

一种启发式邮政运输调度优化方法

陈 龙¹, 王国胤¹, 刘心松², 聂 能¹

(1. 重庆邮电学院计算机科学与技术研究所, 重庆 400065; 2. 电子科技大学 8010 研究室, 成都 610054)

摘 要: 本文研究了邮政运输调度问题的数学模型和相应的神经网络求解模型. 针对邮政运输调度问题的特点和神经网络求解模型中存在的问题, 提出了一种启发式算法, 实验仿真结果表明启发式算法具有较好的性能.

关键词: 组合优化; 邮路优化; 邮政运输调度; 神经网络

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 08-0039-04

A Heuristic Algorithm for Optimizing Postal Transportation Schedules

CHEN Long¹, WANG Guo-yin¹, LIU Xin-song², NIE Neng¹

(1. Inst. of Computer Sci. & Tech., Chongqing Univ. of Posts & Telecom., Chongqing 400065, China;

2. College of Computer Sci. & Eng., Univ. of Electronic Sci. & Tech. of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A mathematical model and its corresponding neural network (NN) algorithm for the postal transportation schedule problem is studied. Through analyzing the special characteristics of this schedule problem and the shortcomings of the NN algorithm, a heuristic algorithm is developed. It is proved to be effective by our simulation results. And it can generate acceptable results with good performances.

Key words: combinatorial optimization; postal route optimization; postal transportation schedules; neural network

1 引言

在邮政运输领域, 现有的研究主要是针对邮政运输网络的规划, 取得了一定的成果. 我国邮政运输现有状况是由有经验的调度人员编制计划, 不考虑容量约束, 按照预定计划执行调度. 对临时事故或高峰期邮件则根据经验拟定方案, 通过电话交流联系有关调度环节, 确定运输方案.

由此可见, 在现有运输网络规划的基础上, 如何利用现有的邮政运输网络实现高效运输、提高服务质量, 对我国邮政行业发展具有重要的现实意义.

1985年J.J. Hopfield和D.W. Tank应用神经网络方法求解旅行推销员问题(TSP)获得成功^[1], 引起世界各国学者的广泛重视. 此后, 许多研究者使用神经网络方法成功地解决了一些优化问题. 如作业调度问题(JSP)^[2,3]、卫星线路的优化调度^[4]. 有的还考虑了适合具体问题的模型^[5].

本文首先对邮政运输调度问题进行了分析, 提出了网状结构邮政运输问题的数学模型, 并使用线性神经网络模型^[5]求解. 针对问题的特点和此模型中存在的问题, 提出一启发式算法, 最后给出一网络实例的计算机仿真实验结果.

2 问题及其数学模型

2.1 邮政运输网的分解

按照邮政运输网络的结构, 邮政运输调度问题可分为如

下的三类拓扑结构的调度问题:

星形结构——邮区中心局内运送邮件到所属各局(或收集邮件);

线形结构——铁路沿线邮局利用火车邮路运送邮件, 是单一邮路资源利用问题;

网状结构——较大城市之间运送邮件.

如果我们把星形结构抽象成一个点(城市邮局), 将线形结构抽象成一条线(连接两城市邮局的邮路), 那么邮政运输网络就剩下一主干网络——网状结构. 即上述三种结构可连接、组合以形成整体的运输网络.

网状结构运输网是邮政运输问题的核心, 具有全局性的影响, 本文讨论网状结构下的邮件运输调度问题, 求解优化的调度方案.

希望在尽量不发生邮件积压延误的前提下, 根据实际具备的交通运输条件、邮件流量流向层次分布和邮件作业规则, 制定出良好的邮件发运计划、提高全网运邮能力, 为日常的调度现代化管理提供科学依据.

2.2 问题及其模型

我们的目标是让邮件尽量不积压, 中转邮件尽量少, 总的邮运距离最短, 使得网络综合效果成本最小.

