

快递包装回收网络中回收点选址研究

周晓晔, 任贵彬, 马小云, 朱梅琳, 钟宇
(沈阳工业大学 管理学院, 沈阳 110870)

摘要: **目的** 针对快递包装重复利用率低、回收难的现象, 建立有效的快递包装回收网络, 提高快递包装的回收效率。 **方法** 文中通过改进的 K-均值聚类与集合覆盖模型相结合的方法对回收点选址进行研究。首先利用改进的 K-均值聚类对快递点进行聚类分析, 求解快递网点的平均差异度, 并通过选定原则得到初始聚类中心, 减少迭代的次数, 将最终聚类中心作为候选回收点。再利用集合覆盖模型进行优化, 在候选回收点的基础上选出回收点, 为充分利用现有物流资源, 选取最近的快递网点作为回收点。 **结果** 以最少的回收点数量覆盖了所有的快递网点, 降低了网络的回收成本, 提高了快递包装回收效率。 **结论** 通过 2 种方法的结合选择出了合适的快递网点作为回收点。利用 SPSS 和 Matlab 软件对 SY 市的回收点选址进行了实例分析, 验证了该方法是有效的。

关键词: 快递包装; 回收点; 改进的 K-均值聚类; 集合覆盖模型

中图分类号: TB485.3; F252 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)11-0201-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.029

Location Selection of Recycling Points in Express Packaging Recycling Network

ZHOU Xiao-ye, REN Gui-bin, MA Xiao-yun, ZHU Mei-lin, ZHONG Yu

(School of Management, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

ABSTRACT: The work aims to establish an effective express packaging recycling network and select reasonable locations regarding the phenomena of low recycling rate of express packaging and difficult recycling, in order to reduce the cost of the network and improve the recycling benefits. The improved K-means clustering and set covering model were combined to study the location of the recycling point. First, the improved K-means clustering was used to perform cluster analysis on the express outlets. The average difference of the express outlets was solved and the initial cluster center was obtained through the selection principle. The number of iterations was reduced, and the final cluster center was used as the candidate recycling point. Then, the set covering model was used for optimization, and the recycling points were selected on the basis of the candidate recycling points. In order to make full use of the existing logistics resources, the nearest express outlet was selected as the recycling point. All express outlets were covered by the least number of recycling points, reducing the network's recycling cost and improves the efficiency of express packaging recycling. Through the combination of these two methods, a suitable express outlet is selected as the recycling point. SPSS and Matlab software are used to analyze the location of the SY city-wide recycling point to prove that the proposed method is effective.

KEY WORDS: express packaging; recycling point; improved K-means clustering; set covering model

收稿日期: 2019-10-14

基金项目: 辽宁省社科规划基金 (L18AGL005)

作者简介: 周晓晔 (1965—), 女, 沈阳工业大学教授、博导, 主要研究方向为物流系统优化。

随着互联网的快速发展,快递业务量不断地增加,在2011—2018年间,我国快递量由36.7亿件增加到507.1亿件,快递包装物消耗量逐年增加,预计到2020年快递运单将达到1002.5亿份、编织袋146.6亿条、塑料袋400亿个、封套150亿个、包装箱480亿个、胶带820亿米、缓冲物144亿个,因此会产生大量的快递包装垃圾,给城市环境带来极大影响,迫切需要得到有效的解决。目前,很多快递公司进行快递包装的回收,例如菜鸟绿动^[1]和京东绿色物流^[2],但都未能形成完整的快递包装回收网络,只是在局部范围内进行有选择性的回收,回收效率较低,未能有效解决快递包装回收的问题。通过建立快递包装回收网络,不仅可以解决城市快递包装垃圾问题,还能为企业带来一定的经济收益。回收点作为回收网络起点,它的选取对整个社会回收网络的成本与效率起着至关重要的作用。

