

电子商务的物流配送研究^{*}

Study of Problem of Electronic Commerce in Goods Stream Distributing-Transportation

林 强 林 强 林 强

(深圳大学信息工程学院 深圳518060)(深圳海关技术处)

Abstract This paper discusses the problems of Distributing-Transportation: the investigation on the Database design and management, how to choose the optimum-path, also the problem of truck-scheduling. We present the "weaving" algorithm for initializing the data of the map, also for choosing the optimum-path. The algorithm also bring out a practical way to joint truck-loadings for different destination, which can increase the efficiency. Simulation results show our schemes are very effective.

Keywords Electronic commerce, Goods stream distributing-transportation

电子商务正在迅猛发展,物流配送将成为电子商务中关系到整体经济效益的重大问题,是企业进行网上交易成败的关键。客户在网上订货之后,如何以最快的速度、最低的运输成本,把价廉物美的货物送到客人手中,并作好售后服务,是电子商务活动的核心。它涉及到按地理位置建立合适的配送中心、物资调度、运输工具调度、运输线路选择等一系列问题。

本文将就电子商务中的物流配送问题进行讨论。

1 配送中心及其进货控制

建立配送中心是为了以最快的速度、最低的运输成本把货物送到客人手中。配送中心同时具有售后服务的功能。根据企业的规模,配送中心可以是办事处、代理点等形式。配送中心必须按地理位置合理分布,交通便利,力求有广阔的覆盖面。配送中心有一定的仓储能力,存储一定数量和种类的商品。配送中心还必须有一定的运输能力,运输工具可以采用临时租赁、固定承包或企业拥有的形式。

企业产品在配送中心的库存量,关系企业产品积压率及资金的周转,理想状态是零库存,由企业直接发货,但顾及到运输费用,实际并不这样处理。作为库存管理,保持最优库存量是十分重要的。各种产品,一般都设定库存的上限和下限。上限指产品的最高库存量,上限定得高则产品、资金积压率大,且增加仓管费用。下限指产品的最低库存,为订货线,当库存量达到(或低于)下限时,必须进行订货,以保证货物的供应。各产品库存上限一般为下限的1.5倍。

设进货周期为 T (天), N 种产品平均日销售量为:

M_1, M_2, \dots, M_n , 则库存下限为:

$$L_i = T \cdot M_i \quad (1 \leq i \leq N)$$

销售量在销售旺季和淡季不同,故在计算库存下限时,需加入一个经验参数 λ_i ,

$$L_i = T \cdot M_i \cdot \lambda_i \quad (0.8 \leq \lambda_i \leq 2)$$

作为一个企业的多种产品,统一进货将可降低运输成本。

设 N 种产品的库存上限分别为:

U_1, U_2, \dots, U_n ; 包装规格(体积或重量)分别为: V_1, V_2, \dots, V_n ; N 种产品当前的库存量分别为: K_1, K_2, \dots, K_n ; 则总订货装运量为: $J = \sum (U_i - K_i) \cdot V_i$

设运输工具(如车皮、卡车、集装箱等)的单位运输量为 P (体积或重量),为使得能用整车或整箱运输以减少费用,可取: $H = \text{INT}(J/P)/(J/P)$, 如 $H = 0$, 则考虑推迟进货; 否则各产品进货量可为: $J_i = \text{INT}((U_i - K_i) \cdot H)$

2 物流配送

客人在网上订货、划款后,电子商务系统将根据客人指定的交货地址把数据分发到相对最近的配送中心进行货物配送。为了快捷、经济地把货物送达目的地,需综合考虑交货地址、货物、运输工具、交通路线等多个因素,要求:(1)为了减少吨公里数,降低运输成本,必须选择最佳路线送货;(2)按货品种类、送货地点尽可能合车送货。除了如农药、危险品、食品等不能混载物品外,能合车送货的货物,如果几个送货地点相近,尽可能合车送货;(3)由于较大型的汽车平均费用低些,选择车辆时需满载的前提下,优先考虑大型车

^{*}广东省深圳市科研经费资助项目。林 强 副教授

辆。顾及司机的收入平衡问题,同类车辆需轮流派遣。如上的要求关系到物流配送的整体经济效益,而选择最佳路线合车送货为 NP-完备问题,使物流配送具有相当的复杂性。在交易相当频繁时,人工进行物流配送是不能满足需要的。

