

数字城市——一类开放的复杂巨系统

戴汝为

(中国科学院自动化研究所 复杂系统与智能科学重点实验室, 北京 100080)

[摘要] 国内对采用自动控制、信息与网络技术、人工智能等技术构建数字园区的工作已经启动, 人们对今后数字城市的构建与发展给予很大的关注。从系统科学的观点出发, 论述了数字城市是一类开放的复杂巨系统, 可以用处理开放复杂巨系统的综合集成法 (metasynthesis) 来处理数字城市这类的系统。

[关键词] 数字城市; 信息技术; 综合集成; 智能家居

[中图分类号] N941; TP18 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2005) 08-0018-04

开放的复杂巨系统及其方法论在 15 年前由钱学森等中国学者提出后^[1], 尽管系统科学和系统工程已经有许多研究和应用, 但是对“复杂巨系统”和“开放性”等前瞻性提法, 当时还未得到共识。上世纪末, 国际上对大规模的巨系统的研究逐步深入, 对其特性的揭示表明, 在许多方面具有复杂巨系统的特性。做为信息时代特征的 Internet, 它庞大复杂的系统结构, 自组织机制以及其动力学特性, 被认为是一个开放的复杂巨系统^[2]。随着研究范围的扩大, 城市的广义建筑学或人居环境学^[3], 以至人体的免疫系统^[4], 全被认为是开放的复杂巨系统。近年来, 开放的复杂巨系统的观念及从定性到定量综合集成方法论日益在我国的经济建设和军事建设上发挥着重要作用^[5]。

做为我国综合实力在经济全球化、全球信息化竞争中的亮点, “数字城市”应运而生。从四川乐山市数字城市规划制定^[6], 到广东深圳市民中心楼宇智能化的项目评议, 从青岛胶州湾工业园区的数字化建设到深圳市高新技术产业园区综合信息服务系统的可行性研究, 预示着东方的数字城市将喷涌而出。就我们所认识到的数字城市而言, 它在功能、结构和庞大、复杂的多层次系统, 及与周边、全国以至世界的联系等方面, 无不具备着开放的复

杂巨系统的特性。

1 数字城市环境开放 联系广泛

城市是国家的重要组成或重要的行政区划, 是政治、经济、文化、教育、科技、区域乃至全国的中心。做为数字城市特别是它的信息、管理、服务和应变及决策体系更应出色的承担起率先发展的各项功能, 做到政令贯通, 经济发展, 文化先进, 教育提高, 科技创新, 人居环境改善, 交通环保治理, 人文自然和谐, 治安消防保障, 灾害及破坏的防预及预警, 对全面实现全面建设小康社会, 甚至更高级的社会阶段具有重要的作用。

除城市的一般环境与周边地区、全国和全球存在着物质、能量、人员等交换之外, 数字城市在信息和管理、服务、决策系统方面更具有其迅速乃至实时, 动态乃至连续, 科学预后及复杂条理化的需要外, 特别是在信息全球化终端极至性、信息通达实时性、决策对策适时性等先进的开放型特色方面, 应该体现出信息时代及数字、网络全球一体化的最新成果。

2 数字城市的结构层级组合及模式多样化

不言而喻, 数字城市的结构非常复杂, 它的组

件庞大繁多，组成模式也多种多样。仅以信息服务系统为例，就有多层次的宽带多媒体信息网络及地理、地貌信息系统这些基础设施；从子系统讲，分别有电子政务、电子商务、远程教育、网上医疗、物流信息、网上银行、资信监管、数字图书、社会保障、文化娱乐、智能交通、安全防范、消防救助、环境监测、灾害预警，以及应急预案、领导决策等多种纵横交错的交互式多层级的网络系统。在这么繁杂的系统面前，如何分析？我们从诺贝尔经济奖获得者司马贺针对这类系统所举的钟表匠如何工作的寓言中可以得到启示^[7]。两个钟表匠，一个用H表示，一个用T表示，手艺超群，顾客欢迎，但T穷愁潦倒，H却发达起来。就是因为，一个表由1000个零件组成，T每每放下未装成的表接电话，表就散掉，很少能有连续的足够时间装成一支表。而H则经过设计，用10个零件装成组件，10个组件装成部件，10个部件就装成一支表。因此，他接电话只损失这一小部分时间，他装表只用T所用工时的一个零头，经过计算，T装一支表比H长4000倍！

我们知道像数字城市这样繁复的系统，难免信息交错、子系统或组件之间有时空的交叠，像装表一样会可能产生阻塞以至中断。所以司马贺从处理复杂系统的成功事例总结出，“复杂性的构造——层级结构。”至于层级的处理，司马贺又具体指出，大范围分成三个层级^[8]。至于层级之间，组件和子系统交错之间，其组成模式必然是更加多型兼备，这样才能适应数字城市复杂环境和庞杂功能的需求。

