

“城市众脑”：理论模式及关键议题*

吴志强 甘 惟 李舒然 刘朝晖 周咪咪 徐浩文 王元楷

Society Brains: Theoretical Model and Key Issues

WU Zhiqiang, GAN Wei, LI Shuran, LIU Zhaohui, ZHOU Mimi, XU Haowen, WANG Yuankai

Abstract: As AI technology represented by deep learning rises to prominence, the implementation of smart brain systems for cities is recognized as an indispensable strategy for city modernization. However, the City Brain system can not meet the challenge of modernization as intelligent systems relying on a single brain structure can not align with the complex organization of modern cities. This paper critically evaluate the City Brain concept, identifying four technical challenges facing the single-brain system: multi-layer decision-making pressure, information explosion, low transmission efficiency, and limited database capacity. This paper describes the conceptual shift from City Brain to Society Brains by introducing key features of collective intelligence. It defines the concept of Society Brains and elucidates its learning mode, which can surpasses the limitation of the City Brain system by adopting a new AI model based on the collective learning of intelligent individuals during complex problem-solving. This paper raises and discusses nine key issues on Society Brains, including the origin of the concept, structure of decision making, components and linkages, division and cooperation, digital simulation, iterative development, practical applications, elements interaction, and inter-social collaboration. Lastly, the paper illustrates the organization, operation, and evolution of Society Brains, highlighting their contributions to future development of smart cities and implications for future research.

Keywords: AI; Society Brains; swarm intelligence; smart city; city brain

提 要 对“城市大脑”提出反思，指出其系统面临多层主体决策压力、信息爆炸、传导低效以及数据库容量限制等四个方面的技术挑战，难以适应城市现代化立体决策需求。提出并描述从“城市大脑”走向“城市众脑”的模型转变，以社会智能为典型特征，阐述“城市众脑”的定义及学习模式，突破单脑系统瓶颈，构建向城市社会这一高级智慧生命群落学习以适应复杂任务的新型AI模型。进一步提出并探讨城市众脑的转化源起、决策架构、联动搭接、职能分配、数字模拟、迭代升级、治理映射、三元互动、群落交互等九大关键议题，深入论述了城市众脑的组织、运行、演化特征，指出城市众脑对未来智慧城市发展的贡献，为后续研究提供视野。

关键词 AI；众脑模型；群体智能；智慧城市；城市大脑

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202306004
文章编号 1000-3363(2023)06-0020-07

作者简介

吴志强，中国工程院院士，同济大学建筑与城市规划学院教授、博导，wus@tongji.edu.cn

甘 惟，同济大学建筑与城市规划学院助理教授，通信作者，849766347@qq.com

李舒然，同济大学设计创意学院博士研究生

刘朝晖，鹏城实验室双聘研究员，中国城市科学研究会秘书长助理，中国生态城市研究院首席技术官，正高级工程师

周咪咪，同济大学建筑与城市规划学院博士研究生

徐浩文，同济大学建筑与城市规划学院博士研究生

王元楷，同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司工程师

自智慧城市的概念提出以来，其设计、建设者们长期致力于为城市赋予技术武装，以使其具备“智慧”。近年来，随着以深度学习为代表的AI技术兴起，为城市安装“大脑”成为了现代城市发展中一项具有共识的工作，广泛的城市需求给智慧基础设施建设带来了巨大的机遇。然而，智慧城市在实践中也存在诸多问题，笔者曾经对过去的发展模式提出反思，认为依靠单一脑结构的智慧系统已无法适应城市内部组织的要求^[1]。构建一个适应城市复杂社会需求的智慧系统对AI算法提出了新的模式挑战。长期以来，AI算法的发展依靠以模仿人脑或自然界生物群落构建智能算法^[2]。然而，城市社会的组织既不是一个单主体决策问题，也不同于蜂群、蚁群等低等生物群落的本能组织，而是由大量特征多样、相互关联的人群构成，是每个个体具备独立智慧和决策能力的复杂智慧生命群落现象，是一个复杂、动态、无边界和具有不确定性的系统^[3-4]。因此，笔者认为以城市社会的组织模式为启示，能够解释复杂生命群落之间协同机制的高

* “十四五”国家重点研发计划课题“城市可持续规划建设多模态情景智能仿真信息平台研究”（2022YFC3800205）

级群体智能结构，“众脑”模型的构想即由此得来。突破单脑模型而走向众脑模型，不再是模仿单一生命体内部或是低等生命群落的组织关系，而是开始学习城市社会这种复杂的群落。“众脑”模型的构建源于对城市社会的长期观察以及对城市智能化问题的反思，但不仅仅用于解决城市问题，其也可以为新一代AI技术理论结构提出一种新的可能方向，并促进在算法之上的结构层面进行科学重组。

