

面向未来的数据增强设计:信息通信技术影响下的设计应对*

Data Augmented Design for the Future Urban Space: Design Responses Influenced by Information and Communication Technology

张恩嘉 龙瀛 ZHANG Enjia, LONG Ying

摘要 信息通信技术的发展给城市规划及设计带来新机遇与新挑战。从日常活动的视角梳理出人们日常生活虚实交织与空间使用时空转移的发展趋势,从空间形式的视角归纳出城市空间数实相生与日常需求智能响应的特征。在此基础上,从3个方面展望ICT影响下城市空间的变化:“以时间换空间”——通过混合、共享、分时复用的方式提高低频/潮汐空间的使用效率;“以信息换能量”——互联网信息流替代部分出行和功能空间的同时也促进新的活动和空间需求的产生;“以物流换人流”——线上线下服务促进商品/服务流动方向的转变,对物流仓储与运输空间的需求增长。进一步讨论了城市组织要素功能和价值的重塑及以数字创新为核心的面向未来的数据增强设计的应用潜力。

Abstract The development of information and communication technology (ICT) brings profound opportunities and challenges to urban planning and design. This study reviews the mix of real and virtual daily life and the spatiotemporal transfer of spatial usage from the perspective of human activities. It also summarizes the interplay of data and urban entity and intelligent response to the demand supported by ICT from the perspective of urban spatial form. This study proposes the changes in the urban space from three aspects. (1) "Exchanging time for space" — ICT could improve the efficiency of low-frequency/tidal space through mixed and shared space. (2) "Exchanging information for energy" — internet information replaces part of travel and functional space but also promotes the generation of new activities and space. (3) "Replacing pedestrian flows with logistics" — online to offline services promote the change of the flow direction of commodities/services, increasing demand for logistics warehousing and transportation space. This study also discusses the reshaping function and value of urban elements and the application potential of future-oriented data augmented design with digital innovation.

关键词 信息通信技术;数字创新;数据增强设计;城市规划;城市设计

Key words information and communication technology; digital innovation; Data Augmented Design; urban planning; urban design

文章编号 1673-8985 (2022) 03-0001-07 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20220301

作者简介

张恩嘉

清华大学建筑学院

博士研究生

龙瀛 (通信作者)

清华大学建筑学院

生态规划与绿色建筑教育部重点实验室

长聘副教授, 博士生导师

ylong@tsinghua.edu.cn

0 引言

随着移动互联网(4G/5G)、传感网与物联网、人工智能、大数据与云计算等信息通信技术(Information and Communication Technology, ICT)的发展,城市生活与城市空间都经历着深刻变革,给城市空间的规划与设计带来前所未有的机遇和挑战。一方面,新数据和新方法的

涌现给定量刻画城市空间和人群行为带来新机遇,有助于在精细尺度理解城市的历史与现状,挖掘城市空间和人群行为的互动规律,为城市规划与设计的科学性及合理性提供实证基础^{[1]83}。因此,以数据驱动研究为基础的规划与设计方法在实践中的应用不断迭代、更新和优化^[2-5],并进一步催生人工智能辅助设计^[6-7]。

*基金项目:国内企事业单位委托项目“WeCityX科技规划研究”(编号20212001232);国家自然科学基金面上项目“城市收缩背景下城市空置的智能测度、机理认知与规划设计响应研究”(编号52178044);清华大学-丰田联合研究基金专项“未来社会广义人居环境研究:场所营造及评估关键技术研发、决策优化与场景应用”(编号20213930029)资助。

另一方面,随着互联网、移动互联网在人们居住、工作、交通、游憩等日常生活方方面面的渗透度不断提升,人们生活方式的转变重塑着以往人与空间的互动关系^{[8]188}。城市的互动更加高频,而依赖低频城市空间设计的传统城市空间形式不能完全适应新时代人们对空间的需求^{[9]101},因此给城市规划与设计带来新挑战。

数据增强设计(Data Augmented Design, DAD)作为立足于新数据环境,以定量城市分析为基础的实证性空间干预设计方法论,自2015年由龙瀛和沈尧^{[1]82}提出以来不断得到应用及发展^[10-11]。龙瀛和张恩嘉^[12]将数据增强设计的应用概括为3个维度:即基于数据分析的场地问题识别与特征挖掘,基于量化研究的案例特征提取与空间模式总结,以及以趋势和需求研究为基础的面向未来的新居住、工作、交通及游憩形式的规划设计。其中DAD第一维度和第二维度致力于回答如何把握新机遇,提升规划与设计的效率和效益,DAD第三维度则致力于认识城市发展的新趋势,通过数字创新的方法应对城市规划与设计在新时代面临的挑战^{[13]10}。本文旨在通过梳理ICT影响下人与空间互动方式转变的研究进展,总结和展望ICT影响下未来空间的使用和设计逻辑,并在此基础上进一步提出数据增强设计在未来空间设计中的应用潜力,为顺应时代发展趋势、满足新时代人对空间的新需求提供参考。

