

基于地理信息服务的土壤肥力评价 workflow 模型实现

任艳^{1,2} 陈兰康² 陈家赢¹ 张海涛¹ 张钊¹

1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 广西壮族自治区国土测绘院, 南宁 530000

摘要 基于桌面的传统肥力评价受到数据更新、运算复杂等影响很难实时获取评价结果。根据 workflow 技术及开放地理空间信息联盟 (Open Geospatial Consortium, OGC) 的地理信息服务规范, 提出一种在网络环境下实现土壤肥力评价的方法, 该方法所有数据获取和处理功能都包装成符合 OGC 标准的服务, 并在 workflow 平台中通过调用服务相关操作将各操作转换为标准的活动, 连接各操作活动来实现自动处理功能。为验证该方法, 对湖北省宜都市红花套镇土壤属性进行分析, 将该区域土壤数据部署成数据服务, 将肥力评价相关操作步骤制作成 workflow 模型, 在 workflow 模型中调用数据服务来实现网络环境的土壤肥力评价。研究表明, 通过地理信息服务和 workflow 技术的结合, 能实现网络环境下的肥力评价, 同时, 该方法提高了肥力评价效率。

关键词 开放地理空间信息联盟; 地理信息服务; workflow; 肥力评价模型

中图分类号 S 14-3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)04-0051-08

肥力评价作为土壤工作者的一项重要工作, 已发展得较为成熟, 并形成了一定理论体系^[1-3]。研究人员提出了评分法, 并在一段时间得到了广泛应用^[4]。还有学者将数学方法应用于肥力评价, 提出了土壤肥力的数值化综合评价, 包括主成分分析、模糊数学法、层次分析法及灰色关联分析法等^[5]。随着地理信息产业的发展, 目前更多的学者将数学方法与 GIS 技术结合提出了基于 GIS 技术的肥力评价法, 如基于克里金 (Kriging) 的插值法, 该方法提高了土壤肥力评价效率, 是现在使用的一种主要空间插值方法^[6]。肥力评价方法发展迅速, 但土壤工作者在进行肥力评价时仍遇到许多问题^[7], 如土壤信息频繁更新、复杂的数学运算及大量的数据处理步骤等^[1], 导致肥力评价结果很难实时获得, 增加了肥力评价的工作量, 并且评价工作只能由专业人员通过专门软件来实施, 很难实现评价工作的跨平台和大众化。为实时获取评价结果及实现跨平台的肥力评价, 探索将肥力评价方法共享于网络环境, 实现在线的肥力评价很有必要。随着计算机技术及网络技术的发展, 国内外已有将网络服务用于土壤信息管理的相关研究, 但大多研究只提供基本的数据共享, 而在网络环境中实现处理功能共享的研究较少。因

此, 研究网络环境下处理功能及数据的共享将能很好解决肥力评价计算复杂及结果难以实时获取等问题, 具有一定科学意义, 其国内外相关报道也较少^[2,8-10]。

开放地理空间信息联盟 (Open Geospatial Consortium, OGC) 是一个着重研究如何在 Web Service 的基础上解决 GIS 数据共享及互操作的组织, 其目的是基于发布的标准, 提出一个可扩展的框架来无缝集成各种在线的空间处理和位置服务^[11]。OGC 的数据服务标准被用来访问和传递地理空间信息, 如网络要素服务 WFS (web feature service) 和网络覆盖服务 WCS (web coverage service)^[12-15]。每个服务都定义了一个协议用于请求和接受远程数据。除地理数据服务标准外, OGC 还定义了基于网络环境的地理数据处理规范即网络处理服务 WPS (web processing service), 该服务定义了一系列网络中调用 GIS 分析服务的接口。采用 workflow 能很好地耦合标准的 OGC 数据和空间分析功能。workflow 是以过程控制为中心, 支持过程建模、过程重组及过程自动化的一项技术, 可通过 workflow 模型调用地理信息服务接口, 来实现基于地理信息服务各复杂功能的自动化。workflow 与 Web 服务的结合为 Web 方式下实现复杂功能提供了技术基础^[16-17]。因此, 可参考

收稿日期: 2014-02-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41101192)

任艳, 硕士研究生, 研究方向: 地理信息系统与数字国土, E-mail: renyan105@163.com

通信作者: 陈家赢, 博士, 讲师, 研究方向: 土壤信息系统、网络地理信息系统、地理信息系统开发及应用, E-mail: chen.jiaying@mail.hzau.edu.cn

OGC 标准和工作流技术,通过 OGC 标准实现网络环境下数据共享和处理功能共享问题,通过 workflow 模型解决处理过程复杂的问题。

研究选择 WWF (windows workflow foundation) 技术建立支持 OGC 标准的工作流活动,在此基础上转换肥力评价流程为 XAML 工作流模型,最后以宜都市红花套区域土壤数据为例,实现了网络环境下的土壤肥力评价计算。以期该种方式能作为一种高效的土壤肥力分析工具,为科研人员进行相关研究提供参考。

