

# 城市智能治理中的感知、反馈与闭环\*

张洪谋\*\*

**摘要:** 随着智慧城市建设的不断发展,许多城市进行了多部门、长周期、大尺度的基础数据积累、整合和数据平台建设,但很大程度上仍停留在“重数据、轻算法”“重平台、轻应用”的阶段。基于城市智能治理和智慧城市的理论与案例分析,我们提出应当将城市数据,特别是城市实时大数据作为城市治理中的“传感器”,将城市政策在各部门中的作用结果通过实时数据进行建模、计算、求解和政策效果评估,进而反馈进入下一阶段的政策制定过程当中,并将这一过程“算法化”和“自动化”,即形成数字治理的“闭环”。在本文中,我们介绍阿姆斯特丹、内罗毕和三亚三个城市在城市环境治理、公共基础设施和政务便民服务三个领域实现城市智能治理闭环的例子,并通过统计学中的贝叶斯学派的观点来阐释这一闭环形成的政策逻辑。本文还将讨论这一政策过程的范式性转变在实践中可能存在的风险及其理论解释。

**关键词:** 城市智能治理;智慧城市;城市感知;反馈;闭环;贝叶斯

**Abstract:** With the development of smart city governance, many cities have accumulated and integrated multi-departmental, long-term, and large-scale urban data, alongside with their data platforms. However, these cities are still largely at the stage of “data more than algorithms”, and “platforms more than applications”. Based the theoretical and empirical analysis of urban intelligent and smart governance, we pro-

---

\* 本文为北京大学公共治理研究所一般项目“智慧城市的社会视角”(YBXM202114)的研究成果。

\*\* 张洪谋,北京大学政府管理学院助理教授,北京大学公共治理研究所研究员。

pose 1) to consider these real-time urban data as the “sensors” in urban governance, 2) to assess urban policies through modeling, calculating, and evaluating these real-time data, and 3) eventually by “algorithmizing” and “automating” the process, to form the “closed loop” of urban intelligent governance. In this article, we introduce and analyze three cases of urban environmental governance, public infrastructure provision, and civic service responses in Amsterdam, Nairobi, and Sanya, respectively, to illustrate how the “closed loops” of urban intelligent governance might be like. We employ the Bayesian perspectives in statistics to explain the policy logic of the closed loops. At the end of the article, we also discuss the potential risks and possible theoretical explanations of this urban policy’s paradigm shift.

**Key words:** Urban intelligent governance, Smart city, Urban sensing, Feedback, Closed-Loop, Bayesian

## 一、引言

城市智能治理是智慧城市发展阶段的新形态,要求城市治理从“‘人工发现’向‘智能发现’转变”,其中“智能发现”指依靠信息识别、大数据组织、数据挖掘等技术手段对城市中的问题进行自动化处理,<sup>①</sup>或称之为城市治理“数智化”过程。<sup>②</sup>在这一发展阶段中,首先需要解决的问题是对于“发现”这一抽象概念的物理实现,也就是如何识别、观测出城市治理中需要解决的问题。这一物理实现过程也被一些学者称为城市感知(senseable)过程。<sup>③</sup>

学术界对城市智能治理、智慧城市治理或城市治理数字化等相关概念的理论解释已有一定的基础,如学者们将城市治理智能化的过程定义为“通过信息系统的整合弥合服务型政府建设中福利与便利的缝隙,并在此基础之上不断推进治理

---

① 沈体雁等:《城市数字治理理论与实践——“一网共治南京模式”》,社会科学文献出版社 2023 年版。

② 张建峰等:《数智化:数字政府、数字经济与数字社会大融合》,电子工业出版社 2022 年版。

③ Picon, Antoine & Ratti, Carlo, *Atlas of the Senseable City*, New Haven: Yale University Press, 2023.

的精细化”<sup>①</sup>；“运用最新技术对城市资源要素、公共事务等进行精细化、标准化、动态性和无缝隙管理”<sup>②</sup>；“人脑和城市大脑相互交互、相互分工和协同发展的过程”<sup>③</sup>；等等。但这些定义或描述往往基于现象学分析、机构或功能阐释，或对未来发展方向进行政策探讨，缺乏对其“运行过程”的政策逻辑的理论解释。

相比基于人脑的城市治理，城市智能治理作为一种城市政策制定与评估过程，具有实时性、动态性与高频性，并且极大依赖城市数据传感器、人工智能、时空优化等工具。这些特征导致了对这一政策的制定、实施与评估，其政策的理论逻辑解释也需要建立新的分析框架。因此，本文将试图从理论化阐释、实践案例和风险挑战等三个方面对这一过程展开分析，并按照以下方式进行组织。在第二节中，我们将探讨“感知”技术的发展对于城市治理的影响与作用，以及在城市治理中“反馈”与“闭环”的政策含义。在第三节中，我们将通过统计学中贝叶斯学派的观点，解释这一政策闭环的理论逻辑。在第四节中，我们将通过城市治理领域学者和地方政府于阿姆斯特丹、内罗毕与三亚进行的关于城市环境治理、公共基础设施服务与政务便民服务的三个城市智能治理实践案例，来实例化我们提出的理论模型。最后，我们将在第五节中对城市智能治理形成闭环之后的若干理论与实践问题进行辨析，并对全文进行小结。

