

基于优化算法及计算机仿真的交巡警

服务平台设置与调度

摘要

为了更有效地贯彻实施警察的职能,需要在市区的交通要道和重要部位设置交巡警服务平台。考虑警务资源的有限性,如何根据城市的实际情况与需求,建立数学模型,合理地设置交巡警服务平台、分配各平台的管辖范围、调度警务资源是本题的关键。

首先,对题目中给出的大量数据进行分析、提取和处理。第一步,将该市各区交通网络图中路口节点之间的图上距离按照比例尺转化为实际距离;第二步,利用图论中的 Floyd 算法,通过 MATLAB 软件编程求解得到任意两个路口之间的最短路程(见附表)以及相应路由矩阵。

其次,对两个问题进行分析求解。为了提高解决问题的条理性,根据自然段将两个大问题分为五个子问题分别求解。

对于子问题一,首先根据引理 1,将题目要求使交巡警尽量在 3 分钟内到达事发地的条件转化为就近原则,然后据此原则将 A 区中所有非交巡警服务平台的路口节点分配到距离该点最近的服务平台的管辖范围内,完成初步分区(见附表);再次,考虑各个分区中的路口节点密度的均衡性,对初步分区结果进行合理化的调整得到最终的分区图,如图 1 所示。

对于子问题二,以封锁时间最短为目标函数进行全封锁方案的优化,用 LINGO 软件结合人工调整求解出最优的调度方案,如表 4 所示。

对于子问题三,考虑出警时间和工作量两个较为显著的评价因子,运用评价模型对 A 区交巡警服务平台设置的合理性进行评价。结果表明 A 区中有 6 个节点的出警时间过长,序号分别是 28、29、38、39、61、92,以及 1 号服务平台的管辖区工作量过重。对相关节点进行需求指数分析,建立最优化选址模型,得出需要增加的平台数量为 5,位置序号为 29、39、61、92、67。

对于子问题四,综合分析区域人口、面积和交巡警服务平台之间的关系,考虑超过 3 分钟行驶路程的偏远路口百分比、单位平台发案率和单位人口平台数三个因素,对该市各区交巡警服务平台进行综合评价。针对不合理的地方,运用优化模型,求解出需要增加交巡警服务平台的数量为 16,位置序号为 329, 392, 388, 446, 409, 259, 418, 315, 286, 209, 202, 578, 506, 524, 512, 362, 另外需要调整交巡警服务平台的数量为 1,将 97 处的平台移至 152。

对于子问题五,设计实现全局无差别围捕的算法,利用 MATLAB 通过计算机仿真得到警察对逃犯的动态围捕过程,得到最快的围捕时间是 13.1 分钟,围堵调度方案见表 8。

最后,我们结合实际情况,对所建模型进行合理性分析,发现所建模型与实际情况较为接近,考虑到更为复杂的因素,我们为模型在现实生活中的应用做了进一步的改进和推广。

关键词: Floyd 算法 木桶原理 指派模型 计算机仿真

1 问题的提出

警察肩负着刑事执法、治安管理、交通管理、服务群众四大职能。为了更有效地贯彻实施这些职能，需要在市区的一些交通要道和重要部位设置交巡警服务平台。由于警务资源是有限的，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面临的一个实际课题。

考虑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五个问题：

问题一：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。

问题二：对于重大突发事件，需要调度 A 区全区 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。考虑实际中一个平台的警力最多封锁一个路口，给出该区交巡警服务平台警力合理的调度方案。

问题三：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 A 区内再增加 2 至 5 个平台，确定需要增加平台的具体个数和位置。

问题四：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，给出解决方案。

问题五：如果该市地点 P（第 32 个节点）处发生重大刑事案件，案发 3 分钟后接到报警，犯罪嫌疑人已驾车逃跑。给出调度全市交巡警服务平台警力资源的最佳围堵方案，以达到快速搜捕嫌疑犯的目的。

2 问题的分析

本题是一个综合性问题，包括交巡警服务平台的优化配置和警力资源的合理调度两个方面，涉及图论、最优化以及计算机仿真等多方面知识的应用。

首先需要对数据进行提取和处理，利用附表中路口节点和对应位置坐标的数据得到任意两个相邻路口节点之间的实际距离，再通过最短路算法得到任意两个路口之间的最短路。

问题一是为各交巡警服务平台分配管辖范围的分区问题，关键是确定合理的分区原则，通过分析我们发现，不仅要考虑问题中对警力尽量在 3 分钟到达事发地的限制，而且应该结合路口分布的密集程度进行进一步优化分区。

