

文章编号: 2095-2163(2022)03-0118-06

中图分类号: P208

文献标志码: A

基于位置分配模型的派出所空间布局优化

张勃, 张馨泽, 陈浩星, 赵晟焯

(中国人民公安大学 信息网络安全学院, 北京 100038)

摘要: 公安派出所作为公安系统中最基层的组织,其治安防控能力的强弱决定着案件发生率的高低。本文以A市B区为研究区域,从派出所可达性和分布优化两个方面展开研究,采用网络分析法生成派出所的5 min服务区,使用叠加分析方法计算派出所的5 min警务服务触达能力;使用最小化设施点模型、最大化覆盖模型、P-中心模型对派出所进行布局优化;最后,将优化前后的覆盖面积占比、覆盖案件占比、覆盖人口占比数据进行对比。结论发现:(1)大量的区域面积、案件和人口未被覆盖,现有派出所的空间位置不合理;(2)在考虑公平性、经济性的前提下,基于位置分配模型的布局优化方法可以实现警务资源的最大化利用;(3)通过优化前后派出所5 min服务能力对比,覆盖面积占比由之前的53.5%上升至59.9%,案件覆盖占比由之前的64.8%提升到75.1%,人数覆盖占比由之前的71.8%提高到96.8%。本文研究结果可以为基层公安机关的布局提供参考和建议。

关键词: 网络分析; 可达性; 位置分配模型; 布局优化

Optimization of spatial layout of police station based on location allocation model

ZHANG Bo, ZHANG Xinze, CHEN Haoxing, ZHAO Shengzhuo

(Information Technology & Network Security Institute, People's Public Security University of China, Beijing 100038, China)

[Abstract] As the most basic organization in the public security system, the police station's public security prevention and control ability determines the level of case incidence. This paper takes Xicheng District of Beijing as the research area and studies the accessibility and distribution optimization of police stations. The network analysis method is used to generate the 5 min service area of police stations, and the superposition analysis method is used to calculate the 5 min police service accessibility of police stations. Then, the minimum facility point model, maximum coverage model and P-center model were used to optimize the layout of police stations. Finally, the coverage area ratio, coverage cases ratio and coverage population ratio before and after optimization were compared. Conclusion: (1) A large number of regional areas, cases and population have not been covered, and the spatial location of the existing police stations is unreasonable. (2) On the premise of fairness and economy, the layout optimization method based on location allocation model can maximize the utilization of police resources. (3) By comparing the 5 min service capacity of police stations before and after optimization, the coverage ratio increased from 53.5% to 59.9%, the coverage ratio of cases increased from 64.8% to 75.1%, and the coverage ratio of people increased from 71.8% to 96.8%. The research results of this paper can provide reference and suggestions for the layout of grassroots public security organs.

[Key words] network analysis; accessibility; location allocation model; layout optimization

0 引言

改革开放以来,中国的城镇化进程发展到质量提升阶段,伴随而来的是社会安全事件的频发,当前中国的社会治安管理形势较为严峻。公安派出所作为公安系统中最基层的组织,肩负着保卫国家安全、维护社会稳定、保障人民合法权益不受侵害等重要职责,成为集防范、打击、服务、管理等多种职能于一体的基层综合性战斗实体^[1]。全国各地公安机关加快对“五分钟出警圈”的建设,要求基层公安机关快速到达案发现场,避免因出警不及时造成的损失,这就对公安机关基层派出所的空间位置的合理分布提出了更高的要求。王发曾^[2]在1995年第一次提

出城市公安机关布局调整的必要性;王春梅^[3]等指出目前西部地区派出所布局中的不合理之处;孙立^[4]对城区派出所的布局现状进行分析发现仍有大量需求点未被覆盖;翁里^[5]在城市空间防控的研究中提及城市空间的扩大应与城市公安派出所的合理布局相适应。派出所的可达性范围和空间位置的合理性关乎到其警务资源应用的最大化、服务人口覆盖的最大化、犯罪案件损失的最小化,决定着出警效率的高低和治安风险防控的精准与否。

国内外对可达性研究主要集中在以下各类设施方面:交通站点类、养老设施类、医疗设施类、教育设施类、公共安全设施类。其中,公共安全设施类的研究集中在消防站、避难场所方面,而对派出所的可达

