



利用区域人群流动和新兴交通数据支持 疫情防控

詹庆明¹ 范域立¹ 张慧子^{1,3} 肖琨²

¹ 武汉大学城市设计学院,湖北 武汉,430072

² 武汉市测绘研究院,湖北 武汉,430022

³ 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,湖南 长沙,410014

摘要:在传染病疫情早期,对出现疫情的地区进行及时管控、防止疫情跨区域传播,对于减少感染量、减轻疫区应对和救治压力、保障疫情期间社会经济平稳具有重要意义。防止疫情跨区域传播的前提是掌握现有病例在区域中的当前空间分布和预期空间分布。目前常用的人群流动数据仅提供人群的长期驻留地点,而不能提供短期驻留地或者乘坐的交通工具信息,其对流动人群实际带来的疫情传播风险分布表征有一定的局限性。因此,有必要引入电子地图路径规划、列车班次数据等详尽的互联网交通数据,将人群的实际路径纳入对区域疫情分布的考量中。基于人群流动和交通信息,提出了使用时序分析和路径推断的区域疫情风险扩散分析和交通管制支持框架,以期提高应对传染病疫情的区域空间治理能力。在历史人群流动与现有病例分布的基础上,引入公路、铁路路径参数来推断流动人群对途经地区疫情的影响,以疫情初期的病例分布、人群流动和交通情况为例,对该方法进行了分析验证。结果表明,引入路径途经点参数能够明显提高利用人群流动数据拟合疫情空间分布的准确性。

关键词:人群流动;区域交通;疫情防控;决策支持

中图分类号:P208

文献标志码:A

2020年初,新型冠状病毒肺炎(coronavirus disease 2019, COVID-19)疫情在武汉暴发,此次疫情造成中国8万多人感染、4千多人死亡^[1],医疗资源高度紧张,居民生活和生产活动受到严重影响。疫情发生后,众多学者针对传染病疫情的预防和应对,在城市空间形态、城市通风、公共服务配置、社区管理等方面展开了研究或讨论^[2-6],或者根据实际疫情发展情况,探讨宏观防控政策^[7]、城市空间结构^[8]、人群空间交互^[9-10]等因素对疫情的总体发展或在城市尺度上扩散的影响。相比于以上研究,本文主要论述防控疫情跨区域传播的重要意义,以及如何利用区域人群流动和新兴交通数据支撑疫情防控工作。

已有学者利用百度迁徙、腾讯位置数据等人口流动大数据对疫情的区域传播和时空分布进行描述和建模^[11-14],其中最典型的是Li等^[15]利用2018年春运40 d期间和2020年1月的腾讯位置大数据分析COVID-19疫情在全国地级市之间

传播的时空动态,并对COVID-19的传染性和无症状感染者占比进行了推算。但是,单纯的人群流动数据具有一定的局限性。目前,成熟应用的人群流动数据一般建立在探测用户在某地较长期驻留(数小时以上)的基础上。然而,在中国跨区域人群流动数量巨大、区域公共交通网络和公路网络发达的背景下,交通工具和旅客进餐、购物等短期驻留地也可能是疫情传播的重要场所,这些短期驻留地并不会体现在人群流动数据中,但与人群流动的具体路径有密切联系。

因此,本文着重于引入包括交通班次和路径推荐等在内的互联网交通数据,得到区域客流的潜在路径,从而考虑流动人群对长期驻留地和途经地区的影响。在此基础上,提出了一种考虑途经地点传播和二次扩散风险的区域疫情管控决策支持路径,并对其中关键的技术方法进行了阐述和实验验证。

收稿日期:2020-09-07

项目资助:国家自然科学基金(52078389);自然资源部地球观测与时空信息科学重点实验室资助项目(201903)。

第一作者:詹庆明,博士,教授,主要从事国土空间规划信息化研究。qmzhan@whu.edu.cn

1 利用人群流动和交通数据支持疫情防控的必要性

1.1 防控疫情跨区域传播具有重要意义

回顾近一年各国各地区在不同防控策略下的疫情发展态势,有把握认为,将疫情控制在一定范围内,强力防控跨城市、跨区域传播,是疫情防控成功的关键之一。主要体现在:

1)控制疫情的传播范围能够有效减少感染数量。Tian等^[16]指出,武汉市的“封城”措施使疫情传播到其他城市的速度降低了2.54~3.29 d,在COVID-19暴发后的50 d内,避免了全国范围内数十万例病例的发生;Yan等^[17]发现,如果“封城”举措提前5 d,2020年4月底总感染规模将降低66.4%。在中国,截至8月初,武汉市最初两个月的4万多确诊病例仍然占全国累积确诊病例的一半以上;而美国、巴西、印度等其他人口大国在COVID-19广泛传播后,其总确诊病例数迅速上升到数百万至上千万的量级。这表明,较小的传播范围本身限制了疫情传播的总量。