问题二是一个指派问题，根据木桶原理可知，实现全封锁的时间由方案中耗时最长的封锁行动决定，以使最长封锁时间最短为目标函数进行优化，选出实现快速全封锁的最优方案。

问题三和问题四的关键在于进行因子分析以找到对交巡警服务平台设置的合理性影响较为显著的因子（工作量、出警时间以及是否是出入城区的路口等），并据此制定一套评价体系对 A 区和整个市区的交巡警服务平台设置的合理性进行有效评价。对于不合理的地方，通过局部最优和全局均衡的算法增加服务平台以达到改善的效果。

问题五则是一个典型的计算机仿真问题，根据调动全市警力在逃犯所有可能的逃脱路线进行封锁的算法思想，通过计算机仿真得到对逃犯进行围捕的最佳方

案。

最后，利用特殊点分析对所建模型进行合理性检验。

3 模型假设

- 3.1 每个交巡警服务平台的职能和警力配备基本相同。
- 3.2 一个交巡警服务平台的警力最多封锁一个路口。
- 3.3 每个交巡警服务平台的交巡警处理完一处的案件后返回服务平台，然后在从服务平台出发去另一处处理案件。
- 3.4 每个交巡警处理案件的用时均为 15 分钟。
- 3.5 该市区每条路线均不会发生堵车情况，即警车保持 60km/h 匀速行驶。
- 3.6 逃犯逃跑的速度 90km/h。

4 名词定义和符号说明

4.1 名词定义

- 1 合适平台：在三分钟内可以到达某一个路口的交巡警服务平台。
- 2 辖区：某一交巡警服务平台所管辖的路口节点构成的集合。
- 3 三分钟原则：在交巡警服务平台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。

4.2 符号说明

$dist_{i,j}$ ：第 i 个非交巡警服务平台的路口到第 j 个交巡警服务平台的最短距离；

$t_{i,j}$ ：第 i 个路口到第 j 个交巡警服务平台的最短时间；

$x_{i,j}$ ：指派矩阵元素；

Lab_i ：第 i 个交巡警服务平台的工作量；

V_p ：交巡警速度；

T ：处理案件的时间；

n_j ：第 j 个交巡警服务平台在辖区内包含的路口数量。

5 建模前的准备

5.1 确定路口之间的实际距离

首先，对 A 区和全市六区交通网络与平台设置示意图中的路口节点进行标号，利用全市六区交通网络和平台设置数据表中给出的比例尺和路口节点位置坐标，根据勾股定理，可以算出该市中任意两个相邻路口之间的实际距离（见附件 1）。

5.2 确定路口之间最短路

考虑在实际中，无论是交巡警出警处理一般案件、封锁出入区路口还是围捕重大案件的逃犯，均会沿着所在地与目标地之间的最短路径行动。因此，在建立模型之前，需要得到全市六区的交通网络图中任意两个路口之间的最短路程。计算两个点之间最短路程的算法很多，结合本题中数据和网络图，我们选用复杂度较高且可行性强的 Floyd 算法，通过 MATLAB 编程可以高效且准确地计算出任

意两个路口之间的最短路程的具体数值以及相应的走法（见附件 1）。

6 模型建立与求解

6.1 问题一的分析与求解

6.1.1 模型一的建立

针对问题一，从三分钟原则和路口密集程度两方面考虑，制定两套呈递进关系的算法，建立分区模型。

首先引入最小时间原则，即引理 1，对三分钟原则进行等效。

引理 1：由于

$$dist_{i,j} = \min(dist_{i,1}, dist_{i,2}, \dots, dist_{i,20})$$

若

$$\exists dist_{i,x} \in \{dist_{i,1}, dist_{i,2}, \dots, dist_{i,20}\}$$

要使

$$dist_{i,x} \leq 3$$

则必有

$$dist_{i,j} \leq dist_{i,x} \leq 3$$

若

$$\forall dist_{i,x} \in \{dist_{i,1}, dist_{i,2}, \dots, dist_{i,20}\}$$

要使

$$dist_{i,x} > 3$$

则必有

$$3 < dist_{i,j} \leq dist_{i,x}$$

因此 $dist_{i,j}$ 对应的第 j 号交巡警服务平台即是满足三分钟原则的合适平台。

进一步简化问题一，假设刑事案件不发生在非路口路段，所以确定辖区的唯一元素就是路口。根据最小时间原则，将每一个路口到二十个服务平台中距离最近的服务平台作为该路口隶属的交巡警服务平台，由此推广，可以初步得到每一个交巡警平台的辖区。

