

一种基于蚁群算法的物流配送 VRP 解决方案^①

薛戈丽¹, 王建平²

¹(河南质量工程职业学院 信息工程系, 平顶山 467000)

²(河南科技学院 信息工程学院, 新乡 453003)

摘要: 物流配送是目前物流发展的新趋势, 在物流配送中, 配送路径规划对于顾客的满意度以及经营总成本有相当大的影响。通过应用蚁群算法, 实现了物流配送 VRP 的优化过程, 建立的算法能在短时间内找到最佳车辆数及对应的最佳配送路径。通过数据测试, 发现该算法收敛性较好, 在较高服务水平的基础上, 明显降低了配送成本。

关键词: 蚁群算法; 物流配送; VRP; 路径规划

VRP Solution of Logistics Distribution Based on Ant Colony Algorithm

XUE Ge-Li¹, WANG Jian-Ping²

¹(Henan Quality Polytechnic Institute, Pingdingshan 467000, China)

²(Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: At present, logistics distribution is the new trends of logistics, in logistics distribution, the distribution path planning is the main reason for the customer satisfaction and the total Operating costs. Using the ant colony optimization algorithm, we realize the optimization process of VRP problem for logistics distribution, the algorithm can find the best vehicle numbers and the relation path in a short time. By testing the algorithm, we find that the Convergence of the algorithm is good, when it reaches the high level of the service, the cost logistics distribution can reduce quickly.

Key words: ant colony algorithm; logistics distribution; VRP; path planning

1 引言

物流配送是指通过现代 IT 系统的支持, 通过车辆实现及时的, 高质量的分区域配送体系。物流配送是在国内目前已经广泛流行。物流配送的重点在于利用最少的车辆数以及最佳行驶路径, 在达到顾客服务水平下, 将商品准时送达。在物流配送中, 配送路径的规划对于顾客的满意度以及经营的总成本均有相当大的影响, 因此, 如何配合产业特性与实务需求来规划完的配送网络系统, 成为一个非常重要的议题。

车辆路径问题 (Vehicle Routing Problem, VRP) 来源于交通运输, 由 Dantzig^[1]于 1959 年提出, 它是组合优化问题中一个典型的 NP-hard 问题。VRP 问题的求解复杂度相当高, 许多学者运用了许多启发式解法来求得近似解, 如模拟退火法 (Simulated Annealing,

SA)、禁忌搜寻法 (Tabu Search, TS) 及基因算法 (Genetic Algorithm, GA) 等。

通常用图 $G=(V,E)$ 用来描述 VRP 问题^[2], 在图 $G=(V,E)$ 中, $V=\{0,1,2,\dots,n\}$, $E=\{(i,j), i \neq j, i, j \in V\}$, 节点 1 表示仓库 (depot), 其它节点为客户。每个客户的需求为 q_i , 边 (i,j) 对应的距离或运输时间或成本为 C_{ij} , 所有车辆运输能力为 Q , 车辆从仓库出发, 完成运输任务后回到仓库, 每个顾客只能接受一次服务, 问题的目标函数通常是车辆数和运输成本最小化。由于该问题的复杂性, 寻找到一种高效、精确的算法的可能性微乎其微, 人们开始尝试利用仿生智能算法求解。

2 蚁群算法

蚁群算法是由意大利学者 M. Dorigo, V. Maniezzo,

^① 收稿时间:2011-05-24;收到修改稿时间:2011-06-23

A. Colomi 等从生物进化的机制中受到启发, 通过模拟自然界蚂蚁搜索路径的行为, 提出一种新型的模拟进化算法。在该算法中, 为模拟蚂蚁实际行为, 设 m 是蚁群中蚂蚁的数量, d_{ij} 是城市 i 到城市 j 间的距离, η_{ij} 是边 (i, j) 的能见度, $\eta_{ij}=1/d_{ij}$, 反映由城市 i 转移到城市 j 的启发程度, τ_{ij} 是边 (i, j) 上的信息素轨迹强度, $\Delta\tau_{ij}^k$ 是蚂蚁 k 在边 (i, j) 上留下的单位长度轨迹信息素量, p_{ij}^k 是蚂蚁 k 从城市 i 转移到城市 j 的状态转移概率, j 是尚未访问的城市, 则状态转移概率 p_{ij}^k

