文章编号：1673-9493（2014）06-0012-19　中图分类号：TU984　文献标识码：A

未来的智慧城市

Smart Cities of the Future

迈克尔·巴蒂 著　赵怡婷　龙瀛 译
Written by Michael Batty　Translated by Zhao Yiting, Long Ying

摘要：本文初步概括了智慧城市的组成要素。智慧城市是指运用新数字技术进行协同与整合，将现代信息通信技术与城市传统基础设施有机结合起来的城市。首先，我们提出了智慧城市的7个目标：(1) 发现理解城市问题的新视角；(2) 高效灵活地整合城市技术；(3) 不同尺度城市时空数据的模型与方法；(4) 开发通信与传媒新技术；(5) 开发城市管理与组织新模式；(6) 定义与城市、交通、能源等相关的重大问题；(7) 识别智慧城市中的风险、不确定性及灾害。为实现以上目标，我们的研究需要在六个方面有所突破：(1) 通过管理、控制和优化，使智慧城市的基础设施与实际运行、前期规划更好的衔接；(2) 探索城市作为创新实验室的新理念；(3) 提供城市模拟技术目录，为未来设计提供指引；(4) 探索更加公平合理的技术方法以实现更好的城市生活品质；(5) 探索促进有效公众参与以及公众认知的民主化城市管理新技术；(6) 保障更加便捷高效的人口流动性以及机会获取渠道。文章首先梳理了当前城市技术发展概况，并对智慧城市科学进行定义。我们将目前的智慧城市归纳为6种情景类型：(1) 旧城的智慧型更新；(2) 科技园建设；(3) 围绕高新技术的科技城建设；(4) 运用当前信息通信技术的城市公共服务；(5) 运用信息通信技术开发新的城市智慧功能；(6) 运用网络以及移动客户端开发公众参与新模式。接下来，我们提出了七类可探索的项目领域：(1) 智慧城市综合数据库的建立；(2) 数据采集、网络分析技术以及新社交媒体的影响；(3) 网络及移动行为建模；(4) 城市土地使用、交通、经济互动的建模；(5) 城市劳动市场与住房市场交易活动的建模；(6) 智慧城市的决策支持，如城市智能技术，公众参与式城市管理以及 (7) 智慧城市规划架构等。最后，我们期望通过这项研究，转变传统的城市研究范式，并进一步探索促进智慧城市科学形成和发展的关键要素。

Abstract: Here we sketch the rudiments of what constitutes a smart city which we define as a city in which ICT is merged with traditional infrastructures, coordinated and integrated using new digital technologies. We first sketch our vision defining seven goals which concern: developing a new understanding of urban problems; effective and feasible ways to coordinate urban technologies; models and methods for using urban data across spatial and temporal scales; developing new technologies for communication and dissemination; developing new forms of urban governance and organization; defining critical problems relating to cities, transport, and energy; and identifying risk, uncertainty, and hazards in the smart city. To this, we add six research challenges: to relate the infrastructure of smart cities to their operational functioning and planning through management, control and optimization; to explore the notion of the city as a laboratory for innovation; to provide portfolios of urban simulation which inform future designs; to develop technologies that ensure equity, fairness and realize a better quality of city life; to develop technologies that ensure informed participation and create shared knowledge for democratic city governance; and to ensure greater and more effective mobility and access to opportunities for urban populations. We begin by defining the state of the art, explaining the science of smart cities. We define six scenarios based on new cities badging themselves as smart, older cities regenerating themselves as smart, the development of science parks, tech cities, and technopoles focused on high technologies, the development of urban services using contemporary ICT, the use of ICT to develop new urban intelligence functions, and the development of online and mobile forms of participation. Seven project areas are then proposed: Integrated Databases for the Smart City, Sensing, Networking and the Impact of New SocialMedia, Modelling Network Performance, Mobility and Travel Behaviour, Modelling Urban Land Use, Transport and Economic Interactions, Modelling Urban Transactional Activities in Labor and Housing Markets, Decision Support as Urban Intelligence, Participatory Governance and Planning Structures for the Smart City. Finally we anticipate the paradigm shifts that will occur in this research and define a series of key demonstrators which we believe are important to progressing a science of smart cities.

关键词：智慧城市科学；信息通信技术；范式转换

Keywords: Science of Smart Cities; ICT; Paradigm Shifts

作者：迈克尔·巴蒂，伦敦大学学院，高级空间分析中心，教授。m.batty@ucl.ac.uk，t @jmichaelbatty

译者：赵怡婷，北京市城市规划设计研究院，工程师
龙瀛，北京市城市规划设计研究院，高级工程师

1 愿景方法

20 世纪的大部分时间里，城市的智能化大多出现于大众媒体所描述的科学幻想中。但随着不同规模计算设备的极大发展以及设备的智能化开发，城市的智能化乃至人性化正在迅速变为现实。信息与通信技术的结合正创造出我们从未体验过的新城市环境。城市正日趋智能，不仅体现在日常个人服务、建筑以及交通系统的自动化，也体现在通过实时监测、理解、分析以及规划，不断提升城市的效率、公平性以及城市居民的生活质量。短时间、连续性的信息反馈机制正在改变不同时间跨度规划的编制方法，长此以往，城市将更加智能。

智慧城市常常被描述为通过设备在不同空间范围的配置以及多层级网络连接，提供关于人和物的动态连续数据，并形成城市物质与社会空间的决策信息流。但城市的智能化不仅限于此，通过开发智能技术使得这些数据能根据具体目标进行整合与综合才能真正实现城市的智能化，这也是实现城市效率、公平、可持续以及提升生活质量的重要途径。基于未来信息与通信技术的发展，智慧城市的研究将不仅仅局限于设施层面（目前仍是各类信息通信技术公司主要关注的领域，这些公司正在为智慧城市的操作系统提供相应的硬件与软件），而是通过这些设备进一步探索不同的社会组织模式。

基础设施的整合将是一个重点。如何对搜集到的数据进行挖掘，以及如何运用新技术提高传统意义上的服务配置与供给效率，都是“地球神经系统”（PNS: Planetary Nervous System）理念的组成部分，PNS 也正是我们关注的核心部分。以上是我们的首要目标，同时我们也将饶有兴趣地反过来审视智慧城市的各个组成部分，通过设计更有效的模型和模拟方法，解决城市效率、公平以及生活质量等各方面的问题。整个过程将依托于更多的市民通过新的方式参与到城市和社区未来的设计中来，从而实现智慧城市的公众参与。这也与“活跃的地球模拟器”（living earth simulators）以及“公众参与平台”（participatory platform）等未来信息通信技术的核心理念不谋而合。简言之，智慧城市将促进信息时代政策分析与规划新模式的形成，而新技术的最大影响将体现在城市社会组织模式及其规划方法上。未来信息通信技术（FuturICT）的主要目标就是为这一转变提供有效而公平的智能技术支持。

智慧城市理念出现于 10 年前，这一理念关注如何通过各类信息通信技术的运用提升城市运行效率和城市竞争力，并为解决城市贫困、社会性剥夺以及糟糕的环境等问题提供新的途径 [1]。这一理念的本质始终围绕着技术的整合需求，即对分散开发的技术，依据实际操作中表现出的协同关系进行整合和耦合，从而为城市生活品质的提升创造新的机遇。“智慧城市”一词实际上可以有多种解读 [2]。智能城市（intelligent cities）、虚拟城市（virtual cities）、数字城市（digital cities）、信息城市（information cities）都体现为智慧城市的各个方面，其共同之处在于以信息通信技术作为未来城市运转的核心 [3]。研究将迎接这一挑战，即通过耦合、协同以及整合技术的探索，最大化地运用不断涌现的新技术以提高社区乃至城市整体的利益。研究方法中关键的一环是运用信息通信技术，通过多样化的设备以及在线网络解决社区的主要问题，我们将对其中所涉及的计算机设备、技术、方法以及组织架构展开研究，主要目标有 7 个。

（1）新的城市问题理解视角：城市是一个由不同部分组合而成的复杂而卓越的系统，通过自下而上、自上而下的个人及团体决策而不断发展。复杂性科学是理解城市问题的必要途径，而这一理解过程本身也是动态的，即我们在理解城市过程中所采用的技术反过来又使得城市变得更加复杂。我们将不仅针对欧洲构建一个城市问题理解机制以指导后续行动和决策，还要将其置于全球的大背景之中。

（2）高效而灵活的城市技术整合方法：随着城市信息技术的快速发展以及在城市服务中的广泛应用，持续性的新方法探索变得尤为迫切。这将涉及现有数据、软件以及组织的整合，以最大程度地提高城市环境的效率和竞争力。

（3）不同时空尺度的城市数据模型和方法：大多数实时城市数据需要与更传统的基于模拟的跨部门数据资源进行整合，以实现实时、常规问题与更为长期的战略性规划和行动相衔接。多层级综合模型是实现这一整合的关键途径。

（4）开发新通信与传播技术：新城市数据资源的获取，城市问题、规划和政策的解读以及实现城市社区智能化的新设备都需要基于最新的信息通信技术，即分散式计算机设备以及最先进的人机交互技术（HCI: Human Computer Interaction），实现新的在线公众参与。

（5）新的城市管理与组织形式：制定在线网络世界的管理机制是改造城市，使之更加智能、灵敏、有竞争力且公平的途径之一。隐私权和访问权是其中的关键。

（6）定义城市、交通和能源等关键问题：未来信息通信技术将着重对城市中快速出现、预料之外的关键问题进行定义，其中涉及城市主要基础设施。对于这些问题的分析与解读是实现智慧城市的持续性和耐受力的关键。我们将针对城市房地市场泡沫、城市更新乃至种族隔离等城市问题开发新的模型与模拟技术。研究的核心基于以下概念——城市远非

静态平衡，而是不断处于或快或慢的动态变化以及或长或短的变化周期之中。

（7）智慧城市的风险、不确定性和灾害：通过运用新的数据、技术和集成方法，城市的灾害风险将得到更加确切的认知。城市是一个极为耦合的系统，具有较高的不确定性和动态性，而新技术的引入正在改变这一不确定性（虽然这种改变不一定能使城市变得更好）。开发更加智能的技术将有望预测城市的动态性，而不断涌现的新技术将是实现这些研究的关键。

1.2 研究机遇

下一个 10 年，新信息通信技术将和传统硬件技术更加紧密地结合。目前，英国已有 22% 的人拥有智能手机，并因此享受网络服务，目前这一比例正以每年 38% 的速度增长。参考这一增长速度，到 2015 年，智能手机将全面占领移动设备市场。另外，有人预测到 2015 年，全球将有超过 20 亿智能手机用户，依此估计，到 2022 年未来信息通信技术项目接近尾声时，网络服务将成为人们获取信息的主要途径。

随着不同时空尺度下移动客户端或其他平台的广泛运用，智慧城市将迎来大发展时期，但真正的挑战在于如何开发新技术以更好地整合这些迅速出现的个体化和本土化的技术。只有当这些技术被真正整合起来并产生协同效应，伴随智慧城市理念的种种经济与社会效益才会成为现实。这将涉及与未来信息通信技术相关联的一系列技术措施，其中包括解决关键社会问题的一系列硬件、软件、数据库和组织技术，并通过全新的方法与模型实现迄今尚未解决的多样数据和理念的整合。这也预示着随着信息通信技术的运用，社会经济问题的解决途径将面临较大的模式变更，而智慧城市将成为这一改革的前沿。

1.3 研究遇到的挑战

目前我们以及其他社会研究者面临的主要挑战在于，我们必须接受这样一个理念，即当我们开发新数字技术时，我们同时又要利用这些技术进一步研究它们的应用、实施以及对社会的影响。1964 年，马歇尔·麦克卢汉（Marshall McLuhan）曾在他具有开创性的书中说“我们塑造工具，工具反过来也塑造我们”[4]。这也是我们在建设真正的智慧城市，并提升全体市民生活质量的过程中需要迎接的挑战。在此，制定政策的过程将与以往大不相同，因为随着信息技术的发展，未来的政策制定者将大多是信息获取能力较强的精英们。目前，随着众包技术（crowd-sourcing）的运用，市民已经可以通网络获取新的数据以及相关建议，并取得信息获取上的优势。移动设备等的广泛运用也将促发新的消费偏好，同时随着现金消费逐渐被取代，网络经济越来越成为主流。我们需要顺应这一巨大变革，积极挖掘未来信息通信技术的强大技术优势。