具体思想如下，记为算法一：

Step1. 初始化各个交巡警服务平台的辖区，辖区内不包含任何点。

Step2. 对该城区所有的路口节点进行顺序遍历。

Step3. 找到距离该路口最近的交巡警服务平台，将该路口节点纳入该服务平台的辖区。

Step4. 判断是否已经遍历所有路口，若已完成遍历则在给出所有平台的辖区后结束程序；否则返回 Step2。

得到初步的分区结果后，通过对 A 区和全市六区交通网络与平台设置的示意

图的进一步分析,可以看到上述分配原则很可能会造成各个交巡警服务平台辖区内的路口数量不均衡,这与实际情况不符。

通过计算可知,A区每个服务平台辖区内路口数的平均值为3.5,因此,我们引入微调原则,即尽量使每个平台的辖区内路口数接近平均值3.5。如果某平台的路口数多于4,则应在满足三分钟原则的前提下,将多余的路口分给周围辖区内路口数不足3个服务平台。通过这种方法,对得到的初步分区结果中的路口集合进行二次调整,得到最终分区方案。

具体思想如下,记为算法二:

Step1. 对A区所有交巡警服务平台的辖区进行初始化,初始化为初步分区的结果。

Step2. 对A区所有交巡警服务平台进行顺序遍历,若遍历结束转入Step7。

Step3. 判断该交巡警服务平台辖区内的路口数是否大于4,若是则跳至Step4;否则返回Step2;

Step4. 遍历该交巡警服务平台的辖区内所有路口,遍历结束后转入Step2。

Step5. 判断该路口的合适平台数是否大于1,若是进入Step6;否则返回Step4。

Step6. 遍历合适平台直至找到辖区内路口数小于3的交巡警服务平台,将该路口划归该合适平台;否则返回Step4。

Step7. 输出新的分区方案,程序结束。

6.1.2 模型一的求解

利用模型一中的算法一,通过MATLAB编程得到A区交巡警服务平台管辖范围的初步分区结果(见附表1)。继而利用算法二,我们得到A区交巡警服务平台管辖范围的最终分区结果,如下图所示。

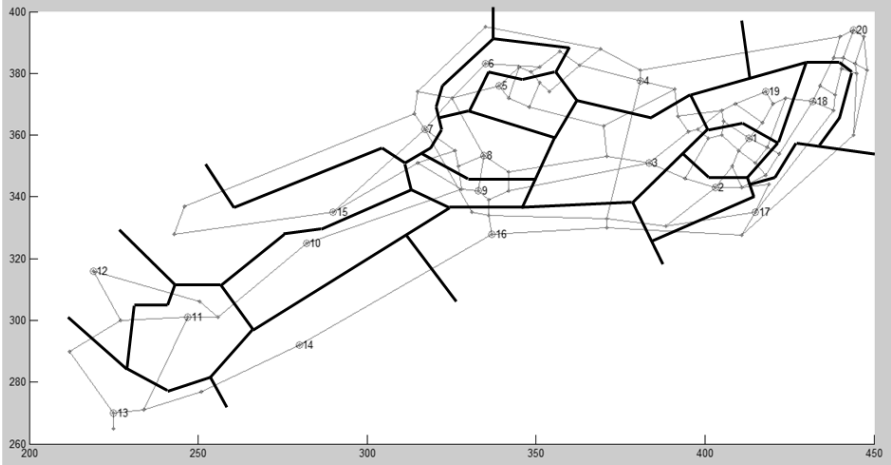


图1 A区交巡警服务平台管辖范围分区图

6.2. 问题二的分析和求解

6.2.1 问题二的分析

针对问题二,要实现快速全封锁,即对20个交巡警服务平台的警力进行合理调度,使得完成对13个出入A区路口全部封锁的耗时最短。综合快速和全面两个要素,基于指派模型,制定最优的调度方案。

通过分析可知,只要一个平台的警力到达某个封锁点,即可认为该封锁点已经被封住。由于交巡警服务平台的数量多于需要封锁的路口数量,所以,我们首先考虑指派20个服务平台的警力同时出动去封锁13个路口,当13个路口被最

先到达的 13 个服务平台的警力完全封锁后，即可认为快速全封锁的目标已经达到。而此时剩余还未到达目标路口的警力对快速全封锁这一目标已没有影响，考虑各个封锁点对警力的需求程度相同且愈多愈好的原则，对剩余 7 个服务平台的警力可以根据不同目标进行分配以达到最优调度。

问题二具体解决步骤如下：

第一步，根据木桶原理，完成封锁 13 个路口的耗时决定于所有出动的警力中完成对各自目标路口封锁耗时最长的时间。所以，以 20 个服务平台的警力完成对 13 个路口的封锁时间最短为目标函数，确定出实现快速全封锁 13 个路口的 13 个平台的警力分布，目标函数如下：

