

网络零售配送系统最优运作成本的分析*

杨伟** 黎青松

(四川工业学院汽车与交通系 成都 610039)

【摘要】针对配送运作成本关键部分——平均运距作出的估计,在车辆路径问题渐进最优理论的基础上,建立了一个平均运作成本最优的规划模型,从经济的角度对运作策略作了简要分析。与其他规划模型不同,新建模型考虑了平均水平的概率特性及众多实际因素,因而具有较好的实用性。

关键词 网络购物配送系统; 渐进最优; 规划模型; 经济分析

中图分类号 U492.3¹

Economic Analysis on Optimal Cost of Distribution System of E-Shopping

Yang Wei Li Qingsong

(Dept. of Automobile and Transp. Eng., Sichuan University of Science and Technology Chengdu 610039)

Abstract Based on the estimation of average distance derived from the theories of asymptotic optimization of VRP problems, this paper established a model to assist the programming and management of the distribution system for E-Shopping. The results can be used for management decision in aspects of economics. This model is characterized by the considerations on the probabilistic of real system and the conclusions are applied to management decisions under so much realistic consideration.

Key words distribution system for e-shopping; asymptotic optimization; model for programming; economic analysis

随着网络建设的加强,我国的电子购物迅猛发展。网络销售的配送服务处于供应链的末端,单位顾客的需求量小,配货工作量大,顾客在地理上的分布面积小而密度大,送货时间要求差别大,随机性强。关于这类系统,国外大多从作业层次上来研究车辆路径问题,成果比较多,但是几乎都在全局范围内对每一次车辆路径做出安排,要求每一位司机都对整个服务区域熟悉,这与实际情况有较大差异。目前关于配送系统规划的研究也不少,但大多都假定需求及服务要求是确定性的,而且一般都针对整车运输,没有更多的时间要求,这些研究成果对大规模的供应链中的批发环节配送比较实用,然而难以部分或全部满足网络购物情况下的现实要求。本文利用车辆路径问题算法理论分析的研究成果^[1],以网络布局确定情况下的平均运距为基础,建立了一个针对网络购物配送系统规划的优化模型,对最优运作成本作出估计,并在此基础上就运作策略作了经济分析。

1 车辆路径问题渐进最优理论分析

欧氏平面凸域 A (A 同时表示其面积)上有需求量分别为 $w_i(i=1,2,\dots,n)$ 的 n 个顾客,顾客集为 N ; K

2002年5月18日收稿

* 四川省科技厅应用基础基金资助项目,编号:0023777

** 男 37岁 在职博士生 副教授

个配送中心, 配送中心集为 $X, X = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$, p_j 表示第 j 个配送中心的位置。每个中心有车辆若干, 车辆的装载能力等于 q , w_i 以概率 $1 - q$ 。车辆从配送中心出发, 服务若干个顾客后回到起点, 顾客的需求不能分割, 服务必须一次性完成。设

$d(X, i) = \min_{j=1, \dots, k} (d(p_j, i))$ 表示顾客 i 到最近车场的距离;

$E(d(X, i))$ 为顾客 i 位置不确定条件下到车场的期望距离;

$g(X)$ 表示满足上述条件的最小服务方案的总运输距离。

根据文献[1]的研究, 当顾客的地点在 A 内独立同分布, 需求量独立同分布且与位置无关, $K = O(n/\lg n)$ 时, 对给定的 q 与 X , 平均运距 $g(X)/n$ 有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(X)/n = 2gE(d(X, i)) \quad (1)$$