2)小范围的传播有利于对治理和救治资源的集中高效利用,使得当地疫情得到更有效的应对。在湖北省外疫情救治压力普遍较小的情况下,中国采取“一省包一市”等策略,派遣大量异地医疗队缓解湖北省内救治压力,做到应收尽收。而在西班牙、意大利、英国等国家,疫情在数个大城市暴发后迅速扩散,导致各国多个省份出现严重疫情,本地救治压力难以通过异地医疗队有效缓解。

3)局部发生的疫情对社会经济平稳运行的

冲击较小。在中国疫情暴发的第一季度,全国国内生产总值同比负增长6.8%;湖北省内生产总值同比负增长39.2%,其余各省同比负增长均在10%以内。而美国疫情暴发的第二季度,各州经济压力和失业率普遍较高,环比年化负增长达32.9%,接近中国湖北省的负增长率。因此,采取针对性的交通和人群流动管制措施,利于当地和全局的防疫工作。

1.2 防控疫情跨区域传播需要掌握疫情早期的实际病例分布情况

由于传染病疫情及其防控工作的实际特点,防控疫情跨区域传播的管控决策必须建立在已经发生或者将要发生的传播范围基础上,而不是已发现的病例分布范围上。在疫情早期,潜伏期、诊断周期、数据汇总等多方面因素,导致对病例实际分布的判断存在显著的滞后性^[18-20]。因此,防控工作必须基于对当前实际疫情分布的判断,而不是已经发现的病例分布。武汉市于2020-01-23在春运期间因疫情封锁对外交通。假设在“封城”之前,武汉市的春运态势与2018年基本相似,以2018年武汉市春运期间、2018-02-14之前出城人群去向分布建立对确诊病例分布数据的回归方程,如图1所示。容易发现,“封城”后1周出现疫情的地市数量存在系统性的低估,而“封城”3周后的确诊病例分布则与武汉市人群流出情况较为符合。如果在发现明确人传人证据、准备采取交通管制措施时就已经掌握较为准确的疫情分布情况,就会管控更多疫情传播的早期关键节点。

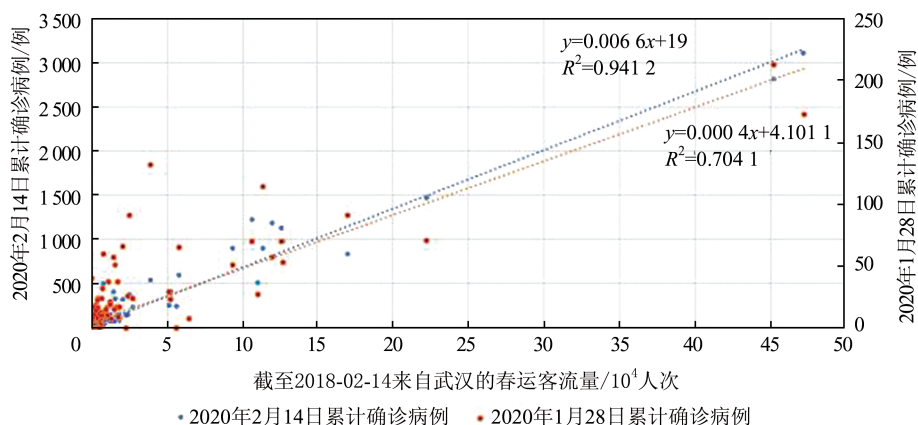


图1 2018年同期人群流动数据与确诊病例分布的回归关系

Fig.1 Regression Relationship Between the Distribution of Confirmed Cases and That of Population Flow in 2018

1.3 疫情早期进行有限规模交通管控的时间窗口较小

人口的快速流动和高度互联的区域交通网

络使传染病疫情可以在尚未发现的早期就迅速扩散到多个区域。如图2所示,自2020年1月中旬春运开始,跨地区出行后被确诊的病例快速增

长,1周内达到1千多人;从空间分布来看,在2020年1月,确诊病例的来源地和去向地数量也迅速增长,到2020年1月第2周时,全国大多数省会城市和交通枢纽都有确诊病例流出,大范围影响了东北、华北和华中地区的主要交通线;到2020年1月底,除少数人口稀少、交通不便的地区以外,确诊病例已在全国范围内广泛出现和扩散。在这些病例中(见表1),来自湖北省外城市的病例占比在60%以上,部分病例的感染路径难以准确追溯,说明在高度密集的人群流动和高度发达互通的区域交通网络下,疫情早期的短时间内,病例的空间分布就可能发展到比较复杂的程度;如果希望采取有限规模的管控措施来防控疫情跨区域传播,时间窗口可能只有疫情被发现后的短短数天。