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \max(\sum_{i=1}^{20} t_{i,1} x_{i,1}, \sum_{i=1}^{20} t_{i,1} x_{i,1}, \cdots, \sum_{i=1}^{20} t_{i,13} x_{i,13}) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^{13} x_{ij} = 1 \text{ 或 } 0 (i = 1, \cdots, 20) \\ \sum_{i=1}^{20} x_{ij} = 1 (j = 1, \cdots, 13) \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 (i = 1, \cdots, 20; j = 1, \cdots, 13) \end{cases} \end{aligned}$$

第二步，从两个方面考虑优化剩余 7 个平台警力调度的目标函数。一是与第一步的目标函数相同，即使剩余 7 个平台的警力到达各自目标路口的用时最短；二是使所有警力到达封锁路口的总用时最短。

目标函数 1：

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \max(\sum_{i=1}^7 t_{i,1} x_{i,1}, \sum_{i=1}^7 t_{i,1} x_{i,1}, \cdots, \sum_{i=1}^7 t_{i,13} x_{i,13}) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^{13} x_{ij} = 1 (i = 1, \cdots, 7) \\ \sum_{i=1}^7 x_{ij} = 1 \text{ 或 } 0 (j = 1, \cdots, 13) \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 (i = 1, \cdots, 7; j = 1, \cdots, 13) \end{cases} \end{aligned}$$

目标函数 2：

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \sum(\sum_{i=1}^7 t_{i,1} x_{i,1}, \sum_{i=1}^7 t_{i,1} x_{i,1}, \cdots, \sum_{i=1}^7 t_{i,13} x_{i,13}) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^{13} x_{ij} = 1 (i = 1, \cdots, 7) \\ \sum_{i=1}^7 x_{ij} = 1 \text{ 或 } 0 (j = 1, \cdots, 13) \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 (i = 1, \cdots, 7; j = 1, \cdots, 13) \end{cases} \end{aligned}$$

比较根据两个不同目标函数得到的剩余 7 个平台警力的调度方案,通过人工调整使总封锁用时最少以确定最终的调度方案。

6.2.2 模型二的求解

根据模型二中的目标函数,利用 LINGO 软件进行求解,得到调度 20 个服务平台的警力完成对 13 个路口进行全封锁的结果如下表所示:

表 1 初步调度方案

交巡警平台	途经节点	目标点	耗时 (min)
3	44 2 40 39	38	6.09
5	47	48	2.47
6	47 48	30	3.21
7	30	29	8.01
9	35 36	16	1.53
10	26 27	12	7.58
11	25	24	3.80
12	25 24 13	23	6.47
13		22	0.90
14		21	3.26
15		28	4.75
16		14	6.74
20	85	62	6.44

对剩余 7 个平台警力的调度依照不同的目标函数,分别得到结果如表所示:

表 2 目标函数 1 作用下的调度方案

交巡警平台	目标点	耗时(min)
1	30	12.08
2	14	14.12
4	48	7.39
8	21	12.69
17	62	7.82
18	38	8.36
19	16	10.21

表 3 目标函数 2 作用下的调度方案

交巡警平台	目标点	耗时(min)
1	16	9.28
2	14	14.12
4	62	0.35
8	30	3.06
17	38	4.75
18	28	21.01
19	48	11.99

注意到表 1 中 3 号平台的警力在封锁途中经过 2 号平台,我们将 2 号平台的警力指派给 38 号路口。其余 6 个平台的警力选择两种结果中用时最短的一个进行指派,得到最终的调度方案如下表所示。

表 4 最终调度方案

交巡警平台	途经节点	目标点	耗时(min)
1	69 70 2 40 39 38	16	9.28
2	40 39	38	3.98
3	44 2 40 39	38	6.09
4		62	0.35
5	47	48	2.471
6	47 48	30	3.21
7	30	29	8.01
8	33 32 7	30	3.06
9	35 36	16	1.53
10	26 27	12	7.58
11	25	24	3.80
12	25 24 13	23	6.47
13		22	0.90
14		21	3.26
15		28	4.75
16		14	6.74
17	42 43 70 69 68 67 66 65 64 63 4	62	7.82
18	73 72 43 2 40 39	38	8.367
19	77 76 66 65 3 45 35 36	16	10.21
20	85	62	6.44