为此，我们可以得出与以上 7 项目标相关的 6 项关键科学技术挑战。

（1）通过管理、控制和优化措施落实智慧城市基础设施的实际操作与规划。信息通信技术正在被迅速地运用于城市基础建设的方方面面，而无线通信技术也在以惊人的速度增长。同时，这些技术正逐渐被吸纳到城市规划的数据分析与定量化计算中去。我们目前的主要方向是将这些技术整合起来，使规划师和居民能通过这些技术的运用提升生活品质，而这才是城市之所以“智慧”的关键。这一多模态（multimodality）构成了真正的挑战。

（2）城市作为创新实验室的理念探索。信息通信技术正被广泛地用于提高城市能源系统效率，优化城市基础设施乃至零售设施的选址，提升城市通信与交通运输条件等过程中。建立城市模型，实时处理日常数据已经清晰可行。智慧城市将以创新实验室的形式开发智能技术，并广泛用于城市监管与设计。城市的竞争优势对于这些智能技术的开发尤为关键。

（3）提供城市模拟指南，引导未来城市设计。由于实时城市模拟和传感技术能够提供城市长期变化信息，建立城市模拟模型将更为直接。集计（aggregate）模型将被非集计（disaggregate）模型取代，而我们的项目将进一步探索基于复杂科学的不同城市模型类型。为同一场景建立不同模型很重要，多元化途径将是理解城市复杂性的核心。

（4）开发保障城市公平性、公正性和提高城市生活品质的技术。城市应在效率和公平之间取得平衡。新技术正趋向于极化和分级化，我们需要探索新的城市规划与交通规划规则，并通过技术促进经济与社区的发展。显然，智慧城市将有望解决当前信息阻隔局面，但它同时也将促生其他信息阻隔，真正的挑战在于对这些有可能出现的阻隔进行有效预测和规划。

（5）开发促进广泛公众参与的技术。新信息通信技术应该基于互联网络，并促进不同空间尺度和不同领域之间的广泛交流。市民能够通过公众参与以及与技术开发专家学者交流信息，并在最新数据系统利用和运用分散式计算设备进行技术整合的过程中扮演重要角色。

（6）确保和增进城市人口的流动性。新信息通信技术将从多个层面增加城市人口的流动性，增加就业、娱乐、社交等空间的可达性与机会均好性，并最终提升城市居民的生活满意度。

2 最新进展

2.1 主要议题

2.1.1 解释：智慧城市科学

为智慧城市建立准确一贯的定义是我们工作的基础。“智慧”一词源于美国，主要用于表达日常生活中对人或观点的深入洞察力，近期则因为“理性增长”（smart growth）理念而被城市规划领域所广泛采纳。“理性增长”认为应通过交通、土地、环境保护以及经济发展等因素的综合统筹，控制市场导向的放任式发展如城市的无序蔓延，从而提高城市发展的效率与质量。我们在此采用维基百科中卡拉格鲁（A Caragliu）等[5]关于智慧城市的定义：智慧城市是将硬件设施与便捷优质的信息通信及社会设施有机结合的城市，后者对于城市竞争力有决定性影响①。通常数字城市更加关注于硬件设施的建设而智慧城市则更关注基础设施如何更好的使用[6-8]。早先还出现“有线城市”（wired city）的概念[9]，最早源于詹姆斯·马丁（James Martin）提出的“有线社会”（wired society）。

基于此，我们提出的智慧城市理念还包括提高社区环境及生活质量等城市软实力。如果一座城市仅仅重视经济发展而忽视居民的社会生活状况，就不能称之为智慧城市。事实上，“智慧城市”一词已经变得炙手可热，IBM、思科（CISCO）、微软（Microsoft）、甲骨文（Oracle）和 SAP 等大公司通过对互联网以及软件服务等信息基础设施的开发，正在开拓全球化电子信息市场，而下一轮全球市场的产品潮流就是城市自身，这些大公司正瞄准这一市场重新整合它们的产品。接下来，我们将从硬件设施与服务、数据与模拟以及预测、公众参与和设计等方面概要性地对智慧城市理念进行介绍。

世界上大多数成功的信息通信企业正将对软件的关注拓展到区域尺度的应用，如城市在线服务分配系统的开发，并将其视为智慧城市的一部分。比如，处于这一服务前沿的 IBM 虽然仍将日常公共设施和交通服务，尤其是城市运营研究这一传统领域作为其关注点，但它们同时也在向更具战略性的功能和智能技术开发方面进行拓展，并致力于引导未来城市发展和提高长远的生活质量。IBM 的“智慧地球计划”（Smart Planet Initiatives）专门设立智慧城市研究中心（key centers）。正如其网站所展示的那样②，它们的商业发展部门归纳了智慧城市的服务范围[10]（图 1），并侧重于通过信息通信技术应对现有的城市问题与政策。事实上，FuturICT 将提供更加深入和详尽的智慧城市研究视角，通过将智能技术与社会问题联系起来，促进更多像 IBM 一样致力于智慧城市研究的信息通信技术企业不断拓展新的研究计划。

2.1.2 展示：测量与挖掘城市数据

交通流是城市最先通过自动化方式收集到的数据，但各类城市空间数据的收集可以追溯到数百年前。事实上，发明电子计算设备的初衷不仅仅是科学计算，也是统计数据的整理。赫尔曼·霍里斯（Herman Hollerith）为 1890 年的美国人口调查发明的穿孔卡技术直接导致了 IBM 前身的出现。自 1990 年代末以来，这些数据已得到广泛的收集并通过地理信息系统（GIS）技术可视化。导航地图是最早在网络上得以直观呈现的数据系统，自此拉开了由各类新电子信息渠道收集数据的序幕，其中包括车载或人体便携 GPS、社交网络电子记录、购物记录、供需相关讯息以及各种网站登录情况。现今，卫星遥感数据也得到了广泛的运用，特别是来自

当前	如果城市能够……	城市已经可以……
城市服务 ·普适的在仓服务配置	·满足市民个体需要的定制服务	·构建囊括不同服务机构的综合信息系统以促进更好的市民服务
市民 ·城市难以获取所有相关信息以应其需。 ·市民获取的有关其健康、教育以及住房需求的信息十分有限	·通过实时数据的分析，减少犯罪并更迅速地处理城市安全事件 ·通过更好的相互关联和分析技术，对健康领域的大量收据进行解译分析，从而提高医疗质量	·芝加哥已启用新的公共安全系统，以提供实时录像监测和更迅速有效的应急反应 ·哥本哈根的医生通过及时获得病人健康的有关信息，已取得世界上最高的医治满意度和最低的医疗事故率
交通 ·客运与货运收到交通拥堵、时耗以及油耗的阻碍	·减少交通拥堵，增添交通建设资金渠道，有效整合各种交通模式并与经济效益相关联	·斯德哥尔摩引入动态标价的进城拥堵费，有效减少了 25% 的内城交通量，14% 的尾气排放，同时促进了 6% 的内城零售增长以及新的建设资金渠道
通信 ·许多城市尚未提供有效的市民沟通通信渠道 ·目前的网络通信还受制于缓慢的速度以及地点的固定性	·通过普遍、可承担、高速的连接渠道将企业、市民以及各系统联系起来	·韩国松岛整合医疗、企业、居住以及政府数据系统，构建“无所不在”的城市，并为市民及各新兴服务行业的企业提供自动废物回收、一卡通支付、医疗记录获取等在内的广泛的信息服务
水 ·城市有一半的水被浪费掉，剩下水的水质也无法保证	·对整个水生态系统进行分析，包括河流、水库以及入户泵与管道 ·让个人及企业能及时了解自身的用水情况、提高意识、找到低效处，减少不必要的需求	·爱尔兰戈尔韦通过先进的传感网络和实时数据分析，对水资源进行监测、管理以及危机预测，为每一个相关者提供最新信息
企业 ·企业在一些领域受制于不必要的行政管制，而在其他方面则存在管理规范的滞后	·向企业活动施加最高管理标准，并提高企业运行效率	·迪拜通过开发“单窗口系统”，简化并整合公共服务配置，简化企业管理流程，提高公共事业生产效率，共涉及近 100 家公共服务机构
能源 ·无保障且不可持续的能源来源	·消费者能够向市场回馈价格信号，以均衡消费并减小能源使用量	·西雅图的一项实践为每家每户提供实时能源价格，使之调整其能源使用，目前项目已减少 15% 的电网压力以及 10% 的能源消费额

图 1 IBM 制定的现在及未来智慧城市分类议题
资料来源：IBM 经济发展分析中心

① 参见 http://en.wikipedia.org/wiki/Smart city。
② 参见 http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview/index。

于雷达影像（LIDAR）的更为本地化的遥感数据。同时，各类扫描技术也得到较快发展，不仅覆盖从区域到个人的广泛尺度，也包括物联网等专业化领域。其中，开放街道地图（Open Street Map）是维基百科之外运用最为广泛的一项众包应用，该应用由大约两万名活跃的网民参与建设，他们通过 GPS 技术实时更新地图数据。的确，各类专项领域的众包技术发展正促进更多新城市模型的出现，并引导更加高效和公平的城市设计 [11]。

下一个 20 年内，我们用来理解城市的大部分数据将从各类日常交易的电子记录中获取，多数情况下这些多元的记录数据附带有时空信息。为了解译这些数据，我们需要开发和拓展已有的数据挖掘技术，并借此发现数据的内在联系并进行可视化展示。开源数据正处于增长势头①，而 FuturICT 将通过设计新的数据库模式，从城市尺度探求这些数据的解译方法。同时，我们也将众包作为智慧城市相关数据获取的关键，并用于分析人群偏好和城市主要问题的社会实验。目前，人群主观偏好分析及其空间地点关联研究正在进展中②。

自上个 10 年以来出现的新一轮城市分析浪潮主要基于人群移动的大数据集，并通过无线技术的广泛运用得以强化，后者包括基于卫星的 GPS 技术和移动电话网络。作为这些互联网基础设施日常操作的附带产品，海量时空数据的获取和收集（例如手机通话详细记录以及导航系统的 GPS 轨迹记录）为我们呈现出社会尺度人类活动的详尽信息。这些海量移动数据也提供了有力的社会性视角，帮助我们了解人类移动特征，发现隐藏的人类日常行为规律与模式 [12,13]。在这些研究中，个人隐私问题应得到重视，但实际很少受到侵害，因为这些数据已经通过不同层次的审查与保密程序进行了匿名处理。

目前，不同学科领域的科学家已经开始参与并讨论这一研究方向，不仅仅作为一次重要的学术挑战，同时对城市规划、可持续交通以及交通工程、公共卫生、经济预测等实践领域也具有重要的意义。欧洲 FET 项目 GeoPKDD ③通过开发时空数据的各类挖掘与分析方法，成为人类移动数据挖掘领域的先导。欧洲乃至国际上的各类相关项目，也都通过下至个人日常生活轨迹上至高层次的整体移动信息的原始数据收集、探索和复杂讯息挖掘，支持城市出行与交通管理者作出正确决策，并展现出海量移动数据的惊人分析能力。分析人士还在就这些新概念展开激烈的讨论，例如系统性及偶然性移动行为、出行目的以及职住交通模式等。相应的，主流交通工程分析工具，例如 OD（Origin/Destination）矩阵，主要基于实地调查与访问等传统途径所获得的丰富语义数据。而海量原始移动数据能够克服这些实地调查的局限性，即高昂的成本、时间的不连续性、迅速过时、不完整以及不准确性。

另一方面，自动监测的移动数据是对现实状况的真实反映：活动数据被实时、直接、连续性地记录下来，不附带任何语义或背景标注。大量研究表明，大数据可以通过其数据量和准确性优势，弥补在语义方面的不足 [14]。大空间尺度实验已经探索出应对移动行为等复杂问题的分析方法和解决途径，例如：哪些是个体最受欢迎的出行路线，这些出行的时空分布怎样，人们接近热点地区（如大型车站或机场）的行为方式，人们如何到达和离开大型活动（如一场重要球赛）场所，如何预测短期的交通拥堵区域，如何解析交通堵塞的特点。这些疑问的解答不仅需要参考相关案例，更需要专业分析师通过范式性研究，对大量、丰富的个体位置与出行轨迹进行解析，以发现其拥有的共同行为模式和目标 [15]。毫无疑问，这些问题的解答目前还无法通过现有技术系统加以解决。在 FuturICT 中，我们将进一步拓展这一技术前沿。

