



北京大學

博士研究生开题报告

题目： 介观尺度的城市交互问题

姓 名： 修格致

学 号： 1801110566

院 系： 地球与空间科学学院

专 业： 地图学与地理信息系统

研究方向： 数字地球与智慧城市

指导教师： 刘瑜 教授

2021 年 4 月 3 日

摘要

关键词：布偶, 英短, 莫布利

Abstract

Keywords: World Cup, Lancet, Blues

目录

第一章 选题背景	1
1.1 选题背景	1
第二章 研究现状与问题归纳	3
2.1 研究现状	3
2.1.1 介观尺度的城市内部交互问题	3
2.2 问题归纳	4
2.2.1 自适应空间单元的提取	4
第三章 研究内容	5
3.1 框架	5
3.2 研究内容	6
3.2.1 利用扩散映射提取城市隐藏特征	6
3.3 预期创新点	7

第一章 选题背景

1.1 选题背景

介观尺度的概念由 Van Kampen 于 1981 年所创，指的是介乎于微观和宏观之间的尺度。针对城市科学，介观尺度是指城市内部几公里范围内的空间尺度，这是城市研究和城市规划中最常用的空间尺度。处于介观尺度的地学现象，尽管包含很多更小的研究单元，但其系统尺度小于相干尺度，介观尺度单元的同样样本中的空间单元保持较强的相关性，但各个空间单元的差异极大，城市系统的全局平均性质不再有效的刻画系统中所有微观空间单元的性质。理论角度看，在介观尺度下，城市的人口和社会经济密度保持了足够的异质性（如用地功能分化等）；而对于该尺度的研究问题来讲，个体行为特征的聚合又可以体现出足够的规律性。实际角度看，介观尺度对于政策制定、感知城市空间、场所性等非具体、弱化实际度量的方面又有着很好的反馈效果。这使得基于街区、人口普查单元等介观尺度空间单元的研究体现出重要的意义。

城市是由环境和其中的人组成的。个体行为的总和构成了城市的动态。基于个体行为模式的挖掘，科学家在人类移动模式、职住平衡分析等方面建树颇多。然而，从数据来讲，由于个体数据采集成本较高、隐私保护等问题，基于个体的研究受数据制约比较大；从研究效果来讲，基于个体行为模式的研究结论整体可复现性不高，研究结论受随机误差影响比较大，同时空间一致性不强，很难得到较为通用的、有意义的模式。在此背景下，选取合适的研究尺度，从城市的内蕴框架下探究城市模式的涌现，就成了一个更好的选择。

已有研究从介观尺度结构出发，已经挖掘出来很多有意义的模式。可以概括为如下三类：

1. 从空间分布（一阶量）来看，介观尺度模型可以反映空间上连续变化的事物的分布。在刻画空气污染 [Mijling and Van Der A, 2012]、城市热岛效应、城市形态演化 [Raimbault, 2018]、人口模式识别方面都是建模的核心。
2. 从空间交互（二阶量）来看，介观尺度对应着聚合尺度的空间交互，在流行病传播、对政策制定等角度有着核心意义。
3. 从介观尺度模式的形成来看，介观尺度观测很好地体现了城市微观-宏观之间的跨尺度

特征，在交通拥堵、交互尺度提取等方面方兴未艾。

社会物理 (social physics) 与地理大数据 (big geodata) 的结合有助于我们建立统一的框架来理解介观尺度规律。然而，这个框架中已有的方法和工具暂时不足以完全解决城市科学家的观测需要。其中几个主要方面为：

1. 数据空间与真实空间的非线性对应关系。
2. 介观尺度结构空间交互的高耦合性。
3. 统计涨落对城市介观尺度结构稳定性的影响。

第二章 研究现状与问题归纳

2.1 研究现状

2.1.1 介观尺度的城市内部交互问题

城市中的空间交互问题在不同的聚合尺度上通常有着不同的研究结论。以人类移动性研究为例：个体层次的移动性常用列维飞行来近似 [Brockmann et al., 2006, Gonzalez et al., 2008, Mantegna and Stanley, 1994, Metzler et al., 2007]，其中体现了高度的随机性；而在群体层次，人类移动性则在出行目的、社群性质、频率分布等方面体现了很高的规律性 [Peng et al., 2012, Jiang et al., 2017, Dong et al., 2020, Wachowicz and Liu, 2016]。随着交通、手机信令、社交媒体、细粒度普查等元数据采集精度的提高，从随机性的个体行为中提取群体行为并进行研究也有了足够的可行性。

