

记忆科技采购建议项目

RAMAXEL-ProcureSense-algorithm

1. 项目背景

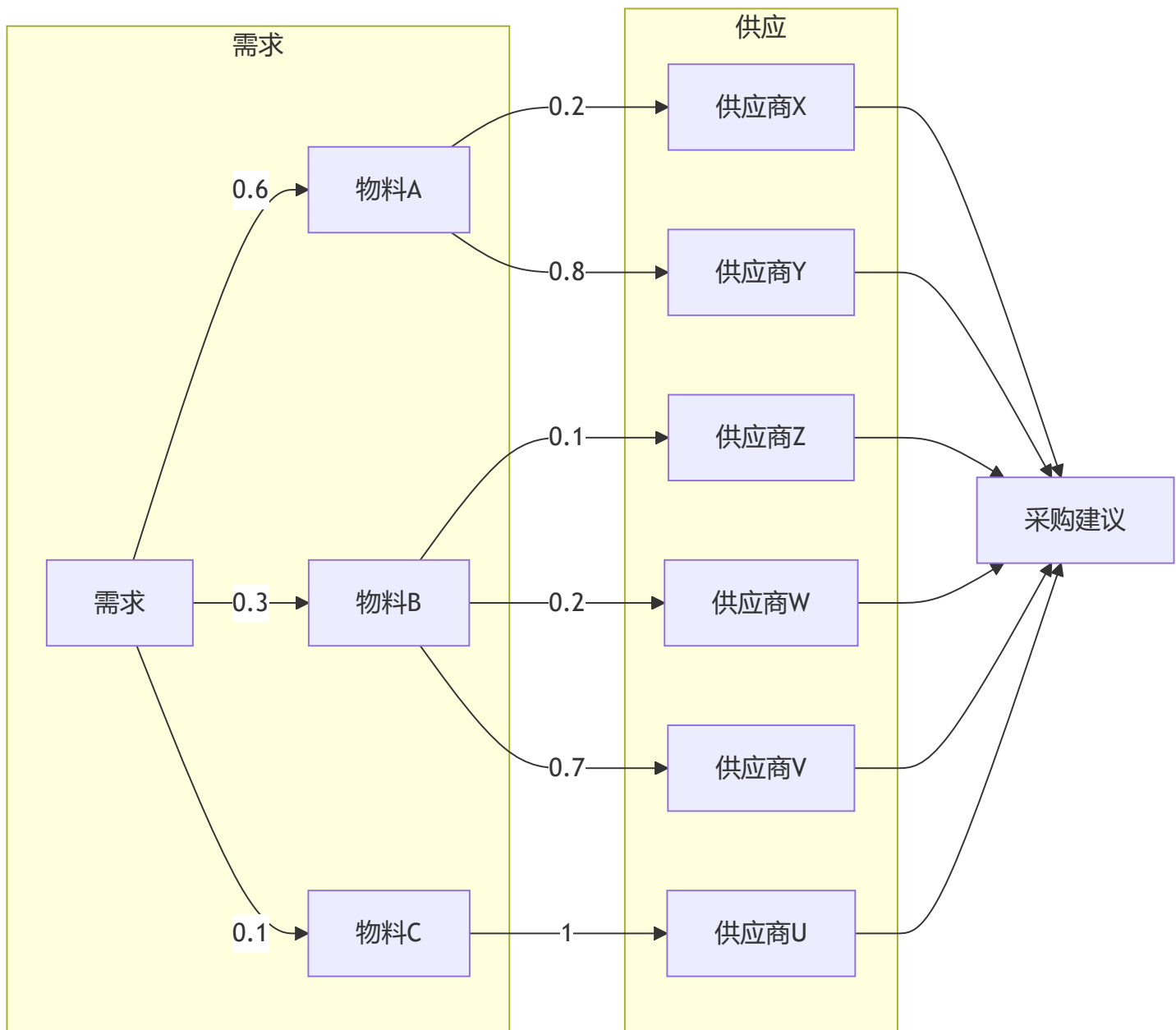
采购作为供应链管理的重要环节，合理的采购模型与优化策略可以有效提升采购效率。在实际采购过程中往往需要考虑多个因素，如物料替代关系、供应商选择、采购比例限制等。本项目基于混合整数规划模型，优化采购方案，使采购决策在满足需求的同时，均衡物料采购比例和供应商采购比例，生成最优采购建议。