6.3 问题三的分析与求解

6.3.1 交巡警服务平台设置合理性的分析

影响交巡警服务平台设置合理性的因素包括处理某些地方案件的出警时间和交巡警服务平台的工作量。

出警时间由路口到该路口所在辖区的服务平台的距离决定,根据题目分析,

可以认为距离越远，即出警时间越长，合理性越低。

交巡警服务平台工作量由下式决定：

$$Lab_i = 2 \sum_{j=a}^b (dist_{i,j} \times n_j) \div V_p + \sum_{j=a}^b n_j \times T$$

由工作量可以求出工作量的标准差 $D(Lab_i)$ ：

$$D(Lab_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Lab_i - \overline{Lab_i})^2 \div (n-1)}$$

利用工作量标准差衡量 A 区的工作量不平衡程度。

6.3.2 最优化选址模型

两个最优化目标：一是使所有路口的出警时间的适中，即在 3 分钟以内；二是保证所有交巡警服务平台工作量的平衡。

综合考虑两个目标，认为所有路口的出警时间在 3 分钟以内是一个必要条件，先构造需求指数，实现这一目标的最优化，初步确定需要增加平台的个数和位置。

具体步骤如下：

第一步，将出警时间在 3 分钟以外的路口定义为偏远路口，利用 MATLAB 编写程序搜索出所有偏远路口。

第二步，构造需求指数，考虑两个方面的影响因子，一是路口因子 α_i ，即该路口是否是出入城区的路口；二是风险因子 β_i ，即该路口与该路口所在分区内已有的服务平台的距离。需求指数 N 的计算公式如下：

$$N = \alpha_i \times bool_i + \beta_i \times dist_{ij}$$

其中

$$bool_i = \begin{cases} 1, & i \text{ 是 该 区 出 入 口} \\ 0, & i \text{ 不 是 该 区 出 入 口} \end{cases}$$

根据相关条件可以确定

$$\alpha_i = 1, \quad \beta_i = 0.8$$

选出需求指数较高的路口作为需要增加平台的路口。

然后，在保证增加的平台数目不超过给定范围情况下，用暴力搜索法在工作量超重的辖区内进行搜索，求出增加的平台在不同位置下 A 区交巡警服务平台工作量标准差，比较标准差的大小，即可确定增设点的数目和位置。

6.3.3 问题三的求解

通过 MATLAB 计算得到不满足三分钟原则的路口节点共有 6 个，分别是 28、29、38、39、61、92；不增设平台前的 A 区交巡警服务平台的平均工作量为 104.69min，工作量标准差为 50.88min。由此可见，A 区交巡警服务平台的设置存在明显的不合理性。所以，我们运用最优化选址模型对 A 区交巡警服务平台的设置做进一步的改进。

首先，将 6 个偏远路口的相关数据代入需求指数的计算公式中，得到该个点的需求指数如下表所示：

表 5 需求指数	
路口编号	需求指数
28	4.80
29	5.56
38	3.72
39	2.96
61	3.35
92	2.88

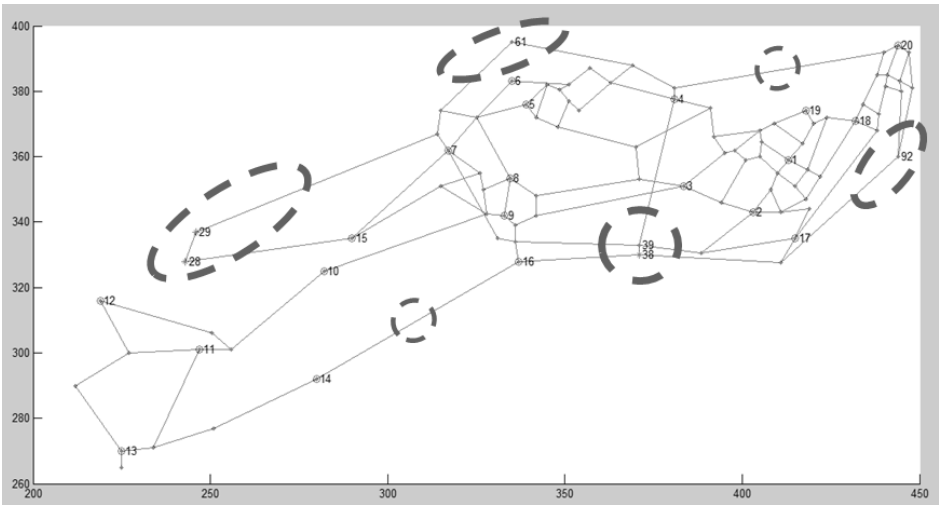


图 2 偏远路口分布示意图

结合图 2 分析，28 和 29 号路口距离很近，只需选择其中一个作为服务平台即可，同理 38 和 39 号路口。所以，经过二次分析选出的 4 个点为 29、39、61、92。增设这 4 个点为服务平台后，A 区服务平台的平均工作量降至 90.62min，工作量标准差降为 45.08min。