我们用一有向图 $G(V, E)$ 表示邮政运输网络, 其中顶点集 $V = \{1, 2, \dots, N\}$, 顶点表示运输网络中的邮局, 有向边集

$E = \{1, 2, \dots, K\}$, $k(k \in E)$ 表示邮局间的邮路. 设从寄出局 i 到寄达局 j 的邮件量 (本文中邮件量是以封装后可独立运输的邮件为单位的数量, 即邮件量必为整数) 为: R_{ij} , i 局发运到 j 局有 P 条可选路由, 设 $x_{ijk} = 1$ 表示其中的第 p 条路由 (本文中第 p 条路由或由路由 p 都是相对于上下文的 ij 而言) 包含邮路 k (反之则为 0), X_{ijp} 表示总邮件 R_{ij} 中经第 p 条路由发运的邮件量 ($p = P+1$ 为虚拟路由, 表示未发运), 则邮路 k 上运送的邮件 M_k 为:

$$M_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P x_{ijk} X_{ijp} \quad (1)$$

若邮路 k 的运输距离为 L_k , a_k 为邮路 k 的单位邮件运输成本系数, b_k 为邮路 k 的基本运输成本系数, 则邮件运输成本可表示为:

$$= \sum_{k=1}^K (a_k M_k + b_k) L_k \quad (2)$$

设 T_{ijp} 表示第 p 条路由上邮件经转次数, 由转运邮件量乘以转运成本系数 c , 可得转运成本, 表示成式 (3):

$$= c \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P T_{ijp} X_{ijp} \quad (3)$$

设未发运邮件量为 W , 则延时成本 (d 为延时引起的附加成本系数) 为:

$$= d \cdot W = d \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij(P+1)} \quad (4)$$

设 Q_k 表示邮路 k 的容量, 组合上述三项成本, 则邮政运输问题的数学模型可形式化描述如下:

$$\begin{aligned} \min \quad & (X) = A + B + C \\ \text{s. t.} \quad & M_k \leq Q_k \quad X_{ijp} X_{ijp} \quad \{0, 1, 2, \dots, R_{ij}\} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $k = 1, 2, \dots, K$; $i, j = 1, 2, \dots, N$; $p = 1, 2, \dots, P, P+1$.

3 神经网络解法

分析式 (5), 我们知道式 (5) 是一整数线性规划问题, 其通常的解决思路之一是先忽略整数约束条件, 按照线性规划问题求解, 最后就所得解做整数化处理.

本节解法使用文 [5] 介绍的线性优化神经网络模型—— R^n_+ 上的神经网络求解, 此模型描述方程如下:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Tx + I \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中 x 是 n 维非负实向量, T 是 $n \times n$ 权矩阵, I 为 n 维实数常向量. 由此, 可构造得到相应的能量函数与动力学方程.

4 最小额外代价算法

4.1 设计思想

上面的神经网络方法存在以下问题:

- (1) 忽略整数约束得到的解可能不是原问题的合法解.
- (2) 由于有惩罚项存在, 每一约束小项 (例如邮路 k) 均存在误差, 各路由在对邮路的争夺使用时, 误差相互抵消或累计

都会影响解的最优性.

为了解决邮件运输调度问题, 不妨来观察一个自然现象, 从中得到一点有助于解决这个问题的启示. 设想一带有若干孔的容器, 现往容器里添加水, 水会先流向容器底部, 当水到达某个高度时, 水会从最低的孔流出, 堵住最低的这个孔以后, 水就会从次低的孔流出……

由此, 可以这样来处理本文的邮件运输问题, 核心思想简要描述如下: “尽量增加代价较低路由的邮件量, 减少代价较高路由的邮件量, 从而减小总的代价; 如果某条邮路超载, 减少付出额外代价最小的路由的邮件量, 传递给代价较高的可用路由, 若额外代价最小路由发运邮件量已为零, 则另选择一条路由, 如此重复到邮路不超载为止”. 基于这种方法处理所有的邮路关系, 可得一优化的邮件发运计划.

下面看一个简单的例子:

如图 1 所示, 假设 A 局到 B 局有三条路由 $p1$ 、 $p2$ 、 $p3$ (其单位邮件运输成本递增, 下同), C 局到 D 局有两条路由 $r1$ 、 $r2$, $p4$ 、 $r3$ 分别表示不发运邮件的虚拟路由, 图中结点表示路由, 箭头表示邮件量变化趋势. 其中 $p1$ 无法再增加邮件, $p2$ 、 $r1$ 均经过邮路 k 且邮路 k 已超载, 减小哪个 ($p2$, $r1$) 的发运量可使整个代价最小呢? 这取决于他们与各自的上一条邮路 $p3$ 和 $r2$, 如果 $p3$ 与 $p2$ 的花费代价之差小于 $r2$ 与 $r1$ 的代价之差, 应减小 $p2$ 的发运量并传递给 $p3$.

