



# 公众化驱动的地球观测发展新时代

李国庆<sup>1,2\*</sup>, 庞禄申<sup>3</sup>

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所数字地球重点实验室, 北京 100094

2. 海南省地球观测重点实验室, 三亚 572029

3. 中国科学院大学, 北京 100049

\* 通信作者. E-mail: ligq@radi.ac.cn

收稿日期: 2016-05-13; 接受日期: 2016-12-09; 网络出版日期: 2017-02-10

中国科学院数字地球重点实验室主任基金和海南省重大科技计划项目 (批准号: ZDKJ2016021) 资助

**摘要** 半个世纪以来覆盖大气、海洋、陆地的地球观测都是由政府主导而开展, 呈现明显公益化引导的产业特征. 近十年来, 随着卫星数量增多、观测模式多样、应用方法丰富, 特别是微小卫星云的出现, 观测能力和数据保障能力都得到大幅提升, 地球观测进入了大数据时代, 并成为科学大数据和消费大数据的主要场景. 本文从产业生态系统角度分析了地球观测的产业发展模式, 指出微小卫星云和大数据技术是地球观测产业发展模式从公益化引导向公众化驱动转变的两个最主要驱动力. 文章进一步分析了公众在地球观测活动中的多样化作用, 认为公众将逐步成为影响地球观测行业各个环节的活跃因素, 公众化意味着更大的市场, 而公众既是地球观测信息的主要消费者, 又是其重要的信息生产者. 公众化驱动的地球观测发展模式将为地球观测和天基信息产业发展提供巨大的机遇, 同时也为科学界提出了一系列的科学和技术挑战.

**关键词** 地球观测, 发展模式, 大数据, 公众化, 公益化

## 1 地球观测及其技术发展

自 1957 年前苏联发射第一颗人造地球卫星开始, 人类航天探索已有近 60 年的历史. 地球观测作为航天活动的重要组成部分, 先后经历了探索起步、全面发展与地球观测大数据 3 个阶段, 逐渐走向成熟.

(1) 探索起步阶段. 20 世纪 60 年代至 80 年代. 美国于 1961 年发射了第一颗试验型极轨气象卫星, 1972 年发射了第一颗“地球资源技术卫星”(ERTS), 后更名“陆地卫星”(Landsat-1). 1962 年 3 月, 前苏联开始发射“宇宙”系列卫星. 1975 年, 中国成功发射返回式遥感卫星. 其他国家如法国、日本等也都开始发展遥感卫星计划. 经过近 30 年的稳步发展, 遥感卫星传感器的类型逐渐丰富, 光谱范围涵盖

**引用格式:** 李国庆, 庞禄申. 公众化驱动的地球观测发展新时代. 中国科学: 信息科学, 2017, 47: 193-206, doi: 10.1360/N112016-00127  
Li G Q, Pang L S. A new age of public-oriented Earth observation development (in Chinese). Sci Sin Inform, 2017, 47: 193-206, doi: 10.1360/N112016-00127

可见光、近红外、远红外、微波等波段. 相应的空间分辨率显著提高, 如 1986 年法国发射的 SPOT-1, 装有 PAN 和 XS 传感器, 全色波段的空间分辨率达到 10 米. 遥感数据的应用领域拓宽至海洋、陆地、大气等各领域, 服务于气象、资源勘察和海洋监测等. 但这一阶段的应用水平还不够高, 基本处于小范围应用和科学研究.

(2) 全面发展阶段. 20 世纪 90 年代至 21 世纪初. 全球气候变化研究、自然灾害应对、环境污染治理以及各个国家经济建设等宏观的科学决策都迫切需要得到地表特征和地理过程观测数据的支持, 地球观测进入了一个快速发展的阶段. 地球观测不仅用于局部区域的应用, 而且将地球作为一个完整的系统进行观测研究. 1998 年, 美国前副总统戈尔提出数字地球的概念<sup>[1]</sup>, 被认为是地球观测的扩展<sup>[2]</sup>. 各国相继实施一系列全球综合性地球观测计划来建立全球观测信息保障能力, 例如美国 NASA 实施的地球观测系统 (EOS) 计划和 ESA 实施的全球环境与安全监测计划 (GMES, 后更名哥白尼计划 — Copernicus Programme). EOS 目前已实施完成 42 项卫星计划, 正在实施的或处于规划之中的有 54 项<sup>1)</sup>. 哥白尼计划是迄今为止最大的地球观测计划, 发射了哨兵 (Sentinel) 系列卫星, 并吸引了其他组织加入, 致力于具备全球、连续、长时间序列地球观测的能力<sup>2)</sup>. 同时, 商业遥感卫星在该阶段取得较快发展, 继 Spot 之后, Ikonos, QuickBird 以及 WorldView 等相继发射. 另外微小卫星也开始出现, 如葡萄牙和 Portuguese 公司共同投资开发的 PoSAT-1 小卫星于 1993 年成功发射. 小卫星由于成本低、研发周期短、任务目标性强, 更加符合商业运作的市场规则, 得到私营企业的大力推崇, 因此也取得了较快的发展.

(3) 地球观测大数据阶段. 自 2008 年起, 大数据受到广泛关注, 地球观测也随之进入大数据阶段. 首先, 卫星性能大幅提升, 单颗卫星可以获取和下传更多数据. 例如 WorldView-3 卫星, 采用多载荷设计, 具有全色 0.31 米、多光谱 1.24 米的空间分辨率, 光谱范围包括 1 个全色波段、8 个 SWIR 波段、12 个 CAVIS 波段, 有卓越的阴霾穿透能力. ALOS-2 雷达卫星, 具有聚束式、条带式 and 扫描式 3 种工作模式, 可提供 1~100 米多种分辨率产品. 其次, 卫星数量也在大幅增加, 特别是 Skybox、Planet Labs、吉林一号等微小地球观测卫星云的迅速发展, 百颗以上微小卫星组成的星座组网使得全球高分辨率观测能力大幅度提升, 比如 Skybox Imaging 公司计划中的 Skysat 星座可实现 8 小时全球覆盖. 这些技术发展都导致出现海量、多类型的观测数据. 另外由于地球是一个复杂的系统, 地球观测数据必须和其他多学科数据融合进行分析挖掘, 才能揭示其本质规律. 在未来地球计划<sup>[3]</sup>中, 观测 (observing)、数据系统 (data systems)、地球系统建模 (earth system modeling) 同大数据密切相关<sup>[4]</sup>.

自大数据兴起以来, 地球观测服务对象不再局限于气象、海洋、陆地等公益化应用, 信息化产品逐渐多样化, 公众成为地球观测的主要服务对象, 如天气预报、导航、旅游等服务. 另外, 公众在消费地球观测信息产品的同时, 利用消费级电子产品进行地球观测也成为数字地球重要的数据源, 这对以往面向公益的地球观测模式发起了一系列挑战. 可以说, 地球观测正在迎来一个以公众为主要服务对象的、以大数据为主要方法的、公众广泛参与的新时代.