其次，考虑在工作量较大的服务平台附近增加平台以达到 A 区交巡警服务平台整体工作量的平衡。通过暴力搜索法寻找局部最优解，我们发现在 67 处增设服务平台，辖区为 65、66、67、68、75，可以使 A 区服务平台的平均工作量降至 86.69min，工作量标准差降为 42.03min，为局部最优解。

综上所述，我们得到的优化配置方案为：增加 5 个交巡警服务平台，其序号分别是 29、39、61、92、67。

6.4 问题四的分析和求解

6.4.1 问题四的分析

为了评价该市现有交巡警服务平台设置方案的合理性，必须明确设置交巡警服务平台的原则和任务。通过分析题目可知，设置交巡警服务平台的原则和任务包括三个方面，即能够尽快到达事发地，更方便的为人民群众提供帮助，以及各平台工作量尽量均衡。

表 6 该市六区相关参数统计表

城 区	总发 案率	出警时 间超过 3min 的 点数百 分比	面积 (km ²)	人口 (万 人)	平 台 数	单位 面积 发案 率	单位 面积 平台 数	单位 人口 发案 率	单位 平台 发案 率	单位 人口 平台 数
A	124.5	6.52	22	60	20	5.65	0.909 0	2.07 5	6.22	0.33
B	66.4	8.21	103	21	8	0.64	0.077 6	3.16 1	8.30	0.38
C	187.2	30.51	221	49	17	0.84	0.076 9	3.82 0	11.0 1	0.34
D	67.8	23.07	383	73	9	0.17	0.023 4	0.92 8	7.53	0.12
E	119.4	31.06	432	76	15	0.27	0.034 7	1.57 1	7.96	0.19
F	109.2	32.40	274	53	11	0.39	0.040 1	2.06 0	9.92	0.20

统计全市六个区的数据并计算相关参数如上表所示。

从出警时间超过 3 分钟的点数百分比可以看出, A、B 两区的出警时间超过 3 分钟的点数百分比较小, 而剩余的四个区都很大, 说明其交巡警平台分布有明显不合理。统计学表明, 单位人口发案率可以用来衡量一个地区的治安状况, 也就可以看出一个地区需要警力的多少, 单位人口发案率越高就需要更多的警力。单位人口平台数可以反映出人民群众向交巡警平台寻求帮助的难易程度, 单位人口平台数越大, 就越容易获得帮助。注意到 A 区的总发案率不是最高, 但其单位面积发案率远远高于其他五个区, 而该市对 A 区很重视, 设置的交巡警平台数在单位面积上是最多的, 使得 A 区的单位平台发案率反而最低。而单位平台发案率可以反映出一个交巡警平台工作量的多少, 从表 6 中数据可以看出有明显的不平衡性。

由上述分析可知, 使用出警时间超过 3 分钟的点数百分比、单位人口平台数、单位平台发案率这三个参数可以从上述三方面来评价某个城区的交巡警服务平台设置合理性。

6.4.2 问题四的求解

针对上述分析所得的不合理性, 制定解决方案: 在地图上将出警时间超过 3 分钟的点和已有交巡警平台的点同时标出, 如图 2 所示。从出警时间超过 3 分钟的点入手, 将出警时间超过 3 分钟的点分布较密且与已有交巡警平台相距较远的点用圆圈出, 作为增加平台的候选区域。找出该区域中离圆心最近的点作为候选点, 得到增加交巡警服务平台的路口的序号为 329, 392, 388, 446, 409, 259, 418, 315, 286, 209, 202, 578, 506, 524, 512, 362, 同时可以发现, 96、97、99 三处交巡警平台相距很近, 于是将 97 处的平台移至 152。