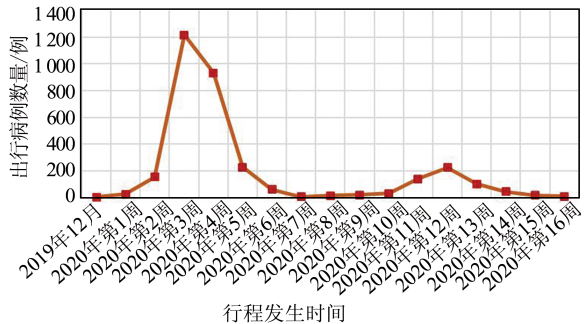


图2 COVID-19确诊病例跨地区行程的时间分布
Fig.2 Temporal Distribution of Regional Trips of Confirmed COVID-19 Cases

表1 COVID-19确诊病例跨地区行程来源地占比
Tab.1 Proportions of the Origins of Regional Trips of Confirmed COVID-19 Cases

来源地	2020年 第1周	2020年 第2周	2020年 第3周	2020年 第4周
其他省外城市	0.48	0.49	0.39	0.50
其他省会城市	0.13	0.12	0.08	0.15
省内其他城市	0.04	0.05	0.03	0.05
武汉市	0.35	0.35	0.51	0.31

2 一种支持区域疫情防控的可能路径

在2003年的非典型肺炎疫情后,有研究者^[21-22]主要使用各地总人口数量、交通线的分布情况、流动人口统计数据等静态数据和各交通站点出站口的检疫数据构建了疫情的区域传播模型。而从§1.3的分析来看,传染病疫情在区域交通高度机动、人口流动性高的条件下呈现出新的特点,使得区域疫情建模和决策支持技术亟待进一步发展。首先,大量从暴发地出发或者在暴发

地集散的客流使得疫情在尚未发现时就已经迅速扩散到全国多个省份;其次,便利的全国公铁路网络和各省份间频繁的人群流动使得疫情迅速演变为多点间网络状的扩散;最后,各等级城市间、城乡之间、邻近的城市或乡镇之间密集的客流往来使得少量的输入性病例就能造成一定规模的地区性疫情。要想有效应对新形势下的疫情扩散问题,需要各级政府在多个尺度上认知分析区域交通网络,并对区域客流进行快速的判断预测,从而采取相应的交通管控、资源调配征用等措施。

现有的研究表明,基于互联网服务和移动通信业务的新兴人群流动数据可用于更好地分析预测区域疫情从暴发地的扩散情况,主要体现在:(1)时间粒度高,一般具备单日甚至更高的时间粒度,能够对不同条件下疫情的时空扩散作出更精细的判断;(2)实时或准实时更新,在防控政策或疫情舆论等对人群流动造成影响的情况下,能够利用近期的人群流动情况对基于历史人群流动情况的预测进行校准,从而得到更准确的扩散模型;(3)通过一系列算法可以判断人群所采用的交通方式。

同时,使用互联网订票系统和电子地图路径推荐等交通网络分析方法可以更好地对疫情传播进行建模和风险评估,并支持交通管制决策。互联网交通数据的优势主要体现在:(1)作为商业数据,其获取和校验具有众包特点,数据完整性和可靠性较高,且数据更新频率、更新持续性有保障,更适用于疫情条件下的快速响应;(2)相比于传统的交通线路数据,它直接提供成本、路径等信息,不需要建立网络模型,不需要进行复杂的运算;(3)包含停站时间、车辆类型、途经地点等详细信息,有利于传播模型的精细化构建;(4)此类数据通过相关应用程序直接影响用户的真实行为,能够更准确地反映旅客的实际交通行为。

考虑到以上因素,本文认为可以构建一种纳入互联网交通数据的区域疫情防控决策支持路径(见图3),主要过程如下:

- 1)在疫情被发现时,以早期病例的患病时间为节点,通过往年可比时间段疫情暴发地的输出客流去向数据推算到达不同地区的病例数目,并利用近期的客流数据进行修正。
- 2)通过电子地图路径推荐接口和实时交通班次信息,推出从暴发地采用不同交通方式前往