作者简介:张勃(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:大数据技术与工程。

收稿日期:2022-01-15

哈尔滨工业大学主办 ◆ 系统开发与应用

性研究较少。

国内外对派出所的布局优化中,刘一恒^[6]结合人口、距离参数建立快速出警的多目标派出所最优选址模型;Cooper^[7]创立位置分配模型的启发式算法,解决消防站的选址问题;孙立^[4]引入POI数据、城市犯罪数据,对派出所空间位置的布局优化提供辅助决策。

本文将以A市B区为研究区域,基于A市公安局B分局2016年盗窃案件数据、B区道路网络、派出所位置数据,采用网络分析法对现有派出所的5 min覆盖区域进行服务区生成,并对覆盖案件、覆盖人口、覆盖区域面积情况进行可视化展示。使用位置分配模型中的最小化设施点模型、最大化覆盖模型、P-中心模型进行派出所的分布优化,并将分布优化前后覆盖案件、人口、区域面积进行对比,并探讨研究结果对公安机关快速反应的意义。

1 数据来源与研究思路

盗窃案件数据来源于A市公安局某分局接警平台数据库2016年的接处警记录。共计6 163条;A市道路网络数据来源于OpenStreetMap平台;人口数据来源于《A统计年鉴2016》;派出所空间位

置数据来源于高德地图API接口,使用Python网络爬虫技术获取,共计33个。

因从高德地图中通过地理编码获取的数据坐标系与国际上通用的WGS1984坐标系投影方式存在差异,故先进行地理坐标系纠偏,统一坐标系,对道路网络数据进行拓扑检查与纠正,避免路网之间存在重复和交叉的情况,对出现错误的拓扑结构进行编辑修改,保证后续网络数据集的正确建立。

基于处理之后的道路网络线数据,对其属性表中添加“速度”字段,对不同种类的道路设定不同的时速,依据《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》,设定道路速度,道路速度设置见表1。

表1 A市各级道路速度设置

Tab. 1 Road speed setting at all levels in A City (km/h)

