

# 手机信令数据支持城市总体规划实施评估的技术框架

## A TECHNICAL FRAMEWORK FOR URBAN MASTER PLAN IMPLEMENTATION EVALUATION USING MOBILE PHONE SIGNALING DATA

钮心毅 朱娟 施澄 | Niu Xinyi Zhu Juan Shi Cheng

同济大学长三角城市群智能规划协同创新中心种子基金、中央高校基本科研业务费专项资金项目（编号：20160368）  
“TJAD”重点项目资助（编号：2015KY19）

**摘要** 基于对城市总体规划实施评估内容、方法的梳理，探索了将手机信令数据融入现有总体规划实施评估体系的途径。手机信令数据可以应用于城市总体规划中的城镇体系空间结构、城镇体系等级结构、城市空间结构和布局、城市公共中心体系、城市重要服务设施的实施评估。本文由此提出了一个手机信令数据支持城市总体规划实施评估的技术框架及技术途径。作为城市总体规划实施评估基础数据之一，手机信令数据有效弥补了传统静态数据的不足。

**关键词** 城市总体规划；规划实施评估；手机信令数据；功能联系

**Abstract** Based on the contents and methods of urban master plan implementation evaluation, this paper explores an approach for urban master plan implementation evaluation using mobile phone signaling data. The mobile phone signaling data can be applied to the evaluation of urban master planning, such as spatial framework of urban system, hierarchy of urban system, urban spatial structure, urban public center system, and urban important service facilities. This paper presents a technical framework for the urban master planning evaluation using mobile phone data and its technical approach. The mobile signaling phone data can effectively cover the shortage of traditional static data, and be used as one of basic data for urban master plan implementation evaluation.

**Keywords** urban master plan; planning implementation evaluation; mobile phone signaling data; function link

### 一、引言

城市总体规划的实施评估是我国法定规划体系中的重要环节之一。2001年，深圳、广州等城市率先进行了总体规划实施评估实践，随后孙文总结了国外城市规划实施评估理论与方法<sup>[1-2]</sup>，推动了我国城市规划实施评估的研究。2008年颁布实施的《城乡规划法》明确了城市总体规划实施评估工作的法定性，2009年颁布的《城市总体规划实施评估办法（试行）》对评估内容和评估程序等进行了规定，推动了总体规划评估工作的开展。城市总体规划实施评估已经成为当前规划实践中的常见法定工作类型。

已经有很多学者从不同视角切入城市总体规划评估研究，较有代表性的包括公共政策评估视角<sup>[3-5]</sup>、空间绩效评估视角<sup>[6-7]</sup>、实施评估体系视角<sup>[8-9]</sup>等。总体来看，理论性探讨较多，实践性技术研究相对较少。城市总体规划实施评估实践中需要大量数据支持，随着大数据时代的到来，很多学者认识到将大数据应用于规划评估的可能性和重要性<sup>[10-11]</sup>。

近年来，在国内城市规划学界，出现了众多大数据支持的规划研究，其中，手机信令数据为城市规划提供了一种新的数据源和新的技术思路。大量研究表明利用手机信令数据能够有效把握城乡居民的行为活动、城市空间利用、交通运行、公共设施服务水平等作用机制及运行状态，如基于手机信令数据测度的城镇体系等级结构<sup>[12]</sup>、城市空间结构<sup>[13]</sup>、城市中心体系<sup>[14]</sup>、职住平衡<sup>[15]</sup>、商圈活力<sup>[16]</sup>、城市交通<sup>[17]</sup>等研究。手机信令数据能为城市总体规划的实施评估提供更多的技术手段，能够从主体活动需求角度，有效弥补对城市各类功能间的相互作用进行动态考虑的传统城市规划实施评估机制的缺陷，有助于从“以人为本”的视角评价城市建成环境与现状总体规划目标的差距。本文旨在探索手机信令数据支持现有总体规划

实施评估体系的途径，提出基于手机信令数据的城市总体规划实施评估的技术框架及相应的技术方法。

### 二、手机信令数据特点和应用方向

#### 1. 手机信令数据特点

（1）被动式、覆盖广、非随机

手机信令数据是运营商记录的手机用户在网络活动时的位置信息，属于非自愿被动式采集数据，当手机发生开机、关机、主叫、被叫、收发短信、切换基站、移动交换中心或位置更新时，手机识别号、信令时间、当时所处的小区基站编号均保存在手机信令数据中。因此，手机信令数据具有全天候、覆盖广、非随机、可被激发等特点，属于大规模采样的时空轨迹数据。

