车运货架到拣货员面前



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

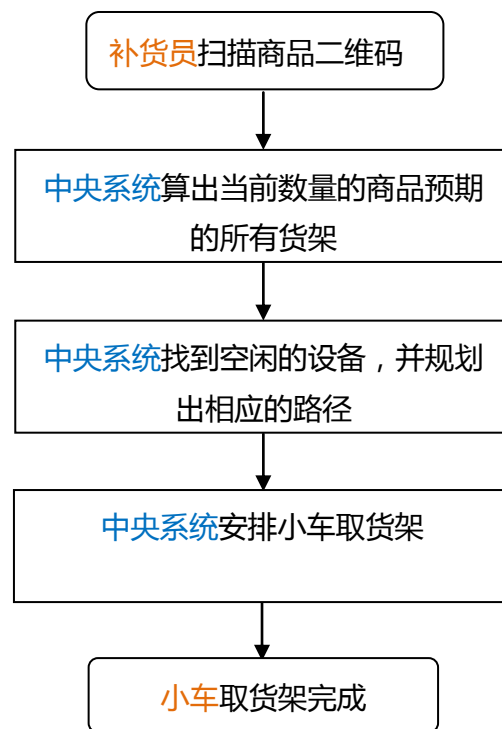


补货

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。

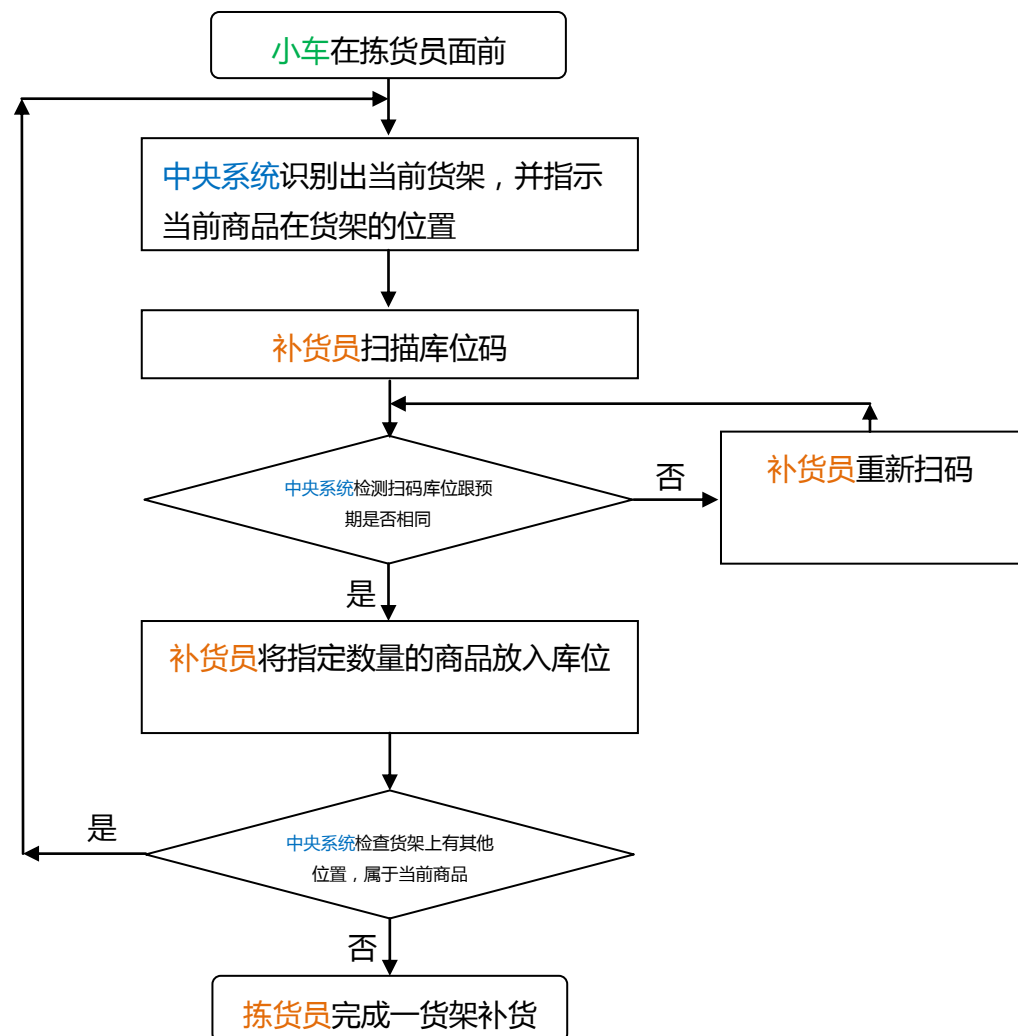
操作是拣货的逆向过程，区别有两点：1，定位货架的查询条件不同：当补货员扫描商品后，根据要补货的数量和货架自身空位量，以及最近一周跟补货商品的销售相似度，综合考虑来决定为哪个货架进行补货，从而选择哪个货架；而拣货需要是订单中的产品，所以只需要考虑，订单需要移动的货架数量、商品先进先出和距离拣货员的距离作为考虑因素。2，货架往返的执行结果不同：对于要补货的货架是上架商品，拣货是相反的下架商品。