在交通需求相似的情况下，交通量却每天都发生显著的变化，这一现象目前仍缺乏解释。新信息通信技术将为我们提供全新的数据集以解答这一疑问。如何对交通拥堵的发生和扩展进行准确的时空预测目前也尚不确定，这些不确定性在非重复性交通事件的预测中表现的尤为突出（例如事故或道路建设），这也将影响交通系统的效率与应变能力。如何将以上所有问题与网络拓扑相关联，研究交通需求的大小扰动和交通系统的网络特性如何影响人们的出行选择（包括出行路线、出发时间和出行模式）将是我们所面临的主要挑战。

在相当长的时间里，人们在交通网络中的选择是基于平衡且变化较小的情景。新数据能帮助我们在综合考虑成本函数、人们的选择模式以及这些选择如何影响交通网络拥堵的形成与蔓延后，逐渐了解现实的城市交通是否是一个真的平衡体系。全球不同规模的城市以及不同地点的大量行为轨迹及分类交通数据将为我们提供一个独特的视角以认识宏观观测和控制参数中影响个体选择的关键要素，并将其纳入基于个体的模型（agent-based models）中。当前的日常交通分配

① 参见 http://data.gov.uk/。
② 参见 http://www.mappiness.org.uk/。
③ 参见 Geographic Privacy -aware Knowledge Discovery and Delivery，www.geopkdd.eu 2005-2009。

模型并不适用于交通网络拓扑关系发生显著变化情况下的交通模拟系统（例如一次显著干扰或新交通方式的出现，后者常常出现在发展中国家的城市中）。因为这些交通模型假设驾驶者都依据往常的经验进行选择。然而，当交通网络发生显著变化时，实际观测的缺乏将使实际交通演进建模以及平衡与非平衡的识别无法进行。智慧城市的研究将致力于解决以上挑战。

现实挖掘（reality mining）[16] 这一理念正日趋智能化，其主要关注于如何通过无处不在的移动电话对复杂的城市社会系统进行详细周密的数据收集，这将是解读城市居民互动的关键。现实挖掘需要依托定位软件、社交活动以及其他服务和应用技术的使用。对获取数据集的分析将协助行为模式的提取，并解析日常活动中的行为架构 [17]。一旦隐私权问题得到解决，这些高时空分辨率数据将有望在城市尺度建立解读城市动态运作的新视角。当前手机使用数据集、有地理标记的在线社交网站以及微博平台研究已经指引出颇有前途的发展方向。其主要关注点在于移动模式分析、社会网络结构的空间化、群体行为识别以及城市功能运作的数据特征化（data-driven characterization）。

通过数据挖掘和网络分析，我们能够创造出表征一个城市人群移动的城市移动图集。这一图集将通过实时浏览（一天中不同时段、一星期中任何一天、不同地理位置和不同气象条件等），探索不同情形下的城市动态，并观察城市非常态变化 [18]。为了充分理解智慧城市的移动图集概念，我们需要将日益丰富的移动数据资源（包括公共交通数据、道路监测、普查和官方数据、社交媒体以及参与式传感器等）整合为自相关的数据库，并将空间移动与经济社会网络相关联。

2.1.3 连接：耦合网络

城市社会架构是许多层面人、机构、场所关系网络相互交织的结果，除了空间移动性之外，我们还需要考虑社会经济网络。认识城市的关键在于认识这些耦合网络结构及其演化规律。空间移动、零售消费交易以及社会网络之间的耦合便是城市生活层面的一个典型。当前，虽然大数据角度的社会网络研究发展迅猛，但主要关注点还是社会空间层面，对于个体空间移动模式及其对社会网络的塑造和影响至今鲜有研究，而交通行为及其心理则已有部分基础性工作 [19]。

事实上，社会联系常常受空间距离左右，无论是工作或家庭主导活动还是各种社会集体活动。这些社会关系交集以及面对面的接触，在空间上表现为个人移动轨迹的空间重叠，无论是长期友谊的维持还是新社会关系的形成，都将对社会网络结构产生显著影响。

目前我们对于个体空间移动与社会网络之间相互作用的认识还很局限，部分原因在于收集同时记录个人空间移动及其社会关联信息的大尺度数据十分困难。但移动电话的普及正迅速转变这一情形。事实上，电信公司的移动通信记录，通过实时跟踪双方的每一个通话以及对拨打电话一方的时空定位，为个体行动轨迹及其社会关系的深入研究提供了条件。移动电话广泛融入人们的日常生活意味着这些数据将包括整个国家大部分人的相关信息。大量详细通话记录的获取将有望对大范围的传统社会网络假设进行实证，例如格兰诺维特（Granovetter）的弱连带优势 [20] 以及第一代人群空间移动现实模型及其预测能力的发展 [21]。

事实上，虽然空间分辨率（由于移动电话基站感知区域的不均匀性）以及采样率（通话时间间隔）具有异质性，大量详细通话记录数据使我们得以重塑许多突出的个人日常生活情形，例如访问最频繁的场所以及相应的停留时间及间隔。因此，这些数据能协助我们同时审视空间模式、社会结构和社会交往强度三个方面。近期的研究 [22] 已经证实空间协同定位（co-location）、网络邻近度和关系强度这三个方面的相互关联性：两人出现于同一地点的概率越高，其在社会网络中就有更紧密的联系，直接互动关系的概率也越高 [23]。这一惊人的三重相关性将有望解释新的社会联系如何由空间移动行为而促成，反之亦然。确切地说，通过赋予社会和空间移动网络更加详尽的信息，对城市社会领域演化机制的探索将有望实现，并进一步预测情绪、观点乃至疾病的扩散，以及即时理解城市社区边界的演化。

为了使这些迅速增长的数据更有意义，我们需要建立数据整合标准，以评估这些数据的准确性并发现其中的错误，通过采用相配套的系统模型，对数据缺项进行补足。大部分的数据都是网络化的，而将这些数据库网络耦合关联起来将是实现数据最大化利用的关键。为此需要借助硬件和软件建立新的耦合关联方法，这也将是开发智慧城市集成智能的核心。当前的城市控制中心仅仅服务于日常而又有限的系统，比如交通系统，为了实现智慧城市的愿景，网络耦合工作是必须的，也是一个极大的挑战。

2.1.4 协同：整体规划

城市规划的制度化起源于 19 世纪的几个西方工业化国家。自此以后，城市规划已经扩展为全世界大部分国家的一项政府功能。城市规划广泛运用于城市、区域、大都市区、城市、城区以及社区等不同空间层面，并涉及乡村、环境和交通规划等专项领域。然而，相对于这些制度化框架而言，规划所涉及的范围更加广泛，它被各类商务和社区团体所广泛运用，实际上规划已经涉及到城市中每一个利益体的每一项活动。简言之，当我们呼吁整体规划的时候，我们不仅仅

意指广泛、有选择和灵活的利益整合，同时也指对全系统层面的影响进行实时跟踪分析、理解城市运作特点并将其融入应对措施与设计过程中去。这与上一个主题涉及的空间联系、网络以及数据整合理念有着紧密的联系。智慧城市的智能运作将融入现存城市制度结构中，从而为居民创造更好的生活质量。

智慧城市关注的是城市作为一个有竞争力的实体和社会有机体的常见构成部分。其中心在于将信息通信理念运用于每一处能提高城市性能并创造出更好生活质量的领域 [24]。在这一项目中，我们将聚焦于信息通信技术在建筑、建成环境、城市设计、交通规划、地方规划、大都市区规划、区域规划以及上至欧洲层面的规划运用，其中欧洲层面已有如欧洲空间规划观察网络（European Spatial Planning Observation Network）等项目，通过运用传统城市与区域规划工具，为整个欧洲智慧城市理念的发展与研究提供资源。

2.1.5 参与：市民科学

公众参与是制度性规划的一项长期传统，但数字技术的出现使之彻底改变。随着所有的市民都可以相互之间以及与代表他们的机构和团体之间进行沟通交流，智慧城市依托智慧社区的这一理念就显得更迫切和必要。在智慧社区中，居民都能够积极参与社区的实际运作和设计。目前，有很多此类计划，而我们也将聚焦于市民如何在第一时间获得其所在社区的信息，同时也将探索各方团体如何通过远程或者面对面方式，利用当代信息通信技术支持下的数据、模型以及情景分析，积极地投入到社区的设计与规划过程中来 [25]。

目前的市民参与形式正逐渐适应新信息通信技术，但仍显得缓慢和被动。新媒体和网络技术正通过共享数据与相关规划 [26] 增加这类互动的灵活性。公众参与正变得更加自下而上，更加接近于复杂系统的演化方式。在 FuturICT 中，我们将率先示范性地探索一个受过良好教育的居民如何通过与以往不同的方式与各领域专家合作，并设计出提高城市生活质量和城市效率的情景方案。这将需要调动巨大的资源，涉及到 FuturICT 提议的方方面面，并意味着数据、模型和政策的整合需要有显著进展。目前，地图数据、犯罪与治安、房价数据以及健康数据等关键数据资源正逐步开放，将支撑我们开展各项示范性的尝试。

在我们的设想当中，参与和自组织（self-organization）是建立全球知识资源的基石，这一资源经过设计可为每一位市民、每一个机构或公司带来利益。一方面，人们需要充分了解他们所帮助建设的公共信息基础设施类型及其带来的潜在价值；另一方面，人们需要充分把握他们提供的数据：这些数据在什么时间，通过什么途径获取、整理、分析以及使用，其延续的时间有多久。只有当公共信息系统能够在可靠的框架内提供高质量信息时，高程度的公众参与才能成为可能。同时，只有大量、民主的公众参与才能保障可靠、及时以及可信赖的大众信息的获取。这一观点是市民科学（citizen science）的基础，通过对可靠信息进行分析，我们可以解析出其中蕴含的情绪与观点，及时洞察出大众情绪的转移、重要变化的微弱征兆以及社会团体的结构与演化。

2.2 理解智慧城市

2.2.1 监测与测量

过去，我们已经从多个层面尝试理解和规划城市。当前的趋势是要开展全面的城市变化监测，比如，利用新的手持或遥感探测技术或通过在线交易数据收集，来测度个体和群体如何消耗能量、使用信息。通过现金交易网络的数据获取、存储及处理，已经可以实现数据的广泛收集和整合。新的数据库组织模式将通过大量数据的整合赋予数据更多价值。城市的各类机构和部门众多，但是其中主要的、并正在充分网络化的部门包括：交通系统（不同的交通模式通过智能手段进行操作、协调、排时以及设施网络搭建）、当地天气、污染程度以及废物处理、土地和规划、建筑能源与材料技术、健康信息系统（病人的医疗设施可达性）等。关键在于我们急需对这些领域建立一个总体认识，从而能够将这些多样化的城市运作系统联系起来。

社会结构表现出明显的空间模式特征。空间相互作用（interaction）过程中的距离衰减 [27] 是一个广为人知的现象。移动电话数据方面的许多近期研究都证实了这一规律：随着距离的增加，两个个体之间的关联度将降低。总的来说，通过电话数据分析得到的社区社会结构显示出区域 [28] 以及城市层面 [29] 极强的空间变化规律，揭示出更加细致的城市文化和社会经济异质性图景。通过探索社会结构来优化城市交通系统的前景广阔，但在目前空间分析成果的基础上还需要进行大量的工作，以显示出社会结构的时间动态性。空间相互作用同时也展示出与城市功能布局之间强烈的空间一致性，后者既取决于城市基础设施和相关城市规划情况，同时也取决于人们使用城市设施的方式 [30] 和这些空间格局的时间演变。特征空间方法（eigenplaces approach）并没能解释出两者之间的关系，但是通过实时监测城市土地使用 [31] 和服务设施分布的时空演变，将提供有可能的解释途径。对于内容丰富的微博数据进行分析，将为这些研究提供崭新的视角。这一内容分析法将更加深入地解析城市的土地使用、人群兴趣的实时变化及相关的出行行为 [32]，同时，通过不同城市之间的比较，探索和揭示人群在国际和州际 [33] 出行的共

性要素。尽管取得了这些进步，但对不同渠道获取实时数据的整合仍是个问题，这不仅仅体现在计算层面，在建立整合模型方面亦然。

通过将 GPS、卫星遥感、众包（crowd-sourcing）在线互动数据系统与标准二级数据源相联系，并进一步将其与社交媒体上获取的更传统数据相结合，将为智慧城市的运作提供丰富而广阔的前景。