国内外对物流选址研究较多,但侧重点不同。任德^[3]建立以运营费用最小化和提升用户满意度为目标的逆向物流模型,通过改进粒子群算法中的惯性权重,对回收站的选址问题进行求解。Zhang Yong^[4]应用模糊DEA模型评价候选逆向物流供应商,通过风险度量建立混合整数规划模型,选择最优逆向物流供应商组合。邵玉华^[5]以满足时效性及经济成本最小化要求为目标构建物流网点选址模型,采用改进的P-中值选址模型对物流网点在某区域的选址问题进行研究。胡悦^[6]提出充分考虑多因素的设施选址规划模型,利用遗传算法和贪婪算法相结合的混合算法对设施选址、回收区域划分和回收间隔期进行求解。Mirdar Harijani A^[7]考虑可持续性建立一个综合的城市生活垃圾回收和处置网络,并提出了一种多周期混合整数线性规划模型,以优化设计网络以及网络运行。刘家财^[8]考虑多个影响因素,运用混合多属性决策方法确定物流中心备选区域,并加入约束条件,对已建模型进行优化,确定物流中心的最优位置。Vahdani B^[9]通过考虑回收网络的多层次,多设施,多产品和多供应商,提出一种新的钢铁工业回收网络设计数学规划模型,并引入区间随机鲁棒优化方法来处理模型中的不确定性。汪梓懿^[10]通过现有流程进行分析,对高校快递包装回收的流程进行再造和优化,有效节约资源,提高高校快递包装回收效率。吴凤慧^[11]对K均值聚类进行详细的介绍和数学描述。李正军^[12]构建了政府管理下网络众包的快递包装回收模式,实现了快递包装回收的众包结构与关系创新、包装循环创新、众包平台的功能和管理创新。葛春景^[13]针对重大突发事件的应急设施选址,建立多重数量与质量覆盖模型。汪元^[14]构建了基于“10分钟缴费圈”的电费缴纳点选址集合覆盖模型,提出了带权的集合覆盖模型。毕娅^[15]建立了基于集合覆盖的有容量和时间限制

的选址-分配系统的非线性规划模型。

国内外对快递包装的回收研究主要集中在回收流程与模式,专门针对快递包装回收点选址的研究还是处于空白阶段。故文中运用改进的K-均值聚类与集合覆盖模型相结合的方法对快递包装回收点进行选址研究。

1 模型构建与求解

回收点主要功能是快递包装收集与短暂储存。现有的快递包装回收都是快递公司各自为政,通过各自公司的快递网点进行简单回收,且仅回收可直接重复利用的包装,导致回收成本较高。文中建立的回收点负责回收半径在一定范围内所有快递网点的包装,各个快递公司可共同使用回收点进行包装回收,实现回收点的共享,充分利用现有的物流设施,节约了整个社会回收物流成本。

回收点选址原则主要包括适应性原则、经济性原则和战略性原则。经济性原则:根据回收点的主要功能与作用,回收点选址过程中主要遵循经济性原则,尽量减少各快递网点到回收点的总距离和回收点的个数,减少回收点的运输与建设成本。适应性原则:回收点主要利用各快递公司原有快递点进行逆向回收,回收点主要从原有快递网点中选取,符合社会快递包装回收的实际情况。战略性原则:回收点选址响应了政府实现绿色可持续发展的理念,实现了低碳环保,减少了对环境的污染,具有重大的战略意义。

回收点作为回收网络的起点,合理地选址能够提高回收的效率,减少整个网络的回收成本。文中通过改进的K-均值聚类与集合覆盖模型相结合的方法对回收点选址进行研究,首先利用改进的K-均值聚类对快递点进行聚类分析,求解快递网点的平均差异度并通过选定原则得到初始聚类中心,减少迭代的次数,将最终聚类中心作为候选回收点,再利用集合覆盖模型进行优化,在候选回收点的基础上选出回收点,为充分利用现有物流资源,选取最近的快递网点作为回收点。根据K-均值聚类对快递网点进行聚类分析,一个聚类簇内所有点到聚类中心的距离总和是最短的,有效减少了快递网点到回收点的距离,节约了运输成本;通过集合覆盖模型对候选回收点优化,减少回收点的数量,减少回收点建设成本。

1.1 改进的K-均值聚类

改进的K-均值聚类是常用的聚类分析方法之一。首先计算样本的平均差异度,平均差异度最大的样本作为第1个初始聚类中心,将平均差异度较大,且与已知聚类中心的差异度大于样本总体平均差异度的样本作为初始聚类中心,然后计算每个样本到初

始聚类中心的距离,把样本分配给距离它最近的聚类中心,等所有的样本分配完时,每个聚类的聚类中心根据每个聚类中现有的样本重新计算,直到聚类中样本到聚类中心的总距离最短为止。改进的 K-均值聚类能够减少迭代的次数。

改进的 K-均值聚类的数学描述如下:

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{x \in w_i} \text{dist}(C_i, x)^2 \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} = 1 (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

$$y_{ij} = \{1, 0\} \quad (3)$$

式中: X 为具有 n 个维度的数据集, $X = \{x_j | x_j \in R^n, j = 1, 2, 3, \dots, n\}$; w 为聚类簇, $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$; C_i 为第 i 个聚类簇的质心。