2. 应用场景

在采购过程中，多种物料之间可能存在替代关系，即某种需求可以由不同物料部分或完全替代。每种物料可以由多个供应商提供，每个供应商会有最小包装量（MPQ）和最小起购量（MOQ）限制。根据物料不完全替代关系和供应商采购限制有多种需求满足方案。采购时需要确保每个需求都得到满足，且尽量避免采购过量出现超买，同时，根据历史采购数据及理论比例（PN & MPN），优化采购方案，逐步接近理论值。计算每个物料下每个供应商的建议采购量，汇总所有物料的采购建议，形成最终采购方案。

- **需求约束：**确保每个采购单元的需求得到满足，同时避免超额采购
- **供应商约束：**供应商对物料有不同的最小包装量（MPQ）和最小起购量（MOQ）限制
- **比例优化：**基于历史采购数据及理论采购比例（PN & MPN），优化采购建议，使其逐步趋近理论值

图 2.1 是一个典型的采购问题示例：



(图 2.1 采购问题)

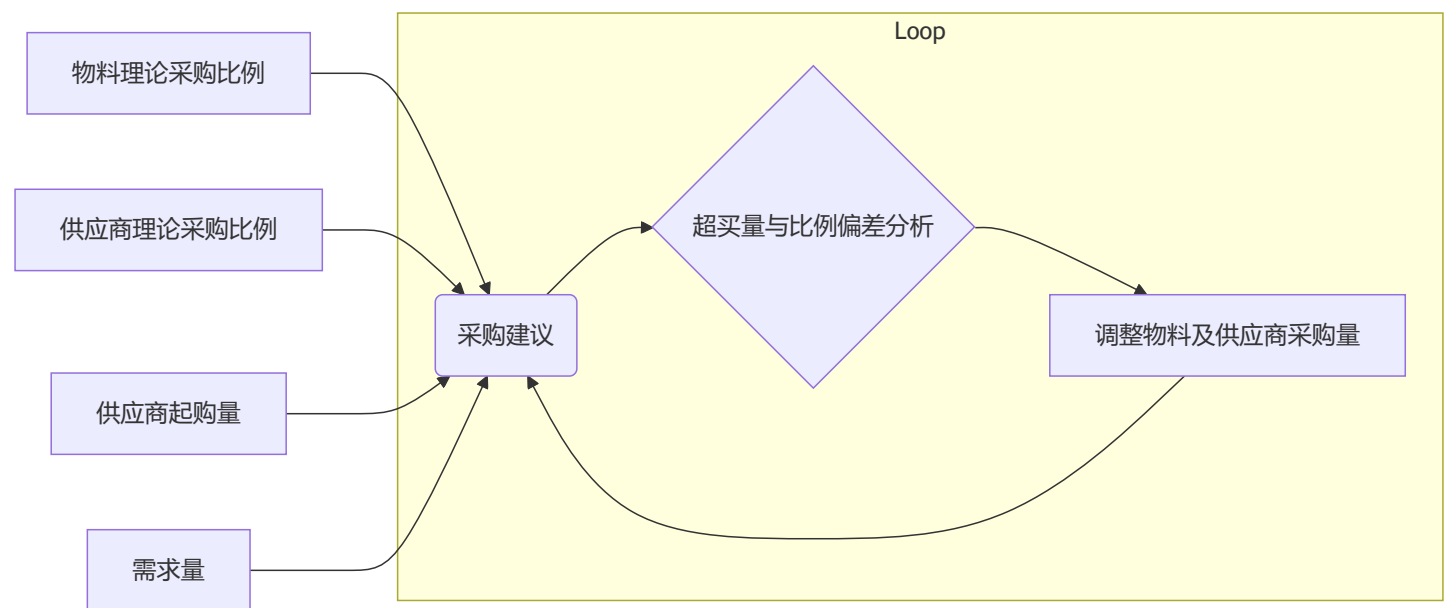
3. 问题分析

3.1 需求分析

采购建议的计算主要基于以下几个关键参数：

- **需求量**：净需求量
- **供应商约束**：最小起购量 (MOQ) 、最小包装量 (MPQ)
- **采购比例**：
 - **PN 比例**：物料的理论采购比例
 - **MPN 比例**：供应商对应物料的理论采购比例