1 ICT对人与空间互动的重塑

1.1 日常生活的虚实交织与空间使用的时空转移

随着信息技术对人们日常生活的渗透度的提升,互联网尤其是移动互联网的迅速发展深刻改变了人们衣食住行的方式。截至2020年12月,我国网民规模达9.89亿,互联网普及率达70.4%,手机网民占比99.7%^[14],我国已成为全球最大的数字社会。即时通信、线上办公、网络购物、网络社交、网络视频(含短视频)、网约车、在线教育、在线医疗等在线活动方式丰富了人们的日常生活,我国网民每天平均屏幕使用时间为6小时,平均使用手机

108次^[15]。由此可见,人们日常生活已逐渐与数字化形式深度绑定,形成现实生活与数字化生活互相交织的状态。

ICT产生的线上活动对线下活动产生的影响大致可以分为4个方面^{[16]270}。“替代”(substitution):ICT为各种各样的线下活动提供了可替换的线上活动,如线上办公、网络社交、在线服务等。“补充”(supplement):在一些场景下,新兴的基于ICT的活动补充了原来的活动,是一种新的活动形式,如AR、VR、XR等互动形式。“作为介质的促进”(facilitation):ICT也可能作为介质刺激并促进一些新地点的活动需求,如在线点评、网络推荐等。“时空间再分配”(reallocation):一些活动场景下,ICT只是对活动的时空间进行再分配,如外卖、共享办公等。

ICT影响下线上活动与线下活动相互交织,两者形成复杂的时空转换关系。基于人物理属性的线下活动是时空间连续的,而基于ICT连接属性的线上活动则是时空间不连续的^[17]。根据线上线下活动的时间同步性与活动关联性的差异,可将人们日常活动的虚实转换划分为4类:交替(异步—无关)、并存(同步—无关)、传递(异步—有关)与融合(同步—有关)(见表1)。因此,以时间维度为切片看待线上线下同步活动时,ICT影响下的活动呈现复合化^[18]与多任务^{[19]97}的特征,并表现出“前台”(foreground activity)和“后台”(background activity)的注意力差异^[20]。而以时间维度看待线上线下异步活动时,ICT影响下的线上活动对线下活动的替代、促进或分配作用促使活动的时空灵活性提升^{[16]279}。以空间维度为切片仅关注线上活动或以整体视角看待线上线下活动时,ICT影响下的活动便表现出时间及空间的碎片化^[21]或者破碎化^[22]的特征。

人们日常活动线上线下的虚实交织使得活动与空间的交互关系发生变化。一方面,线上活动的时空不连续性促进远程办公、远程服务等异地办公及服务空间的形成^[23]。另一方面,端到端、人到人的线上信息的交互与调度

也促使对同一空间不同时间安排的细化,促进共享空间如共享办公、共享居住等新的空间使用形式的产生^[24]。前者通过信息的空间连接属性实现不同空间之间的需求转移,后者则通过信息的时间连接属性实现同一空间在不同时间的需求整合。

1.2 城市空间的数实相生与日常需求的智能响应

近年来,随着物联网(Internet of Things, IoT)技术的不断发展,由工业领域提出并发展的“信息物理系统”(Cyber-physical System, CPS)及“数字孪生”(Digital Twin)等概念逐渐延伸到城市领域^[25]。一些研究者从体系架构层面提出自适应的智慧城市规划系统,突出基于数据驱动模型的城市资源配置。赵丽虹等^[26]从万物互联提升供需匹配视角强调信息物理系统在城市规划方法变革中的应用。甄峰等^[27]基于城市资源合理高效配置的目的,提出“人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架,强调智慧的城市规划技术与智慧城市的规划之间的传导与实现关系。武廷海等^[28]从历史演变的视角,强调数字化信息化的城市系统通过供需信息精准匹配实现保障人们幸福生活目的的重要意义。另一些研究者则从具体空间设计策略视角,展望新技术满足人们新需求的实现路径。张恩嘉等^{[13]7}从数字创新技术与空间干预和场所营造融合视角提出颠覆性技术作用下的设计转变路径。韩亚楠等^[29]探索了新技术对城市更新的数字感知、增强设计、科学决策、公众参与等方面的应用潜力。整体而言,基于“全面感知—智能计算—精准匹配—协同响应”系统的城市空间能够实现数据与实体空间的相互影响和反馈(见图1),形成“规划—实施—评估”的数字化智能管理闭环,促进规划的实时评估、预警、动态智能反馈及远程管控^[30]。

城市空间的数实相生改变了人与空间的互动和需求匹配方式。在过去,城市空间往往在规划设计建造之后,由人去适应空间的设计形式,并通过人的出行和移动获取物质和信息

资源,然后在长期互动下设计并改造空间。而现在,随着空间的全面感知与智能反馈系统的构建,空间能够主动识别、动态调整进而满足人的需求。人对物质和信息的需求也可以不再仅依赖实体的空间形式,而通过物质流和信息流的形式进行动态匹配^[31]。

