

第五章 应用实例

5.1 蚌埠味多多营养午餐配送公司实例介绍

现有安徽蚌埠味多多营养午餐配送公司，该午餐配送公司是一家经国家工商、卫生、劳动部门核准注册，专业为大中小型企业员工、医院、在校学生等提供午餐配送的专业后勤保障服务单位。公司成立于 2005 年 8 月，位于安徽省蚌埠市禹会区，目前拥有固定消费量为 5644 份，分布于蚌埠市的各个区段的 80 家单位，目前还有 2000 份左右的潜在配送量。分布于蚌埠市的不同区段。配送中心每天早上九点制定为所有客户点配送的配送路线，10:00—12:30 之间实施配送计划。各客户点如有需求量的变化必须于早上 9:00 之前上报到配送中心，否则，由此所带来的损失由客户自己承担。各客户点坐标、需求量及需求服务的时间窗口参见表 5-1。

表 5-1 味多多午餐配送公司及其客户基本信息

客户 NO	X 坐标	Y 坐标	需求量	时间窗口
0	45	57	0	所有客户要求的时间窗口均为 11:00—12:00
1	13	25	67	
2	72	42	38	
3	3	9	99	
4	12	58	110	软时间窗口为 10:30—11:00 和 12:00—12:30
5	83	59	30	
6	85	41	76	
7	11	2	112	
8	71	74	79	总需求量为 5644
9	73	57	98	
10	92	75	53	
11	91	61	62	
12	70	60	80	
13	4	1	65	
14	66	56	90	
15	50	23	43	
16	90	73	76	
17	30	38	51	
18	69	76	50	
19	31	8	99	
20	75	55	39	
21	6	26	95	
22	68	72	41	
23	76	22	73	
24	67	54	86	
25	29	37	113	
26	49	71	90	
27	89	44	66	
28	77	78	92	
29	5	90	31	

30	88	43	45
31	14	21	78
32	48	34	89
33	57	53	95
34	64	69	66
35	28	77	111
36	45	68	34
37	32	45	54
38	46	70	58
39	34	20	96
40	63	36	122
41	16	52	101
42	78	79	99
43	26	32	50
44	87	84	88
45	50	27	72
46	56	80	33
47	10	46	38
48	51	67	76
49	17	85	58
50	55	14	81
51	25	86	93
52	43	81	42
53	26	91	59
54	18	6	88
55	79	82	23
56	9	3	97
57	61	47	56
58	52	13	83
59	42	51	70
60	22	18	32
61	24	50	66
62	86	87	83
63	36	28	77
64	60	62	89
65	53	12	90
66	81	31	76
67	54	16	45
68	82	88	76
69	23	48	87
70	37	92	49
71	93	11	32
72	8	89	31
73	41	29	48
74	59	4	95
75	58	49	59
76	21	63	112
77	39	10	42
78	7	66	69
79	40	5	72
80	19	15	55

面对诸多的潜在客户，以及高昂的运营成本，怎样才能获得优势，又能获取可观的利润，只能以配送管理为突破口，配置最少的车辆数，以减少

车辆的固定运营费用，选择最优化的配送路线，以减少配送的可变运营费用。优化配送过程，降低配送成本，提高配送服务的质量。

5.2 蚌埠味多多学生营养午餐配送公司问题简介

现该配送中心接受配送任务，向该 80 个客户需求点配送，各需求点的需求量和时间窗约束见表 5-1 所示。用于送货的车辆有两类，A 类装载容量是 500，B 类的装载容量为 400，所有车辆匀速行驶且车速均为 60km/h，且汽车的可变费用与汽车的行驶时间成正比，忽略卸货时间。考虑到节约成本，决定采用配载方式完成运输任务。假设每辆车每天完成一个循环的配送任务，发车时间为上午 10:00，要求根据运输任务合理安排车辆数，并制定每辆车的行驶线路和停靠顺序，使得在满足客户时间要求前提下车队总行驶里程最低。

1、要求满足约束：

- ① 每个客户至少被服务一次；
- ② 每条路线必须起始于出发点，为最后一个客户服务完后返回出发
- ③ 每条路线的总负荷不能超过该辆汽车的最大载重量；
- ④ 在软时间窗内提供配送时，惩罚系数 $r_A=1.1$ ，超出软时间窗提供配送时，惩罚系数 $r_B=5$ ，视为客户拒绝接受。

