

基于集成平台 + 地理信息系统的医学地理制图引擎架构设计 *

邵泽国

(1 上海健康医学院 上海 201318 2 复旦大学 上海 200433)

〔摘要〕 介绍国内外医学地理制图的研究现状, 分析医学地理制图系统新需求, 研究具有将“医学数据”转变为“医学地理数据”功能的医学地理制图引擎, 具体设计该引擎的系统架构, 包括工作机制、结构及内容、层间功能调用策略等方面。

〔关键词〕 制图引擎; 医学数据; 医学地理图; 系统框架

〔中图分类号〕 R-056 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2017.02.006

Architecture Design of Medical Geographic Mapping Engine Based on Integrated Platform + Geographic Information System

(GIS) SHAO Ze-guo, 1 Shanghai University of Medicine & Health Sciences, Shanghai 201318, 2 Fudan University, Shanghai 200433, China

〔Abstract〕 The paper introduces the study status of domestic and foreign geographic mapping, analyzes the new demands of medical geographic mapping system, studies the medical geographic mapping engine with the function of converting "medical data" to "medical geographic data", and specifically designs the system architecture of the engine, including working mechanism, structure and content, and interlayer function call strategies, etc.

〔Keywords〕 Mapping engine; Medical data; Medical geography map; System architecture

1 引言

医学地理学 (Medical Geography) 主要研究人

群疾病和健康状况的地理分布与地理环境的关系, 以及医疗保健机构和设施的地域配置等。是地理学的一个分支学科, 其最终目的是为创造适于人类生活的优美环境, 制定合理的、因地制宜的卫生防治规则, 控制和消除疾病, 促进健康水平的提高服务。医学地理图是医学地理学研究的重要手段和工具。19 世纪中叶, 英国麻醉师 Snow^[1] 运用地图研究了伦敦市伤寒病流行的空间分布规律, 绘制了世界首个医学地理图。自此, 国内外不断有学者借助地图工具来开展医学地理学研究, 揭示疾病和健康状况与地理环境的关系。随着计算机等技术的不断发展, 医学地理制图的技术、方法以及工具发生了很大变化, 且大健康时代的到来, 人们远比任何一

〔收稿日期〕 2016-08-23

〔作者简介〕 邵泽国, 讲师, 博士, 发表论文 10 余篇。

〔基金项目〕 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目 (项目编号: 09JZDH007); 上海健康医学院种子基金项目 (项目编号: HMSF-17-22-005); 上海市教委中等职业学校内涵发展项目专项经费支持项目 (项目编号: FA1-3911-16-116002)。

个时期更关心健康,更关注疾病与空间环境的关联问题。同时随着我国医疗改革的逐步深入,医疗资源的合理配置与利用也必然需要高度信息化和高效工具的支撑。这些都对医学地理图的绘制工具产生了深刻影响,提出更高、更新的需求。

2 国内外医学地理制图的研究现状

2.1 地理信息系统在医学研究领域得到重视和普遍应用

2.1.1 国外 电子地图的优势以及地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 的成熟,使得近 10 年来越来越多的医学地理学研究都采用了 GIS 技术。在国外 Welsh 等^[2]利用 GIS 研究对多米尼亚共和国某个城市的 HIV/AIDS 高危人群进行安全性行为、避孕套使用等方面的行为干预后对周边城市的影响情况; Sergeant 等^[3]利用 GIS 空间分析技术来预测实时灾害; Rosero - Bixby^[4]应用 GIS 评价哥斯达黎加市医疗保健的可及性; Fulcher 等^[5]研究基于网络 GIS 的美国卫生保健体系; Zemek 等^[6]利用 GIS 分析捷克北部山区的氟斑牙病情及相关因素; Fordyce 等^[7]开发 GIS 工具,用于监测欧洲中部水域的氟化物浓度; Joyce 等^[8]利用 GIS 分析导致美国南卡罗来纳州城乡终末期肾病区域差异的危险因素; Kazda 等^[9]使用 GIS 对社区需求进行评估,证明制定一个公共卫生计划的必要性; Srivastava^[10]采用 GIS 对印度的疟疾高发地区进行分析,制定出疾病高风险地区; Parrott 等^[11]在社区卫生服务规划建设中运用 GIS,使社区卫生服务机构、交通和通讯等公共卫生资源更趋人性化,加大社区肿瘤综合预防的参与度。