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

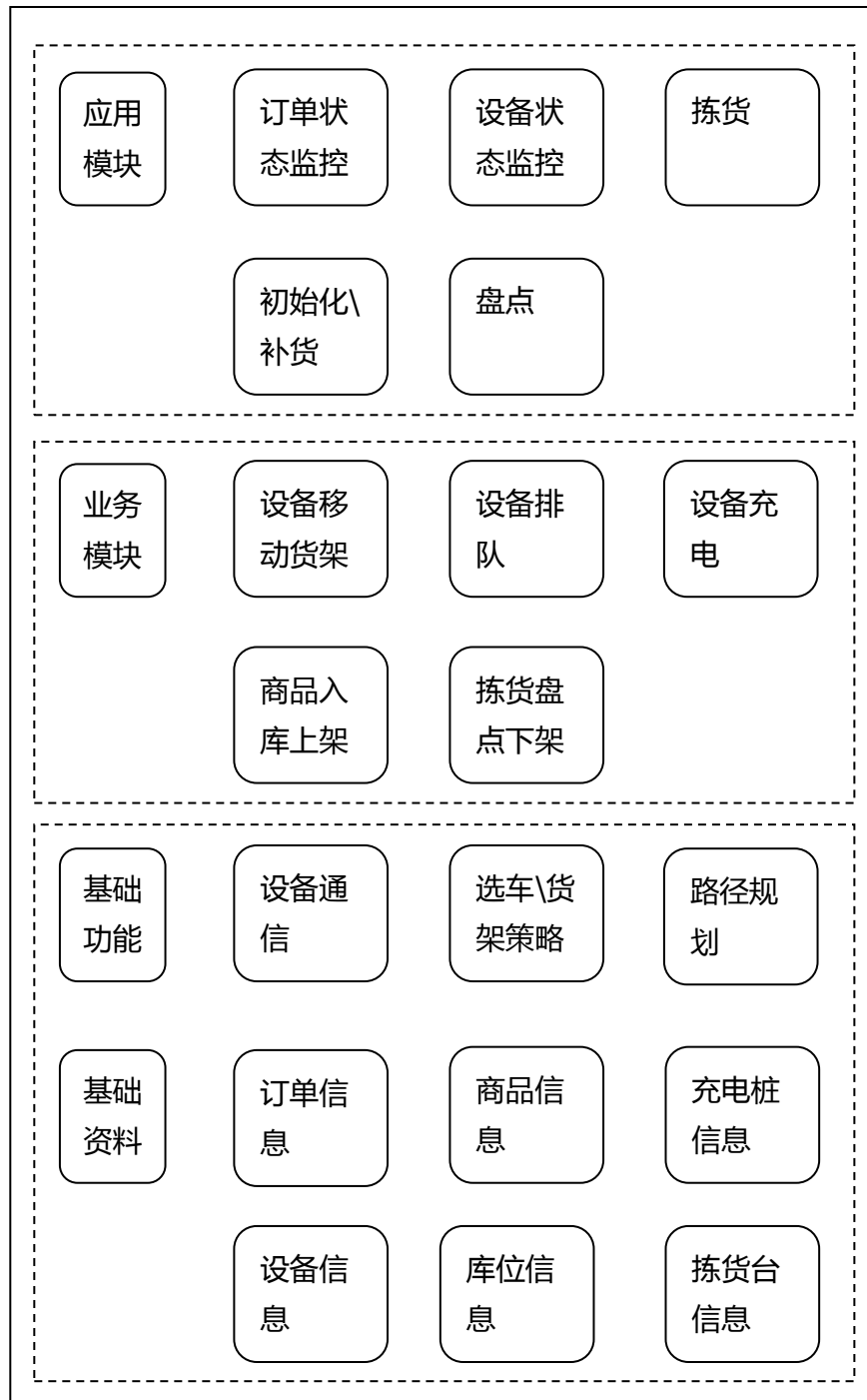
随机选中一台货架，给出系统中货架上的产品及数量，由盘点员确认对应的实际结果。

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
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

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 反向 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
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	保留位 (2Byte) ,X 坐标 (2 Byte) , Y 坐标 (2 Byte) , Z 坐标 (1 Byte)
小车： 到拣货台	0x42	保留位 (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	保留位 (2Byte) ,X 坐标 (2 Byte) , Y 坐标 (2 Byte) , Z 坐标 (1 Byte)
