

基于 0-1 规划的交巡警平台设置与调度模型

摘 要

本文研究的是交巡警平台的设置、管辖区域的划分以及发生重大突发事件时警务资源的调度问题。

问题一中，我们对城区 A 的交通网络和交巡警平台的设置进行了分析。首先，通过 Floyd 算法，计算出 20 个平台与各节点间的最短路径，并以此划分管辖区域，使各节点被距离它最近的平台管辖。尽管如此，仍有 6 个节点（28、29、38、39、61、92）距离平台超过 3km，导致这些节点发生案件时相应平台的出警时间过长。接下来，我们利用 0-1 规划模型，制定出了发生重大突发事件时交巡警平台警力的调度方案，并得出了最快完成全封锁的时间为 8min。最后，为使 A 区交巡警平台的设置更为合理，我们以各平台工作量的变异系数最小和最长出警时间最短为目标，再次建立 0-1 规划模型，设计出了新增平台的方案，即：①新增 4 个平台，分别位于节点 28（或 29）、61、39、91，此时，最长出警时间为 2.71min，工作量变异系数为 0.2004，是能在 3min 内快速出警且新增平台数最少的方案；②新增 5 个平台，分别位于节点 28（或 29）、61、39、91、67，此时，最长出警时间仍为 2.71min，工作量变异系数下降为 0.1526，是能在 3min 内快速出警且各平台工作量最均衡的方案。

问题二中，我们首先结合问题一中的 Floyd 算法和 0-1 规划模型，在不增加交巡警平台的前提下，对全市各区平台的管辖范围进行了划分，得到了最优的分配方案，并对其合理性进行了分析，发现：① 主城各区交巡警平台工作量的变异系数都较小，即各平台的工作量较均衡，比较合理；② 主城各区的最长出警时间都较大，尤其是 D 区和 E 区，远远超过了规定的 3min 出警时间，因此不合理。针对这一问题，以缩短最长出警时间为目标，继续采用 0-1 规划模型，设计出了能够在 3min 内快速出警且新增平台数最少的改进方案。

最后，在点 P（第 32 个节点）发生了重大刑事案件且犯罪嫌疑人已驾车逃跑 3min 的情况下，我们以嫌疑犯落网时间（从开始逃跑到最后被捕的时间）最短为目标，以交巡警成功封锁节点和嫌疑犯被完全围堵为约束条件，建立了 0-1 规划模型。求解出了 A 区的围堵方案，并发现在围堵的区域内有逃离 A 区的 4 个出口（节点 28，30，38，48），因此再将围堵范围拓展到 C、D、F 区。最终的调度方案为：调度 18 个平台的警力封锁 18 个节点，可使嫌疑犯在 20.25 分钟内落网。

本文建立的 0-1 规划模型能与实际紧密联系，结合实际情况对问题进行求解，使得模型具有很好的通用性和推广性。

关键词：最短路径 Floyd 算法 0-1 规划 交巡警平台

一、问题重述

交巡警平台是将行政执法、治安管理、交通管理、服务群众四大职能有机融合的新型防控体系。由于警务资源有限，如何根据城市的实际情况与需求合理地设置交巡警服务平台、分配各平台的管辖范围、调度警务资源是警务部门需要面临的一个实际课题。

试就某市设置交巡警服务平台的相关情况，建立数学模型分析研究下面的问题：

(1) 根据该市中心城区 A 的交通网络和现有的 20 个交巡警服务平台的设置情况示意图及相关的信息，请为各交巡警服务平台分配管辖范围，使其在所管辖的范围内出现突发事件时，尽量能在 3 分钟内有交巡警（警车的时速为 60km/h）到达事发地。

对于重大突发事件，需要调度全区 20 个交巡警服务平台的警力资源，对进出该区的 13 条交通要道实现快速全封锁。实际中一个平台的警力最多封锁一个路口，请给出该区交巡警服务平台警力合理的调度方案。

根据现有交巡警服务平台的工作量不均衡和有些地方出警时间过长的实际情况，拟在该区内再增加 2 至 5 个平台，请确定需要增加平台的具体个数和位置。

(2) 针对全市（主城六区 A, B, C, D, E, F）的具体情况，按照设置交巡警服务平台的原则和任务，分析研究该市现有交巡警服务平台设置方案的合理性。如果有明显不合理，请给出解决方案。

如果该市地点 P（第 32 个节点）处发生了重大刑事案件，在案发 3 分钟后接到报警，犯罪嫌疑人已驾车逃跑。为了快速搜捕嫌疑犯，请给出调度全市交巡警服务平台警力资源的最佳围堵方案。

二、问题分析

2.1 问题一的分析

对于交巡警平台管辖区域的分配问题，为了尽量使交巡警在 3 分钟内（警车的时速为 60km/h）到达事发地。我们将节点归为距离其最短的平台来管辖。该问题即转化为对平台与节点间最短路径的求解^[1]。

发生重大突发事件后，调度 20 个交巡警服务平台的警力资源，对进出该区的 13 条交通要道实现快速全封锁。根据假设 5，完成全封锁的时间取决于调度中距离最远的交巡警平台的警力到达出口的时间。因此，我们提出以下两个调度原则：（1）以最大调度距离最短为优；（2）以总调度距离最小为优。对于各平台，只有调度和不调度两种情况，因此，可用 0-1 规划的思想建立模型^[2]。

为了改善现有交巡警服务平台的工作量不均衡和有些地方出警时间过长的实际情况，我们提出以下交巡警平台设置原则：（1）平台的最长出警时间最短为优；（2）平台工作量的变异系数最小为优。依据以上两个原则，利用 0-1 规划模型，对管辖范围重新划分，并确定新增平台的个数及位置。

2.2 问题二的分析

要分析研究全市的交巡警服务平台设置是否合理, 首先应根据问题一中交巡警平台的设置原则, 对各区各平台的管辖范围进行划分, 然后, 根据平台的最长出警时间和工作量的均衡性, 对其合理性进行分析。若不合理, 则可通过增加平台数, 来解决这一问题。

该市地点 P (第 32 个节点) 发生了重大刑事案件, 犯罪嫌疑人已驾车逃跑 3min。为了快速围堵嫌疑犯, 以其落网时间 (从逃跑到最后被捕的时间) 最短为目标, 可以通过 0-1 规划模型设计平台警力的调度方案。成功封锁节点是指交巡警先于嫌疑犯到达该节点; 成功围堵是指嫌疑犯被限制于一定的区域内, 该区域与外界相通的道路节点全部被成功封锁。计算时可以先求出 A 区的围堵方案, 在围堵的区域内若存在逃离 A 区的出口节点, 则再将围堵范围拓展到其他区, 直至嫌疑犯被完全围堵。

三、模型假设

1. 交巡警出警时间是指从交巡警平台到达事发地路口节点所用的时间;
2. 交巡警平台管辖区域的划分对象为路口节点;
3. 一般情况下, 各个交巡警平台的管辖范围相互独立;
4. 警车的平均时速为 60km/h;
5. 全封锁是以最后一个路口节点完成封锁为标志;
6. 常规情形下, 全市各区的交巡警平台不跨区管理;
7. 每个节点仅由一个平台管辖, 每个平台可管辖多个节点;
8. 嫌疑犯的平均逃跑速度与警车的平均速度相同。

四、符号说明

符号	说明	单位
m	研究范围内节点的个数	个
n	研究范围内交巡警平台的个数	个
l	研究范围内进出口个数	个
S_{ij}	交巡警平台 j 到节点 i 的距离	km
V	警车时速	km/h
C_i	节点 i 的案发率	/
W_j	交巡警平台 j 的工作量, 即管辖范围内各节点案发率的总和	/
T_j	第 j 个平台的最长出警时间	h

五、模型的建立与求解

5.1 问题一：A 区交巡警平台的设置与调度分析

5.1.1 A 区交巡警平台的管辖范围分配

当出现突发事件时，显然为使交巡警警力尽量能在 3 分钟内（警车的时速为 60km/h）到达事发地点，需要各节点由距离其最近的交巡警平台来管辖。该问题的核心是对平台与节点间路径之和最小值的求解，常用 Floyd 算法。

Floyd 算法步骤^[3]（A 区的计算结果见附录 2）

第 1 步：将各顶点编为 1, 2, ..., N 确定矩阵 D_0 ，其中 (i, j) 元素等于从顶点 i 到顶点 j 最短弧的长度(如果有最短弧的话)。如果没有这样的弧，则令 $d_{ij}^0 = \infty$ 。对于 i ，令 $d_{ii}^0 = 0$ 。