2.1 地图数据库

为了按最佳路线送货以及相邻地点合车送货,必须进行海量的计算。当地点多时,物流配送实时计算将耗费大量机时,不可能满足实际的需要。因此,对地图上各点,配送前先进行计算、比较,确定各点间的最佳路径、路程并保存起来,建立所谓“地图数据库”,将可为物流配送奠定切实可行的良好基础。

引理1 “地图数据库”的每个记录,只需存储地图上任两点的编号、两点间最佳路径的起点后一点编号和终点前一点编号等4个信息,便可由查表确定任两点间的最佳路径。

证明:“地图数据库”的记录结构为:

点1编号	点2编号	点1后点编号	点2前点编号
p	q	p ₁	q ₁

任取“地图数据库”某记录,数据为 p、q、p₁、q₁,依库记录结构定义,p₁为 p、q 两点间最佳路径 p 点的后一点,q₁为 q 点的前一点,因此 p、q 两点间最佳路径为:

$$p \rightarrow p_1 \rightarrow q_1 \rightarrow q$$

在“地图数据库”查找端点为 p₁、q₁的记录,设数据为 p₁、q₁、p₂、q₂,依库记录结构定义可知,p₁、q₁两点间最佳路径为:p₁→p₂→q₂→q₁,于是,p、q 两点间最佳路径为:p→p₁→p₂→q₂→q₁→q,依此类推,再查找端点为 p₂、q₂的记录。特别地,当查到的记录数据 p_n、q_n、p_{n+1}、q_{n+1}中,q_n=p_{n+1}时,说明 p_n→q_n已是直接路径,查找完毕。显然,p、q 两点间最佳路径为:

$$p \rightarrow p_1 \rightarrow \dots \rightarrow p_n \rightarrow q_n \rightarrow \dots \rightarrow q_1 \rightarrow q, \quad \text{证毕。}$$

由引理1,顾及实际需要,地图数据可存储于结构如下的两个表:

(1)地点名称表:

地点编号	地名	经度	纬度

(2)路径里程表:

点1 编号	点2 编号	(最佳) 里程	通道 类别	点1后 点编号	点2前 点编号

两表通过地点编号关联,表中还存储了各地点的经度、

纬度以及通道的类别(高速、国道、省道和普通公路),是为了运输路线的图示以及可对货运过程作卫星监控。

为了输入地图数据,“织网式”是既简单又快捷的好方法。所谓“织网式”,就是根据交通网络图依次输入直接通道的地点编号、地名、经度、纬度、通道类别和里程后,计算机以“路径里程表”中已存储的数据记录为基础进行计算、比较,自动确定各点间的最佳路径并把有效数据存入“路径里程表”,逐步编织出由各点间最佳路径组成的交通线路网,也就是说,“路径里程表”是由计算机自动生成的。

定理1 采用“织网式”方法建立“路径里程表”,当“地点名称表”记录数为 n(n>3)时,计算量(次数)C≤(n-1)(n-2)+1,“路径里程表”记录数 R≤C₂。

证明:采用“织网式”方法建立“路径里程表”时,可能的情形有二种:

(1)添加新点及路径 设原已建立的“地点名称表”中 n-1 个地点的集合为 K(如图1)。“路径里程表”已存储了 K 中任两点间最佳路径和里程。现添加新点 x,路径 x↔y,y∈K,由于点 y 与集 K 中其它各点间的最佳路径原已确定,显然,新点 x 与集 K 中任一点 p 的最佳路径为 p↔y↔x(若 y 与 p 原无路径相通,不必进行计算)。因此最多需进行 n-1 次计算,就可把原来 n-1 个地点的路径集更新成 n 个地点的新路径集。