2.2.2 移动与网络

出行是个体参与家门之外的活动所需要付出的最小成本。网络是我们所共同获得的减小这一成本的基础设施。随着城市化程度的加深以及水务、出行、能源、通信等城市网络在技术层面的不断进步，我们在建设这些设施网络的同时，应更加重视如何有效取得当前成本与未来成本、可靠性与应变能力之间的平衡。随着这些网络更为大量和密集地作为建成实体来使用，其所产生的信息日益增多和密集，这些网络系统的规划和实际操作将有广阔的提升空间。日益增长的复杂性应通过本地化的规则和解决途径加以应对，以减小所有参与者的规划成本，特别是对那些规划系统尚不足以促进大范围长期性解决途径的地区。这些规则（grammars）将在不同空间尺度内加以定义，以应对本地、区域乃至国家范围的社会需求。这些规则将是下一步研究工作的重点。

2.2.3 出行行为

信息流的密度和实时性使出行者能够第一时间在脑海中建立对现实情形更全面的了解并做出回应，当然这是建立在他们充分信任信息的准确度及其他出行者的判断的情况之下。出行者所面临的困难在于，面对某一特定情形，他们到底能在多大程度上相信自己的判断，与此相关的是他们对于某一特定信息源（广播站、政府建议、朋友以及最新观察到的交通流）应给予多大的关注比重。事实上，判断何时应该改变行程或新的出行模式比保持原计划更为有利也需要一个学习的过程。

出行者的决策参与对任何以自洽（self-consistency）为目标的建议系统而言都是一个挑战。建议系统的自洽性是一个至今尚未探索的议题，特别是兼顾公共与私人性并能依次为出行者提供不同服务的建议系统。FuturICT 项目将通过计算和模拟，识别出行者与不同建议系统之间的交互模式，并指导系统在给定参与者的数量和类型之后，形成最佳的系统配置（system configuration），以最终解决问题。多交通模式出行规划和建议系统 (multimodal trip planners and advice systems) 目前尚处于发展初期，我们希望 FuturICT 能促进这些实际应用的发展。

2.2.4 土地使用与交通

电信技术所带来的日益丰富的社会体验提出这样一个问题：城市通过各类人群的聚集（供应商与消费者、设计师与工程师、商人与零售商、科学家与手工艺者）而形成的以创新和规模经济为核心的中心地位是否还有存在的价值。随着出行者可到达空间范围的增大，单一地点的重要性正在下降，但对于不同人、团体和环境而言，特定地点的象征意义并未减少。网络系统，无论是社会还是物质环境方面，都需要通过计算机和电信技术加以拓展。对其结构及影响力的评估应涵盖从经济到环境的方方面面，既包括常态也包括非常时期，既涉及政府管控也涉及社会应急。

2.2.5 城市市场和交易

城市是各类市场的聚集地，个体和团体在此聚集进行交易。随着不同专业技能劳动力的聚集，空间距离阻隔得以克服，人们能够在一个理想的环境下为获取稀有资源而竞争。众所周知，电子讯息技术极大地改变了空间距离效应（与成本），因而对城市结构与功能产生显著的影响。目前为止，城市市场仍主要以传统的方式运行，但随着全球化、网络经济以及能源与材料信息的发展，本地经济正逐渐实现电子网络化。其中一个明显的例子便是随着主要经营行为的网络化，书店和其他零售店的存在形式与空间位置正在改变，但对于住房市场、劳动力市场、经济发展、交通设施的供需以及教育和医疗资源获取等，电子通信技术的影响却是复杂而模糊的。进一步说，货运领域的新系统开发将促进物流产业的变革，而信息通信技术在交通领域的应用也将促进更多新系统的出现。

对于这些网络经济市场建立更加清晰的认识是必要的，探索增进理解的新途径是其中重要的一环，这与 FuturICT 中涉及金融市场与行为模拟 [34] 的项目有着紧密的联系。与此同时，新型网络及市场正在出现，例如能源市场 [35]，这也印证了新的空间资源决策方法在日益丰富人们生活的同时，加剧了城市的复杂性。

2.2.6 公司与组织

当前的城市规划模型对企业及其空间行为的识别还非常有限。一旦能够对不同时期、地点的网络选择偏好实现跟踪监测，便可依据企业的大小、类型及门类等信息建立企业代理，用于土地使用、交通以及经济的新模型之中。若以上无法实现，基于个体的城市市场建模将是不完整且有可能是误导性的。虽然传统上基于投入产出分析的集计经济预测模型一直居于主导地位，但为了反映与决策制定更为紧密相关的行为法则，开发新的分析模型实为迫切。

2.2.7 社区与网络

社区问题是城市的传统关注焦点。50 年前，社区问题大多是通过对 19 世纪破旧房的大拆大建加以解决。在许多西方工业化国家，公共部门是这一更新运动的主导。但自此以后，随着公共部门地位的下降，关注点也从物质环境转移到社会不平等以及就业机会缺乏等社会议题中去。社会公共福利政策与积极的劳动市场改善措施相结合，已经代替了过去以基础设施改善为主导的举措。信息通信技术使得这些领域的相关信息能够迅速地传递给相关人群，并为其提供相关建议。智能技术是实现这一过程的核心，类似的还适用于卫生与教育等相关服务领域。但如何将这些服务领域联系起来，并获得真正价值，还有大量的工作要做（图 2）。

借助于更加深入的社会网络分析，信息通信技术在收集社区理念与建模方面的应用将进一步拓展我们的社区问题分析能力。FuturICT 通过连接社交媒体、移动设备数据库和网站中挖掘到的相关数据，建立社区网络，并与住房和劳动力市场数据相关联。与此同时，我们还将关注智能社区规划过程中的社会网络设计，并将其纳入新的社区规划方法中，使社区自身真正参与到其相关数据的分析中来。

2.3 规划智慧城市

2.3.1 协调及耦合

协调、沟通、耦合以及整合都是智慧城市发展的不同方面，而智慧城市的高效运转在于不同基础设施和服务的相互关联。这将需要新的数据库构建、数据挖掘以及空间模式分析方法，同时需要开发新的软件以整合分散的城市功能与部门，并建立新型组织与管理，从而使这一广泛的相互关联更加有效和公平。智慧城市通过效率与公平的协调，提高城市居民在合作与竞争中的创新能力。这将关系到建立一个具有机动性与灵活性的统一城市服务供需市场，后者已被广泛地纳入到政府及企业推进智慧城市建设的任务单。这些任务单包括了众多城市机构协调案例。在此，我们选择其一作为范例，并将其整理在图 2 中。

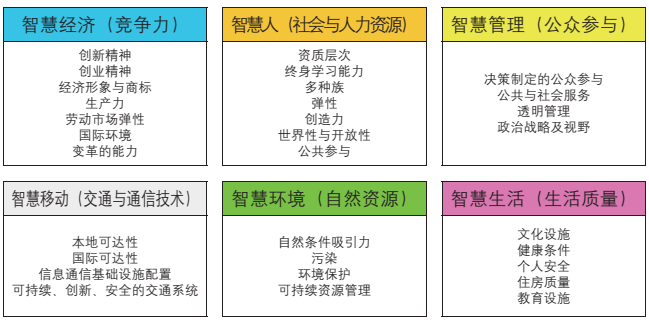


图 2 智慧城市功能的类型

资料来源：参考文献 [24, 36]

2.3.2 新数据系统及其整合

智慧城市的知识挖掘过程较为复杂，需要建立一套采集、查询和挖掘集成数据的全新系统，并展现信息服务供给的整个分析过程。具体表现为以下方面：

- 从不同的资源中获取数据，包括参与式传感（sensing）以及在线社区服务；
- 数据流管理；
- 将不同数据整合为内在连贯的数据库；
- 数据转换与整备；
- 定义新观测值，并提取相关信息；
- 分散数据挖掘和网络分析方法；
- 通过进一步的分析和挖掘，对模型、模式、数据的无缝组合进行处理；
- 模型与模式的评估工具；
- 行为模式与模型的可视化分析；
- 基于模式与模型的模拟与预测方法；
- 针对大数据处理时尺度问题的进一步分布式数据挖掘策略。

这条研究线路虽尚处于基础阶段，但已在特定领域取得了部分成果，如移动性研究。FuturICT 将以此为先导，迅速涵盖智慧城市的其他领域，包括数据、模式与模型探索。

2.3.3 智慧城市管理

智慧城市各部分之间的协调除须借助更加先进的智能技术外，还须建立能有效整合政府和企业传统职能的新管理架构。企业能提供硬件、软件和数据技术，而政府则更加关注社区的生活质量，并为社区住户提供服务。这一管理架构将进一步涵盖更高层级的非政府组织（NGO），后者从国家乃至跨区域（如欧盟）层面关注社区问题。

没有任何一个机构可以管理城市的所有事务，城市正逐渐成为各类活跃机构和团体的联合体，城市的综合管理与协调可通过自下而上和自上而下两种方式实现。同样的，随着智慧城市管理功能的延伸和整合，一个相对新的发展前景将会呈现，并涉及到关于信息时代分散式治理的广泛争论 [37]。智慧城市管理与隐私、安全、经济效益、社会包容性等一系列议题紧密相关，这些议题因信息通信技术而改变。这将是我们研究项目的一部分，并与信息通信技术下的智慧城市新组织架构相关联。规划的传统角色，即城市更新、交通、经济发展和住房等，将得到进一步延展，并将涉及城市基础设施运作、市民的公共服务供给、医疗卫生以及教育乃至各类对城市产生静态或动态空间影响的城市功能。

2.3.4 新规划与设计方法

过去 50 年，城市运行领域已经开发出不同空间尺度与时间跨度的分析模型。其中的大部分都用于指导规划与设计的前期过程。尽管交通和土地使用的计算机模拟和预测是基于经济与人口视角，这些模型的模拟对象主要是物质空间活动。一部分城市运行研究已经对这些模型进行了一定程度的拓展优化，但总体上，这些被称为规划支持系统的模型目前在某种程度上仅用于与政策制定者之间的直接互动 [26]。

智慧城市的出现给这些模型带来了巨大挑战，表现为以下几个方面。首先，城市自身已由物质行为主导转型为信息技术对物质活动的广泛补充；其次，城市的许多常规功能正被计算机自动控制所取代，而各种人类行为也日益与自动化相结合；第三，新电子功能所提供的数据，使我们能够了解城市的持续性运转情况。这一即时性与时间间隔的压缩，使得长期规划有望通过数据的实时更新转化为持续性的过程式规划。随着这些智能技术的运用，城市也将随之而改变，规划与智能技术的开发同时进行，并行不悖。城市的这一时空关联意味着更高的复杂性，并只有通过 FuturICT 中更新、更先进技术的开发才能应对。

智慧城市的研究重点在于开发城市不同领域的新模型，这将涉及新的数据类型和数字网络行为及其与传统城市空间活动的关联。研究的关键在于认清模型如何指导不同时空范畴规划的形成。这一研究将有望产生更加综合而协调的决策支持体系。

2.3.5 公众参与和网络通信

我们认为，新信息通信技术导致了智慧城市中新公众参与模式的产生。目前，基于网络的公众参与大多处于被动，直到 Web 2.0 技术的运用才带来真正的互动。事实上，城市设计中的公众参与需要花费大量的时间和资金，因此必须要让有兴趣的市民能真正的参与并产生影响。HCI 以及隐私、保密议题是其中的关键。网络在线通信以多种形式动员更为广泛的市民群体，在此我们能够定义至少四种主要互动模式：首先，通过门户网站（portals）以及其他途径获取关于城市日常生活及工作的各方面信息；其次，通过与其他在线用户的互动，创造性地处理信息，并增进对城市的了解；第三，市民通过众包系统，回答相关询问并上传信息；第四，通过完全成熟的决策支持系统，使市民参与到城市未来的设计和规划中来。

2.4 当代典范案例

信息通信技术运用于城市领域的相关案例众多，在这些案例中，信息通信技术产生新的数据并促进对城市核心问题的了解；改善城市功能，创造提高城市效率与生活品质的新途径。我们从中选出 7 个案例，概括其要点，以展示信息通信技术在当前以及未来中、远期的运用。

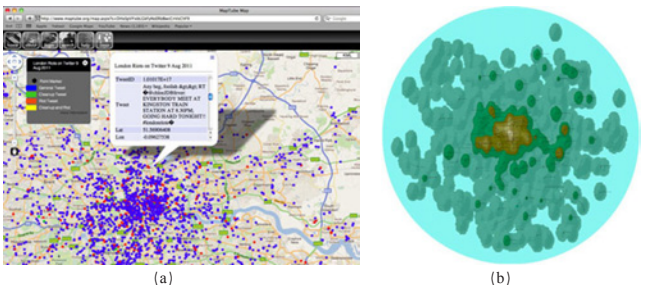
2.4.1 实时感知：众包与社交媒体的空间图示化（mapping social media）