## 2 地球观测产业生态系统和发展模式

生态系统是指在一定的自然环境当中, 生物与环境、生物与生物之间相互制约又相互依存而形成的稳定的整体. 在人类社会的生产过程中, 各生产部门之间、生产部门与自然环境之间、生产部门与社会环境之间也有类似于自然生态系统中的各要素之间的协同关系. Frosch 等<sup>[5]</sup>于 1989 年提出产业

1) Missions: Earth Observing System (EOS). <http://eosps0.gsfc.nasa.gov/mission-category/3>.

2) Copernicus. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview3](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3).

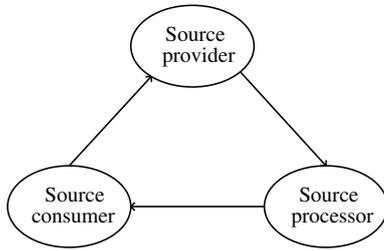


图 1 产业生态系统的三要素

Figure 1 The three elements of industrial ecosystem

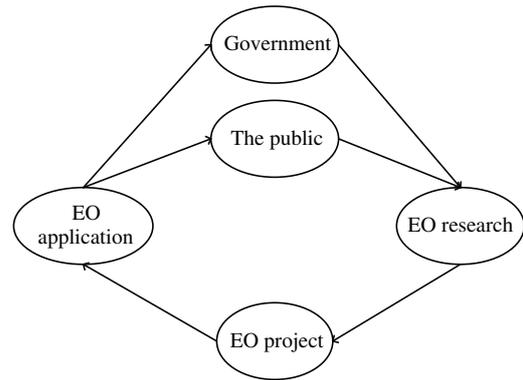


图 2 地球观测产业生态系统

Figure 2 Earth observation industrial ecosystem

生态系统 (industrial ecosystems) 的概念, 在产业生态系统中, 生产部门相当于生态系统中的生物个体, 政策、人口、技术水平等生产要素相当于环境, 各生产部门之间既存在竞争关系, 也存在协作共生的关系. 产业生态系统理论蕴含了价值链<sup>[6]</sup>的概念, 在系统内部, 产品或服务的流动伴随价值的流动, 该理论一般作为优化产业结构、协调生产与自然环境的矛盾以及提高生产效益的理论基础. 产业生态系统中最核心的是资源提供者、资源加工者、资源消费者 3 种角色 (如图 1 所示).

地球观测也是一个产业生态系统, 其发展模式的核心就是产业生态系统中利益相关方之间的关系调整和博弈, 最终达成符合阶段发展特征的相对稳态的平衡关系. 在地球观测产业生态系统中参与者主要包含政府、公众、研究群体、工程群体和应用群体, 他们分别承担生态系统中的资源提供者、资源加工者、资源消费者的角色 (如图 2 所示). 其中政府和公众都可以作为资源提供者, 为产业生态系统提供政策和资金支持并向其提出应用需求. 研究群体和工程群体则基本都是作为资源加工者, 分别负责地球观测技术研究和地球观测卫星工程实现等. 应用群体处于产业链的末端, 属于资源消费者, 使用或者购买地球观测生态系统所产生的信息服务. 因为地球观测服务于政府公益事业以及公众的生产生活, 所以应用群体仍然是政府和公众 (包含私营企业).

在这个生态系统中, 每个要素都有各自的利益和诉求, 稳定的地球观测行业发展模式则需要能够既尊重和兼顾各方合理的利益诉求, 又保证整体的效率和经济性. 对于各方利益关系的平衡模式, 就会形成各种各样的发展模式. 纵观地球观测行业发展, 基本可以划分为公益化引导和公众化驱动两个发展模式.

### 3 公益化引导的地球观测发展模式

在地球观测技术的探索起步、全面发展两个阶段, 地球观测多被用于公益化目的的大气、海洋以及陆地等领域, 政府扮演着决定性的作用, 形成了公益化引导的地球观测产业发展模式. 在这个阶段, 地球观测技术尚不成熟, 技术研发和工程成本都非常高昂, 遥感像素具有很高的经济价值但是流通条件不具备, 信息共享和开放尚在起步, 因此这就造成公众 (含私营企业) 作为投资者和信息消费者在生态系统中的作用十分微弱. 政府将地球观测作为国家战略资源, 扮演着投资者和信息消费者的双重角色. 不论是研究群体和工程群体都需要按照政府的计划和安排来进行资源加工, 政府通过规划、经费、信息控制、政府间组织等手段实现了对于该领域技术发展和技术创新的选择性. 由于公众作用没有发

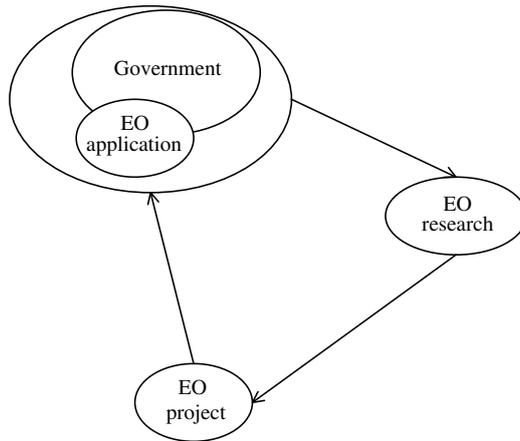


图 3 公益化引导的地球观测行业生态系统结构

Figure 3 Public benefit oriented ecosystem structure of earth observation industry

挥出来, 地球观测产业生态系统关系就呈现为如图 3 的结构. 政府制定相关法律与政策, 提供了产业发展环境. 产业生态系统中的个体主要有政府、公益科研机构、工程实施机构以及应用服务机构, 政府是消费者.

公益化引导地球观测发展模式, 世界各国的地球观测行业都呈现类似的特点: (1) 地球观测活动被认为是政府的战略性资源加以重视和管控, 其他投资者很难进入这个行业. (2) 地球观测主要用来解决重点面向人类共同面对的环境变化、灾害减灾、社会经济可持续发展等公益性的重大问题, 更强调其社会效益. (3) 地球观测领域的国际合作、冲突解决等都采用政府对话方式, 相关国际组织都具有政府间组织的定位. (4) 私营机构的存在价值更多体现在它们作为公益性地球观测任务的补充和企业化运行机制上, 而且其消费者也主要是政府机构, 有些私营项目甚至很大程度上得到政府资助. (5) 地球观测任务设计具有明显的国家和部门本位, 资源配置难免出现不均衡, 会造成一定程度的重复投资. (6) 由于政府的影响和作用巨大, 技术进步和技术创新也经常受到行政决策过程的影响, 存在一定的延迟和主观意愿不足, 对技术创新的鼓励和培育存在选择性.

公益化引导的发展模式最大程度上集中了社会资源, 在产业发展初期有力地促进了地球观测领域的技术突破, 形成了一定的产业规模. 但是政府主导、公众参与度较低也造成地球观测在空间信息领域的产业化进程中仍然远远落后于起步更晚的导航定位行业和地理信息系统行业. 根据美国市场分析公司 Daratech 的报告, 2010 年遥感产业规模为 14 亿美元, 仅相当于导航产业的 2%. 而遥感影像以及其他分析信息产品无法直接成为公众可消费的商品, 可能是造成产业化程度较低的重要原因.