3 数字城市组成系统的多样性交叠性和最终的整体性

要形成一个数字城市，组成它的系统自然是多种多样，层层叠叠的巨系统套大系统下面还有子系统。各类系统之间的关联，既有横向蔓延、树状分叉的空间网络，也有彼此交错的链状，延伸发展。各种系统既是非均质的各向异性，例如各楼群、小区的机电设备智能化控制和从市政府到各社区的政令系统各不相同；再如经济发展的信息、决策和人民生活的智能家居，各系统之间既层层分属又密切相关，既功能各异且时空交叠，但它们却统一于人的活动和追求发展与完善的发展目标。作为数字城市的所有系统，它总括起来构成经济充满活力，文

教科技高度发展，人民生活安定舒适，创造自然、人文、社会融汇协调发展的工作与生活氛围，呈现其人类社会发展的整体性前驱。

4 数字城市综合系统的自组织自适应性及数字城市的整体作用

从城市的功能和发展前境出发，数字城市的综合系统，特别是支持应变、决策和适时发展的系统，必须具备相应的学习功能，而且是有教师的学习，人-机结合的系统学习的功能^[9]。这样才能呈现优选的自组织性和高阶的适应性。因为在全国、全球日益发展的多种交互影响，自然和社会因素的突发或辐射，包括人的因素，人文环境的动态需求，不可避免地会经常遇到原规划、正常程序中无预案的急待解决的问题，所以这种自组织和自适应性就十分必要。进一步通过学习程序，把自组织、自适应所取得的经验和范例，在人-机结合的综合智能系统中得到近优化的储备方案，这也正是数字城市综合系统的整体优势和生命力的表现。

数字城市的整体作用大于各组成系统、各种功能及各部分效应的简单总和，也就是说，复杂系统的整体性质不等于部分性质的和^[10]，而是 $1+1>2$ 。这往往是许多开放复杂巨系统所注重，但实际处理起来比较困难的问题。就数字城市而言，这是关键，也正是从规划到计划，从蓝图到工程，从建设到管理，从运行到改善各个阶段，众多环节中所应着重解决的问题。就已有经验来看，所谓区划当中的聚集效应，中心效应，建设中的软硬件配套效应，运行中的管理效益提升效应，以及中心城市的辐射效应等等应该体现其整体优势。当然，如果处理不好，自然会有其负面效应，例如，经济文化的畸形发展，程序控制与非定性运行的阻塞，结构不良模式的处理应对等等。数字城市具有“根据外部环境的变化，主动地适应地改变自己的决策方法和行为”，系统的动力学行为具有“进化”的含义^[11]。这些正是系统复杂性的表现之一，也正是我们要讨论和解决的问题。

5 数字城市是一类开放的复杂巨系统

我们把数字城市的上述特点概括起来，无疑的表现出系统中基本单元和子系统成千上万直至上亿；系统组成、组件，在时空、作用及状态之间交互并随系统行为演化派生；系统组件时空交叠、角

色各异但宏观上表现为整体行为；系统层次众多、组成模式多种多样；系统与环境存在能量、物质、信息交换，动态连续环境类型，这些均为开放性、复杂性和巨系统的特征。所以，应该说数字城市是一类开放的复杂巨系统^[12]。建立这种理念，在数字城市规划、建设和运管当中，从系统复杂性的角度去认识、去处理所遇到的问题，就会有科学的指导思想，达到事半功倍的效果。

6 从定性到定量的综合集成是处理数字城市有关问题的方法论

我们面临的是开放的复杂巨系统或者说是广义的复杂系统，解决这类问题方法是从定性到定量的综合集成技术。自从钱学森提出开放的复杂巨系统及其方法论以来，经过两代科学家的不懈努力，对于综合集成技术已经有了明确的认识^[13]。从根本上来讲是把信息、知识和智慧三个不同层面综合集成起来，从现代技术发展来看，就是以人-机结合的方法通过信息技术与网络技术来获得新的知识。综合集成是把专家群体（各方面有关的专家）、数据和各种信息与计算技术和网络技术有机地结合起来，把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来，在这三者的基础上，构建一个智能工程系统，形成一个可操作的平台，从而发挥智能系统的整体优势和综合优势^[14]。

对于数字城市管理服务系统而言，通过人机结合的形式采用多智能体技术^[15]，根据需求，制定目标，科学设想，定性汇总，建立模型，实验检测，发现问题（还包括随着对系统了解的深入，提出新增的需求，目标和假设），修正需求、目标和假设，完善模型，实践修正，经过多次、多层次反复的实践与补充，逐渐形成了今天这样的形态，而今天的形态还处于演化和发展之中。可见，这个动态的发展过程就是一个从经验、假设、半理论半经验逐步过渡到定量结果的认识、技术更新与系统演化的过程；数字城市管理服务系统可以设想为是一个人-机结合的基于多智能体的巨型智能系统^[16]。它是从定性到定量综合集成的结果，是一项名副其实的复杂系统工程。

作为一个人机共存、人网合一的人工开放型巨型系统，数字城市管理服务系统表现出很高的智能性与社会性，体现了自然与人文的和谐发展。一个成功的开放的巨型智能系统，人的因素在这个系统