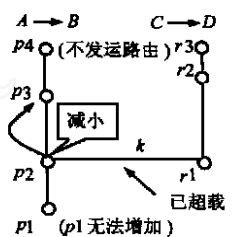


图 1 两路由争用邮路 k 情形及变化示意图

4.2 启发式算法 (简称 HA)

算法步骤如下:

步骤一: 迭代次数 $ITER = 1$. 初始化分配邮件, 对任意的 R_{ij} 随机分配邮件到对应的路由 p ($p = 1, 2, \dots, P+1$), 使得初始解满足式 (5) 约束条件 2.

步骤二: 计算各路由 ($i, j = 1, 2, \dots, N$, $p = 1, 2, \dots, P+1$, 若未特别注明, 下同) 运载单位邮件的代价 C_{ijp} , 其计算公式如下:

$$C_{ijp} = A \sum_{k=1}^K x_{ijk} L_k + B \cdot CT_{ijp} \quad (6)$$

计算各路由承受的“压力” H_{ijp} , 初值为上一路由 ($p+1$) 与本路由 p 的代价之差: $C_{ijp+1} - C_{ijp}$, 规定 $p = P+1$ 时, $H_{ijp} = 0$. 为保证 H_{ijp} 不小于 0, 对路由编号时按 C_{ijp} 大小 (从小到大排序) 分别从 1 开始依次编号.

步骤三: 计算各邮路 ($k = 1, 2, \dots, K$) “感受”的两种“压力”——超容量压力 Z_k 和满容量压力 Z_k .

因一路由可能经过几段 (邮路), 本路由的压力由超过容量的段分散“承受”, 形成各段邮路感受的超容量压力, Z_k 的值取 (从各路由感受到的) 最小压力值 (若遇相同的最小值, 给本路由压力值加一微小量以示区分), 邮路 k 未超过容量时压力 Z_k 为 0. 各段邮路感受的满容量压力直接取本路由压力值, 同样, Z_k 的值取最小压力值 (若有相同值, 不用改变压力

值), 邮路未满足时压力 Z_k 为 0.

本节用 Y_k 表示邮路 k 超过容量的邮件量, 即 $Y_k = M_k - Q_k$. 两种压力数学表达式如式 (7)、(8).

式 (7)、(8) 中 \min 表示取小, sgn 是二值符号函数 (正数返回 1, 否则返回 0), 分子部分是本路由的压力, 式 (7) 分母部分是本路由中超过容量的邮路数, 式 (7)、(8) 分母部分的值为零时表示压力为无穷大.

$$Z_k = \min_{i,j,p} \left(\text{sgn}(Y_k) \frac{H_{ijp}}{\sum_{i,j,p=1}^K \text{sgn}(Y_i) \text{sgn}(X_{ijp})} \right) \quad (7)$$

$$Z_k = \min_{i,j,p} \left(\text{sgn}(Y_k + 1) \frac{H_{ijp}}{\sum_{i,j,p=1}^K \text{sgn}(X_{ijp})} \right) \quad (8)$$

步骤四: 计算各路由的状态, 本路由上装载邮件状态 S_{ijp} 是相对于本路由承受的“压力” H_{ijp} 而言.

用 1 表示路由需减小邮件量——这意味着此路由中某一 (或几段) 邮路过载且此路由是付出最小额外代价最小的路由, 表现为此路由是这些邮路压力的提供者.

0 表示路由由邮件量不应再增加, 这时有两种可能: (1) 此路由各段邮路的超容量压力之和已大于此路由压力, 但其邮件量为零; (2) 此路由各段邮路的满容量压力之和已大于等于此路由压力, 但各段邮路的超容量压力之和小于此路由压力.

相应地, -1 表示本路由邮件量可以增加, 这时, 此路由由各段邮路的超容量压力之和与满容量压力之和均小于此路由压力.