（2）时效性、动态性、连续性

传统规划数据来源主要以统计年鉴、人口普查、经济普查等为主，所获得的数据属于静态分布的数据且更新时间间隔较长，难以反映城市系统的动态性特征。手机信令数据记录了每一个用户的日常行为和城市空间的使用方式，可反映用户时空行为活动规律的特征，实现实时动态连续追踪与可视化表达，为描述城市居住、就业、游憩、交通等活动的时空动态特征提供了新的途径。

（3）反映城市内外的功能联系

手机信令数据能够体现“人”的时空行为特征，有效弥补传统数据主要反映城市建成环境特征、社会经济发展状态等的不足。在区域层面，从跨城市出行的居民时空轨迹数据中可以识别出常住地、出行目的地，通过

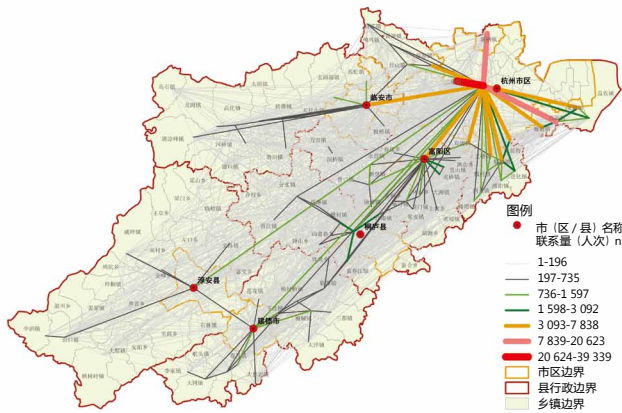


图1 基于人流吸引总量的城镇体系等级评估 (图片来源: 作者绘制)

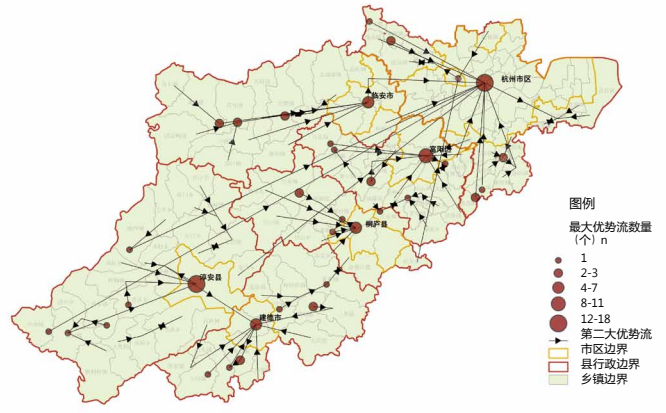


图2 基于最大优势流的城镇体系等级结构评估 (图片来源: 作者绘制)

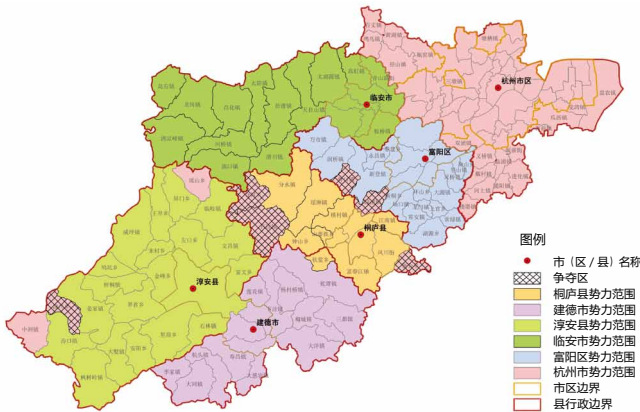


图3 基于人流流向、流量的各中心城市腹地划分 (图片来源: 作者绘制)