1 “城市大脑”面临的系统挑战

1.1 智慧城市的“中枢”与“大脑”

2005年为了解决世博园区的规划科学性问题，导入了世博园区的CIM系统，规范了所有265个场馆交付到世博园区总体规划的BIM技术标准，使得6.28 km²的世博园区成为未来城市CIM数字平台的共同原型。2007年IBM提出在世博会建构“智慧地球(Smart Planet)”主题馆，最后与世博会主题“城市，让生活更美好(Better City, Better Life)”相整合，组成了“Smart-City”主题词，并在同济大学成立了全球第一个IBM“Smart-City”研究中心。作为上海2010世博会的总规划师，笔者以城市生命体为出发点架构了智慧城市原型，指出更智慧的城市应该在城市的物质基础之上，拥有中枢系统，包含了“大脑”“小脑”“中枢神经”“末梢神经”，并受到江亿院士的启发提出“迷走神经系统”，认为部分的内容不应该直接到大脑，在迷走神经系统中就已经处理了大量不需要大脑处理的内容，以此，“城市大脑”只负责必须由大脑决定的部分决策，减少大脑的不必要“脑耗”。基于这一设想建设了一套针对5.28 km²园区的指挥中枢系统^①以保障世博会期间的安全运行。2008年IBM公司向全球发布了“智慧城市”^②。

2008年宣布的智慧城市结构传承了世博会总体城市中枢结构的要义，中枢系统^{③-⑦}包含五个组成部分：①城市智慧决策系统(大脑)，负责针对城市发展的重大、关键性问题的决策辅助；②城市协调运营系统(小脑)，负责各职能部门之间的信息传导以及资源统筹；③信息中枢系统(中枢神经)，负责对城市大量

感知末端信息的收集、处理以及双向反馈；④迷走神经系统，负责大量非大脑决策的日常反应；⑤神经元，负责感知和执行两大关键点。

“城市大脑”系统(city brain system, CBS)是城市智慧化过程中城市中枢的重要构成部分。2016年2月，阿里云团队到同济大学文远楼做了城市中枢机器大脑的方案交流。阿里云在杭州发布了“城市大脑”1.0智能调控城市系统，采用云边协同计算方法管理城市百万级交通流量数据，应用于提高通行效率，缩短通行时间^⑧。随后“城市大脑”系统发展到2.0，在更多城市领域的智能决策中得到应用，“城市大脑”概念被学界和业界广泛接受，在全国各地的城市建设中得到推广，成为智慧基础设施的一项基本配置并被赋予了更多内涵。过去10年，“城市大脑”被普遍理解为借助智能技术辅助城市决策的系统。

智慧城市方案本来是一个系统方案，更是整个中枢神经包含五个部分的城市智能化系统工程，但是被简化成大脑之后，把所有的决策压力集中在大脑上，而对于迷走神经系统和边缘决策系统，因为显示度的不足在实践中被大量忽略，这造成了智慧城市推进过程中的简单化，忘记了其工程学的本义。寄希望于仅依靠一个大脑解决城市问题，不是一个明智的方案，会造成大脑的过载，压力巨大，被邬贺铨院士称为“城市脑大”。

更有甚者把大脑变成一个城市的展厅，大量的技术投入只押到一个城市的展示需求上，缺乏问题导向，浪费了大量的硬件投入，实则与城市的真正运行脱节，展厅模式造成智能系统闲置，贻误了生活、生态、生产和治理的智能化，阻碍了现代化的进行，偏离了城市智能的主流。

“城市大脑”需要警惕目前存在的虚假智慧的展厅模式(exhibition mode)，应该回归到便利百姓日常生活的智能化和城市治理现代化的正确轨道。

1.2 “城市大脑”面临的技术挑战

1.2.1 多层主体决策压力

数据壁垒是智慧城市建设和运营过程中的共识问题，已有大量论述。随着各部门的系统、平台、数据逐步融合，

主要压力已经转变为如何利用这些多源、异构的数据进行决策时对各个部门的管理诉求进行有效协调的问题。在应对更广泛的主体诉求时，这一矛盾更加突显。以单一大脑结构难以统筹兼顾在不同端口的决策要求，因而在实际管理中捉襟见肘。

