

DOI: 10.13955/j.yzyj.2021.03.02.06

智能化趋势下邮路组网模型研究

张奇

(中国邮政集团有限公司江苏省信息技术局, 江苏 南京 210019)

摘 要: 寄递业务量的逐年增长给邮政邮路运输带来巨大压力, 传统以经验为主导的邮路规划需要进行调整。根据目前邮路组网的发展现状, 结合当下大数据分析、数学算法优化的思路, 综合考虑时限、成本、车辆、路向等因素, 用智能化模型进行邮路组网, 为邮政寄递业务降本增效提供技术支持。

关键词: 邮路组网; VRPTW; 蚁群算法; 降本增效

中图分类号: F61

文献标识码: A

随着信息技术的高速发展, 各行各业已经进入“智能+”阶段。邮路网络组织的合理布局和优化一直是中国邮政集团有限公司(以下简称“集团公司”)领导高度重视的问题, 在邮政寄递业务中占有重要的战略地位, 其运作业绩的好坏, 直接关系到寄递业务盈利水平的高低与企业竞争力的强弱。如何发现现有邮路网络组织存在的问题并提出合理化建议也是各级网运部门的重点工作之一。传统的邮路组网均是由人根据经验进行路线决策。为适应激烈的市场竞争, 在满足时限前提下, 有效降低运输成本, 借助大数据、云计算、算法的智能化组网技术, 在网络组织可行性的前提下系统制订新型网络组织调度规则标准和指标体系, 搭建网络规划和指挥调度模型, 形成集综合时限、成本、车辆、路向等因素全流程于一体的智能化邮路运输网络是邮政寄递业务的重要研究课题。

1 传统的邮路组网模式

当前, 我国的邮政运输主要以公路邮路为主, 按管理权限可分为一级邮路、二级邮路、市内邮路、

农村邮路等。省会级城市或大型邮件处理中心间的运输一般走一级干线邮路, 即由集团公司统一规划、管理的省际邮路以及集团公司特定的邮路, 主要用于总包邮件在省际间的快速运输, 是全国邮政通信网的大动脉, 根据中心局间业务量开行省际路向。省内邮件运输主要邮路为二级干线邮路, 即由各省、自治区、直辖市邮政分公司统一规划、管理的省内邮路, 主要包括各省会至本省内及邻省地、市、县之间的邮路, 本省各地市、县之间的邮路, 省际地、市、县之间的邮路以及未列入一级干线邮路的地、市、县到国际邮件互换局(或交换站)之间的邮路。传统的邮路组网一般以省际一级干线邮路和省内二级干线邮路网络为主线, 按照邮件的中转点为转向, 省内二级干线邮路网络主要采用直开加串行模式, 省一市一县三级网络结构双向发运, 够需直发。

在制定邮路规划时, 行车时间、邮路里程、装卸时间、行车时速等都是根据工作人员的工作经验确定, 没有标准化的算法进行综合考量。车辆在邮路上实际的运行时间和邮路计划存在较大偏差,

作者简介: 张奇(1993~), 男, 江苏南京人, 硕士, 主要从事软件项目管理与研究。

收稿日期: 2020-12-01

邮路计划未能得到较好的执行。研究车辆路径问题和相关算法,对于合理调度快递车辆,优化路由,针对不同业务量背景下动态调整邮路的直开、串行方案,减少重复交错运输和快递车辆空载具有重要意义。

2 智能化邮路组网 VRPTW 模型及蚁群算法分析

2.1 有时间窗车辆路径问题 VRPTW

有时间窗车辆路径问题简称 VRPTW (vehicle routing problems with time windows), 车辆路线问题 (VRP) 最早由 Dantzig 和 Ramser 于 1959 年提出, 是指一定数量的客户, 各自有不同数量的货物需求, 配送中心向客户运输货物, 由一个车队负责分送货物, 组织适当的行车路线, 目标是使客户需求得到满足, 并能在一定的约束下, 达到诸如路程最短、成本最低、耗时最少等目的。