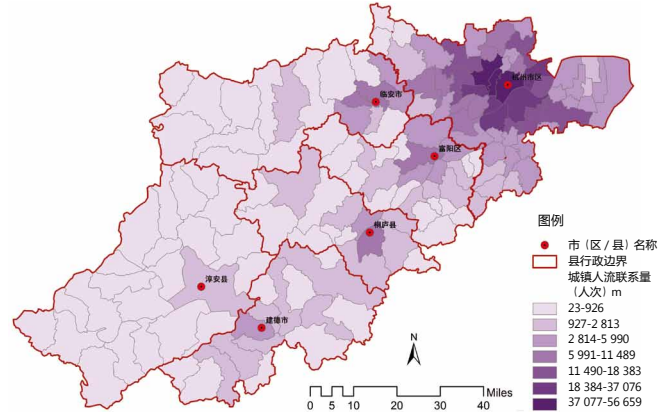


图4 基于各乡镇通过人次的区域廊道发展水平评估 (图片来源: 作者绘制)

测算城市之间的人流联系来反映城市之间的功能联系。在城市内部层面,从个体的时空轨迹中可以识别居住地、工作地、游憩地之间的联系,居住—工作联系、居住—游憩联系恰恰是传统数据源无法测度的重要城市功能联系。

## 2. 在规划实施评估中的应用方向

在规划实施评估中,手机信令数据能够解决传统数据不支持功能联系测度的问题,可以广泛应用于区域城镇等级结构评估、区域城镇空间结构评估、重大服务设施发展水平评估、城市功能结构评估、新兴功能区发展水平评估、交通发展与职住平衡评估、商业发展与多中心体系评估等总体规划实施评估中的多个领域。与传统的比较物质形态的土地利用现状与规划是否一致的方式相比,手机信令数据通过人的活动与空间形态的耦合性分析,能够有效发现“现状合理、规划不合理”或是“现状不合理、规划合理”,弥补传统“一致性评估”的局限性,更科学地评估总体规划的合理性。

## 三、应用领域

### 1. 城镇体系规划实施评估

传统城镇体系的空间结构、等级结构分析很难考虑到各城市之间的相互作用,城市的中心性是衡量城镇等级高低的重要指标,因此测算城市之间的联系度成为分析中心性的重要手段。在城镇体系规划中经常使用航空、铁路、公路客运班次来代表城市之间的联系度,但该方法无法体现城市之间的实际人流联系。手机信令数据通过记录用户在城镇之间的出行轨迹,识别出用户的常住地、跨乡镇出行的目的地,建立跨城镇出行轨迹,

从而汇总跨城镇之间的人流联系度,以反映城镇之间的联系,可作为对传统城镇体系规划实施评估的重要补充。

#### (1) 城镇体系等级结构评估

传统城镇体系等级结构评估一般采用“位序—规模”法,该方法认为规模分布与等级结构基本一致,因此也被称为规模等级结构。利用手机信令数据建立人流跨乡镇的OD流动轨迹并进行汇总和统计分析,通过联系流量、流向两个维度来判断区域内城镇的中心性:联系流量维度采用网络吸引量法,即汇总以该城市为目的地的人流联系总量来确定区域城镇的中心性(图1);联系流向维度采用优势流法,即以该城市为目的地汇总其他城市流入的优势流数量来确定区域城镇的中心性(图2)。相比于传统的“位序—规模”法,将吸引量法和优势流法结合分析,有助于识别城市人口规模不大,但在区域城市间人流联系中心性较强的城镇,从而更合理地评估总体规划城镇体系等级结构实施效果<sup>[2]</sup>。

#### (2) 城镇空间结构评估

利用手机信令数据的跨城镇出行表示城镇之间的人流数据,还可以界定中心城市发展腹地、区域发展廊道,从而评估区域城镇空间结构实施成效。其中,中心城市发展腹地依据其他城市与各中心城市联系强度数据进行比较,若强度值达到所有中心城市联系强度值总和的50%以上,则该城市确定为该中心城市的腹地,否则该城市的联系强度值将列于中心城市腹地争夺区的前两位(图3)。测算出各中心城市腹地及影响范围,可以用于评估其辐射范围及带动城镇发育情况。与传统引力模型相比,中心城区腹地识别更为精确。区域发展廊道通过识别区域内人流轨迹的主要路径来模拟,即区域廊道通过叠加汇总各城镇通过的人次(图4),和连度评估出