其他地区可能路径的概率分布;并根据暴发地往年和近期输出客流中前往不同目的地所采用的交通方式比例,推算在不同地区中转或者停留的地区数目及停留时间。

3)通过社群算法和网络分析方法等分析各级城镇和交通节点联系密切的空间范围、人口规模等;并通过步骤1)、2)中确诊病例分布和路径的推算结果进行加权处理,在不同尺度上评估各地区自身的暴发风险和可能对周边造成的影响程度。

4)根据当前疫情的扩散程度、疫情防控目标和各级城镇与交通节点的潜在风险等,结合各地可以调用的防控资源,制定空间管制和资源调配方案。

5)假设部分交通节点被管控的情况下,模拟管控条件下区域人群流动的可能路径选择,迭代计算该情景可能产生的新风险和需要制定的应对措施。

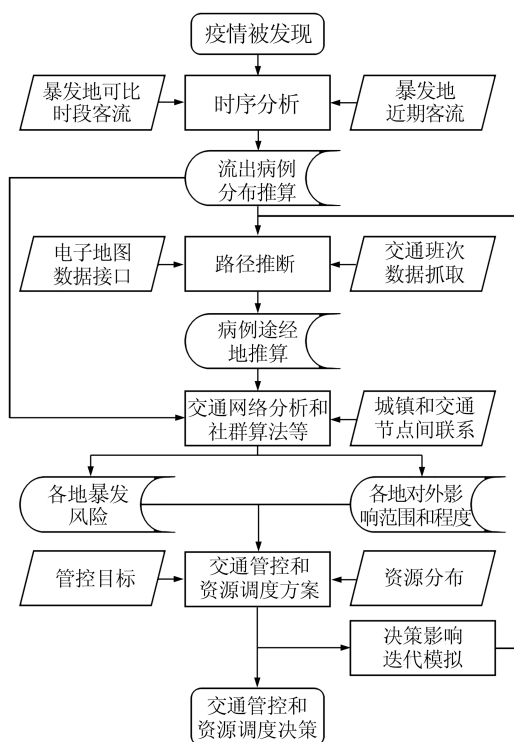


图3 本文提出的决策支持路径

Fig.3 Our Proposed Decision-Support Approach

3 方法与实验

3.1 数据获取与预处理

本文采用的主要数据包括百度人群流动数据、腾讯出行交通方式比例数据、公路交通路径推荐数据和铁路列车班次数据,其中铁路列车班次数据和腾讯交通方式数据来自商业购买。此

处着重介绍另外两种数据的获取与预处理。

1) 人群流动数据

通过百度地图开放平台应用程序接口(application programming interface, API),构建形如“`http://huiyan.baidu.com/migration/historycurve.json? dt=province&.id=' + adcode + '&.type=' + direction + '&.startDate=' + date1 + '&.endDate=' + date2`”的访问链接,可获得从 date1 到 date2 之间以行政代码为 adcode 的地级市为出发地或去向地的逐日迁徙量数据,它可以表征各地级市间的人群流动规模。该数据包含从某城市出发或到达某城市的人群中,其来源或去向城市前 100 位的占比,以及该城市当日总的出发和到达规模。通过来源数据和去向数据的交叉填充,可以覆盖绝大部分存在成规模人群流动关系的城市对。

2) 公路交通路径推荐数据

构建形如“`https://restapi.amap.com/v3/direction/driving? origin=' + olo + '&.destination=' + dlo + '&.strategy=' + strategy + '&.output=' + format + '&.key=' + userkey`”的访问链接,可以获取 WGS84 坐标系下从起点 olo 到终点 dlo 的公路路径推荐信息,该信息包含总路程、预计耗时以及间距 100 m 左右的路径坐标点等。遍历各地级行政单位政府所在地坐标,将其作为起点或终点坐标,在深夜无拥堵条件下,采用默认路径偏好进行推荐路径抓取,以用于公路路径参数计算。

3.2 多交通方式的路径参数构建

利用电子地图 API 和客运班次数据,构建表征区域客流对途经地点潜在影响的参数。由于国内客运航空以点对点直达为主,本文主要考虑公路和铁路交通。

1) 公路路径参数

公路交通具有高度的灵活性。对于公路旅客来说,其可能在中途停留休息等,也可能由于各种因素调整具体的行车路径。同时,无论对于公路公共客运还是公路自驾来说,车辆乘员一般具有大致相同的起终点,对途经地的潜在影响主要体现在较大规模的人群累积的驻留机会。因此,本文主要考虑重复经过次数和停留可能性来构建路径参数。对于每一个空间单元 C ,构建如下形式的参数:

$$P_{\text{公路}0} = \sum_{\text{城市对}(O,D)} C(O) \times N(O,D) \times R_{\text{公路}}(O,D) \times f_1(d(C,O), d(C,D)) \quad (1)$$