当前最引人关注的社交媒体是短信息，任何信息都可以通过 140 字以内的内容传递给任何相应网络上的用户。其中的最佳案例就是推特，任何可以登上推特的智能设备或电脑都可以作为一个地理编码设备，对信息传出点进行定位。相应的，不少研究正在试图利用这些数据分析社会和空间网络。信息源的地理定位是迄今最主要的应用。我们只是初睹这些通信媒介的发展潜力，而有效信息的提取将是未来的主要议题。通过新的移动化管理（mobility management）方法，通信内容中有效信息的提取将有望取得较大进展，且不仅限于推特数据。重要的是，随着信息挖掘技术的普及，将涌现更多类似的值得关注的新数据。图 3 是关于伦敦 2011 年 8 月 7—9 日推特信息发布的空间分布图以及巴黎 2010 年 6 月 21 日 24 小时内的推特信息发布密度图。

当前使用量最大且更为专业的数据来自于众包，其中，开放街道地图（open street map）是由大量的志愿者通过 GPS 等现场定位技术来记录位置信息。我们将不对此进行展开，OSM 在世界许多地区已具有相当的精度，并能够作为其他社交媒体数据的基础底图使用。例如尽管上面展示的是谷歌地图，但 OSM 显然也可用于此。

2.4.2 多层级网络：伦敦 oyster 公交卡数据

大城市市民已经普遍使用可重复使用的充值公交卡（以下称“一卡通”）搭乘公共交通。在伦敦，所有的公交车、地上铁路以及地铁都可使用一卡通。从 2010 年 11 月到 2011 年 6 月的这半年里，一卡通产生了超过 10 亿条进出站、换乘以及退款数据记录，而我们正在对这些数据进行信息挖掘和可视化处理。目前已完成了地上铁路和地铁的数据分析，



(a) (b)

图 3（a）2011 年夏季伦敦骚乱；（b）巴黎 24 小时之内的推特点分布图

我们希望进一步分析枢纽之间的交通流模式（图 4a）以及各节点的交通总量（图 4b）。

目前我们正利用这些数据构建多模式交通出行算法，我们将对不同交通模式之间的换乘过程进行假设，因为只有轨道交通才会有出发点与终点的刷卡进出记录。左边的图（4a）显示不同枢纽之间的交通流，而右边的图（4b）是 24 小时内每隔 20 分钟交通网络所有节点的交通总量。目前我们正在开发多交通模式换乘的指导程序，这也是项目的一部分。

2.4.3 新城市数据系统：开放数据

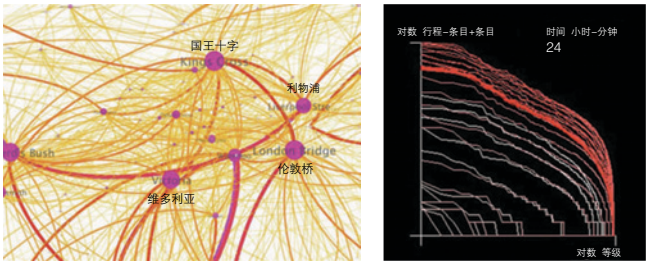
许多国家的政府部门已经为感兴趣的广大公众和专业人士创建了开放公共数据。目前，继美国之后，英国等其他国家以及许多城市政府已经开始提供不同形式的公共数据。这也是当前政府透明管理计划的一部分，其不仅涉及数据可靠性同时也关乎隐私和保密问题。欧盟根据 PSI 指令也积极参与到这些议题中来 。图 5a 是英国开放数据门户网站，图 5b 是纽约的同类网站。在智慧城市领域，未来 10 年内预计将会出现更多类似网站。

2.4.4 新出行与区位模型：MATSim 和模拟 (simulacra)

通过基于个体的方法可以模拟公共交通以及土地使用系统中不同对象之间的互动及其影响，研究对象包括：出行者、网络操作员、公共交通服务（出租车、拼车、共用汽车、公交、铁路等）信息系统提供者、活动提供者（零售商、酒吧经营者、连锁餐厅、影院老板等）开发商以及业主、竞争及其他政策制定者。像 MATSim 这样开源的基于个体的微观模拟能很好的记录下研究对象的速度和尺寸，并为进一步的模型开发奠定基础，后者将涵盖平衡以及非平衡条件（路径导向）下的不同对象类型。在此展示特拉维夫模型的一个典型应用（图 6a），这个模型目前正用于模拟不同空间范畴内交通行为的互动（软件下载、教程、论文以及动画详见 www.matsim.org）。图 6b 展示了伦敦利用更为传统的集计模型的模拟情景。FuturICT 同时也将开发运算基础设施（设备）以进一步拓展模型系统的适用范围，并提高这些模型的速度和性能。

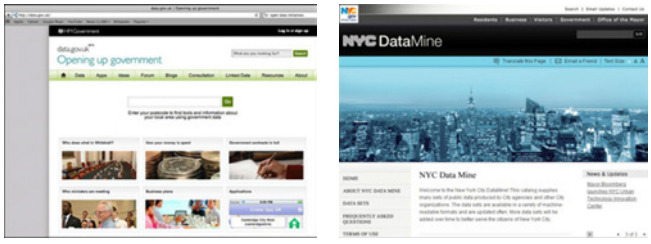
2.4.5 开发路径的风险分析

由于涉及对象的数量和类型过多，计算时间过长，当前即使是最高速度的运算集群也无法对像大都市区这样复杂的系统进行强力风险分析（Brute Force Risk Assessment）。我们希望通过开发智能系统，把握城市发展因素的范围及其关联结构，研究城市相关事件的分布机制，包括城市生活质量、城市繁荣、耐灾力、稳定性以及恐怖袭击、自然灾害、犯罪等城市突发事件。



(a) (b)

图 4 根据 Oyster 数据获得的欧洲铁路网络枢纽之间的每日流量（a）以及枢纽交通总量（b）



(a) (b)

图 5 开放数据门户：(a) 英国以及 (b) 纽约



(a) (b)

图 6 土地利用及交通模型：不同空间尺度的特拉维夫 ABM（a）以及伦敦大都市区集计模型（b）

2.4.6 新出行行为模型和系统：M–Atlas

M-Atlas 是针对复杂城市出行信息的探索框架，也是一个数据查询和挖掘的综合系统。其关注核心是时空轨迹，即物体运动所形成的有时间标记的空间位置序列。人群空间移动轨迹可以通过不同情形下的数据采集而建立，包括汽车以及手持导航设备采集到的 GPS 轨迹，移动电话（GSM）运营商和供应商提供的详细通话记录，来自于在线服务或社交网络（如 Flickr, Foursquare, GoogleLatitude, 等）的具有时间标记的空间位置记录。M-Atlas 所支持的复杂信息获取范畴涵盖了原始的个体空间轨迹数据乃至高层级的集体移动信息，其主要借助以下方式：

- 基于原始空间位置数据的轨迹重塑；
- 空间轨迹数据库的管理和查询；
- 空间轨迹挖掘：特征提炼、聚类和预测 / 分类；
- 空间轨迹可视化分析和模型展示 / 探索。

举例来说，图 7a 和 7b 展示了意大利米兰大都市区对一星期内大约两万个私家车的 GPS 轨迹监测数据的分析结果。在这一案例中，轨迹聚类分析显示出城市两个区域之间的通勤情况。M-Atlas 的可视化界面显示了聚类算法的输入数据，即从城市中心到东北郊的通勤轨迹（图 7a）。图 7b 显示获得的聚类结果，在此 M-Atlas 将同一群簇的轨迹标为同一颜色。一旦确认了最受欢迎的通勤情景和路线，我们将更加深入地分析不同群簇，譬如研究每小时的交通量分布等。

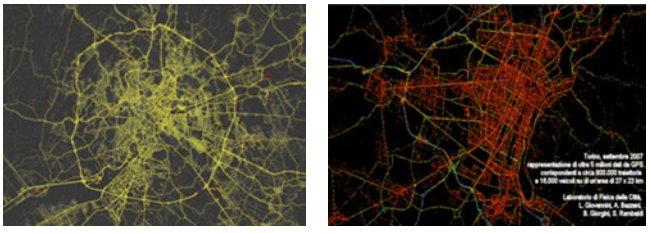
M-Atlas 作为主导技术运用于城市各个利益团体的案例包括基于 GSM 漫游详细呼叫记录的法国巴黎旅游特征分析，托斯卡纳地区参与式拼车以及汽车共享服务的模拟，托斯卡纳沿海城市地区利用详细移动信息（通过整合 GPS、GSM、传感器以及参与式移动数据）制定城市及区域尺度的公共管理政策。我们将首先以 M-Atlas 作为智慧城市地图，接下来拓展至其他图集类型，并与即将开发的综合数据库相关联。

2.4.7 新出行需求管理工具

GPS 技术能够实现个体在整个城市网络中移动数据的记录。在意大利，有 3% 的汽车拥有者因投保而受到监测，从而提供了 2 km 空间范围内、30 秒时间间隔的个体空间轨迹信息 [9]。与此同时，一旦发动机启动或熄灭，相应数据就会被记录下来。每一条数据都包括位置、速度、运动方向以及 GPS 质量。图 8 分别展示了整个罗马城（4 000 辆车）在 2007 年 5 月一整个月中的地理定位数据（图 8a）以及都灵大都市区（16 000 辆车）2007 年 9 月的数据（图 8b）。颜色表（从红到蓝）给出了行驶速度信息，并展现了交通网络结构。

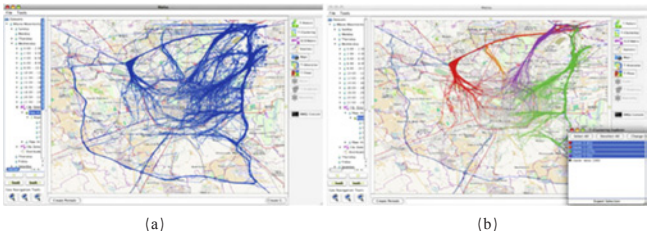
尽管 GPS 数据的空间分辨率较低，但可以实现个体实时路网运动轨迹的重塑，即通过使用特定的算法，以及选择与实验观测结果、出行者的个人习惯以及不同道路使用情况相一致的路径。图 9a 展示了一个轨迹重塑的例子，案例通过历史数据的图像化，进一步探究个人行为习惯的相关性。与此同时，数据分析也能显示城市时空行为的共性特征。图 9b 展示了基于私家车 GPS 数据的个体日常出行分布：其中的对数直线代表个体出行概率随距离显指数性衰减，类似于玻耳兹曼统计分布。这一结果揭示了城市交通的普遍特性，但不久的将来，微观数据将能够实现从更加微观（个体）角度研究城市的瞬态变化 [39]。

利用微观移动数据研究人类决策机制以及信息交互模式将开启广阔的研究机遇。这些宏观法则将成为新一代基于个体移动需求的微观模型的起点，并进而实现整个城市实时交通网络的重塑，公共与私人出行的整合，低能耗可持续交通政策，以及对危机事件的模拟和预测。基于个体移动需求的微观模型将展开实现 FuturICT 安全城市建设的蓝图，其最终的目标是建立一个完整的安全保障机制，以应对因空间出行而产生的危机。



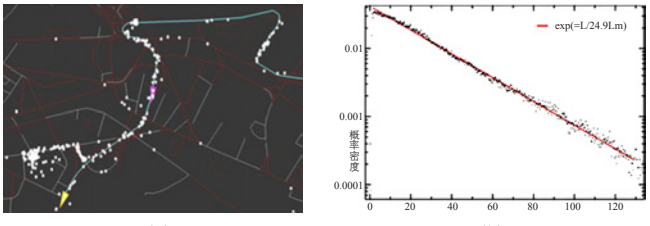
(a) (b)

图 8（a）罗马私家车 GPS 总量（b）都灵车速分布（红到蓝）



(a) (b)

图 7 米兰地铁 GPS 轨迹（a）城中心到东北部（b）的簇状轨迹



(a) (b)

图 9 轨迹重建（a）以及出行行为统计（b）

与此同时，我们将通过识别出行者的空间移动动机以实现对人类出行行为的理解。信息通信技术将运用微观方法研究人群的空间移动。例如，图 10 左和右展示了基于 GPS 测量结果的 2007 年威尼斯狂欢节步行流重塑。