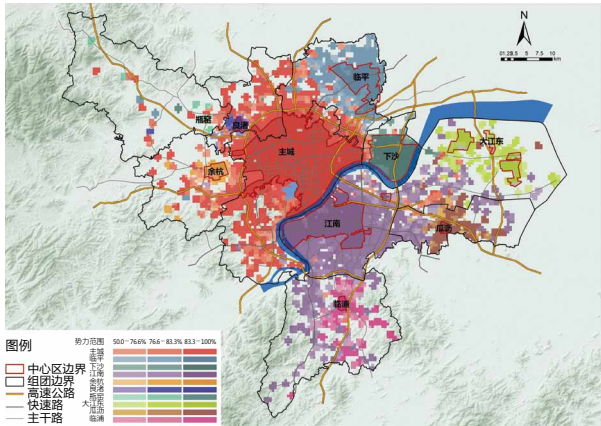


图5 中心城区居住者势力范围 (图片来源: 作者绘制)

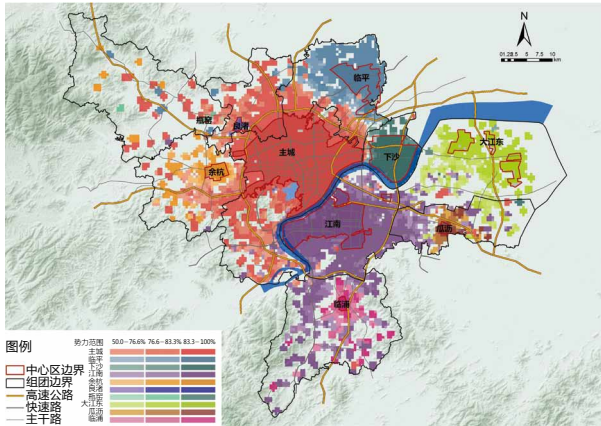


图6 中心城区就业者势力范围 (图片来源: 作者绘制)

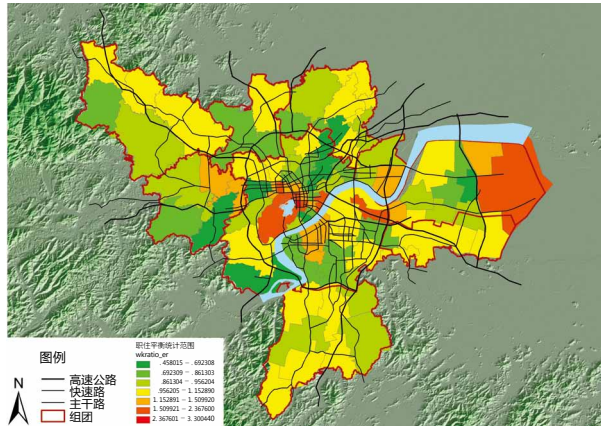


图7 中心城区各街道职住比 (图片来源: 作者绘制)

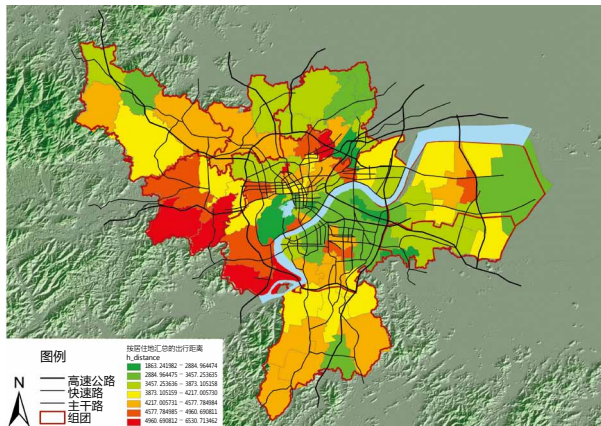


图8 中心城区各街道居住者平均通勤半径 (图片来源: 作者绘制)

总体规划中主要廊道的发展水平<sup>[18]</sup>。

## 2. 中心城区空间结构的规划实施评估

传统统计数据源难以同时获取居民就业地、居住地,也就难以获得居民的“居住—就业联系”。虽然可以通过抽样调查分析整个城市的职住关系和通勤特征,但是系统性通勤调查的成本非常高,很难在城市总体规划实施评估中开展。手机信令数据识别的通勤联系“居住—就业联系”数据,为从城市居民的就业、居住空间关系的角度定量分析城市空间结构提供了数据基础。使用手机信令数据,通过居住者就业密度、就业者居住密度、各个片区之间通勤联系等评估城市空间结构实现度,从而填补了传统使用土地利用现状数据无法判断片区、组团之间功能联系的空白。