2.1.2 国内 陆应昶等^[12]利用 GIS 对江苏省各地区脑卒中患者进行反距离插值分析,建立江苏省脑卒中空间预测模型;杨进等^[13]利用 GIS、GPS 技术建立以人口数据为基础的发热监测系统,提高疾病的监测预警能力;熊劲光等^[14]借助 GIS 组件开发技术,建立一套完善的突发公共卫生事件的统计预警系统;成玉等^[15]利用 GIS 研究中国人群 HLAA、B 位点的空间遗传结构;吴建军等^[16]针对农村医疗设

施空间分布的公平性问题,使用 GIS 技术和空间可达性指标评估医疗设施的区域分布特征;桑海云等^[17]利用 GIS 分析山东省卫生资源配置的空间公平性;万迪等^[18]利用 GIS 空间分析技术分析卫生医疗机构选址各项影响因素,对其进行评估并对医疗机构的选址进行评价,得到最大限度服务群众的卫生机构地址;喻曦等^[19]利用 GIS 对北京地区的 SARS 进行监测,查找传染源、传播途径以及危险区域和最近的医疗救助资源;张建陶等^[20]利用 GIS 建立常州市狂犬病的危险区域地图;王芳芳等^[21]对乌鲁木齐市 2008 - 2012 年 PM10 的纵向监测数据进行 GIS 空间分析与插值分析,得出不同季节不同空间 PM10 分布不同,且其浓度受多种因素的影响;单宝艳等^[22]利用 GIS 基于网络的服务区分析、近邻区分析和叠加分析等技术,为政府及卫生行政部门应对突发事件提供指导。

2.2 GIS + 医学信息系统的组合

GIS 与医学信息系统相结合近年才开始出现。2004 年加拿大构建基于 GIS 的公共卫生西尼罗河病毒监测系统 (Integrated System for Public Health Monitoring of West Nile Virus, ISPHM - WNV)^[23]; Kalipeni 等^[24]先利用 GIS 从研究区内抽取 HIV/AIDS 的年患病率,再利用联合国艾滋病规划署的预测软件模拟和预测非洲 2004 - 2010 年 HIV/AIDS 的发病率;赵金^[25]以公共卫生的电子健康档案 (Electronic Health Records, EHR) 为依托,结合 GIS 对 EHR 信息充分挖掘,做到对辖区慢性病管理、社区诊断等;曹健等^[26]利用 GIS 结合社区卫生信息和流行病学研究构建社区卫生信息系统,展现社区卫生现状、发展趋势以及对突发事件的应急处理。GIS + 医学信息系统构建成为新的应用系统,实现新的应用。医学信息系统成为新系统“活”的数据源,长时间也可以形成大规模数据。只是与单一的医学信息系统结合 (而不是集成),在数据种类、规模、完整性以及形成速度上要弱得多,很难形成大数据。

2.3 集成技术少有应用,引擎模式尚未出现

2.3.1 集成技术较少应用 目前,与 GIS 结合的

医学信息系统基本都是单一业务的信息系统,不存在数据异构问题,自然不需要集成技术。但是现在的研究往往是跨领域,这就意味着“GIS + 医学信息系统”模式中的“医学信息系统”应该是多个的。这样一来就需要“GIS + 医学信息系统 + 集成技术”的新模式。此外,目前还没有人用它们来构建研究平台或工具软件。从上述示例中可以看到,这些系统的应用领域是特定的——针对某一医学或疾病现象,功能相对较少,往往仅是监测、分析、评价、预防、资源配置功能中的一种,为数不多的几个提供两种功能的复合。

2.3.2 引擎模式尚未出现 引擎模式具有方法的集成性、算法的通用性、模块的兼容性和软件的可复用性等特征,采用引擎模式开发的软件工具,将具有安全、稳定、执行效率高、易用等优点。目前不仅技术上可以实现系统多功能的复合,更重要的是越来越多的应用需求需要多功能的复合。如卫生部门对流行病爆发前的预测预防、爆发中的分析评价、控制过程中的资源配置、全过程的监测监控以及事后的研究分析等。引擎模式是集多种方法、多种功能为一体的计算处理模式,适应研究面广、功能多样的研究和应用。