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t)\eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in allowed_k} \tau_{ij}^\alpha(t)\eta_{ij}^\beta(t)}, & j \in allowed_k \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

(1) 式中, $allowed_k=\{0,1,\dots,n-1\}$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的城市。 α 和 β 为两个参数, 分别反映了蚂蚁在运动过程中积累的信息和启发信息在蚂蚁选择路径中的相对重要性^[8]。为每只蚂蚁设计一个禁忌表 $tabuk(k=1,2,\dots,m)$, 记录在 t 时刻蚂蚁 k 已走过城市, 不允许该蚂蚁在本次循环中重复经过。本次循环结束后禁忌表被清空。

蚂蚁完成一次循环, 对各路径上的信息素进行更新:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t, t+1) \quad (2)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t, t+1) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) \quad (3)$$

式中 $\Delta\tau_{ij}^k(t, t+1)$ 表示第 k 只蚂蚁在 $(t, t+1)$ 时刻留在 (i, j) 路段上的信息量, $\Delta\tau_{ij}(t, t+1)$ 表示本次循环中路段 (i, j) 的信息素增量, $(1-\rho)$ 为信息素轨迹的衰减系数。

3 基于蚁群算法解决VRP问题

3.1 VRP 的基本要求

在 VRP 问题中, 我们基于蚁群算法来实现规划过程, 在采用蚁群算法的 VRP 问题中, 必须解决如下两个问题:

- 1) 使总车辆数最少化;
- 2) 使总行走时间 (距离) 最小化。

若解决这两个问题, 则可使得总配送成本最小化, 因此可用一个目标函数来表示, 其目标函数如公式(4)所示:

$$TC=AC+DC \quad (4)$$

其中 TC 为总配送成本, AC 为派车成本 (总车辆数 \times 每辆车的派车成本), DC 为运输成本 (总配送时间 \times 单位时间的运输成本+加班成本 \times 加班时数)。本论文所建构的演算基础不同于传统的 ACS, 其修正了机率矩阵及费洛蒙轨迹的更新方式, 目的在于满足所有顾客下, 求得最适车辆数, 以及求得最佳配送路径。在搜寻的过程中, 必须先决定费洛蒙的初始值 τ_0 , 其

值为 1, 其中 $\frac{\sum_{i \in N} d_{io}}{\sum_{i \in N} q_i} B$ 为顾客 i 至营业所的距离总和, $\sum d_{io}$ 为顾客总需求量, 再以 m 只人工蚂蚁依序由营业所出发, 第一只蚂蚁在满足所有限制下, 可找到一条配送路径, 接着以第二只蚂蚁再拜访剩余顾客, 则可得到第二条配送路径, 待满足所有顾客后, 即可找到 r 条路径, 于是完成了一次循环 (Iteration), 接着由第 $r+1$ 只蚂蚁重新找寻配送路径, 待 m 只人工蚂蚁皆完成搜寻后, 则停止搜寻, 且产生了 n 组可行解 $\psi^1, \psi^2, \dots, \psi^n$, 并求得每组解的车辆数 v 且计算每组解的 TC , 进而在车辆数 v 求得最佳路径, 最后在所得的 TC 中选择最小者做为最终输出。

3.2 蚁群规划步骤

当 m 只人工蚂蚁搜寻时, 在每次循环中的蚂蚁是不独立的, 而在每次循环间的关系却是独立的。人工蚂蚁在搜寻下一个顾客所依据的是一机率矩阵, 如公式(5)所示:

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta [\mu_{ij}]^\gamma [\theta_{ij}]^\lambda [k_{ij}]^\pi}{\sum_{r \in N_i^k} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta [\mu_{ij}]^\gamma [\theta_{ij}]^\lambda [k_{ij}]^\pi} & \text{if } r \in N_i^k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中 $\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \pi$ 为使用者控制参数; N_i^k 为第 k 只蚂蚁在拜访顾客 i 后尚未拜访的顾客的集合;

$\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ 为顾客 i 到 j 间距离的倒数; $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ 属于绝对距离; $\mu_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$ 则属于相对距离, 目的在于节省距离, μ_{ij} 愈大则节省的距离也就愈多; $\theta_{ij} = 1/t_{ij}$,