## 二、感知、反馈与闭环的建立

不同类型的“传感器”技术发展极大丰富了城市政府对不同类型信息的感知，为不同部门的城市治理需求提供了动态化、多样化的数据来源。在城市治理中至少包括以下几类传感器的应用，从城市物理系统到社会系统可如下分类：一是对于城市环境质量信息的感知，如空气污染监测、水体水质检测设备；二是交通与土地利用情况的动态感知设备，包括交通摄像头、卫星遥感影像、街景数

① 薛泽林、孙荣：《人工智能赋能超大城市精细化治理——应用逻辑、重要议题与未来突破》，《上海行政学院学报》2020年第2期。

② 辜胜阻、王敏：《智慧城市建设的理论思考与战略选择》，《中国人口·资源与环境》2012年第5期。

③ 李文钊：《数字界面视角下超大城市治理数字化转型原理——以城市大脑为例》，《电子政务》2021年第3期。

据、车载定位系统(GPS);三是对于城市人群的空间位置和活动的实时感知技术,包括手机的定位与轨迹、公共场所的摄像头、无线网络(Wi-Fi)和蓝牙的连接;四是对于社交媒体、自媒体等内容的语义信息感知,可用于舆情监测、群体情绪识别等。

由于城市是人类活动高度密集的区域,这些传感器可以动态、实时地产生传统城市治理手段难以收集和处理的“海量”数据,因此对于城市治理的能力和技术手段提出了极大的新挑战,甚至将引发治理模式的范式性转变。需要指出的是,在城市研究领域长期存在对于“城市主义”(urbanism)一词过度使用的情况。这一术语往往与其他术语组成词组,如“基础设施城市主义”“数字城市主义”等,用以表达突出城市中某一部门或方面(基础设施、数字化)在城市发展与治理中的重要地位的思潮。<sup>①</sup>在传感器技术对于城市智能治理产生重要理论和实践影响之际,我们或许可以认为感知城市也日渐成为一种城市治理中的新思潮,即感知城市主义(senseable urbanism)。

感知可以为城市治理提供重要的信息来源,但感知本身并不产生任何政策。因此,从感知到城市治理的过程必然伴随着其他具有“思考性”与“动作性”的部分,即本文标题所使用的“反馈”与“闭环”过程。具体来说,从感知到反馈的过程中还包括两个步骤:一是对通过感知得到的数据进行分析、求解、优化进而形成政策的过程,二是对这一求解优化的政策加以实施的过程,二者缺一不可。这里我们可以做一个类比:美国麻省理工学院的校训为Mens et Manus,意为“头脑与双手”。<sup>②</sup>作为一个工科院校,麻省理工学院在校训中突出了在工程领域解决问题时理论方法和实践过程并重的思路。但解决现实问题,往往还需要基于对现实世界的观测感知。因此,我们需要把感知过程也纳入其中,转化为Oculi, Mens et Manus,即城市智能治理过程中需要的三要素:眼睛、头脑与双手。

与仅以类比方式定义的“感知”不同,“反馈”与“闭环”具有更确切的词源,这两个词原本为系统论与控制论中的基本概念。其中,“反馈”(feedback)

① Barnett, Jonathan, “A Short Guide to 60 of the Newest Urbanisms,” *Planning*, April 2011.

② MIT Division of Student Life, *2022-23 Mind & Hand Book*, Massachusetts Institute of Technology, 2022.

原本指一个系统的输出经过某些环节又重新返回系统中，成为系统的输入。<sup>①</sup>而“闭环控制”（closed-loop controller），相较于“开环控制”（open-loop controller）而言，就是指有反馈的控制系统。其主要差别在于，闭环控制系统中的操作依赖于系统本身的输出，根据输入再对系统状态进行调节。<sup>②</sup>

可以通过两个简单的例子对“感知”“反馈”“闭环”的关系进行简要说明。例如，在一个有温度传感器的房间中进行恒温控制时，通过温度传感器形成的输入（感知），反馈到温度控制模块，由温度控制模块根据当前温度与预先设置的适宜温度进行比较，从而决定是加热还是制冷（反馈）。这一流程可以实时、不断进行，并且不需要人进行中间干预，进而形成闭环。一个更复杂并且与城市更相关的例子是共享出行平台的车辆调度系统。例如，在滴滴、优步（Uber）等共享出行平台的运营中，可以通过司机与乘客的实时位置与实践动态感知到城市中不同区域的出行需求（感知），通过优化计算、价格或者信息发布等方式引导司机到特定城市高需求区域接单（反馈），进而提高订单数量，实现平台运营利润的不断优化。这一过程同样可以通过提前编写的优化算法，基于动态实时数据的不断输入，实现自动化的司机、车辆调度过程（闭环）。