3 医学地理制图系统新需求分析

3.1 制图系统需要“活”的数据源

近年来,各类医学信息业务系统普遍应用,日积月累,逐渐形成了大规模的医学电子数据。但这些数据往往都是异构、孤立的,不具备地理属性或地理属性是隐性的。如果能够对这些数据进行集成、抽取、清洗、挖掘(或关联)地理属性,会得到巨量的绘制医学地图的数据资源。集成平台为异构医学数据源的集成提供了解决方案。借助集成平台,采集多种异构数据源的数据,既节省研究人员数据采集的时间,又简化数据模型转化的过程。最重要的是可以快累积医学大数据,便于进入大数据研究的领域。因为所集成的医学业务信息系统是运行中的系统,是“活”的数据源,为可持续性研究提供数据保障。

3.2 需要将医学数据快速、有效地转化为医学地理数据

“活”的数据源是地图绘制的原材料,只有经过再加工——将医学数据转化为医学地理数据——计算机才能够自动画出医学地理图。通过对医学数据的一系列处理,转化成医学地理数据,可以直接在 GIS 上绘制医学地图。整个过程是自动化的,不需要医学地理研究者具备多高的计算机技能。

3.3 需要功能强大、可复用的通用型软件

对于医学地理或医学地图研究者来说,有一款功能强大、足以满足研究人员需求的软件是很重要的。但这样的软件除了功能强大外,还应具有通用性和复用性。这一软件工具不应限定在某一领域(或方向),也不是仅为特定研究人员提供服务。引擎模式恰好满足这一需求。引擎是一个函数库,可以封装大量经典的、通用的绘图算法。将来研究者可以借助制图引擎来生成自己想要的研究数据;根据自己的研究目标,调用引擎中的函数就可以在 GIS 上直接得到想要的地图。人们还可以在引擎上进行二次开发,得到新的应用软件。

4 引擎系统架构设计

4.1 制图引擎的工作机制

制图引擎要完成的核心工作就是将“医学数据”转变为“医学地理数据”。医学数据来自于医学业务信息系统,医学地理数据是指具有地理属性、能够与 GIS 空间数据对应、包含绘图规则的一组复合数据。异构数据源通过集成平台集成的医学数据,通过制图引擎一系列的处理生成医学地理数据,在 GIS 上绘制研究者想要的医学地理图,见图 1。

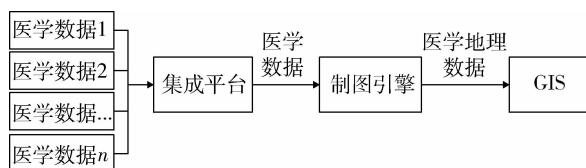


图 1 制图引擎工作机制

4.2 制图引擎的结构及内容 (图2)