第 2 步：对 $M = 1, 2, \dots, N$ ，依次由 D_{m-1} 的元素确定 D_m 的元素，应用下列递归公式：

$$d_{ij}^m = \min \{d_{im}^{m-1} + d_{mj}^{m-1}, d_{ij}^{m-1}\} \quad (1)$$

每当确定一个元素时，就记下它所表示的路。在算法终止时，矩阵 D_n 的元素 (i, j) 就表示从顶点 i 到顶点 j 最短路的长度。

根据附件中各点的坐标，作 A 区的交通网络图，见图 1（注：图中节点处加上圈的是平台，画图程序见附录 3）。

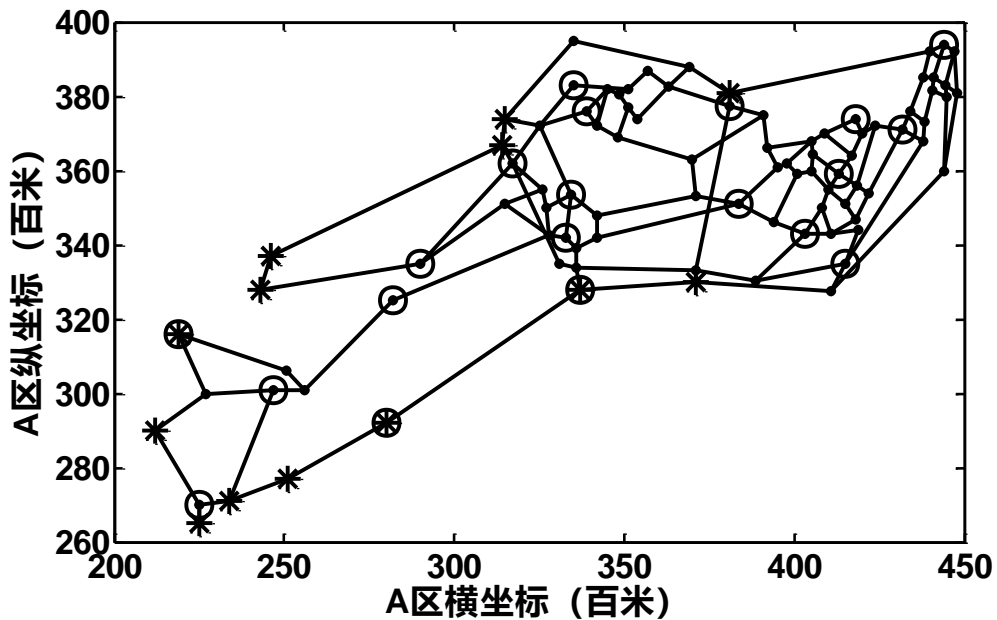


图 1 A 区的交通网络与平台设置的示意图

根据 Floyd 算法结果，和图 2 中的流程图，利用 MATLAB 编程^[4]，可找出距离各节点最近的平台及其距离（程序见附录 4），见表 1。

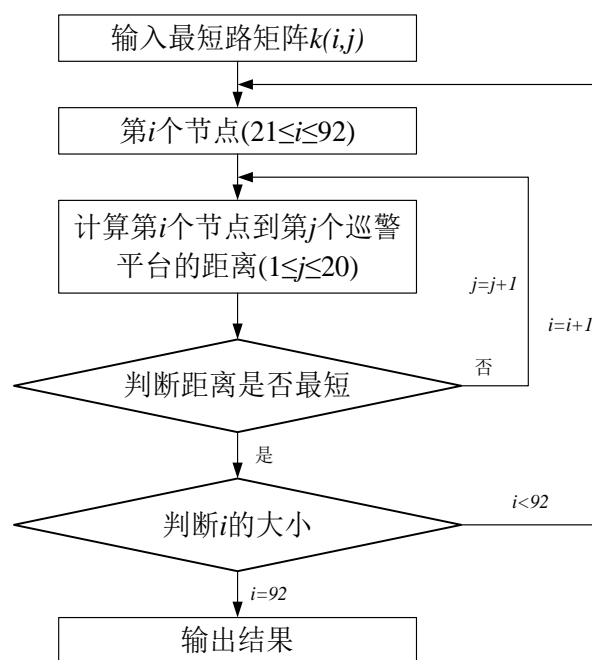


图 2 A 区寻找距离节点最近的交巡警平台的流程图

表 1 距离各节点最近的平台编号及距离

节点编号	平台编号	距离 (百米)	节点编号	平台编号	距离 (百米)	节点编号	平台编号	距离 (百米)
21	A13	27.0831	45	A9	10.9508	69	A1	5
22	A13	9.0554	46	A8	9.3005	70	A2	8.6023
23	A13	5	47	A7	12.8062	71	A1	11.4031
24	A13	23.8537	48	A7	12.902	72	A2	16.0623
25	A12	17.8885	49	A5	5	73	A1	10.2961
26	A11	9	50	A5	8.4853	74	A1	6.265
27	A11	16.433	51	A5	12.2932	75	A1	9.3005
*28	A15	47.5184	52	A5	16.5943	76	A1	12.8361
*29	A15	57.0053	53	A5	11.7082	77	A19	9.8489
30	A7	5.831	54	A3	22.7089	78	A1	6.4031
31	A9	20.5572	55	A3	12.659	79	A19	4.4721
32	A7	11.4018	56	A5	20.837	80	A18	8.0623
33	A8	8.2765	57	A4	18.6815	81	A18	6.7082
34	A9	5.0249	58	A5	23.0189	82	A18	10.7935
35	A9	4.2426	59	A5	15.2086	83	A18	5.3852
36	A16	6.0828	60	A4	17.3924	84	A20	11.7522
37	A16	11.1818	*61	A7	41.902	85	A20	4.4721
*38	A16	34.0588	62	A4	3.5	86	A20	3.6056
*39	A2	36.8219	63	A4	10.3078	87	A20	14.6509
40	A2	19.1442	64	A4	19.3631	88	A20	12.9463
41	A17	8.5	65	A3	15.2398	89	A20	9.4868
42	A17	9.8489	66	A3	18.402	90	A20	13.0224
43	A2	8	67	A1	16.1942	91	A20	15.9877
44	A2	9.4868	68	A1	12.0711	*92	A20	36.0127

由此可得各平台的管辖范围，见表 2。

表 2 各平台的管辖范围

平台	节点	平台	节点
A1	67 68 69 71 73 74 75 76 78	A11	26 27
A2	39 40 43 44 70 72	A12	25
A3	54 55 65 66	A13	21 22 23 24
A4	57 60 62 63 64	A14	无
A5	49 50 51 52 53 56 58 59	A15	28 29
A6	无	A16	36 37 38
A7	30 32 47 48 61	A17	41 42
A8	33 46	A18	80 81 82 83
A9	31 34 35 45	A19	77 79
A10	无	A20	84 85 86 87 88 89 90 91 92