2 ICT影响下的未来空间组织逻辑

正如威廉·米切尔^{[8]13}在20年前预测的那样,“信息化对社会影响的深刻程度不亚于电气化,旧的社会结构——受地点和时间制约的组织方式——已经出现裂痕”。ICT编织的信息流网络连接时间和空间,将时空要素进行解构并重构。城市空间作为信息交换、商品生产及活动

载体的功能也进一步被拆解和调整^[32]。因而,城市空间原有的时空运行逻辑在ICT影响下发生了变化,ICT将改变现存的城市组织要素的功能和价值,并且重建它们之间的关系。

2.1 以时间换空间

城市不同功能被使用的频率不同。然而过去受限于数据获取和管理方法的时空精度,城市规划设计师及管理者难以对同一空间不同时间的需求进行感知,也不能精细化地管理和分配空间资源。因此,规划设计师长期通过冗余较多的低频的城市空间设计满足人们高频的活动需求。然而,随着经济社会发展水平的提升,大城市承载的人及其需求迅

速增长,原来冗余设计的空间在新的发展阶段暴露出资源紧张的问题,进而造成交通拥堵、住房紧张等一系列城市问题。与此相反,一些人口减少的城市则呈现出原本冗余设计的空间在新的发展阶段更加冗余甚至剩余的情况,造成鬼城、空城,或者新区活力不足等低效存量空间的问题。随着ICT对地理约束的降低,人们更容易了解不熟悉地方的空间信息,也更容易到达可视性较低的隐藏空间^[33],城市空间设计的冗余性可以在一定程度得以降低。以往针对不同的活动及功能的空间设计中,空间功能与空间形式需相互匹配。在未来,借助ICT对活动的引导及对空间的动态管理,规划设计师可以用时间换空间,实现空间的动态调整和混合使用,空间形式不再必须追随功能^{[9]69}(见图2)。

一方面,针对分散在各处的相同使用功能的空间,可以将低频空间如书房、休闲、娱乐、会议等功能进行整合,通过化零为整、空间共享及分时复用的方式,提高空间的使用效率(见图2a)。近年来,我国共享办公室、共享会议室、共享茶室、共享自习室、共享厨房、共享会客厅等基于互联网平台的共享空间产业规模发展迅速。客厅、书房、茶室、厨房等人们日常使用频率相对较低的私人空间被拆解,并进行公共化重组,消费者通过按时付费的方式获取空间的部分时段的使用权。使用但不拥有的共享思想^[34]在城市空间的使用上仍具有潜力。

另一方面,针对同一公共空间,我们可以通过基于数字边界的空间形态的动态调整引导同一空间不同时间的不同类型活动的空间布局,实现同一空间不同功能的分时组合(见图2b)。Sidewalk Toronto的动态路缘设计(dynamic curb)通过网格形模块化的数字铺装设计及自适应的交通信号灯的使用可以动态自由地调整空间的使用边界和功能。在交通高峰期为交通功能,可用作乘客上下车的停靠站,在交通非高峰期则可作为行人活动的空间。弹性灵活的空间设计能够充分发挥空间的使用潜力,提升空间的利用效率。

表1 日常活动虚实转换的4种场景
Tab.1 Four scenarios of virtual-to-real conversion of daily activities

| 时间同步性与活动关联性 | 无关 | 有关 | 活动的时空特征 |
|-------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 异步 | 交替 例:线上上课、线下跑步 | 传递 例:线上外卖、线下吃饭 | 时空灵活性 |
| 同步 | 并存 例:线上看视频、线下吃饭 | 融合 例:线上直播、线下吃饭 | 复合化、多任务、前台与后台 |
| 活动的时空特征 | 时间及空间的碎片化/破碎化 | | — |

资料来源:笔者自制。



图1 基于IoT架构的城市空间系统
Fig.1 Urban space system based on IoT architecture

资料来源:笔者自绘。

2.2 以信息换能量

随着互联网及移动互联网覆盖度的提升,以往城市空间的信息功能被互联网信息流逐渐替代。互联网信息在引导出行及活动、调整空间的使用及布局方面起到关键作用,以空间为核心的活动组织形式逐渐转换为以人为核心的活动组织。远程办公、线上服务、网络休闲等线上活动形式节约了人们出行和城市空间使用的成本,以往为了人们更容易获取信息而产生的出行成本及对空间资源的需求被大幅度降低。与此同时,新的线上活动也会促进新的出行需求和空间形式的产生。因此,城市空间会更加强调其作为活动容器的作用,并提供与众不同的、难以复制和被互联网替代的、具有本地独特吸引力的空间体验(见图3)。

一方面,教育、政务、咨询、会议等围绕信息服务所设计的功能空间在新的发展阶段的需求被降低,为了获取这些信息而产生的出行需求也被进一步缩减。部分空间对人的出行及活动的吸引力降低,逐渐失去人的各类活动构成的活力,从而产生负面的连锁效应,给城市规划、设计和管理带来挑战。但对于空间资源较为紧张的城市而言,这也可能带来新的机遇,例如剩余的仍需要出行满足的信息交流需求如线下会议、教育、咨询等,则可通过以时间换空间的共享空间形式满足;一些动态的交通载体也可作为信息活动的载体,实现出行即服务(Mobility-as-a-Service, MaaS)的移动空间形式;随着这些以信息服务为目的的空间体量被缩减,腾挪后的空间使用潜力则可以被进一步释放,从而满足体验性活动的空间需求。