根据需求量、供应商起购量、供应商理论采购比例（MPN 比例）等参数，计算每个物料下每个供应商的建议采购量。进行超买量与比例偏差分析，在满足净需求的同时，最小化超买量，并趋近于物料的理论采购比例（PN 比例）及供应商的理论采购比例（MPN 比例），调整物料及供应商采购量，迭代到最优，汇总所有物料的采购建议，形成最终采购方案，如下图所示。



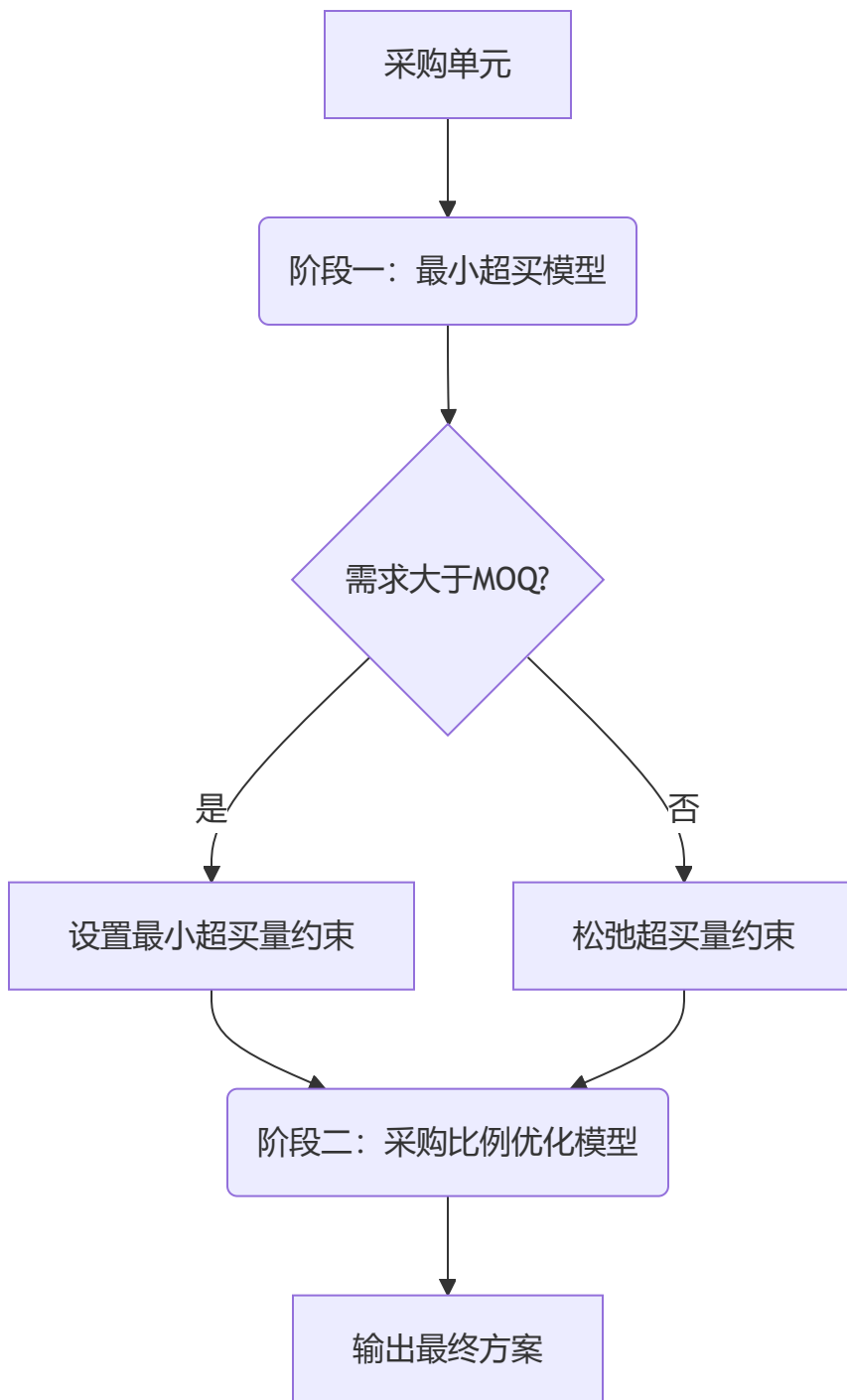
(图 3.1 需求分析)