### (1) 空间结构和布局

居民的职住空间关系是城市空间结构的重要组成部分。使用手机信令数据识别出用户的就业地、居住地,再筛选同时识别出工作地、居住地的用户,可以得到中心城区各个片区的居住者就业地分布、就业者的居住地分布,用以判断各个片区之间通勤联系的紧密程度。

此外,以总体规划划定的各城市片区、城市组团为空间单元计算职住联系总量、总量职住比(就业岗位数/就业居民数)、独立指数(区域内居住并工作人数/到外部去工作的人数)、外出通勤率[(居住样本-居住且在本区域就业样本)/居住样本]、外来通勤率[(就业样本-居住且在本区域就业样本)/就业样本]、就业密度、居住密度等指标来判断各片区、组团间的职住特征,从而判断城市空间结构发育完善程度。

职住联系总量较多,就业密度、居住密度较高,独立指数较高,外来外出通勤率适中的片区、组团,已经发展成熟且融为整体;职住联系总量较弱,就业密度、居住密度较高,独立指数较高,外来外出通勤率适中的片区、组团,发展初具规模,设施较完善具有较强发展潜力;职住联系总量较强,就业密度、居住密度较高,独立指数较低,外来外出通勤率较高的片区、组团,产业门类单一,设施不完善,仍需大力扶持;职住联系总量较弱,就业密度、居住密度较低,独立指数较高,外来外出通勤率适中的片区、组团,仍处于发展初期(图5、图6)。

### (2) 居住、就业空间关系与职住平衡

居民的居住、就业空间关系能通过职住比、通勤半径这两个简单的指标直接体现出来,通过两个指标的简单组合就能定量分析城市内部各个片区和单元居住、就业空间居住人数、就业岗位及其分离程度,从而评估城市职住平衡状况。

“职住比”是某个空间单元内(如街道行政边界、控规单元等)识别的就业岗位数量与居住人口的比值(图7)。使用手机信令数据识别用户就业地、居住地,通过计算得到每一个通勤者的居住地、就业地之间的直线距离,称之为“通勤半径”(图8)。

例如,可以以街道为空间单元计算职住比、通勤距离,通过职住比、通勤距离的不同组合,识别出居住、就业空间关系特征。职住比平衡且通勤半径较小,这是居住、就业空间关系较好的区域;职住比小且居住者通勤半径较大,往往是大型居住区集中,但缺乏工作岗位安排的区域(图9);职住比大且就业者通勤半径较大,往往是就业岗位集中,缺乏居住配套的区域。很多城市也存在职住比平衡,但就业者通勤半径大的区域,以及职住比平衡且居住者通勤半径大的区域;这些往往是各类土地使用比例较为平衡,但是实际居民的工作、居住并不就近平衡的区域(图10)。如果没有从手机信令数据中获取的居住就业功能联系,传统方法是无法对上述区域的居住、就业空间关系进行评估分析的。

## 3. 城市中心体系的规划实施评估

传统公共中心等级结构一般使用土地使用性质、建筑面积规模、业态等静态数据进行评估,对于消费者来源地、服务范围的分析一般采用问卷

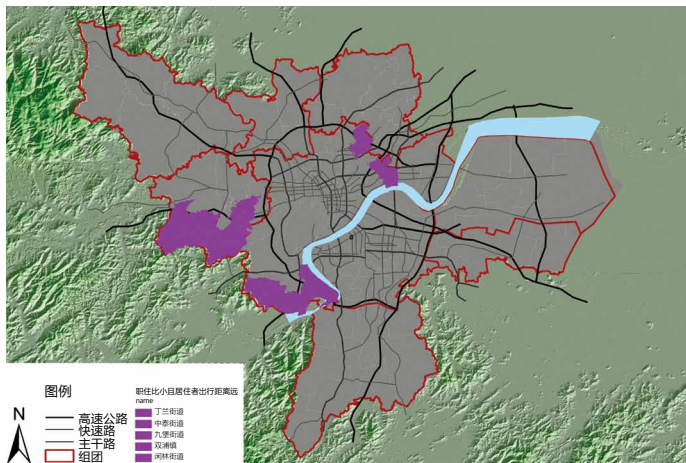


图9 职住比小且居住者通勤半径较大的街道 (图片来源: 作者绘制)