式中 g 是仅取决于需求量分布的常量^[2]。

当服务存在时窗时, 定义每个顾客的需求参数为 (w_k, e_k, s_k, l_k) , 其中, w_k 为第 k 个顾客的需求量, e_k 为其最早接受服务的时间, s_k 为其服务时间, l_k 为其服务必须结束的时间。根据文献[3]的研究, 当需求参数独立同分布时上式也成立。关于渐进最优的收敛速度, 文献[4]对“中等规模”的配送网络进行了模拟, 按顾客数从80~500, 配送中心个数从3~6个, 一次购买量服从均匀分布, 每个系统运行40天, 共模拟了32个配送系统。每一个系统分别考虑配送中心按最优布局 and 随机的非最优布局两种情况分别模拟。鉴于 k 中心随机配送问题为NP问题, 没有有效的多项式算法给出最优解验证收敛速度, 文献[4]采用ITP两阶段启发式算法(Rosenkrantz)对配送中心布局确定情况下的车辆路径进行优化, 给出了最优解的一个上限和下限, 并用这一区间长度除下限之比 E 衡量误差与收敛情况。结果表明, 而随着顾客数目增大, E 从40%下降到11%, 根据其计算结果, 采用极限值除以下限之比, 也从79%上升至91%, 由此可见, 收敛速度较快。

2 模型及其应用

2.1 配送系统最优运作成本模型

网络销售配送系统规划的主要任务是: 在满足一定服务水平要求下, 确定适当数量和位置的配送站点、选择合适的车辆数目和类型, 以使总的运作成本最低。运作成本通常包含配送站固定成本和运作成本、车辆固定成本和运作成本以及维修成本。同时, 考虑到网上销售配送单位顾客需求量较小, 送货频次高, 但总的来说总量不大, 因而配送距离不能太远, 而仓储面积也不必要太大, 其选址不会受场地和交通条件的严格限制。所以可以近似地考虑备选点在城市区域内是连续的。关于配送中心的固定成本, 假定其是规模的0.5次方。关于车辆故障发生概率, 假定其服从简单的二项式分布。

2.1.1 车辆数目估计

从上述关于车辆渐进最优的收敛速度来看是很快的。从零售业的实际来看, 80~500是一个很小的数目, 因而, 在零售业配送系统的规划层次上, 将上述渐进最优理论关于平均运距的结论运用于运作成本和车辆数目估计完全适合实际需要。

考虑到城市区域内配送距离短, 每辆车平均每天出车次数均大于1。此时, 所需的基本车辆数 h 取决于总运距和单位车辆每天可利用的工作里程, 即

$$h \approx \frac{n(2gE(d) + vs)}{Tv} \quad (2)$$

式中 v 为车辆平均运行速度; s 为车辆在每个顾客处的平均逗留时间; T 为每个车辆每天的有效工作时间。

用 h^1 表示备用车辆数, 即满足高峰需求服务水平承诺以及预防车辆故障所需额外车辆数, t 表

示服务水平指标(平时的订货第二天送达,需求高峰时期第二天送达率为 t), a 为高峰需求系数,即高峰时期顾客数为平时的 a 倍, h' 表示总车辆数中未发生故障车辆数至少为 ah 的概率不低于 t 的最小数目,则

$$\begin{aligned} h^1 &= \min_{h'=1, \dots, \infty} (h') \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k=0}^{h+h^1-ah} \binom{k}{h+h^1} p_m^k (1-p_m)^{h+h^1-k} \geq t \\ & h+h^1 \leq ah \end{aligned} \quad (3)$$

式中 q_m 和 p_m 分别第 m 种车的装载能力以及平均故障率, $m=1,2,\dots,r$, r 为备选车型种数。

2.1.2 运作成本估计

如果用 \bar{w} 表示单位顾客平均购买量,单个配送中心的平均成本可近似表示为

$$c_0 \sqrt{\frac{atnw}{K}}$$

式中 c_0 为成本系数。

配送系统的规划模型 为

$$z^* = \min(z) = \min\{c_m^1 q 2ngE(d(X,i)) + c_0 \sqrt{atnwK} + c_m^2 (h+h^1) + c_m^3 (h+h^1) p_m aq\} \quad (4)$$

式中 q 为将每日的送货作业成本换算到固定资产折旧年限期初的系数; c_m^1 、 c_m^2 、 c_m^3 分别为第 m 种车的单位里程运作成本、固定成本、平均故障修复成本。