2、目标：

- ①最小化总运输费用
- ②最优化车辆的数目。

3、根据问题描述和目标要求，建立数学模型如公式4-1所示，约束条件如公式4-2至公式4-9所示。

5.3 寻求解决方案

5.3.1 求解整数规划模型

根据客户点的总需求量为 5644，运用整数规划方法以求解出派遣车辆数最少的派车方案，指派车的整数规划模型如下：

$$\text{目标函数：} \min \sum_{p \in L} n_p \quad 5-1$$

$$\text{约束条件：} \sum_{p \in L} n_p Q_p \geq a \sum_{i \in C} d_i \quad 5-2$$

采用 LINGO8.0 数学软件求解规划问题如下：

车型集合 L 为 {n1, n2}, 节点总需求量为 5644，A 型车容量为 500，B 型车容量为 400。软件运行结果如下：

当总运量扩展系数设定为 $a=1.0$ 时

```
min =n1+n2+n2*400+n1*500-1.0*5644;
```

```
(n1*500+n2*400)>5644*1.0;
```

```
@gin(n1);
```

@gin(n2);

运行结果如下:

Global optimal solution found at iteration: 5

Objective value: 68.00000

Variable	Value	Reduced Cost
	N1	9.000000
501.0000		
	N2	3.000000
401.0000		

Row	Slack or Surplus	Dual Price
	1	68.00000
-1.000000		
	2	56.00000
0.000000		

当总运量扩展系数设定为 $a=1.1$,

$\min = n1 + n2 + n2 * 400 + n1 * 500 - 1.1 * 5644$;

$(n1 * 500 + n2 * 400) > 5644 * 1.1$;

@gin(n1);

@gin(n2);

运行结果如下:

Global optimal solution found at iteration: 5

Objective value: 104.6000

Variable	Value	Reduced Cost
	N1	11.00000
501.0000		
	N2	2.000000
401.0000		

Row	Slack or Surplus	Dual Price
	1	104.6000
-1.000000		
	2	91.60000
0.000000		

当总运量扩展系数设定为 $a=1.2$,

$\min = n1 + n2 + n2 * 400 + n1 * 500 - 1.2 * 5644$;

$(n1 * 500 + n2 * 400) > 5644 * 1.2$;

@gin(n1);

@gin(n2);

运行结果如下：

```
Global optimal solution found at iteration:           5
  Objective value:                                41.20000
    Variable              Value          Reduced Cost
              N1              12.00000
501.0000
              N2              2.00000
401.0000
Row    Slack or Surplus      Dual Price
              1              41.20000
-1.000000
              2              27.20000
0.000000
```

一般情况总车辆装载容量应在总货运量的1.05~1.3倍之间^[36]。针对本问题，我们研究扩展系数为1.1时的配送方案。根据lingo8.0运算结果，初步确定派车方案为：A型车11辆，B型车为2辆

5.3.2 遗传算法参数的设定

根据初步确定的车辆数 13，车辆总最大装载容量为 6300。染色体长度 $80+13+1=94$ 采用 2 交叉算子，以及 2 交换变异算子。取群体规模 $n=50$ ，交叉率 $P_c=0.85$ ，变异率 $P_m=0.05$ ， $r_A=1.1$ ， $r_B=5$ 。算法终止条件设定为：若迭代算法达到 300 代；若最佳染色体连续保持 20 代；若某代染色体的平均适应度达到这一代最佳染色体适应度的 0.90 倍。

5.3.3 程序实现

程序清单详见附件二

5.3.4 实验结果及分析

第一次实验结果：

运行 300 代最佳为 9506

game over

the best value is 9506

the num is : 该线路最短的路程为: 3630

0 11 12 8 55 39 76 5 0 40 57 72 4 3 0 67 73 51 38 13 0 69 56 17 58 52

79 0 63 44 46 61 65 37 0 78 34 14 21 60 29 0 77 64 20 54 7 74 71 70 0
80 19 32 50 28 18 48 41 0 25 43 24 27 68 59 22 0 2 23 66 26 45 62 0 6
75 9 42 10 16 47 30 0 33 31 1 15 35 36 0 49 53 0