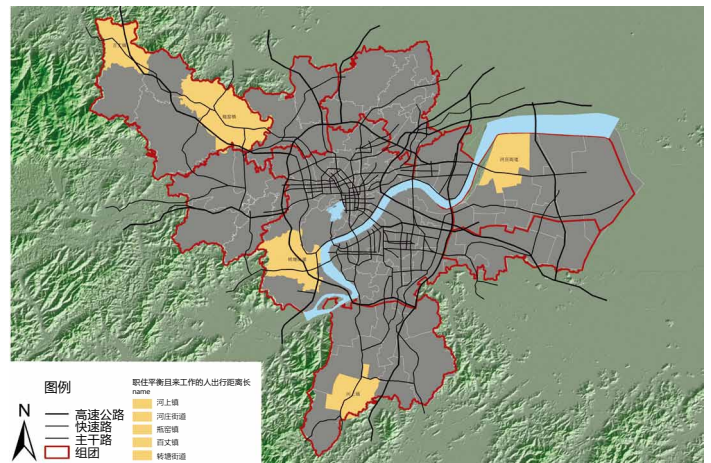


图10 职住比平衡且就业者通勤半径较大的街道 (图片来源: 作者绘制)

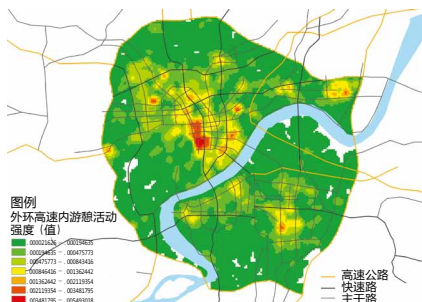


图11 中心城区内的居民游憩活动强度 (图片来源: 作者绘制)



图12 中心城区内各中心势力范围 (图片来源: 作者绘制)

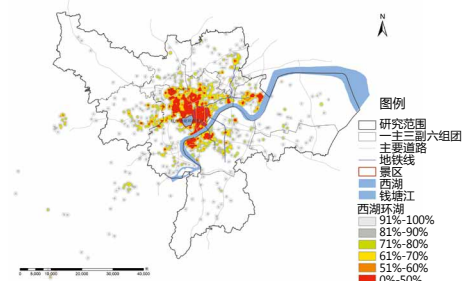


图13 大型景区服务范围分析 (图片来源: 作者绘制)

调查方式, 但样本有限且受主观因素影响, 很难把握整体状况。从手机信令数据识别出游憩—居住功能联系, 以居民游憩活动强度识别出城市级商业中心, 以游憩—居住功能联系识别城市中心的腹地及势力范围, 从而判断城市中心消费者来源地及服务范围, 以此评估其发展水平及服务能级<sup>[14]</sup>。

采用多个休息日手机信令数据识别出游憩者, 再识别出游憩者的居住地得到游憩—居住功能联系。对游憩活动强度做局部空间自相关分析, 选出高值聚类区, 从而识别出居民游憩活动密集区域, 从中能确定现状各个公共中心的活动强度 (图11)。进一步依据手机信令数据识别居住—游憩功能联系, 还能得到各个中心的游憩者居住地来源的空间分布。由此能进一步获得各个活动中心的势力范围, 进而对公共中心体系的服务绩效进行评价 (图12)。利用居住—游憩联系划定势力范围的方法比传统的服务半径的分析方法更加有效。

#### 4. 重要设施的规划实施评估

城市重要设施包括以大型体育馆、展览中心等为代表的公共服务类设施, 以机场、火车站、枢纽站、地铁站点等为代表的交通服务类设施, 以大型公园、大型景区等为代表的生态旅游服务设施, 这些城市重要设施的运行状况代表了城市重要功能的实现水平。传统评估方法一般采用土地使用、统计等数据评估设施的建设运行状况, 很难把握设施使用者的来源地、服务范围。从手机信令数据中获取设施使用者的时空轨迹, 能对设施实际服务范围进行分析。根据手机基站定位精度, 一般城市内部的手机信令数据可以分析的空间单元应控制在100 hm<sup>2</sup>以上, 因此对于占地面积较大的重要设施可以用手机信令数据评估其服务范围。

