

物流系统分析

Logistics System Analysis

模块 1 简介

Introduction

葛乾

西南交通大学 系统所 & 交通工程系

- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素
- 3 物流系统的目标
- 4 物流系统的管理
- 5 物流系统的建模
- 6 解决物流问题的不同方法
- 7 连续近似方法的例子

学习内容

- ① 连续近似方法简介
- ② 一到一配送问题
- ③ 一到多配送问题
- ④ 带转运的一到多配送问题
- ⑤ 多对多配送问题

- 教材
 - 连续近似模型 Carlos F. Daganzo. Logistics Systems Analysis, 4th Edition. Springer. 2004
 - 优化模型 Gianpaolo Ghiani, Gilbert Laporte, Roberto Musmanno. Introduction to Logistics Systems Management. 2th Edition. Wiley. 2013
- 网络资源
 - Yossi Sheffi. Logistics Systems. MIT OCW

本节课关键词

- 物流系统
- 物流网络
- 目标
- 订单周期
- 简洁模型
- 有向图
- ABC 分类法
- 成本
- 物流系统管理
- 汇总数据
- 物流活动
- 逆向物流
- 收益
- KPI
- 连续近似
- 信息流
- 综合物流
- 服务水平
- 系统优化
- 数学优化

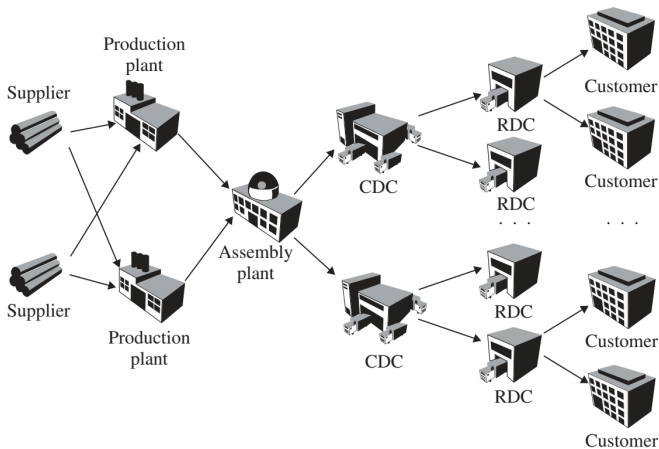
目录 | Outline

- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素**
- 3 物流系统的目标
- 4 物流系统的管理
- 5 物流系统的建模
- 6 解决物流问题的不同方法
- 7 连续近似方法的例子

- “Call it distribution or logistics or supply chain management. By whatever name it is the sinuous (复杂), gritty (琐碎), and cumbersome (麻烦) process by which companies move material, parts, and products to customers.” – Fortune, 1994
- Logistics system includes not only all the functional activities determining the flow of materials and information, but also the infrastructures, means, equipment and resources that are indispensable to the execution of these activities.
 - 决定物料和信息流动的功能性活动
 - 执行这些活动不可或缺的基础设施、手段、工具和资源

- “Call it distribution or logistics or supply chain management. By whatever name it is the sinuous (复杂), gritty (琐碎), and cumbersome (麻烦) process by which companies move material, parts, and products to customers.” – Fortune, 1994
- Logistics system includes not only all the functional activities determining the flow of materials and information, but also the infrastructures, means, equipment and resources that are indispensable to the execution of these activities.
 - 决定物料和信息流动的功能性活动
 - 执行这些活动不可或缺的基础设施、手段、工具和资源

物流系统示例



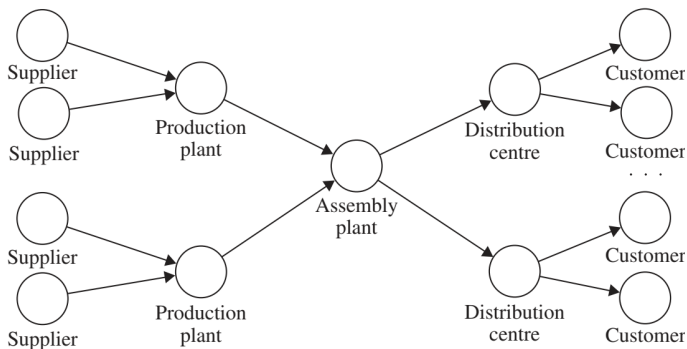
- production plant: 制造厂; assembly plant: 组装厂; CDC: 中央配送中心; RDC: 区域配送中心

物流系统示例 (cont.)