式(1)为目标函数,表示在质心 C_i 中的所有快递点到质心距离之和最短。式(2)为一个快递点只能有一个质心为其服务。式(3)为决策变量,当 $y_{ij}=1$ 时,快递点 j 选取 i 作为聚类中心,也就是所谓的候选回收点。

根据平均差异度对初始聚类中心的选择的数学描述:

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}] \quad (4)$$

$$x_j = [x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm}]$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + \dots + (x_{im} - x_{jm})^2} \quad (5)$$

$$d_i = \frac{\sum_{j=1}^N d_{ij}}{N} \quad (6)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (7)$$

式(4)表示快递点 X 的 n 维样本;式(5)表示快递点 i 与 j 的距离;式(6)表示样本快递点 i 的平均差异度;式(7)表示样本总体平均差异度。

1.2 集合覆盖模型

集合覆盖模型是离散点选址中常用的一种覆盖模型,针对需求已知的一些需求点,确定一组服务设施来满足需求点的需求,尽量以最少的服务设施满足所有的需求点;通过设立目标函数以及约束条件,运用 Matlab 软件求解模型得到最终的结果。

回收点选址优化的集合覆盖模型构建如下:

$$\min \sum_{i \in U} x_i \quad (8)$$

约束条件:

$$\sum_{i \in Q(j)} y_{ij} \geq 1, j \in W \quad (9)$$

$$d_{ij} y_{ij} \leq r, i \in U, j \in W \quad (10)$$

$$x_i = \{1, 0\}, y_{ij} = \{1, 0\} \quad (11)$$

式中: U 为在研究对象中的 u 个候选回收点, $U = (1, 2, 3, \dots, u)$; W 为在研究对象中的 w 个快递点, $W = (1, 2, 3, \dots, w)$; d_{ij} 为快递点与候选回收点之间的距离; r 为候选回收点到快递点之间的最大距离; $P(i)$ 为候选回收点所覆盖的快递点的集合; $Q(j) = \{i | j \in P(i)\}$ 覆盖快递点 j 的候选回收点 i 的集合; $x_i=1$ 表示第 i 个候选回收点被选为回收点,反之没有被选中; $y_{ij}=1$ 表示第 i 个回收点负责回收第 j 个快递点,反之不负责。

在回收点集合覆盖模型中,目标函数在 U 个候选回收点中选取最少的回收点;式(9)表示保证 w 个快递点都能有负责的回收点;式(10)表示被选为回收点的候选节点到其负责的各快递点的距离都不大于负责距离的限制约束。

1.3 计算步骤

算法的具体求解步骤如下所述。

1) 从数据集 X 中,根据改进的 K-均值聚类分析方法,根据样本差异性程度选取初始聚类中心 $C_1, C_2, \dots, C_k$ 。

2) 依据初始聚类中心对数据进行分类,划分的原则为:若 $d_{ij}(x_i, c_j) < d_{im}(x_i, c_m)$, 其中 $d_{ij}(x_i, c_j)$ 是 x_i 与 c_j 的欧氏距离, $m=1, 2, 3, \dots, k, j \neq m, j=1, 2, \dots, n$ 。将 x_i 划分给 c_j 。

3) 依据 $C_i = \frac{1}{n_i} \sum_{x \in w_i} x$, 其中 n_i 为以聚类 C_i 为中心数据对象的数量,重新计算类的质心 $C_1^*, C_2^*, \dots, C_k^*$ 。

4) 如果对于 $\forall i \in (1, 2, 3, \dots, k)$, 都有 $C_i^* = C_i$, 则算法结束,当前 $C_1^*, C_2^*, \dots, C_k^*$ 代表最终的聚类中心,否则令 $C_i = C_i^*$, 返回步骤 2。

5) 输出聚类结果,作为候选回收点。

6) 在聚类的基础上,建立集合覆盖模型,对聚类的结果再一次进行优化,得出最终的聚类中心,作为回收点。

2 实例分析

文中选取 SY 市的快递网点作为回收网络的起点,因为整个城市所有的快递网点较多,故文中选取 SY 市中心的 4 个城区的快递网点作为样本点,去除一些距离较近的快递网点,结果共有 150 个快递网点样本,其快递网点位置信息见表 1。回收点作为快递包装回收网络的起点,应该贴近快递点,根据《城市垃圾转运站设计规范》转运节点服务半径应该在 3 ~ 5 km,考虑快递包装的数量较多,回收点覆盖的半径为 3 km,利用改进的 K-均值聚类算法和集合覆盖模型结合求出回收中心的位置。