式中, $P_{\text{公路}0}$ 表示旅客经公路经过该地可能造成的影响; $C(O)$ 为城市 O 中现有的确诊病例数量; $N(O, D)$ 为从城市 O 到城市 D 的总人群流动量; $R_{\text{公路}}(O, D)$ 为公路交通所占的比例; $d(C, O)$ 和 $d(C, D)$ 分别为 C 到起点和终点的路径距离。城市对 (O, D) 满足从 O 到 D 的公路推荐路径点中至少有一个落在 C 内, $f_1(\cdot)$ 表示从起点 O 到终点 D 的旅客是否会在城市 C 中转。

在缺乏直接的实证数据的情况下, 考虑文献[23-25]中对公路运输接驳等相关问题的研究成果, 假定:

$$f_1 = \begin{cases} 0, d(C, O) < 400 \text{ km} \cup d(C, D) < 400 \text{ km} \\ 1, d(C, O) > 400 \text{ km} \cap d(C, D) > 400 \text{ km} \end{cases} \quad (2)$$

在更加精细化的分析中, 对于乡镇尺度的空间单元 C , 可借助兴趣点数据构建多种如下形式的参数:

$$P_{\text{公路}n} = \begin{cases} 1, C \text{ 内存在高速公路入口/休息站/宾馆等} \\ 0, C \text{ 内不存在此设施} \end{cases} \quad (3)$$

从而更准确地描述在该地的驻留可能性。

2) 铁路路径参数

铁路客运的显著特点是单次列车经过多个站点, 同次列车的乘客可能在列车上交叉传染, 并在各自下车的地点导致二次传播。因此, 本文主要考虑单次列车上存在的中途站点和该次列车的载客人数所造成的累积机会, 构建如下形式的参数:

$$P_{\text{铁路}} = \sum_{\text{车次} T} \sum_{\text{城市对} (O, D)} C(O) \times N(O, D) \times R_{\text{铁路}}(O, D) \times f_2(NT(O, D)) \quad (4)$$

式中, $P_{\text{铁路}}$ 表示旅客经铁路列车经过该地可能造成的影响; $R_{\text{铁路}}(O, D)$ 为从城市 O 到城市 D 的总人群流动量中铁路交通所占的比例; $NT(O, D)$ 为从 O 到 D 的单日总列车车次数量; 车次 T 满足 T 在 C 内停站; $f_2(\cdot)$ 表示从起点 O 到终点 D 的旅客是否会在城市 C 停站。假定:

$$f_2 = NT(O, D)^{-1} \quad (5)$$

3.3 结果和验证

以 2020-01-28 当天公布的各地确诊病例数据为例来推算疫情的进一步发展。根据§1 中的分析可知, 当日公布的确诊病例可大致反映 1 月 10 日左右的疫情分布情况。对于公路路径参数, 由于缺少全国尺度的基础地理信息和兴趣点数据, 仅考虑 $P_{\text{公路}0}$ 。另外, 以简化的参数 $P_0 =$

$\sum_O C(O) \times N(O, D)$ 作为不考虑路径的情况下人群流动对目的地城市 D 的影响的表征。分别在考虑和不考虑交通路径的情况下, 构建该时段的现有病例人数、人群流动和人群来源地病例数据对 3 周后各地实际病例人数的 Pearson 回归方程; 在考虑交通路径时, 将公路和铁路参数作为线性回归的自变量纳入回归方程。结果如下:

1) 仅考虑人群流动起终点时, 对现存病例数的估计值 \bar{N}_1 为:

$$\bar{N}_1 = -0.978N_0 + 0.012P_0 - 14.215 \quad (6)$$

其决定系数 $R^2 = 0.802$, 标准误差为 144.32。

2) 引入路径参数时, 对现存病例数的估计值 \bar{N}_2 为:

$$\begin{aligned} \bar{N}_2 = & -0.9647N_0 + 0.018P_0 + \\ & 4.77 \times 10^{-5}P_{\text{公路}0} + \\ & 2.23 \times 10^{-6}P_{\text{铁路}} - 11.9709 \end{aligned} \quad (7)$$

其决定系数 $R^2 = 0.862$, 标准误差为 101.10。

容易发现, 各地现有病例数量与 3 周后病例人数呈现显著的负相关关系, 这可能与疫情严重地区所采取的更严厉的管制措施有关; P_0 与 3 周后病例人数呈现显著正相关, 与现有研究的基本结论一致; 同时, 在增加公路、铁路路径参数后, 回归模型的表现明显提升, 表明考虑人群的运动路径及其对路径上的城市的影响有助于更精准地预判疫情的传播情况。