1.2.2 信息爆炸

高计算力的芯片，搭接高速、低延时的通信网络，提供了城市级数据分析计算的必备条件。海量数据的接入使得“城市大脑”系统需要不断地追求更大算力^⑨。城市数据不仅来源于对真实城市数据的采集，也包含了借助AI算法在收集和获取城市数据进行学习和迭代的过程中进一步产生的远超既有数据量的新数据。尽管引入了具备超高算力的基础设施，“城市大脑”仍然难以解决数据量过大而反应迟钝的问题，为城市决策带来更多不确定性。

1.2.3 传导低效

“城市大脑”系统中，信息都是上下传导的，从不同渠道采集的数据最终汇入一个总体模型中。这种传递机制在发生包括重大疫情在内的突发情况下，发挥的作用十分有限^⑩，仅由一个“城市大脑”来完成对网络中间所有信息的反馈以及资源的配置是一个难以破解的困局。未来随着商用5G技术的大面积普及，凭借着高速率、低延时等特点，将出现更多新产品与新服务，城市信息传导将会更加网络化，从“万物互联”逐步发展成为“万物互动”，因此更加迫切需要建立新型的智慧城市系统从结构上解决这一问题。

1.2.4 数据库容量限制

数据资源正在越来越便捷且可廉价获取，通过各类传感器、物联网设备等感知手段，使可监测控制范围内的数据在城市各层管理系统中充分流动^⑪。不同区域、不同系统的超高频率、超大范围、超高精度的数据，对“城市大脑”的数据库容量带来难以估量的挑战，因此，分布式数据存储成为必然趋势。

1.3 城市现代化的立体决策需求

1.3.1 应对多异质性主体的利益

城市社会中存在的多层主体构成了异质性的社会系统。对于城市主体有多

种分类方式,从城市发展决策中产生影响的角度,通常可归纳为六类:①城市决策者。包括市委书记、市长、市人大常委会、城市各主管部门、各区县及其主管部门等,负责制定和实施城市发展与安全决策。②商业领袖和企业领导。投资者、企业家及中小型商业所有者也在城市发展决策中也扮演重要角色。他们的经济活动和投资决策对城市的发展有直接影响。③专业学者。管理学者、经济学者、环境学者、工程师等专业人士为城市的发展提供专业意见和建议。④街道委员会和居委会。是城市基本社会单元的决策单位,组织社区的社会生活、空间安排、日常运营等方面。⑤城乡人民。城乡人民是整个城市的主体,是城市的起点也是城市最终的归属,每一个人的行为决定了一个城市的精神状态和生活活力,城市价值观以及人的生活方式决定了城市的品质。⑥媒体。虽然媒体不直接参与决策,但它们通过报道和分析影响公众意见和政策制定者的决策。每一类主体的特征、行为模式及其对城市发展的愿景与需求存在较大差异。尽管在多数情况下,我国的城市发展通常由该地区的决策者制定,其过程往往受多方因素的影响,通常是在接受了其他城市社会参与者的意见之后并且在进行综合权衡后提出的最符合该地区实际情况、兼顾总体发展利益与城市个体需要的决定。

1.3.2 应对决策过程中的博弈和协同^[12-13]

我国的城市决策总体上遵循以下原则:决策体现城市发展的价值取向,其依据来源于多方意见的汇聚;决策可以细化为战略决策和日常管理决策;每一个单位对自己管理的部分做决策,不要把所有问题上升到上一级;每一个单位决策的时候应该考虑对其他决策单位的影响,对整体利害进行预判;不是简单的博弈,是相互之间对对方决策连锁反应的判断决策。笔者在此前的研究中将城乡人民需求的空间概括为“十元”,即自然、治理、居住、出行、商业、医疗、教育、产业、创新和基础设施^[14],满足城乡人民的需求是城市发展以及其他参与者决策的基本导向。当下的智慧城市系统建立在人工智能“单脑”系统的基