表 1 快递网点位置信息
Tab.1 Location information of express outlet

编号	纬度	经度	编号	纬度	经度	编号	纬度	经度
1	41.731 22	123.392 969	51	41.832 24	123.432 532	101	41.826 23	123.465 66
2	41.738 23	123.383 32	52	41.832 22	123.456 345	102	41.848 34	123.487 54
3	41.728 28	123.395 92	53	41.842 23	123.416 087	103	41.845 87	123.4980 14
4	41.739 07	123.408 006	54	41.834 61	123.362 526	104	41.798 59	123.5083 47
5	41.729 83	123.413 566	55	41.859 00	123.460 823	105	41.807 76	123.4566 72
6	41.742 55	123.398 05	56	41.829 69	123.396 308	106	41.793 96	123.481 18
7	41.738 66	123.405 45	57	41.817 74	123.388 37	107	41.822 55	123.481 96
8	41.746 27	123.398 239	58	41.821 07	123.398 377	108	41.822 19	123.468 479
9	41.747 49	123.395 037	59	41.849 09	123.454 038	109	41.835 17	123.469 41
10	41.7481	123.397 82	60	41.842 17	123.383 79	110	41.808 42	123.469 23
11	41.745 04	123.408 858	61	41.843 93	123.4432	111	41.868 49	123.512 117
12	41.755 47	123.381 745	62	41.831 52	123.436 709	112	41.795 52	123.484 111
13	41.756 77	123.378 65	63	41.819 16	123.427 459	113	41.840 88	123.496 317
14	41.762 15	123.380 342	64	41.856 51	123.460 152	114	41.820 92	123.483 96
15	41.762 15	123.384 428	65	41.829 53	123.354 052	115	41.844 15	123.503 464
16	41.766 08	123.386 91	66	41.836 11	123.390 08	116	41.840 73	123.497 43
17	41.766 62	123.392 309	67	41.823 62	123.418 634	117	41.835 94	123.488 295
18	41.765 59	123.402 686	68	41.816 41	123.393 029	118	41.836 15	123.478 642
19	41.772 19	123.385 071	69	41.825 78	123.363 553	119	41.8246	123.459 905
20	41.760 88	123.423 611	70	41.828 01	123.406 653	120	41.7937	123.496 464
21	41.767 47	123.414 51	71	41.824 26	123.416 933	121	41.809 66	123.482 71
22	41.772 91	123.395 588	72	41.870 18	123.490 517	122	41.864 22	123.488 631
23	41.761 55	123.428 78	73	41.795 74	123.471 405	123	41.828 77	123.472 06
24	41.764 99	123.425 203	74	41.797 21	123.469 536	124	41.833 44	123.498 494
25	41.778 73	123.389 124	75	41.840 33	123.487 094	125	41.853 66	123.501 461
26	41.768	123.4259	76	41.832 34	123.503 47	126	41.808 54	123.517 883
27	41.765 63	123.430 191	77	41.824 96	123.487 064	127	41.760 09	123.480 087
28	41.7692	123.428 03	78	41.8468	123.493 25	128	41.7988	123.528 609
29	41.777 66	123.413 484	79	41.848 02	123.524 43	129	41.810 33	123.5265
30	41.771 69	123.426 524	80	41.801 23	123.473 993	130	41.765 16	123.461 038
31	41.790 89	123.397 296	81	41.832 33	123.492 59	131	41.765 33	123.490 75
32	41.778 23	123.429 97	82	41.834 87	123.522 07	132	41.825 71	123.575 914
33	41.789 89	123.393 656	83	41.789 27	123.496 551	133	41.802 99	123.446 93
34	41.7875	123.422 75	84	41.831 74	123.493 387	134	41.776 32	123.457 629
35	41.795 92	123.405 173	85	41.846 69	123.519 251	135	41.807 37	123.445 735
36	41.7674	123.463 99	86	41.813 64	123.489 98	136	41.839 73	123.559 007
37	41.800 35	123.400 59	87	41.859 45	123.484 709	137	41.799 28	123.443 055
38	41.813 72	123.427 785	88	41.816 61	123.480 476	138	41.778 62	123.477 148
39	41.813 88	123.425 267	89	41.8427	123.517 003	139	41.771 92	123.506 29
40	41.731 01	123.401 215	90	41.822 53	123.491 99	140	41.786 79	123.438 158
41	41.730 72	123.399 924	91	41.823 29	123.459 665	141	41.796 05	123.455 903
42	41.827 46	123.356 773	92	41.833 59	123.488 203	142	41.804 25	123.541 504
43	41.823 81	123.383 651	93	41.860 48	123.536 475	143	41.822 42	123.524 871
44	41.837 66	123.453 019	94	41.856 62	123.537 529	144	41.806 58	123.519 554
45	41.836 23	123.460 481	95	41.870 12	123.492 051	145	41.765 46	123.437 214
46	41.829 33	123.411 321	96	41.831 73	123.466 862	146	41.776 34	123.444 493
47	41.820 87	123.389 603	97	41.864 97	123.480 91	147	41.8187	123.556 11
48	41.8218	123.395 65	98	41.802 93	123.477 135	148	41.769 33	123.506 106
49	41.834 07	123.409 35	99	41.825 46	123.467 862	149	41.825 11	123.564 51
50	41.834 24	123.386 11	100	41.795 16	123.476 346	150	41.807 29	123.536 964