	规划设计行车速度	设定警车行车速度
主干路	60-80	60
一级路	50-60	50
二级路	40	40
三级路	30	30
生活化路	30	30

在道路网络线数据的属性表添加“车行时间”字段,使用ArcGIS软件的字段计算器功能,计算其每个路段的单位为s的车行时间。

本文研究思路如图1所示。

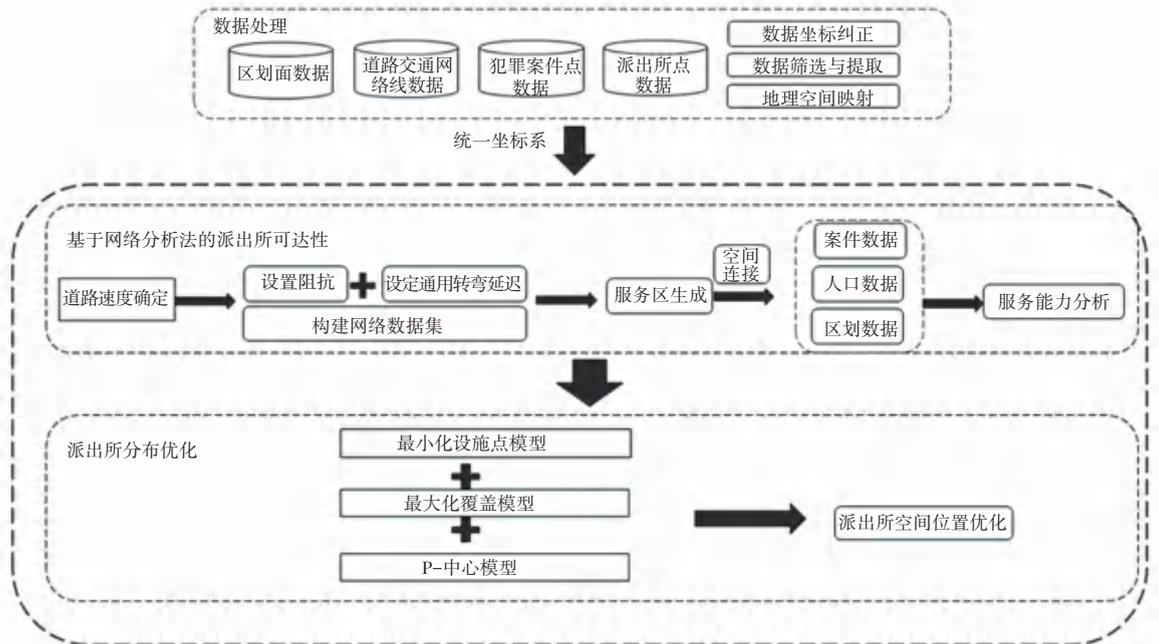


图1 研究思路

Fig. 1 Research thought

2 派出所可达性分析

2.1 网络分析法

网络分析法是GIS中经常被使用的可达性评价

方法,其理论基础是运筹学和图论,主要用于两个设施点的最短路径的寻找和资源的合理分配。一个基本的网络主要包括中心点、阻力、链和结点。中心即源地的源点,本研究中将派出所表示中心点;链是组

成网络的框架,是现实中道路在地图上的影射,在本研究中即是 A 市 B 区道路,并且具有方向性;结点是网络中链的结合点,在本研究中代表 A 市道路的交汇点;阻力一般情况下是中心通过链和结点到达某一个地点所需要消耗的时间或者费用等,在本文中可将车行时间设定为阻力。

2.2 服务区生成

经过道路网络数据集命名、构建拐弯模型、连通性设置、设置车行时间为成本、通用转弯延迟设定、设置行驶方向等一系列操作。其中,连通性策略设置为任意节点,通用转弯延迟设定为:车辆穿过路口时间为 30 s、车辆掉头时间为 40 s、车辆右转为 20 s、车辆左转为 30 s,随即可建立道路网络数据集,如图 2 所示:



图 2 A 市 B 区道路网络数据集

Fig. 2 Data set of road traffic network in District B of City A

按照《110 报警服务工作规范化标准》的规定,市区出警需在 5 min 之内到达报案地点,故阻抗设定为车行时间,默认中断设定为 300 s。开展服务区分析,加载现有 33 个派出所为设施点,分析方向设定为离开设施点,累积属性选择车行时间,即可得到现有派出所情况下的 5 min 的服务区,如图 3 所示。

2.3 服务能力分析

通过 ArcGIS10.6 软件的网络分析方法得到的 A 市 B 区派出所 5 min 服务区,使用空间连接方法与 A 市 B 区人口数据、盗窃犯罪案件数据叠加分析。对 A 市 B 区派出所的服务能力进行可视化展示,见表 2。

由表 2 可知,33 个派出所的服务面积的覆盖占比仅为 53.5%、覆盖案件的占比为 64.8%、覆盖 B 区人口的占比为 71.8%。研究发现,在 B 区研究范围

内,仍存在大量的案件需求点未被覆盖,说明现有派出所的空间位置不合理。

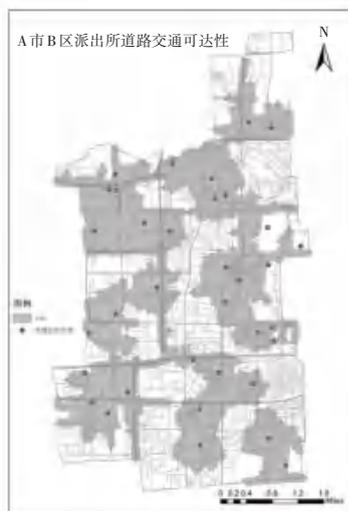


图 3 A 市 B 区派出所道路交通可达性

Fig. 3 Road accessibility of police station in District B, City A

表 2 派出所 5 min 服务能力

Tab. 2 Police station 5min service capacity

	覆盖数量	覆盖占比/%
面积/km ²	27.16	53.5
案件/个	4 221	64.8
人数/位	913 041	71.8

3 派出所分布优化

3.1 位置分配模型

GIS 中“位置分配模型”是用户在既定需求下,由系统根据特定的优化模型,从用户指定的众多候选设施点中挑选出具备最优服务能力的设施选址,从而实现设施的布局优化。GIS 的优化模型包括最小化设施点模型、最大化覆盖模型、最小化阻抗模型、最大化人流量模型等。