4 结 语

本文分析了 COVID-19 疫情早期在中国的传播情况和不同防控策略下各地疫情发展态势, 指出在疫情早期明确疫情实际分布情况、防控跨区域传播具有重要意义; 探讨了基于互联服务和移动通信业务的人群流动数据与基于互联网订票系统和电子地图路径推荐的交通网络数据所具有的特点, 指出利用现有人群流动数据对疫情的区域分布建模具有一定的局限性, 需要结合两者构建更为精准、迅速的疫情扩散模型, 从而支撑传染病疫情中的区域管控决策; 在此基础上, 提出了一种能够在发现疫情后迅速反应、在不同尺度上展开风险评估和决策支持并响应人群活动对决策行为反馈的实现路径。进一步地, 本文阐述了引入人群流动路径的关键技术方法, 并通过回归分析验证了引入人群流动实际路径对提高疫情传播模型的性能有重要作用。

参 考 文 献

- [1] 国家卫生健康委员会. 截至11月25日24时新型冠状病毒肺炎疫情最新情况[OL]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/202011/d721ef339f314586971cde438f0aa269.shtml>, 2020(National Health Commission of the People's Republic of China. Latest Updates on COVID-19 Epidemic as of 24:00, November 25th[OL]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/202011/d721ef339f314586971cde438f0aa269.shtml>, 2020)
- [2] Shi Xing. Urban Form, Urban Ventilation and Aerosol Transmission of COVID-19 Virus [J]. *City Planning Review*, 2020, 44(2), DOI: 10.11819/cpr20201611v(石邢. 城市形态、城市通风与新型冠状病毒的气溶胶传播[J]. 城市规划, 2020, 44(2), DOI: 10.11819/cpr20201611v)
- [3] Zhou Suhong. Planning and Governing Space for Safety and Health [J]. *City Planning Review*, 2020, 44(2), DOI: 10.11819/cpr20201623v(周素红. 安全与健康空间规划与治理[J]. 城市规划, 2020, 44(2), DOI: 10.11819/cpr20201623v)
- [4] Tang Yan. Challenges and Responses of Community Governance in the Prevention and Control of Novel Coronary Pneumonia: From Perspectives of Urban-Rural Planning and Public Health [J]. *Nanjing Journal of Social Sciences*, 2020(3):8-14, 27(唐燕. 新冠肺炎疫情防控中的社区治理挑战应对: 基于城乡规划与公共卫生视角[J]. 南京社会科学, 2020(3):8-14, 27)
- [5] Li Yingsheng. How Social Forces Can Orderly Participate in the Management of Major Public Health Emergencies [J]. *Journal of Social Sciences*, 2020(4):68-76(李迎生. 社会力量如何有序参与重大突发公共卫生事件治理——基于新冠肺炎疫情防控实践的研究[J]. 社会科学, 2020(4):68-76)
- [6] Zhang Guohua. Inspirations for Modern City Development and Effective Allocation of Public Services [J]. *City Planning Review*, 2020, 44(2), DOI: 10.11819/cpr20201627v(张国华. 现代城市发展启示与公共服务有效配置——应对2020新型冠状病毒肺炎突发事件笔谈会[J]. 城市规划, 2020, 44(2), DOI: 10.11819/cpr20201627v)
- [7] Zhang Liying, Li Dongchen, Ren Jingli. Analysis of COVID-19 by Discrete Multi-stage Dynamics System with Time Delay [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(5): 658-666(张李盈, 李东宸, 任景莉. 多阶段动态时滞动力学模型的COVID-19传播分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(5): 658-666)
- [8] Li Xin, Zhou Lin, Jia Tao, et al. Influence of Urban Factors on the COVID-19 Epidemic: A Case Study of Wuhan City [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(6): 826-835(李欣, 周林, 贾涛, 等. 城市因素对COVID-19疫情的影响——以武汉市为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(6): 826-835)
- [9] Feng Mingxiang, Fang Zhixiang, Lu Xiongbo, et al. Traffic Analysis Zone-Based Epidemic Estimation Approach of COVID-19 Based on Mobile Phone Data: An Example of Wuhan [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(5): 651-657, 681(冯明翔, 方志祥, 路雄博, 等. 交通分析区尺度上的COVID-19时空扩散推估方法: 以武汉市为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(5): 651-657, 681)
- [10] Chen Xiaohui, Liu Junnan, Xu Li, et al. Construction of the COVID-19 Epidemic Cases Activity Knowledge Graph: A Case Study of Zhengzhou City [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(6): 816-825(陈晓慧, 刘俊楠, 徐立, 等. COVID-19病例活动知识图谱构建——以郑州市为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(6): 816-825)
- [11] Li Deren, Shao Zhenfeng, Yu Wenbo, et al. Public Epidemic Prevention and Control Services Based on Big Data of Spatiotemporal Location Make Cities more Smart [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(4): 475-487, 556(李德仁, 邵振峰, 于文博, 等. 基于时空位置大数据的公共疫情防控服务让城市更智慧[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(4): 475-487, 556)
- [12] Liang Ze, Wang Yueyao, Sun Fuyue. Geographical Pattern of COVID-19 Incidence of China's Cities: Role of Migration and Socioeconomic Status [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2020, 33(7): 1 571-1 578(梁泽, 王玥瑶, 孙福月. 我国城市新冠肺炎发病率的地理分布格局: 人口迁徙与社会经济因素的影响[J]. 环境科学研究, 2020, 33(7): 1 571-1 578)
- [13] Liu Yi, Li Yuan, Li Zhuoling, et al. Diffusion Characteristics of the Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in Guangdong Province [J]. *Tropical Geography*, 2020(40): 367-374(刘逸, 李源, 黎卓灵, 等. 新冠肺炎疫情在广东省的扩散特征[J]. 热带地理, 2020(40): 367-374)
- [14] Li Jianjun, He Shan. Population Movement, Information Dissemination Efficiency and Disease Control: Evidence from Corona Virus Disease 2019 [J]. *Journal of Central University of Finance & Economics*, 2020(4): 116-128(李建军, 何山. 人口流