城市智能治理与这两个例子有若干共同特征。一是城市治理同样存在通过收集数据、加以分析、形成新政策的“感知—反馈”过程。例如，城市环境治理需要通过环境数据的感知确定新的治理方向与手段，城管综合执法也需要就城市中存在的公共安全、卫生、市容等问题进行数据收集，并根据其分布情况进行定向干预与处置。二是这一“闭环”过程同样具有动态性和实时性，特别是在城市交通、环境污染、舆情监测等领域，会出现以分钟或秒级更新的“高动态”数据。对这些城市感知如通过人工手段进行治理，往往会由于处理方式显著慢于情况变化的速度而无法形成有效的治理对策，因此往往需要“自动化”“智能化”手段，对这些领域出现的智能治理问题进行直接回应。这一过程也可以称为“闭环”的建立过程，即从城市感知输入到自动产生政策输出，并且进一步感知观测政策调整对输入的影响（反馈），循环往复，不断进行。

① Wiener, Norbert, “Cybernetics,” *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, Vol. 3, No. 7, 1950.

② 谢科范、余肖禹：《基于双向闭环思维的复杂科学管理方法集研究》，《复杂科学管理》2020年第1期。

### 三、城市智能治理的“贝叶斯化”(bayesianization)

上文已经就城市智能治理在实践过程中形成闭环的方式进行了简要论述。但是在理论层面,这一闭环过程的建立意味着怎样的政策逻辑变迁,并非不言自明。在本节中,我们拟使用统计学中贝叶斯学派的观点试对这一逻辑进行理论阐释。

我们需要先就何为“贝叶斯”做简要的说明。在传统的统计学世界观(也被称为“频率学派”)中,一个随机事件的发生概率或一个统计分布的参数被认为是“基本事实”(ground truth)。这些基本事实可能不被观测者所知,但是其存在是客观的,其数值也是固定的。传统的统计学模型的发展基本可以归纳为对这些客观存在的数字,通过观测进行估计的过程。例如,基于频率学派的观点,在样本中一个事件发生的比例(频率的比值)就可以作为这个事件发生概率的一个估计。

相比于频率学派对于概率的认知,贝叶斯学派(得名于英国统计学家、哲学家托马斯·贝叶斯[Thomas Bayes])则认为,概率实际上代表了对于这件事发生的“信念”(belief),或称为对于这件事发生的可能性的“认知”(perception)。贝叶斯学派并不关心关于概率的基本事实为何。或者说相比于终极无法获得的基本事实,贝叶斯学派更关心如何“提升”对于概率的认知。<sup>①</sup>

在贝叶斯学派的观点中,“先验”(prior)与“后验”(posterior)是最为重要的一组概念,二者的关系是基于不断观测对先验信息进行更新,进而形成新的后验。这一更新方式可以由著名的贝叶斯定理进行解释。贝叶斯定理的基本形式如下:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

其中 A 与 B 代表两个任意的随机事件,我们可以将其替换为我们关心的任何信息。例如,我们关心现实世界中一个随机分布的参数  $\theta$ , 并试图通过收集来自这

---

<sup>①</sup> Fienberg, Stephen E., “When Did Bayesian Inference Become ‘Bayesian’?” *Bayesian Analysis*, Vol. 1, No. 1, 2006.

个随机分布的数据  $D$  来不断更新我们对于这个参数估计的“认知”。按照贝叶斯学派的观点，我们无法获得  $\theta$  的真实值，而只能不断更新我们对于  $\theta$  的认知，或者  $\theta$  的概率  $P(\theta)$ 。同样，我们从一个概率分布中获得什么样的数据也是随机事件，具有概率分布  $P(D)$ 。将这两个概率带入贝叶斯定理，我们即可获得下式：

$$P(\theta | D) = \frac{P(D | \theta)P(\theta)}{P(D)}$$

在这个公式中，我们可以把  $P(\theta)$  称为对于  $\theta$  的先验认识，而基于我们收集到的数据的相关信息  $\frac{P(D | \theta)}{P(D)}$  对  $P(\theta)$  进行更新，获得对于  $\theta$  的后验认识  $P(\theta | D)$ 。事实上，由于我们可以不断收集新的信息  $D$ ，对  $\theta$  的认识过程可以不断更新。在不断更新的过程中，先前获得的后验  $P(\theta | D)$  又成为新的先验。

这一过程与我们前文所描述的城市智能治理的闭环过程在逻辑和实践操作的思路上均保持一致。因此，我们可以借由此公式来精确地描述城市闭环中所实现的政策逻辑。在城市智能治理中， $D$  代表的信息为城市感知过程，即从纷繁复杂的城市生活中通过各种传感器获取的信息，而  $\theta$  代表了某种广义的“政策”或城市治理的策略、方式、手段。我们需要通过不断收集新的  $D$  来不断更新城市治理的策略，这样，正对应于前文我们所提到的闭环过程。