将第一次实验结果较好值 9506，带入实验作为二次寻优初始种群产生的限制条件，二次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 8554

game over

the best value is 8554

the num is : 该线路最短的路程为: 3509

0 37 32 54 29 49 9 42 0 4 44 28 30 78 0 53 38 66 15 64 65 0 73 51 52 36
77 79 0 10 14 75 23 47 31 0 48 46 16 2 68 5 34 0 61 19 71 57 40 67 0 11
39 63 13 59 0 22 70 55 76 35 8 0 26 3 56 58 7 27 0 80 50 74 33 43 25 12
41 0 21 60 72 17 62 6 0 24 18 20 45 69 1 0

将第二次实验结果较好值 8544，带入实验作为三次寻优初始种群产生的限制条件，三次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 7758

game over

the best value is 7758

the num is : 该线路最短的路程为: 3357

0 43 54 7 10 11 39 0 8 32 67 74 23 0 33 30 77 56 9 2 50 0 26 36 22 17
80 1 21 13 0 76 72 4 70 12 49 52 0 20 34 37 29 28 42 14 0 63 24 35 53
25 0 59 51 18 60 79 47 0 64 61 66 15 69 41 55 0 57 68 40 5 16 31 0 78
38 45 65 58 71 0 62 44 73 75 48 46 27 0 6 3 19 0

将第三次实验结果较好值 7758，带入实验作为四次寻优初始种群产生的限制条件，四次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 7406

game over

the best value is 7406

the num is : 该线路最短的路程为: 3342

0 30 18 15 50 9 20 49 0 72 47 69 65 58 7 73 0 26 48 78 61 60 70 46 0 75
43 32 8 51 52 66 0 67 68 28 38 64 10 44 0 63 19 39 77 24 34 5 0 35 2 25
76 54 0 33 59 55 16 12 23 11 0 3 56 1 21 53 31 0 4 29 62 22 45 79 0 14
27 40 37 80 71 0 74 6 36 42 57 17 0 13 41 0

将第四次实验结果较好值 7406，带入实验作为五次寻优初始种群产生的限制条件，五次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 6652

game over

the best value is 6652

the num is : 该线路最短的路程为: 3240

0 14 64 73 58 37 60 13 0 36 24 66 34 53 4 0 69 80 7 35 9 0 28 38 12 75
51 46 30 0 48 3 21 39 55 11 0 33 45 77 74 57 44 16 0 52 17 32 26 72 29
20 25 0 8 22 10 2 40 59 49 71 0 47 1 19 27 42 0 18 63 54 43 76 70 0 15
50 67 56 78 61 31 0 41 23 79 65 5 0 6 62 68 0

将第五次实验结果较好值 6652，带入实验作为六次寻优初始种群产生的限制条件，六次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 6269

game over

the best value is 6269

the num is : 该线路最短的路程为: 3151

0 38 78 8 29 22 66 0 36 4 73 69 79 1 0 45 63 37 32 43 59 55 57 0 2 30
40 71 58 16 0 48 64 68 28 18 39 23 0 9 6 61 41 19 15 0 26 5 20 14 27 75
7 0 12 10 44 80 54 76 0 42 62 46 74 34 3 0 24 11 50 67 13 21 0 35 70 25
17 77 65 0 33 47 49 72 52 51 53 0 31 60 56 0

将第六次实验结果较好值 6269，带入实验作为七次寻优初始种群产生的限制条件，七次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 5853

game over

the best value is 5853

the num is : 该线路最短的路程为: 3097

0 10 20 24 40 74 79 0 75 30 27 4 58 50 0 69 17 32 48 1 39 0 36 70 12 16
14 46 8 0 41 49 51 64 18 67 0 35 25 52 38 43 21 0 28 22 5 6 54 42 0 33
71 77 19 80 45 15 23 0 37 59 34 68 63 78 0 7 56 65 66 76 0 44 62 9 61
47 29 55 0 73 57 60 13 3 72 53 0 26 11 2 31 0

将第七次实验结果较好值 5853，带入实验作为八次寻优初始种群产生的限制条件，八次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 4966

game over

the best value is 4966

the num is : 该线路最短的路程为: 2720

0 78 72 46 28 42 64 34 0 29 53 35 44 55 16 12 0 57 17 25 18 10 51 38 0
73 63 3 65 58 0 41 1 19 54 27 11 0 76 4 31 2 33 0 70 26 37 32 77 79 13
0 22 9 61 69 43 15 49 71 0 47 80 39 67 60 21 74 50 0 36 59 40 62 68 0
52 24 30 45 7 56 0 75 6 5 23 66 0 48 8 14 20 0