- 动、信息传播效率与疫情防控——基于新型冠状病毒肺炎(COVID-19)的证据[J]. 中央财经大学学报, 2020(4):116-128)
- [15] Li R, Pei S, Chen B, et al. Substantial Undocumented Infection Facilitates the Rapid Dissemination of Novel Coronavirus (SARS-CoV2) [J]. *Science*, 2020, 368(6 490): 489-493
- [16] Tian Huaiyu, Liu Yonghong, Li Yidan, et al. An Investigation of Transmission Control Measures During the First 50 Days of the COVID-19 Epidemic in China [J]. *Science*, 2020, 368(6 491): 638-642
- [17] Yan Zifeng, Zeng Zhiqi, Wang Ke, et al. Modified SEIR and AI Prediction of the Epidemics Trend of COVID-19 in China Under Public Health Interventions [J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2020, 12 (3): 165-174
- [18] Lauer S A, Grantz K H, Bi Q, et al. The Incubation Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) from Publicly Reported Confirmed Cases: Estimation and Application[J]. *Ann Intern Med*, 2020, 172(9):577-582
- [19] Zhang Xin, Lin Hui, Zhu Changming, et al. Spatio-temporal Characteristics and Dynamic Process Analysis of Epidemic Diagnosis Time of COVID-19 at Early Stage in Chinese Mainland[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45 (6): 791-797(张新, 林晖, 朱长明, 等. COVID-19 疫情早期中国确诊时间的时空特征及动态过程分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(6): 791-797)
- [20] 国家卫生健康委员会. 疫情防控动态: 2020 年 2 月 17 日新闻发布会文字实录[OL]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqfkdt/202002/f12a62d10c2a48c6895cedf2faea6e1f.shtml>, 2020(National Health Commission of the People's Republic of China. Updates on COVID-19 Epidemic: Transcript of the Press Conference on February 17th, 2020[OL]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqfkdt/202002/f12a62d10c2a48c6895cedf2faea6e1f.shtml>, 2020)
- [21] Liu Yalan, Yan Shouyong, Li Xiaowen, et al. Study on Population Migration Characteristics in Mainland China and Its Applications to Decision-Making for SARS Control [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(4): 273-276(刘亚岚, 阎守邕, 李小文, 等. 中国内地人口流动空间规律研究及其在 SARS 控制宏观决策中的应用[J]. 遥感学报, 2003, 7(4): 273-276)
- [22] Yang Hua, Li Xiaowen, Shi Hong, et al. Fly Dots Spreading Model of SARS Along Transportation [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(4): 251-255(杨华, 李小文, 施宏, 等. SARS 沿交通线的“飞点”传播模型[J]. 遥感学报, 2003, 7(4):251-255)
- [23] Rong Li. The Organization Modes of Transshipment of Long Distance Passenger Transport on the Highway[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015(荣理. 高速公路长途客运接驳运输组织模式研究[D]. 成都:西南交通大学, 2015)
- [24] Xun Rong. Study on Road Passenger Station Planning Based on Urban-Rural Integration[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010(邰荣. 基于城乡客运一体化的道路客运站规划研究[D]. 西安:长安大学, 2010)
- [25] Wang Jincheng. Research on the Organization of High-Speed Passenger Transport Based on Node Transportation [D]. Tianjin: Tianjin University, 2002(王金城. 基于结点运输的高速客运组织化问题研究[D]. 天津:天津大学, 2002)