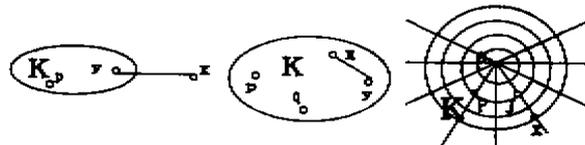


图1 添加新点及路径 图2 添加新路径 图3 蜘蛛网状路线

(2)添加新路径 对任意的点 x、y,p、q∈K(如图2),节点数(“地点名称表”记录数)为 n(n>3),设原已确定点 p、q 间最佳路径的里程为 d_{pq},点 x、y 间最佳路径的里程为 d_{xy},而点 x 至点 p、q 间的最佳路径里程分别为 d_{xp}、d_{xq},点 y 至点 p、q 间的最佳路径里程分别为 d_{yp}、d_{yq}。

若添加新的直接路径 x↔y,里程为 D_{xy},显然,点 x、y 间新的最佳路径的里程为:L=min(d_{xy},D_{xy}),相应的路径为其新的最佳路径(可能不变)。

点 x 至点 p、q 新的最佳路径里程分别为:D_{xp}=min(d_{xp},d_{xy}+L);D_{xq}=min(d_{xq},d_{xy}+L);类似地可确定点 y 至点 p、q 新的最佳路径里程分别为 D_{yp}、D_{yq},而点 p、q 间可能的新通路为:p↔x↔y↔q 和 p↔y↔x↔q。

顾及原路径 p↔q,显然,点 p、q 间新的最佳路

径的里程为:

$$W = \min(D_{xp} + L + D_{yq}, D_{xp} + L + D_{xq}, d_{pq})$$

而相应的路径为点 p、q 间新的最佳路径(可能不变)。

由于 p、q ∈ K 任意,除 x、y 两点外,有 C_{n-2}² 种可能的组合,因此新路径计算次数为 2C_{n-2}² = (n-2)(n-3),顾及计算 p、q 分别至 x、y 间的路径(计算次数为 2·(n-2))和 x、y 间的路径,故总计算次数为:(n-2)(n-3) + 2(n-2) + 1 = (n-1)(n-2) + 1。

若“地点名称表”记录数为 n,由于“路径里程表”存储的是任两个存在通路的地点最佳路径的数据,显然其记录数 R ≤ C_n²。证毕。

配送仓库一般建立在交通方便的地点,以配送仓为中心辐射至四周的配送地点,对物流配送来说,如果 0 点(仓库)外的两点间最短路程小于其中一点至 0 点的路程,此两地点若合车送货便可减少运输费用,这样的两点称为相邻点,否则称非相邻点。

定理 2 若配送地点均匀分布于以配送仓为圆心的同心圆上,且以圆弧和径向线路作为通道形成蜘蛛网状交通路线(见图 3),则任一点的相邻点数小于总点数的 1/3。

证明:如图 3,任取配送地点 P、X,半径 OP = R_p,OX = R_x,不妨假定 R_x ≥ R_p,OP 与 OX 的夹角为 α 弧度,取 0 ≤ α ≤ π。

由于各点间以圆弧和径向线路作为通路,点 P 可经过弧线及径向移动到达 X,无论经任何路线,径向绝对位移为 (R_x - R_p),角位移为 α。

设由 P 经 n 次弧线移动及 m 次径向移动到达 X,总路程应为:

$$S = \sum_{i=1}^m |\Delta R_i| + \sum_{i=1}^n r_i |\Delta \alpha_i| \quad (1)$$

其中,ΔR_i 为径向位移,从圆心 O 向外为正,反之则为负,Δα_i 为角位移,逆时针方向为正,顺时针方向为负。r_i 为第 i 次圆弧移动时的半径,r_i ≥ 0。

取 r_{min} = inf{r_i}, i = 1, …, n, 有

$$\sum_{i=1}^n r_i |\Delta \alpha_i| \geq r_{min} \sum_{i=1}^n |\Delta \alpha_i| \geq r_{min} \cdot \alpha \quad (2)$$

而径向移动由于到达 r_{min},P 至 r_{min} 的绝对位移为 (R_p - r_{min}),X 至 r_{min} 的绝对位移为 (R_x - r_{min}),因此有:

$$\sum_{i=1}^m |\Delta R_i| \geq (R_p - r_{min}) + (R_x - r_{min}) \quad (3)$$

由式(1)、(2)、(3)可得:

$$S \geq (R_p - r_{min}) + (R_x - r_{min}) + r_{min} \alpha \\ = (R_p + R_x) + (\alpha - 2)r_{min} \quad (4)$$