## 4 地球观测发展模式转变的主要驱动力

### 4.1 地球观测大数据

随着科技的进步以及信息化的普及, 数据量正在加速增长, 大数据时代已经到来<sup>[7]</sup>, 人们对大数据的理解不断加深<sup>[8~10]</sup>. 大数据兴起之初, 就被一些国家提升到战略高度<sup>[11~14]</sup>. 大数据战略已成为我国“十三五”规划中的主要战略之一. 同样, 在科研领域, 一系列文章的相继发表以及科学大数据会议的举办<sup>[4, 8, 15~18]</sup>, 表明大数据也引起了科学家高度重视和极大热情. Hey 等<sup>[16]</sup>认为, 大数据是继实验

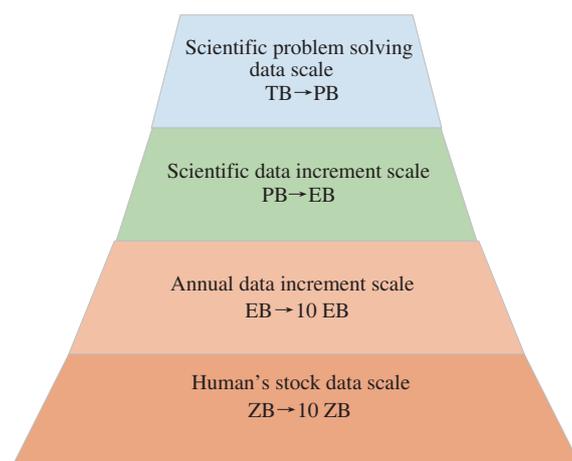


图 4 (网络版彩图) 不同场景下的大数据规模 (2016)

Figure 4 (Color online) Scale of big data under different scene (2016)

科学、理论科学、计算科学之后, 科学研究的第四范式 —— 数据密集型科学. 2011 年的麦肯锡大数据报告《大数据: 下一个创新、竞争和生产前沿》(Big data: the next frontier for innovation, competition, and productivity) 统计认为, 2010 年全球企业产生数据为 7 EB, 消费者产生数据为 6 EB<sup>[19]</sup>. 根据 2012 年国际数据公司 (IDC) 发布的《数字宇宙 2020》报告 (The digital universe in 2020) 预测, 到 2020 年全球将累计产生 40 ZB 的数据. 中国的贡献率达到 21%, 有价值数据比例提高到 30%<sup>[20]</sup>. 分析发现, 不同的场景中呈现出不同的大数据规模 (如图 4 所示). 目前人类社会数据存量规模由 ZB 向 10 ZB 级发展, 年度增量的规模由 EB 向 10 EB 级发展; 而科学数据的年度增量规模由 PB 向 EB 级增长, 单个科学问题求解的规模由 TB 向 PB 级增长.

科学数据主要是由专业的科学仪器所产生, 高能物理、天文、基因工程和地球观测被认为是科学大数据的 4 个主要场景<sup>[21]</sup>. 为了量化表征这些学科的大数据规模, 选取欧洲大型强子对撞机 (LHC) 每年产生的有效数据量 15 PB 为数量级的标准来建立 LHC 量化指数:

$$1_{\text{LHC}} = \text{数据规模量级} (10^1 \text{ PB}),$$

$$N_{\text{LHC}} = \text{数据规模量级} (10^N \text{ PB}),$$

根据这个量化指数, 相关学科的大数据规模分别为天文 ( $3_{\text{LHC}}$ )、基因工程 ( $3_{\text{LHC}}$ ) 和地球观测 ( $2_{\text{LHC}}$ ).

地球观测是基于数据的科学, 通过传感器采集表征地球信息的数据, 进行分析挖掘并发现地学规律. 其具有数据体量大<sup>[4]</sup>、多源异构、多尺度、多时相<sup>[22]</sup>、高维度<sup>[23]</sup>, 以及稀疏性、非平稳性<sup>[24]</sup> 等大数据特征. 在大数据背景下, 地球观测大数据除了数据规模加速增长外, 还表现出如下特征.

(1) 地球观测数据规模达到 PB 级. 对地观测采用天基、空基、地面和地下等平台上的传感器, 对地球表层的地物对象和地理现象进行连续性、多角度、多频段、多模式观测. 仅以遥感卫星来说, 截止到 2014 年底, 世界在轨卫星 1261 颗, 遥感卫星占 14%<sup>[25]</sup>. 这些卫星对地观测数据光谱范围涵盖了紫外、可见光、近红外、红外以及微波等, 空间分辨率从米级到千米级不等, 回归周期可达 1 天以内. 地球表面积为 511000000 平方公里, 理论上讲 1 m 观测分辨率影像的一次全球覆盖数据量为 0.5 PB, 0.1 m 分辨率影像的一次全球覆盖数据量则达到 50 PB. 从卫星任务来看, 美国陆地卫星

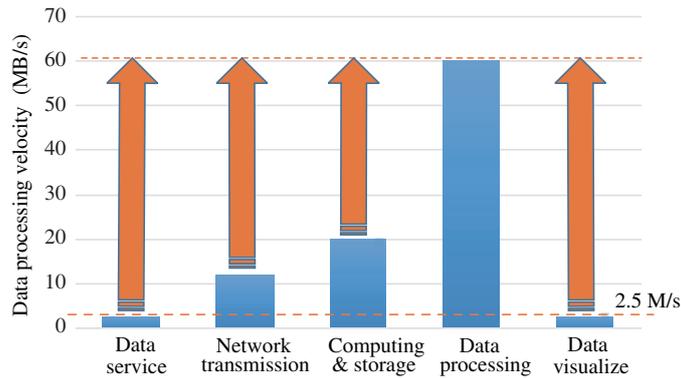


图 5 (网络版彩图) 遥感图像处理流水线的木桶效应

Figure 5 (Color online) Bucket effect of remote sensing image processing pipeline

表 1 卫星类型及其质量 (数据来自文献 [30])

Table 1 Satellite types and masses (data from [30])

Type	Mass (kg)
Large satellite	>1000
Medium satellite	500~1000
Small satellite	100~500
Micro satellite	10~100
Nano satellite	1~10
Pico satellite	0.1~1
Femto satellite	<0.1

五号 (Landsat-5) 任务的 29 年运行期内 (1985~2013 年), 观测形成了 250 万景图像, 原始数据的数据量达到 700 TB. NOAA 在 2013 年存储数据 5 PB, 每年新增 3.9 PB, 预计到 2030 年, 数据总量达到 70 PB [26]. 而 Skybox 星座建设完成后, 每天的数据量将达到 500 TB, 全年数据量超过 180 PB.