以满足时限为前提、成本最低为目标构建算法的 VRPTW 模型, 可以设立省级一级节点 (中心局或大型邮件处理中心) 和地市二级节点 (分拨中心), 下文简称一级节点和二级节点, 分别对应传统 VRPTW 中的配送中心和客户。考虑时间窗因素的车辆路径问题 (VRPTW), 更加符合实际运输问题需求。因此, VRPTW 问题得到国内外学术和产业界的广泛关注。假定邮路模型中一级节点只有 1 个, 本文考虑如下 VRPTW 的数学模型。

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq i}^n \sum_{i=0}^n C_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^L q_i \sum_{j=0, j \neq i}^L x_{ij}^k \leq Q_k \quad (2)$$

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 从 } i \text{ 配送到 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (3)$$

$$R_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 为分拨中心 } i \text{ 服务} \\ 0 & \text{车辆 } k \text{ 不为分拨中心 } i \text{ 服务} \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K R_{ki} = 1, 2, \dots, L \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K n_k = L, 0 \leq n_k \leq L \quad (6)$$

其中 K 为一级节点拥有的车辆总数; L 为需

要配送的二级节点总数; i 为二级节点编号, 即 $i \in 1, 2, \dots, L$; k 为车辆编号, 即 $k \in 1, 2, \dots, K$; Q_k 为车辆 k 的最大装载量, 为常数; q_i 表示二级节点 i 的需求量; n_k 表示车辆 k 配送的二级节点总数; C_{ij} 表示车辆从二级节点 i 到 j 的配送成本, 该系数指距离或时间成本, 会受时间、天气等因素影响; x_{ij}^k 表示车辆 k 配送完二级节点 i 之后是否会配送二级节点 j ; R_k 表示车辆 k 配送的二级节点的集合, 即 $R_k = \{r_k^1, r_k^2, \dots, r_k^i, \dots, r_k^{n_k}\}, \{1, 2, \dots, L\}$, 其中 r_k^i 表示该二级节点在车辆 k 的配送路线中顺序为第 i 位。目标函数 (1) 表示完成所有二级节点配送成本最低; 约束 (2) 表示每辆车配送的二级节点需求总数不能大于车的最大装载量; 式 (5) 表示每个二级节点有且仅有一辆车为其服务; 式 (6) 表示所有二级节点有且仅被配送一次; 在上述模型基础上引入如下时间窗约束条件:

$$P(T_i) = \begin{cases} e(a_i - T_i)^2 & T_i < a_i \\ 0 & a_i \leq T_i \leq b_i \end{cases} \quad (7)$$

如果违反时间窗约束条件就需要进行惩罚。设客户 i 的时间窗范围为 $[a_i, b_i]$, T_i 为车辆到达二级节点 i 的时间, 其中 a_i 为邮路时限 i 允许的最早服务时间, b_i 为邮路时限 i 允许的最迟服务时间。 e 为惩罚系数; 半软时间窗约束允许车辆到达 i 的时间早于 a_i 但不允许晚于 b_i , 早于 a_i 配送二级节点 i , 必须等待至 a_i 再为二级节点 i 服务, 因此需要支付一定的考核惩罚费用 $P(T_i) = e(a_i - T_i)^2$, 迟于 b_i 配送的邮路时限 i 则通过后续的时间窗约束直接剔除。

2.2 蚁群算法

蚁群算法是一种用来寻找优化路径的概率型算法, 是由 Marco Dorigo 于 1992 年在其博士论文中提出, 其灵感来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现路径的行为。通过研究蚂蚁觅食发现, 单个蚂蚁的行为比较简单, 但是蚁群整体却可以体现一些智能的行为。例如蚁群可以在不同的环境下, 寻找到达食物源的最短路径。通过对比交流不同蚂蚁的觅食路径, 可以得到最短路径解。

针对以一级节点为中心, 将货物从一级节点运送到四散的二级节点的实际问题, 蚁群算法的主要目标是为一级节点生成一组货车车队, 车队中的每辆货车分配一组所要服务的二级节点, 并确定送