在更高的交互频率下，城市生活提供了更多机会，例如更好的就业机会、更广泛的文化活动以及更多样化的人口。然而，这种交互增益也有一些缺点，如犯罪问题更大，拥挤，低空气质量和较高的生活费用。许多研究表明，健康的社会结构在强调城市生活的积极方面起着关键作用。研究还表明，社会凝聚力可能受到设计决策的影响，如街道布局和交通限制 [Appleyard et al., 1976, Appleyard, 1980]。我们可以区分那些被精确定义和中央管制的**硬属性**，例如物质基础设施、交通规划和分区；和那些由居民的社会交往，例如社会凝聚力、城市精神和氛围构成的**软属性**。后者对于城市的居民幸福感、应对灾害能力、可持续发展、城市吸引力等方面都发挥着重要作用。因此，在发展基础设施建设的同时，考虑优化空间结构，提升交互性质，实现城市软属性的提升是一个有价值的目标。

通过数学模型，很多学者阐释了城市的软属性如何有序组织排列城市的硬属性，这些组织性质可以帮助决策者理解城市的韧性和健康程度 [Batty, 1971, Louf and Barthélemy, 2013]。经济学家使用大量的多变量模型来预测扰动对城市系统的影响，比如土地利用与交通的相互作用、产业结构调整对城市单-多中心模式转换的影响等 [Fujita and Ogawa, 1982, Acheampong and Silva, 2015]。这些预测可能非常准确，但依赖于对大量参数的拟合。而城市经济学家和经济物理学家更倾向于使用简单的规则和变量，基于城市居民的个体选择的群体效应来复现城市现象。这些模型体现了比较强的解释能力，但缺点是无法完全重现城市的多样性，以及难以证伪。因此简单规则导出的模型预测通常不适用于为具体的干预措施或政策提供建议。

另一个思路是从物理学借鉴方法论，考虑一小组经过仔细选择的变量建立动态模型，然后根据对少数变量的分析制定定性或定量预测。这种方法的优点在于结果不是从黑箱中产生的，而是通过理解过程的动态而获得的。对软城市特性的出现进行建模的一个核心挑战是识别一组能够捕捉这些特性的变量。通过将城市的文化和经济方面进行量化，对城市建模面临着无数的可能性：可以选取很多变量，如家庭收入、家庭规模、就业状况等，这些变量之间都有很强的相互依赖性。因此，挑战在于，在不产生不必要的冗余的情况下，选择一个理想的小变量来表示一个区域的状态。

多元地理大数据的数据挖掘

空间交互视角下城市系统韧性与稳定性

个体交互作用下介观尺度模式的涌现

研究表明，个体的流动性是由经常访问的一些空间邻近区域组成的。

2.2 问题归纳

介观尺度聚合地理大数据和理论模型方法可以挖掘个体行为模式的确定性、城市的空间结构、以及城市作为一个系统的性质，有助于理解城市面对外来冲击、政策变化等因素的反应。不过，自适应空间单元的提取、城市交互系统稳定性指标、交互模式中的涌现现象等问题还欠缺足够好的处理方法。

2.2.1 自适应空间单元的提取

要深入地了解城市的社会结构，虽然现有丰富的数据源提供了很大的便利，但是这些数据本身的复杂性也是一个挑战。以英国的人口普查数据为例：人口普查主要统计数据 and 快速统计报告为每个人口普查产出地区提供 1450 种不同的统计特征。如何找到其中的主要变量，并摒弃选择的偏见，得到一个相对客观的结果，是一个不易解决的问题。

第三章 研究内容

3.1 框架

针对城市中的各种交互问题，找到合适的研究尺度是给出解答的重点。在两个极端的尺度（即个体-微观，与整个城市的特征-宏观）之间，所有的尺度问题都可以用介观尺度的方法论加以解决。

第一个问题是针对问题的空间区域的提取。我们在利用地理大数据进行研究时，采样精度往往与需要探究的问题不完全一致，需要我们聚合成针对问题的合适尺度。比如，对于社会不平等的剥夺指数问题，研究数据主要是普查数据（普查范围是 ~ 8000 人的无重合空间范围），而与之对应的政策调整范围则是更大的（区、县等数万人到数十万人的）区域。我们利用**扩散映射**技术，在多元数据中找到合适的参量，以针对需要的问题得到合适的空间范围。该方法不会从多元空间数据中选择特定的**列**，而是从完整的数据集中构造一个针对问题的指标。由于其结构，扩散映射所提取的索引不会引入源数据偏见之外的偏见，并且对于数据操纵的企图具有很高的弹性。