(2) 传统的遥感数据处理信息链出现不对称性阻塞. 大数据的价值在于知识挖掘, 与越来越大的数据规模相比, 地球观测数据处理能力和挖掘程度相对较低, 大量的影像得不到有效利用 [27~29]. 同卫星下行码率相比, 数据预处理、深加工处理、信息提取以及专题应用等环节中, 数据吞吐速率只有卫星下行码速率的 1%~30% [22]. 另外, 在遥感数据全生命周期的数据下载、存储、挖掘计算、数据可视化等各个环节, “木桶效应” 非常明显, 其中网络带宽和可视化是两个主要瓶颈, 根据本文实验, 尽管核心算法的处理速度可达 60 M/s, 全流程整体的吞吐率却不足 2.5 M/s (如图 5 所示).

#### 4.2 地球观测微小卫星云

除了功能分类之外, 卫星也可以按照质量进行分类 (如表 1 所示) [30]. 地球观测卫星发展的初期以功能齐全的大卫星为主, 后来逐步出现了功能较为简化的小卫星, 目前质量更小的、功能更加精简的微小卫星开始出现并迅速发展. 由于微小卫星平台小, 保障系统功能较少, 传感器相对单一, 单独一颗卫星无法在运行可靠性、数据科学性和任务覆盖性上与大卫星相比, 必须通过大量类似卫星的组网部署和协同工作来达到更高的性能, 因此在业务化运行中更多是采用微小卫星云的星座部署体系.

微小卫星是由企业主导发展起来的, 主要是因为它具有较低的成本. 小卫星的研发周期较大卫星

短,大卫星的研制周期一般在一年以上,而小卫星则一般不足一年,最短只有几个月.设计简单灵活,一些元器件不需要重新设计,甚至可以从市场上直接采购<sup>[31]</sup>.另外较小的质量能够大幅降低发射成本.通常小卫星的成本只有大卫星的十分之一,甚至百分之一.低成本使得大规模发射卫星以及民营机构的参与成为可能.小卫星用于地球观测的最大优势在于通过多星组网,形成星座,从而获得很高的时间分辨率.“小卫星,大星座”可以提供近实时的大数据服务<sup>[32]</sup>.大量的微小卫星对地球表面多种类型,多种空间分辨率的连续观测,这种模式能够极大地促进卫星图像市场的发展<sup>[33]</sup>.大量微小卫星组成的星座可以提供定制化的“虚拟卫星”<sup>[34]</sup>服务,具有基础设施即服务、平台即服务、软件即服务以及数据即服务的特点,构成了微小卫星云.

微小卫星云对地表形成全方位、立体、多时相、多空间分辨率、多类型的观测,这种观测模式实际上采用的是与大数据非常相似的技术思路.这类卫星虽然可以获取庞大的数据量,但数据的质量和密度都较低.Skybox, Planet labs 等公司发射的微小卫星,没有定标系统,仅拍摄米级分辨率的彩色影像和高清视频.接收装置例如 Skybox 提供的 SkyNode 地面站,由一个直径 2.4 m 的天线和一个硬件终端构成,传输链路上的信噪比控制也无法与大卫星系统中的 12 m 大型地面接收系统相比.为了满足实际应用中对于数据精度和质量的要求,就要想办法利用数量的优势,通过大数据方法来达到质量目标.例如, Skybox Imaging 公司强化多卫星组网观测,其发射的 Skysat 系列小卫星,采用简单星上设计,图像处理功能由地面系统完成,从而获得很高的空间分辨率<sup>[35]</sup>.影像的分析与应用也弱化了遥感机理,主要利用大数据、机器学习、图像理解、模式识别以及众包等方法.例如美国 Descartes Labs 公司利用机器学习对卫星图像数据以及气象数据进行分析,为农业提供一些关键数据,预测结果准确程度高于美国农业部的结果.中国的佳格大数据公司借助高清卫星影像,利用深度学习技术,实现对地块的自动识别,为无人机提供航线的规划;以及以卫星遥感数据和地面监测数据作为数据源,对农作物进行出苗率监测、生长监控以及产量评估.微小卫星云则利用了大数据对不精确甚至错误数据的容忍性,采用非定量化的方法,直接面向任务来进行工程设计、数据接收、处理以及分析挖掘,十分快捷.微小卫星云的大数据特性,形成了一些新型的面向商业和公众的应用,如投资公司利用高时间分辨率影像,通过跟踪富士康的货车量来估算电子产品产量和半导体市场价格;通过沙特储油罐连续图像来估计欧佩克的原油产量,从而提供投资信息;利用高清影像跟踪建筑物阴影长度以提取其高度信息,用以判断某地区经济走势;跟踪零售店门口车辆数量,为投资商提供门店的盈利信息. Orbital Insight 公司以卫星影像为数据源,利用机器学习和众包方法为世界银行评估特定地区的贫困程度.

微小卫星云加快了地球观测的市场化进程.微小卫星迅速吸引了各个国家和商业机构的重视<sup>[36]</sup>,掀起了一场“轨道革命”<sup>[37]</sup>.发展航天事业不再是少数航天大国的专利,一些小国甚至大学和商业机构都有了参与地球观测的机会,2014 年发射的小卫星中,91% 用于地球观测<sup>[31]</sup>.市场调查网站 RESEARCH AND MARKETS 推出的微小卫星市场报告,分析师估计,2014~2019 年期间,全球微小卫星市场的收入规模以及卫星数量的年复合增长率分别为 22.87% 和 25.48%<sup>3)</sup>.除上文提到的小卫星公司外,世界上还有英国的 SSTL 公司、美国的 BlackSky 和 Spire、阿根廷的 Satellogic 等.中国的吉林 1 号小卫星计划也在实施当中.

## 5 公众化驱动的地球观测新型发展模式

地球观测微小卫星云、大数据技术已经成为地球观测活动中的活跃要素,并打破了生态系统平衡,

3) Global Nano and Microsatellite Market 2015–2019. [http://www.researchandmarkets.com/research/wlvlgtr/global\\_nano\\_and](http://www.researchandmarkets.com/research/wlvlgtr/global_nano_and).