以城市大、中型景区绿地为例, 采用手机信令数据识别出游憩—居住地功能联系, 按游憩人次汇总在景区有过游憩活动记录用户的居住地, 可以得到景区实际游客的居住地来源分布, 并由此得出景区的实际服务范围。可以进一步计算出覆盖面积和人口, 将面积及服务人口数据与景区到

访人次进行对比, 从而判断景区的实际使用水平 (图13)。

#### 四、技术框架与应用优势

基于上述应用方向, 结合总体规划实施评估技术内容, 从评估层面、评估内容、技术手段、评估方法四个方面可以构建一个手机信令数据支持城市总体规划实施评估的技术框架 (图14)。从区域层面、城区层面、专项层面分别挖掘基于手机信令数据能够实现的总体规划实施评估内容, 评估方法则侧重于从功能联系的视角构建“居住—就业”“居住—游憩”城市功能之间的相互联系, 构建区域内城镇之间人流联系。

与传统静态数据相比, 手机信令数据能够同时识别用户的居住地、工作地、游憩地, 并建立三者之间的空间联系, 从而能够从功能联系的视角评估城市规划实施水平。功能联系评估的重要性要超过传统密度分布的评估, 可引导传统规划评估由静态建设用地增长评估向流动空间转变, 在规划日益强调“以人为本”、城市人地关系协调的当下更具有重要意义。

#### 五、结语

本文讨论了手机信令数据支持城市总体规划实施评估的适用领域、相应的技术方法, 探索将大数据融入现有总体规划实施评估体系的途径。将手机信令数据应用于城市总体规划中的城镇体系空间结构、城镇体系等级结构、城市空间结构、城市公共中心体系、城市重要设施的评估, 提出各个专项的应用方法和技术, 由此形成了一个将手机信令数据应用于城市总体规划实施评估的技术框架。研究认为, 手机信令数据用于城市总体规划实施评估的优势在于能够从手机信令数据中获取居民活动时空轨迹, 从而能从功能联系出发测算联系强度和联系范围, 弥补了传统静态数据的不足。

本文认为可以将手机信令数据作为总体规划实施评估中的一种基础数据看待, 规划专业的人员要起到主导作用。手机信令数据可以支持多个专

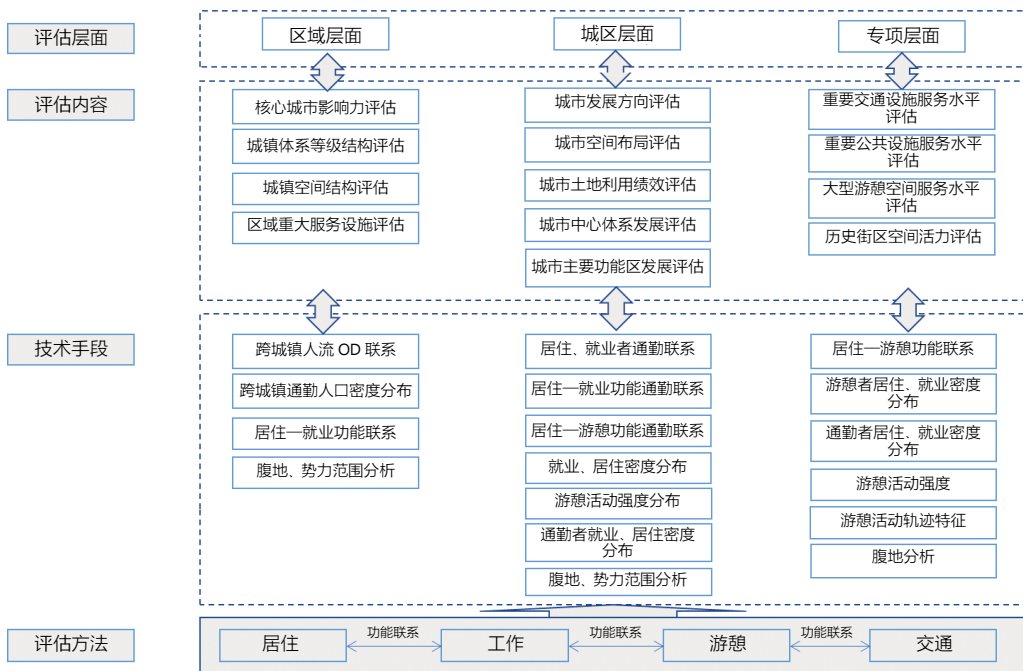


图 14 手机信令数据支持城市总体规划实施评估的技术框架 (图片来源: 作者绘制)