础上,无法有效应对上述决策问题。

2 从“城市大脑”走向“城市众脑”的理论模式

2.1 社会智能的理论认识

在社会学和神经科学领域,在20世纪初期就已经开始关注社会智能(social intelligence, SI)的存在现象^[15],并在后来的研究中进一步验证了其在个体差异性方面对群体竞争、协同与合作的促进意义^[16]。Kliemann等^[17]指出了社会智能的关键特征在于,相比于低等生物根据环境反馈来决定自身的行为,社会主体还必须根据他人的行为灵活调整自己的决策模式,并对自己的目标和内部过程进行建模,以适应行为、沟通和协调追求目标。Chen等^[18]指出了另一个关键特征,即个人也会在共同的社会环境中对他人的短期或长期行为做出预测和反应。Kingsbury等^[19]较为系统地总结了这种社会群体中的交互模式,并认为这将呈现出一种多脑结构。社会智能模型的发展,为群体智能走向更高级形式提供了理论基础,但是事实上,很少有AI相关的研究从社会智能模型的角度进行探讨,仅有的研究也只是在多代理人模型的基础上对其协同的机制进行局部改良^[20],难以很好地反映社会智能的特征。究其原因,在于已有的文献尽管认识到了社会智能的意义,仍然没有清晰地阐述社会智能模型的要素及其相互之间的搭接,因此更多停留在概念层面而难以指导AI模型的建构。城市是最大、最复杂的人工造物并且与人类社会共存,在当前的技术环境下,笔者认为单靠一个“城市大脑”的模式已难满足现代化治理需求,因此,从对城市社会组织的观察出发,提出“城市众脑”模型的理论模式,将城市科学与新一代AI技术结合构建一种面向复杂异质性群落的新网络。

2.2 “城市众脑”的定义

本文将“城市众脑”定义为一种高级的社会智能模型,其目标是让AI学习一个社会群落如何组织、协同、行动,从而将信息经分流进入多层、立体的决策机制,最终又能够寻求一种异质性主体共赢的策略推动整体性能的发展。

2.3 “城市众脑”的学习模式

众脑模型的本质是学习模式的转变。众脑模型的学习过程具有两大特征,一是群落性,二是异质性。众脑模型的学习过程与单脑不同,不仅各参与主体需要根据自身发展需要构建一个网络,同时还要兼顾其他主体的行为和决策模式以优化自身的行为。众脑模型的学习模式是针对社会群落中的协作模式、博弈关系、协同策略等复杂行为进行的学习^[21]。可以分为3个阶段,见表1。①单机学社会。一种初级的群体智能模型,尽管每一个主体都自主决策,仍然需要通过一个整体的模型进行控制。这种学习模式对蚁群、蜂群等群体智能模型进行了改进,具有自主意识与决策能力。②多机学社会。与前一阶段不同,每一个主体将具有能够根据自身需要构建信息网络的能力,围绕自身的发展目的,寻求竞争、合作的主体并构建一个有利于完成目标的新的结构,进一步增加了主体之间的差异性。③联机学社会。更进一步,每一个个体在完成各自的目标的同时,能够与同样追逐自身目标的个体进行协同,寻求共性的动机,各主体之间既有合作也有竞争,并且身份随之转变。这是众脑模型相比于其他群体智能模型特有的学习模式。

3 “城市众脑”的九个关键议题

3.1 第一议题:为什么城市的智慧化要从一个大脑变成众脑?

城市大脑与AI技术密切相关,借助AI模型解决城市问题是城市大脑的重要手段。在AI的发展过程中,借助智能机器模仿和学习人类大脑的构造与行为的研究范式长期以来占据主导,衍生出两个方向:其一,与脑科学与神经科学结合产生的人工神经网络,模仿神经元和神经网络而建立的机器学习及深度学习理论^[22-23]。其二,与认知科学(cognitive science, CS)的结合产生的认知-决策模型,通过研究人脑或心智的工作机制揭示人类在发现、思考、解决问题时的深层原理,向人脑的思维方式学习^[24-26]。单脑模型本质上是一个模仿人类大脑、基于知识的预测性决策模型。城市大脑是将城市作为一种智能生命体

表1 城市众脑的学习模式

Tab.1 The learning mode of Society Brains

阶段	名称	特征	图示
阶段1	单机学社会	为不同主体构建自主决策的智能系统	
阶段2	多机学社会	在系统内部,信息传递不只是通过主体之间的通信网络,而是每个节点都具备根据自身发展的预期有计划、有筛选地建构其所必需的通信网络	
阶段3	联机学社会	决策是在多个大脑系统之间协作与博弈的产物,以寻求更复杂环境下的共性动机	

来模拟其视觉听觉感知、大脑决策、神经系统的信息传输等技术的集成应用。然而,已知算法始终无法突破在一个系统内部的构建,依赖个体决策模型因而在面对群体协同决策的复杂环境时显得十分局限。因此,需要建构一套城市众脑的系统来突破单一大脑系统的局限性。

3.2 第二议题：如何架构城市众脑，代表城市中的哪些决策对象？

从构成上看,由于社会群体的构成十分复杂,从其在系统中扮演角色的角度,可将城市众脑模型的要素抽象为主脑、辅脑、分脑、端脑等四类。其中:

(1) 主脑 (core brain, CB)。职能是关键问题的决策响应,只接受必要的信息并作出反馈。例如在城市社会中的决策者处理城市的发展战略、重大事件的部署等需要统筹整个系统的关键问题。

(2) 辅脑 (assistant brain, AB)。职能是分系统的决策,为主脑提供更全面、平衡的信息。例如在城市社会中的各委、办、局等职能部门针对城市交通问题、

能源问题、环境问题等需要在系统内协调解决的问题。

(3) 分脑 (distributed brain, DB)。职能是在局部空间完成自组织、自运行的决策,例如城市各地区的次级职能部门、不同领域的社会组织等。

(4) 端脑1 (terminal brain 1, TB1)。职能是在末端感知中心进行反射式的决策,并在发现末端数据异常时进行上报,例如在街道、社区居委会进行反应和决策。

(5) 端脑2 (terminal brain 2, TB2)。城市中有大量的空间是由单一所有者与决策者决定的,大学、部队、大型企业、开发区空间等也应该作为城市中的决策单位进行模拟,在城市众脑中成为端脑的模拟对象。

(6) 端脑3 (terminal brain 3, TB3)。除此以外,城市内部跨越行政管理空间的特殊空间也应该纳入决策端,如一条河流由河长参与决策,一条街由街长参与决策。

3.3 第三议题：大脑之间如何进行链接？

其一,主次协同关系。是指由主脑和辅脑之间完成以其中一方指令为主,其余各方配合的组织方式。在主次协同关系中,最终决策将由主脑完成,而主要决策的依据是由辅脑提供的不同维度的信息。

其二,层级协同关系。是指由分脑和端脑区别于主脑、辅脑而形成分级决策的组织模式。在层级协同关系中,各级脑系统都可以独立决策,并且筛选信息进行传输。例如在城市智慧系统建设中,笔者曾经提出的“迷走神经系统”设想^[27]。其目的是采用分级数据治理的模式对城市复杂信息进行分流和在地处理,以避免城市中枢信息的冗余。

其三,群落协同关系。是指由多个独立的脑系统构成的包含单向指令与网络合作共存的组织模式。在群落协同关系中,每一个主体都需要在平衡共性目标和个体需求的基础上处理多个系统中的复杂信息流进而实现不断自主学习、改进的动态过程。相比于前两种,群落协同关系建立了一个更加复杂的网络,信息在该网络中可以直接进行传递,进而避免了信息的单向流动,形成回路。

3.4 第四议题：如何进行城市众脑的群落架构以及每个大脑的职能？

将三种链接关系整合在一个系统中,构建城市众脑的群落架构原型图(图1)。因此不同的大脑形成一个动态交互的群落系统,实现系统整体的协同发展。

3.5 第五议题：如何通过数字模拟城市众脑？

3.5.1 赋予单一节点以群体感知和预测的能力

城市决策中每一类主体都有着特定的目标和需求,模型的主体应当不再局限于一个单一智能系统的感知能力,而是实现群体主动感知。个体在感知环境之外,还对其他个体的需求进行感知,并且这种感知是一个主动过程,即根据自身需要去获取相关利益方的需求和行为信息,并根据与其他个体需求之间的互补进行决策,例如基于强化学习方法的多智能体自适应网络^[28-30]。在群体感

知的基础上，模型的个体还应当具有系统动态预测（system dynamic prediction, SDP）的能力。体现在：其一，可根据规律与经验知识对未来做出预判，根据预判的结果对当下行为进行修正；其二，不仅预判自身的行为，还可以预见其他主体的行为；其三，应具有对于系统整体变化的预测能力，能够根据其自身及其他参与者的行为，预判随时间变化对于整个网络所产生的结果。系统动态预测与传统的分布式计算不同，节点不仅对自身的发展过程进行推演，并且对与之利益相关的其他要素的演化同样进行考虑，进而能够做出有利于未来价值提升的决策。群体感知和预测能够以自上而下与自下而上相结合的方式对城市治理中不同参与主体的诉求进行搭接。