公式(1)~(2)为 0~1 的决策变量; I 表示需求点的点集合; J 表示候选设施点的点集合; i 表示为某一个需求点; j 表示为某一个设施点。

$$Z_i = \begin{cases} 1, & j \text{ 被选择的设施点所覆盖} \\ 0, & j \text{ 未被选择的设施点所覆盖} \end{cases} \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$X_j = \begin{cases} 1, & j \text{ 被选择为设施点} \\ 0, & j \text{ 未被选择为设施点} \end{cases} \quad \forall j \in J \quad (2)$$

(1)最小化设施点模型:最小化设施点模型可以保证设施点的数量最少,从而实现大部分需求点的覆盖,可以在设定的阻抗时间数值内让更多的需求点分配到设施点。

以最小化设施点数达到覆盖大部分需求点为目

标的目标函数,公式(3):

$$\text{Min} \sum_{j \in J} X_j \quad (3)$$

设定的阻抗时间范围内每个需求点都能被一个设施点覆盖,约束条件为公式(4)~(5):

$$\sum_{j \in N_i} X_j > 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

(2) 最大化覆盖模型: 最大化覆盖模型是在最小化设施点模型运行结果之后确定派出所数量, 在设定的阻抗时间数值内实现有效覆盖最大化。

警务资源实现经济与公平性的最大化为目标的目标函数,式(6):

$$\text{Max} \sum_{i \in I} Z_i \quad (6)$$

保证派出所覆盖需求点,约束条件公式(7):

$$\sum_{j \in N_i} X_j - Z_i > 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

公式(8)表示被选择的消防站数量为 P 。

$$\sum_{j=1}^n X_j = p \quad (8)$$

其中, $Z_i, X_i \in \{0, 1\}; i = 1, 2, \dots; j = 1$

(3) P -中心模型: P -中心模型是指为每个需求点分配距离最近的派出所,实现责任区域划分,达到任意需求点到其所属派出所的最大距离最小化。

设施点到需求点的最小距离为 D ,公式(9):

$$\text{Min} \sum_{i \in I} D_i \quad (9)$$

公式(10)表示任意的盗窃需求点与设施点都一一对应。

$$\sum_{j=1}^n Z_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

其中, $Z_{ij} - X_i \leq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n;$

$\sum_{j=1}^n X_j = p; D = \sum_{j=1}^n d_{ij} Y_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; Z_{ij}, X_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n。$

3.2 分布优化流程与结果

(1) 为提高派出所的服务能力,使用前文中提出的 3 个模型对 A 市 B 区派出所进行空间布局优化。利用最小化设施点模型,在模型运算过程中选择车行时间作为阻抗,依照派出所 5 min 出警时间要求,设定默认中断为 300 s,将前期生成的道路网络要素数据集节点和 A 市现有派出所位置点设定为候选设施点,将犯罪点数据设置为需求点,运行结果如图 4 所示。

由图 4 可知,若需要覆盖研究区内所有的需求点(犯罪点)最少的派出所数量为 104 个,此时覆盖

需求点数量为 6 156 条,覆盖案件比例为 99.89%。

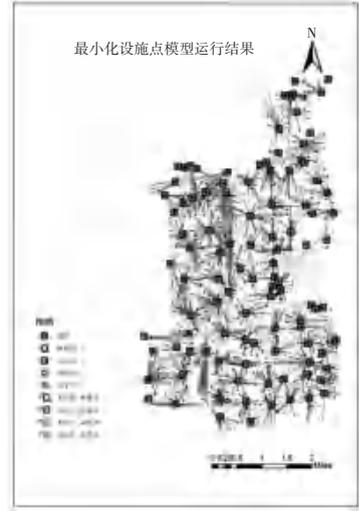


图 4 最小化设施点模型运行结果

Fig. 4 Minimize facility point model running results

(2) 在理想状态下,研究区内所有的需求点都要被覆盖以保障派出所服务能力的公平性,每个派出所的服务区面积随着设施点的增多而减少。但为保证警务资源利用的最大化需要,则利用最大化覆盖模型来实现派出所设施点分派的经济性和公平合理性。以前期最小化设施点模型所运算出的 104 个设施点为基础,对其设施点依次减少,运用最大化覆盖模型,得到表 3 的覆盖率占比情况。