货的路向顺序,从而将总配送路线定为最短。假定邮路模型中省级一级节点只有一个,可以将一级节点至二级节点距离设为 L_i ,所有二级节点邮路之间距离为 L_{ij} ,得到 L_{ij} 距离矩阵,建模中先计算 $\Delta(i, j) = L_i + L_j - L_{ij}$,遍历 $\Delta(i, j)$ 得到路程最短的最优邮路。图1为传统经验中由一级节点1向二级节点2~5发运的路线,其中节点1-2-4串行发运,1-3和1-5采取直发模式,根据蚁群算法优化后路线如图2所示,运输总距离由原来的550km减少到505km,运输里程缩短8.1%,见表1。

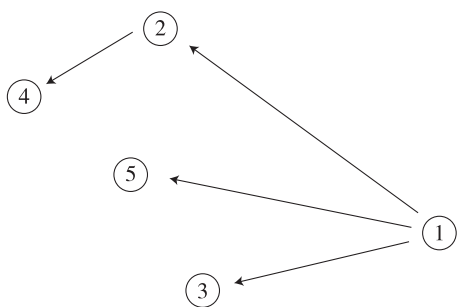


图1 传统直发模式邮路图

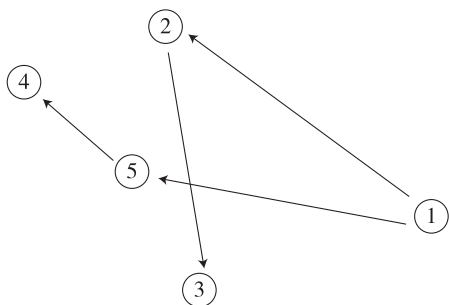


图2 优化后的邮路图

表1 蚁群算法优化后的距离对比

路向	里程(km)	路向	里程(km)	缩减里程(km)
节点1-2-4	210	节点1-2-3	260	45
节点1-5	150	节点1-5-4	245	
节点1-3	190			
合计	550	合计	505	

3 智能化组网模型的示例和实际应用

3.1 基于时限和运输量的智能化组网模型的示例

在实际的邮路组网中,组网方案总体原则为:以满足时限为前提,以成本最低为目标;当成本一

致时,以优化时限为目标。传统组网首先根据个人经验尽可能使用串行邮路的组网方式,智能化邮路组网思路是先由蚁群算法遍历出路径短的邮路方案,使得全网车辆运行总里程数尽量减少。再由VRPTW模型代入需求计算得出满足时限、运输量等限制条件的邮路方案,得到运输成本最低的邮路组网优化方案;对于向外省发运的邮件,枚举一定距离范围内的城市二级节点至一级节点所有组合方式,结合运输与中转的各项成本,选择整体成本最低的组网方案,得出满足处理能力的省际邮路组网优化方案。

首先对省内邮件运输举例,主要目标是为一级节点生成一组货车车队,车队中的每辆货车分配一组所要服务的二级节点,并确定送邮件的路向顺序,在满足时限要求的基础上将总配送成本控制在最低。如图3、表2所示,以省会一级节点0为起始点,向周围地市二级节点1~9(下图表中简称节点1~9)发运为例,图3为传统经验将一级节点、二级节点串行直开模式,根据调度人员的经验,图3中将相邻的二级节点1-2、3-4、5-6、7-8进行串行组网。串行的组网模式下,中间站仅将本城市进口邮件接卸,较集散模式处理成本低,处理时间短,时限有保证。但凭借调度人员经验存在局限性,并不能全面而高效地寻找不同串行组网模式的“最优解”。例如单纯将节点3、节点4串行,货物量远低于车辆的最大容量,车容量没有被最大利用。

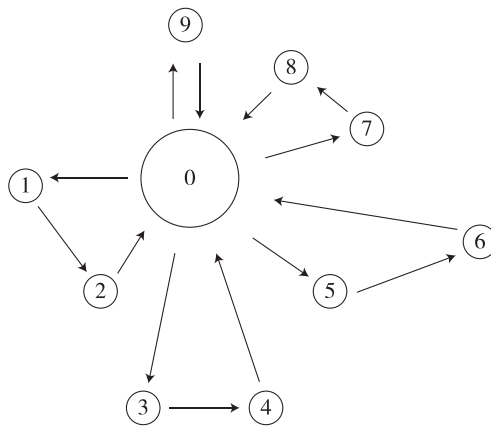


图3 传统简单发运路向

将时限条件、运输量条件代入智能化组网模型,一级节点到各二级节点运输量和节点间距离见表3、表4,运输时限见表5,对所有符合时限、运输量条件网络组织可能性进行遍历,并将成本最