表 2 中，平台 6，10，14 由于距离周围的节点较远，因此主要负责解决自身的突发事件。

根据表 2，我们在图中对各个平台的管辖范围进行划分，见图 3。

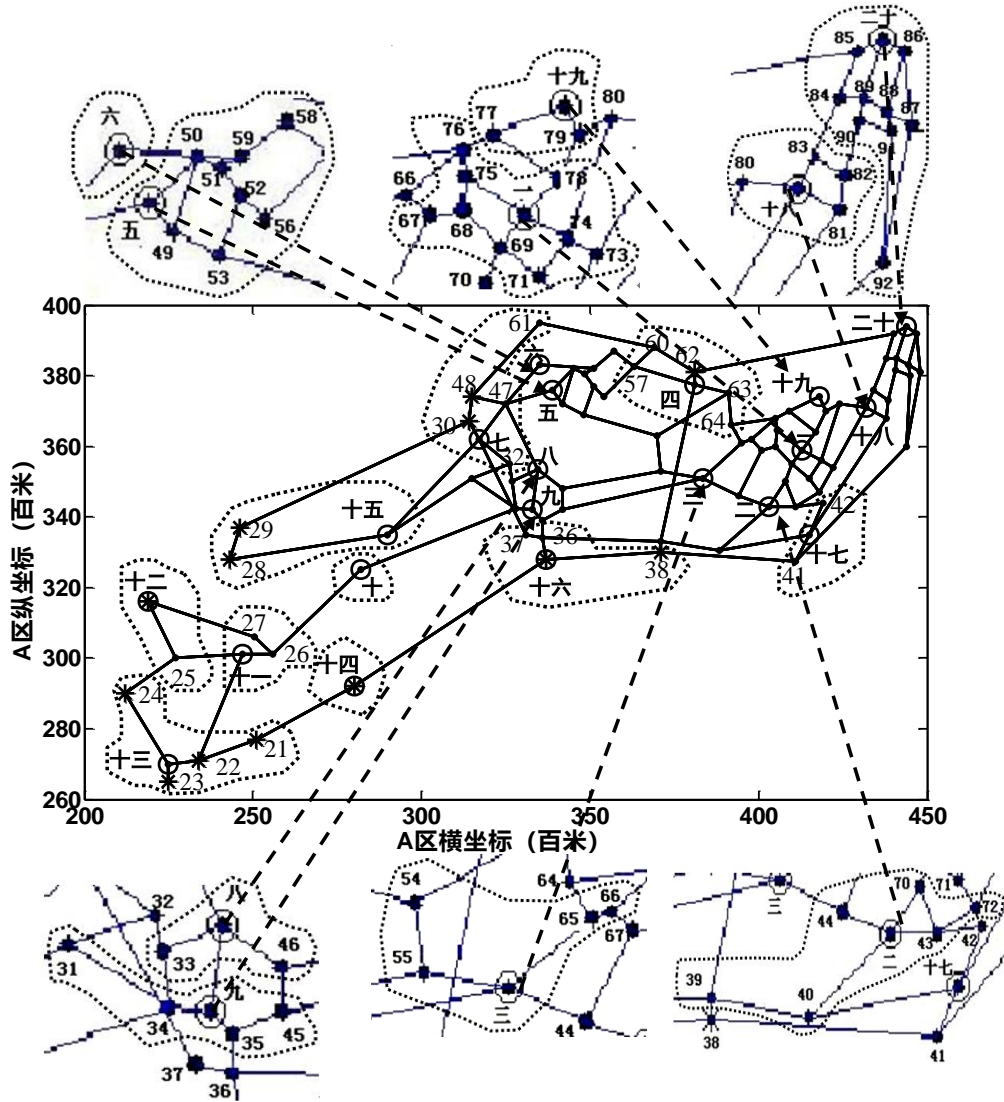


图 3 A 区各平台管辖范围示意图

5.1.2 A 区 13 条交通要道的快速封锁调度方案

根据 Floyd 算法得出的最短路径矩阵，我们可以求出 A 区 20 个平台分别到达 A 区 13 个出口的最短路程，见表 3（程序见附录 5）。

表 3 A 区各平台到出口的最短路程（单位：百米）

出口	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
1	222.36	204.64	183.52	219.97	176.28	176.59	149.15	140.93	130.11	75.87
2	160.28	141.30	127.67	150.09	129.70	130.00	109.01	94.34	82.74	127.76
3	92.87	73.88	60.26	82.67	62.28	62.59	41.60	26.92	15.33	69.57
4	192.93	173.95	160.32	182.73	162.35	162.65	141.66	126.99	115.39	95.11
5	210.96	191.97	178.35	200.76	177.50	177.80	150.36	142.14	131.32	77.08
6	225.02	206.03	192.41	214.82	191.55	191.86	164.42	156.19	145.38	91.13
7	228.93	211.21	190.09	226.54	182.85	183.16	155.72	147.50	136.68	82.44
8	190.01	172.29	151.17	162.27	113.07	113.37	85.70	102.28	97.76	141.95
9	195.16	177.44	156.32	155.35	106.15	106.46	80.15	104.93	107.24	151.44
10	120.83	103.11	82.00	81.03	31.83	32.14	5.83	30.61	34.92	79.11
11	58.81	39.82	60.94	48.61	94.21	94.52	73.53	58.85	47.26	101.50
12	118.50	103.10	81.98	73.96	24.76	25.06	12.90	30.99	41.99	86.19
13	48.85	60.35	43.93	3.50	52.55	53.37	79.92	86.77	93.37	147.61

续表：

出口	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20
1	37.91	0.00	59.77	119.50	170.30	145.43	218.92	242.47	225.47	269.46
2	83.37	119.50	59.73	0.00	132.98	67.42	149.03	185.14	169.61	212.13
3	113.95	145.43	127.15	67.42	65.56	0.00	81.62	117.73	102.20	144.71
4	50.72	86.85	27.08	32.65	165.63	100.07	181.68	217.79	202.26	244.78
5	32.70	68.83	9.06	50.68	171.51	118.09	199.71	235.82	220.29	262.81
6	46.75	64.77	5.00	64.73	185.56	132.15	213.77	249.88	234.35	276.86
7	38.05	35.92	23.85	83.59	176.87	151.00	225.49	249.04	232.04	276.03
8	186.33	217.81	228.08	180.50	47.52	113.08	186.57	210.12	193.12	230.11
9	195.82	227.30	237.57	189.17	57.01	121.75	195.24	215.27	198.26	223.19
10	123.50	154.98	165.25	114.84	44.01	47.43	120.92	140.94	123.94	148.87
11	145.88	177.36	161.21	101.48	97.50	34.06	47.56	83.67	76.39	110.66
12	130.57	162.05	172.32	121.91	51.09	54.50	127.99	136.99	119.99	141.80
13	191.99	223.47	213.32	153.59	118.10	86.17	78.21	67.34	50.34	64.49

出现重大突发事件时，需调度 20 个交巡警服务平台的警力资源，对进出该区的 13 条交通要道实现快速全封锁。

对于各平台，只有调度和不调度两种情况，因此，可用 0-1 规划的思想建立模型。设 x_{kj} 为第 k 个出口被第 j 个平台的警力封锁的情况，则有：

$$x_{kj} = \begin{cases} 0, & \text{第 } k \text{ 个出口不被第 } j \text{ 个平台的警力封锁} \\ 1, & \text{第 } k \text{ 个出口被第 } j \text{ 个平台的警力封锁} \end{cases} \quad (2)$$

$$(k=1, 2, \dots, l; j=1, 2, \dots, n)$$

(1) 最快实现完全封锁的调度方案

题目要求在最短时间内实现全封锁，而全封锁的时间是由封锁最后一个路口所用的时间决定的。因此，以最快实现全封锁为目标函数，可转化为求最远调度距离的最小值，表述为：

$$\min Z = \max_{1 \leq k \leq l} \left(\sum_{j=1}^n S_{kj} x_{kj} \right) \quad (3)$$

其中， Z 表示所有调度中的最远距离， S_{kj} 表示第 j 个平台到第 k 个出口的距离。

约束条件为：

(1) 平台安排的约束。由于有 20 个平台，13 个出口，每个平台最多封锁一个出口，因此第 j 个平台不一定被调去封锁出口，即

$$\sum_{k=1}^l x_{kj} \leq 1, j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

(2) 出口被唯一一个平台封锁的约束，则有

$$\sum_{j=1}^n x_{kj} = 1, k=1, 2, \dots, l \quad (5)$$

综上，最快实现全封锁的模型为^[5]：

$$\begin{aligned} \min Z = & \max_{1 \leq k \leq l} \left(\sum_{j=1}^n S_{kj} x_{kj} \right) \\ s.t. & \begin{cases} \sum_{k=1}^l x_{kj} \leq 1, j=1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n x_{kj} = 1, k=1, 2, \dots, l \\ x_{kj} \in \{0, 1\} \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

根据模型 (6)，利用 MATLAB 编程，最后可以得到数个最优解（程序见附录 5），再结合表 3，可得到其中四个结果，见表 4~7。

表 4 调度方案 1

出口	平台	距离(百米)
1	A12	0.00
2	A16	67.42
3	A5	62.28
4	A13	27.08
5	A10	77.08
6	A14	64.73
7	A11	38.05
8	A15	47.52
9	A7	80.15
10	A8	30.61
11	A9	47.26
12	A4	73.96
13	A2	60.35

表 5 调度方案 2

出口	平台	距离(百米)
1	A12	0
2	A16	67.42
3	A2	73.88
4	A14	32.65
5	A10	77.08
6	A13	5.00
7	A11	38.05
8	A15	47.52
9	A7	80.15
10	A9	34.92
11	A8	58.85
12	A5	24.76
13	A4	3.50

表 6 调度方案 3

出口	平台	距离 (百米)
1	A12	0.00
2	A16	67.42
3	A9	15.33
4	A14	32.65
5	A10	77.08
6	A11	46.75
7	A13	23.85
8	A15	47.52
9	A7	80.15
10	A8	30.61
11	A4	48.61
12	A5	24.76
13	A2	60.35

表 7 调度方案 4

出口	平台	距离 (百米)
1	A12	0.00
2	A16	67.42
3	A8	26.92
4	A13	27.08
5	A10	77.08
6	A14	64.73
7	A11	38.05
8	A15	47.52
9	A7	80.15
10	A9	34.92
11	A2	39.82
12	A4	73.96
13	A5	52.55

观察上述四个调度方案可以发现, 这些调度方案中, 距离最远的都是平台 7 至出口 9, 为 80.15 百米, 所以完成 A 区完全封锁的时间即由此决定, 需要 8 分钟。

在此基础上, 以总调度距离最短为目标函数, 对除平台 7 和出口 9 以外的出口和交巡警平台进一步作 0-1 规划的模型为:

$$\min Y = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=1}^{l-1} S_{kj} x_{kj}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{k=1}^{l-1} x_{kj} \leq 1, j=1, 2, \dots, n-1 \\ \sum_{j=1}^{n-1} x_{kj} = 1, k=1, 2, \dots, l-1 \\ x_{kj} \in \{0, 1\} \end{cases} \quad (7)$$