的演化过程中扮演着主导角色。建立这个系统，我们一方面要从认知科学的理论出发，运用人工智能、计算机科学和信息技术的最新成果，同时采用从定性到定量的综合集成法，就是把还原论与整体论结合起来的系统论的方法。值得注意的是早在上世纪90年代初，曾讨论过建立开放复杂巨系统的一般理论问题，当时钱学森就指出，要建立开放的复杂巨系统理论，必须从一个一个具体的开放的复杂巨系统入手^[11]。当这些具体的开放复杂巨系统的研究成果多了，才能从中提炼出一般的开放复杂巨系统理论，形成开放的复杂巨系统学，作为系统学的一部分。20世纪50年代形成的“工程控制论”^[18]就是采用这个方法从一个一个自动控制技术中提炼出来的。

笔者从系统科学的角度，概括出“数字城市”是一类开放的复杂巨系统，这对于系统学的进一步发展具有积极的意义。总之，由中国科学家原创的开放复杂巨系统及其方法论在祖国的大地上建成高水平的数字城市，是21世纪的中国对世界的巨大贡献。

参考文献

- [1] 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志,1990,13(1):3~10
- [2] 戴汝为,操龙兵. Internet——一个开放的复杂巨系统[M]. 中国科学(E辑),2003,4(33):4
- [3] 周干峙. 城市及其区域——一个典型的开放的复杂巨系统[A]. 技术科学发展与展望[M],济南:山东教育出版社,2002.428~433
- [4] 陈钰. 免疫系统——一个开放的复杂巨系统[J]. 复杂系统与复杂性科学,2004,2(1):70~73
- [5] 北京大学现代科学与哲学研究中心编. 钱学森与现代科学技术[M]. 北京:人民出版社,2001
- [6] 高俊,等. “数字乐山总体规划”通过评审[J]. 智能建筑,2004,(11):78
- [7] 司马贺. 人工科学——复杂性面面观[M]. 武夷山译. 上海:上海科技教育出版社,2004
- [8] 赫伯特·西蒙. 管理决策新科学[M]. 北京:社会科学出版社,1985
- [9] 朱新明,李亦菲. 架设人与计算机的桥梁[M]. 武汉:湖北教育出版社,2000
- [10] 戴汝为主编. 复杂性研究文集[M]. 北京:中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学实验室,1999
- [11] 戴汝为,沙飞. 复杂性问题研究综述:概念及研究方法[J]. 自然杂志,1995,2(17):73~78

[12] 王寿云,于景元,戴汝为,等.开放的复杂巨系统[M].杭州:浙江科学技术出版社,1996

[13] 戴汝为,王珏,田捷.智能系统的综合集成[M].杭州:浙江科学技术出版社,1995

[14] 戴汝为.人-机结合的智能工程系统——处理开放的复杂巨系统的可操作平台[J].模式识别与人工智能,2004,3(17):9

[15] Ferber J. Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence[M]. Boston: Addison-Wesley, 1999

[16] Cao Longbing, Dai Ruwei. Human-computer cooperated intelligent information system based on multi-agents [J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29(1): 86~94

[17] 钱学森.再谈开放的复杂巨系统[J].模式识别与人工智能,1991,1(4)

[18] 钱学森.工程控制论[M].戴汝为,何善育译.北京:科学出版社,1958

Digital City——An Open Complex Giant System

Dai Ruwei

(Complex System and Intelligent Science, National Key Lab. Institute of Automation, CAS, Beijing 100080, China)

[Abstract] Recently, many people pay attention to design and construct various kinds of systems for digital city by means of automatic control, information and network technology as well as artificial intelligence in domestic cities and areas.

In this article, from system science point view, that a digital city is an Open Complex Giant System (OCGS) by the author is proposed. And the “metasynthesis from qualitative opinion to quantitative understanding” which is the methodology of OCGS could be applied for dealing with digital city.

[Key words] digital city; information technology; metasynthesis; intelligent home-stead

《中国工程科学》2005 年第 7 卷第 9 期要目预告

重大工程项目须实行《工程师制度》..... 张肇伸	技术研究与应用 夏国洪等
突发性灾害天气的结构分析 预测与	液化石油气泄漏的危险性分析及其事故
应急对策 欧阳首承等	后果评价方法 陈思凝等
研发全球化是经济全球化的新趋势 张彦仲	无线接入点 WAPI 认证机制的研究与
PBO 纤维片材预应力外粘结加固集成	实现 宋宇波等
新技术 吴智深等	墙角火灾环境下钢构件温度分布及响应
工程机械控制与操纵系统的网络控制	行为的实验研究 陈长坤等
研究 李运华等	基于 RBF 神经网络的隧洞围岩变形
液压挖掘机工作装置的动力特性	预测方法 张俊艳等
修改研究 杨 为等	省级图书发行集团连锁经营管理信息系统
铰接式自卸车橡胶弹簧悬架系统动力学	总体规划研究 曹 杰等
仿真分析与实验研究 许志华等	生物质热解油的性质 精制与利用 朱锡锋等
CAN 总线时间触发机制的实现 吕杰杰等	构建我国农业信息化技术支持体系的
复杂系统(产品)集成制造工程的	探讨 郭书普等