

城市居住人口密度估算模型的研究

徐建刚 梅安新 韩雪培

(华东师范大学地理系 上海 200062)

摘要 本文主要讨论了在航空遥感调查获得的土地利用现状图基础上,运用 GIS 技术,建立城市土地利用与人口空间数据库,进行居住人口密度估算。文中通过对国内外现有的人口估算方法的分析,建立了一种居住用地面积与人口的线性相关数学模型。该模型以人口普查获得的区或街道人口总数为标准,采用最小二乘线性回归方法,求出各种居住类型下人口密度值的最佳解。并以上海市普陀区为例,详细讨论了模型具体运用中出现的若干问题与解决方法,获得了较为满意的结果。

关键词 人口密度,地理信息系统应用模型,线性回归

1 引言

城市人口及其分布状况是城市管理与规划的基本要素。近几年来,随着我国改革开放和经济飞速发展,城市人口及其分布状况正以前所未有的速度发生着重大变化,因而,要及时、准确掌握人口及其分布现状非常困难。

从 60 年代起,人们开始应用遥感技术进行人口估算,并取得了良好的效果。主要方法有^[1]: 居住单元法、土地利用密度法、建成区面积法、耗能法及地物光谱法。方法的差异主要在于采用航空像片或卫星像片的波段和比例尺的不同。

GIS 技术的发展为城市空间信息处理、管理与分析提供了强有力的手段。目前,航空遥感调查所取得的城市土地利用、交通和环境信息已被作为基本信息源纳入城市信息系统。人口普查统计数据已被列为城市信息系统的基础数据,从而,使 GIS 技术应用于城市人口分布状况的分析、研究与制图有了可能。

我们在研制上海城市航空遥感应用信息系统工作中,通过对遥感人口估算方法的分析,将土地利用密度法加以改进与发展,建立了一种基于各类居住用地面积与其相应的居住人口数线性相关的人口密度估算模型。该模型以人口普查获得的区或街道人口总数为标准,采用最小二乘线性回归方法,求出各种居住类型人口密度值的最佳解,从而为编制大比例的居住人口密度分布图提供了详细的数据。

2 城市居住人口密度估算模型的基本原理

土地利用密度法估算人口的基本原理是: 假设城市某区域内的同一类型住宅的人口

收稿日期: 1993 年 11 月 5 日;收到修改稿日期: 1994 年 2 月 1 日

将两者同步数字化,并建立了上海市中心城区街道行政区划底图数据库。然后,将人口数据加入多边形属性文件中。这样,行政边界图与土地利用图在空间上能被精确地叠置。运用 ARC/INFO 空间叠置命令,我们在土地利用 Coverage 的多边形属性表中加入每个地块所属街道一项内容。

ARC/INFO 的属性表文件直接采用 dBASE 数据库系统的 DBF 格式,经过前面处理的土地利用 Coverage 的属性表中,以地块多边形为记录单位,包含了多边形面积、土地类型代码和所属街道等字段。因此,我们采用 dBASE 设计的程序进行每个街道的各类住宅面积统计。程序通过建立模型所需的文件格式,将统计的面积与人口数据融为一体,直接按方程组(3)的系数矩阵形式存贮。

4 模型建立实例

土地利用空间数据库建成之后,我们以普陀区为例进行了建模试验。下面简述主要处理方法。

4.1 确定参加模型运算的居住用地类型

根据土地利用分类,普陀区居住用地共有公寓和花园类、里弄类、简房类、多层公房类、高层公房类、多层综合类和农宅 7 个类别。其中,多层综合类沿街道分布,其底面为商用,楼上为住宅,且层数较多。考虑其仅占住宅类总面积的 1%,将其并入多层公房类。

4.2 高层住宅人口密度系数的确定

高层住宅是近 10 年来新发展的一种住宅类型。尽管该类住宅发展很快,但总体上建成的占地面积却很小,普陀区内仅占住宅总面积的 2%。据有关统计资料,其中部分高层住宅 1990 年刚完工,还没有住户,但已作为类型判读出来。因而,如作独立变量处理,必然增大估算的人口密度误差。为了解决这一矛盾,我们设计了一种与多层类人口密度比较分析的方法。由于高层住宅与多层住宅均按标准设计,两者建筑容积率很容易计算出来。假定两者人均居住建筑面积相同,则可推算出两者的人口密度比值。按文献[2]中提供的求容积率 FAR 公式:

$$FAR = \frac{10n}{10 + k(2.8n + 0.3)} \quad (4)$$

式中, n 为楼房层数, k 为住宅间距比。常数表示:楼房建筑宽 10m、每层高为 2.8 m 和地基高为 0.3m。按土地利用图分类规范,多层为 2—8 层,高层为 9 层以上,实际上,高层住宅绝大部分在 18 层以下。因此,我们取多层公房的平均层数为 5 层,高层平均层数为 14 层。按上海市建房标准,多层住宅 k 值为 1.0,高层住宅 k 值取 0.5,从而推求的容积率为:

$$FAR_{\text{多}} = 2.06 \quad FAR_{\text{高}} = 4.70$$

设人均居住建筑面积为 B ,则人口密度 D :