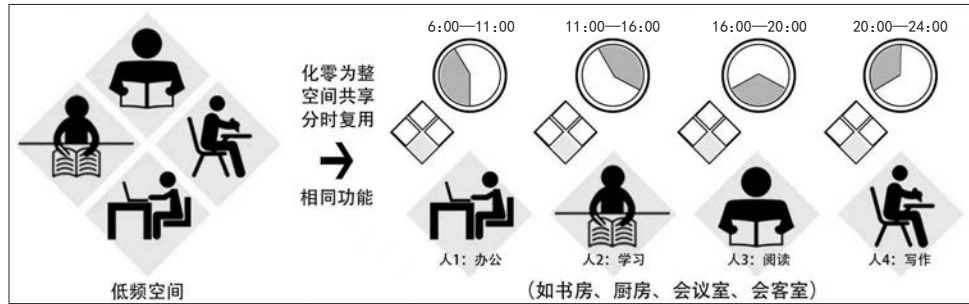
另一方面,无论是威廉·米切尔^{[8]187}还是爱德华·格莱泽^[35]都强调尽管ICT可以减少原本“必要”的出行,但人们仍然需要在特定的地点和时间,以直接的、面对面的方式相互交流和活动。互联网信息在其中可以扮演“橱窗”“口碑”“地图”“导游”等多样角色,从而促进和引导人的出行和活动。在此过程中,“金角银边草肚皮”的地理区位与“酒香不怕巷子深”的互联网区位博弈,给城市边缘、深处或

者其他可视性较低的空间提供前所未有的发展机遇。

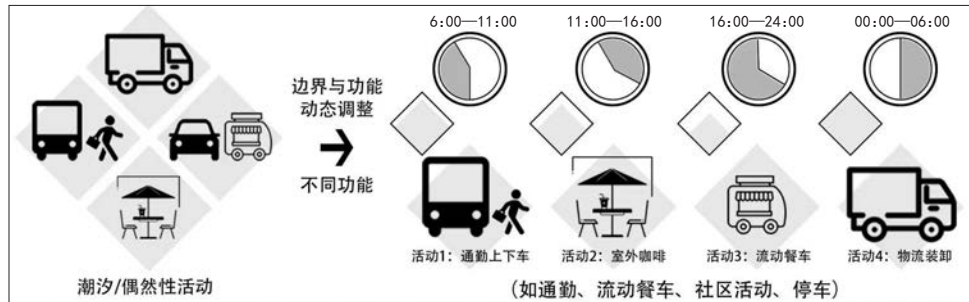
2.3 以物流换人流

建筑空间除了承担信息功能外,也承担商品及服务供给的功能。在过去,前店面和后房间分别起到信息提供和商品满足的功能。然而,以往信息的传递更多是单向的且途径单一的,消费者需要通过自身的流动主动去获取信

息并满足商品需求。随着店面的信息功能被互联网替代,前店面的重要性被降低,甚至可以与后房间进行拆离。后房间则不必位于租金较高的商业区,可以选择贴近消费者的区域或者贴近生产端的区域^{[8]184}。与此同时,双向流动的信息路径使得消费者可以提供自身的空间信息和需求,基于线上线下服务(Online to Offline, O2O)的服务者和产品提供商主动流向消费者^[36](见图4)。原来为了减少消费者



a 私人空间的公共化共享



b 公共空间的弹性灵活利用

图2 以时间换空间——相同或不同功能空间的整合与共享示意图

Fig.2 Exchanging time for space: a diagram of the integrated and shared space

资料来源:笔者自绘。

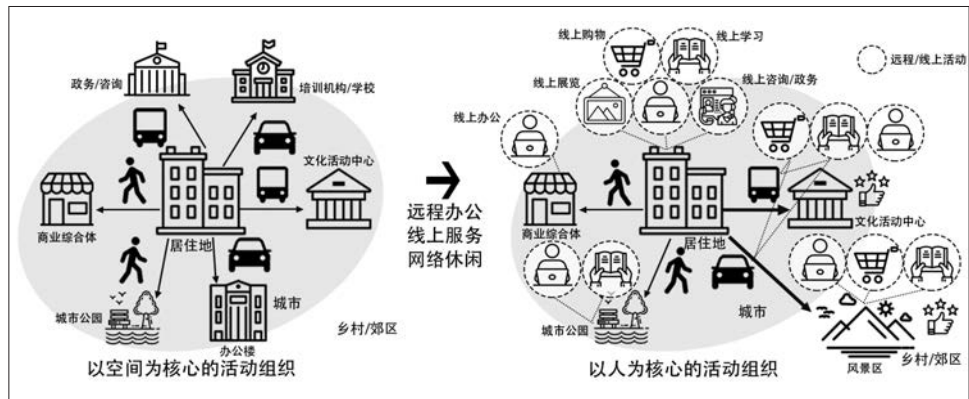


图3 以信息换能量——远程/线上服务改变人的出行需求及活动空间偏好示意图

Fig.3 Exchanging information for energy: a diagram of remote/online services changing the travel demand and spatial preference