3.2 算法设计

采购建议计算分为两个处理过程，采用两阶段混合整数规划模型：

第一阶段： 最小化超买量

第二阶段： 在超买量约束下优化采购比例



(图 3.2 算法设计)

4. 数学模型

4.1 问题描述

需求满足：

- 一个需求可以由多个物料满足，物料之间存在不完全替代关系。
- 每个物料的采购量存在理论PN比例。

供应商满足：

- 每个物料可以由多个供应商提供，供应商之间存在理论MPN比例。
- 供应商的采购量需满足MOQ和MPQ限制。
- 物料采购量必须是最小包装量（MPQ）的倍数，且不小于最小起购量（MOQ）。

4.2 符号定义

符号	描述
【需求属性】	
i	需求编号, $i = 1, 2, \dots, I$
h'	需求下的物料编码, $h' \in \{1, 2, \dots, H\}$
D_i	第 i 个需求, 需求集合 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_I\}$
Q_i	需求 D_i 的净需求量
【物料属性】	
h	物料编码, $h = 1, 2, \dots, H$
r_h	第 h 个物料的 PN 理论采购比例
【供应商属性】	
k	供应商编号, $k = 1, 2, \dots, K$
R_{hk}	物料 h 对应供应商 k 的 MPN 理论采购比例
PQ_{hk}	物料 h 对应供应商 k 的已购量
Moq_{hk}	物料 h 对应供应商 k 的最小起购量
Mpq_{hk}	物料 h 对应供应商 k 的最小包装量

决策变量

- X_{hk} : 供应商 k 对物料 h 的建议采购量。
- $x_{ih'}$: 需求 i 的物料 h' 的分配量。

4.3 目标1

在目标1中最小化超买量，确保采购量尽可能接近需求量

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^K X_{hk} - \sum_{i=1}^I Q_i \\
& \text{s.t} \\
& Q_i = \sum_{h'} x_{ih'}, \quad \forall i \quad (1) \\
& \sum_{i=1}^I x_{ih'} \leq \sum_{k=1}^K X_{hk}, \quad \forall h = h' \quad (2) \\
& X_{hk} \geq Moq_{hk}, \quad \forall h, k \quad (3) \\
& X_{hk} \in Mpq_{hk} \mathbb{Z}, \quad \forall h, k \quad (4)
\end{aligned}$$

- 约束 (1)：确保每个需求 i 的净需求量 Q_i 等于其分配物料的总量。
- 约束 (2)：确保每个物料的采购总量满足其需求分配总量。
- 约束 (3)：确保每个供应商对物料的采购量不小于最小起购量 (MOQ)。
- 约束 (4)：确保每个供应商对物料的采购量是最小包装量 (MPQ) 的整数倍。

4.4 目标2

在目标2中，最小化采购比例偏差，确保采购比例趋近于理论值。

$$\begin{aligned}
& \min w_{pn} f_{pn} + w_{mpn} f_{mpn} \\
& \text{s.t} \\
& Q_i = \sum_{h'} x_{ih'}, \quad \forall i \quad (1) \\
& \sum_{i=1}^I x_{ih'} \leq \sum_{k=1}^K X_{hk}, \quad \forall h = h' \quad (2) \\
& X_{hk} \geq Moq_{hk}, \quad \forall h, k \quad (3) \\
& X_{hk} \in Mpq_{hk} \mathbb{Z}, \quad \forall h, k \quad (4) \\
& \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^K X_{hk} - \sum_{i=1}^I Q_i \leq f_1 \quad (5)
\end{aligned}$$

- 约束 (1) - (4)：与目标1一致。
- 约束 (5)：确保目标2的超买量不超过目标1的最优超买量。
- PN 比例偏差：

$$f_{pn} = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H \left| \sum_{k=1}^K (X_{hk} + PQ_{hk}) - r_h \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^K (X_{hk} + PQ_{hk}) \right|$$