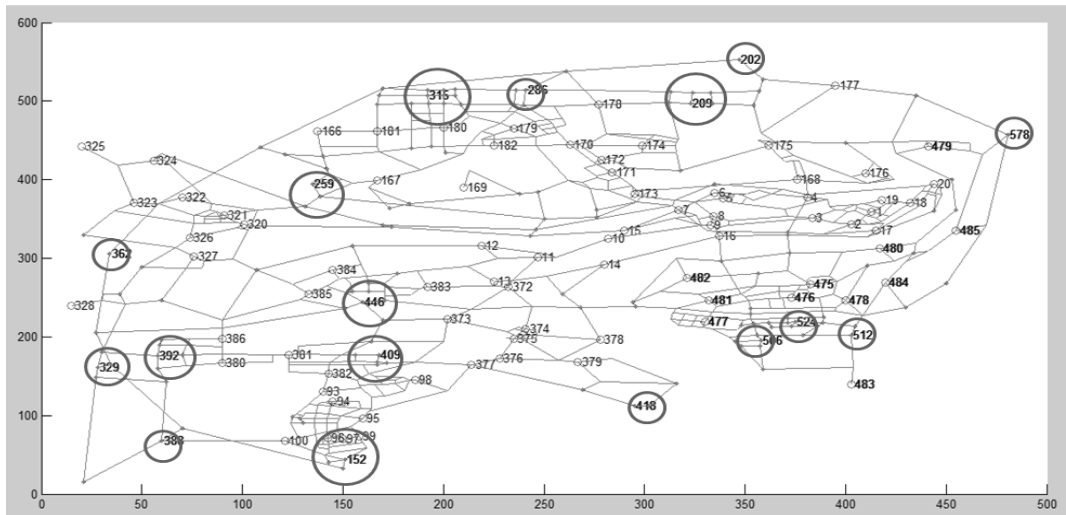


图 3 方案调整示意图

调整之后，计算相应参数如表所示

表 7 合理性评价参数统计表

城区	出警时间超过 3min 的点数百分比	平台数	单位平台发案率	单位人口平台数
A	6.52	20	6.22	0.33
B	8.21	8	8.30	0.38
C	12.98	22	8.50	0.44
D	15.388	11	6.16	0.15
E	11.65	20	5.97	0.26
F	13.88	15	7.28	0.28

将表 7 与表 6 对比可以发现，出警时间超过 3 分钟的点数百分比有所下降，单位平台发案率更加均衡，单位人口平台数有所增加，说明调整之后的方案更加合理。

6.5 问题五的分析与求解

6.5.1 问题五的分析

首先，逃犯在逃跑时的方向一般是逃离作案地点，且通常是以最大速度逃离。其次警方并不能掌控犯罪嫌疑人实时空间位置，警方只是采取围堵策略尽可能在使犯罪嫌疑人不逃脱的前提下封锁所有路口。为了便与仿真，作出以下假设：

- (1) 犯罪嫌疑人只沿着公路逃窜，不会出现在城区。
- (2) 犯罪嫌疑人不能藏匿，当与警方相遇时，就认为被逮捕。
- (3) 犯罪嫌疑人的速度稍大于警车速度，取 90km/h。
- (4) 全市的警力都在受调动之列，每一个交巡警平台出动一辆警车。
- (5) 每辆警车都可以与调度中心实时联系，获取最新信息。
- (6) 所有道路都完全畅通，犯罪嫌疑人与警察都以最大速度匀速行进。

利用 MATLAB 编程仿真，模拟整个围堵过程。具体算法思想是：利用准备数据里的任意两点间最短距离表，可以计算出当前时刻犯罪嫌疑人可能逃跑的最大

范围，这个计算由调度中心完成，然后发送给每一辆警车。警车在接到数据后，计算出犯罪嫌疑人逃跑最大范围点中离本车最近的路口，然后朝着离这个点最近的路前进。当接收到新数据后，及时计算，修正前进方向。当警车达到预定目标点后，就停止运动，同时将该路口封锁。

6.5.1 问题五的求解

由于警察是在案发 3 分钟后接到报警，因此首先计算犯罪嫌疑人在 3 分钟内最远可能到达的区域，作图如下：

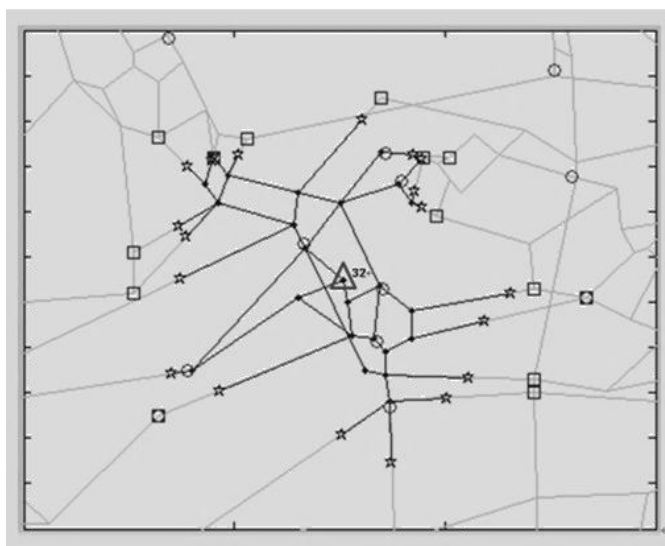


图 4 案发 3 分钟后犯罪嫌疑人可能到达的区域

图 4 中五角星的位置就是犯罪嫌疑人可能到达的最远位置，圆圈代表警车，方框则是警车预计将要封锁的路口。若有警车比犯罪嫌疑人先到达方框处，则该路口被封锁；若犯罪嫌疑人先到达方框处，则计算新的方框位置作为警车前进目标。仿真结果如下图所示，在 13.1 分钟时，所有犯罪嫌疑人可能到达的路口都至少有一辆警车，实现了围堵。