通过数据库的键入，我们能够模拟路网中的步行移动以及主要地点及其附近瓶颈地区的人群汇集 (crowding) 情况，图 11a 简要展示了蓬德拉多加纳附近的一个步行流仿真，以及圣马可广场相类似的人群出行 3D 模拟（图 11b）。在未来的大城市里，极端事件将越来越频繁，其对公民安全产生的影响非常值得关注。

在信息通信技术框架下，这些数据库类型和建模功能将是电子政务工具的基础，并将个人信息与合作式参与（cooperative participation）相结合以实现顺畅、安全和低能耗出行。

2.5 智慧城市情景

随着信息通信技术的发展以及城市竞争的日益激烈，智慧城市这一理念已变得非常热门，相应的计划也不少，而大城市正处在这些探索的前沿。我们要积极迎接这一智慧城市发展机遇，其中的部分要素正与当前研究紧密相关，主要有以下 6 类举措：

（1）新兴城市的智能化发展。主要出现在快速发展的国家。目前通用公司（GE）正在阿布扎比城外的马斯达（Masdar）开发建设世界上第一座零碳城市。微软则在葡萄牙开发 Pareades 节能城市。在中国，Arup 正在长江三角洲的东滩开发智能绿色生态城市，Cisco 则正在韩国的 Songdo 进行全方位设备智能化（wired at all levels）。

（2）旧城更新的智能化发展。旧城的智能化更新通过自下而上的方式，开展于一些电子信息技术得以广泛应用的城市。最佳实践则发生在纽约市的硅巷、伦敦的硅盘以及东京的秋叶原这些新技术不断发展的世界城市。

（3）聚焦于高技术的科技园、科技城以及高科技集群（technopoles）发展。硅谷以及 128 号高速公路是其中的经典案例，但科技园概念不能脱离本地的经济发展，而应通过将高技术生产与本地消费相结合，以促进地区的智能化发展。

（4）运用当代信息通信技术发展城市公共服务。通过网络化数据库、云计算以及固定和移动网络等形式，构成智慧城市设计和规划过程中协调不同利益与机构群体的核心力量。

（5）运用信息通信技术发展城市智能。这是城市运作方式的新理念，即通过运用复杂科学塑造强有力的模拟模型与优化模式，以形成具有较高效率、公平性以及生活质量的城市结构与形式。

（6）在线及移动式公众参与的发展，市民与来自政府和企业的规划师及设计师一同，广泛地参与城市的发展与提升。在此，分散化管理与社区行动将构成信息通信技术下新式公众参与模式的核心。

3 创新方法

3.1 至关重要的努力

技术创新是文化背景的产物（crucible）。技术不仅具有物质层面（material or ethereal）的价值，也是一种社会建设，并且其应用本身也是社会性的。越来越多的人相信城市是技术进步的孵化地，而拥有较高教育程度劳动力的大城市则是技术进步的最佳发源地，促进技术的发明和应用。虽然全球化使得情况变得复杂，但之所以有如此多的企业以及政府乐于接受智慧城市理念，则是因为人们普遍相信，只有运用信息通信技术，城市才能更加智能，并在激烈的竞争中取得优势，以立于不败之地。虽然阿尔弗雷德·马歇尔（Alfred Marshall）在 100 年前就已指出这一点，但直到聚集经济的到来以及城市人口与信息库的极大拓展，智慧城市的基础才逐步得以奠定。信息通信技术是创造更好世界的关键，这在大城市表现得尤为明显。

智慧城市研究将带来一系列的创新。首先，FuturICT 项目将复杂理论运用于解决人的问题，显然，这一项目的关注对象，即人类系统（human system），由于信息通信技术的运用以及新型人工智能（human function）的发明，其本身正在不断复杂化。信息通信技术从一开始就不断影响和塑造

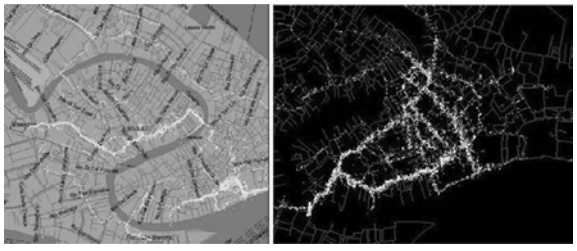


图 10（左）与（右）2007 年尼斯运河不同空间尺度的步行轨迹重塑



(a)　(b)

图 11 维与三维步行动态

社会系统，FuturICT 项目通过运用这些技术工具，已牢牢居于理解复杂社会系统的前沿。正如前面所指出的，马歇尔·麦克卢汉（Marshall Mcluhan）认为，我们塑造的工具也会反过来塑造我们[4]。科学自身的变化正在改变我们对科学的运用。城市在以各种方式运用信息通信技术的同时，应用过程本身也随技术而改变。其中的关系很复杂，而对于这一相互交织复杂性的忽视将带来风险。我们所面临的问题是所有城市所共有的，这在多年前还未被人们理解[40]。过于草率而简单的问题处理常常带来始料未及的后果，而对一些效应的忽视，也将使情况变得更糟。以 FuturICT 为例，智慧城市研究中的一个重大创新在于处理问题时充分考虑了上述方面。隐私与保密性问题以及从智慧城市各类项目中产生的新的个人日常数据风险将尤为值得关注。

3.2 关键议题

初看起来，智慧城市项目理应主要关注于硬件及网络，但真正的关注点则在于组织模式。后者通常需要借助于软件的发展及大尺度计算机资源、网络以及数据的管理。正如全篇所指出的那样，智慧城市的关注重点在于利用电子信息技术整合数据、模型以及使用者。我们将信息通信技术的这一类议题称之为斡件（orgware），虽为 1980 年代的老用语，却代表了各类新型计算发展和运用的一系列议题。

在开发和耦合这些数据库的同时，如何利用新型媒体，通过传感、在线交易信息挖掘以及实体环境和社交中行为的自动记录等途径对数据进行收集，是本项目的关键点[41]。这类耦合以及已开发的组织模式将成为智慧城市新管理架构的一部分，并协助城市的智能运行（在决策制定以及实时建设过程中实现更广泛的公众参与，并通过模拟和优化对决策进行支持）。以下所举的不同项目的研究要点将涵盖所有这些议题，虽然在项目之间或与其他 FuturICT 项目之间可能存在交叉。

研究的主题之一是开发新的模拟模型以应对智慧城市中不断增加的复杂性。项目的创新点在于通过开发新模型，模拟智慧城市中的不同活动，这些模型将随着城市结构而演变并更加智能化。换句话说，这些模型将对城市的动态演变进行模拟，即类似于达尔文生物进化论的自组织演化进化过程（self-organizing evolution process），并在创新和选择机制之间取得平衡。在此仅需一例即可证明。50 年前，城市还延续着 1 000 多年来几乎不变的认知：工作场所形成城市的中心，人们乘汽车去工作和交易货物（买卖服务）。这一模型基于城市拥有稳定不变的结构。自此以后，信息通信技术以及全球化已经极大的改变了这一点。物质层面来看，城市在物质运转方面并未改变多少，但是在社会网络以及经济交易方面，旧有的模型已经无法应对这一网络化社会的需求了。如今的世界已有相当一部分被信息流所主导，不留下任何旧有的物质足迹。如何建立有效的模型以应对这些变化将是一个挑战，特别是面对各种不同的城市运作理念。在 MATSim 以及 Simulacra 这样的模型架构中已出现了类似的新型模型，如针对不同城市机构的基于个体的模型以及新型交通建模[42]。我们非常希望通过 FuturICT 项目进一步探讨这些概念。

以上这些已经改变了我们对于不断变化与演进系统的建模的理解。研究的最后一个主题是关于如何通过变革规划和决策过程以实现城市变化的实时监测。随着自下而上实时数据的出现，空间与时间尺度正在被突破。我们将通过创建新的数据集，实时展示城市运作并促进城市长期变化的监测。简而言之，如果收集的所有数据都是实时数据，那么在任何时刻，都能通过数据汇总来应对任何时空范围内的城市变化。虽然还有很多路要走，甚至可能永远都达不到这一理想目标（一旦实现，将会发现还有更多不同的数据需要收集），但是对不同时空范围内城市变化的实时监测却是切实可达的。由于时空尺度的压缩，未来的模型本身及其如何通过模拟和决策支持以指导城市规划与决策都将发生改变。这一点对于市民科学尤为关键，而我们将致力于提供一个良好的公共参与环境以促进未来智慧城市的发展。

3.3 项目提议

正如所见，我们无法顾全信息通信以及智慧城市的方方面面。事实上，我们将与 IBM 以及 Cisco 这样的企业团体合作，将他们当前的工作与我们更广泛的诉求相结合。因此，研究方向可以归类为既独立又互相交叠的 7 个方面，并通过图 12 的总框图加以展示。

3.3.1 智慧城市综合数据库

我们将选择一系列尚在开发中的不同城市领域的数据

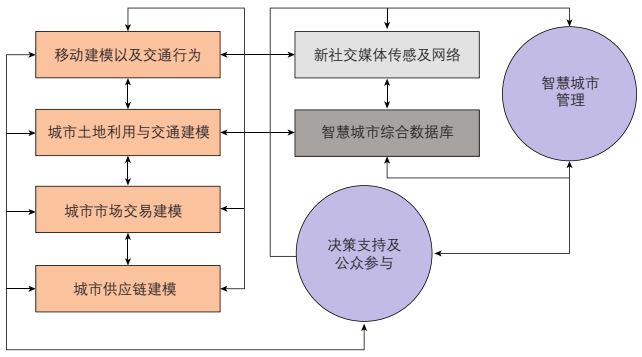


图 12 FuturICT 智慧城市项目架构

库，这些数据库不一定实时，但都属于数字资源。我们将研究如何在这些数据库中补充传统数据信息，例如周期性的抽样人口普查，使这些数据库更加丰富。我们将发掘数据错误，聚焦于整合标准的建立，并提供一系列数据挖掘和模式识别技术，其中不少是基于机器学习的方法，以便提取用于评估城市运作的有用信息。我们同时也将利用这些数据支持更加长远的决策，并聚焦于利用社交媒体的非常规及实验性数据源来进一步丰富这些数据库。例如，我们计划将传统的在线交通数据与基础设施数据，如水电线路监控和定位，以及 STM（Synchronous Transport Module）网络资源的社交网络数据相连接。在此，我们将加入人口普查数据，并尝试将土地价格与住宅交易的电子数据联系起来。这一整合过程目前来看是独一无二的，虽然在 GIS 领域已经有所尝试。

交通数据方面，我们将收集不同欧洲国家的数据流（data streams），通过适当调整使其相容，并转译为共同语境。为此，我们需要与数据供应商谈判并签署合同，使数据的收集过程能够顺利可靠（APIs 而非 web-bots）。相应的例子包括交通计数、航班运行、集装箱运输、运费、TCP/IP 交通，旅游客流以及移动电话使用等。美国联邦航空局（FAA）10% 的票样本、商业机票数据库、国家统计局统计、人口普查数据、健康预警等将是综合智慧城市数据库的重点。我们同时也将运用最先进的技术从不同时空特征的数据流中归纳提炼出关键的主导因素。我们将至少一季度发布一次关键因素和预测结果，并将这一理念拓展至其他即将进行耦合的城市数据集。同时，我们也将不断提高这些因素及其数据流的全面性。

3.3.2 传感、网络和新社交媒体的影响

相比于传感器的自行开发，我们更关注于数据挖掘及其价值的提炼。日常社交媒体网站的数据已被广泛运用，但大部分是即时性的。从智慧城市的维度看，我们的目标在于将这些媒体内容转译为城市运行以及市民规划互动的一些特定议题。FuturICT 的关注重点之一便是网络，我们将利用和关联其他网络科学计划，并尝试从新在线实时数据集中挖掘出社区、市场、政府和企业之间的关系网和信息流。这主要涉及经济社会数据的提取，而目前我们尚缺乏相应的信息和了解。这一研究的必然趋势是社区实测，以应对变幻莫测的现实世界。