资料来源:笔者自绘。

信息获取及出行成本而产生的各级商业中心的
空间区位的重要性被削减。因此,随着物质
流动方向的转变,商品/服务供给地的选址便
更加灵活。对商品和服务的及时性需求的差异
则会反映在服务空间离消费者距离的远近上。
以满足及时需求为主的商品与服务如社区团
购、外卖等的提供商更靠近消费者,而对及时
性要求较低的商品与服务如网购等的提供商
则可以离开所服务主体所在的城市,在周边城
市甚至全国、全球进行布置。以体验、在场经济
为主的消费者流动形式的活动空间载体仍然
对空间的可达性有一定的需求。因此,承载体
验性活动的空间载体与提供商品和服务的空
间载体在选址和设计上会有所差异。

伴随着流动方向变化的是城市交通组织
系统的调整。以往交通空间的设计主要为了
承载人流,因此注重对步行、公共交通、私家
车等不同出行形式的道路网络设计及设施配
套。而伴随着城市商品和服务流动方向的调
整和转变,城市空间针对物流仓储与运输的
空间形式设计开始涌现,如物流园区、物流配
送中心、快递驿站、智能快递柜等。在未来,随
着机器人配送等无人物流的发展,针对物流
配套的交通设施也将进行调整。例如雄安新
区、Sidewalk Toronto等通过地下管道的设计
满足物流运输的需求。京东通过智能化设
备和算法改造道路,实现无人配送(无人车/
机器人)所需的铁路协同。以往针对车流交
通设计的停车空间也开始转向地下/地上智能
仓储空间等的设计。

3 数字创新:面向未来的数据增强设计

在ICT的影响下,以时间换空间、以信息换
能量、以物流换人流3种新的空间组织和使用
逻辑使得办公、服务、游憩空间面临吸引力不
足、活力下降的问题,但同时也获得更大的选
址自由度,并更看重线下活动空间的体验性,
可以充分释放城市空间潜力;交通空间则会面
临更大的物流仓储和运输压力,需要适应城市
物流系统的改造和升级,实现交通空间的人机
友好。随着远程、到家等形式的活动及服务的

比例增加,居住空间及其周边作为人的日常活
动空间在ICT影响下更加重要,而其中使用频
率较低的功能可延伸到社区或者城市中被整
合和分时复用。

然而,无论是空间的选址和需求智能响
应,还是活动的预约和引导,都离不开ICT作为
基础设施在其中扮演需求感知、主体连接和信
息传递的作用。因此,面向未来的数据增强设
计需要通过“全面感知—智能计算—精准匹
配—协同响应”的数字创新工具来实现基于
数据分析的空间设计增强,从而适应人们日常
生活与城市空间的发展趋势。具体来说,数字
创新主要由大数据、云计算、人工智能、移动互
联网等“软件”技术和传感器(声光热、压力、
温湿度、位移等传感器)、执行器(管控设施、
信息设施及互动设施)等“硬件”技术,通过
与空间干预和场所营造的结合,将城市空间打

造为智慧城市的空间投影和载体,实现智慧/
未来城市的落地实践^{[13]8}。

在以时间换空间的场景中,数字创新在空
间干预层面的应用主要体现在通过传感器感
知空间的使用情况,自动匹配不同时段人群
的使用需求,并通过数字设施对时空边界进行
控制和自适应调整。数字创新在场所营造层
面的应用主要体现在通过手机应用、小程序
或其他智能设备收集、匹配、整合人在不同
时段的空间需求,并通过导航、通知等形式
引导人的活动。在以信息换能量的场景中,
在线休闲、远程服务及办公系统使得提供服
务的对象及空间不受消费者出行范围及可达
性的地理约束,可以自由选址。与此同时,剩
余的空间需要重新考虑它们的使用功能和提
供服务的在场价值。数字创新技术可以提升
城市空间作为活动载体的功能:通过空间干
预植入互动的声、光、电

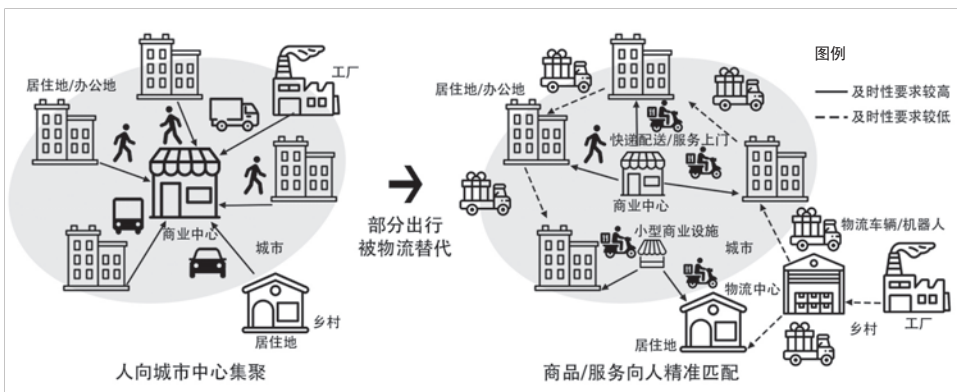


图4 以物流换人流——商品/服务与消费者的双向流动示意图
Fig.4 Replacing pedestrian flows with logistics: a diagram of two-way flows of materials/services and consumers
资料来源:笔者自绘。