显然,式(4)中第三、四项与车辆数目有关,而式(2)、式(3)表明车辆数目取决于总运距。上式中第一项也是由总运距决定,第二项取决于配送站数目。平均期望距离 $E(d(X,i))$ 取决于顾客地理分布、区域面积以及配送站点布局和道路网络。在规划期间,通常对顾客的需求分布缺乏具体的信息,此时一般假设顾客需求服从均匀分布,此外,规划阶段对成本估计通常也仅考虑平面距离,不必考虑道路网络形状对实际运行距离的影响。按照文献[5]关于平面内连续区域中若干个中心点与该区域中所有点的平均距离特性的研究,有当区域按蜂窝状划分,且站点布置于六边形中心时平均距离最小。从而,在配送站点数目已知的情形下,最优布局中,可以将平均运距表达式具体化为

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{g(X^*)}{n} = \frac{2\bar{w}b}{q\sqrt{A/K}} \quad (5)$$

式中 b 是与需求地理分布有关的系数; q 是车辆装载能力; X^* 为配送中心数目确定而位置不确定条件下的最优解。最优解中配送站位于 K 等分 A 的等边六边形的中心。此时,六边形所在的区域内的顾客由该配送站提供服务。

将式(5)代入模型,转化为模型

$$\min_{m=1, \dots, r; K \in I} (z) = \min \left\{ \frac{c_m^1 q 2n\bar{w}b}{q_m \sqrt{A/K}} + c_0 \sqrt{anwK} + c_m^2 (h+h^1) + c_m^3 (h+h^1) p_m aq \right\} \quad (6)$$

对于任意确定的车型 i ,将式(2)式(3)代入式(6);式(6)仅包含变量 K ,求导后可得,其最小的配送中心数目 K 为

$$K^* = \left[ab_i \sqrt{nw} \right] \quad (7)$$

令 i 是使得式(6)最小的车型有

$$z^* = 2c_0 \sqrt{at} \sqrt{ab_i} (nw)^{0.75} + c(c_i^2 a + c_i^3 aq p_i) n \quad (8)$$

式中 $a = \frac{2b\sqrt{A}}{c_0\sqrt{at}Tv}$, $b_i = \frac{Tvqc_i^1 + c_i^2a + c_i^3p_i aq}{q_i}$, $c = \frac{s}{T}$ 。

配送中心的规模 W 为

$$W = \frac{\overline{anw}}{K^*} \quad (9)$$

所需的车辆总数目为

$$h^* = \left[\frac{c_0\sqrt{at}}{q_i} \sqrt{\frac{a}{b_i}} + cn + h_i^1 \right] \quad (10)$$

当服务区域面积相对小的情况下, 配送中心的选址通常受到城市规划、交通条件、用地规模等因素的限制而只能在有限的几个方案中选择。提供网络购物配送服务的第三方物流在规划时通常就是这种情况。此时, 可以应用模型 求取最优解。当配送存在严格的时窗要求时, 模型 中的 g 由文献[5]提供的方法确定。顾客仍然由最近的配送中心提供服务, 每个中心的服务区域面积和规模取决于配送区域形状和需求密度。这种固定配送服务区域的方式使得卡车司机对顾客位置十分熟悉, 从而缩短为寻找顾客而增加的逗留时间, 并降低其不确定性, 这样可以提高高峰时期的经济性能、改进服务质量, 对于有送货时间要求的系统尤为重要。

2.2 运作成本分析

2.2.1 估算单位成本

首先, 可用于估计预测规模下的单位顾客平均送货成本为

$$P^* = \frac{z^*(n, \overline{w})}{n} \quad (11)$$

从式(8)可以推导出, 对于分别有 n' 、 n'' 个顾客的配送系统应该还有

$$z^*(n', \overline{w}) + z^*(n'', \overline{w}) - z^*(n' + n'', \overline{w}) = 0 \quad (12)$$

若需求总规模一定, 上式左边当且仅当 $n' = n''$ 时有极大值。可以看出, 上式左边反映了发展共同配送可能减少的配送成本, 而且, 应当尽可能选择具有相当需求规模的合作伙伴。

其次, 可用于实际运营当中单位成本的估算。设 n_1, \overline{w}_1 分别为实际需求水平, 则实际的总配送运作成本为

$$H(n_1, \overline{w}_1) = H_1(n\overline{w})^{0.75} + H_2n + H_1(n_1\overline{w}_1)^{0.75} \quad (13)$$