其中, Y 表示总调度距离。 $n-1$ 表示除平台 7 以外的平台总数, $l-1$ 表示除了出口 9 以外的出口总数。

利用 lingo 软件对其求解^[6] (程序见附录 6), 最终结果见表 8。

表 8 最快实现完全封锁且总距离相对最短的调度方案

出口	平台	距离 (百米)
1	A12	0
2	A16	67.42
3	A8	26.92
4	A14	32.65
5	A10	77.08
6	A13	5
7	A11	38.05
8	A15	47.52
9	A7	80.15
10	A9	34.92

11	A2	39.82
12	A5	24.76
13	A4	3.5

综上，最快实现完全封锁的时间为 8 分钟，调度的总距离为 477.79 百米。

(2) 总距离最短的调度方案

若以总距离最小为目标函数（不考虑是否能最快完成全封锁），可表述为：

$$\min Y = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l S_{kj} x_{kj} \quad (8)$$

约束条件为：

$$s.t. \begin{cases} \sum_{k=1}^l x_{kj} \leq 1, j=1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n x_{kj} = 1, k=1, 2, \dots, l \\ x_{kj} \in \{0, 1\} \end{cases} \quad (9)$$

利用 LINGO 软件对其求解（程序见附录 7），最终结果见表 9。

表 9 总距离最短的调度方案

出口	平台	距离（百米）
1	A12	0
2	A14	0
3	A16	0
4	A9	115.39
5	A10	77.08
6	A13	5
7	A11	38.05
8	A15	47.51
9	A8	104.93
10	A7	5.83
11	A2	39.82
12	A5	24.75
13	A4	3.5

总距离为 461.88 百米，最远距离为 115.39 百米，在 11 分 32 秒时完成全部封锁。

通过对比上述两种目标不同的规划，可以发现总距离最短时，完成全封锁所需的时间更长，是由于其最远距离并非最短，不符合题目要求。因此我们采用最快实现完全封锁且总距离相对最短的调度方案（见表 8）。

5.1.3 增加交巡警平台的分配方案

由于各平台管辖范围内的节点数差异很大，以及各节点的案发率不同，造成现有交巡警服务平台的工作量不均衡，部分地方的出警时间过长。因此，可以通过增加交巡警服务平台及重新分配管辖范围，来解决这一问题。

根据 Floyd 算法，平台与节点间的最短路程不超过 3km 的对应关系见表 10 及表 11（程序见附录 8）。

表 10 各交巡警平台周围 3km 以内的所有节点

交巡警平台	节点
A1	1、42、43、44、64、65、66、67、68、69、70、71、72、73、74、75、76、77、78、79、80
A2	2、39、40、42、43、44、66、67、68、69、70、71、72、73、74、75、76、78
A3	3、43、44、54、55、64、65、66、67、68、70、76
A4	4、57、58、60、62、63、64、65、66
A5	5、47、48、49、50、51、52、53、56、58、59
A6	6、47、48、50、51、52、56、58、59
A7	7、30、31、32、33、34、47、48、61
A8	8、31、32、33、34、35、36、37、45、46、47
A9	9、31、32、33、34、35、36、37、45、46
A10	10
A11	11、25、26、27
A12	12、25
A13	13、21、22、23、24
A14	14
A15	15、28、29、31
A16	16、33、34、35、36、37、38、45、46
A17	17、40、41、42、43、70、72
A18	18、71、72、73、74、77、78、79、80、81、82、83、84、85、87、88、89、90、91
A19	19、64、65、66、67、68、69、70、71、73、74、75、76、77、78、79、80、81、82、83
A20	20、81、82、83、84、85、86、87、88、89、90、91、92

注：由表 1 可知，有 6 个节点（28、29、38、39、61、92）与距其最近的交巡警平台的距离超过 3km，但仍将其划归为距离最近的平台。

表 11 各节点周围 3km 以内的所有平台

节点 <i>i</i>	平台 编号 <i>j</i>	节点 <i>i</i>	平台 编号 <i>j</i>	节点 <i>i</i>	平台 编号 <i>j</i>	节点 <i>i</i>	平台 编号 <i>j</i>
1	A1	24	A13	47	A5、A6、A7、A8	70	A1、A2、A3、A17、A19
2	A2	25	A11、A12	48	A5、A6、A7、A23	71	A1、A2、A17、A18
3	A3	26	A11	49	A5	72	A1、A2、A17、A18
4	A4	27	A11	50	A5、A6	73	A1、A2、A18、A19
5	A5	28	A15	51	A5、A6	74	A1、A2、A18、A19
6	A6	29	A15	52	A5、A6	75	A1、A2、A19
7	A7	30	A7	53	A5	76	A1、A2、A3、A19

8	A8	31	A7、A8、 A9、A15	54	A3	77	A1、A18、A19
9	A9	32	A7、A8、A9	55	A3	78	A1、A2、A18、A19
10	A10	33	A7、A8、 A9、A16	56	A5、A6	79	A1、A18、A19
11	A11	34	A7、A8、 A9、A16	57	A4	80	A1、A18、A19
12	A12	35	A8、A9、A16	58	A4、A5、A6	81	A18、A19、A20
13	A13	36	A8、A9、A16	59	A5、A6	82	A18、A19、A20
14	A14	37	A8、A9、A16	60	A4	83	A18、A19、A20、
15	A15	38	A16	61	A7	84	A18、A20
16	A16	39	A2	62	A4	85	A18、A20
17	A17	40	A2、A17、 A22	63	A4	86	A20
18	A18	41	A17	64	A1、A3、A4、A19	87	A18、A20
19	A19	42	A1、A2、A17	65	A1、A3、A4、A19	88	A18、A20
20	A20	43	A1、A2、 A3、A17	66	A1、A2、A3、 A4、A19	89	A18、A20
21	A13	44	A1、A2、A3	67	A1、A2、A3、A19	90	A18、A20
22	A13	45	A8、A9、A16	68	A1、A2、A3、A19	91	A18、A20
23	A13	46	A8、A9、A16	69	A1、A2、A19	92	A20

由表 11 可知，部分节点周围 3km 以内有多个平台，因此根据工作量和出警时间对其进行规划，使得每个节点只被一个平台管辖。

对于节点 i ，只有被平台 j 管辖和不被平台 j 管辖两种情况，因此，可设计 01 变量。令：

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{第 } i \text{ 个节点不被第 } j \text{ 个平台的警力封锁} \\ 1, & \text{第 } i \text{ 个节点被第 } j \text{ 个平台的警力封锁} \end{cases} \quad (10)$$

$$(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

交巡警平台的工作量可表示为该平台管辖范围内各节点案发率的总和，即：

$$W_j = \sum_i C_i x_{ij} \quad (11)$$

$$(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

其中， W_j 指交巡警平台 j 的工作量， C_i 表示节点 i 的日案发率。

根据假设 1，交巡警的出警时间是指从接警到到达事发地路口节点的时间，即：

$$T_j = \max_{1 \leq i \leq m} \left(\frac{S_{ij} x_{ij}}{V} \right) \quad (12)$$

$$(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

其中， T_j 表示第 j 个平台的最长出警时间， S_{ij} 表示第 j 个平台到达第 i 个节点的最短距离。

(1) 确定目标函数

目标函数 1：要使各平台的工作量更加均衡，可使各交巡警平台工作量的变异系数最小，其值越小，表示各平台工作量越均衡，即：

$$\min f_1 = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (W_j - \bar{W})^2}}{\bar{W}} \quad (13)$$

目标函数 2：最长出警时间达到最少，则有：

$$\min f_2 = \max_{1 \leq j \leq n} (T_j) \quad (14)$$

(2) 约束条件

1) 平台不闲的约束。为使每个平台不至于无管辖范围，可约束为它至少管辖自己所在的节点。当 $i = j$ 时，即：

$$x_{ij} = 1, \text{ 当 } i = j \quad (15)$$

2) 每个节点都被平台管辖的约束。当 $i \neq j$ 时，由假设 7，第 i 个节点必定被 $1 - n$ 中的唯一一个平台管辖，即：

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \text{ 当 } i \neq j \quad (16)$$

3) 出警时间不超过 3min。

综上，考虑平台的工作量呈均衡性及合理出警时间的模型^[7]为：

$$\begin{aligned} \min f_1 &= \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (W_j - \bar{W})^2}}{\bar{W}} \\ \min f_2 &= \max_{1 \leq j \leq n} (T_j) \\ s.t. &\begin{cases} x_{ij} = 1, \quad i = j \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i \neq j \\ \frac{S_{ij}}{V} \leq 3 \\ x_{ij} \in \{0, 1\} \\ \bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n W_j \\ (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