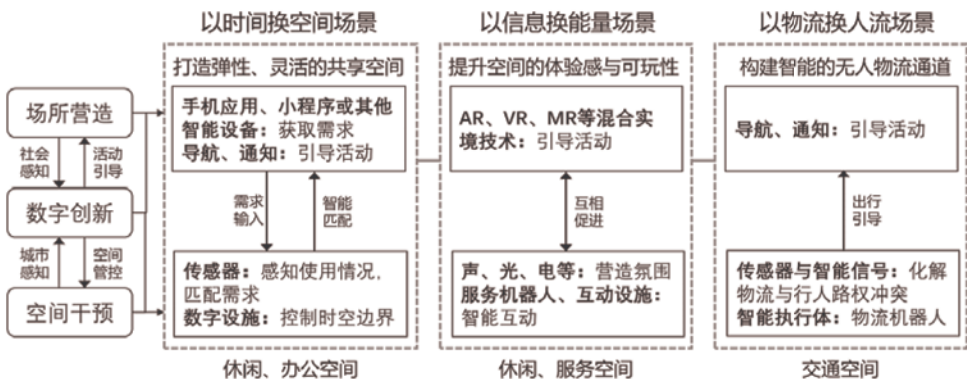


图5 数字创新在未来城市场景中的应用
Fig.5 Application of digital innovation in future urban space
资料来源:笔者自绘。

等氛围营造设施,布置服务机器人、互动娱乐设施等智能执行体,以及通过场所营造的AR、VR、MR等混合实境技术来提升空间的沉浸式体验和可玩性。在以物流换人流的场景中,由于服务场景的主体及移动方向的转变,部分服务空间的选址更加自由,而与物流相关的交通空间也将被智能化改造,实现车路协同。数字创新技术可通过空间干预布置多种类型的传感器实现路面及管道对物流载体的全面感知,以及多功能智能交通杆及智能信号实现对行人的感知和通行引导,并通过导航、通知等手机应用引导人流与物流的分离,保障行人安全与物流机器人的通畅运输(见图5)。

总体而言,数字创新通过社会感知和城市感知实现对供给与需求的全面感知,然后通过空间干预和场所营造方法提升空间的灵活性、增加体验感与可玩性,并实现对智能无人物流系统的构建。

4 总结与讨论

ICT的发展给城市规划与设计带来新机遇和新挑战。本文从日常活动的视角梳理出随着ICT对日常活动渗透度的提升,人们日常生活呈现虚实交织、空间使用呈现时空转移的特征。本文也从空间形式的视角归纳出随着IoT、5G等ICT基础设施的发展,城市空间可以在数字孪生系统的基础上实现与数据的实时交互,并智能响应城市的日常需求。在此基础上,本文从“以时间换空间”“以信息换能量”和“以物流换人流”3个方面展望了ICT影响下城市空间的时空逻辑变化,以及现存的城市组织要素的功能和价值的重塑。具体来说,“以时间换空间”强调ICT对空间的时间序列的精确管理,促进空间的错时使用和智能弹性;“以信息换能量”则注重ICT对出行和空间需求的调节作用,强调以空间为核心的活动组织形式向以人为核心的活动组织的转变。一方面城市实体空间信息功能被替代,使得部分出行需求降低,另一方面,ICT也会引导新的活动类型,因此需要人在场活动的城市休闲和服务空间则应需要更加具有体验性和可玩性,并充分利用

互联网区位优势,实现空间布局的灵活性。“以物流换人流”关注ICT对以商品与服务为核心的逆向交通流的促进作用,从而使部分满足及时需求的商品及服务空间更贴近消费者,而对及时性需求不高的商品及服务空间则可以远离消费者。并且由于物流需求的增长,城市交通空间也将由围绕人的出行配套拓展到兼顾人流、物流的空间形态调整。最后,本文从面向未来的数据增强设计角度讨论了数字创新以空间干预和场所营造两种形式提升办公与休闲空间的灵活弹性、增强休闲与服务空间的体验感与可玩性,以及拓展交通空间的智能无人物流能力等方面的潜力。

本文提出的针对未来空间的展望有些已经有显著的发展趋势和空间表征,例如以O2O服务为代表的外卖、社区团购及网络购物使得无堂食空间的中央厨房、社区团购“网格仓+门店”、淘宝村等新的空间形式涌现。有的现象刚刚开始萌芽和发展,例如共享客厅、共享自习室、共享办公空间等。还有的形式尚在技术探索及实验阶段,例如全面感知的车路协同融合设计、地上地下无人物流运输体系等。然而,本文只从城市空间可能发生的转变进行讨论,但实际上城市空间中仍然有许多不会变化的要素,原来的日常生活方式和空间组织形式仍然存在并延续,ICT只是提供了一些新的可能性,城市空间会因为这些新的可能性变得更加拼贴和丰富。

参考文献 References

[1] 龙瀛,沈尧.数据增强设计——新数据环境下的规划设计回应与改变[J].上海城市规划,2015(2):81-87.
LONG Ying, SHEN Yao. Data augmented design: urban planning and design in the new data environment[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2): 81-87.