式中 $H_1 = c_0\sqrt{atab_i}$; $H_2 = c(c_i^1a + c_i^3ap_i)$ 。前两项反映固定成本, 后一项则反映可变成本。实际当中, 通常高峰需求系数 a 较大, 而服务水平 t 的可选余地相对小得多, 因而对于无时窗的系统而言, 高峰需求系数对系统成本有较大的影响。在规划期, 可以采用较低的值, 而运营当中, 可以通过短期的第三方物流合约来保证高峰期的服务水平。在考虑第三方物流时, 可以结合独立配送平均成本和下面的式(14)以及物流提供方报价对决策做出经济方面的基本衡量。

2.2.2 价格决策与盈亏平衡

配送系统规划和需求水平决定了价格水平。实际运营过程中也可以为配送运作的价格决策提供了一个分析的基础。

对于一般的货物, 通常按订购次数收费。设每次送货收费 P , 单位销售量的平均利润为 z_1 , 相对店面销售方式给顾客的让利为 z_2 , 顾客到店铺购买货物一次花费的交通费用以及时间价值总合为 z_3 , 则不亏损的基本条件是

$$z_1\overline{w}_1 + P = \frac{H(n_1, \overline{w}_1)}{n_1} \quad (14)$$

$$P = z_2 + z_3 \quad (15)$$

式(15)保证网络销售相对店面销售有优势能吸引顾客,可以估算出各种营销策略下的盈亏平衡价格和销售规模。当式(14)左边确定时,可求出盈亏平衡的销售规模;进一步, P 取最大值,结合服务水平、购物习惯、具备网络购物条件的顾客数量等因素所能吸引的顾客数量,对比盈亏平衡规模,可以判定开设电子商店的经济可行性。当高峰期考虑利用第三方物流帮助配送时,不亏损的基本条件式(14)右边改为支付给物流提供方的单位送货成本。另外, \bar{w}_1 决定于购物数量和商品体积属性,而 z_1 是单位体积商品的盈利能力,是影响配送成本的因素。显然,体积小,附加值高的商品是网络销售商品决策时首选的。当某种商品利润体积比小于平均水平时,就必须考虑相应地提高送货价格或者减少折扣。基本条件中,左边是 \bar{w}_1 的一次多项式,右边是 \bar{w}_1 的0.75次方,因此,鼓励顾客提高单位购买量可以节约配送成本,而通常采用的折扣法,也可以从上式作出折扣率大小对利润率的敏感性分析。

3 结 论

本文从关于车辆路径问题算法的渐进最优理论出发,建立了适合网络配送系统规划的模型,并对其规划决策和运营策略分析提供了一些经济方面的依据。进一步的研究还可以从严格送货要求下 g 与需求参数分布关系的简化以及送货收费策略改变对利润水平的影响等方面着手。

参 考 文 献

- 1 Bramel, Julien, Edward G, *et al.* Probabilistic analysis of the capacitated vehicle routing problem with unsplit demand. *Operation Research*, 1992, 40(6): 1 095-1 106
- 2 Rhee W, Talagrand M. Martingale inequalities and NP-complete problems. *Journal of Mathematics. Operation Research*, 1987, (12): 177-181
- 3 Bramel, Julien, Simchi L. A new generation of vehicle routing research robust algorithms. *Operation Research*, 1996, 44(2): 286-304
- 4 Simchi L, David., Hierarchical planning for probabilistic distribution systems in euclidean spaces. *Management Science*, 1992, 38(2): 198-211.
- 5 Richard E S. Some average distance results. *Transportation Science*, 1991, 25(1): 85-91

· 新技术与新产品 ·

磁光盘格式化仪

磁光盘格式化仪利用磁光盘驱动器对磁光盘作低级格式化,并取出格式化期间的有关数据来分析和统计磁光盘的质量参数。系统涉及计算机技术、磁光盘驱动技术、SCSI接口技术、磁光盘格式及信息处理技术、高速DSP技术。在模块结构上,采用主控计算机、报告文学展控制器、DSP电路、磁光驱动器四位一体的功能模块设计,易于扩展和升级,其技术先进、性能稳定。

· 甬 江 ·