表 3 派出所数量及覆盖案件占比

Tab. 3 Number of police stations and proportion of covered cases

设施点数量	覆盖案件数量	覆盖案件占比/%
104	6 156	99.89
90	6 124	99.37
80	6 073	98.54
70	5 988	97.16
60	5 852	94.95
50	5 644	91.58
40	5 308	86.13
35	5 100	82.75
30	4 817	78.16
27	4 630	75.13
25	4 490	72.85
20	4 081	66.22
10	2 930	47.54

覆盖案件占比的折线图如图 5 所示。

由图 5 可知,当派出所数量为 27 个时,曲率有所降低,曲线从该点开始向平稳转折,其覆盖率可达到 75%。出于经济性和最大化覆盖能力等角度考虑,与 104 个派出所时的覆盖率 99.89% 相比,其下降程度较为合理,故初步确定选择该 27 个派出所为最大化覆盖模型运行的最优结果。

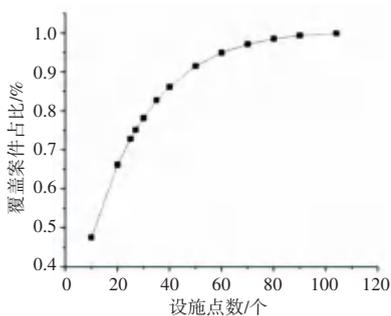


图5 案件覆盖率与设施点数量关系图

Fig. 5 Case coverage and number of facility points

从104个派出所中选择出的27个派出所空间位置如图6所示。



图6 最大化覆盖模型运行结果

Fig. 6 Maximize coverage model run results

(3) 依据最大化覆盖模型得到的27个派出所位置,运用ArcGIS按照300s的约束条件应用p-中心模型实现派出所的责任区划分,如图7所示。



图7 p-中心模型运行结果

Fig. 7 P-center model running results

3.3 服务能力对比

将布局优化之后的27个派出所进行阻抗时间为5min的服务区分析,并与优化之前的派出所

5min的服务能力进行比较,比较结果见表4。

表4 优化前后服务能力对比

Tab. 4 Comparison of service capability before and after optimization

	优化前覆盖	优化前覆盖	优化后覆盖	优化后覆盖
	数量	占比/%	数量	占比/%
面积/km ²	27.16	53.5	30.2	59.9
案件/个	4 221	64.8	4 630	75.1
人数/位	913 041	71.8	1 231 622	96.8

由表4可知,经过最小化设施点模型、最大化覆盖模型、p-中心模型等一系列操作对A市B区派出所进行的布局优化处理,在派出所的数量减少的前提下,派出所空间位置优化之后的各个指标均有明显上升,覆盖面积占比由之前的53.5%上升至59.9%,案件覆盖占比由之前的64.8%提升到75.1%,人数覆盖占比由之前的71.8%提高到96.8%。3项指标的提升充分说明了本文中使用的3个模型对派出所的布局优化有着显著的提升成果,可以保障警务资源利用最大化和促进出警速度的明显提升。

4 结束语

本文探讨了前人在可达性和派出所布局优化方面的研究现状,选定A市B区为研究区域,利用ArcGIS软件的网络分析功能模块对B区33个派出所的服务能力进行服务区生成,并与盗窃案件数据、人口数据进行叠加分析,依据覆盖面积占比、覆盖案件占比、覆盖人口占比3个指标对A市派出所的5min服务能力进行可视化展示,发现约有43.5%的区域面积、35.2%的案件和28.2%的人口未被覆盖到,得出现有派出所的空间位置不合理、亟需对派出所的空间位置进行优化的结论。使用最小化设施点模型、最大化覆盖模型、P-中心模型对派出所进行空间布局优化,选择最小化设施点模型,若需要覆盖绝大部分的需求点,则至少需要104个派出所。然而出于经济性、出警速度最快和出警效率最高等方面因素考虑使用最大化覆盖模型得到27个派出所的空间位置,最后借用P-中心模型生成布局优化之后的派出所的责任辖区。通过优化前后的对比,优化后的3个指标均有明显上升,可以改变现状B区派出所的分布不合理、警力资源浪费等现状。

基于位置分配模型的派出所空间布局优化从可以提升派出所的出警服务水平,推进公安机关服务能力的公平性建设。

(下转第127页)