将第八次实验结果较好值 4966, 带入实验作为九次寻优初始种群产生的限制条件, 九次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 4966

game over

the best value is 4966

the num is : 该线路最短的路程为: 2720

0 78 72 46 28 42 64 34 0 29 53 35 44 55 16 12 0 57 17 25 18 10 51 38 0
73 63 3 65 58 0 41 1 19 54 27 11 0 76 4 31 2 33 0 70 26 37 32 77 79 13
0 22 9 61 69 43 15 49 71 0 47 80 39 67 60 21 74 50 0 36 59 40 62 68 0
52 24 30 45 7 56 0 75 6 5 23 66 0 48 8 14 20 0

将第九次实验结果较好值 4966, 带入实验作为十次寻优初始种群产生的限制条件, 十次寻优运行结果

运行 300 代最佳为 4966

game over

the best value is 4966

the num is : 该线路最短的路程为: 2720

0 78 72 46 28 42 64 34 0 29 53 35 44 55 16 12 0 57 17 25 18 10 51 38 0
73 63 3 65 58 0 41 1 19 54 27 11 0 76 4 31 2 33 0 70 26 37 32 77 79 13
0 22 9 61 69 43 15 49 71 0 47 80 39 67 60 21 74 50 0 36 59 40 62 68 0
52 24 30 45 7 56 0 75 6 5 23 66 0 48 8 14 20 0

输出配送方案中各线路路段的里程:

39.0512	23.0217	48.8365	21.095	1.41421	24.7588	8.06226
22.4722	51.8556	21.0238	14.1421	59.4138	8.24621	14.2127
23.8537	25.1794	18.868	32.28	1.41421	55.8659	23.0217
26.4008	13.0384	28.2843	5.09902	38.0789	50.0899	1.41421

44.5533	29.4279	27.1662	24.7588	13.1529	80.5295	17.1172
46.1736	24.7386	10.2956	37.054	61.6847	18.6011	12.6491
35.9026	24.1868	31.0644	19.4165	25.632	5.09902	36.2215
69.4046	27.4591	15.8114	49.4975	2.23607	16.2788	25.632
70.2353	106.075	66.4831	36.6879	32.28	15.8114	20.3961
32.0624	17.8885	57.3847	56.7532	11	39.2112	23.4076
55.9464	4.12311	48.2701	24.0832	36.1248	23.7065	41.2311
46.3249	2.23607	64.8999	15.2643	28.1603	18.1108	37.6563
10.2956	44.4072	11.6619	21.1896	18.6815	9.05539	30.0666

5.3.5 制定配送方案

继续实验数次，实验结果表明第八次、第九次、第十次寻优结果已经非常逼近全局最优，与未经过多次寻优的第一次实验结果相比：配送成本降低了4540元，车队行驶里程节约了910km。因此第八次实验结果即为最佳配送方案，最低成本为4966元，调用车队最短行驶总里程为2720km。详细配送方案参见如表5-1、表5-2及表5-3。因此，采用调整后派车方案和运输线路选择是合理可行的，本文所采用的研究方法是有效的。

表 5-2 午餐配送公司配送方案总体情况

线路	车型	车辆容量	停靠需求点顺序	总装载量
1	A	500	78, 72, 46, 28, 42, 64, 34	479
2	A	500	29, 53, 35, 44, 55, 16, 12	468
3	A	500	57, 17, 25, 18, 10, 51, 38	474
4	A	500	73, 63, 3, 65, 58	397
5	A	500	41, 1, 19, 54, 27, 11	483
6	A	500	76, 4, 31, 2, 33	433
7	A	500	70, 26, 37, 32, 77, 79, 13	461
8	A	500	22, 9, 61, 69, 43, 15, 49, 71	475
9	A	500	47, 80, 39, 67, 60, 21, 74	456
10	A	500	36, 59, 50, 40, 62, 68	466
11	A	500	52, 24, 30, 45, 7, 56	454
12	B	400	75, 6, 5, 23, 66	314
13	B	400	48, 8, 14, 20	284
合计		6300		5644