表 2 传统路向和运输详情

邮路回路	距离 (km)	车型	货物量 (m ³)	司机 人数
0 → 1 → 2 → 0	205	13m	60	1
0 → 3 → 4 → 0	365	13m	36	1
0 → 5 → 6 → 0	320	13m	60	1
0 → 7 → 8 → 0	210	13m	32	1
0 → 9 → 0	170	13m	40	1

低的网络组织方式输出，为指挥调度人员进行邮路计划调整提供参考。设一级节点现配有 13m 货车和 17.5m 货车，油费（空驶和满载综合）平均百公里分别为 150 元、240 元，每天司机和行车费成本 400 元、550 元，原则上一名司机行驶里程不超过 600km。两辆货车的最大载货量分别是 76m³ 和 105m³，平均车速 50km/h。

建模中，先计算 $\Delta(i, j) = L_i + L_j - L_{ij}$ 。将节约里程数作为目标构造回路，如表 6 所示。

表 3 一级节点 0 到各二级节点运输量（单位：m³）

	一级节点 0	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	节点 5	节点 6	节点 7	节点 8	节点 9
一级节点 0 发出运输量	0	36	24	24	12	16	44	14	18	40

表 4 各节点之间的距离（单位：km）

	一级节点 0	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	节点 5	节点 6	节点 7	节点 8	节点 9
一级节点 0	0	75	80	170	175	60	155	85	90	85
节点 1		0	50	155	160	90	200	160	150	155
节点 2			0	100	115	50	145	160	155	170
节点 3				0	20	125	95	170	205	160
节点 4					0	105	80	155	190	250
节点 5						0	105	100	100	105
节点 6							0	85	115	230
节点 7								0	35	125
节点 8									0	90
节点 9										0

表 5 一级节点 0 到各二级节点运输时限（初始时间为 0 点）

	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	节点 5	节点 6	节点 7	节点 8	节点 9
到达时间点	(1, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(4, 6)	(1, 5)	(3, 6)	(4, 8)	(1, 6)	(1, 8)

表 6 节点间节约里程表（单位：km）

节点	节约里程	节点	节约里程	节点	节约里程
3 → 4	325	5 → 6	110	4 → 8	75
4 → 6	250	1 → 2	105	3 → 8	55
3 → 6	230	3 → 5	105	5 → 8	50
6 → 7	155	3 → 7	90	1 → 5	45
2 → 4	140	4 → 1	90	5 → 7	45
7 → 8	140	2 → 6	90	5 → 9	40
4 → 5	130	2 → 5	90	1 → 6	30
6 → 8	130	8 → 9	85	2 → 7	10