在不增加交巡警平台的前提下，将表 11 中的数据代入模型 (17)，利用 MATLAB 软件（程序见附录 9）进行求解，结果见表 12。

表 12 最长出警时间最短且工作量均衡时各平台的管辖范围

交巡警平台	管辖的节点	日工作量（案件数）
A1	1 71 73 74 75 68	6.5
A2	2 43 44 70 69	6.9
A3	3 54 55 65 66 67	6.4
A4	4 57 60 62 63 64	6.6
A5	5 49 52 53 56 58	6.9
A6	6 50 59 47 51 48	6.9
A7	7 30 61	5.1
A8	8 33 46 32	6.5
A9	9 31 35 45	6.5
A10	10 34	3.7
A11	11 26 27	5.6
A12	12 25 24	5.1
A13	13 22 23	6
A14	14 21	4.9
A15	15 28 29	4.8
A16	16 36 37 38 39	6.4
A17	17 41 42 40 72	6.8
A18	18 81 82 83 84 90 86	8.4
A19	19 76 77 78 79 80	6.1
A20	20 87 88 89 91 92 85	8.4

在不增加交巡警平台的前提下，最长出警时间为 5.70min，出现在平台 15 前往节点 29 处理突发事件时。工作量的变异系数为 0.1830。

同理可求得增加平台 1~5 个时工作量变异系数及最长出警时间的变化，见表 13。

表 13 增加平台后工作量的变异系数和最长出警时间

新增平台个数	新增平台位置（节点号）	工作量的标准差	工作量的均值	变异系数	最长出警时间（min）
0	无	1.14	6.23	0.1830	5.70
1	28 或 29	1.34	5.93	0.2260	4.19
2	61	1.51	5.66	0.2668	3.82
3	39	1.35	5.41	0.2495	3.68
4	91	1.04	5.19	0.2004	2.71
5	67	0.76	4.98	0.1526	2.71

由表 13 可知，增加 1~2 个交巡警平台时，新增的平台主要设置在原来距离其所属平台较远的节点处，这样大大缩减了最长出警时间，但是该新增平台能够分担的工作量相对较少，因此变异系数反而增加。而当增加 4~5 个交巡警平台时，新增的平台主要分布在节点相对较密集而平台较少的区域，使工作量更加均衡，因而变异系数大大减小。

出现这种变化趋势的原因是：在未增加交巡警平台时，两个规划目标中出警时间过长是主要矛盾；而当新增平台数超过 3 个时，出警时间已维持在一个较低的水平，此时，工作量的变异系数成为了影响结果的主导因素。

结论：增加 4 个交巡警平台，分别位于节点 28（29）、61、39 和 91，此时，最长出警时间已达到最小，为 2.71min，工作量的变异系数较小，为 0.2004。增加 5 个交巡警平台，分别位于节点 28（29）、61、39、91 和 67，此时，工作量的变异系数最小，为 0.1526，最长出警时间最短，为 2.71min。因此，若只考虑最长出警时间，可以只增加 4 个交巡警平台；若同时考虑工作量的均衡性，需增加 5 个交巡警平台。

5.2 问题二：全市交巡警平台的设置与调度

5.2.1 全市现有交巡警平台设置的合理性分析及调整方案

（1）B 区的情况

B 区现有交巡警平台 8 个，节点 73 个。首先，根据 Floyd 算法，得到平台与节点间的最短路程，并与 3km 作比较，结果如图 4（注：图中加有圆圈的节点表示交巡警平台，加有方框的节点表示被 3km 以内的平台管辖的节点，未加方框的节点距离周围平台超过 3km。图 5~图 8 同，程序见附录 10）。

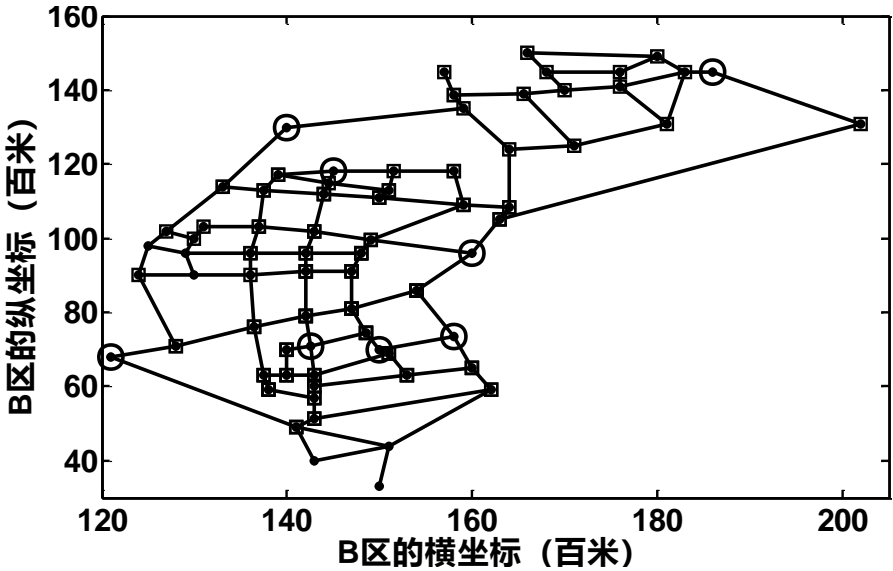


图 4 B 区现有交巡警平台设置示意图

由图可知，其中距离周围平台超过 3km 的节点是造成出警时间过长的原因，将 B 区的数据代入模型（17）可得到现有交巡警平台管辖范围的划分方案，见表 14。

表 14 B 区现有交巡警平台的管辖范围及工作量

交巡警平台	管辖的节点										工作量
B1	101	102	103	120	121	122	123				5.4
B2	104	105	106	107	108	109	110	111	112	117	7.1
B3	113	114	115	116	126	128	129	131	136		7.3
B4	124	127	130	133	134	138	139	140	141		6.2
B5	135	137	143	144	119	142	145	162			6.7
B6	155	156	157	158	159	160	161				7.5
B7	148	149	152	153	163	164	165				5.2
B8	125	132	146	147	150	151	154	118			5.5

B 区最长出警时间为 4.47 分钟，平台工作量的变异系数为 0.1743。

同理可求得其余各区的管辖范围及工作量。

(2) C 区的情况

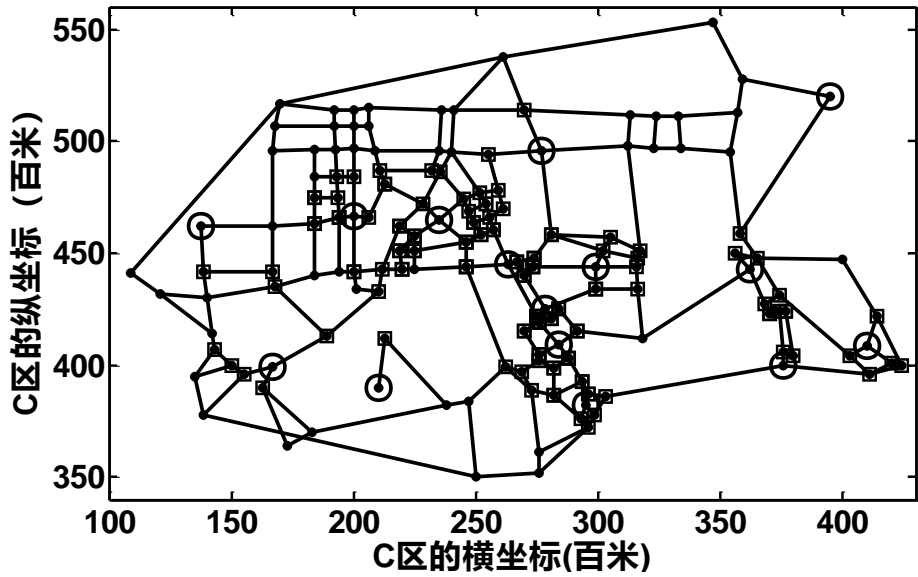


图 5 C 区现有交巡警平台设置示意图

表 15 C 区现有交巡警平台的管辖范围及工作量

平台	管辖的节点								工作量
C1	262	263	264	265	260	261	243	244	7.7
C2	248	249	250	251	252	255	258		9.3
C3	189	190	191	192	246	253	315	316	7.3
C4	254	286	287	289	290	259	247		6.8
C5	222	223	224	225	226	273	276	277 283	8.0
C6	215	216	230	231	240	241	242	288	9.6
C7	217	218	227	228	229	311	312		8.1
C8	232	233	234	235	236	237	238	239 245	9.0
C9	211	212	213	214	219	220	221		7.5
C10	183	193	194	195	196	197	198	199	8.8
C11	184	185	186	187	188	303	304	295 296	10.0
C12	200	201	202	305	306	307	291	292	9.7
C13	203	204	205	206	207	208	209	210 284	9.6
C14	274	275	278	279	280	281	282	285	9.8
C15	268	269	270	297	298	299	300	301 302	9.3
C16	266	267	317	318	319	308	309	310	10.6
C17	256	257	271	272	293	294	313	314	9.3