表 5-3 午餐配送配送公司配送方案中各线路车辆载重动态

线路	各线路车辆装载量
1	479→410→379→346→254→155→66
2	468→437→378→267→179→156→80
3	474→418→367→254→204→151→58
4	397→349→272→173→83
5	483→382→315→216→128→62
6	433→321→211→133→95
7	461→412→322→268→179→137→65
8	475→434→336→270→183→133→90→32

9	456→418→363→267→222→190→95
10	466→432→362→261→139→76
11	454→412→326→281→209→97
12	314→255→179→149→76
13	284→208→129→39

表 5-4 午餐配送公司配送方案中各线路车辆运行动态

线路	各线路行车路段里程 (km)
1	39.05→23.02→48.84→21.10→1.41→24.76→8.06→22.47
2	51.86→21.02→14.14→59.41→8.25→14.21→23.85→25.18
3	18.87→32.28→1.41→55.87→23.02→67.90→26.40→13.04
4	28.28→5.10→38.08→50.09→1.41→44.55
5	29.43→27.17→24.76→13.15→80.53→17.16→46.17
6	24.74→10.30→37.05→61.68→18.60→12.65
7	35.90→24.19→31.06→19.47→25.63→5.10→36.22→69.40
8	27.46→15.81→49.50→2.27→16.28→25.63→70.24→106.08→66.48
9	36.69→32.28→15.81→20.40→32.06→17.89→57.38→56.75
10	11.00→39.21→23.41→25.81→55.95→4.12→48.27
11	24.08→36.12→23.71→41.23→46.32→2.25→64.90
12	15.26→28.16→18.11→37.66→10.30→44.41
13	11.66→21.19→18.68→9.05→30.07

结论与展望

1.1 全文总结

本文结合我国近期迅速发展的午餐配送行业所面临的配送问题，提出了本文的研究对象——带软时间窗的车辆路径问题。首先综述了 VRP 问题，分析了 VRPTW 的国内外研究现状，针对本文所研究的午餐配送问题建立了带软时间窗的车辆路径问题数学建模，并根据总配送量的要求和车辆容量约束建立整数规划模型，应用数学软件 Lingo8.0 求解此整数规划模型，初步确定所要调用的车辆数和车辆型号。然后应用改进的遗传算法构建派车方案染色体结构，编译相应的 C 语言程序，在 PC 机上对染色体的初始群体进行遗传、交叉、变异等操作，实现对派车方案染色体结构的优化，根据设置的初始群体数目、遗传代数、交叉率、变异率、终止条件，经过多次寻优，运算得到较优的染色体结构及运行费用最小的整个派车方案，最终确定配送派车方案。通过对本文问题的研究，总结得到如下结论：

- 1、本文在对 VRPSTW 研究过程中，首先根据总需求量和车辆容量约束，建立整数规划模型，应用 Lingo8.0 求解整数规划模型，初步确定需要调用的车辆数和车辆型号，此时多车配载运输线路选择问题就转变成多重旅行商问题。
- 2、本文在试验过程中发现，将第一批运算结果添加到程序约束中，进一步运算，可得到进一步优化的染色体结构，直至非常接近全局最优，从而得到更为优化的配送方案。
- 3、在带软时间窗车辆路径问题中，决策者可以根据客户的重要程度，在客户满意度和运输成本之间权衡，决定是否允许发生延误以及允许发生延误的程度，允许延误的程度由一个惩罚因子来控制，通过调整惩罚因子可以动态地调整整个配送过程。

1.2 需要进一步研究的问题

由于时间等因素的限制，本文还有以下几点需要做进一步的研究：

- 1、本文所研究问题的数学模型存在一定程度的理想化，但在实际的配送过程中仍然存在如下几种情况：①车辆的行驶速度受交通流量、道路状况等的影响，不可能做到绝对匀速；②本文假设两客户点之间的距离是两点的坐标距离，而实际上量客户点之间的距离不可能是绝对直线距离；③本文在研究过程中假定各客户点的需求量是确定的，而且是已知的，而实际生活中客户点的需求量可能是随机变化的。总之，期待这些因素在以后的研究过程中作为参数考虑。
- 2、在算法实现过程中可能还存在一定的缺陷，本文采用遗传算法解决带软时间窗的车辆路径问题，由于遗传算法中的参数设置往往影响最终解得质量，而本文中算法的参数设置根据学术前辈的经验和自己的不断尝试来确定的，这可能导致搜索的不确定性。