需要说明的是，单独一个贝叶斯公式并不能体现闭环过程，仅仅体现了上文所说的“认知更新”这一步。而需要将后验  $P(\theta | D)$  带回先验  $P(\theta)$ ，不断迭代，才完成了闭环。事实上，在城市智能治理中，这一过程一定是不断往复、循环前进的，并且由于数据收集和计算的自动化，它往往以高频率、动态性的形式出现，如智能基础设施的实时调度。因此，单独的贝叶斯公式并不能作为完整的城市智能治理闭环的理论解释，而贝叶斯公式的自我迭代才是这一过程的完整阐释。

社会科学中存在建构主义与现实主义两种思维方式，基于贝叶斯学派解释的城市智能治理更接近现实主义的政策制定逻辑，即通过对城市状况的不断感知来进行实时调整，以制定出解决当前城市治理问题的最佳策略。虽然广义上的政策制定并不能完全建立在现实主义的逻辑之上，特别是对于国家治理等宏观政策而言，往往需要建构主义确定的一些基本原则。但是，对于常常需要面对实时、具体且具有高动态需求的城市治理问题来说，这一政策逻辑往往是可行且必要的。

为了论证在哪些情形下这一逻辑是确有必要的,我们从既有城市智能治理的研究中试举三个例子。

## 四、城市智能治理闭环的三个实践案例

在本节中,我们选择城市治理谱系上处于不同发展阶段国家(荷兰、中国与肯尼亚)的三个典型案例进行分析,用以实例化上文所建立的理论阐释。其中,荷兰是欧洲发达国家,由于经济社会发展具有良好积累,在城市数据基础设施建设、科技研发能力、城市治理水平等方面都具有良好积累。肯尼亚是典型的发展中国家,相对于发达国家,虽然其城市数据基础设施建设滞后,并且城市的基本公共服务提供都还有明显短板,但依然可以在使用有限数据的情况下通过智能治理手段对城市的公共服务水平进行显著提升。第三个例子为中国城市三亚。作为发展中国家,中国在城市治理水平方面同样存在很大的提升空间。但相比于其他发展中国家,得益于近二十年的大规模数据基础设施建设,中国的部分城市具有可与发达国家相较的良好数据条件。亟待提高的城市治理能力与良好的数据条件这一并不常见的组合,使中国的城市案例处在一个显著不同于另外两个案例的特殊位置上。

通过城市智能治理谱系上三种不同城市的选择,本文希望说明,城市智能治理闭环的建立,并不是仅在数据条件良好或治理水平达到较高层次的城市才能实现。在不同发展阶段国家的城市中,都可以通过现有数据条件对城市智能治理水平进行有效提升。

### (一) Roboat: 从环境感知到环境治理

2021年前后,美国麻省理工学院感知城市实验室与荷兰阿姆斯特丹市(该市的主要负责单位是先进都市解决方案研究所,即 Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions,简称AMS)共同提出了一个著名的城市智能环境治理的实践案例 Roboat。<sup>①</sup>这一试验项目聚焦于使用自动驾驶船(称为 Roboat,即 robot 和 boat 的缩合词)解决阿姆斯特丹市面临的多项城市环境治理问题。阿姆斯特丹市

---

<sup>①</sup> Duarte, Fábio et al., "Reimagining Urban Infrastructure through Design and Experimentation: Autonomous Boat Technology in the Canals of Amsterdam," in Katharine S. Willis & Alessandro Aurigi (eds.), *The Routledge Companion to Smart Cities*, London: Routledge, 2020, pp. 395-410.

以密布的运河网络著称：一方面，河网密布的水质监测是一个费时费力的工作；另一方面，由于河网密布，道路交通往往要依靠桥梁跨越河道。而桥梁分布相对一般道路来说较为稀疏，导致城市内交通联系渠道受限，容易发生交通拥堵，进一步造成汽车尾气等其他环境污染。

Roboat 作为一种无人驾驶船只，从多个方面对阿姆斯特丹市环境治理能力提升。首先，作为无人驾驶船只，这些 Roboats 可以在城市的密布河网中自动巡弋，实时动态监测不同城市位置的水体微生物、污染物状况。其次，无人驾驶船只可以依托运河提供一种“按需预约”（on-demand）的交通工具，类似于路面的无人驾驶网约车，分担路面交通压力。再次，无人驾驶船只也可以起到城市内部货运的作用，减少货运卡车使用。最后，在同一思路下，无人驾驶船只还可以用于运输城市生活垃圾，减少了路面垃圾车的数量。在后两点中，货运卡车和垃圾车由于体量较大，难于转圈，往往对交通拥堵产生很大的影响。而无人驾驶船只因为不需要驾驶员，可以自动定位、寻址导航，因此可以轻量化、小型化。所以，即使对于大量的垃圾清运需求，也可以少量多次、蚂蚁搬家的方式解决，并不会对河网造成拥堵，并能较大缓解路面交通压力。