故

$$S \geq (R_x - R_p) + 2R_p + (\alpha - 2)r_{min} \\ = (R_x - R_p) + \alpha R_p + (2 - \alpha)R_p + (\alpha - 2)r_{min}$$

$$= (R_x - R_p) + \alpha R_p + (2 - \alpha)(R_p - r_{min}) \quad (5)$$

因为 (R_p - r_{min}) ≥ 0,当 0 ≤ α ≤ 2 时,由式(5),有:

$$S \geq (R_x - R_p) + \alpha R_p \quad (6)$$

事实上,如图 3,当 0 ≤ α ≤ 2 时,P 经圆弧到点 J,再由 J 径向移动至 X,路程为:

$$S_{min} = \alpha R_p + (R_x - R_p) \quad (7)$$

由式(6)知此为最短路径。由式(7),当 0 ≤ α ≤ 1 时,P、X 的最短路径 S_{min} ≤ R_x,依相邻点定义,P、X 为相邻点,当 1 < α ≤ 2 时,S > R_x ≥ R_p,依相邻点定义,P、X 为非相邻点。

而当 2 < α ≤ π 时,由式(4)有:

$$S \geq (R_p + R_x) + (\alpha - 2)r_{min} \geq R_p + R_x \quad (8)$$

如图 3,当 2 < α ≤ π 时,P 经圆弧到点 J 的圆弧长 αR > 2R,此时,P 至 X 的最短路线应为 P → O → X,路程为: S_{min} = R_p + R_x,与式(8)结论吻合。此时,P、X 显然为非相邻点。

综上所述,任意点 P 的相邻点仅在以射线 OP 为对称、圆心角为 2 弧度的扇形区域 K 中。依假定,配送地点以配送仓为圆心均匀分布,而 K 仅占整个区域面积的 1/π,定理得证。

对于非相邻点,合车送货比分别由仓库直接送货的运输费用反而高,“路径里程表”存储其信息对物流配送来说已无意义,特别地,对于路径经过 0 点的两点的相关信息,更无存储的价值。换句话说,路径里程表中仅需存储满足相邻点定义的数据记录。

推论 在定理 2 条件下,若“路径里程表”中仅存储满足相邻点定义的数据记录,可减少 2/3 的存储量。

证明:当“路径里程表”存储任意两点的最佳路径数据时,若地点数为 n,总记录数则为 C_n²。若仅存储满足相邻点定义的数据记录,由定理 2,集 K 中任一点 p 的相邻点数小于 (n-1)/3,因此对于 p 至多有 (n-1)/3 个存储记录。由于两个地点的最佳路径仅需存储一个记录,故“路径里程表”总记录数不超过 n(n-1)/6。由计算式:

$$1 - n(n-1)/(6C_n^2) = 2/3$$

知推论成立。

由定理 2 推论,若配送地点相对于仓库均匀分布,“路径里程表”仅存储相邻点的数据记录时,既显著减少了存储量,又极大地加快配送时用查表法判断能否合车送货和确定最佳运输路线的速度。

地图数据库在进行物流配送前建立。尽管建立时较耗时,但基本上是一次性工作,建立后并不经常改动,虽然地图数据库存储的数据量大,但却使进行货运调度时不必重复计算,用查表代替计算,用空间换取时间,使实时进行物流配送成为可能,这种处理方式是十分合算且切实可行的。

2.2 配送调度

配送货物的运输工具一般为汽车,单位运输量(规格)分别为1.5T、1.75T、3T、5T、8T、10T等,运输费用按吨公里计,较大型的汽车平均费用低些。为了进行车辆调度,需先建立车辆数据库,存储必要的数据库。车辆数据库的结构可为:

车号	型号	规格	车租规格	司机	运费/公里	当前车况	出车日期时间	(预计)归队日期时间	当月运输量

在建立地图数据库、车辆数据库后,可进行配送调度。

2.2.1 单地点整车发货 设送货地点为A,送货量为G,运输工具单位运输量的集合为F。为了判断能否整车发货并且在能整车发货时给出车辆调度方案,可对方程:

$$\sum_{i=1}^n F_i X_i = G \quad F_i \in F$$

求取正整数解 X_i 。

显然,此方程可能有多组解(多种调度方案)、唯一解(一种调度方案)或无解(不能整车发货)。

例如 $G = 11T, F = \{1.5T, 1.75T, 3T, 5T, 8T, 10T\}$,可能的调度方案为:方案1. 8T车1辆和3T车1辆;方案2. 8T车1辆和1.5T车2辆;方案3. 5T车1辆和3T车2辆;方案4. 5T车1辆和1.5T车4辆。依节约运输费用的原则,车辆架次最小的方案为最佳方案(方案1)。