表示物料的实际采购量与其理论 PN 采购比例之间的偏差。

- MPN 比例偏差：

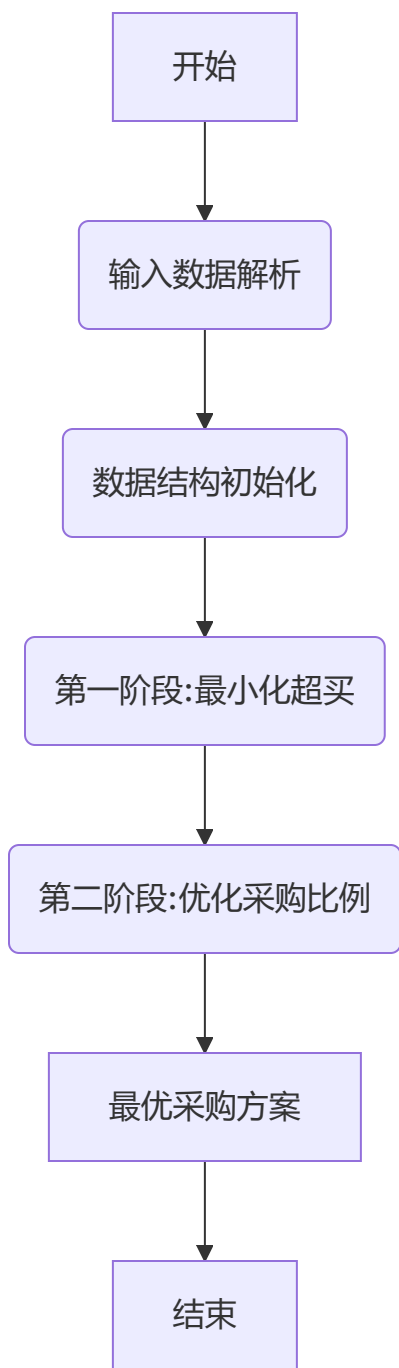
$$f_{mpn} = \sum_{h=1}^H \frac{1}{\sum_{k=1}^K [R_{hk}]} \sum_{k=1}^K \left| (X_{hk} + PQ_{hk}) - R_{hk} \sum_{k=1}^K (X_{hk} + PQ_{hk}) \right|$$

表示供应商的实际采购量与其理论 MPN 采购比例之间的偏差。

5. 执行流程

采购建议计算的整体流程如下：

1. **输入数据解析**：解析传入的输入数据，提取采购单元、物料需求、供应商信息等。
2. **数据结构初始化**：初始化需求 DemandManager 和供应商 VendorManager
3. **优化计算**：两阶段优化计算，最小化超买量和比例趋近系数
4. **输出结果**：将根据求解结果生成的采购建议方案返回给调用方



(图 5.1 算法整体流程)