- 物流系统由物流活动发生所在的设施构成
- 图中展示了某家制造业企业的物流系统，其制造过程分为转换和组装
 - 头部是向制造过程提供物流和组件的供应商
 - 尾部是一个树状的双层配送系统，CDC 由生产工厂直接供货，RDC 连接单一的 CDC
- 在每个设施，物的流动会被暂时打断，以改变它们的物质-化学结构、所有权或者外观
- 物流活动会发生成本，并影响产品的价值。物流活动趋近于离消费者最近的设施时，产品会不断增值。增值可以是空间的（如配送活动），也可能是时间的（储存活动）

物流系统的图示

- 物流系统可以用有向图 (directed graph) $G = (V, A)$ 来表示, 其中 V 是表示设施的结点, A 用来表示物在设施之间的流通的线。同一组设施之间可有多条线, 以表示不同类型的运输服务、不同路径或者不同货物。



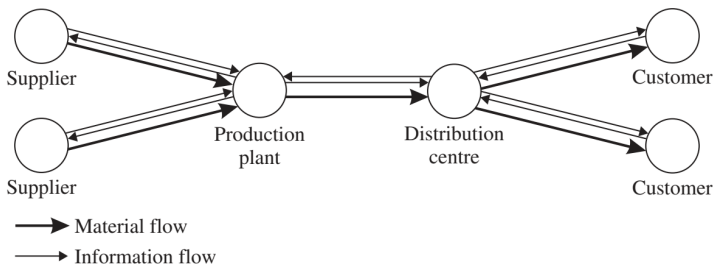
物流活动

- 一般，物流活动根据发生的地点分类，还需考虑生产与配送的过程。
 - 供给物流 (supply logistics) 发生在生产工厂之前，作为企业生产计划的一部分，包括原材料、材和生产部件的管理
 - 内部物流 (internal logistics) 发生在生产工厂之中，接受和储存材料、从仓库中遴选以送到生产线、转移半成品去包装以及储存终端产品
 - 配送物流 (distribution logistics) 发生在生产工厂之后，市场之前。这些活动为销售点和顾客供给商品。
- 物流活动可以是自营，也可能委托于第三方 (3PL)。选择自营还是 3PL 的逻辑类似于“造还是买”。

信息流

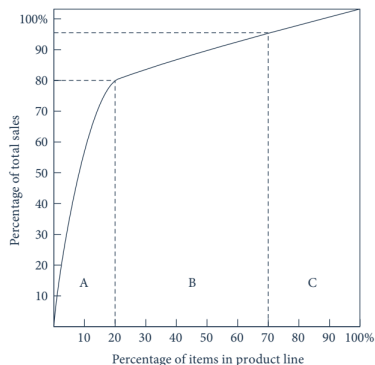
- 除少数情况外（如循环包装和逆向物流），物的流动一般是由供应商流向处理和组装厂，然后到销售点和顾客
- 物的流动一般和信息的流动被整合在一起。信息流的方向与物的流动相反
 - MTO（make to order，按单生产）模式中，顾客的订单影响到生产计划，而后者决定处理厂或组装厂对物流和部件的需求
 - MTS（make to stock，库存生产）模式中，市场信息被用来预测销售量，因而影响配送方式以及生产和供应的计划
- 设施之间的信息流（如通过传真和电子邮件）可用线表示，这意味着信息流也可以用有向图表示。

- 信息流的网络 and 材料流的网络共同构成了物流网络 (logistics network)

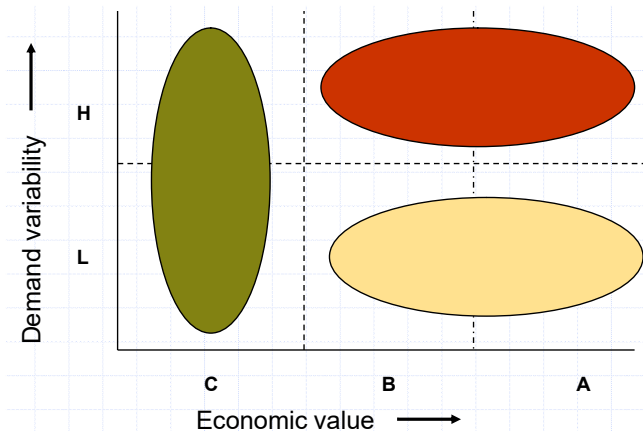


ABC 分类法

- 当一家公司同时处理多种产品时，物流网络不可避免变得复杂。因此可以根据其重要程度，将商品分为若干类。这样，就不必单独组织每种产品的物流活动，而可对其进行分类组织
- ABC 分类法是最常用的分类方法。该方法将产品按照其价值分为 A、B、C 三类。评价标准的不同，将会直接影响项目的等级划分
 - 来源于帕累托定律（二八准则）