方法如下： $\Delta(3, 4) = 325\text{km}$ 。 r_i 为每个二级节点需要被运输的货物量。 $r_3 + r_4 = 24 + 12 = 36 < 105$ ，则考虑回路 $\{0 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 0\}$ ，并且运输距离为： $L_3 + L_{34} + L_4 = 170 + 20 + 175 = 365 < 600$ 。而且可以算出到达二级节点3需要的时间是 $170 / 50 = 3.4$ ，到达二级节点4需要的时间是： $(170 + 20) / 50 = 3.8$ ，因此根据时间约束到达客户的时间在其时间约束范围(3, 5)和(4, 6)内，可以形成此回路。 $\Delta(4, 6) = 250\text{km}$ ，货物量是： $36 + r_6 = 36 + 44 = 80 < 105$ ，则考虑回路 $\{0 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 0\}$ 。并且运输距离为： $L_3 + L_{34} + L_{46} + L_6 = 170 + 20 + 80 + 155 = 425 < 600$ 。此时计算到达二级节点6需要的时间是 $(170 + 20 + 80) / 50 = 5.4$ ，因此，根据时间约束到达二级节点6的时间在其时间约束范围(3, 6)内，可以形成此回路。 $\Delta(6, 7) = 155\text{km}$ ，由蚁群算法形成回路 $\{0 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 0\}$ ，货物量为： $80 + r_7 = 80 + 14 = 94 < 105$ 。运输总里程为： $L_3 + L_{34} + L_{46} + L_{67} + L_7 = 170 + 20 + 80 + 85 + 85 = 440 < 600$ 。到达二级节点7需要的时间是： $(170 + 20 + 80 + 85) / 50 = 7.1$ 。按照二级节点7的时间窗约束范围(4, 8)，故可以形成回路 $\{0 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 0\}$ 。最后就考虑和二级节点1、2、5、8、9有关的 Δ_{ij} 。同理可以得到优化后的回路 $\{0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 0\}$ ， $\{0 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 0\}$ 。

分配路径如图4所示，优化方案如表7所示。通过表8中数据的对比，运输总距离在优化后减少11.3%，花费时间在优化后减少11.4%，成本压降12%。

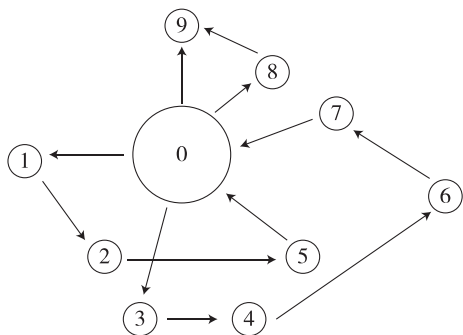


图4 优化后的邮路图

3.2 省际智能化组网

对于向外省发运的邮路规划，一般按照够量直

表7 优化后路向和运输详情

回路	距离 (km)	车型	货物量 (m³)	司机 人数
$0 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 0$	440	17.5m	94	1
$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 0$	235	13m	76	1
$0 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 0$	265	13m	58	1

表8 优化前后对比

指标	优化前	优化后
运输总距离(km)	1 060	940
司机人数	5	3
花费时间(h)	21.2	18.8
费用(元)	3 590	3 156

达、分片汇集、顺向发运、就近入网的原则。基于智能化组网全省汇集发运模式，原则上汇集全省区域内邮件向外省发运，二级节点向一级节点分片汇集发运，通过降低全省一干邮路发运车趟数量，提高大车满载占比，在保证时限的基础上有效提升邮路整体运行效率和效益。地市二级节点至省级一级节点路向按照蚁群算法就近选择一级节点，向一级节点汇集发运。对于寄递旺季，除省内中心局、大型邮件处理中心之外，有一定邮件处理能力的分拨中心也可设为临时一级节点，承担省际邮件汇集经转任务。一级节点以大容量车型（如17.5m）作为主力车型开行省际干线。以智能化VRPTW组网模型，根据邮件量二级节点可选用4.2m、9.6m、13m等不同车型，打破传统邮区限制，综合考虑各一级节点的处理能力和垛口资源，对高峰期各地市区域外省际出口未够量直达邮件，首先分片向就近一级节点或临时一级节点汇集，如果仍未达到节点直达标准，则进行全省顺向汇集发运。以两省之间的邮路发运为例（如图5所示），按全国陆运包裹快递邮件350万件/日总体规模进行相关流量流向分析测算，假设省A至省B路向10万件/日。综合考量，将二级节点汇集至一级节点邮件集中发运。根据每个路向X件/车日，当X大于6 500为地市组开直达邮路的标准，但二级节点向一级节点的直发运量大多低于3 000件/车。聚向发运后，X大于8 000