3.5.2 构建异质主体协同决策的关键算法

异质主体协同（heterogeneous agent coordination, HAC）的主要原则是求同存异、长短互补，这在一些分布式机器学习任务中得到体现^[31]。对于相同的环境，在多数智能模型中由于主体的单一性其判断是近似的，而事实上，模型的主体不仅应当对于环境做出差异化的反映，还必须在这个过程中寻求其他具有共性决策目标的主体。异质主体具备更复杂的协同机制，主要体现在：智能体自身的决策目标具有显著差异；除与环境的关系外，进一步加强智能体之间的关系，智能体决策时考虑对于其他智能体行为的预判；各主体的决策具备整体动机，区别于追求各自利益最大的多代理人系统，模型需要在个体和整体价值中间寻找决策的平衡点。单脑结构中，目标是单一的，即符合唯一主体的利益；在异质主体协同模式中，目标是多元甚至是冲突的，每个主体都在平衡自身与其他主体的预期，并且随着系统时间发展，整体目标根据不同主体的状态会产生相应变化。因此，模型应更关注每个节点在预期目标、感知能力、模型结构、行为方式等多个方面的异质性及其造成的系统演化结果的差异。

3.6 第六议题：城市众脑是如何迭代的？

城市的智能系统可描述为为三个阶段，是由单脑系统、低级群体智能系统

段，是由单脑系统、低级群体智能系统发展成为众脑系统。其演化过程见表2。

3.7 第七议题：如何把虚拟空间中的众脑关系映射到城市真实的治理中？

在系统结构方面，如在上海金鼎的智慧建设中，建构了一个多大脑并行的AI场景群，实现人流感知、立体交通推

演、产业运营诊断、自动驾驶服务、功能配置等多维信息互动以及资源调度，如图2和图3。每个系统可以独立运行，系统之间通过数据、算法和计算结果的交互实现协同。

在末端感知方面，如“城市数字视网膜”感知—决策系统^[32]。借助末端决策系统打破了只依靠城市大脑决策的局

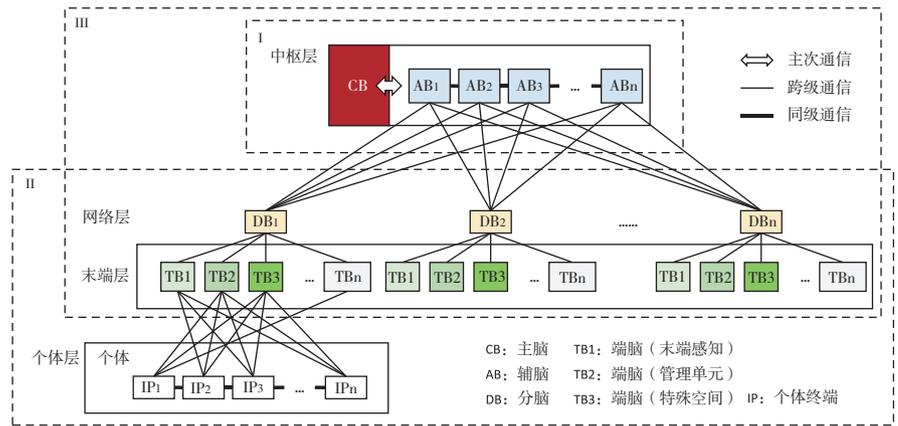


图1 城市众脑的要素组织示意图（I 主次协同；II 层级协同；III 群落协同）

Fig.1 The element organization of Society Brains (I primary-secondary coordination; II hierarchy coordination; III community coordination)

表2 不同智能模型结构的对比

Tab.2 Comparison of different intelligent model structures

智能系统	模型特征	模式图
单脑系统	<ul style="list-style-type: none"> 单一智能体 仅与环境交互 	
低级群体智能系统	<ul style="list-style-type: none"> 多智能体 智能体同质性 共享目标期望 各自执行指令 	
众脑系统	<ul style="list-style-type: none"> 多智能体 智能体异质性 差异化的目标期望 联合学习系统 评估整体环境影响 智能体间的协同关系 	

面，实现分区、分级决策，将单向指令模型转变为自组织模型，如图4，更加适应治理需要。此外，大量手机App的出现形成新型的商业模式，解决了用户个体需求的精准匹配问题，直接提升了用户便利性^[33]。通过微型回路构建了城市居住者和就业者在日常生产、生活中繁琐需求的自组织决策机制，并通过分流保障了整体系统的平衡。

3.8 第八议题：如何形成物质、社会、数字三元世界的互动？

人从物质空间中提取出知识，反过来干预物质空间，由此形成了城市演进的基本闭环。随着数字技术的普及，在引入了数字空间的概念之后，在人和真实世界中间增加了一层“数字”，形成了“人—数字空间—物质空间”三元互动的结构。其中：物质空间和数字空间形成一对映射，后来被称为“数字孪生城市(digital twin city)”；数字空间将信息和知识以数据的形式传递给人，实现了真实物质世界、社会空间以及数字空间的三元互动。城市众脑带来的结构性变化，是在数字世界中模拟了整个社会空间的运行，而不只是建立一个数字孪生城市。城市智慧化的主体与客体的关系因此发生了转变，城市可以主动学习和迭代，提前看到未来的城市演化，再映射到真实世界中的过程。