这一方案从感知（对河网水体的监测，但更重要的是对城市内部不同区域人流、货流、废品流的运输需求的感知）出发，并通过无人驾驶技术与整个船队的优化调度技术，最大化利用河网的运输能力，分担城市交通路面压力，进而多角度解决城市环境治理问题，形成环境治理闭环。这一过程中的“贝叶斯化”体现在对于船队的实时调度上：在城市的动态运行过程中，城市的不同区域每时每刻都会产生新的人货运输需求，而通过对于每一时刻新的城市需求感知  $D$ ，更新最优的调度方式  $P(\theta | D)$ ，就是我们上文所提到的不断更新后验的过程。这一实践案例被学者总结为“可编程城市”（programmable city）和“回应性自动基础设施”（responsive autonomous infrastructure）。<sup>①</sup>

## （二）Digital Matatus：基础设施与基本公共服务

相比于作为发达国家的荷兰，亚非拉的第三世界国家往往还面临数据条件不

---

<sup>①</sup> Benson, Tom et al., “Programmable Cities: Using Roboat to Create a Responsive Autonomous Infrastructure in Amsterdam,” *Medium*, 2021, <https://medium.com/urban-ai/programmable-cities-using-roboat-to-create-a-responsive-autonomous-infrastructure-in-amsterdam-1894bae64f91>.

足、城市基础设施不完善等问题。麻省理工学院的公民数据设计实验室 (Civic Data Design Lab) 与肯尼亚内罗毕大学的计算与信息学院合作, 提出了一个解决内罗毕城市交通基础设施信息发布与居民使用之间沟通不畅的问题。<sup>①</sup>

在内罗毕, 由于地方政府提供的公共交通严重不足, 存在着大量由私人运营商提供的半正式或非正式小型巴士服务, 来填补本应由城市公共交通提供的、服务人数超过 300 万的城市内部出行。当地称这些小型巴士为 *matatu* (复数为 *matatus*)。这些小巴往往没有完全固定的线路或时刻表, 按照城市不同区域的需求增减进行调整。其数量超过 100 条线路, 并且每条线路上可能有多家不同的私人运营商。因为运营商众多、线路和时刻表不固定, 对市民以及访客出行来说, 存在无法掌握出行信息进而造成出行不便的问题。

公民数据设计实验室和内罗毕大学的科研人员发现, 可以通过对当地居民的手机轨迹数据进行归并、汇总、聚类, 自动识别出可能的 *matatu* 线路, 并由此自动绘制出 *matatu* 的线路图。由于手机数据本身就存在, 所以这一方法只要将算法开发完成, 就可以根据手机数据的不断更新、动态更新, 推断出 *matatu* 线路的不断变化, 从而解决线路与时刻表不固定、绘制静态地图人工成本高且难以持续更新的问题。这一项目被《麻省理工学院新闻》(*MIT News*) 评价为“让不可见的 (信息) 可见” (*makes the invisible visible*)<sup>②</sup>。

在这一案例中, 我们同样可以用贝叶斯的视角来对其进行分析。事实上, 公共交通作为一种城市重要的公共基础设施, 其可得性是基本公共服务普及的重要组成部分。在数字化 *matatu* 线路图的过程中, 我们可以把这一基本公共服务的可得性理解为  $\theta$ , 通过不断感知新的人群轨迹  $D$ , 基于算法开发, 最终可以作为输入不断更新后验的基础设施可得性分布  $P(\theta)$ , 从而实现了基本公共服务信息发布的闭环。

### (三) 三亚 12345: 投诉数据的“自动导航”

中国作为全世界经济体量最大的发展中国家, 兼具以上两个例子的特点。一方面, 得益于大型基础设施特别是数字基础设施的建设, 中国具有可以与发

---

① Williams, Sarah et al., “The Digital Matatu Project: Using Cell Phones to Create an Open Source Data for Nairobi’s Semi-Formal Bus System,” *Journal of Transport Geography*, Vol. 49, 2015.

② Shulman, Ken, “Digital Matatus Project Makes the Invisible Visible,” *MIT News*, August 26, 2015.

达国家相匹敌的且为其他发展中国家普遍所不具备的良好数据条件；另一方面，与其他发展中国家类似的是，中国在使用数据回应公共政策诉求方面，依然存在算法开发薄弱的问题。面向这一问题，北京大学城市治理优化实验室使用三亚市 12345 投诉数据作为案例，进行了数据使用方式的优化与算法开发。<sup>①</sup>

该团队发现，12345 的投诉数据由人工根据一份年代较早(2007 年)的国家标准进行分类，这一过程一方面极大基于分类工作人员的经验，另一方面由于标准制定年代较早，无法有效地对新种类的投诉问题进行导流。在此观测上，该团队基于自然语言处理(natural language processing, NLP)和有监督机器学习(supervised machine learning)方法，对 12345 投诉数据本身的语义信息进行分类，得出了城市 12345 投诉的“分类树”、各类问题出现频率的分布，以及表达不同类型问题共同出现概率的“共现矩阵”。在对这一 12345 投诉数据分类和频率分布进行分析的基础上，该团队还根据工作量均衡原则和工作内容与投诉内容适配原则，对城市政府的机构、部门设置提出了“优化算法”。