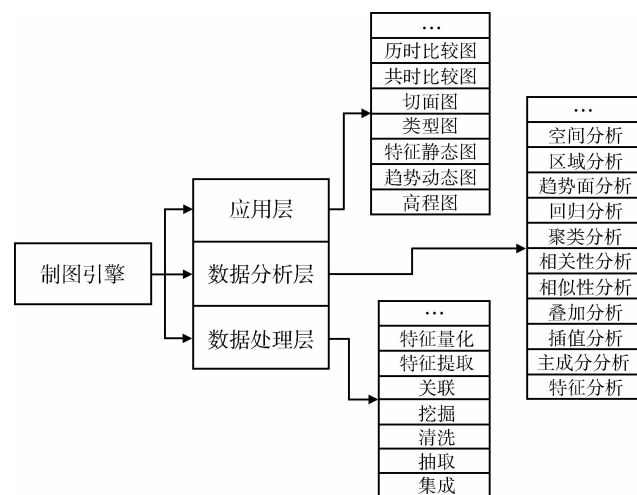


图2 制图引擎的结构及内容

4.2.1 数据处理 将集成后的医学数据进行加工处理,使这些数据具有地理空间属性。是可绘制地图的医学地理数据的雏形。数据处理是数据分析与数据应用的基础。(1)集成。集成平台将异构数据源的医学数据集成后,统一了数据模型。制图引擎提供的算法(如数据归并算法)进一步将这些数据在逻辑上和物理上集中,即相同对象的数据集中存储并与其他对象建立相应的逻辑关系,形成统一的医学数据源。(2)抽取。被集成的各个医学信息系统是工作态中的系统,“活”的数据源将为医学地图源源不断地提供新的数据。在制图引擎中内设数据抽取机制(增量抽取算法)来抽取数据源中变更(含新增、修改、删除)的数据。(3)清洗。抽取出来的数据不可避免会有“脏”数据(错误数据、重复数据、残缺数据)存在,这些“脏”数据会导致后面的数据分析的结果错误或偏差,直接影响将来的地图绘制。引擎中的数据清洗算法将对数据进行重新审查和校验,删除重复信息、纠正存在的错误并提供数据一致性。(4)挖掘。从一般的医学数据到医学地理数据,最关键的一点是使医学数据对象具有地理属性。当医学数据对象的地理属性是隐性时,制图引擎数据挖掘算法就可以从大量的相关数据中搜索到隐藏于其中的地理属性信息。(5)关联。即建立信息对象间的逻辑关系。集成后的数据

虽然消除了异构,统一(或兼容)了数据模型,但并不能保证信息对象不是离散的;特别是同类信息对象需要汇集、合并,异类信息对象之间需要尽可能建立逻辑关系。这个任务就交由制图引擎中的关联算法来完成。(6)特征提取。一个对象是由其属性来描述的,或者说属性集决定了对象。在存储和管理数据时会对对象预先定义,在分析和应用数据时有时还需要再定义。制图引擎特征提取算法就是提取预定义对象的相关特征属性来重定义对象。(7)特征量化。对信息对象特征的描述不限于数值数据类型,更多的时候是非数值型的。但要分析和计算这些非数值型特征,则要先建立数学模型将其量化,即通过量化,转换成用数值型数据来描述特征。

4.2.2 数据分析 其对象是经过处理后的结果数据,服务于数据应用。(1)特征分析。根据数据应用的相应需求(如特征静态图),分析对应的医学数据对象,为特征提取制定策略。(2)主成分分析。一个信息对象有若干个属性,在不同的场景下,面对不同的问题,各个属性对其所属对象的描述力是不同的^[27]。在应用中特别是数据分析时,往往只需要或只关注主要特征。主成分分析就是要取得这些主要成分(特征)。(3)插值分析。经过数据处理后的带有地理属性的医学数据在空间上是离散的。当需要几个空间现象的分布模式进行比较时,就由插值分析来将离散点的数据转换为连续的数据曲面,服务于切面图等绘制。(4)叠加分析。分析医学信息对象主特征与空间对象的空间特征之间的相互关系,既能产生新的空间关系,又能产生新的属性特征关系,服务于比较图等绘制。(5)相似性分析。选择合适的医学信息对象特征,经过数据量化后,再分析、计算数据对象的相似度。常用于绘制类型图。(6)相关性分析。如果用“长得像不像”来比喻医学信息对象间的相似性,则“其亲密度如何”就是相关性^[28]。(7)聚类分析。将医学信息对象进行分组,可在相似性分析的基础上完成,是比较图、类型图、特征图等绘制的基本方法。(8)回归分析。在相关性分析的基础上,分析多个变量间的关系,确定它们之间相互依赖的定量值。支持线性和非线性回归分析。(9)趋势面分

析。在回归分析的基础上，利用数学曲面来模拟医学特征在空间上的分布及变化趋势，是绘制趋势动态图的主要方法。（10）区域分析。对地理区域内的医学、自然、社会、经济、人文等数据进行分析，讨论它们之间的关系，以及区域间的联系。（11）空间分析。主要通过空间数据和空间模型的联合分析来挖掘空间目标的潜在信息，主要由 GIS 来提供。制图引擎的空间分析主要完成医学信息空间特性数据的生成，以及驱动 GIS 完成后期的空间分析。