ABC 类产品的区别



- 不稳定产品（右上）：复杂的技术；高频的检查；
- 稳定产品（右下）：比较不复杂的技术；相对低频的检查
- 不重要产品（左）：不复杂的技术；低频的检查

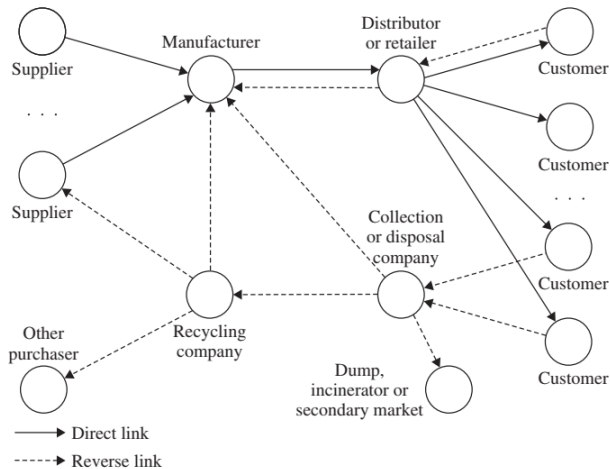
ABC 分类法的操作步骤

- ① 选择用于排序定级的评价标准
- ② 根据选定的评价标准的重要性对产品进行降序排序，计算各产品的百分比与累计百分比
- ③ 对产品进行分组定级——需要决策者的主观判断

逆向物流

- 将产品送往终端顾客并不意味着产品生命周期的结束，因为产品可能会过期、损坏或不能正常运转
- 逆向物流（reverse logistics）处理产品从最终消费者流向生产者或者专门的处理设施的流动
 - 例如控制设施以避免不合理的回收（仅表面不能运转）、回收与收集未能售出的产品、将回收的产品运往堆场或处理中心、在次级市场的运作（商品售出后的市场，包括二手流通、慈善义捐等）

逆向物流示例



- 为有效和有效率地管理物和相关信息从消费端到起始端的流动，逆向物流需要连接到初始的物流网络，以及反向的连接。这种方法的目的旨在从已经完成生命期的产品中获取利益

- 迄今为止，我们从企业内部运营工具的角度讨论了物流，这只适用于 19 世纪 80 年代之前
- 随着全方位竞争（原材料、终端产品、高消费量产品、资产设备*等）的加剧以及产品周期的缩短，促使企业变得更灵活，即不断提升适应变化的市场的能力
- 因此促生了综合物流（integrated logistics），即根据系统的观点，对涉入物流和信息流的企业进行协同管理，以最大化整体的营利能力
- 综合物流系统的管理不仅使某一企业内部各职能部门（营销、生产和物流）的联系增加，也使不同的合作伙伴的纽带增强，并产生了竞争优势。综合物流可以通过两种方式实现：
 - 效率方法（efficiency approach）依赖于智能关系（intelligent relations），即合约的严格可执行性带来的激励效果。不改变企业自身的策略，但是加快其与合作伙伴的交易，以降低损耗，并减少不带来增值效果的物流活动
 - 差异化方法（differentiation approach）中，企业努力与合作方建立排他性的联盟，即获取竞争对手不能复制的独特且有利的关系，从而在竞争中获得额外利益

*使用周期超过一年的生产性设备

目录 | Outline

- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素
- 3 物流系统的目标**
- 4 物流系统的管理
- 5 物流系统的建模
- 6 解决物流问题的不同方法
- 7 连续近似方法的例子

目标-成本

- 三大目标：成本（cost）、盈利（profit）和服务水平（service level）
- 成本分为固定成本（fixed cost）与可变成本（viable cost）

| 成本类型 | 固定成本部分 | 可变成本部分 |
|-------------------------|-------------------------------|--|
| 储存成本 运营管理成本 | 管理成本，储存中心运营成本 发出与统计订单的管理成本 | 保险，财务负担与机会成本，折旧，废弃成本 装载于卸货、移动成本、存货控制与管理成本 包裹、延迟收款、罚金 |
| 缺货成本 运输成本 生产与设备成本 | 运输工具的贬值和租赁费用 生产线的贬值成本 | 失销、失去顾客、损失形象 保险成本、可变运输成本 租赁费用 |