在这一案例中，通过机器学习模型对 12345 投诉数据进行城市投诉问题分类，并在此基础上进行投诉处理的工作流优化，同样也是一个不断进行“感知”“反馈”的“闭环”过程。在这一过程中，城市投诉问题和工作流的最优处置安排就是需要不断迭代更新的后验  $\theta$ ，而随着时间发展而来的新的投诉数据就是用于更新后验的  $D$ 。

在这一节，我们通过城市环境治理、基本公共服务信息提供、投诉处理等多个例子实例化了“贝叶斯”这一城市智能治理闭环的基本逻辑。可以发现，这三个例子在“闭环”形成的过程中具有一些共性特征：一是数据驱动，三个例子都使用了“自下而上”收集的大量数据(环境监测与运输需求、个人移动轨迹、投诉文本信息)，并基于这些大规模、动态化的数据进行城市“感知”；二是基于机器学习算法(船队调度、轨迹聚类、自然语言处理与分类)，可以将对于这些“海量”数据处理的过程自动化；三是经过机器学习算法计算得到的结

---

① 彭晓、梁艳、许立言等：《基于“12345”市民服务热线的城市公共管理问题挖掘与治理优化途径》，《北京大学学报》(自然科学版)2020 年第 4 期；Peng, Xiao et al., “A Social Sensing Approach for Everyday Urban Problem-Handling with the 12345-Complaint Hotline Data,” *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 94, June 2022, p. 101790.

果可以“反馈”回到城市治理的过程中来,被市民进一步“感知”,进而形成城市智能治理闭环。

在此类城市智能治理闭环形成过程中,天然存在一般数据驱动与机器学习模型中的问题,但这些普遍问题对于城市治理来说具有特定内涵。我们在下一节中就这些问题进行辨析与讨论。

## 五、关于闭环城市智能治理的几点思考

在感知—反馈—闭环的建立过程中,这三个环节中的每一个都存在着可能的理论与实践问题,分别对应如下:首先,在感知过程中,由于数据本身相对于城市智能治理,甚至对于收集数据的传感器本身来说,都是外生信息,其本质特征并不是智能治理所可控的。因此,需要对这一外界输入的潜在风险进行辨析。其次,从感知到反馈的过程由于其自动化、智能化属性,往往依赖于机器学习等智能模型。而对于智能模型来说,它到底建立了“何种”智能,如何建立,有何风险,同样需要做进一步探讨。最后,建立闭环是否对城市政府等智能治理系统的用户来说就是一劳永逸的解决方案,其中“人”与“智能”之间的交互关系为何,特别是这一“智能”“闭环”过程是否将脱离人的控制而发展出“自我意识”,这些理论问题都需要在其发展为对城市治理产生本质性影响之前进行广泛充分的讨论。

这些问题本身都不仅仅针对城市智能治理,在更大的社会科学与工程伦理等学科中已有大量相关讨论。因此,本文仅针对这三个问题在城市智能治理中的表现做简要分析,用以完善本文对于“城市治理闭环”过程分析的完整性,并将更深入的、借由实证案例支持的分析留待进一步研究。下面对三个问题进行讨论。

### (一) 数据驱动的潜在风险

在基于城市感知的城市治理模型中,对于大规模城市数据的使用往往被视作“数据驱动”(data-driven)。其中“驱动”一词意指这些数据为城市问题的解决提供了根本的动力来源。这里我们需要辨析的问题是,城市治理问题的解决是否由于这些大数据的存在才本质上得以实现。

首先,相比于上文案例所指的基于海量数据的城市治理创新方式而言,依赖传统信息收集渠道的城市治理方式,同样存在这一“感知”“反馈”的过程。只不过这一过程链条较长,时间较慢。例如,在传统的城市治理中,从接到投诉到形成新的政策反馈中间,往往需要经过多个环节的讨论和不同部门、部门内不同层级间的信息传递。而在数据驱动的城市智能治理中,一方面由于数据量巨大,无法通过人工手动的方式对数据进行处理,所以自然导致了机器学习等自动化模型的引入;另一方面由于不断有新的数据实时进入,如果不能实现实时反馈,就会被数据淹没。从这个意义上说,数据驱动的含义不仅体现在具体城市治理问题的解决上,还体现在对城市治理方式和政策逻辑的改变上,因此或可称之为“范式驱动”。