若能整车发货,根据车辆调度的最佳方案,在车辆数据库中查找所需类型车辆。为使司机的收入相对平衡,优先选用月运输量少的相应类型空闲车辆。如车辆充裕,按最佳方案执行。如当前无所需类型车辆且需立即送货,可考虑次佳方案(例如方案2)。

由地图数据库,可查出由仓库至送货地点的最佳路径及路程(公里数),计算出运费,打印出提货单和货运单(包括司机、车号、货物明细表)、行程路线图,此类恰好能整车发货的物资配送完成。

现实生活中,地图上原有的某段公路可能因修路等原因暂不能通车,使选取的最佳路径无效。此时可在地图数据库中查找出与终点直接连通的各点,并查出这些点到O点的最短路径(凡包含失效路径的除外)并作计算、比较,一般可以确定次佳路径。必须指出,某段路径的失效相当于在图中删除此路径,可能导致无路可通目的地。

2.2.2 多地点合车发货 对于非恰好整车发货

的一般情形,需依就近的原则把多个相邻客户可混载的货物合并,尽可能整车送货,以减低运输成本。

设有N个客户,送货地点分别为: K_1, K_2, \dots, K_n 。可混载货物量分别为: G_1, G_2, \dots, G_n 。显然,先需按交货地址把客户分组,原则是组中成员地点相近,有互联的交通路线,可以沿最短路径依次送货。查已建立的地图数据库,可方便、快捷地把客户分成m组: W_1, W_2, \dots, W_m 。设组 W_i 成员为: $K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{in}$, 货量分别为 $G_{i1}, G_{i2}, \dots, G_{in}$, 对j个货量进行组合运算: $C_1^j, C_2^j, \dots, C_j^j$ 。若某种组合满足整车送货的条件: $\sum G_{ij} = \sum F_k, F_k \in F$ (F为运输工具单位运输量的集合),则此组货物可发货。实际上,往往放宽整车送货的条件: $\sum G_{ij} = \alpha \sum F_k, F_k \in F, \alpha \in [0.9, 1]$ 。这样处理虽然降低点经济效益,但可尽快发货,提高效率。

设组 W_i 中P个地点的客户已确定合车发货,可按2.2.1所述作车辆调度,如为多辆车送货,需进一步确定装车方案,即确定客户与对应的送货车辆;并需按由近及远顺路送货的原则确定行程,使路程最短。此为“货郎担问题”,共有P!种选择。由于P一般不大,在地图数据库中,查出每种方案的最佳路径、路程,计算比较,不难确定最佳行程方案。

对于暂无法合车运送的货物,如在送货限期内,则留待新的发货数据到来时再一起处理;如某货物已到了送货限期,则需特别处理,“非整车”也给予送货。

危险、有毒物品,一般用特殊车辆专车送货,收取较高费用。

结束语 实验结果表明,本文提出的算法非常有效,配送计算速度快,完全可以满足实际应用的需要。多种货物(不同包装尺寸)合车送货装车方案的给出与优化问题,另文讨论。

参考文献

- 1 Bertsimas, D.J., Simchi-Levi, D. A new generation of vehicle routing research: Robust Algorithms Addressing Uncertainty, *Operations Res.*, 1996, 44(2): 286~304
- 2 常发亮,刘长有. 物资配送中心的物流调度与优化研究. 高技术通信, 1997, 12
- 3 Allees, G D E Travelling salesman problem [C]. Second Int. Conf. On Genetic Algorithms and Applications, 1985
- 4 吴自库,刘国柱. 配送问题的数学模型及近似算法. 青岛化工学院学报, 1998, 19(3)
- 5 叶杰刚著. 配送:运行与发展, 经济管理出版社, 1999. 132~198