- 物流活动会影响公司盈利，然而与成本相比，其对销售的影响难以量化。因此，对于物流系统而言，以最大化盈利为单一的目标并不实用

目标——服务水平

- 服务水平包含顾客的总体满意程度，依赖于构成市场营销组合（marketing mix）的很多因素，这些因素与产品特性、价值、促销机会以及配送方式有关。
- 使用合适的指标，服务水平可以被量化
- 服务水平与企业利益有直接联系。
- 物流的一个目标是在保持服务水平的前提下，最小化在参照时间内的成本；或者寻找在参照时间内最大化收益的服务水平

示例

- 某公司可以调整其配送系统中配送中心的个数与位置，以确保不同的配送时间。物流专家估计了不同配送服务下的年度成本与销售额，如下图。图中各列分别对应拟定的 3 天内到货的百分比
- 易知，在保证 80% 的订单在 3 日内送达的情况下，净利润达到最大

Table Annual estimate of sales, costs and profits (in M€) of Ecopaper.

| | Orders dispatched within 3 days [%] | | | | |
|---------|-------------------------------------|------|------|------|-------|
| | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 |
| Sales | 4.00 | 5.00 | 7.00 | 9.00 | 10.50 |
| Costs | 1.80 | 3.00 | 3.50 | 6.00 | 7.10 |
| Profits | 2.20 | 2.00 | 3.50 | 3.00 | 3.40 |

服务水平的衡量

- 最常用的衡量物流系统服务水平的指标是订单周期 (order-cycle time), 为从订单发出 (或要求某服务) 到产品送达 (或完成某服务) 的时间间隔, 具体包括以下分项
 - 订单处理时间: 检查订单错误, 准备送货的文档, 更新库存
 - 仓库商品备货
 - 订单中产品的组装: 从存货点取货, 为配送包装货物
 - 送货时间: 将货物从存货点移动到配送点, 包括装卸货
- 由于物流系统内外随机因素的影响, 无法提前得知各项活动的确切持续时间
 - 订单周期中每个分项可用连续随机变量表示, 其分布未知, 但是可以从企业收集到的历史数据估计。分布的最重要的两个指标分别是均值和方差
- 案例: 见 pg 14-18

- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素
- 3 物流系统的目标
- 4 物流系统的管理**
- 5 物流系统的建模
- 6 解决物流问题的不同方法
- 7 连续近似方法的例子

- 对物流系统的管理，横跨规划、组织和控制等阶段
 - 规划（planning）阶段根据预先制定的目标，选择最佳的决策
 - 组织（organizing）阶段在企业的组织架构图内组织直接参与物流活动的人力资源，以有效的达到企业目标
 - 控制（control）阶段根据企业管理所要求的定性与定量指标衡量物流系统的表现。当结果与目标不一致时，可能还会纠偏
- 物流系统的规划、组织与控制按照顺序发生

规划阶段

- 主要包括预测 (forecasting)、选址 (location)、供货 (supply)、储存 (storage)、配送 (distribution) 等决策领域
 - 预测是估计刻画物流系统的不确定因素的过程，其作用在于明确物流系统的范围、确定生产能力和库存水平、拟定计划与生产程序、组织运输等
 - 选址是决定设施最优位置的决策过程，发生在规划阶段以及对既有设施的重组
 - 供货决策关注所有关于采购原材料、半成品或供应服务的物流活动。该领域的决策很大程度上依赖于特定的公司背景
 - 储存与配送的决策中，物流活动处于最重要地位

规划阶段 (cont.)

- 物流规划可以划分为三个决策层级：战略 (strategic)、战术 (tactical) 与运作 (operational)
 - 战略决策 (长期选择)：对物流系统有长期影响 (一年以上)，包括大额财务投资，因而难以在短期内撤回。该类规划一般依赖于对集计数据的预测 (如类似产品的区域需求)
 - 战术决策 (中期选择)：关注对可用资源的使用，依赖于预测。频率一般是每年、每季度或者每月
 - 运作决策 (短期选择)：关注对人力资源和原材料的每周或每日计划，依赖于周围环境获取的数据 (顾客发出的订单、关于仓库的信息、车辆的可用性、物流行业的人力等)

组织阶段

- 物流系统的组织决策可参考公司的组织，其决定责任和任务的分配，而受多因素印象，如企业所处行业、企业文化、技术的采用以及企业的规模
- 常见的组织结构有：职能型 (functional)、事业部型 (divisional) 和矩阵型 (matrix)
 - 请阅读教材 pg 19-28，并回顾《管理学原理》相关内容