4.2.3 数据应用 面向 GIS 满足用户需求（或者说直接体现医学地理图研究者目标），包含绘图数据与方法的策略库，是医学地理数据的最终表现形式。（1）历时比较图。在连续时间内的、周期性的时间点上的医学地理图层组成的地图。如近 10 年每 1 年的地理图，则每 1 年生成 1 个地理图层，共 10 个图层组成的地理图。每个图层内描述的对象可以不同，但比较的特征（属性）和算法相同。（2）共时比较图。在同一个时间点或时间段上的医学地理图层。可以是 1 个图层，也可以是多个。如果是多个图层，每个图层描述的对象和比较的特征（或属性），只能有 1 个不同。即或者不同对象，相同属性；或者相同对象，不同属性。（3）切面图。历时比较图的横切面或共时比较图纵切面。（4）类型图。按照不同分类标准或分类策略生成的医学地理图。图层的数量取决于分类标准的数量或分类策略的数量。（5）特征静态图。描述对象主特征的医学地理图。它可以按照对象类型来生成不同图层，也可以按照地理区域生成不同图层。（6）趋势动态图。描述对象变量属性在时间轴上的变化规律的医学地理图。图层数量不固定，或者说也是 1 个变量。采用两种取值：一是图层数等于时间长度除以变化周期；二是描述对象的属性变量值改变时，图层数自动加 1。（7）高程图。原本用来表示某一区域海拔的高低，这里借用此思想，用来描述区域内医学对象某些特征的变化程度或级别。如某传染病在各地传播的速度。

4.3 层间功能调用策略设计

功能调用策略的设计是为了满足制图引擎的通用性。制图引擎的组成为数据处理层、数据分层和应用层 3 层，见图 2。层内各功能既可以独立应用，又可以多功能复合应用、嵌套调用；层之间自顶向下采用瀑布式调用，既有一对多又有多对一的调用。功能调用关系，见图 3。例如，同层间特征量化可以调用特征提取，主成分分析可以调用特征分析；不同层间特征静态图可以调用区域分析及主成分分析，区域分析可以调用关联、挖掘，特征分析可以调用特征量化。通过组合最后形成了调用树，见图 4。

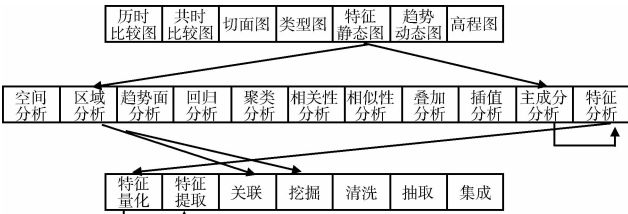


图 3 制图引擎部分功能调用示意

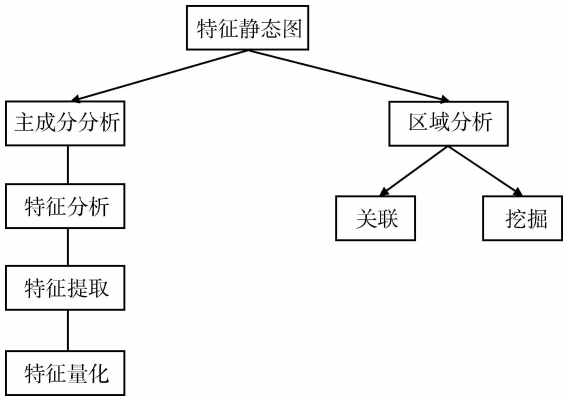


图 4 绘制特征静态图方法调用树

应用时，可从调用树的 1 个叶子节点开始，向上追溯到根节点形成 1 条调用线。图 4 调用线有 3 条，分别为：（1）特征量化→特征提取→特征分析→主成分分析→特征静态图。（2）关联→区域分析→特征静态图。（3）挖掘→区域分析→特征静态图。对同一命题，采用同一棵调用树中不同的调用线，得到的结果通常是一致或相近的，偶尔会有异常，剔除这些异常。正常的调用线和它的命题组成一个调用对被记录下来，形成调

用策略库。

4.4 引擎模式下的医学地理制图系统结构

在制图引擎的基础上，可以根据实际的需求搭建医学地理制图系统，一般的系统结构，见图 5。医学地理制图系统由 5 部分组成：一是数据采集子系统；二是数据管理子系统；三是数据处理及绘图数据生成子系统；四是地理信息子系统；五是用户界面。数据集成平台可以采用国际上较领先的医学信息系统集成平台——Orion Health 的 Rhapsody；地理信息子系统较常用 ArcGIS；协议标准一般不可缺 HL7。医学地理制图系统采用 3 层架构：数据支持层（系统第 1、2 部分）、管理分析层（系统第 3 部分）、交互控制层（系统第 4、5 部分），分别对应制图引擎的数据处理、数据分析、数据应用的实验与研究。