其次,在数据驱动的城市智能治理中,由于数据本身是对城市问题感知的直接来源,能否获得有效、有代表性的数据将直接影响城市感知的准确性。例如,在使用个体轨迹数据判断人群分布、活动分布的过程中,往往使用的是手机运营商收集的手机位置数据。这个例子中就存在多种潜在的数据偏误:一是有些城市居民(如老人、小孩)没有手机,而有些居民有多部手机,因此在采样上就会朝有多部手机的群体倾斜。二是手机在不同位置记录信息的频率、准确性可能存在差别,在手机通讯信号较差的位置,可能存在数据样本的偏差。另外,还有人会为了节约手机流量或电量,关闭手机定位功能,从而造成数据缺失,而这种缺失和收入、年龄等社会经济属性存在耦合关系。三是数据反映的是现状的信息,但城市治理往往还存在一个“社会最优”的目标。例如,对于城市交通治理,现状的交通分布可能是每个出行人个体目标最优的结果,但是如果需要实现城市总体的最低交通拥堵程度,那么可能需要对部分人群进行导流,进而缓解特定区域的交通拥堵。在这种情况下,这些被导流的人群的交通出行就与其个体最优的交通出行有所不同。在这个例子中,如果仅仅是“复现”历史数据,则无法实现最优结果,最优方案的出现并不能仅仅依靠数据驱动,而需要另外构造最优目标与方案模型。

最后,对城市数据进行感知,还需要考虑在特定情况下有人对数据进行干扰、污染或定向破坏的情况。例如,2020年德国艺术家韦克特(Weckert)通过步行拖动一辆小的平板车上的99部手机,成功地人为制造了谷歌地图上这一路段

的“交通拥堵”假象。<sup>①</sup>事实上,这是因为谷歌地图的拥堵识别算法主要依赖于有多少用户在这一路段打开了谷歌地图服务,并由这些用户的手机记录的实时速度来更新路段拥堵信息。因此,对于车流量不大的路段,99个由步行缓慢拖动的手机,足以对这一算法的判定造成干扰。这一例子极大启示了我们使用城市感知数据进行城市智能治理时可能存在的数据干扰风险。

## (二) 机器“学习”到了什么

上一节所举的三个案例都使用了机器学习模型作为城市智能治理自动化形成闭环的技术工具。我们在理论上通过贝叶斯学派的观点解释了闭环形成过程的逻辑内涵,但是具体到如何实现智能治理从“输入”到“输出”的转化过程,则需要对其中用到的机器学习模型的基本思路进行更具体的分析。

简单来说,机器学习是一个“拟合”数据之间“关系”的过程。以有监督机器学习为例,用于模型训练的数据集包括自变量  $X$  和对应的因变量  $Y$  两个部分。机器学习中的训练过程,就是基于训练数据集通过拟合获得  $X$  和  $Y$  之间关系的过程。经过训练、拟合建立的模型即可用于预测或模拟,为新输入的  $X'$  计算得到对应的  $Y'$ 。例如,计算机理论学者已经证明了常见的前馈神经网络模型(一种机器学习模型),可以任意精度逼近一个性质较好的函数。<sup>②</sup>因此,从理论上说,机器学习模型实际上就是通过大样本训练变量间联系的“函数”关系。

在城市治理模型中,这一函数关系对应于“感知”所得的城市问题与最适用的城市政策“反馈”之间的关系。例如在 Roboat 案例中,这一关系就对应于城市中一种给定的运输需求分布  $X$ ,与针对这一需求分布的最优船队调度方案  $Y$  之间的关系。这一关系可以通过历史上的调度方案,或基于优化的模拟等方式加以学习、拟合获得。这里可以类比于无人驾驶汽车通过学习人类司机在某一路段或环境中( $X$ )如何操作车辆的情况。需要提及的是,针对现实问题中的复杂变量与数据,这种函数关系往往无法用简单的表达式给出,而需要通过数以百万、千万计的参数才能描述。

---

① Hern, Alex, “Berlin Artist Uses 99 Phones to Trick Google into Traffic Jam Alert,” *The Guardian*, February 3, 2020.

② Hornik, Kurt, “Approximation Capabilities of Multilayer Feedforward Networks,” *Neural Networks*, Vol. 4, No. 2, 1991.

由于机器并不进行价值判断，而仅仅从给定的数据中进行拟合学习，所以数据中的偏误往往也会造成拟合得到的关系的偏误。例如，上文提到的部分社会群体对于手机的使用较其他群体更少，那么基于手机轨迹数据训练得到的这一群体的基本公共服务需求可能也会相应产生偏误，进而在基本公共服务的布局上减少对该群体的提供比例。在这种情形下，只有通过其他途径估算可能的数据偏误，才有可能在自动化求解的过程中定向“纠偏”，减少单纯基于数据和模型学习获得的有偏结果。

### (三) 政策“意识”的形成：什么是“智慧”城市

涉及自动化与城市智能治理闭环的形成，一个自然而然的延伸问题就是，这一政策过程是否会像其他人工智能工具一样，具有自主“意识”而脱离了政策制定者的控制。事实上，在关于智慧城市的讨论中，已有学者提出智慧城市是否会发展出意识的问题。<sup>①</sup>对这一问题的讨论需要建立在对于“意识”概念的精确理解上。