控制阶段

- 控制阶段需要制定监控物流活动的指标，即 KPI (key performance indicators)
- 没有通用的 KPI，其选择需要考虑到物流系统的特征，尤其是物流活动的重要性及其目标。KPI 可分为三类：
 - 工作量，衡量物流活动中的工作量
 - 效果，衡量物流活动的工作质量
 - 效率，衡量物流活动的费用
- 每个 KPI 的合理取值范围不同。为使不同的指标同质化，且达到统一和连贯的“控制面板”，需要均一化的过程，即将原始的取值范围转换到统一的范围。
- KPI 控制面板技术的步骤如下
 - 将物流活动分类，并定义其追求的目标
 - 根据三类指标识别 KPI
 - 创建控制面板
- 控制面板示例 pg 29-33

目录 | Outline

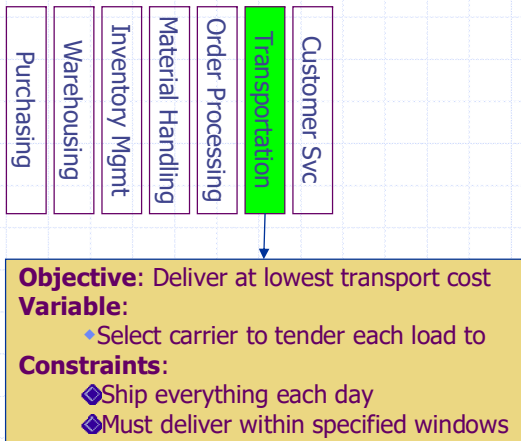
- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素
- 3 物流系统的目标
- 4 物流系统的管理
- 5 物流系统的建模**
- 6 解决物流问题的不同方法
- 7 连续近似方法的例子

传统职能视角

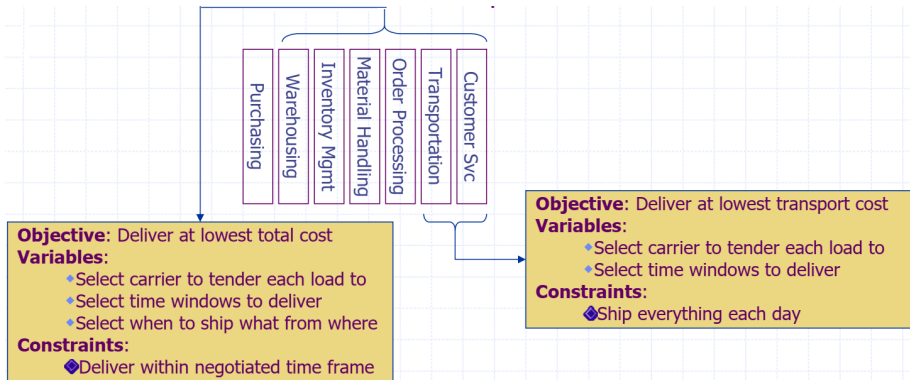
- 采购：买什么与从哪里买；集团采购还是分组采购
- 库存控制：何处储存多少；触发的库存点；补货计划
- 仓库管理：储存、混合与分散；选货、装包与运送；储存何种产品与储存何处
- 材料处理：如何移动货物；装包与装箱；存储的结构
- 订单处理：接收、入账、状态；订单管理
- 运输：入库与出库；国内与国际运输；运输方式控制（铁路、包裹、整车运输、零担运输、航空）
- 客户服务：地理位置；生产线确认
- 规划组：设施选址；网络设计；需求预测

- 从系统优化的角度来看，需要识别什么是目标，什么是约束
- 决策变量会不断增加
- 系统优化会增加改进的潜力，但也会增加决策的复杂性和对协调的要求

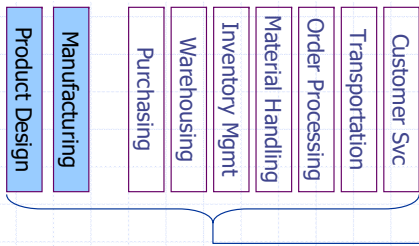
运输系统的单独优化



联合优化-与其他阶段的整合



联合优化-全物流系统优化



Objective:

- ◆ Design, build, and deliver at lowest total cost

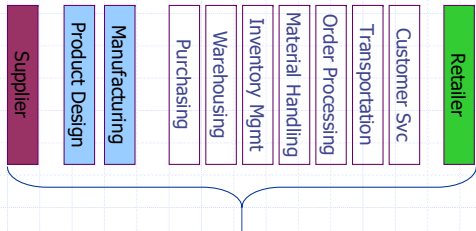
Variables:

- ◆ Select carrier to tender each load to
- ◆ Select time windows to deliver
- ◆ Select when to ship what from where
- ◆ Determine where to stock which form of product

Constraints:

- ◆ Deliver within negotiated time frame

联合优化-与上下游整合



Why is this so hard to do?