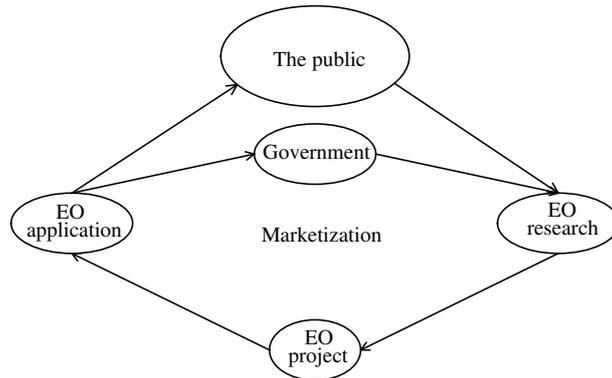


图 6 公众化驱动的地球观测产业生态系统 (成熟市场)

Figure 6 Public oriented earth observation industry ecosystem (mature markets)

系统中出现了新的个体——公众。地球观测产业生态系统中的科研部门、工程部门以及应用服务部门的服务对象不再仅限于政府公益性事业, 地球观测微小卫星云和大数据使其具备了服务于公众的能力, 为人们的日常生活提供便利, 公众成为主要的消费者。而公众的消费规模远远大于政府公益性事业。在生态系统的演进机制、负反馈机制作用下, 一种以市场为发展环境的新的生态平衡将会逐渐构建 (如图 6 所示)。

公众化驱动的地球观测发展模式形成, 标志着地球观测进入了一个新的发展时代。有别于公益化引导的发展模式, 在大数据背景下, 公众化驱动的地球观测活动具备了新的特征: 公众全面参与到地球观测产业生态系统的资源提供、信息加工以及信息消费等环节之中。

### 5.1 公众成为地球观测信息的主要消费者

如前所述, 地球观测产业化发展滞后的主要原因是像素无法直接被公众消费。我们回顾一下互联网产业与空间信息产业互动的过程, 就可以发现大数据和微小卫星技术正在促进这个状况发生变化。

互联网是一个通信工具发展起来的大数据信息平台, 各互联网厂商主要依靠提供信息服务盈利, 如搜索引擎、电子商务平台、社交网络以及互联网金融等, 互联网已成为人们生产生活不可或缺的一部分。而经济建设和日常生活所涉及的数据中, 80% 与地理信息密切相关, 因此公众以及商业机构对位置信息产生了极大的需求, 如购物、餐饮以及出行等都深度依赖于基于位置的服务 (LBS)。在这样的场景下, 提供基于位置的服务是各互联网厂商保持竞争力的基本要素。2004 年 10 月谷歌公司收购了 Keyhole 公司, 并于 2005 年 6 月推出了命名为 Google Maps 的影像地图服务, 到了 2009 年该服务占有率超越了其他传统的地图服务商, 谷歌地图的成功首次证明了像素本身也具有庞大的市场价值。之后微软推出 Bing Maps 地图服务, 诺基亚推出 Here 地图。各大地图服务商也将主要业务指向互联网。在国内, 阿里巴巴收购高德地图, 腾讯入股四维图新, 百度基于四维公司提供的地图服务推出百度地图。对地图服务的竞争仍未停止, 最近苹果公司收购 GPS 公司 Coherent Navigation, 诺基亚的 Here 地图被德国汽车企业收购。由此可见, 基于位置的服务已成为互联网厂商互相争夺的战略高地, 同时 GPS 和 GIS 在这一过程中率先完成了市场化。

地图是现势性要求非常高的产品, 对地图的持续更新是保持其价值的根本手段。在各自拥有了地图服务能力之后, 各厂商又将争夺热点转向数据源——地球观测影像。而传统大卫星工程, 耗资巨大且风险很高, 各厂商无法承担, 只能从公益性机构或大型商业公司购买高成本的影像。微小卫星云的

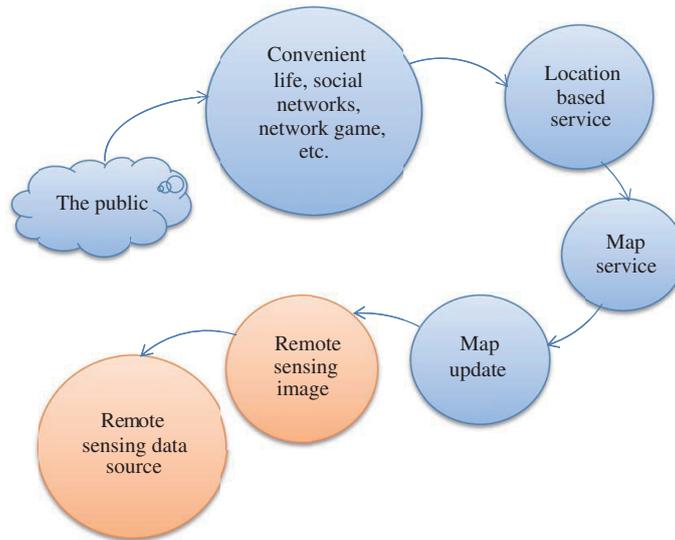


图 7 (网络版彩图) 公众消费对地球观测产业化的持续拉动

Figure 7 (Color online) Continues stimulation of public consumption to the industrialization of earth observation

出现彻底改变了这一面貌, 卫星工程成本大幅降低, 民营机构已有足够的资本和风险承受能力来发展地球观测产业. 2014 年 6 月, 为满足 Google Earth 以及 Google Maps 等产品对卫星影像的需要并大幅降低成本, 谷歌以 5 亿美元价格收购卫星公司 Skybox Imaging, 这标志着地球观测全面市场化的开始. 几乎同时, 苹果地图与 Planet Labs 达成协议, 苹果地图将在全球范围内采用 Planet Labs 遥感卫星数据, 作为矢量地图数据更新和卫星影像图的支撑. 大量地球观测微小卫星公司的涌现, 也充分说明, 互联网商业竞争已经扩展至地球观测生态产业链的源头.

以上的阐述表明, 公众对位置信息的消费需求是地球观测市场化的主要驱动力 (如图 7 所示), 而这个过程基本是在完全的市场规则之下发生, 没有过多的政府干预. 各互联网厂商为了提供有竞争力的大数据信息平台, 加快了占领地球观测数据源的进程. 类似于 GIS 和 GPS 的市场化进程, 公众将在未来的地球观测活动中成为主要的信息消费者, 远高于公益事业的需求比重.

## 5.2 公众观测使得公众成为地球观测信息的生产者

近年来, 消费级的非专业设备, 如手机、相机、平板电脑等逐渐普及, 根据市场研究公司 IC Insights 于 2015 年 1 月发布的报告, 截至 2014 年, 全球共有超过 44 亿的独立手机用户 (unique phone subscriber)<sup>4)</sup>. 另据 eMarketer 报告, 截至 2014 年, 全球智能手机用户到 17.6 亿<sup>5)</sup>. 这些非专业设备携带了声学、光学、力学、电磁学等十余种传感器 (表 2), 这些感应器除了增强手机用户的功能体验以外, 同时可以感知环境信息. 利用这些公众持有的非专业设备感知环境信息, 并进行分析挖掘, 形成了一种全新的地球观测模式——公众观测<sup>[38]</sup>. 公众观测也是获取数据、数据挖掘并进行知识发现的过程, 具有不同于卫星地球观测的特点.

(1) 数据源不同于专业地球观测, 公众观测的数据获取方式主要是公众利用非专业的移动通信设

4) Smartphone Sales Remain an Important IC Market Driver in 2015. <http://www.icinsights.com/news/bulletins/Smartphone-Sales-Remain-An-Important-IC-Market-Driver-In-2015/>.

5) Worldwide Smartphone Usage to Grow 25% in 2014. <http://www.emarketer.com/Article/Worldwide-Smartphone-Usage-Grow-25-2014/1010920>.