其中, $t_{ij} = \begin{cases} t_{ij} + (w_j - w_i) \cdot T, & \text{if } w_j > w_i \\ t_{ij} + \infty, & \text{if } w_j > w \end{cases}$, 目的在于控制顾客的时间窗, 希望强制要求车辆依时间窗先后顺序进行配送; $k_{ij} = \frac{C_i - q_j + r_j}{C}$, 其中, $\frac{C_i + q_j}{C} \leq 1, C_i \leq C$ 且

$0 \leq \frac{C_i - q_j + r_j}{C} \leq 1$, 目的在于使装载利用率最大化;

τ_{ij} 为费洛蒙轨迹, 其更新公式为:

$$\tau_{ij}^{new} = \rho \cdot \tau_{ij}^{old} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k + \Delta\tau_{ij}^* \quad (6)$$

其中 $0 \leq \rho \leq 1$ 为蒸发系数; $\Delta\tau_{ij}^k$ 为第 k 只蚂蚁在顾客 i 到 j 间所残留的费洛蒙轨迹即为 $\frac{1}{L^k}$, 其中

$$\Delta\tau_{ij}^* = \begin{cases} \frac{\sigma}{L^*}, & \text{若路径}(i, j)\text{是最短路径的一部分则为} \\ 0 & \end{cases}$$

$\frac{\sigma}{L^*}$, 若否则为 0, 其中 σ 为优胜蚂蚁数, L^* 则为目前最佳解的路径。

为了避免在求解的过程中产生停滞, 因此以一个 Tabu List 来连结每只蚂蚁的信息, 来免除停滞的产生, 而 Tabu List 的目的在于记忆已经被拜访过的城市, 因此下一只蚂蚁将不会再选择同一条路径而是去开发新的路径。在一次循环完成后, Tabu List 将会归零, 下一次循环的蚂蚁又可重新去选择路径于 Tabu List 中。在人工蚂蚁完成一次循环时, 即更新, 若所得的解比好, 就取代, 否则不更新。

3.3 相关 MATLAB 代码

在上面规划步骤的基础上, 形成了如下的解决 VRP 问题的 MATLAB 步骤:

1) 变量初始化及定义 VRP 节点

```
n=size(*,1); /*表示 VRP 访问配送点的个数
```

```
Eta=1./D; //Eta 为启发因子
```

```
Tau=ones(n,n); //Tau 为信息素矩阵
```

```
Tabu=zeros(m,n); //存储并记录路径的生成
```

```
NC=1; //迭代计数器
```

```
R_best=zeros(NC_max,n); //各代最佳路线
```

```
L_best=inf.*ones(NC_max,1); //各代最佳路线的长度
```

```
L_ave=zeros(NC_max,1); //各 VRP 路线的平均长度
```

```
while NC<=NC_max//最大迭代次数
```

```
  Randpos=[];
```

```
  for i=1:(ceil(m/n))
```

```
    Randpos=[Randpos,randperm(n)]; //放置到 VRP 节点
```

```
  end
```

```
  Tabu(:,1)=(Randpos(1,1:m));
```

```
2) 蚂蚁的各自遍历 VRP 结点过程
```

```
  for j=2:n
```

```
    for i=1:m
```

```
      visited=Tabu(i,1:(j-1)); //已访问的 VRP 结点
```

```
      J=zeros(1,(n-j+1)); //待访问的 VRP 结点
```

```
      P=J; //待访问 VRP 结点的选择概率分布
```

```
      Jc=1;
```

```
      for k=1:n
```

```
        if length(find(visited==k))==0
```

```
          J(Jc)=k;
```

```
          Jc=Jc+1;
```

```
        end
```

```
      end
```

```
      for k=1:length(J)
```

```
        P(k)=(Tau(visited(end),J(k))^Alpha)*(Eta(visited(end),J(k))^Beta);
```

```
      end*
```

```
      *=(sum(P));
```

```
      Pcum=cumsum(P);
```

```
      Select=find(Pcum>=rand); //按概率原则选取下一个 VRP 结点
```

```
      to_visit=J(Select(1));
```

```
      Tabu(i,j)=to_visit;
```

```
    end
```

```
  end
```

```
  if NC>=2
```

```
    Tabu(1,:)=R_best(NC-1,:);
```

```
  end
```