Objective:

- ◆ Maximize on-shelf availability

Variables:

- ◆ Select carrier to tender each load to
- ◆ Select time windows to deliver
- ◆ Select when to ship what from where
- ◆ Determine where to stock which form of product
- ◆ Select contract relationships
- ◆ Select who should control replenishment
- ◆ Which channel member should perform which function

Constraints:

- ◆ Total delivered cost to shelf

目录 | Outline

- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素
- 3 物流系统的目标
- 4 物流系统的管理
- 5 物流系统的建模
- 6 解决物流问题的不同方法**
- 7 连续近似方法的例子

解决物流问题的不同思维方式 (1)

- 基于数据的方法 (data-driven approaches)
 - 回顾一下机器学习、统计学、数据分析等课程
- 基于模型的方法：数学规划 (mathematical programming)
 - 收集尽可能多的数据，识别与问题相关的决策变量，建成数学规划模型，使用数值方法求解
 - 缺点：采集数据的过程比较费力，决策过程有时没有经过系统分析，建成的模型可能是 NP-Hard 并依赖启发式方法

解决物流问题的不同思维方式 (2)

- 基于模型的方法：连续近似 (continuous approximation)
 - 用汇总数据代替详尽数据，解析方法代替数值优化
 - 优点：不需要解析模型可以精确求解，可以识别接近最优解的解的诸多性质；这些近似最优解形成准则，以用来设计实际可以部署的解，即同时满足分析过程所忽略的其他要求的解；最后的“精细化调整” (fine-tuning) 过程也许需要电脑辅助求解，然而并非必需
 - 注意：连续近似方法不能代替数学规划方法
- 本门课程所学内容

连续近似的应用场景

- 适用于数据不确定的情形，即长期规划阶段
- 使分析者可以得到定性的见解（如找到影响最终解决方案的最重要的考量因素），而不陷入细节，以与管理者和决策者进行有意义的沟通
- 工作中的权衡也很重要，因为在变革的环境中得到快速而且有据的决策。即使在设计阶段和实施阶段之间的劳工价格、设施可选性等条件发生剧烈变化，考虑以上因素的代替方案仍然可以得到，因为设计的逻辑仍然一致

目录 | Outline

- 1 课程介绍
- 2 物流系统的要素
- 3 物流系统的目标
- 4 物流系统的管理
- 5 物流系统的建模
- 6 解决物流问题的不同方法
- 7 连续近似方法的例子

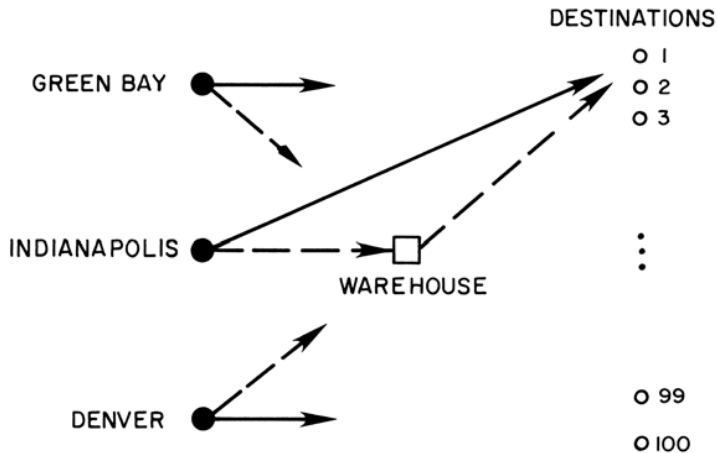


- 一个虚构的制造业企业可生产三种产品：计算机、收音机、电视机，并拥有 100 个线下的配货中心
- 该企业拥有三个制造厂，分别位于 Green Bay (计算机组件)，Indianapolis (两种产品：电视机、显示器与键盘组件)，Denver (控制器)。
- 部分组件需要被组装之后方可售卖。组装工作可以在配货中心进行，也可在 Indianapolis 附近的一家仓库完成
- 我们优化的目标是，找到最佳的配送策略，使得每年的运输和库存的总成本最小

相关参数

- 计算机组件重 5 磅，价值 300 美元
- 电视（显示器与键盘组件）重 10 磅，价值 400 美元
- 控制组件重 30 磅，价值 100 美元
- 货车的容量为 30,000 磅，驾驶员薪水为 1 美元/英里
- 当货物等待被运输或者出售时，发生库存费用。每个工作日的费率为货物价值的 0.06%；对应为每年 15% 的年度费率（250 个工作日）