Supporting Epidemic Control with Regional Population Flow Data and Nova Transportation Data

ZHAN Qingming¹ FAN Yuli¹ ZHANG Huizi^{1,3} XIAO Kun²

¹ School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China

² Wuhan Geomatics Institute, Wuhan 430022, China

³ PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China

Abstract: It is imperative to prevent interregional transmission in the early stages of an epidemic for both controlling the epidemic and ensuring socioeconomic stability. The premises of such exercise are knowing the present and upcoming spatial distribution of any existing cases. During the coronavirus disease 2019 (COVID-19) epidemic, researchers have used location-based services data to extract the origins and destinations (下转第 202 页)

years, with the development of hardware, data sets, and algorithms, stereo matching methods based on deep learning have received extensive attention and achieved great success. However, these works are mainly validated in close-range images, and the evaluation on remote sensing aerial images is scarce. This paper reviews deep learning methods for stereo matching, and selects five representative models, such as GC-Net (geometry and context network), PSM-Net (pyramid stereo matching network), GWC-Net (group-wise correlation stereo network), GA-Net (guided aggregation network), HSM-Net (hierarchical deep stereo matching network), and applies them to a set of open source street-scene datasets (KITTI2015) and two sets of aerial remote sensing image datasets (München, WHU). The various networks are analyzed, and the performance of deep learning stereo matching methods is discussed and compared to traditional methods. The experimental results reveals that most of the deep learning methods exceed the classic semi-global matching and had a powerful generalization ability on cross-dataset transfer.

Key words: dense matching; deep learning; aerial remote sensing image

First author: JI Shunping, PhD, professor, specializes in digital photogrammetry, computer vision, remote sensing image processing, and deep learning, etc. E-mail: jishunping@whu.edu.cn

Corresponding author: LUO Chong, postgraduate. E-mail: 2484884430@qq.com

Foundation support: The National Key Research and Development Program of China (2018YFB0505003).

引文格式: JI Shunping, LUO Chong, LIU Jin. A Review of Dense Stereo Image Matching Methods Based on Deep Learning[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(2): 193-202. DOI: 10.13203/j.whugis20200620 (季顺平, 罗冲, 刘瑾. 基于深度学习的立体影像密集匹配方法综述[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(2): 193-202. DOI: 10.13203/j.whugis20200620)

.....
(上接第 149 页)

of travelers and thus analyze the spatial distribution of the epidemic. However, these data can only provide positions of long-term stays of travelers, but not short-term stops and the vehicles they are taking, which are also common spaces of transmission. Hence it is necessary to introduce online transportation data such as route recommendation and train tables to characterize the route taken by interregional travelers when evaluating the distribution of existing cases. We propose an approach to support risk evaluation of regional epidemic spread and regional transportation control, aiming to improve our spatial governing capabilities in face of an epidemic. It involves estimating outflow cases using recent population flows and previous comparable flows, projecting the probable route they will take using online map route recommendation and flight calendar/train tables, locating short-term stops according to the projected routes, and thus formulating transportation restriction policies to lower further regional transmission. The key and distinct step of this approach is to locate potential stops of regional travelers, which is achieved by combining the proportion of transportation mode choice and minimum time strategy. The effectiveness and necessity of introducing probable routes are verified with active cases data, population flow data and transportation data in January, 2020. Results show that introducing anticipated short-term stops significantly improves the fitting performance of population flow data to spatial distribution of active COVID-19 cases.

Key words: population flow; regional transportation; epidemic control; decision support

First author: ZHAN Qingming, PhD, professor, specializes in digitalization of spatial planning. E-mail: qmzhan@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (52078389); Founded by Key Laboratory of Earth Observation and Geospatial Information Science, Ministry of Natural Resources (201903).

引文格式: ZHAN Qingming, FAN Yuli, ZHANG Huizi, et al. Supporting Epidemic Control with Regional Population Flow Data and Nova Transportation Data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(2): 143-149, 202. DOI: 10.13203/j.whugis20200191 (詹庆明, 范域立, 张慧子, 等. 利用区域人群流动和新兴交通数据支持疫情防控[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(2): 143-149, 202. DOI: 10.13203/j.whugis20200191)