拣货员： 开始拣货	0x50	拣货台 ID (2 Byte)
拣货员： 找到商品	0x51	订单 ID (2Byte) , Sku ID(2Byte), Product ID(2Byte),数量 (1Byte)
拣货员： 商品放入 订单分拣	0x52	订单 ID (2Byte)

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

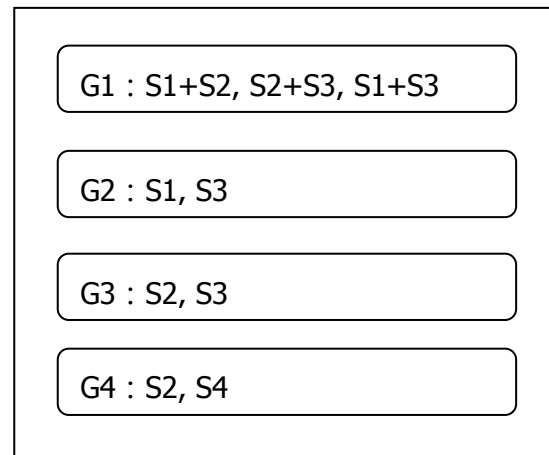
=》按商品 SKU 分类取得所有货架组合

=》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

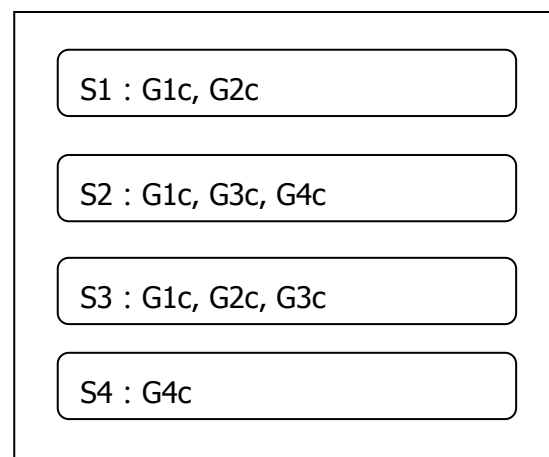
=》所有商品 SKU 及 数量

=》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 $O(n^2) = n*(n-m)$ ，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 $O(n) = 2*m$ ，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