表 2 智能手机传感器及其用途  
Table 2 Smartphone sensors and applications

Sensor	Application
Distance sensor	Obtain the distance between mobile phone and body
Photosensitive sensor	Obtain ambient brightness, auto adjust screen brightness
CCD or CMOS	Take photos
Microphone	Sound record
Magnetic sensor	Orientation (relative to earth's pole)
Gyroscope/Accelerometer	Position fixing (pitch and roll)
GPS/A-GPS	Location (obtain geographic coordinates)
Pressure gauge	Get the phone screen pressure
Thermistor	Obtain human body temperature
Bluetooth	Communication, infrared sensor

备获取的大规模环境信息, 可以有专业的项目支持, 也可以完全从社交信息中获取, 其形式可以是图片、文字、音频以及视频等非结构化的数据, 具有规模巨大、分布广泛、模态繁多、关联复杂、生成迅速、真伪难辨等大数据特征, 要求用大数据的表达模型和方法来表征、解释并结构化。

(2) 数据挖掘与知识发现也必须利用大数据的方法。公众观测数据具有非结构化的特征, 人们难以对模型进行预判, 一般利用机器学习的方法。除此之外, 公众观测数据在某些情况下还包含了观测者的主观因素, 特别是通过社交网络获得的数据, 给数据分析和挖掘工作带来了一系列挑战, 需要进行社会网络分析、质性分析以及基于行动者的模型分析。

很多国家已经开展了公众观测的研究项目。欧盟的公众观测计划 (citizens observatories projects) 提出利用创新性的地球观测应用程序开发以社区为基础的环境监测和信息系统<sup>6)</sup>, 该计划已实施 CITI-SENSE, Citclops, COBWEB, OMNISCIENTIS, WeSenseIt 共 5 个涉及海洋、水、大气、森林等方面的项目。白宫科学和技术政策办公室 2014 年发布的《民用地球观测计划》也提出开展利益相关者驱动的数据创新, 联合私营部门和公众以鼓励地球观测的数据收集、开发以及应用创新, 包括新应用、新服务、公众科学以及众包<sup>7)</sup>。这些项目取得了一些有意义的成果。如欧盟开展的海岸和海洋光学监测公众观测项目 (Citclops, Citizens' Observatory for Coast and Ocean Optical Monitoring), 民众通过在船舶或海滩上拍摄海洋表面的照片, 并将这些数据通过网页或移动应用上传到服务器进行存档、处理、分析与挖掘以获取海水透明度、颜色、荧光等信息, 帮助决策者制定更好的海岸带管理方案<sup>8)</sup>。Fiorito 等<sup>[39]</sup> 利用空间句法分析方法和社交网络数据进行城市形态分析, 获得了更加细致的比较结果。

如果说传统地球观测是遥感, 而公众观测则是“近感”或者“直接观测”, 对于一些短周期事件或微观现象的观测, 是传统地球观测所不具备的。公众观测必将成为地球观测体系中继地外对地观测、天基观测、平流层观测、航空观测、地面 (海面) 观测之后的第 6 个全球综合地球观测平台。

### 5.3 公众成为地球观测信息的重要加工者

地球观测的空前发展特别是微小卫星云所带来的超大数据规模远远超出了现有的软硬件处理能力, 信息处理已出现“木桶效应”, 人们急需提高遥感影像的解译速度与信息挖掘程度。回顾遥感信息

6) Citizens' Observatories: Five EU FP7 Projects. [http://citizen-obs.eu/Portals/25/Presentation/Introduction of five COs projects.pdf](http://citizen-obs.eu/Portals/25/Presentation/Introduction%20of%20five%20COs%20projects.pdf).

7) National Plan for Civil Earth Observations. [https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NSTC/2014\\_national\\_plan\\_for\\_civil\\_earth\\_observations.pdf](https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NSTC/2014_national_plan_for_civil_earth_observations.pdf).

8) Citizens' Observatory for Coast and Ocean Optical Monitoring. <http://citclops.eu/>.

产品生产的历程可以发现大数据时代下急需全新的信息发现和挖掘模式。在目视解译时代,只有经验丰富的科学家才可以对遥感图像进行目视分析和信息勾画;随着模式识别和数字图像处理算法的发展,遥感信息的提取更多由受过很好训练的工程师来操作 PCI, ERDAS 等软件系统;而现在众包等大数据技术使得普通的公众有可能成为遥感信息的加工者参与到生产环节中。

众包是将任务发包给网络大众的做法,网络大众协同完成该项任务,获取一定的报酬或其他形式的奖励,或者义务提供服务<sup>[40]</sup>。众包是 Web2.0 环境下典型的用户产生内容形式,去中心化和用户产生内容 (user-generated content) 是 Web2.0 的主要特征<sup>[41]</sup>,类似于众包的形式还有社会软件 (social software)<sup>[42]</sup>、用户产生内容 (user-generated content)<sup>[43]</sup>、人本计算 (human computation)<sup>[44]</sup>、有目的的游戏设计 (game with a purpose, GWAP)<sup>[45,46]</sup>、公众科学 (citizen science)<sup>[47]</sup>、社会计算 (social computing)<sup>[48,49]</sup>、普适计算 (pervasive computing)<sup>[50]</sup> 等,这些概念并不完全等同于众包,但是都有众包的含义存在,即由用户产生内容。而协同智能 (collaborative intelligence)<sup>[51,52]</sup>、协作创新网络 (collaborative innovation networks)<sup>[53,54]</sup>、全球大脑 (global brain)<sup>[55]</sup> 是众包的更高级形式,网络大众不仅可以贡献简单机械的内容,还可以贡献智慧,协同创新。

在地球科学领域,科研人员已经进行了很多的众包形式的尝试,将地球观测相关的任务通过网络发包给网络大众。遥感影像解译以及外业踏勘已经有很多公众参与的项目。这些项目使地球观测活动不再局限于少数专业人员,任何一个普通用户都可以参与、协作完成地球观测工程。比较有影响力的项目有 Tomnod, OpenStreetMap 等。这些项目在灾害应急方面发挥了重要的作用。Tomnod 平台上有寻找 MH370、南苏丹食品安全、利比亚交通、印尼非法秸秆焚烧、厄瓜多尔地震等项目,公众可以在遥感影像图上寻找各类目标。2015 年,智利地震发生后,各地志愿者基于 Tomnod 平台共发现损毁的道路、桥梁、房屋等目标共计 12425 个<sup>9)</sup>。OpenStreetMap 在多次灾害救援过程中发挥了重要作用,2015 年尼泊尔地震发生后,来自世界各地的志愿者基于 OpenStreetMap 快速绘制了灾区的道路损毁图<sup>10)</sup>,提供给救援组织。在地球观测领域众包模式还有由志愿者提供地理信息 (volunteered geographic information, VGI)<sup>[38]11)</sup>、由公众参与 GIS 系统开发建设 (public participation GIS)<sup>[56,57]</sup>、公众作为传感器 (citizen as Sensors)<sup>[38]</sup>、社区 RS (community remote sensing, CRS)<sup>[58]</sup> 以及空间信息众包 (spatial crowdsourcing)<sup>[59,60]</sup> 等。