一种可能的配送策略



建模思路

- 对于每个配送策略，如果知道配送中心的位置，以及目的地的年度需求，可以计算出所花费的总成本
- 教材中表 1.1（章末）提供了从各个工厂到目的地的距离，共计 300 条信息
- 配送中心的位置在 2500×1500 平方英里的长方体中由均匀分布随机生成。长方形的边对应经纬线，距离由两点坐标之差的绝对值计算出。
- 假设每个配送中心每个工作日售出 10 个电视机/控制组件套装；10 组计算机（计算机组件、显示器和键盘）

- 从地图或者表 1.1 可以观察得知，从工厂到配送点的平均距离，以及从 Denver 和 Green Bay 工厂到仓库的距离，均为 10^3km 这个级别
- 尽管更详细的数据可以从原始数据可以得知，然而在使用连续近似方法时并不需要

两种极端策略

- ① 所有货物均不经仓库，而是从工厂直接运输到配送点组装；
- ② 所有货物均在仓库组装后，再送往各配送点；

第一种策略的成本——运输成本

- 每年的运输成本为所需货车数量与每辆典型货车所发生成本 (10^3) 之积。
- 每年，每个配送点需要 Denver 和 Green Bay 的工厂各供货 2500 件；Indianapolis 的工厂供货 5000 件（电视、显示器与键盘组件各 2500）
- Denver, Green Bay 与 Indianapolis 的工厂向每个配送点运货所需货车数量分别为 $2500 \times \frac{30}{30,000} = 2.5$, $2500 \times \frac{5}{30,000} = 0.417$, $5,000 \times \frac{10}{30,000} = 1.667$ 。运输费用总计为 $100 \times (2,500 + 417 + 1,667) \approx 4.6 \times 10^5$ \$/年

第一种策略的成本——库存成本

- 该策略最小化了运输成本。然而，每辆货车访问每个配送点的频率较低，大部分货物会被堆压在目的地和起始点。如，货车从 Green Bay 出发的频率为 $\frac{1}{0.417} \approx 2.398$ 。货物在 Green Bay 和各个配送点的平均停留时间为 $2.398/2 = 1.199$ 年。每件货物的库存成本为 $300 \times 15\% \times 2.398 = 108\$/\text{年}$ 。与之类似，从 Denver 和 Indianapolis 发出的每件货物的库存成本分别为 $100 \times 15\% \times \frac{1}{2.5} = 6\$/\text{年}$ 和 $400 \times 15\% \times \frac{1}{1.667} = 36\$/\text{年}$
- 总库存成本为 $2500 \times 100 \times (108 + 6) + 5000 \times 400 \times 36 = 46.5 \times 10^6\$/\text{年}$

第二种策略的成本——运输成本

- 第二种策略会显著增加运输成本
- 所有货物均需要经过仓库，因此可以用更高的频率配送
- 从仓库到各配送中心的成本，与第一种策略类似，因为点到点之间的距离仍为 10^3km 。小计为： $4.6 \times 10^5\text{\$/年}$
- 从工厂到仓库的成本与前者类似，只不过需要扣除从印第安纳波利斯到仓库的成本。小计为： $100 \times (2,500 + 417) \approx 3 \times 10^5\text{\$/年}$
- 总计为 $7.6 \times 10^5\text{\$/年}$

第二种策略的成本——库存成本

- 假设从 Indianapolis 转运到仓库不需要额外成本，则有三类库存成本需要考虑：(1) 从 Green Bay 到 Indianapolis；(2) 从 Denver 到 Indianapolis；(3) 从 Indianapolis 到各个配送点
- Green Bay 的出货量为 1.25×10^6 磅/年，故需要 $\frac{1.25 \times 10^6}{30,000} = 41$ 辆卡车。每件产品的库存成本为 $300 \times 0.15 \times \frac{1}{41} = 1.1$ \$/年。
- 同理，从 Denver 到仓库，每件产品的平均库存成本为 0.06\$/年（控制组件重量为计算机组件的 6 倍，价值为其 1/3）。
- 每年从外埠运进仓库的商品总成本为 $(1.1 + 0.06) \times 2500 \times 100 = 2.9 \times 10^5$ \$/年。
- 现在计算把商品运出仓库的过程，所需要的库存成本：
 - 每个配送点每年接收的商品重量为 $2500 \times (5 + 30 + 10 \times 2)$ 磅/年，因此被货车访问 4.6 次/年。对于计算机套装，其库存成本为 $(300 + 400) \times 0.15 \times \frac{1}{4.6} \approx 23$ \$/年，电视机套装的库存成本为 $(400 + 100) \times 0.15 \times \frac{1}{4.6} \approx 16$ \$/年
 - 每年每类产品的总处理量为 250,000，故总库存成本为 $(23 + 16) \times 250,000 = 9.8 \times 10^5$ \$/年
- 第二章策略的总库存成本为 10.1×10^6 \$/年。