$$D = B \cdot FAR \quad (5)$$

从而推算出高层类人口密度 $D_{\text{高}}$ 与多层类人口密度 $D_{\text{多}}$ 的关系式为:

$$D_{\text{高}} = 2.28D_{\text{多}} \quad (6)$$

将高层类按公式(6)并入多层类,则普陀区居住人口密度估算模型为 4 个变量,即里弄类、简房类、多层类和农宅类。

4.3 模型求解与误差分析

纵观普陀区住宅发展历史,各个时期兴建的住宅人均居住面积,与建筑容积率标准均不同,各个街道的居住用地比例差别也很大。因此,我们设想可能某些街道存在人口密度异常的居住类型。这种情况可以通过计算估算误差来发现。逐步剔除异常街道,重构方程组,最终可以获得精度很高的估算值。基于这一思想,我们对普陀区进行了三次模型运算,获得的估算结果见表 1。

第一次运算为全区 14 个街道,估算人口与统计人口的平均误差为 14.41%。其中,接近和超过 20% 的有 4 个街道:普陀路、胶州路、朱家湾和沪太路。根据该区有关资料分析,这些街道误差大的原因有三种:普陀路与胶州路两街道为上海历史上最早的居住区之一,一直是人口异常密集区,此两街道均以里弄类住宅为主,两街道的平均居住密度均达 17 万人/km²,估算偏低 31% 与 23%。朱家湾街道估算偏高 34%,主要原因为新建的高层住宅没有住户。沪太路为 1989 年新设的街道,住宅类型中 99.4% 为新建的多层公房,人口估算值必然偏高。

表 1 三次人口密度估算模型运行结果一览表

Table 1 Estimating results of population density in three model operations

	人口密度(人/km ²)				平均误差 (%)	相关系数 <i>r</i>	Fa 检验 <i>a</i> = 0.01	F 检验 结果
	里弄类	简房类	多层类	农宅类				
第一次	131 095	116 157	92 418	16 585	14.41	0.990	6.42	115.96
第二次	106 586	125 988	97 677	8 427	7.57	0.996	11.40	161.76
第三次	139 229	124 008	98 048	6 984	8.10	0.995	11.40	128.94

街 道	统计 人口	第一次运算		第二次运算		第三次运算	
		估算人口	误差(%)	估算人口	误差(%)	估算人口	误差(%)
普陀路	40 055	27 537	-31.25			37 388	-6.66
胶州路	46 618	35 866	-23.06			47 527	1.95
沙浜浜	65 492	72 568	6.30	62 826	-4.07		
长风新村	65 268	72 953	11.78	73 278	12.27	74 762	14.55
曹杨	57 973	55 002	-5.13	58 160	0.32	58 359	0.67
曹安路	68 939	62 796	-8.91	63 416	-8.01	63 117	-8.44
东新村	64 453	72 399	12.33	67 243	4.33		
朱家湾	34 682	46 533	34.17				
中山北路	52 223	47 099	-9.81	50 811	-2.70	50 216	-3.84
宜川新村	87 883	74 818	-14.87	79 494	-9.55	79 477	-9.57
石泉新村	56 048	59 314	5.83	61 463	9.66	61 402	9.55
沪太新村	34 213	40 982	19.79				
甘泉新村	58 939	64 282	9.06	66 788	13.32	66 856	13.43
真如镇	60 588	54 832	-9.50	53 659	-11.44	53 103	-12.35

第二次运算剔除了这4个街道,重构的方程组为8个方程。其估算人口平均误差为7.57%,比第一次结果降低了近一倍,最大误差为13%。这一估算精度大于文献[3]采用

表 - 人口密度估算结果表

Table 2 Final estimating results of population density

(单位: 人/km²)

街道	里弄类	简房类	多层类	农宅类
普陀路	202 725	132 852	105 039	0
胶州路	185 611	121 637	96 172	0
沙浜浜	111 105	131 329	101 818	0
长风新村	94 935	112 216	87 000	7 505
曹杨新村	0	125 583	97 363	0
曹安路	0	136 959	106 183	9 160
东新村	102 163	120 760	93 624	8 077
朱家湾	94 305	111 471	51 326	0
中山北路	0	129 487	100 390	0
宜川新村	0	139 283	107 984	0
石泉新村	0	114 878	89 070	7 684
沪太新村	0	0	77 152	0
甘泉新村	0	0	86 196	7 436
真如镇	0	142 255	110 289	9 515