当从出行数据中提炼社会网络时，我们常常忽视了两类数据而无法理解交通的动态性：一方面，我们对于欧洲社会地理网络自身及其迁移、资源乃至传染病如何通过网络进行传递缺乏观察和理解；另一方面，我们较难获取关于长途旅行成本的信息，因为所有的运营商都通过价格歧视来维持他们的利润。我们将在本项目中纠正这些问题。例如，我们建议在 10~12 个欧洲国家或地区中建立一套覆盖当前经济发展和移民历史所有范畴的社会网络调查。在这一初始调查中，我们从访谈经济性考虑，将从所选的地区（NUT2-level）内抽取 750 人作为样本。我们期望接下来有深入研究小组能加入到这一初始计划中来。项目将组建数据归档、员工支持、数据分析队伍。第二，长距离出行市场（飞机、火车、轮渡、汽油价格）受价格歧视、订票时间、季节、服务水平 / 等级以及是否往返等的影响。我们将建立一个自动网络观测平台，对欧洲乃至跨洲旅行的不同订票情况（离开时间、等级、停留时间长短）进行系统的价格取样，并利用多服务器模拟不同地域旅客的行为。这一每隔一段时间便可获取并可连续存储的数据集将构成美国航空市场的联邦航空局（FAA）10% 官方票务样本的有力补充。

3.3.3 网络性能、出行和交通行为模拟

我们将进行广泛的理论探索，以更好的理解交通与运输网络性能，其中包括交通瘫痪、跟车、交通动力学乃至新路径选择机制、网络不确定性下的合作博弈行为和动态出行模型等新理论发展。具体有：（1）大尺度综合出行行为和拥有个体视野及学习机制的物流模拟模型，可作为政策分析的工具。（2）简化表达的出行需求和整合不同设施系统（能源、通信、水、长途物流）的综合物流系统模型。（3）网络改进以及操作进度的弹性设计及优化。（4）已建基础设施（道路、铁路、运河以及管道）的快速网络设计及优化。（5）通过数据融合与整合，实现系统的持续性能。（6）针对不同用户，兼顾效率、可靠性、公平性的新性能指标。

我们同时也将针对个人交通危机开发模型工具。潜在的危机是多方面的，例如，一次火山爆发干扰了欧洲的航空旅行；一次重大化学品事件导致人口大迁移；传染病流行期间关闭铁路运输服务。政府与企业需要借助于理论合理的模型，对现实情况进行描述，发现潜在的相互作用与关联。这些模型工具将成为流行疾病等更精细模型的基础。

3.3.4 城市土地使用与交通建模

FuturICT 的几个工作组正在开发不同类型的城市土地利用与交通模型，其中涵盖从传统的社会物理学城市经济类模型到元胞自动机城市发展模型乃至基于个体的空间行为模型，其中后者已经拓展出交通模型的新方向。我们计划运用并进一步拓展基于个体的微观模拟模型 MATSim，并以此为基础，开发结合出行行为、土地利用、空间移动与社会网络于一体的新模型。我们也将朝着多日程时间框架发展，从而与长距离出行选择相匹配。目前的快速建模需要进一步提速，从而在较快时间内实现对网络（拥有 107~108 个链接 / 服务

以及 107 个目标点）中 108 个对象的模拟。在此，我们将运用 GNU 公共许可证框架（www.matsim.org）下的技术工具。

为了支持这一工具，我们将基于新收集的数据对欧洲的社会地理网络影响进行建模。项目将对不同模式、不同频率的联系和互动以及欧洲乃至世界范围内的政治、经济和交通情况进行建模。我们同时也将拓展这些模型，以应对物流危机：物流市场由于供应链长，涉及的决策参与与制定者数量大，因而比客运交通市场更加复杂。在利用合适的数据结构和模型扩展 MATSim 的基础上，需要增加计算速度以应对新的实施规模。我们将在欧洲范围内运用这些模型工具，以协助 FuturICT 和其他的相关项目进一步探索有利的情景。我们将为第一步的实施提供必要的数据、搭建模型，生成代理，建立网络并校准和验证数据，我们接下来将对数据进行两年一次的小更新以及五年一次的大更新。我们还将持续与用户联系，不断整合他们的经历及关联的结果：从而使得模型能不断的适应和学习。

其他更为集计（aggregate）的土地利用和交通模型，如 Simulacrasuite 模型，将得到进一步拓展并与非集计实体模型相关联。这些模型将模拟集计发展动态，同时也能与 MATSim 等多种模型相链接，进一步构建智慧城市的崭新规划和决策支持系统。此处关注的重点在于开发更广泛的适于各类用户和参与者语言习惯的模型工具。

3.3.5 城市劳动力、住房和交通市场交易活动的建模

市场交易决定了城市土地、资产和劳动力的开发、购买、配置和报酬的方式，市场交易建模将是我们新的关注点。我们对于城市系统如何应对宏观金融危机（将在 FuturICT 的其他部分展开探索）所知甚少，而国家乃至国际经济的繁荣与萧条显然会作用于城市层面。的确，这些危机的根源从某种程度上而言已成为决定城市功能运作好坏的核心。我们利用基于个体的技术（agent-based technologies）开发一系列住房市场模型，并对这些市场的金融交易相关数据库进行整合，其中涉及资本融通方式、国际资本如何决定空间行为、潜在的购买者和开发商如何受资源获取渠道的影响等方面。同时，我们也将借助不同类型的交通系统优化出行效率、公平性和机会渠道，从而提升智慧城市设计。

类似的，我们还将探索劳动力市场如何受企业供给，政府角色，环境质量，以及劳动力创新能力等方面的影响。迁移是联系住房与劳动力市场的关键，我们将探索老龄化、法制法规和金融服务的资本供给如何影响住房与劳动力市场运作。这些模型将与其他正在开发的交通和土地利用模型紧密关联，其共通之处在于唯有通过多模型的并行应用才能了解城市这样一个复杂系统。因此建模过程在相当程度上是并行而又相互交织的。

3.3.6 城市智能的决策支持：实时模型和 ▮策制定的公众参与

决策支持系统的模板与结构目前还处于起步阶段，其中将涉及各种各样的模型和工具组合，这也是本项目在规划未来智慧城市时的主要关注点。过去大部分的城市政府机构智能化努力都是自上而下的，并且都出于专业使用考虑。由于城市过于复杂，这类智能化仅仅是城市规划中众多需要协调的功能之一。整合数据库和模型将支持综合智能的发展，但还需要将新的城市问题和数据可视化方法、新的未来情景影响预测方法以及新的为市民提供有效和集中建议的方法统统重新整合成一个连续而稳定的综合系统。我们将依据综合建模理念，针对各种相互关联的规划问题开发不同时空尺度的综合智能环境，以解决相应范畴内的建模问题，目前在此方面已经有一系列简单的实际应用。

3.3.7 智慧城市管理架构

由于当代公民社会已实现信息的充分获取，各级政府及其管理都需要建立起相应的新管理架构，而非仅仅限于城市层面。从这个角度看，项目的涉及面还远远不够，其与上文的第六个项目（3.3.6）中的公众参与议题也息息相关。事实上，这一管理框架与上文的项目可以结合来看。正如图 12 所示，建模功能的整合是主要途径，而这些建模功能需要基于未来数据系统的开发。数据和模型开发标准、适宜的界面、在线资料获取权限的安全及保密性、知识产权、隐私权问题等统统都受到新管理架构的影响。城市因信息通信技术而改变，城市的功能运作模型也随之改变，不同城市机构在处理未来城市问题时需要具备一定程度的弹性，这将非常不同于目前的组织架构。信息通信技术将是核心，同样重要的还包括责任制度、开放性、透明性、公共数据获取以及国家政府机构就市民对城市管理的参与和影响所制定的规范。

3.4 范例

目前为止，全文还未就我们的研究展开证明，但这并不妨碍本研究在各类城市中得到切实而广泛的运用。我们将列举一系列典型的地区和部门：新规划的智能城市以及正快速智能化的大城市，如伦敦、都灵、巴黎、罗马、苏黎世和特拉维夫；那些正处于经济下行的城市，其未来也将依托于智慧城市而显著发展；此外还包括具有各类民族问题、高迁移率以及老龄化问题的城市等等。决策支持工具包（portfolio of tools）的开发将基于这些范例，同时我们也将确保这些工具能够与世界主要信息通信公司的智慧城市核心开发项目相关联。

4 预期范式转换

托马斯·库恩（Thomas Kuhn）[43] 在 1962 年首次提出了“范式”一词，将其定义为一定时期内普遍公认的科学成就，并为众多研究人员提供建模方面的问题与解决途径。简言之，范式就是在一定时期居于主导地位，并可以不断拓展的世界性观点。当这一世界性观点失去效力，即出现异常和不确定性，使研究者无法再在原框架中继续工作时，便会发生范式转换。科学历史已经表明，一个波动的掺入将在非常短的时间里导致范式转换，通常是数年或数十年而非上百年。现代计算机技术系统的发展从某一层面讲可以被视作引起这一转换的波动，但由于我们所关注的系统随着我们对其理解的加深而不断演进，这些系统的影响力将更强。因此，之前所提到的这些翻天覆地的变化已经超越了一次普通的范式转变，而是从能源和物资世界向信息世界的一次彻底转变。尽管如此，我们的建议非常明确，即许多传统的城市处理方法将不再适用，目前的规划系统将与目标相悖，而我们所推进的转变将是一种前所未有的范式转变。接下来将从智慧城市视角举出其中的一些转变。

第一个也是最明显的转变是信息基础设施的发展，即采取分布式计算与网络形式，使得人人都可以通过设备与这些基础设施相链接。实际能否奏效，还取决于管理和安全问题，因此这一基础设施在当前是否可行还需进一步协调，以使各项服务能得到更有效的配置。作为这一服务配置理所当然的催生品，数据的定期收集正使城市在不同时空尺度内变得更加智能。这将是前所未有的时刻，数据定期收集的实现将为处理从未被解决的人类问题创造机会。即使如此，城市仍不会完全自动化，未来仍须与现存的非自动化和非数字化技术为伴，并与数字化技术相结合。

我们将有史以来第一次站在设计人类行为新科学的节点上，从我们的领域来看，它将是空间行为科学。日常数据的实时传感将产生大数据，后者将借助新的数据使用和分析工具以及方便个人观看的新数据挖掘方法加以处理。同时，如果要处理数以万计的观测结果，那么数据分析及统计领域需要取得跨越式发展。传统的统计方法主要是从较小数目的人口（千量级，而非百万或上亿级）中提取宏观的均等化信息，这一传统方法在新时代已不再奏效。我们需要借助新的统计方法来处理这些大数据，并以自上而下的微观动态角度（通常尚未为社会系统所知）对整体信息（generic information）进行重塑。在此，可视化非常重要，尤其是空间领域的可视化将处于主导地位。在开发人类行为新模型的过程中，我们需要更多地关注于区位和出行议题，社交媒体和网络渠道将在这一层面起到关键角色 [44]。

这些发展同时也带来了新的视角，其范围从本地到全球，自下而上与自上而下无所不包。复杂性理论侧重于系统自下而上的演进与发展。但显然，尽管以个体行为的可预测为前提，这些系统仍然会受到不同空间尺度的干扰。本地化方面，这一新科学正逐步运用于城市设计、社区以及建筑层面，其中在建筑层面已经与建筑功能模型相结合。正是在这些尺度上，行为得到空间落位，也正是在智慧城市的这一领域中，我们发现了行为如何受物质空间层面因素的左右，而这些空间因素反过来又被人的行为所塑造。这一个范式转变将带领我们踏足前所未有的领域。

5 研究策略建议

5.1 相关学科和领域

本文 3.3 节已经概括出本研究所关注的七个主要领域，本节将从未来战略层面进一步加以分析。城市已成为不同学科的关注焦点，社会人文科学领域研究的所有议题事实上都发生在城市，而我们则主要关注城市作为空间系统的一面，特别是其空间与物质组织。虽然空间与非空间议题之间是相互关联的，但对智慧城市的理解以及如何使其更加智能主要围绕空间层面展开，这也正是 FuturICT 项目中我们与其他团队研究领域分工的体现。

在 FuturICT 中，复杂性科学是我们关注的焦点，但其同时又与许多其他涉及城市的学科及专业领域相关联。城市规划与交通规划是本研究的两大核心领域，而计算机科学则是大数据库、网络、数据挖掘以及人机交互发展的关键。城市研究的开展必须置于跨学科的背景下，本研究的视角涉及城市的社会物质领域，这与城市作为一个复杂系统的结构与演变是一致的 [45,46]。从这层意义上说，研究将借鉴部分数学物理及自然科学理念，但这都将置于社会学背景之中，并兼顾定量与定性。

5.2 主要参考与专利

我们将与几家参与智慧城市硬件与软件设施开发的公司合作，并将在数个领域里设计创新型软件并针对性地提出数据库解决方案，后者将涉及数据库耦合以及通过数据的实时挖掘，引导和控制城市的运作。这些成果都将受到知识产权保护，同时其中的部分产品将获取专利。不过，我们开发的大部分软件都将是公共性的，并遵从知识共享协议（Creative Commons Licenses），城市政府和任何非营利机构或团体都可以采取正规透明的方式使用这些软件。虽然从自身角度来讲我们不一定支持这一立场，但我们将与合作伙伴，如 MATSim 等软件开发商就具体安排进行协商，为这些软件寻求广泛的支持。这些系统中的一部分目前已经向公众开放。

