

物流系统分析

Logistics System Analysis

第 2 周 简洁模型的作用
The Use of Succinct Models and Data Summaries

葛乾

西南交通大学 系统所 & 交通工程系

上节课回顾

- 物流系统基本概念
 - 物流系统的要素
 - 逆向物流与物流网络
- 物流系统的目标
 - 三大目标：成本、盈利与服务水平
- 物流系统的管理
 - 三个阶段的任务分别是什么
 - KPI 如何拟定
- 物流系统的建模

本节课关键词

□ 简洁模型 □ 汇总数据 □ 连续近似 □ 数学优化

本节学习内容

- 简洁模型与精细模型的区别
- 简洁模型的一个案例

1 解决物流问题的不同方法

2 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，因为可以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

1 解决物流问题的不同方法

2 连续近似方法的例子

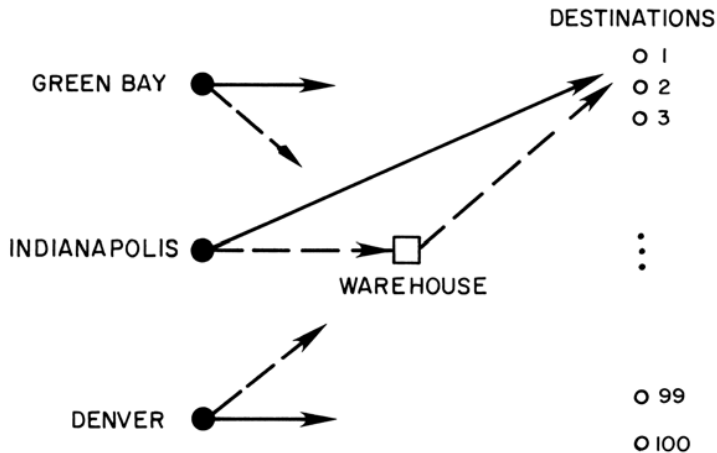


- 一个虚构的制造业企业可生产三种产品：计算机、收音机、电视机，并拥有 100 个线下的配货中心
- 该企业拥有三个制造厂，分别位于 Green Bay（计算机组件），Indianapolis（两种产品：电视机、显示器与键盘组件），Denver（控制器）。
- 部分组件需要被组装之后方可售卖。组装工作可以在配货中心进行，也可在 Indianapolis 附近的一家仓库完成
- 我们优化的目标是，找到最佳的配送策略，使得每年的运输和库存的总成本最小

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 $100 \times (2,500 + 417 + 1,667) \approx 4.6 \times 10^5 \$ / \text{年}$

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 $100 \times 15\% \times \frac{1}{2.5} = 3\$/\text{年}$ 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 $300 \times 0.15 \times \frac{1}{41} = 1.1\$/\text{年}$ 。
- 同理，从 Denver 到仓库，每件产品的平均库存成本为 $0.06\$/\text{年}$ （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 $(1.1 + 0.06) \times 2500 \times 100 = 2.9 \times 10^5\$/\text{年}$ 。
- 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 $(300 + 400) \times 0.15 \times \frac{1}{4.6} \approx 23\$/\text{年}$ ，电视机套装的库存成本为 $(400 + 100) \times 0.15 \times \frac{1}{4.6} \approx 16\$/\text{年}$
 - 每年每类产品的总处理量为 250,000，故总库存成本为 $(23 + 16) \times 250,000 = 9.75 \times 10^6\$/\text{年}$
- 第二章策略的总库存成本为 $10.1 \times 10^6\$/\text{年}$ 。

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 $c_{in} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 2500 \times 20 \times \frac{400}{10}} \times 100\$/\text{年}$
- 从 Denver 到各配送点 $c_{dv} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 2500 \times 30 \times \frac{100}{30}} \times 100\$/\text{年}$
- 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 $c'_{gb} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 2500 \times 100 \times 5 \times \frac{300}{5}}\$/\text{年}$
- 从 Denver 到仓库 $c'_{dv} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 2500 \times 100 \times 30 \times \frac{100}{30}}\$/\text{年}$
- 从仓库到各配送点 $c'_{in} = 2\sqrt{0.15 \times 1000 \times 2500 \times 55 \times \frac{1200}{55}} \times 100$
- 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

Table: 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?

- Daganzo. Logistics System Analysis. Ch.1. Page 1-14