第二个问题是介观尺度下的信息传播与共识达成问题。随着城市规模的增大，城市中各个区域的沟通也变得更加紧密。根据 [?], 更频繁的微观尺度交互会使得政策贯彻和城市面对外来冲击的弹性降低。为此，我们借鉴 Hubbell 模型 [?], 考虑不同社区中有若干个体，而每个个体针对一件时事（比如，疫情期间政府对于戴口罩的倡议）都有一个意见，在随机初始状态下意见统一的期望时间。我们发现，加入社区/集合种群等介观结构更容易达成意见统一。其他细致结构也对于我们理解介观结构对于形成城市意见共同体的影响。

第三个问题是介观尺度城市稳定性。城市各组分沟通得紧密也伴随着城市面临外在冲击时，冲击在城市内部快速的传导。城市面对流行病、战争等外来冲击时的抵抗能力通常被概括为城市韧性/稳定性。城市稳定性也对可持续发展的诸多方面（多样性，连通性，去中心化和自给自足）有解释作用。我们试图基于矩阵理论，利用城市中小区块的交互强度提出一种稳定性度量。在此理论下，可以通过求解矩阵的实部为负的特征值所占全部特征值的比例来衡量外来冲击在城市内部爆发的倾向性。

根据我们的理论和实证结果，介观空间单元的交互视角下，城市的空间连续性、一致性、稳定性等特征的结果都与微观尺度交互的结果不同。这说明城市中介观尺度观测结构不

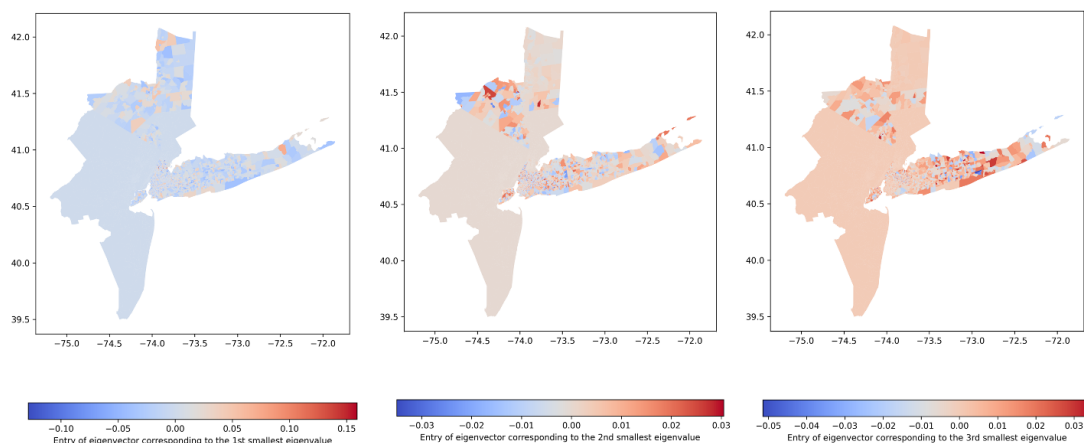


图 3.1: 扩散映射方法下, 人口统计相关矩阵的前三小的正特征值对应的特征向量的空间分布。分别对应着纽约州的教育优势区域、贫困分布、和游客景点。

容忽视, 是城市建模的重要一环。

3.2 研究内容

3.2.1 利用扩散映射提取城市隐藏特征

从认知、规划等角度来讲, 城市空间都不是一个典型的欧氏空间: 同样的欧氏距离下, 穿不穿越河流、人流密集还是稀疏, 都会产生不同的时间消耗和其他感知差异。这个事实说明城市空间的刻画是复杂的, 全局的空间度量很难刻画城市空间的本质。为了更好的描述城市空间, 我们需要更复杂的城市认知框架。数学上基于局部距离定义的流形提供了一个可能的方案。