利用 IBM SPSS Statistics 20 对 150 个快递网点进行聚类分析，当聚类数 $K \geq 15$ 时，所有的快递点到聚类中心的位置都少于 3 km，见表 2。随着回收点的增加，快递包装的回收成本不断增加，因此聚类数应该选择 $K=15$ ，其次利用改进 K-均值聚类的方法，首先计算所有快递点的平均差异度和样本总体平均差异度，见表 3。然后根据平均差异度得到初始聚类中心，见表 4。输入初始聚类中心，经过迭代得到最终的聚类中心，见表 5。

表 2 聚类点集合及实际距离
Tab.2 Cluster point set and actual distance km

聚类	序号	实际距离	聚类	序号	实际距离	聚类	序号	实际距离
1	35	3	5	61	2.5	10	77	1.3
	37	3		64	2.6		78	1.5
	43	2		91	1.5		81	0.3
	46	1.6		96	0.9		84	0.5
	47	1.3		99	1.5		90	1.7
	48	0.6		101	1.3		92	0.5
	49	1.8		108	1.9	11	102	1.8
	50	2		109	1		103	1.8
	53	3		119	1.4		107	2
	56	1.3	6	123	1.6	12	131	1.5
	57	1.6		73	1.4		139	1.1
	58	0.5		74	1.5		148	0.2
	60	3		80	0.9	13	104	2.4
	66	1.9		83	2.5		126	1
	67	2.4		86	2		128	1.1
	68	1.3		88	2		129	0.4
	70	1		98	0.5		142	2
	71	2.3		100	0.9		143	1.9
2	79	0.6		106	0.2		144	0.8
	82	2.1		110	1.8		150	1.3
	85	0.6	7	112	0.8	14	12	2
	89	1.3		120	2.1		13	2.1
	93	2.3		121	1.1		14	1.5
	94	2.1		72	0.5		15	1.1
	111	2.4		87	1.3		16	0.5
	125	2.5		95	0.8		17	0.6
3	1	1.3		97	0.9		18	1.8
	2	2.1	8	122	0.3		19	0.6
	3	1.4		20	1.4		22	0.9
	4	1		21	1.8		25	1.1
	5	2		23	1.3		31	2.9
	6	0.6		24	0.9		33	2.5
	7	0.8		26	0.5	15	38	1.5
	8	1		27	0.8		39	1.8
	9	1.3		28	0.2		51	2.9
	10	1.3		29	2		62	2.7
	11	1.4		30	0.1		63	1.8
	40	0.9		32	0.9		105	2.2
4	41	0.9		34	2.1		133	1.4
	42	0.4		140	2.3		135	0.9
	54	0.8		145	1.4		137	1.5
	67	0.6	9	146	2.1		141	2.7
5	69	0.8		132	1.5		36	0.6
	44	1		136	1.7		127	1.9
	45	0.1		147	1.6		130	1
	52	0.8		149	0.2		134	1.5
	55	3	10	75	0.8		138	1.6
	59	1.9		76	1.4			

表 3 样本平均差异度和总体平均差异度
Tab.3 Sample average difference and overall average difference

样本	平均差异度
d1	0.102 913 594
d2	0.103 716 858
d3	0.103 643 196
d4	0.090 874 169
...	...
d150	0.094 774 898
总体平均差异度 $Y: 0.056\ 644\ 737$	
最高平均差异度 $d_{132}: 0.130\ 250\ 932$	