3) 最佳 VRP 线路寻优

```
L=zeros(m,1);
```

```
for i=1:m
```

```
  R=Tabu(i,:);
```

```
  for j=1:(n-1)
```

```
    L(i)=L(i)+D(R(j),R(j+1));
```

```
  end
```

```
L(i)=L(i)+D(R(1),R(n));
```

```
end
```

```
L_best(NC)=min(L);
```

```
pos=find(L==L_best(NC));
```

```

R_best(NC,:)=Tabu(pos(1,:));
L_ave(NC)=mean(L);
NC=NC+1
4) 更新蚂蚁信息及禁忌表清零
Delta_Tau=zeros(n,n);
for i=1:m
for j=1:(n-1)
Delta_Tau(Tabu(i,j),Tabu(i,j+1))=Delta_Tau(Tabu(i,
j),Tabu(i,j+1))+Q/L(i);
end
Delta_Tau(Tabu(i,n),Tabu(i,1))=Delta_Tau(Tabu(i,n)
,Tabu(i,1))+Q/L(i);
end
Tau=(1-Rho).*Tau+Delta_Tau;
Tabu=zeros(m,n); //禁忌表清零
End

```

5 结论

在基于上面基于蚁群算法实现的 VRP 路径问题解决方案中,我们采用 MATLAB 实现了该算法的性能测试。通过设定对应的配送成本和相关的服务水平值来测试蚁群算法解决 VRP 问题的收敛性,解决时间复

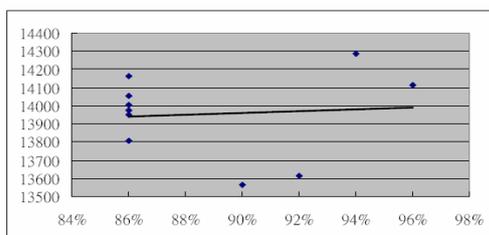


图 1 配送成本与服务水平关系图

杂度和空间复杂度问题,计算的配送成本与服务水平相关系数为 0.08527,显示出其配送总成本与服务水平,并无明显的相关性,如图 1 所示。

以我们执行 10000 次 VRP 配送问题进行测试,采用设定的物流配送服务水平为 90%以上,获得的 9797 次测试结果符合较低的配送成本,可以看到采用该算法实现的整体优化度为 98%。由于受到实际运算中路径规划其他相关因素的影响,可能部分路径的规划部能实现最优,整体上来说,基于该算法解决 VRP 问题是一种可行的方案。

参考文献

- 1 张云洲.物流企业信息化管理模式探析.中国物流与采购,2008.
- 2 杨丰,周广田.现代物流配送中心信息系统设计分析.信息技术,2008.
- 3 黄若男,向兆礼.浅论现代物流配送成本管理.邢台学院学报,2008.
- 4 沈金星,郑长江,徐鹏.结合交通特性的 VRP 新模型.交通与计算机,2008.
- 5 辛华.基于遗传算法的模糊信息 VRP 问题研究.中国水运,2007.
- 6 李怡,军涛.GIS 技术与配送车辆路线规划问题的一种结合方法.科技与管理,2006.
- 7 大鹏,徐瑞华.物流配送线路优化的改进遗传算法研究.交通运输系统工程与信息,2006.
- 8 胡小兵,黄席樾.蚁群算法在迷宫最优路径问题中的应用.计算机仿真,2005.
- 9 李祚泳,钟俊,彭荔红.基于蚁群算法的两地之间的最佳路径选择.系统工程,2004.
- 10 赵建有,闫旺,胡大伟.配送网络规划蚁群算法.交通运输工程学报,2004.

(上接第 236 页)

segmentation using an improvement method for identification of phoneme boundaries. International Conference on Electrical, Communications, and Computers. Cholula, Puebla: 2009. 20-24.

- 4 Wei T, Yan RQ, Gao RX. A hybrid diagnostic method based on wigner-ville distribution and wavelet packet transform. Wavelet Analysis and Pattern Recognition, International Conference, Qingdao, 2010. 386-391.

- 5 Stefanoiu D, Ionescu F. A genetic matching pursuit algorithm. Proc. of the Seventh International Symposium on Signal Processing and Its Applications. 2003: 577-580.
- 6 Mallat S, Zhang Z. Matching pursuit time-frequency distributions. IEEE Trans. on Signal Processing, 1993,41(12): 3397-3415.
- 7 邵君.基于 MP 的信号稀疏分解算法研究.成都:西南交通大学,2006.