3.9 第九议题：城市众脑之间应如何架构？

在为每个城市都架构一套众脑系统后，城市之间的联系将更加密切，不仅仅是主脑决策层或是管理层之间的联动，在各层级各大脑系统之间也会建立密切的信息交互，这些跨城市信息的传递也成为众脑决策系统中的资源，进而实现了更大空间尺度上城市群落的众脑系统。

4 结语

传统的“城市大脑”在现代化治理中面临依赖单体决策模型、缺乏群体感知和预测能力以及难以应对异质主体协同等问题。向城市社会的组织模式学习以建立更加适应多元异质主体复杂需求环境的“城市众脑”系统，既是突破



图2 上海金鼎产业运行智能配置大脑

Fig.2 Brain system of industrial resource configuration in Jintong District, Shanghai



图3 上海金鼎城市功能智能配置大脑

Fig.3 Brain system of urban facility configuration in Jintong District, Shanghai

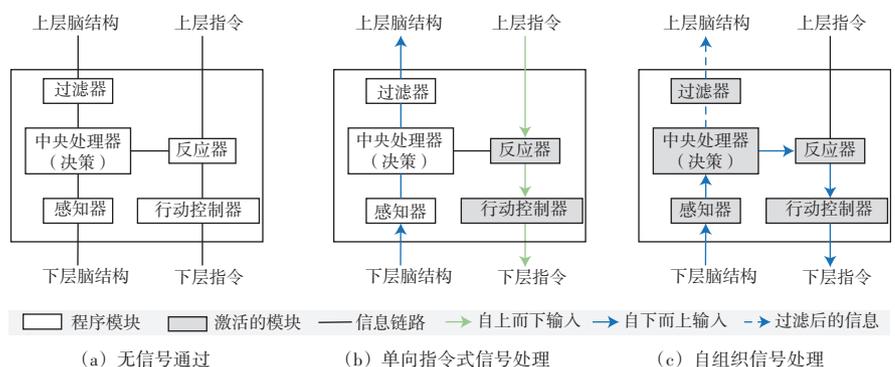


图4 决策单元的不同状态图示

Fig.4 Different states of decision units

“城市大脑”发展瓶颈的路径，也是AI技术研发的新方向。

从“城市大脑”到“城市众脑”，从本质上完成了以下几个历史性的进步：

①人工智能从学习单体的智能走向学习

社会群落的智能。②城市的智能化从依托于一个超级聪明的大脑到依托一群智慧的大脑。

③人类的文明并不是把所有的社会群落的智商让渡给一个大脑，而是一群独立的智商协同，完成了文明的

发展，而众脑就是这种文明进步的智能模式映射。④区别于鸟群、鱼群和蚁群等群体智能的分散化和自发性，众脑调用不同层级上的大脑，架构主脑、辅脑、分脑、端脑的模型框架。这些大脑之间的主次协同、层级协同、群落协同关系，共同推动“城市众脑”模型的运转。⑤正如中医采用“君臣佐使”的方剂组成原则，复合思想的整体协同也在众脑结构中得到充分的反映和演绎发展。

城市众脑结构可以分为哲学层、理论层、技术层、硬件层、运行层的多重技术革命。本文主要探讨了转化源起、决策架构、联动搭接、职能分配、数字模拟、迭代升级、治理映射、三元互动、群落交互等九大关键议题，并期待涌现更多的议题，推进“城市众脑”的持续迭代更新。

注释

① “中枢”在生理学上指中枢神经系统(central nervous system, CNS)，由脑(包含大脑、小脑)和脊髓组成，其主要职能是接受全身的传入信息，经整合、协调后转变为运动性的传出，或经过储存、转化后成为学习、记忆的神经基础。中枢神经系统是生命体思维、决策和行动的最主体部分。

参考文献

[1] 吴志强,王坚,李德仁,等.智慧城市热潮下的“冷”思考学术笔谈[J].城市规划学刊,2022(2):1-11.
 [2] 潘云鹤.AI及机器人的新方向[J].机器人技术与应用,2019(4):19-20.
 [3] 张庭伟.复杂性理论及人工智能在规划中的应用[J].城市规划学刊,2017(6):9-15.
 [4] 吴志强.论新时代城市规划及其生态理性内核[J].城市规划学刊,2018(3):19-23.
 [5] CHOURABI H, NAM T, WALKER S, et al. Understanding smart cities: an integrative framework[J]. IEEE Computer Society, 2012.
 [6] 吴志强,甘惟,臧伟,等.城市智能模型(CIM)的概念及发展[J].城市规划,2021,45(4):106-113.
 [7] 甘惟,吴志强,王元楷,等.AIGC辅助城市设计的理论模型建构[J].城市规划学刊,2023(2):12-18.