5.1 输入数据解析

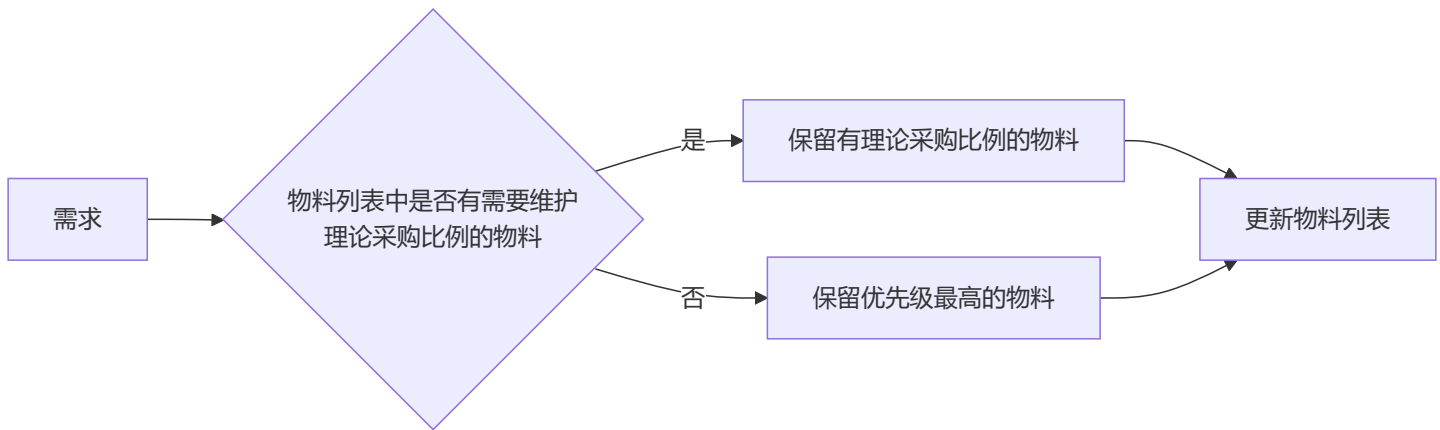
输入数据通过 `InputData` 对象传入，包含以下关键字段：

- `tenantId`：租户ID
- `version`：版本号
- `manualFlag`：标识
- `pnRatioWeight`：PN 理论采购比例的权重
- `mpnRatioWeight`：MPN 理论采购比例的权重

- data：采购单元列表，每个采购单元包含物料需求、供应商信息等

数据预处理

1. **需求合并**：根据物料列表合并需求，合并后的总净需求用于优化计算，减少变量的数量。
2. **物料优先级过滤**：根据物料是否有PN比例及优先级筛选并更新需求的物料列表。
 - 如果某物料有 PN 比例，则物料列表保留维护了 PN 比例的物料。
 - 否则，物料列表只保留优先级最高的物料。



(图 5.2 物料过滤逻辑)

5.2 数据结构初始化

对于一个采购单元，初始化求解器，初始化需求 DemandManager 和供应商 VendorManager

需求DemandManager

建立需求-物料映射

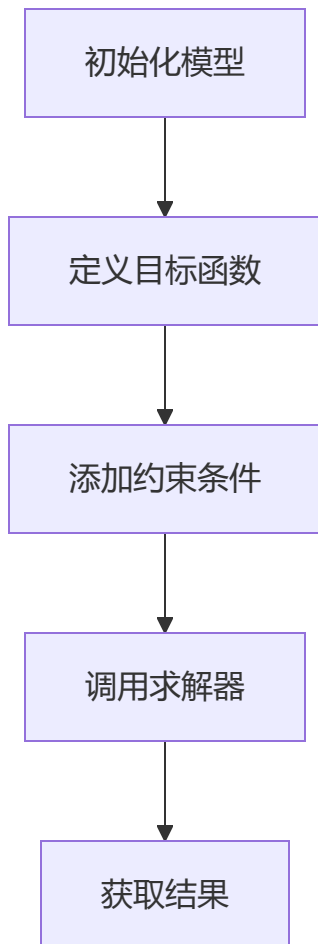
- 创建需求ID -> 需求数量映射
- 创建需求ID -> 物料编码与变量的映射
- 创建物料编码 -> 物料编码与变量的映射
- 创建决策变量和需求相关约束
 - 净需求量=物料变量的总和

供应商VendorManager

- 创建物料编码 -> 供应商信息列表映射，包含供应商编码、理论采购比例、已购量、MOQ、MPQ和变量
- 创建决策变量和设置供应商相关的约束
 - 建议采购量 \geq 物料变量的总和
 - 起购量约束

5.3 优化计算

采购计划计算的核心部分，分为两个目标，调用求解器分段计算



(图5.3 求解器优化流程)