[2] 高喆,陈伟,宁玲.数据增强设计在武汉市中心体系规划中的应用[J].规划师,2016,32(12):87-90.
GAO Zhe, CHEN Wei, NING Ling. The application of data augmented design in Wuhan center system planning[J]. Planners, 2016, 32(12): 87-90.

[3] 盛强,方可.基于多源数据空间句法分析的数字化城市设计——以武汉三阳路城市更新项目为例[J].国际城市规划,2018,33(1):52-59.
SHENG Qiang, FANG Ke. Digital urban design using space syntax analysis based on multi-source data: an urban renewal project in Wuhan Sanyanglu Area[J]. Urban Planning International, 2018, 33(1): 52-59.

[4] 杨俊宴.全数字化城市设计的理论范式探索[J].国际城市规划,2018,33(1):7-21.
YANG Junyan. Exploration on theoretical paradigm of all-digital urban design[J]. Urban Planning International, 2018, 33(1): 7-21.

[5] 周垠,龙瀛.数据增强设计下的北京行政副中心评估[J].上海城市规划,2016(3):1-8.
ZHOU Yin, LONG Ying. Assessment of Beijing sub-center based on data augmented design[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016(3): 1-8.

[6] 吴志强.人工智能辅助城市规划[J].时代建筑,2018(1):6-11.
WU Zhiqiang. Artificial intelligence assisted urban planning[J]. Time + Architecture, 2018(1): 6-11.

[7] 周怀宇,刘海龙.人工智能辅助设计:基于深度学习的风景园林平面识别与渲染[J].中国园林,2021,37(1):56-61.
ZHOU Huaiyu, LIU Hailong. Artificial intelligence aided design: landscape plan recognition and rendering based on deep learning[J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(1): 56-61.

[8] MITCHELL W J. E-topia: "urban life, Jim—but not as we know it"[M]. Cambridge: MIT Press, 2000.

[9] BATTY M. Inventing future cities[M]. Cambridge: MIT Press, 2018.

[10] 曹哲静,龙瀛.数据自适应城市设计的方法与实践——以上海衡复历史街区慢行系统设计为例[J].城市规划学刊,2017(4):47-55.
CAO Zhejing, LONG Ying. Methodology and practice of data augmented design: case study of slow traffic system design in Shanghai Hengfu Historical District[J]. Urban Planning Forum, 2017(4): 47-55.

[11] 甘欣悦,龙瀛.新数据环境下的量化案例借鉴方法及其规划设计应用[J].国际城市规划,2018,33(6):80-87.
GAN Xinyue, LONG Ying. Methodology and application of quantitative case study in urban planning & design in the new data environment[J]. Urban Planning International, 2018, 33(6): 80-87.

[12] 龙瀛,张恩嘉.数据增强设计框架下的智慧规划研究展望[J].城市规划,2019,43(8):34-40,52.
LONG Ying, ZHANG Enjia. Smart urban planning under the framework of data augmented design[J]. City Planning Review, 2019, 43(8): 34-40, 52.

[13] 张恩嘉,龙瀛.空间干预、场所营造与数字创新:

- 颠覆性技术作用下的设计转变[J]. 规划师, 2020 (21): 5-13.
ZHANG Enjia, LONG Ying. Spatial intervention, place making and digital innovation: design transformation driven by disruptive technologies[J]. Planners, 2020(21): 5-13.
- [14] 中国互联网络信息中心. 第47次中国互联网络发展状况统计报告[R/OL]. (2021-02-03) [2022-03-19]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/03/content_5584518.htm.
China Internet Network Information Center. The 47th China statistical report on internet development[R/OL]. (2021-02-03) [2022-03-19]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/03/content_5584518.htm.
- [15] 爱尔眼科, 一点资讯. 国民手机用眼行为大数据报告[R/OL]. (2018-06-05) [2022-03-19]. http://zqb.cyol.com/html/2018-06/08/nw.D110000zqnb_20180608_3-03.htm.
Aier Eye Hospital Group Co., Ltd., Yidianzixun. Big data report on national mobile phone eye behavior[R/OL]. (2018-06-05) [2022-03-19]. http://zqb.cyol.com/html/2018-06/08/nw.D110000zqnb_20180608_3-03.htm.
- [16] MOKHTARIAN P L, SALOMON I, HANDY S L. The impacts of ICT on leisure activities and travel: a conceptual exploration[J]. Transportation, 2006, 33(3): 263-289.
- [17] STARIKOVA A V, DEMIDOVA E E. Analysis of youth activities in the digital age: time-geographical approach[J]. Geography, Environment, Sustainability, 2021, 14(1): 234-240.
- [18] 姜玉培, 甄峰. 信息技术对城市居民生活空间的影响及规划策略研究[J]. 国际城市规划, 2018, 33 (6) : 88-93.
JIANG Yupei, ZHEN Feng. Study on the impact of ICT on urban residents' life-space and spatial planning strategy[J]. Urban Planning International, 2018, 33(6): 88-93.
- [19] 李春江, 张艳. 日常生活数字化转向的时间地理学应对[J]. 地理科学进展, 2022, 41 (1) : 96-106.
LI Chunjiang, ZHANG Yan. The time geography response to the digital transition of everyday life[J]. Progress in Geography, 2022, 41(1): 96-106.
- [20] THULIN E, VILHELMSON B. Bringing the background to the fore: time-geography and the study of mobile ICTs in everyday life[M]/Ellegård K. Time geography in the global context. London: Routledge, 2018.
- [21] 王晶, 甄峰. 信息技术对城市碎片化的影响及规划策略研究[J]. 国际城市规划, 2015, 30 (3) : 66-71.
WANG Jing, ZHEN Feng. Study on the impacts of information and communication technologies on urban fragmentation and planning strategy[J]. Urban Planning International, 2015, 30(3): 66-71.
- [22] 尹罡, 甄峰, 席广亮. 信息技术影响下城市休闲空间生产机理及特征演变研究[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30 (6) : 121-124.
YIN Gang, ZHEN Feng, XI Guangliang. A study on production mechanism and evolution characteristics of urban leisure space affected by information and communication technologies[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(6): 121-124.
- [23] COENEN M, KOK R A W. Workplace flexibility and new product development performance: the role of telework and flexible work schedules[J]. European Management Journal, 2014, 32(4): 564-576.
- [24] COLL-MARTINEZ E, MENDEZ-ORTEGA C. Agglomeration and coagglomeration of co-working spaces and creative industries in the city[J]. European Planning Studies, 2020, doi: 10.1080/09654313.2020.1847256.
- [25] BATTY M. Digital twins[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2018, 45(5): 817-820.
- [26] 赵丽虹, 王鹏. 对ICT背景下城市规划技术方法变革方向的思考[J]. 当代建筑, 2020 (12) : 51-55.
ZHAO Lihong, WANG Peng. Research on the development of urban planning under the background of ICT[J]. Contemporary Architecture, 2020(12): 51-55.
- [27] 甄峰, 孔宇. “人—技术—空间” 一体的智慧城市规划框架[J]. 城市规划学刊, 2021 (6) : 45-52.
ZHEN Feng, KONG Yu. An integrated "human-technology-space" framework of smart city planning[J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 45-52.
- [28] 武廷海, 官鹏, 李嫣. 未来城市体系: 概念、机理与创造[J]. 科学通报, 2022, 67 (1) : 18-26.
WU Tinghai, GONG Peng, LI Yan. Future cities as a system of systems: its concept, mechanism and creation[J]. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(1): 18-26.
- [29] 韩亚楠, 茅明睿, 贺俊堯, 等. 新技术驱动下城市微更新的设计赋权——基于北京双井街道参与式微更新实践[J]. 新建筑, 2021 (4) : 11-17.
HAN Ya'nan, MAO Mingrui, HE Junyao, et al. Design empowerment for urban micro-renewal driven by new technology: Shuangjing micro-renewal practice based on human and evidence-based participatory design methodology[J]. New Architecture, 2021(4): 11-17.
- [30] 杨滔, 秦凌, 黄奇畴, 等. 城市智慧空间的设计与建构[J]. 未来城市设计与运营, 2022 (1) : 17-22.
YANG Tao, QIN Ling, HUANG Qiqing, et al. Design and construction of urban smart space[J]. Future City Studies, 2022(1): 17-22.
- [31] BATTY M. The inventive century[M]. Cambridge: MIT Press, 2018.
- [32] 周榕. 硅基文明挑战下的城市因应[J]. 时代建筑, 2016 (4) : 42-46.
ZHOU Rong. Urban responses against challenges posed by cyber civilisation[J]. Time + Architecture, 2016(4): 42-46.
- [33] ZHANG F, ZU J, HU M, et al. Uncovering inconspicuous places using social media check-ins and street view images[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2020, 81: 101478.
- [34] KELLY K. The inevitable: understanding the 12 technological forces that will shape our future[M]. New York: Penguin, 2016.
- [35] GLAESER E. Triumph of the city: how our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier, and happier[M]. London, England: Penguin Books, 2011.
- [36] 牛强, 易帅, 顾重泰, 等. 面向线上线下社区生活圈的服务设施配套新理念新方法——以武汉市为例[J]. 城市规划学刊, 2019 (6) : 81-86.
NIU Qiang, YI Shuai, GU Zhongtai, et al. New concept and approaches to the reconfiguration of service facilities of online and offline community life circle: a case study of Wuhan[J]. Urban Planning Forum, 2019(6): 81-86.