关于计算机算法与程序是否具有意识，学术界已有较多讨论。其中，美国哲学家约翰·R·塞尔(John R. Searle)的“中文房间”思想实验常被用来做算法与程序并不具有意识的证明。在这一思想实验中，塞尔假设有一个密闭房间，只有一个开口用来输入和输出信息，房间里有一个只懂英文、不懂中文的人，以及一本手册，指示他如何将开口收到的中文信息(符号)转化成回答，并通过开口返回。塞尔认为，由这个人、手册和房间构成的整体(“中文房间”)并不能被认为“理解”了中文，进而用这个思想实验来论证计算机程序实际上并不具有意识。<sup>②</sup>

但理论上，这一思想实验也可以用归谬法进行反驳，如人脑对视听觉信号的处理同样也是一系列基于规则的生物电化学反应，如果“中文房间”不具有意识，那么同样也可以论证人脑是无意识的，这显然与我们的直觉相悖。由于这一矛盾的存在，其他学者试图用更形式化、公理化的办法来定义什么是意识。例如，意大利神经科学家朱利奥·托诺尼(Giulio Tononi)提出的整合信息论(inte-

<sup>①</sup> Bunschoten, Raoul, "From Smart City to Conscious City," *Handbuch Energiewende und Partizipation*, Wiesbaden: Springer, 2018.

<sup>②</sup> Searle, John R., "Minds, Brains, and Programs," *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 3, No. 3, 1980.

grated information theory), 将意识定义为一个系统中可以将输入通过某种“因果联系”进行输出的性质。<sup>①</sup> 在托诺尼的一系列公理化定义之下, 不仅可以识别一个系统是否有意识, 更可以进一步计算意识的大小, 以及意识由该系统的哪些组成部分承担。在此基础上, 托诺尼等学者对一系列系统进行了意识大小(这一变量被记为  $\Phi$ ) 的计算。经过计算, 他们发现意识的形成与系统中是否存在“反馈”与“闭环”高度相关。

这一对于意识的研究给我们对智慧城市是否具有自我意识提供了启发。一个有“感知”“反馈”的城市智能治理系统, 根据上述定义显然是存在意识的。因此, 我们可以粗略认为, 在这样一个“闭环”的政策调整与优化过程中, 整个系统是具有“政策意识”的。

基于这一认识我们可以进一步推论, 实际上城市感知数据的不断输入, 反馈过程的不断建立(“因果关系”的“学习”), 是在培养和训练这一城市智能治理系统具备更强的“政策意识”的过程, 这一过程与 ChatGPT<sup>②</sup> 等问答机器人通过互联网大量文本信息进行的训练过程具有本质上的共同性。

## 六、小结与展望

本文首先使用控制论中的概念, 简要叙述了“感知”“反馈”“闭环”等概念如何用于类比城市智能治理中出现的智能化过程, 以及其背后的政策含义, 并使用统计学中贝叶斯学派的理论观点将这一政策过程描述为“通过不断引入对城市最新情形的认知, 更新最优城市政策设计”的理论解释。在此基础上, 本文引用了城市治理领域学者和城市政府在荷兰阿姆斯特丹、肯尼亚内罗毕和中国三亚这三个处于不同城市治理水平以及具有不同城市数据基础设施条件, 但都成功建立了城市智能治理闭环的案例, 实例化了“城市智能治理贝叶斯化”这一理论解释, 指出城市智能治理闭环的建立并不一定依赖良好的数据条件, 在有限的条件下同样可以极大提升城市智能治理水平。最后, 本文还讨论了在城市智能

---

① Tononi, Giulio et al., “Integrated Information Theory: From Consciousness to Its Physical Substrate,” *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 17, No. 7, 2016.

② Lock, Samantha, “What Is AI Chatbot Phenomenon ChatGPT and Could It Replace Humans?” *The Guardian*, December 5, 2022.

治理的“感知”“反馈”“闭环”三个阶段分别可能出现的数据、算法与“政策意识”形成的潜在理论和实践问题，并对其机制进行了简要分析。

随着人工智能等技术的进一步发展，城市智能治理必然将发展出更高效、更具智能化的方法，并将在现阶段由于数据条件或算法能力所限尚未建立闭环的领域中，发展出可能形成闭环的新的城市治理模式和案例，形成“全域智治”的智能化城市治理。<sup>①</sup>这一过程不仅需要人工智能、数据科学等领域学者的参与，也需要公共管理领域学者对可能出现的政策问题提前进行判断与评估。

在文中我们指出，随着“反馈”“闭环”的建立，城市智能治理实际上已经具有了一定程度的“意识”。这一意识和城市治理中人的意识、社会的意识显然不完全等同，其中包含一部分由算法、模型所引入的新的意识。在这个新的意识系统中，社会系统和算法系统意识之间的关系为何，如何区分，以及如何精确识别以确认可能存在的潜在政策风险，都是需要重点研究的问题，我们以这些问题的提出为本文的总结。

---

<sup>①</sup> 冯奎等：《数字治理：中国城市视角》，电子工业出版社 2021 年版。