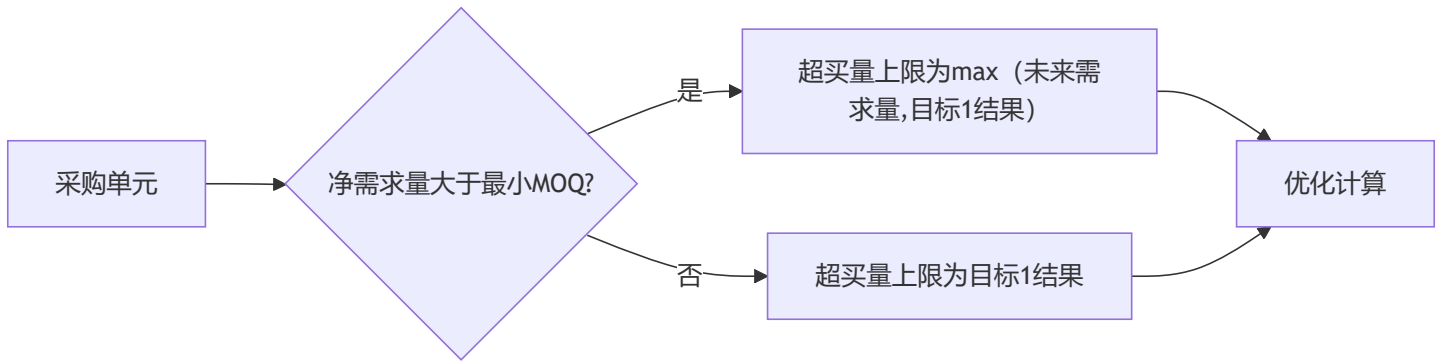
5.3.1 目标1：最小化超买量

- **目标函数：**最小化超买量，超买量 = 总建议采购量 - 需求量
- **约束条件：**DemandManager 和供应商 VendorManager 内设置
- **求解方法：**`solver.solve()`
- **输出结果：**最小超买量

5.3.2 目标2：最小化采购比例偏差

- **目标函数：**最小化实际采购比例与理论采购比例的偏差，偏差 = PN偏差 + MPN偏差
- **约束条件：**
 - DemandManager 和供应商 VendorManager 内设置
 - 设置超买量上界：如果净需求量是否大于最小MOQ，超买量上限可放宽到未来需求量，否则设置为目标1结果
- **求解方法：**`solver.solve()`

- **输出结果**：获取在约束超买量下的最小采购比例偏差数值及建议采购列表



(图5.4 超买量约束逻辑)

5.4 输出结果

输出数据通过 `OutputData` 对象返回，包含以下字段：

- `tenantId`
- `version`
- `manualFlag`
- `data`：采购单元的结果列表，每个采购单元包含超买量、超买比例、采购建议，其中：
 - i. **超买量**：总采购量与总需求量的差值
 - ii. **超买比例**：超买量与总净需求量的比例，保留两位小数
 - iii. **采购建议列表**：包含物料编码、供应商编码、建议采购量等信息

6. 代码架构

1. 核心类：

- `PurchasePlanImpl`：主业务逻辑类，负责调用其他类和方法完成采购建议的计算
- `InputData`：输入数据类，包含租户ID、版本号、手动标记、PN比例权重、MPN比例权重以及采购单元列表
- `OutputData`：输出数据类，包含租户ID、版本号、手动标记以及采购建议结果列表
- `PurchaseUnit`：采购单元类，包含采购单元ID、需求列表、PN比例、MPN比例以及未来需求量
- `OutputPurchaseUnit`：采购单元结果类，包含采购单元ID、超买量、超买比例以及采购建议列表
- `Suggestion`：采购建议类，包含物料编码、供应商编码、建议采购量

2. 数据模型类：

- `DemandManager`：需求管理类，用于管理采购单元的需求，包含需求ID到需求数量、需求ID到物料编码到变量的映射、物料编码到需求ID到变量的映射以及决策变量和需求相关的约束

- VendorManager：供应商管理类，用于管理采购单元的供应商，包含物料编码到供应商信息列表的映射、决策变量和供应商相关的约束

3. 求解器类：

- MinOverPurSolver：目标1求解器，最小化超买量
- MinRatioSolver：目标2求解器，最小化采购比例偏差
- SolverUtils：工具类，提供变量求和和偏差计算的功能

4. 优化计算类：

- MPSolver：线性规划和混合整数规划求解器，用于创建变量、约束和目标函数
- MPVariable：线性规划和混合整数规划变量，表示决策变量
- MPConstraint：线性规划和混合整数规划约束，用于设置约束条件
- MPObjective：线性规划和混合整数规划目标函数，用于设置目标函数

7. 总结

采购建议算法通过混合整数规划模型，结合物料和供应商的理论采购比例，解决了采购建议的优化问题。在保证满足净需求的基础上，尽量减少超买量，并使物料和供应商的建议采购量趋近于其理论比例。