特别地, 当 $p = P + 1$ 时, $S_{ijp} = -1$. 路由状态计算关系如下:

$$S_{ijp} = \begin{cases} +1, & \left(\sum_{k=1}^K i_{jpk} Z_k \geq H_{ijp} \right) & (X_{ijp} > 0) \\ -1, & \left(\sum_{k=1}^K i_{jpk} Z_k < H_{ijp} \right) & \left(\sum_{k=1}^K i_{jpk} Z_k < H_{ijp} \right) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

若状态 S_{ijp+1} 不等于 -1, 修改其“压力” H_{ijp} , 其值变成上一可用路由与本路由的代价之差:

$$H_{ijp+1} = C_{ijp+1} - C_{ijp} \quad (10)$$

步骤五: 判断本路由以上层次路由 ($p > p$) 是否还有发运邮件 G_{ijp} . 其计算关系为:

$$G_{ijp} = \text{sgn} \left(\sum_{p=p+1}^{P+1} X_{ijp} \right) \quad (11)$$

步骤六: 计算各路由的 F_{ijp} 和 X_{ijp} 的变化 (增加、减少、不变) $Action$, 然后执行相应变化 $Action$ (改变邮件量) —— $X_{ijp} = X_{ijp} + Action$. 特别规定当 $p=0$ 时 $F_{ijp}=0$. F_{ijp} 是路由 p 传递给路由 $p+1$ 的邮件量. 分两种情形讨论:

(1) 若 $F_{ijp-1} = 0$, 因为此传递属强制性的动作, 故本路由对此作出响应, 即 $F_{ijp} = F_{ijp-1}$ $Action = 0$, 或 $Action = F_{ijp-1}$ $F_{ijp} = 0$;

(2) 若 $F_{ijp-1} = 0$, 本路由由自适应变化以使状态趋向稳定——邮件量不变, 此时 $S_{ijp} = 0$ 或 $G_{ijp} = 0$ $S_{ijp} = -1$. 其计算关

系分别为:

$$F_{ijp} = (1 - G_{ijp}) \text{sgn}(S_{ijp} + F_{ijp-1}) + G_{ijp} \text{sgn3}(S_{ijp} + F_{ijp-1}) \quad (12)$$

$$Action = F_{ijp-1} - F_{ijp} \quad (13)$$

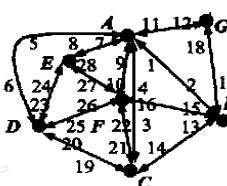
式 (12) 中 sgn3 是三值符号函数 (返回 1, 0, -1).

步骤七: 迭代次数 $ITER = ITER + 1$, 若邮件量分配数值 (或能量值) 未变, 或者迭代次数超过 MAX_ITERS , 结束迭代, 否则转步骤三.

5 实验结果

5.1 网络拓扑结构

本文考虑一网络实例, 其拓扑结构如图 2 所示. 图中字母表示各节点——邮局, 邮路用数字编号, 双向箭头表示邮局间的两条邮路各自的方向.



5.2 实验参数

实验中有关的成本系数根据图 2 网络模型拓扑结构实际选取为呈比例的值, 实验中参数取值见表 1.

表 1 各参数取值

结束阈值	t	A	B	C	D	A_k	b_k	c	d
0.0000001	0.001	12	30	200	1000	1	0	0.01	1

5.3 结果及分析

本文使用 5 组数据进行观察, 其中第一组数据约束关系较为简单, 第四组的有关数据均取较小的整数, 第五组具有较极端的约束关系. 我们分别从寻找合法解难度、解的质量、收敛速度方面, 比较神经网络解法 (NN) 与启发式算法 HA 的效果, 其中, 对神经网络方法的解先进行整数化处理, 若所得解仍然不合法, 然后进行邻域搜索. 比较结果分别见表 2、表 3、表 4.

表 2 两种算法寻找合法解可能性比较

每组 10 次实验	神经网络解法 NN			启发式算法 HA	
	取整之后 合法解次数	邻域内 搜索解	难得到 合法解次数	合法解 次数	最优解 次数
1 组	0	10	0	10	10
2 组	0	10	0	10	0
3 组	0	10	0	10	0
4 组	0	5	5	10	1
5 组	0	4	6	10	0

表 3 两种算法解的质量性能比较

每组 10 次 实验	神经网络解法 NN		启发式算法 HA		
	所得 最好解	算术 平均值	所得 最好解	算术 平均值	位置平均值 (得到次数)
1 组	873.868	873.868	873.868	873.868	873.868(10)
2 组	4004.1	4042.93	4047.78	4104.44	4110.74(9)
3 组	4367.08	4408.33	4430.45	4430.45	4430.45(10)
4 组	692.768	740.05	692.768	707.570	709.022(7)
5 组	4532.59	4626.89	4576.06	4576.06	4576.06(10)

由表 2 可知, 神经网络方法难直接得到合法解, 需进行邻域搜索. 而启发式算法结果全部得到合法解. 表 3 中的值表示

邮件发运方案代价的总和,代价越低,结果越好.因 NN 法稳定性较差,十次实验结果均不相同,我们在 NN 法一栏使用了算术平均值,而 HA 稳定性较好,表中还同时给出了位置平均值(排序后中间次序的解)和此解出现的次数.因第一组数据约束关系较简单,两种方法都得到了最优解;考查第二组、第三组数据,对于进一步处理后的领域解而言,神经网络方法解的质量比 HA 算法高,而第四组、第五组数据,神经网络方法难以准确满足约束条件,启发式算法总体效果要好些.