Diffusionmap 是一种流形学习方法。其出发点在于: 很多多元数据的数据元只能反映客体的一部分特征, 只有将多个条目的 survey 合起来才能得到一个比较完整的刻画。提取多个条目的 survey 的“权重”并不是一件简单的事, 因为很多时候数据的特征是非线性变化的。这种特征往往很难用一种全局度量来衡量。流形强调的是局部性质: 流形 (Manifold) 是局部具有欧式空间性质的空间, 包括各种纬度的曲线曲面, 例如球体、弯曲的平面等。流形的局部和欧式空间是同构的。流形学习假设所处理的数据点分布在嵌入于外维欧式空间的一个潜在的流形体上, 或者说这些数据点可以构成这样一个潜在的流形体。流形是线性子空间的一种非线性推广。以英国的普查数据为例: 英国在每个区域统计两类人口统计学指标: 关键指标和快速指标。总共有 1450 个特征。[Barter and Gross, 2019], 作者用布里斯托及其周边的 3490 个人口统计学单元作为主要研究对象。其中的分析找到了解释统计反馈的主要变量: 大学生密度和贫困程度。

3.3 预期创新点

本文通过引入较多的数学工具，对城市介观尺度下空间模式的提取、交互模式的性质、局部模式的涌现进行研究。本文的几个主要结果改进了地理大数据采集的设计，提出了定量衡量城市政策效果的方法，证明了介观尺度模式涌现的必然性。预期创新点如下：

1. 改进扩散映射方法，引入负相似性的概念

参考文献

- [Acheampong and Silva, 2015] Acheampong, R. A. and Silva, E. A. (2015). Land use–transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions. *Journal of Transport and Land use*, 8(3):11–38.
- [Appleyard, 1980] Appleyard, D. (1980). Livable streets: protected neighborhoods? *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 451(1):106–117.
- [Appleyard et al., 1976] Appleyard, D., Gerson, M. S., and Lintell, M. (1976). *Liveable Urban Streets: Managing Auto Traffic in Neighborhoods: Final Report: Prepared for Federal Highway Administration, Department of Transportation...* US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [Barter and Gross, 2019] Barter, E. and Gross, T. (2019). Manifold cities: social variables of urban areas in the uk. *Proceedings of the Royal Society A*, 475(2221):20180615.
- [Batty, 1971] Batty, M. (1971). Modelling cities as dynamic systems. *Nature*, 231(5303):425–428.
- [Brockmann et al., 2006] Brockmann, D., Hufnagel, L., and Geisel, T. (2006). The scaling laws of human travel. *Nature*, 439(7075):462–465.
- [Dong et al., 2020] Dong, L., O’Keeffe, K., Santi, P., Vazifteh, M., Anklesaria, S., Schlöpfer, M., West, G., and Ratti, C. (2020). The spectral dimension of human mobility. *arXiv preprint arXiv:2002.06740*.
- [Fujita and Ogawa, 1982] Fujita, M. and Ogawa, H. (1982). Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional science and urban economics*, 12(2):161–196.
- [Gonzalez et al., 2008] Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A., and Barabasi, A.-L. (2008). Understanding individual human mobility patterns. *nature*, 453(7196):779–782.

- [Jiang et al., 2017] Jiang, H., Li, Q., Zhou, X., Chen, Y., Yi, S., Wang, H., and Lu, Z. (2017). A collective human mobility analysis method based on data usage detail records. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(12):2359–2381.
- [Louf and Barthelemy, 2013] Louf, R. and Barthelemy, M. (2013). Modeling the polycentric transition of cities. *Physical review letters*, 111(19):198702.
- [Mantegna and Stanley, 1994] Mantegna, R. N. and Stanley, H. E. (1994). Stochastic process with ultraslow convergence to a gaussian: the truncated lévy flight. *Physical Review Letters*, 73(22):2946.
- [Metzler et al., 2007] Metzler, R., Chechkin, A. V., Gonchar, V. Y., and Klafter, J. (2007). Some fundamental aspects of lévy flights. *Chaos, Solitons & Fractals*, 34(1):129–142.
- [Mijling and Van Der A, 2012] Mijling, B. and Van Der A, R. (2012). Using daily satellite observations to estimate emissions of short-lived air pollutants on a mesoscopic scale. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D17).
- [Peng et al., 2012] Peng, C., Jin, X., Wong, K.-C., Shi, M., and Liò, P. (2012). Collective human mobility pattern from taxi trips in urban area. *PloS one*, 7(4):e34487.
- [Raimbault, 2018] Raimbault, J. (2018). Calibration of a density-based model of urban morphogenesis. *PloS one*, 13(9):e0203516.
- [Wachowicz and Liu, 2016] Wachowicz, M. and Liu, T. (2016). Finding spatial outliers in collective mobility patterns coupled with social ties. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(9):1806–1831.