表 4 初始聚类中心
Tab.4 Initial cluster center

序号	纬度	经度	快递点
1	41.825 71	123.575 91	132
2	41. 829 53	123.354 052	65
3	41.728 28	123.395 92	3
4	41.870 18	123.490 517	72
5	41.760 09	123.480 087	127
6	41.813 72	123.427 785	38
7	41.822 53	123.491 99	90
8	41.807 37	123.445 735	135
9	41.810 33	123.5265	129
10	41.832 33	123.492 59	81
11	41.858 99	123.460 82	55
12	41.761 55	123.428 78	23
13	41.7674	123.463 99	36
14	41.868 49	123.512 12	111
15	41.789 27	123.496 55	83

表 5 最终聚类中心
Tab.5 Final cluster center

序号	纬度	经度	快递点
1	41.824 54	123.399 43	58
2	41.851 44	123.521 29	79
3	41.738 19	123.399 87	6
4	41.829 34	123.359 23	42
5	41.835 47	123.4612	45
6	41.801	123.4807	106
7	41.869 27	123.486 48	122
8	41.771 53	123.427 77	30
9	41.827 31	123.563 89	149
10	41.835 12	123.491 73	81
11	41.763 69	123.503 01	148
12	41.8071	123.525 53	129
13	41.769 95	123.388 98	16
14	41.810 44	123.438 91	135
15	41.769 52	123.467 97	36

改进的 K-均值聚类比传统 K-均值聚类的方法能够更快地得到最终聚类中心, 传统 K-均值聚类迭代次数为 10 次, 改进的 K-均值聚类为 6 次, 减少了 4 次, 改进的 K-均值聚类有效地减少了迭代次数, 见图 1—2。

在得到最终的聚类中心后, 选取相近的快递点作为候选回收点, 负责各自的聚类簇的快递网点, 见图 3。对于回收点选址, 研究的目标是如何设置最少的回收点且覆盖所有的快递网点, 从而降低企业建立回