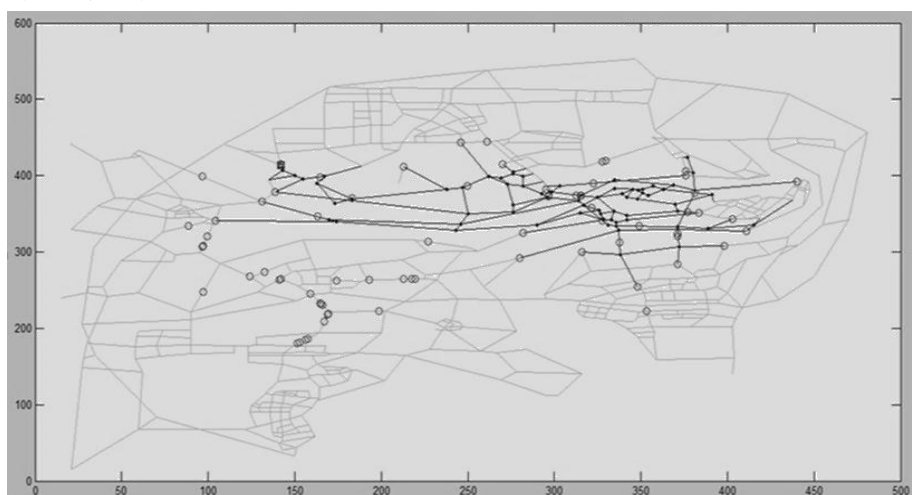


图 5 围捕仿真结果

从图 5 中可以看出，围捕过程中有一部分警力始终没有参与到实际的围捕行动中，所以，制定围捕方案时可以不考虑这部分警力的调动。

通过仿真结果可以得到最终围堵调度方案，如下表所示：

表 8 围堵调度方案表

平台编号	17	20	167	168	169	170
目标点	41	85	248	168	254	273
平台编号	172	173	175	179	181	182
目标点	229	173	189	273	261	273
平台编号	320	321	322	323	324	326
目标点	248	369	369	349	349	349
平台编号	327	475	476	480	481	482
目标点	349	558	549	562	549	488

7 模型优缺点及改进

- 1 为解决第一个问题而建立的防区分配模型体现了突发事件情况下对警力赶到时间的敏感性，最大程度的满足了警力三分钟内到达出事地点的要求；缺点是没有考虑交巡警辖区内路口的个数的因素，会造成路口密集区不同平台工作量之间的巨大差异。

改进：给出量化的路口平均化的函数，在函数基础上重新分配防区。

- 2 问题二的解是建立在木桶原理之上的指派模型，此模型利用 lingo 软件便可求解类似问题，优点是方法新颖，约束条件易于表达；缺点是当题目规模增大时解题时间将会非常漫长。

改进：利用遗传算法等常规的解决 NP 问题的算法编程解决较大规模的指派问题。

- 3 问题三的求解的优点是易于算法实现，计算较为简单；缺点是算法需手动操作，且搜寻的结果并不一定为最优解。

改进：需要建立自动化的寻优算法以替代手动搜索比较。

- 4 问题五的求解的优点是富于创新性，利用警力的动态追踪模型解出了一个最优化的警力围堵方案，此外做出的动态演示。

改进：考虑歹徒可以选择任意速度，任意变化方向的情况下经历的围堵方案；另一个可行的改进方向：求解出调用最少的警力来实现围堵的有效方案。

参考文献：

- [1]. 景良竹, 单个应急服务设施点选址模型分析. 甘肃科学学报, 1(23), 149-151
- [2]. Lingo 软件包使用手册: 科研中国 SciEi.com
- [3]. 刘勇, 陈国东, 基于单纯形法的 LINGO 求解一般指派问题的探讨, 中国管理信息化, 6 (11), 86-87
- [4]. 纪昆, 林建泉, 警力分配问题中的模糊优选动态规划法, 数学的实践与认识, 6 (38), 127-125
- [5]. <http://wenku.baidu.com/view/62b9aafa0242a8956bece49d.html>
- [6]. <http://wenku.baidu.com/view/558a4cd728ea81c758f57814.html>