结果分析

- 与第一种策略相比，第二种策略总成本约为前者的 1/4。
 - 原因：提高了配送的频率。虽然运输成本有所提高，但是库存的成本下降了很多。
 - 因此，存在最优的配送频率，使得总成本（包括运输成本与库存成本）最小
- 从第 2、3 章内容，可得到最小总成本与点到点之间最优配送频率之间的关系。此处，我们只展示结果。
- 在最优配送频率下的最小总成本仅与三个参数有关：点到点之间单次送货运输成本 (\$)、点到点之间的配送量 (lbs/年) 以及货物单价 (\$/lb)。公式为

$$TC = 2\sqrt{0.15 \times r \times f \times v} \quad (1)$$

其中 r, f, v 分别表示单次送货运输成本、配送量以及货物单价。

最优配送频率下的总成本

- 第三种策略：所有货物均不经过仓库，工厂由最优配送频率直接运输到配送点组装

- 从 Green Bay 到各配送点 $c_{gb} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 2500 \times 5 \times \frac{300}{5}} \times 100\$/\text{年}$

- 从 Indianapolis 到各配送点 $c_{in} = 2\sqrt{0.15 \times 1,000 \times 2,500 \times 20 \times \frac{400}{10}} \times 100\$/\text{年}$

- 从 Denver 到各配送点 $c_{dv} = 2\sqrt{0.15 \times 1,000 \times 2,500 \times 30 \times \frac{100}{30}} \times 100\$/\text{年}$

- 总成本为 $TC_3 = c_{gb} + c_{in} + c_{dv} \approx 6.8 \times 10^6\$/\text{年}$

- 第四种策略：所有货物均在仓库组装后，再由最优配送频率运输到各配送点

- 从 Green Bay 到仓库 $c'_{gb} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 250,000 \times 5 \times \frac{300}{5}}\$/\text{年}$

- 从 Denver 到仓库 $c'_{dv} = 2\sqrt{0.15 \times 1,000 \times 250,000 \times 30 \times \frac{100}{30}}\$/\text{年}$

- 从仓库到各配送点 $c'_{in} = 2\sqrt{0.15 \times 1,000 \times 2,500 \times 55 \times \frac{1,200}{55}} \times 100$

- 总成本为 $TC_4 = c'_{gb} + c'_{in} + c'_{dv} \approx 4.6 \times 10^6\$/\text{年}$

- 我们还可以考虑第五种策略，即让一部分货物从工厂直送到配送站，另一部分先运往仓库，再由仓库运往配送站。其中，Denver 工厂的货物直送，Green Bay 工厂货物从仓库转运的成本较低，其成本为 $5.5 \times 10^6\$/\text{年}$

结果分析

- 可通过附表 1.1 验证在精确数据下计算的总成本。两种方法结果的对比见下表
- 各策略成本的大小顺序不变
- 即使汇总数据中存在若干误差，其结果仍然比较稳健

表: 估算结果对比

| 配送策略 | 估算结果 (10^6 \$/年) | 误差下的估算 (10^6 \$/年) | 精确计算 (10^6 \$/年) |
|----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| (1) 满车直运 | 47 | 47 | 47 |
| (2) 满车转运 | 10.9 | 11 | 10.8 |
| (3) 最优频率直运 | 6.8 | 7.6 | 6.7 |
| (4) 最优频率转运 | 4.6 | 5.0 | 4.5 |
| (5) 部分直运, 部分转运 | 5.5 | 6.0 | 5.4 |

简洁模型的优势

- 灵活有用
 - 可成为分析员与决策者沟通的工具。
 - 可为改进策略提供方向。
- 结果准确
 - 精细模型的误差来自算法无法求解最优解，简洁模型的误差来自对数据的简化
 - 数据的错误是另一类误差来源。数据的错误通过传播，使最优解出现误差。使用简洁模型易于追溯哪类数据的错误导致了最优解的误差
 - 除了数据的错误，我们还需要考虑问题假设的合理性
- 两种方法均有其应用场景

Any questions?

Readings

- GLM. Ch.1.
- Daganzo. Ch.1