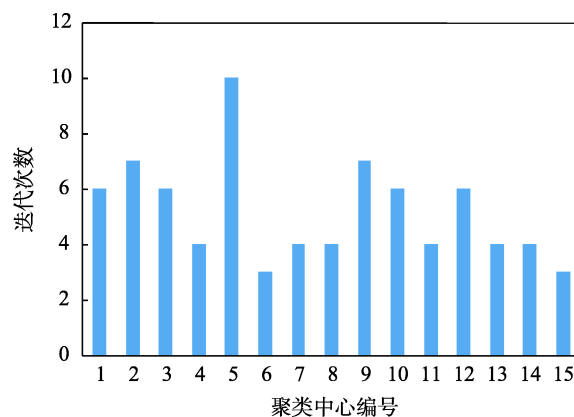


图 1 K-均值聚类迭代次数
Fig.1 K-means clustering iterations

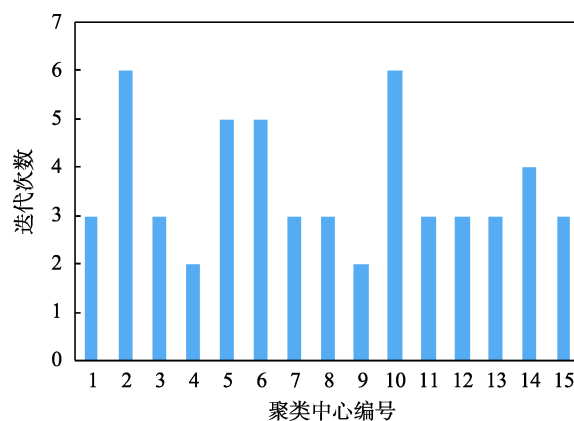


图 2 改进的 K-均值聚类迭代次数
Fig.2 Improved K-means clustering iterations

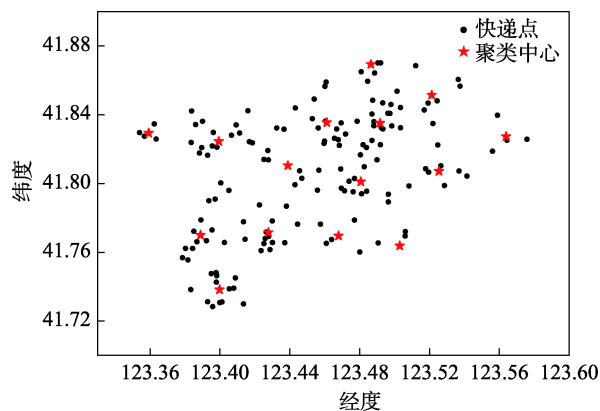


图 3 候选回收点
Fig.3 Candidate recycling points

收点的成本,因此,文中选择集合覆盖模型对聚类结果进行进一步优化,以确定回收点位置。

根据集合覆盖的理念,以尽量最少的回收点覆盖所有的快递网点,回收点覆盖半径 3 km,以候选回收点为中心,通过集合覆盖模型得到每个回收点覆盖的区域和快递网点。通过集合覆盖模型可以得出由聚类分析出来的候选回收点还是不够合理,回收点的集合覆盖快递网点重复率太高,增加了回收点的建设成本,可以通过集合覆盖模型进行优化,降低回收点建设成本。

通过集合覆盖模型,输入数据,设置不同的 r 值,利用 Matlab 进行回收点优化求解,具体结果见图 4。

由图 4 可知当 $r < 3$ km 时,回收点覆盖模型无解,最优回收点为 0;当 $r > 3$ km,最优回收点个数减少;当 $r = 3$ km 时,回收点达到峰值 6,考虑到所有的快递网点都应该有回收点负责,设置距离 $r = 3$ km,能够满足快递网点的需求。由表 6 可知,最终选中聚类

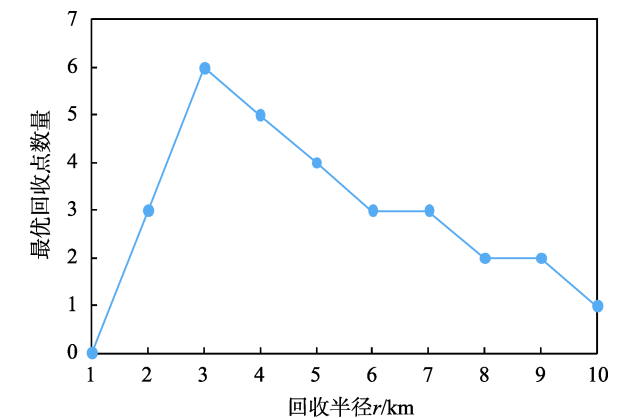


图 4 最优回收点个数与回收半径 r 的关系
Fig.4 Relationship between the optimal number of recycling points and the recycling radius r

表 6 回收点的最优选址结果
Tab.6 Results of optimal location of recycling points

选中聚类中心	回收点	服务快递网点
1	58	39, 46, 49, 51, 57, 65, 42, 43, 60, 1, 37, 58, 70, 38, 53, 56, 67, 68, 71, 35, 47, 48, 50, 54, 62, 66, 69
2	79	72, 95, 97, 122, 87, 125, 115, 76, 103, 116, 113, 124, 78.102, 75, 84, 81, 89, 85, 79, 94, 93, 111, 136
5	45	91, 110, 117, 88, 96, 101, 119, 52, 86, 92, 108, 45, 64, 90, 99, 105, 107, 109, 121, 123, 135, 55, 59, 61, 77, 118, 133, 44, 114
12	129	82, 143, 104, 83, 128, 144, 126, 129, 142, 150, 147, 149, 132
13	16	2, 4, 6, 14, 22, 26, 3, 7, 23, 9, 10, 11, 17, 18, 24, 25, 8, 12, 15, 21, 30, 33, 13, 16, 19, 20, 28, 29, 31, 34, 40, 41, 5
15	36	27, 32, 140, 145, 146, 141, 137, 134, 74, 73, 100, 106, 112, 80, 98, 120, 138, 36, 130, 127, 148, 139, 131

中心 1, 2, 5, 12, 13, 15 作为最终的回收点,考虑到充分利用物流设施资源,选取最近的快递网点作为回收点,分别为 58, 79, 45, 129, 16, 36 快递网点,每个回收点负责的快递点数量从 10~40 不等。

3 结语

针对快递包装重复利用率低、回收难的现象,需要建立有效的快递包装回收网络。回收点作为回收网络的起点,选取合理能够有效降低回收点的建设成本,提高网络的回收效率。文中通过改进的 K-均值聚类与集合覆盖模型的相结合的方法,以最少的回收点覆盖所有的快递网点,为充分利用现有物流设施资源,将距离选中聚类中心最近的快递网点作为回收点,降低企业的回收成本。以 SY 市为例,求出最优的回收点的位置,验证了模型的有效性,具有一定的参考价值,为城市快递包装回收网络中回收点的选址提供了借鉴。

参考文献:

[1] 佚名. 菜鸟绿动 启动快递纸箱回收[J]. 印刷经理人, 2016(8): 18.
Anon. Rookie Green Start Courier Carton Recycling[J]. Printing Manager, 2016(8): 18.