表 4 两种算法收敛速度比较

神经网络解法 NN		启发式算法 HA	
迭代次数	所占实验次数	迭代次数	所占实验次数
2000 以下	0	50 以下	20
2000 ~ 3000	10	50 ~ 100	30
3000 ~ 5000	29	100 ~ 200	0
5000 以上	11	200 以上	0

由表 4 可以看出,算法 HA 可以快速收敛,NN 方法软件模拟收敛较慢,实验中 NN 方法对参数较为敏感.

6 结论

本文首先对邮政运输调度问题进行了分析,给出了网状运输问题相应的数学模型,并由此构造出相应的神经网络模型.针对问题的特点和此模型中存在的问题,提出一改进的启发式算法,实验结果表明启发式算法能快速收敛,稳定性好,易于得到合适解.

参考文献:

- [1] Hopfield J J, Tank D W. Neural computation of decisions in optimization problems [M]. Biological Cybernetics, 1985, 52: 141 - 152.
- [2] 程相君,王春宁,陈生谭.神经网络原理及其应用[M].国防工业出版社,1995.

- [3] 陈国良.神经计算机其在组合优化中的应用[J].计算机研究与发展,1992(5):1 - 21.
- [4] Nirwan Ansari, Edwin S. H. Hou and Youyi Yu. A new method to optimize the satellite broadcasting schedules using the mean field annealing of a Hopfield neural network [J]. IEEE Trans. On Neural Networks, March 1995, 6(3): 470 - 482.
- [5] 焦李成.神经网络计算[M].西安电子科技大学出版社,1993: 121 - 124.

作者简介:



陈 龙 1992年毕业于华东师范大学计算机科学系,现任讲师.主要研究方向为神经网络、遗传算法.



王国胤 1996年毕业于西安交通大学,获工学博士学位.现为重庆邮电学院副教授.主要研究方向为神经网络、Rough Set、知识获取、智能信息系统.

刘心松 教授,博士生导师.主要研究方向为三网合一、分布式计算机系统、神经网络.

聂 能 教授.主要研究方向为智能信息系统.

(上接第 38 页)

参考文献:

- [1] E. Fujiwara and K. Matsuoka. A self-checking generalized prediction checker and its use for built-in testing [J]. IEEE Transactions on Computers, 1987, 36(1): 86 - 93.
- [2] N. Gaitanis. Totally self-checking checkers with separate internal fault indication [J]. IEEE Transactions on Computers, 1988, 37(10): 1206 - 1213.
- [3] 胡谋.计算机容错技术[M].北京:中国铁道出版社,1995.
- [4] J. H. Jiang, M. Hu, and H. B. Shi. A novel structure of the hybrid logic networks based on the self-checking logic and fail-safe logic for fault diagnosis [A]. in Proceedings of the 5th International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics [C], vol. 2, Beijing: International Academic Publishers, Shenzhen, Dec. 1997: 471 - 476.
- [5] 江建慧.并发差错控制理论及其多模冗余实现方法研究[D].

博士学位论文.上海:上海铁道大学,1999.

- [6] P. K. Lala. Fault tolerant and fault testable hardware design [M]. NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [7] M. Lubaszewski and B. Courtois. A reliable fail-safe system [J]. IEEE Transactions on Computers, 1998, 47(2): 236 - 241.
- [8] M. Nicolaidis. Fault secure property versus strongly code disjoint checkers [J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 1994, 13(5): 651 - 658.
- [9] M. Nicolaidis. Fail-safe interfaces for VLSI: Theoretical foundations and implementation [J]. IEEE Transactions on Computers, 1998, 47(1): 62 - 77.
- [10] M. Nicolaidis, S. Noraz, and B. Courtois. A generalized theory of fail-safe systems [A]. in Proceedings of the 19th International Symposium on Fault Tolerant Computing, IEEE Computer Society Press, Chicago, June 1989, 398 - 406.