项的实施评估,不需要在城市总体规划实施评估中单列一个大数专项,而是将其作为基础数据融入现有的实施评估体系,并与传统评估方法相互配合、验证,关注传统数据无法涉及的议题,提升城市总体规划评估的科学性。手机信令数据由于其空间定位精度有限,比较适用于大、中型城市。另外,手机信令数据分析是基于一般时空行为规律的估测,因此手机信令数据分析必须要和传统数据相互比较、对照,才能在规划实施评估中发挥作用。因此,更有必要将手机信令数据融入各个专项的规划实施评估中。■

(参加研究工作的还有丁亮、王焱、吴莞姝、刘嘉伟、孙晨晨、谢昱梓、杨钰颖、周笑贞。)

参考文献

[1] 孙施文. 城市总体规划实施政策的理性过程 [J]. 城市规划汇刊, 2001 (2): 13-19.  
 [2] 孙施文, 周宇. 城市规划实施评价的理论与方法 [J]. 城市规划汇刊, 2003 (2): 15-20.  
 [3] 孙施文, 王富海. 城市公共政策与城市规划政策概论——城市总体规划实施政策研究 [J]. 城市规划汇刊, 2000 (6): 1-6.  
 [4] 孙施文, 陈宏军. 城市总体规划实施政策概要 [J]. 城市规划汇刊, 2001 (1): 7-13.  
 [5] 袁也. 总体规划实施评价方法的主要问题及其思考 [J]. 城市规划学刊, 2014 (2): 60-66.  
 [6] 孙施文. 基于城市建设状况的总体规划实施评价及其方法 [J]. 城市规划学刊, 2015 (3): 9-14.  
 [7] 孙施文. 基于绩效的总体规划实施评价及其方法 [J]. 城市规划学刊, 2016 (1): 22-27.  
 [8] 田莉, 吕传廷, 沈体. 城市总体规划实施评价的理论及实证研究——以广州市总体规划 (2001 - 2010 年) 为例 [J]. 城市规划学刊, 2008 (5): 90-96.  
 [9] 赵民, 汪军, 刘峰. 关于城市总体规划实施评估的体系建构——以蚌

埠市城市总体规划实施评估为例 [J]. 上海城市规划, 2013 (3): 18-22.

[10] 宋小冬, 丁亮, 钮心毅. “大数据”对城市规划的影响: 观察与展望 [J]. 城市规划, 2015 (4): 15-18.  
 [11] 席广亮, 甄峰. 基于大数据的城市规划评估思路与方法探讨 [J]. 城市规划学刊, 2017 (1): 56-62.  
 [12] 钮心毅, 王焱, 丁亮. 利用手机信令数据测度城镇体系的等级结构 [J]. 规划师, 2017, 33 (1): 50-56.  
 [13] 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构 [J]. 城市规划学刊, 2014 (6): 61-67.  
 [14] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 上海中心城区商业中心空间特征研究 [J]. 城市规划学刊, 2017 (1): 63-70.  
 [15] 钮心毅, 丁亮. 利用手机数据分析上海市域的职住空间关系——若干结论和讨论 [J]. 上海城市规划, 2015 (2): 39-43.  
 [16] 王德, 王灿, 谢栋灿, 等. 基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较——以南京东路、五角场、鞍山路为例 [J]. 城市规划学刊, 2015 (3): 50-60.  
 [17] 冉斌. 手机数据在交通调查和交通规划中的应用 [J]. 城市交通, 2013, 11 (1): 72-81.  
 [18] 姚凯, 钮心毅. 手机信令数据分析在城镇体系规划中的应用实践——南昌大都市区的案例 [J]. 上海城市规划, 2016 (4): 91-97.

作者简介: 钮心毅 (通讯作者) 同济大学建筑与城市规划学院副教授, 博士生导师, 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室  
 朱 娟 同济大学建筑与城市规划学院博士研究生, 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室  
 施 澄 同济大学建筑与城市规划学院博士研究生, 助理研究员, 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室

收稿日期: 2017-07-19