C 区最长出警时间为 6.86 分钟，平台工作量的变异系数为 0.1725。

(3) D 区的情况

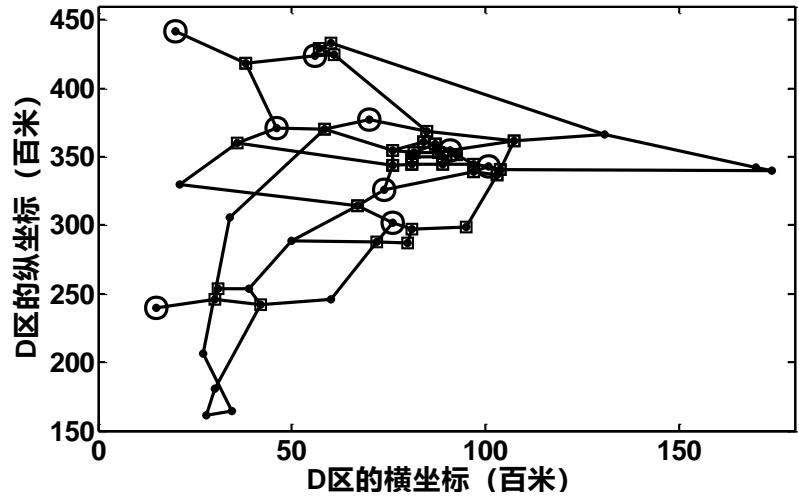


图 6 D 区现有交巡警平台设置示意图

表 16 D 区现有交巡警平台的管辖范围及工作量

平台	管辖的节点					工作量
D1	347	348	349	350	370	6.5
D2	351	352	353	354	355	3.8
D3	367	359	360	368	369	6.2
D4	344	345	361	362	334	5
D5	363	364	365	366		6.8
D6	371	356	357	358		3.9
D7	343	346	335	336	339	4.5
D8	337	338	340	341	342	6.2
D9	329	330	331	332	333	4.3

D 区最长出警时间为 16.06 分钟，平台工作量的变异系数为 0.2070。

(4) E 区的情况

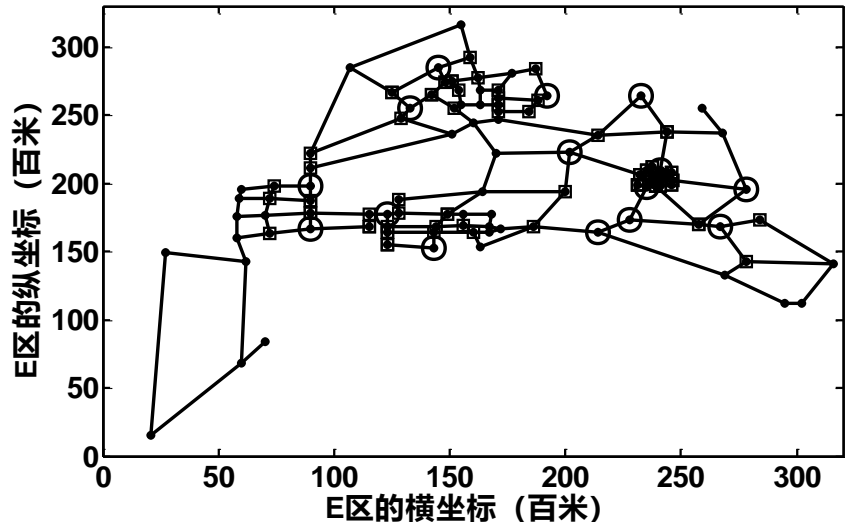


图 7 E 区现有交巡警平台设置示意图

表 17 E 区现有交巡警平台的管辖范围及工作量

平台	管辖的节点							工作量
E1	409	410	411	412	413	414		4.5
E2	437	438	456	415	457			4.1
E3	427	432	433	434	435	436		5.0
E4	424	425	426	428	429	430		4.9
E5	393	394	395	396	431			4.4
E6	416	462	463	464	469	470		7.5
E7	458	459	451	473	474			6.2
E8	417	418	419	420	421	422	423	8.7
E9	387	388	389	390	391	392		6.0
E10	397	398	399	400	405	406		5.1
E11	401	402	403	404	407	408		6.2
E12	452	453	454	455	460	461		7.1
E13	465	466	467	468	471	472		6.5
E14	445	446	448	449	450			4.8
E15	439	440	441	442	443	444	447	5.8

E 区最长出警时间为 19.10 分钟，平台工作量的变异系数为 0.1979。

(5) F 区情况

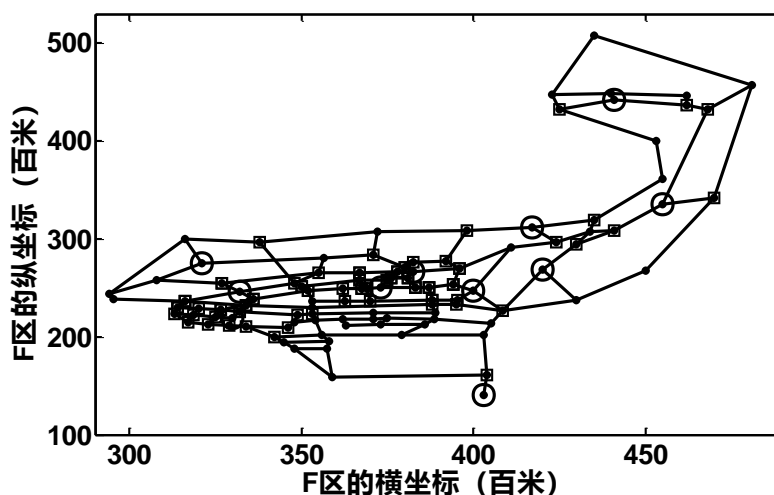


图 8 F 区现有交巡警平台设置示意图

表 18 F 区现有交巡警平台的管辖范围及工作量

平台	管辖的节点										工作量
F1	550	551	555	556	557	558	559	561			4.5
F2	532	533	534	535	543	544	545	546			6.1
F3	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	4.0
F4	512	513	514	515	524	525	526	527	528		4.9
F5	573	575	576	577	578	579	580	581	582		4.4
F6	562	566	567	568	569	574	502	503			4.5
F7	486	490	491	531	548	549	547	552	553	554	6.2
F8	487	488	489	560	538	539	542	537			6.7
F9	510	511	507	508	509	516	517	536			7.0
F10	540	541	570	504	505	506	563	564	565		5.1
F11	571	572	518	519	520	521	522	523	529	530	8.2

F 区最长出警时间为 8.48 分钟，平台工作量的变异系数为 0.1883。

(6) 全市六个区的汇总情况

表 19 全市现有交巡警平台的相关数据

主城六区	节点数	平台数	平均 工作量	工作量 变异系数	最长出警 时间(min)
A 区	92	20	6.23	0.1830	5.70
B 区	73	8	6.36	0.1743	4.47
C 区	154	17	8.85	0.1725	6.86
D 区	52	9	5.24	0.2070	16.06
E 区	103	15	5.79	0.1979	19.10
F 区	108	11	5.60	0.1883	8.48

设置交巡警服务平台的原则为：1) 交巡警服务平台的工作量尽量平衡；2) 最长出警时间尽量最短。根据以上原则，结合表 19 中的数据，我们对全市（A，B，C，D，E，F）现有的交巡警服务平台设置方案的合理性进行分析。

① 主城各区工作量的变异系数都较小，即各交巡警平台的工作量均衡，比较合理；

② 主城各区的最长出警时间都较大，尤其是 D 区和 E 区，远远超过了规定的出警时间 3min，不合理，因此各区的交巡警服务平台都有待调整。造成这一结果的原因主要是部分节点与最近平台间的距离超过 3km。

(7) 全市各区交巡警平台的调整方案

针对全市各区交巡警平台的出警时间过长这一问题，我们选择的优化方式是在不改变原有交巡警平台的基础上，增加尽量少的平台，使最长出警时间小于 3min。

利用问题一中 A 区增加平台的方法，寻找 B、C、D、E、F 各区新增平台的个数及位置，结果见表 20（程序见附录 11）。

表 20 各区新增平台的位置

分区	距离最近的平台超过 3km 的节点（节点编号）												新增平台位置（节点编号）				
A	28	29	38	39	61	92							28	39	61	92	
B	122	123	124	151	152	153							123	152			
	183	199	200	201	202	203	205	206	207	208	209	166	167	168	169	170	
	210	215	238	239	240	247	248	251	252	253	257	171	174	175	176	177	
C	259	261	262	263	264	268	269	285	286	287	288	178	179	180	183	199	
	299	300	301	302	303	304	312	313	314	315	316	201	203	205			
	317	318	319														
D	329	330	331	332	336	337	339	344	362	369	370	320	322	324	325	326	
	371											328	329				
	387	388	389	390	391	392	393	395	407	408	409	372	373	374	376	378	
E	411	412	413	415	417	418	419	420	438	439	443	379	380	381	382	383	
	445	446	451	452	455	458	459	464	469	471	474	384	385	386	387	388	
												390	393				
	486	487	505	506	507	508	509	510	512	513	514	475	477	478	479	480	
F	515	516	517	518	519	522	523	524	525	526	527	482	483	484	485	486	
	529	533	540	541	559	560	561	566	569	574	575	490	505				
	578	582															