在遥感信息分析技术演化的发展历程中,参与者从科学家到工程师最终到公众,技术的发展促使门槛的降低,地球观测信息应用终将走出象牙塔。

## 6 总结与展望

地球观测行业的发展模式受到由政府、公众、科研机构、工程机构和应用等多方形成的产业生态系统的制约。随着地球观测技术发展和信息技术发展,经历了公益化引导发展模式和公众化驱动发展模式两个阶段,微小卫星云和大数据技术成为这种转变的主要推动力。由公众化驱动的地球观测新时代在科学问题、技术体系、应用方式以及产业模式上具有全新的特征,这些新特征集中地体现在公众和私营机构在地球观测产业生态系统中的主体作用上。公众在地球观测产业化进程中起到了多样化的重要作用,公众将逐步成为影响地球观测活动各个环节的活跃因素,公众既是地球观测信息的主要消费者,又是其重要的信息生产者和加工者。公众化将会进一步扩大地球观测市场,因此,可以说,地球

9) Tomnod. <http://www.tomnod.com/>.

10) Nepal Earthquake, 2015, Road Network—task 2. <http://tasks.hotosm.org/project/994#task/186>.

11) Volunteered geographic information. [https://en.wikipedia.org/wiki/Volunteered\\_geographic\\_information](https://en.wikipedia.org/wiki/Volunteered_geographic_information).

观测正在逐步进入一个由公众化驱动的发展新时代。

由于篇幅所限和主题侧重, 本文没有详细讨论公众化驱动的地球观测模式中的科学和技术新挑战。简单来讲, 公众化驱动的地球观测发展模式将为地球观测和天基信息产业发展提供巨大的机遇, 同时也为科学界提出了一系列的科学和技术挑战, 比如在工程上对于地球观测传感器、平台、通讯、地面单元和应用技术提出了巨大的挑战, 在科学上为对地球观测的基本理论和模型提出了新目标, 在管理上对于地球观测的政策、管理和可持续发展模式都提出了新的思考。

## 参考文献

---

- 1 Gore A. The digital earth: understanding our planet in the 21st century. *Australian Surveyor*, 1998, 43: 89–91
- 2 Chen S P, Guo H D. Digital earth and earth observation. *Acta Geograph Sin*, 2000, 55: 9–14 [陈述彭, 郭华东. “数字地球” 与对地观测. *地理学报*, 2000, 55: 9–14]
- 3 Greenslade D, Berkhout F. Future earth — research for global sustainability. In: *Proceedings of EGU General Assembly Conference, Vienna, 2014*. 312–316
- 4 Guo H D. Big data, big science, big discovery — review of CODATA Workshop on Big Data for International Scientific Programmes. *Bull Chin Acad Sci*, 2014, 29: 500–506 [郭华东. 大数据大科学大发现 —— 大数据与科学发现国际研讨会综述. *中国科学院院刊*, 2014, 29: 500–506]
- 5 Frosch R A, Gallopoulos N E. Strategies for manufacturing. *Sci American*, 1989, 261: 144–152
- 6 Porter M E. The competitive advantage of nations. *Harvard Bus Rev*, 1990, 68: 73–93
- 7 Lohr S. The age of big data. *New York Times*, 2012, 11
- 8 Labrinidis A, Jagadish H V. Challenges and opportunities with big data. *Proc VLDB Endowment*, 2012, 5: 2032–2033
- 9 Barwick H. The “four vs” of big data. [http://www.computerworld.com.au/article/396198/iis.four\\_vs\\_big\\_data/](http://www.computerworld.com.au/article/396198/iis.four_vs_big_data/), 2012
- 10 Mayer-Schönberger V, Cukier K. *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2013. 1–45
- 11 Niu S. Big data strategy and its influence in developed countries. *International Study Reference*, 2014, 27: 29–33 [牛帅. 发达国家大数据战略及其影响. *国际研究参考*, 2014, 27: 29–33]
- 12 Pulse U N G. *Big Data for Development: Challenges & Opportunities*. New York: UN Global Pulse, 2012
- 13 Mundial F E. *Big Data, Big Impact: New Possibilities for International Development*. Cologny: Foro Económico Mundial, 2012
- 14 House W. *Big Data: Seizing Opportunities, Preserving Values*. Washington: Executive Office of the President, 2014
- 15 Dutta S, Geiger T, Lanvin B. The global information technology report 2015. In: *Proceedings of World Economic Forum, Davos Klosters, 2015*. 80–85
- 16 Tolle K M, Tansley D, Hey A J G. The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery. *General Collect*, 2012, 99: 1334–1337
- 17 Reichman O J, Jones M B, Schildhauer M P. Challenges and opportunities of open data in ecology. *Science*, 2011, 331: 703–705
- 18 Marx V. Biology: the big challenges of big data. *Nature*, 2013, 498: 255–260
- 19 Manyika J, Chui M, Brown B, et al. *Big Data: the Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity*. Las Vegas: The McKinsey Global Institute, 2011. 10–16
- 20 Gantz J, Reinsel D. The digital universe in 2020: big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. IDC iView: IDC Analyze the Future, 2012. 1–16
- 21 CODATA 中国全国委员会. 大数据时代的科研活动. 北京: 科学出版社, 2014. 2–5
- 22 He G J, Wang L Z, Ma Y, et al. Processing of earth observation big data: challenges and countermeasures. *Chin Sci Bull*, 2015, 60: 470–478 [何国金, 王力哲, 马艳, 等. 对地观测大数据处理: 挑战与思考. *科学通报*, 2015, 60: 470–478]
- 23 Guo H D, Wang L Z, Chen F, et al. Scientific big data and digital earth. *Chin Sci Bull*, 2014, 59: 1047–1054 [郭华东, 王力哲, 陈方, 等. 科学大数据与数字地球. *科学通报*, 2014, 59: 1047–1054]
- 24 Song W J, Liu P, Wang L Z, et al. Intelligent processing of remote sensing big data: status and challenges. *J Eng*