[2] 杨晨一. 京东绿色物流独特的环保与效益并存之路[J]. 管理观察, 2017(15): 80—81.
YANG Chen-yi. The Unique Environmental Protection and Benefit Coexistence of Jing Dong Green Logistics[J]. Management Review, 2017(15): 80—81.

[3] 任儒. 基于改进粒子群算法的逆向物流网络模型的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012: 35—40.
REN Si. Reverse Logistics Network Model Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm[D]. Shanghai: East China Normal University, 2012: 35—40.

[4] ZHANG Y, XIE L J, LI X H, et al. Designing a Reverse Logistics Network Considering Risk Management[C]// International Conference on Wireless Communications, IEEE, 2007.

[5] 邵玉华, 贾玉卫, 陈帝霖. 基于改进 PSO 算法的物流网点选址研究[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(12): 22—25.
SHAO Yu-hua, JIA Yu-wei, CHEN Di-lin. Logistics Network Location Selection Based on Improved PSO Algorithm[J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(12): 22—25.

[6] 胡悦, 罗亚波, 李霞. 基于混合算法的不确定环境下逆向物流网络设计研究[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(1): 90—95.
HU Yue, LUO Ya-bo, LI Xia. Reverse Logistics Network Design under Uncertain Environment Based on

- Hybrid Algorithm[J]. Industrial Engineering and Management, 2018, 23(1): 90—95.
- [7] MIRDAR H A, MANSOUR S, KARIMI B, et al. Multi-period Sustainable and Integrated Recycling Network for Municipal Solid Waste-A Case Study in Tehran[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 151: 96—108.
- [8] 刘家财, 赵文健, 李正红. 物流中心选址求解模型与方法研究[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(12): 45—50. LIU Jia-cai, ZHAO Wen-jian, LI Zheng-hong. Model and Method of Location Selection for Logistics Center[J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(12): 45—50.
- [9] VAHDANI B, NADERI B M. A Mathematical Programming Model for Recycling Network Design under Uncertainty: an Interval-stochastic Robust Optimization Model [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(5/6/7/8): 1057—1071.
- [10] 汪梓懿, 张雪斌, 姜大立, 等. 基于智慧物流的高校快递包装回收流程再造与优化研究[J]. 包装工程, 2018, 39(23): 20—24. WANG Zi-yi, ZHANG Xue-bin, JIANG Da-li et al. Reconstruction and Optimization of Express Delivery Packaging Recycling Process Based on Smart Logistics[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(23): 20—24.
- [11] 吴夙慧, 成颖, 郑彦宁. K—means 算法研究综述[J]. 数据分析与知识发现, 2011, 27(5): 28—35. WU Su-hui, CHENG Ying, ZHENG Yan-ning. Review of K-means Algorithm Research[J]. Data Analysis and Knowledge Discovery, 2011, 27(5): 28—35.
- [12] 李正军, 李恒. 政府管理下网络众包的快递包装回收模式创新[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 133—138. LI Zheng-jun, LI Heng. Innovation of Express Package Recycling Model for Network Crowdsourcing under Government Management[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 133—138.
- [13] 葛春景, 王霞, 关贤军. 重大突发事件应急设施多重覆盖选址模型及算法[J]. 运筹与管理, 2011, 20(5): 50—56. GE Chun-jing, WANG Xia, GUAN Xian-jun. Multi-coverage Location Model and Algorithm for Emergency Facilities in Major Emergencies[J]. Operations Research and Management, 2011, 20(5): 50—56.
- [14] 江元, 王冰, 张婷, 等. 基于集合覆盖模型的电费缴纳点选址研究[J]. 中国电力, 2013, 46(2): 60—64. JIANG Yuan, WANG Bing, ZHANG Ting, et al. Location Selection of Electricity Payment Points Based on Set Coverage Model[J]. China Electric Power, 2013, 46(2): 60—64.
- [15] 毕娅, 李文锋. 基于约束的集合覆盖选址-分配问题[J]. 上海交通大学学报, 2013, 47(3): 495—499. BI Ya, LI Wen-feng. Constraint-based Set Coverage Location-Assignment Problem[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2013, 47(3): 495—499.