增加平台后，各区交巡警平台的最长出警时间与不增加平台时的对比见表 21。

表 21 增加平台前后各区最长出警时间的比较（单位：分钟）

主城六区	不增加平台时	增加平台后
A 区	5.70	2.71
B 区	4.47	2.91
C 区	6.86	2.99
D 区	16.06	2.91
E 区	19.10	2.97
F 区	8.48	2.95

由表 21 可知，新增平台后，主城六区的最长出警时间与不增加平台时（表 19）相比，明显缩短，全部控制住 3min 中之内，因此更合理。

5.2.2 最佳围堵方案

（1）模型的建立

要寻找最佳的围堵方案，我们要在有 100% 的把握抓住嫌疑犯的前提下（要围堵住可能的最远路线），以最快抓捕嫌疑犯为目标，表述为：

$$\min U = \max \left(\frac{L(i, 32)}{V} \right) \quad (18)$$

其中， $L(i, 32)$ 表示从事发地(第 32 节点)到落网地点（节点*i*）的距离； U 表示嫌疑犯从逃跑到落网的时间；根据假设 8，嫌疑犯的逃跑速度为 V 。

约束条件为：

1、由于部分节点是否被封堵，对抓捕嫌疑犯无意义，因此，不一定每个节点都被封堵，即：

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{第 } i \text{ 个节点不被第 } j \text{ 个平台的警力封锁} \\ 1, & \text{第 } i \text{ 个节点被第 } j \text{ 个平台的警力封锁} \end{cases} \quad (20)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n)$$

2、不一定每个平台都出警，即：

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

3、嫌疑犯到达节点*i*的时间减 3min 比交巡警从平台*j*到节点*i*的时间长，表示节点*i*能成功的被平台*j*封堵，即：

$$\frac{L(i, j)}{V} \leq \frac{L(i, 32)}{V} - 3 \quad (22)$$

其中， $L(i, j)$ 表示平台*j*到节点*i*的距离。

4、为描述嫌疑犯被封堵在一定的区域内,定义节点*i*被封堵表示为 $L'(Q,i) = inf$,即其他任意节点与节点*i*不相通,距离表示为 inf 。若 Q_1 表示被封堵区域以外所有节点的集合, Q_2 表示被封堵区域内所有节点的集合,则:

$$L'(Q_1, Q_2) = inf \quad (23)$$

综上,模型为:

$$\begin{aligned} \min U = \max & \left(\frac{L(i, 32)}{V} \right) \\ s.t. & \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \\ \frac{L(i, j)}{V} \leq \frac{L(i, 32)}{V} - 3 \\ L'(Q_1, Q_2) = inf \\ x_{ij} \in \{0, 1\} \end{cases} \end{aligned} \quad (24)$$

(2) 模型的求解

将 A 区的相关数据代入模型 (24), 可得 A 区的封堵方案, 见表 22。

表 22 A 区的封堵方案

出发的平台	被封锁的节点	出发的平台	被封锁的节点
A1	63	A15	29
A2	3	A16	16
A3	55	A17	40
A4	4	A18	41
A10	10	A19	62

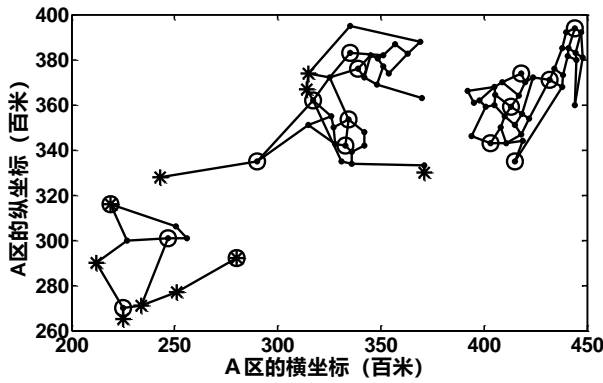
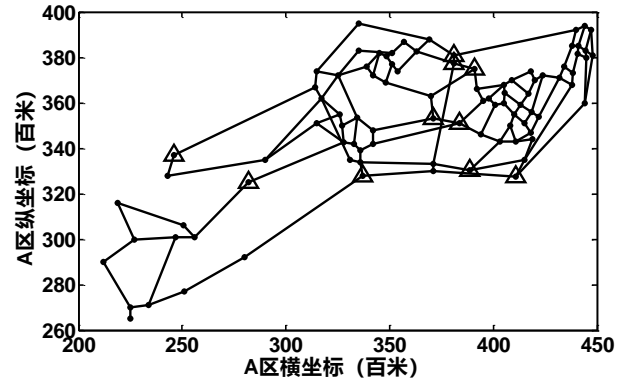


图 9 A 区围堵效果示意图



注: 图中用三角形标记的节点表示被封锁的节点。

图 10 A 区被封锁节点的示意图

图 9 的中间部分是逃犯可能到达的区域，其中包括 A 区的四个出口，即出口 8、10、11、12，对应的节点编号分别为 28、30、38、48。从 30、48 节点处可以逃往 C 区，从 28 节点处可以逃往 D 区，从 38 节点处可以逃往 F 区。

逃往 C 区时，逃犯逃往 C 区入口（节点 237、235），需要花费的时间分别为 $1.87+1.72=3.59$ 分钟和 $1.69+2.43=4.12$ 分钟。而距离最近的 C8 平台封锁节点 237、235 所需的时间分别为 1.13 和 0.53 分钟。因此逃犯可以从 237 节点处进入 C 区。

逃往 D 区时，从节点 28 可到达 D 区入口 371。若 D 区派 D1 平台（节点 320）封锁节点 371，其封锁时间为 7.36 分钟，而逃犯从 P 点逃往节点 371 需要花费时间 $7.00+8.89=15.89$ 分钟，因此若逃犯逃往 D 区的 371 节点，则会被成功围堵。

逃往 F 区时，从节点 38 可到达 F 区入口 561。若 F 区派 F1 平台（节点 475）封锁节点 561，其封锁时间为 4.35 分钟，而逃犯从 P 点逃往节点 561 需要花费 $6.49+2.30=8.79$ 分钟，因此若逃犯逃往 F 区的 561 节点，就会被成功围堵。

综上，我们还需进一步讨论 C 区的围堵方案。将 C 区的相关数据代入模型 (24)，可得 C 区的封堵方案，见表 23。

表 23 C 区的封堵方案

出发的平台	被封锁的节点	出发的平台	被封锁的节点
C2	248	C6	245
C3	168	C7	231
C4	240	C8	246

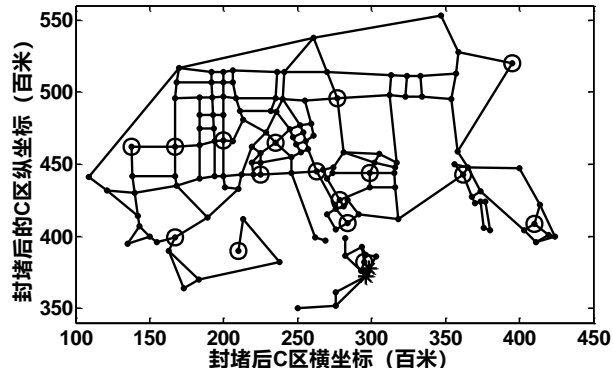
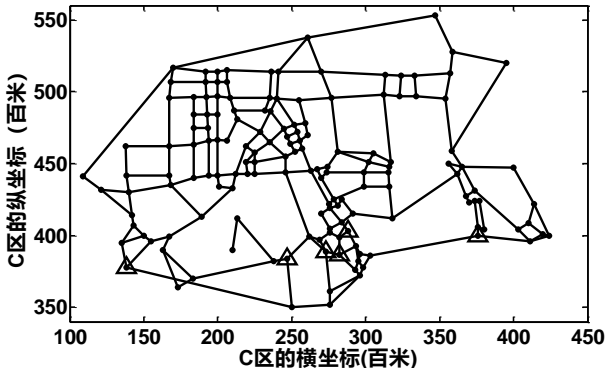