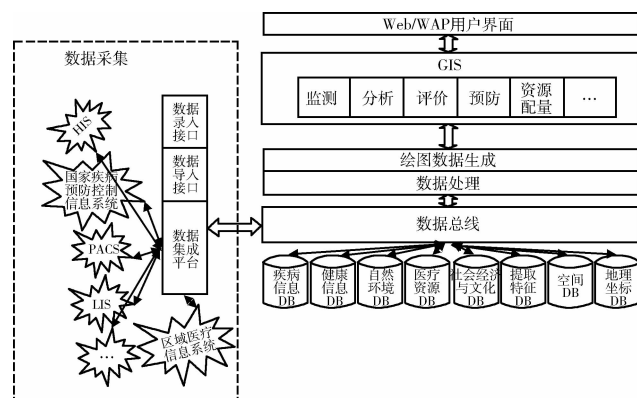


图 5 医学地理制图系统结构

5 结语

制图引擎采用集成平台技术来采集异构数据源（医学信息应用系统）的医学数据，形成“活”的数据源，更有可能累积为医学大数据。有了“活”的数据源，才能绘制动态的医学地理图，特别是“趋势”地理图更加名副其实。大数据能更加确保医学地图的准确性和可靠性。此外一旦形成大数据研究领域可以大大拓展，完全可以跳出医学地理图的研究范畴，延伸到其他领域。制图引擎解决“医学数据转化为医学地理数据”的问题，这是前人未

曾涉足的研究课题。引擎具有驱动集成平台采集数据及驱动 GIS 绘制各种医学地图的功能，集成绘制地图所需的数据处理算法、数据分析算法以及数据应用策略。基本覆盖常见的医学地理图的研究手段。医学地理学研究者可直接将其作为研究工具，或二次开发后成为新的工具。

参考文献

- 1 Luc Loslier. Geographical Information Systems (GIS) From a Health Perspective [C]. Proceedings of an International Workshop Held in Colombo, Sri Lanka, International Development Research Center, 1995: 9 - 17.
- 2 Welsh MJ, Puella E, Meade M, et al. Evidence of Fiffusion from a Targeted HIV/AIDS Intervention in the Dominican Republic [J]. J Biosoc Sci, 2001, (33): 107 - 119.
- 3 Sergeant A, Smith D. Impediments to Using GIS for Real - time Disaster Decision Support [J]. Comput Environ Urban Syst, 2003, (27): 123 - 141.
- 4 Rosero - Bixby L. Spatial Access to Health Care in Costa Rica and Its Equity: a GIS - based study [J]. Social Science & Medicine, 2004, 58 (7): 1271 - 1284.
- 5 Fulcher CL, Kaukinen CE. Visualizing the Infrastructure of US Healthcare Using Internet GIS: a community health informatics approach for reducing health disparities [J]. Stud Health Techno Inform, 2004, (107): 1197 - 1220.
- 6 Zemek F, Herman M, Kierdorf H, et al. Spatial Distribution of Dental Fluorosis in Roe Deer (Capreolus capreolus) from North Bohemia (Czech republic) and Its Relationships with Environment Factors [J]. Sci Total Environ, 2006, 370 (2/3): 491 - 505.
- 7 Fordyce FM, Vrana K, Zhovinsky E C, et al. A Health Risk Assessment for Flouride in Central Europe [J]. Environmental Eochemistry and Health, 2007, (2): 83 - 102.
- 8 Joyce FZ, Lackland DT, Lipsitz SR, et al. Geographical Patterns of End - stage Renal Disease Incidence and Risk Factors in Rural and Urban Areas of South Carolina [J]. Health Place, 2007, (13): 179 - 187.
- 9 Kazda MJ, Beel ER, Villegas D, et al. Methodological Complexities and the Use of GIS in Conducting a Community Needs Assessment of a Large U. S. Municipality [J]. J Community Health, 2009, 34 (3): 210 - 215.