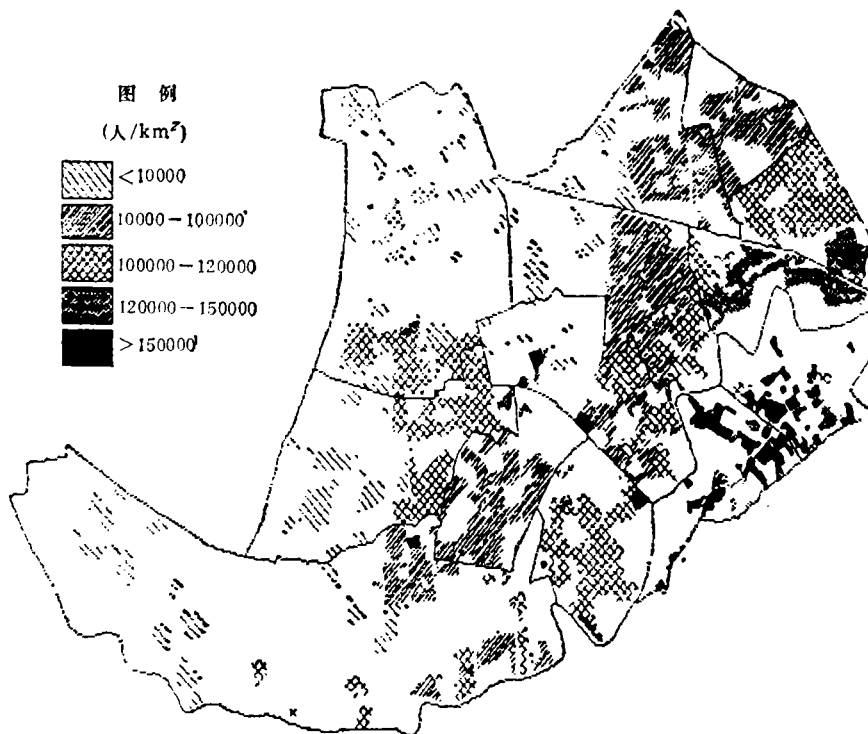


图1 普陀区居住人口密度分布图

Fig. 1 Residential population density map of Putuo Area in Shanghai

的抽样调查估算结果,可以被接受。我们将这一结果正式作为 8 个街道的人口密度估算值。

第三次模型运算是为了获得普陀路与胶州路街道的人口密度。处理方法是剔除里弄类住宅为高比例的沙洪浜和东新村街道以及另两个异常值街道,运算结果里弄类人口密度值一跃达 19 万人/ km^2 ,估算平均误差也低于 7%。这样,第三次运算结果可以作为这两个街道的人口密度估算结果。

对于朱家湾街道,考虑其住宅建设情况与附近街道相似,令高层类人口值为零,则按第二次估算密度推求得估算人口数为 39 197。估算误差偏高 13%。沪太街道由于住宅单一,可以单独求得。结果为多层公房类人口密度 77 152 人/ km^2 ,高层公房类人口密度为 160 476 人/ km^2 。明显低于其它街道。

4.4 普陀区居住人口密度分布图的自动编制

确定了各街道每一住宅类型的人口密度,便可以进行人口密度分布图的编制。由于模型估算的人口数有一定的误差,不能直接使用其结果,因此必须用线性均摊法消除误差。为此,我们进行了处理,获得了消除误差的人口密度估算数据(表 2)。将表 2 数据直接输入普陀区土地利用空间数据库。然后,运用 ARCPLOT 设计人口密度晕线,绘制了普陀区居住人口密度分布图(图 1)。

5 结 论

本文建立的城市居住人口密度估算模型是建立在人口与居住面积线性相关基础上的。建模实例结果表明:两者确实具有很高的相关性。但是,由于人口分布是一种动态变化很大的现象,不可避免地会出现人口分布异常区域。本文通过对异常区域人口与住宅特点的分析,给出了三种处理方法。通过这些现象分析,我们发现人口密度与住宅面积的实质关系是:人口密度是由人均居住建筑面积与住宅建筑容积率两方面决定的。

城市居住人口密度分布图对于城市土地、交通、公共设施和商业网点等的管理、规划与建设极为重要。例如:根据人口分布可以对一个区域的商业网点及公共设施进行合理布设;城市公共交通线路的设置与更改也必须依据人口分布状况;对于道路扩宽、建立新开发区等重大工程,估算区域内人口与住宅数据更是必不可少。本文提出的模型为迅速编制居住人口密度分布图开辟了一条新的途径。

参 考 文 献

- [1] 邹尚辉. 城市人口的遥感估算方法. 环境遥感,1991,6(3): 239—封底.
- [2] 陈伟明. 旧城改造地区的容积率研究. 城市规划汇刊,1992,81(5): 43—47.
- [3] 汪慧慧. 城市人口遥感估算法. 见: 高校遥感第六届学术讨论会论文集,北京: 万国学术出版社,1991,422—425.

Model of Estimating Population Density in the Residential Quarter of Urban

Xu Jiangang Mei Anxin Han Xuepei

(Department of Geography, East China Normal University)

Abstract Urban population decides the scale of urban, and the structure and distribution of urban population are the principal factors for considering in urban developing and planning. This paper discusses the establishment of a spatial database of land resource by using the GIS software of ARC/INFO. The inputting data are obtained from the landuse map surveyed with aerial remote sensing images in Shanghai. As an application of the database, we develop a model of estimating population density which related to reside land area. By means of linear regression method, the model is getting best salve of population density to various kinds of residential land types.

This paper also discusses some problems in building up the model using land resource database and provides concrete solving methods in the example of Putuo District, Shanghai. The result in the example is satisfied.

Key words Estimating population density, GIS applied model, linear regression analysis