图 11 C 区围堵效果示意图



注：图中用三角形标记的节点表示被封锁的节点

图 12 A 区被封锁节点的示意图

综上，全市各区的围堵方案见表 24。

表 24 全市各区的围堵方案

调度平台	封锁节点	逃跑时间 (min)	封锁时间 (min)	调度平台	封堵节点	逃跑时间 (min)	封锁时间 (min)
A1	63	8.63	3.50	A19	62	9.13	5.03
A2	3	6.48	2.11	C2	248	20.52	3.67
A3	55	5.21	1.27	C3	168	12.59	0
A4	4	8.80	0.00	C4	240	10.15	6.94
A10	10	6.19	0.00	C6	245	5.61	2.57
A15	29	9.16	5.70	C7	231	6.96	2.78
A16	16	3.30	0.00	C8	246	6.54	3.08
A17	40	7.96	2.69	D1	371	15.89	7.36
A18	41	10.50	5.54	F1	561	8.79	4.35

完成以上所有节点的封锁后，即可成功围堵嫌疑犯。完成全区域封锁的时间为 7.36 分钟，嫌疑犯最快会在 20.52 分钟内落网。
全市的封堵方案见图 13。

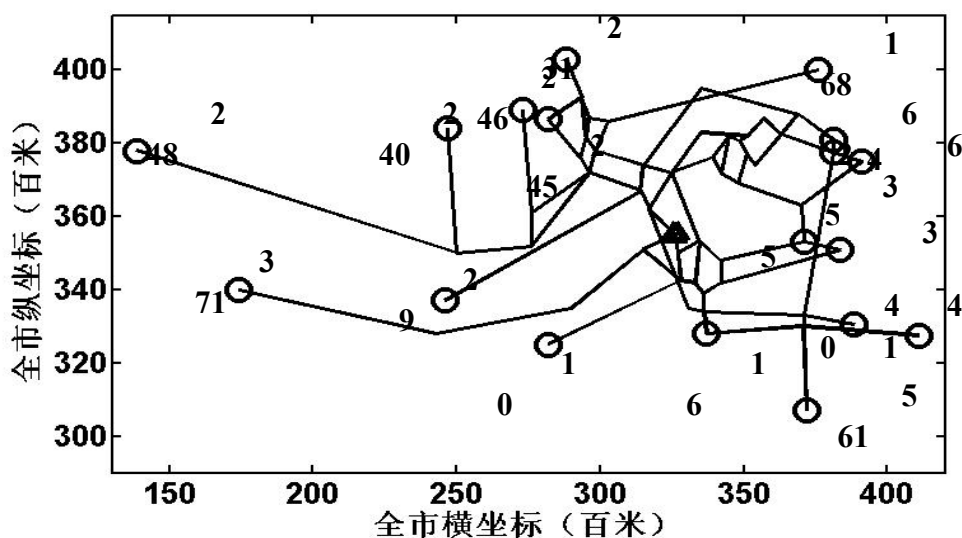


图 13 全市的封堵方案示意图

六、模型的评价及推广

6.1 模型的优点

1) 模型统一，通用性强

平台的调度方案使用统一模型，仅需代入相应数据即可求解。

2) 优化合理，结果可靠

本文建立的 0-1 规划模型能与实际紧密联系，结合实际情况对问题进行求解，能得到全局最优解，结果可靠。

3) 模型简单易懂，方法灵活，具有较强的推广性。

6.2 模型的不足

程序运行时间较长。由于是非线性的 0-1 规划，对计算机要求比较高，需要提高计算机配置才能快速求解。

6.3 模型的推广

本文中的 0-1 规划模型由于方法灵活，且便于用计算机求解，目前已成功应用于求解生产进度问题、旅行推销员问题、工厂选址问题、背包问题及分配问题等，有较强的推广性。

七、参考文献

- [1] 管丽萍, 尹湘源.交通事件管理系统研究现状综述[J],2009, 29 (003): 255-261.
- [2] 朱茵, 王军利, 周彤梅. 智能交通系统导论[M]. 中国人民公安大学出版社,2007.
- [3] 叶奇明, 石世光.Floyd 算法的演示模型研究[J],2008, 26 (001): 47-50.
- [4] 马莉. MATLAB 数学实验与建模[M]. 清华大学出版社,2010.
- [5] 姜启源. 数学模型(第三版)[M]. 高等教育出版社,2003.
- [6] 谢金星, 薛毅. 优化建模与 LINDO/LINGO 软件[M]. 清华大学出版社,2011.
- [7] 张锦, 王坤.流线网络优化的变分不等式模型与算法[J],2011, 46 (003): 481-487.

附录

附录 1

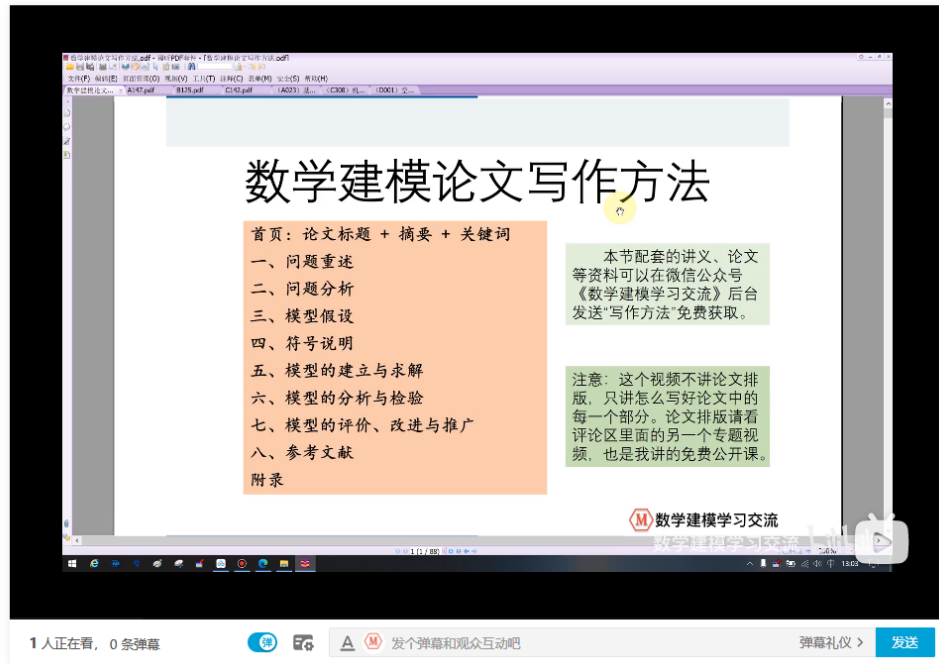
介绍：支撑材料的文件列表

这是最近国赛要求加入的一个部分，大家可以看我讲的论文写作视频。

<https://www.bilibili.com/video/BV1Na411w7c2>

活动作品 数学建模清风——论文写作方法教程

2990播放 · 3弹幕 2020-11-16 22:03:54



附录 2

介绍：使用 floyd 算法求解 A 区所有 92 个点之间的最短距离的 Matlab 代码

```
function [D,path]=floyd(K)
A=load('C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\1.txt');
B=load('C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\2.txt');
K=inf(92,92);
for i=1:length(B)
a(i)=line([A(B(i,1),1),A(B(i,2),1)],[A(B(i,1),2),A(B(i,2),2)]);
hold on
K(B(i,1),B(i,2))=sqrt((A(B(i,1),1)-A(B(i,2),1))^2+(A(B(i,1),2)-A(B(i,2),2))^2);
K(B(i,2),B(i,1))=K(B(i,1),B(i,2));
end
for i=1:92
K(i,i)=0;
end
n=size(K,1);
D=K;path=zeros(n,n);
for i=1:n
for j=1:n
if D(i,j)~=inf
path(i,j)=j;
end
end
end
```

```

        end
    end
end
for k=1:n
    for i=1:n
        for j=1:n
            if D(i,k)+D(k,j)<D(i,j)
                D(i,j)=D(i,k)+D(k,j);
                path(i,j)=path(i,k);
            end
        end
    end
end
end

```

附录 3

介绍：使用 Matlab 绘制 A 区的交通网络图的代码

```

clear all
clc
A=load('C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\1.txt');%坐标的数据
B=load('C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\2.txt');%公路的数据
plot(A(:,1),A(:,2),'.');hold on
K=inf(92,92);
for i=1:length(B) %两点间距离
    a(i)=line([A(B(i,1),1),A(B(i,2),1)],[A(B(i,1),2),A(B(i,2),2)]);hold on
    K(B(i,1),B(i,2))=sqrt((A(B(i,1),1)-A(B(i,2),1))^2+(A(B(i,1),2)-A(B(i,2),2))^2);
    K(B(i,2),B(i,1))=K(B(i,1),B(i,2));
end
for i=1:92
    K(i,i)=0;
end
for i=1:20 %平台的位置
    plot(A(i,1),A(i,2),'o');
end
C=[12 14 16 21 22 23 24 28 29 30 38 48 62]; %A 区出口位置
for i=1:length(C)
    plot(A(C(i),1),A(C(i),2),'*')
end

```

附录 4

介绍：

一样的方法，这里就省略了