5.3 示范结果

本文 3.4 节已经提供了一系列示范对象。这些示范主要关注（1）特定的问题类型；(2）特定的模型类型；(3）特定城市。我们将就以下问题进一步阐释和说明：

- 大城市受金融危机影响产生的房地产繁荣与萧条；
- 城市交通系统以及空间出行所带来的能源影响；
- 由于城市骚乱、天气以及偶发事件等短期事件而造成的交通瘫痪；
- 整合不同城市数据集以提升城市运作效率；
- 欧洲气候变化影响，尤其是人口聚集地的海平面及温度上升；
- 市民参与未来智慧城市的规划制定，主要包括出行、住房、更好的设计、美学（城市美化）以及对机会获取渠道的关注；
- 全球范围移民的影响。

这些只是智慧城市科学所引发议题的一小部分。我们将根据不同的模型类型及城市情况因地制宜，使一部分议题能在个别城市得以实际运用，特别是其中的许多应用将是原位开发（developed in situ）的。

5.4 道德问题

由于项目的新数据系统是从零开始开发，且数据系统涉及个人行为数据监测以及与同层面二级数据集的整合，因此我们的工作将涉及较多的隐私权问题。当对不同数据源的数据集进行合并以形成综合与耦合系统时，常常会遇到版权和知识产权问题。实际上，大部分数据库的整合工作都会涉及到这类问题。

在如何吸引大量团体和市民参与未来智慧城市规划方面，需要考虑谁能得到什么样的信息，尤其当我们可以在个体识别的精细空间尺度下获取信息的时候。我们将借助广泛的知识库，研究在数据系统建设、使用和获取时如何确保隐私权，同时也将与国家和城市政府及 NGO 组织进行开放数据方面的合作，并保证我们的研究完全与其开放数据进程保持一致。

6 预期的影响

我们将列举智慧城市建设预期影响的一系列要点，事实上前文已经在某种程度上对此进行了阐述。这些影响表现为科学、技术和社会三个方面。

6.1 对科学的影响

我们将从城市的视角解决社会演变的基本难题，采取新的策略与方法应对在技术创新以及经济持续繁荣背景下不断演化和日益复杂的系统。与此同时，借助于上述技术（增加系统复杂性的原因之一），我们将对社会演变进行分析和预测，并促进认知系统及统计技术的发展。

我们认为，城市模拟深深根植于城市作为一个经济与社会实体的时空运作理论之中，我们将推进城市模拟相关技术与艺术的发展。我们的模型需要与当代城市新理论相融合，后者主要基于新经济地理、城市经济、基于个体的社会经济制度理念以及新的交通与通信方法之中。

借助于神经网络、机器学习以及演化计算等方面的新发展，我们将探索空间及相关数据库整合的新方法，并继续推进数据挖掘尤其是百万兆字节的大数据集挖掘技术的发展。

6.2 对于技术及竞争力的影响

我们将不断创新理念，使城市通过日益的智能化实现其发展潜力。智慧城市是智慧的孵化地，我们将通过几个城市案例（也是智慧城市科学的实践地）对这一模型进行示范。

智慧城市是有竞争力的城市，我们将探索不同智能化程度的城市如何响应新的计划并增加其竞争优势。智慧城市系统的这一竞争意识需要建立在城市相互关联、共同演进的大背景之中，从而使城市之间的发展差距不至于太大。

我们将开发基于网络的新关联式背景平台（new web-based interactive contexts），从而使更广泛的市民活动家和团体能参与到解读和设计与之利益相关的城市和社区中来。

6.3 对于社会的影响

智慧城市是公平的城市。我们将通过信息基础设施的建设使得更广泛的利益相关者和不同专业及活跃程度的团体能参与到智慧城市的运作中来。在此，我们关注的核心是效率与公平之间的平衡。

基于网络的互动系统（the web-based interactive systems）是市民科学的基础，而市民参与在智慧城市中的普及将进一步推进城市的公平性，并协调竞争过程。

新技术方法的开发将基于不同团体之间竞争与合作并存的理念。同时，智慧城市所特有的种种基础设施、专业知识和数据将使城市的公平性更容易建立，并提高城市的生活质量。

未来我们将有一个更加详细的研究计划，而目前的任务主要是定义研究背景、阐述主要议题，并对可能的研究重点作出一定程度的说明。这篇文章将为进一步探讨新技术的破坏性与建设性效应打下基础，尤其是在社会组织方面，后者将是未来城市管理、社区及企业行动的必备要素。若想进一步了解本研究的实现前景，可参考 FuturICT 网站（http://www.futurict.eu/）所列举的诸多成果。

本研究的出版，部分由信息通信技术领域的协调与资助计划（FuturICT FET Flagship Pilot Project）中的欧盟第七框架项目（the European Union's Seventh Framework Programme）（FP7/2007-2013）的 284709 号拨款协议支持。UPI

参考文献

[1] Harrison C, Eckman B , Hamilton R, Hartswick P, Kalagnanam J, Paraszczak J, Williams P. Foundations for Smart Cities[J]. IBM J, Res. Develop, 2010, 54(4): 1-16.

[2] Sassen S. Talking Back to Your Intelligent City[DB/OL]. 2011. http://voices.mckinseyonsociety.com/talking-back-to-your-intelligent-city/.

[3] Aurigi A. Making the Digital City: The Early Shaping of Urban Internet Space[M]. Farnborough, UK: Ashgate Publishing Company, 2005.

[4] McLuhan M. Understanding Media: The Extensions of Man[M]. New York: McGraw Hill, 1964.

[5] Caragliu A, Del Bo C, P Nijkamp. Smart Cities in Europe[M]. VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics, Research Memoranda0048, Amsterdam, The Netherlands, 2009.

[6] Batty M. Technology Highs[J]. The Guardian, 1989, 29.

[7] Batty M. Env [J]. Planning B: Planning Design, 1990(17): 247.

[8] Batty M. The Computable City[J]. International Planning Studies, 1997(2): 155-173.

[9] Dutton W H, Blumler J G, Kraemer K L. Wired Cities: Shaping the Future of Communications[M]. New York: G. K. Hall, 1987.

[10] IBM Global Business Services. A Vision of Smarter Cities: How Cities Can Lead the Way into a Prosperous and Sustainable Future[DB/OL]. NY: IBM Institute for Business Value, Somers, 2009. http://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/gbe03227usen/GBE03227USEN.PDF.

[11] Nielsen M. Reinventing Discovery: The New Era of Networked Science[M].Princeton, NJ: Princeton University Press, 2011.

[12] Bazzani A, Giorgini B, Giovannini L, Gallotti R, Rambald S. MIPRO2011[M]. 2011: 1615.

[13] Giannotti F, Pedreschi D. Mobility, Data Mining and Privacy[M]. Berlin: Springer, 2008.

[14] Giannotti F, Nanni M, Pinelli F, Pedreschi D. Trajectory Pattern Mining. ACM. SIGKDD 2007, Proceedings, International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2007:330.

[15] Giannotti F, Nanni M, Pedreschi D, Pinelli F, Renso C, Rinzivillo S, Trasarti R. Unveiling the Complexity of Human Mobility by Querying and Mining Massive Trajectory Data[J]. The VLDB Journal, DOI: 10.1007/s00778–011–0244–8, 2011.

[16] Eagle N, Pentland A. Reality Mining: Sensing Complex Social Systems[J]. Jounral of Personal and Ubiquitous Computing, 2006, 10: 255-268.

[17] Eagle N, Pentland A. Eigenbehaviors: Identifying Structure in Routine[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2009, 63:7, 1057-1066.

[18] Batty M. Env[J]. Planning B: Planning Design, 2010, 37: 577.

[19] Schnfelder S, Axhausen K W. Urban Rhythms and Travel Behaviour: Spatial and Temporal Phenomena of Daily Travel[M]. Farnborough, UK: Ashgate Publishing Company, 2010.

[20] Granovetter M. The Strength of Weak Ties[J]. Amer. J. Social, 1973, 78: 1360-1380.

[21] Gonzalez M C, Hidalgo C A, Barabasi A-L. Understanding Individual Human Mobility Patterns[J]. Nature, 2008, 453, 779-782.

[22] Axhausen K W. Social Networks, Mobility Biographies and Travel: The Survey Challenges[J]. Planning B: Planning Design, 2008, 35, 981-996.

[23] Larsen J, Urry J, Axhausen K W. Mobilities, Networks, Geographies[M]. Farnborough, UK: Ashgate Publishing Company, 2002.

[24] L M Correia, et al.. Smart Cities Applications and Requirements. White Paper, 2011. NetWorks European Technology Platform Expert Working Group. http://www.networks-etp.eu/.

[25] IFF. 2020 Forecast: The Future of Cities, Information, and Inclusion: A Planet of Civic Laboratories, Technology Horizons Program, Palo Alto, CA 94301, 2011. http://www.iftf.org/.

[26] Brail R K (Editor). Planning Support Systems for Cities and Regions [M]. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2008.

[27] Lambiotte R, Blondel V, Kerchove C De, Huens E, Prieur C, Smoreda Z, VanDooren P. Geographical Dispersal of Mobile Communication Networks[J]. Physica A: Stat. Mech. Applic, 2008, 387, 5317-5325.

[28] Expert P, Evans T, Blondel V, Lambiotte R. Uncovering Space-independent Communities in Spatial Networks Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2011, 108, 7663-7668.

[29] Walsh F, Pozdnoukhov A. Pervasive Urban Applications Workshop at PERVASIVE, 2011.

[30] Reades J, Calabrese F, Ratti C. Eigenplaces: Analysing Cities Using the Space-Time Structure of the Mobile Phone Network[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2009, 36, 824-836.

[31] Scellato S, Noulas A, Lambiotte R, Mascolo C. Socio-spatial Properties of Online Location-based Social Networks. Proceedings of Fifth International AAAI Conference onWeblogs and Social Media (ICWSM 2011), Barcelona, Spain, 2011: 5.

[32] Pozdnoukhov A , Kaiser C. Proceedings of the Location-based Social Networks Workshop, ACM SIGSPATIAL GIS' 2011, 2011,19.

[33] Noulas A, Scellato S, Lambiotte R, Pontil M, Mascolo C S. A Tale of Many Cities: Universal Patterns in Human Urban Mobility [arXiv:1108.5355], 2011.

[34] Beinhocker E. The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics[M]. Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 2008.

[35] Fernandes E O, et al.. Smart Cities Initiative: How to Foster a Quick Transition Towards Local Sustainable Energy Systems, 2011. http://think.eui.eu/.

[36] Giffinger R, et al.. Smart Cities, Ranking of European Medium-Sized Cities. Centre of Regional Science, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 2007. http://www.smart-cities.eu/.

[37] Innes J E, Booher D E. Planning with Complexity: An Introduction to Collaborative Rationality for Public Policy[M]. London: Routledge, 2010.

[38] Bazzani A, Giorgini B, Rambaldi S. Encyclopaedia of Complexity and Systems Science[M]. Meyers R eds. 2009, 3: 9411.

[39] Bazzani A, Giorgini B, Rambaldi S, Gallotti R, Giovanninii L, Stat J. Mechanics: Theory Exper. 5, P05001, 2010.

[40] Rittel H J . Panel on Policy Sciences[J].Amer. Association Adv. Sci, 1969, 4: 155.

[41] Wang D, Pedreschi D, Song C, Giannotti F, Barabasi A-L. Human Mobility, Social Ties, and Link Prediction. Proceedings, International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2011. http://users.cis.fiu.edu/~lzhen001/activities/ KDD2011Program/docs/p1100.pdf.

[42] Pagliara F, Bok M de, Simmonds D, Wilson A eds. Employment Location in Cities and Regions: Models and Applications[M]. Heidelberg, DE :Springer, 2013.

[43] Kuhn T S . The Structure of Scientific Revolutions[M]. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1962.

[44] Song C, Qu Z, Blumm N, Barabsi A-L. Limits of Predictability in Human Mobility[J]. Science, 2010, 327: 1018-1021.

[45] Batty M. Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-based Models, and Fractals[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

[46] Portugali Y. Complexity, Cognition and the City[M]. Heidelberg, DE: Springer, 2011.

（责任校译：许玫）