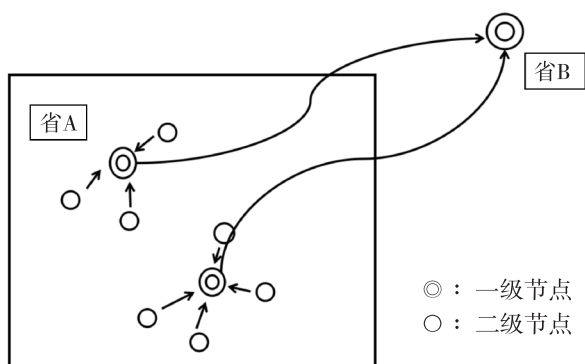


图5 智能化组网后汇集发运

件/车日，可采用大容量车型（如17.5m车），为分片节点汇集组开直达邮路的标准，提高车辆邮件占比，减少快递车辆空载现象，提高转运效率，有效降本增效。

3.3 实际应用举例

以江苏省内南通市发往泰州市、扬州市、镇江市、常州市为例，综合四个地市的平均业务量和时限要求，将图6串行路向动态调整成图7，将南通—泰州—常州、南通—镇江—扬州路向串行发运，一些邮路经过了转折，看似单车运行里程和在途时长有所增加，但从全网视角对比后发现，用车数量、

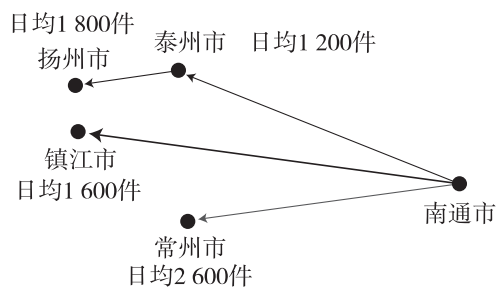


图6 传统直发模式邮路图

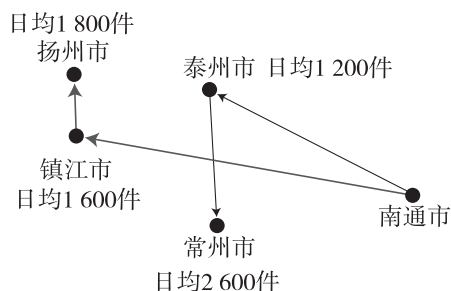


图7 智能优化后的邮路图

运行总里程有所下降，实现了总成本的压降。在智能化组网模式下试运行，南通至常州、泰州、镇江、扬州邮路整体用车数量减少1趟次、运行总里程减少45km，总成本压降1280.5元，见表9。

表9 路向优化前后对比数据

原邮路组织			智能化组网模式下邮路组织			对比	
车次	里程 (km)	承运费用 (元)	车次	里程 (km)	承运费用 (元)	缩减里程 (km)	压降运费 (元)
南通—泰州—扬州	210	1 541	南通—镇江—扬州	260	1 564	45	1 280.5
南通—常州	150	1 487	南通—泰州—常州	245	1 766		
南通—镇江	190	1 582.5					
合计	550	4 910.5	合计	505	3 630		

4 结语

智能化趋势下邮路组网模型为邮政寄递业务运营降本增效提供了新思路。以满足时限为前提，以成本最低为目标；当成本一致时，以优化时限为目标。考虑时间窗因素的车辆路径问题（VRPTW），更加符合实际邮路运输问题需求，综合考量行车时间、邮路里程、装卸时间、行车时速等各个因素，用大数据挖掘和先进的数学算法为邮政寄递改革提供动力。目前，智能化组网在应用中还有许多有待优化的地方，需要对算法和市场形势的变化进行不断论证和完善。相信在大数据挖掘等新技术的推动

下，全面的智能化组网邮路模型将指日可待。

参考文献

- [1] 胡虹, 陈京荣, 马军娟, 等. 基于时间窗的车辆路径优化问题研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2019 (19)
- [2] 孙沪增, 李章维, 秦子豪, 等. 带时间窗车辆路径规划算法研究与实现[J]. 小型微型计算机系统, 2020 (5)
- [3] 刘晓扣, 程金洋. 基于遗传算法的带有时间窗的配送方案设计[J]. 营销界, 2020 (8)
- [4] 林昌辉. 物流企业考虑车辆路径问题模型与算法的文献综述[J]. 经济管理文摘, 2019 (14)