- 10 宋伟, 顾志良, 景凡伟, 等. 地理信息系统 (GIS) 在医疗和公共卫生领域的应用 [J]. 解放军医院管理杂志, 2010, 17 (10): 981-982.
- 11 Parrott R, Volkman JE, Lengerich E, et al. Using Geographic Information Systems to Promote Community Involvement in Comprehensive Cancer Control [J]. Health Commun, 2010, 25 (3): 276-285.
- 12 陆应昶, 赵金扣, 胡晓抒, 等. 江苏省高血压病空间地理分布影响因素初探 [J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25 (7): 637-639.
- 13 杨进, 董柏青, 张杰, 等. 地理信息系统技术在伤寒发热监测中应用 [J]. 中国公共卫生, 2007, 23 (9): 1086-1088.
- 14 熊劲光, 夏宪照, 刘志权, 等. 东莞市突发公共卫生事件预警与应急管理信息系统开发和功能特点 [J]. 预防医学情报杂志, 2007, 23 (3): 330-333.
- 15 成玉, 薛付忠, 季晓康, 等. 基于地理信息系统的中国人群 HLA-A、B 位点的空间遗传结构 [J]. 山东大学学报: 医学版, 2008, 46 (5): 542-546.
- 16 吴建军, 孔云峰, 李斌, 等. 基于 GIS 的农村医疗设施空间可达性分析——以河南省兰考县为例 [J]. 人文地理, 2008, 103 (5): 37-42.
- 17 桑海云. 姜宝法. 山东省卫生资源配置的空间公平性分析 [J]. 中国卫生事业管理, 2008, (12): 798-799.
- 18 万迪, 臧德彦. 基于 GIS 的卫生医疗机构选址 [J]. 科技信息, 2012, (1): 201, 267.
- 19 喻曦, 文静华. 基于 GIS 的流行病疫情监测平台的研究与初步构建 [D]. 贵阳: 贵州财经大学, 2013.
- 20 张建陶, 张惠力, 林琴, 等. 应用地理信息系统分析常州市狂犬病的空间分布 [J]. 现代预防医学, 2013, 40 (7): 1206-1208.
- 21 王芳芳, 何丽, 魏勇. 基于 GIS 的乌鲁木齐 PM10 时空分布与七项气象因素分析 [J]. 环境保护科学, 2014, 40 (3): 32-35.
- 22 单宝艳, 郭金金. 基于 GIS 空间分析的城市避难疏散规划研究 [J]. 测绘通报, 2014, (1): 86-89.
- 23 Gosselin P, Lebel G, Rivest S, et al. The Integrated System for Public Health Monitoring of West Nile Virus (ISPHM-WNV): a real-time GIS for surveillance and decision-making [J]. International Journal of Health Geographics, 2005, (4): 21.
- 24 Kalipeni E, Zulu L. Using GIS to Model and Forecast HIV/AIDS Rates in Africa, 1986-2010 [J]. The Professional Geographer, 2008, 60 (1): 33-53.
- 25 赵金. GIS (地理信息系统) 基于 HER (电子健康档案) 在公共卫生中的应用 [J]. 医学信息, 2010, 23 (11): 3939-3941.
- 26 曹健, 童蓉. 基于 GIS 的社区公共卫生信息平台应用研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- 27 邵泽国. 距离法求语言特征主成分 [J]. 计算机系统应用, 2013, (1): 192-195.
- 28 邵泽国. 基于计量语言学的语言亲疏关系算法研究 [J]. 计算机应用与软件, 2014, (9): 67-69, 117.
- 29 邓劲生, 郑倩冰. 信息系统集成技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

(上接第 12 页)

- 12 Kanawong R, Obafemi-Ajayi T, Ma T, et al. Automated Tongue Feature Extraction for ZHENG Classification in Traditional Chinese Medicine [J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM, 2012, (2012): 912852.
- 13 顾盼. 孕期保健移动医疗 APPS 应用研究 [D]. 重庆: 重庆医科大学, 2014.
- 14 范双南, 欧阳建权, 张富龙, 等. 安卓手机上的健康信息可视化设计与实现 [J]. 湘潭大学自然科学学报, 2013, 35 (3): 90-94.
- 15 He M, Xia J, Shehab M, Wang X. The Development of Precision Medicine in Clinical Practice [J]. Clinical and Translational Medicine, 2015, 4 (1): 69.
- 16 Pramana G, Parmanto B, Kendall PC, et al. The SmartCAT: an m-health platform for ecological momentary intervention in child anxiety treatment [J]. Telemedicine Journal and e-health: The Official Journal of the American Telemedicine Association, 2014, 20 (5): 412-427.