- Studies, 2014, 6: 259–265 [宋维静, 刘鹏, 王力哲, 等. 遥感大数据的智能处理: 现状与挑战. 工程研究 – 跨学科视野中的工程, 2014, 6: 259–265]
- 25 邢月亭, 孙广勃, 范桃英. 美协会发表卫星产业状况报告. 中国航天, 2015, (8): 34–39
- 26 Casey K S. Big data for a big ocean at the NOAA national oceanographic data center. AGU Fall Meeting Abstracts, 2014, 1: 3621
- 27 Li D R, Zhang L P, Xia G S, et al. Automatic remote sensing data analysis and data mining. Acta Geod Cartogr Sin, 2014, 43: 1211–1216 [李德仁, 张良培, 夏桂松, 等. 遥感大数据自动分析与数据挖掘. 测绘学报, 2014, 43: 1211–1216]
- 28 Li D R, Tong Q X, Li R X, et al. Current issues in high-resolution earth observation technology. Sci China Earth Sci, 2012, 42: 805–813 [李德仁, 童庆禧, 李荣兴, 等. 高分辨率对地观测的若干前沿科学问题. 中国科学: 地球科学, 2012, 42: 805–813]
- 29 Quartulli M, Olaizola I G. A review of EO image information mining. Isprs J Photogramm Remote Sens, 2013, 75: 11–28
- 30 詹亚锋, 马正新, 曹志刚. 现代微小卫星技术及发展趋势. 电子学报, 2000, 28: 102–106
- 31 Buchen E, DePasquale D. 2014 Nano/Microsatellite Market Assessment. Atlanta: SpaceWorks Enterprises, Inc.(SEI), 2014
- 32 负敏. 小卫星, 大星座, 改变未来空间游戏规则 —— 第三届小卫星技术交流会 (2015) 召开. 卫星应用, 2015, 6: 72–73
- 33 陆文墨. 建立互联网 + 天基信息实施服务系统 —— 李德仁院士谈航天与互联网 + 的融合. 卫星与网络, 2015, 6: 14–18
- 34 黄立钠, 景育, 朱文杰, 等. 在轨补加技术在小卫星上的应用. 卫星与网络, 2015, 6: 72–75
- 35 Murthy K, Shearn M, Smiley B D, et al. SkySat-1: very high-resolution imagery from a small satellite. Proc SPIE 9241, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVIII, 2014, 9241: 92411E
- 36 Sandau R, Roeser H P, Valenzuela A. Small Satellite Missions for Earth Observation. Berlin: Springer, 2010
- 37 Rosenberg Z. The coming revolution in orbit. Foreign Policy, 2014, 205: 70
- 38 Goodchild M F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. Geo J, 2007, 69: 211–221
- 39 Fiorito S, Orsi F, Serdoura F M, et al. Data extraction from social networks for urban analyses. Sedimentology, 2011, 58: 579–617
- 40 Howe J. Crowdsourcing: how the power of the crowd is driving the future of business. New York: Random House, 2008. 20–35
- 41 George C E, Scerri J. Web 2.0 and user-generated content: legal challenges in the new frontier. Social Sci Electron Publishing, 2007, 2: 1–22
- 42 Boulos M N K, Wheeler S. The emerging Web 2.0 social software: an enabling suite of sociable technologies in health and health care education. Health Inf Libr J, 2007, 24: 2–23
- 43 Daugherty T, Eastin M S, Bright L. Exploring consumer motivations for creating user-generated content. J Interactive Advertising, 2008, 8: 16–25
- 44 Law E, Ahn L. Human Computation. Morgan & Claypool Publishers, 2011. 1–121
- 45 Law E, von Ahn L. Input-agreement: a new mechanism for collecting data using human computation games. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Boston, 2009. 1197–1206
- 46 von Ahn L. Games with a purpose. Computer, 2006, 39: 92–94
- 47 Silvertown J. A new dawn for citizen science. Trends Ecol Evol, 2009, 24: 467–471
- 48 Wang F Y, Carley K M, Zeng D, et al. Social computing: from social informatics to social intelligence. IEEE Intell Syst, 2007, 22: 79–83
- 49 Parameswaran M, Whinston A B. Research issues in social computing. J Assoc Inf Syst, 2007, 8: 336–350
- 50 Satyanarayanan M. Pervasive computing: vision and challenges. IEEE Pers Commun, 2001, 8: 10–17
- 51 Lee M R, Lan Y. From Web 2.0 to conversational knowledge management: towards collaborative intelligence. J Entrep Res, 2007, 2: 47–62
- 52 Hackman J R. Collaborative Intelligence: Using Teams to Solve Hard Problems. Oakland: Berrett-Koehler Publishers, 2011
- 53 Nieto M J, Santamaría L. The importance of diverse collaborative networks for the novelty of product innovation. Technovation, 2007, 27: 367–377

- 54 Cebon P. Swarm creativity: competitive advantage through collaborative innovation networks. *Innov Manage Policy Practice*, 2006, 8: 407–408
- 55 Bloom H K. *Global Brain: the Evolution of the Mass Mind From the Big Bang to the 21st Century*. Hoboken: Wiley, 2000. 114
- 56 Obermeyer N J. The evolution of public participation GIS. *American Cartograph*, 1998, 25: 65–66
- 57 Sieber R. Public participation geographic information systems: a literature review and framework. *Ann Assoc American Geograph*, 2006, 96: 491–507
- 58 Li W L. Community remote sensing: a new approach to geoscience applications. *Remote Sens Land Resour*, 2013, 25: 1–6 [李万伦. 社区遥感: 一种地学应用新技术. *国土资源遥感*, 2013, 25: 1–6]
- 59 Zhao Y, Han Q. Spatial crowdsourcing: current state and future directions. *IEEE Commun Mag*, 2016, 54: 102–107
- 60 Kazemi L, Shahabi C. Geocrowd: enabling query answering with spatial crowdsourcing. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, Redondo Beach, 2012. 189–198

## A new age of public-oriented Earth observation development

Guoqing LI<sup>1,2\*</sup> & Lushen PANG<sup>3</sup>

1. *Key Laboratory of Digital Earth, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. *Key Laboratory for Earth Observation of Hainan Province, Sanya 572029, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

\* Corresponding author. E-mail: ligq@radi.ac.cn

**Abstract** Atmospheric, marine, and terrestrial Earth observations have been carried out by the government for half a century; their industrial characteristics notably benefit the public. The observation mode has been diversified, richer application methods have been introduced, especially the micro satellite cloud, and the observations and data-providing capabilities have been greatly improved in the past ten years due to the increasing number of satellites. Earth observations have entered the new era of big data and have become the main focus with respect to big scientific and consumption data. The industrial Earth observation development model is analyzed in this paper with respect to industrial ecological systems. The microsatellite cloud and big data technology are the two main forces of the shift of the development mode of Earth observations from public benefit-oriented to public-oriented. The study further analyzes the diverse effects of the public on Earth observation activities. We believe that the public will gradually become an active factor affecting all aspects of Earth observations. Meanwhile, public-oriented Earth observations target a bigger market. The public is both the main consumer and producer of Earth observation information. The public-oriented development model provides great opportunities for Earth observations and space-based information industry development; however, it also puts forward a series of scientific and technical challenges for the scientific community.

**Keywords** Earth observation, development model, big data, public-oriented, public benefit-oriented



**Guoqing LI** was born in 1968. He received his Ph.D. from the Chinese Academy of Sciences in 2005. Currently, he is a professor at the Institute of Remote Sensing and Digital Earth of the Chinese Academy of Sciences. His recent research interests include high-performance geocomputation, spatial data infrastructure, and big Earth data management.



**Lushen PANG** was born in 1982. He received his M.S. degree from the South China Normal University, Guangzhou, in 2012. Currently, he is a Ph.D. candidate at the Institute of Remote Sensing and Digital Earth of Chinese Academy of Sciences. His research interests include spatial crowdsourcing, machine learning, and interpretation of remote sensing imagery.