[8] 华先胜,黄建强,沈旭,等.“城市大脑”:云边协同城市视觉计算[J].人工智能,2019(5):77-91.
 [9] 高文.鹏城云脑开源生态[J].软件和集成电路,2021(6):50-51.
 [10] 吴志强,鲁斐栋,杨婷,等.重大疫情冲击下城市空间治理考验[J].城市规划,2020,44(8):9-12.
 [11] 李德仁,姚远,邵振峰.智慧城市中的大数据[J].武汉大学学报(信息科学版),2014,39(6):631-640.
 [12] 赖世刚.复杂城市系统规划理论架构[J].城市发展研究,2019,26(5):8-11.
 [13] 范如国.复杂网络结构范型下的社会治理协同创新[J].中国社会科学,2014(4):98-120.
 [14] 吴志强.人工智能辅助城市规划[J].时代建筑,2018(1):6-11.
 [15] MCCLATCHY V R. A theoretical and statistical critique of the concept of social intelligence and of attempts to measure such a process[J]. Journal of Abnormal & Social Psychology, 1929, 24(2): 217-220.
 [16] CONZELMANN K, WEIS S, HEINZ-MARTIN SÜ. New findings about social intelligence development and application of the Magdeburg Test of Social Intelligence (MTSI)[J]. Journal of Individual Differences, 2013, 34(3): 119.
 [17] KLIEMANN D, ADOLPHS R. The social neuroscience of mentalizing: challenges and recommendations[J]. Curr Opin Psychol, 2018, 24: 1-6.
 [18] CHEN P, HONG W. Neural circuit mechanisms of social behavior[J]. Neuron, 2018, 98: 16-30.
 [19] KINGSBURY L, HONG W. A multi-brain framework for social interaction[J]. Trends in Neurosciences, 2020, 43(9): 651-666.
 [20] ROUCHIER J. Social intelligence for computers[M]//DAUTENHAHN K, BOND A, CAÑAMERO L, et al. Socially intelligent agents. multiagent systems, artificial societies, and simulated organizations, vol 3. Boston, MA: Springer, 2002.
 [21] VAN DIJK E, DE DREU C K W. Experimental games and social decision making [J]. Annual Review of Psychology, 2021 (72): 415-438.
 [22] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning[J]. Nature, 2015, 521(5): 436-444.

[23] HU Jie, SHEN Li, SUN Gang. Squeeze-and-excitation networks[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018: 7132-7141.
 [24] LECUN Y, BOTTOU L, BENGIO Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. Proceedings of the IEEE, 1998(11): 2278-2324.
 [25] HINTON G E, SALAKHUTDINOV R R. Reducing the dimensionality of data with neural networks[J]. Science, 2006, 313(5786): 504-507.
 [26] BENGIO Y, COURVILLE A, VINCENT P. Representation learning: a review and new perspectives[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2013, 35(8): 1798-1828.
 [27] 吴志强,甘惟,刘朝晖,等.AI城市:理论与模型架构[J].城市规划学刊,2022(5):17-23.
 [28] JANG J S R. Anfis - adaptive-network-based fuzzy inference system[J]. IEEE Transactions On Systems Man and Cybernetics, 1993, 23 (5): 665-685.
 [29] OLFATI-SABER R, FAX J A, MURRAY R M. Consensus and cooperation in networked multi-agent systems[J]. Proceedings of the IEEE, 2017, 95 (1): 215-233.
 [30] MNIH V, KAVUKCUOGLU K, SILVER D, et al. Human-level control through deep reinforcement learning[J]. Nature, 2015, 518(7540): 529-533.
 [31] XING E P, HO Q, DAI W, et al. Petuum: a new platform for distributed machine learning on big data[J]. IEEE Transactions on Big Data, 2015, 1(2): 1335-1344.
 [32] 高文,田永鸿,王坚.数字视网膜:智慧城市系统演进的关键环节[J].中国科学:信息科学,2018,48(8):1076-1082.
 [33] 张旭梅,梁晓云,但斌.考虑消费者便利性的“互联网+”生鲜农产品供应链O2O商业模式[J].当代经济管理,2018,40(1):21-27.