1 材料与方 法

1.1 肥力评价工作流建模

1) 工作流建模。工作流是一个业务过程的全部或部分自动执行。它将功能与输入参数进行分离,在无用户介入情况下执行一系列的复杂活动^[18-19]。

工作流建模是将现实世界中的业务过程抽象出来,用一种形式化的、计算机可处理的方式表示,这种形式化结果称为工作流模型^[20]。

根据工作流原理,本研究将符合 OGC 标准的功能在 WWF 中通过相应接口转化为地理信息服务活动,通过调用活动来构建肥力评价工作流模型。图 1 为地理信息服务与工作流模型关系图,描述了将地理信息服务包装成 OGC 标准活动的过程。通过组合对应的 Activity 可以实现一个基本的 Process 过程。1 个 Process 包含了若干个 Input、Output 和 1 个 Algorithm,其中 Input 是通过对 OGC 数据服务活动的调用,即对 WFS Activity 或者 WCS Activity 的调用;Output 则是调用数据服务活动来发布计算分析结果到对应数据服务中;Algorithm 是又一个对应 WPS Activity 组成。因此,可以通过组合构建一个低粒度功能。

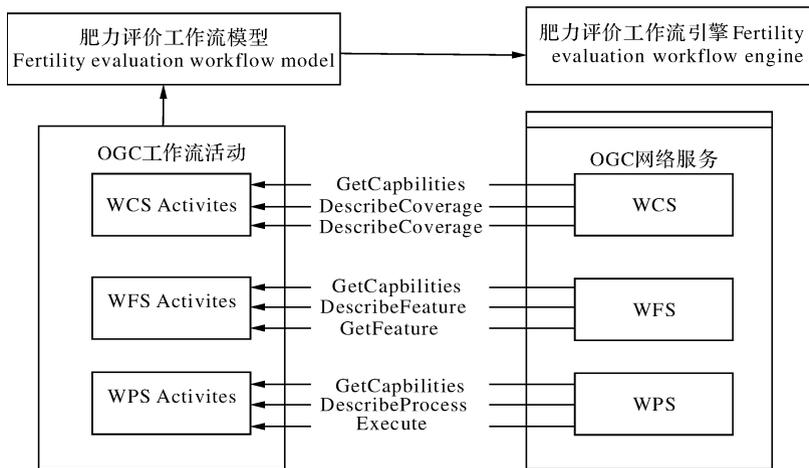


图 1 地理信息服务与工作流模型关系图

Fig.1 The diagram of geographic information services and workflow model

使用工作流的方式组合对应的 Process 可以建立一个复杂的应用模型 (Module)。Module 的模型本身继承自 Process,且包含了 Process 为节点的有向无环图,用于定义 Process 的调用顺序。目前主要的工作流引擎均能支持该种建模方式。图 2 为系统框架调用流程图,描述了符合 OGC 标准的活动构建及调用过程,通过定义的 WFS 和 WPS 等活动调用各功能的 GET/POST,实现基于网络的肥力评价。将 OGC 的具体 Activity 嵌入工作流模型,使通用的工作流模型具有空间分析的能力。同时,对于一个空间分析模型能分解为建模和运行 2 个低耦

合部分,使得设计和运行分离。此外,工作流的嵌套调用也能间接地实现 Module 和 Process。在建模过程中具有较高灵活性,既能够建立粒度较低的 Process 又能够建立复杂的 Module。粒度较低的 Process 可以使用在稳定且重用较多的基础算法上;Module 则使用在针对性强的专业模型上。目前已有较多 GIS 软件支持该类建模方式,如 ArcGIS 和 ERDAS 等,然而该类 GIS 软件不能支持标准的网络调用,同时对通用的数学模型支持较差。

2) 肥力评价模型。根据 GIS 技术与克里金法进行肥力评价的详细步骤如图 3 所示,图中矩形为

数据输入和输出,长方形为处理功能。主要处理步骤为:首先,对研究区域土壤进行采样和根据实际选择土壤评价指标;其次,通过 ArcGIS 软件对采样点进行检查使数据尽可能服从正态分布,并移除异常值;然后,根据隶属函数对指标进行标准化处理,并

计算出各土壤肥力指标权重(权重计算有主成分分析、层次分析等方法);接着,根据加乘法则计算出采样点的综合肥力指标(integrated fertility index, IFI);最终,使用 ArcGIS 的克里金插值工具及裁剪工具生成土壤综合肥力指标分布图。

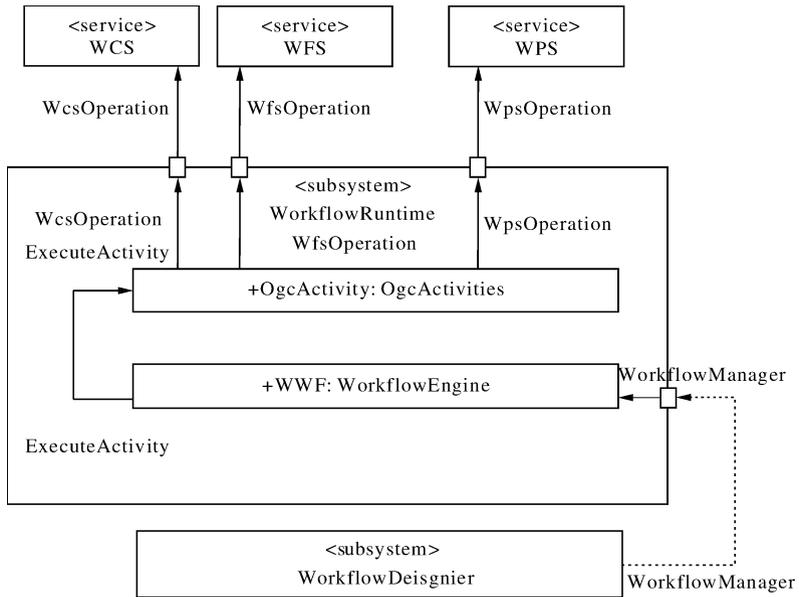


图 2 系统框架调用流程

Fig.2 The processes of the system framework calling

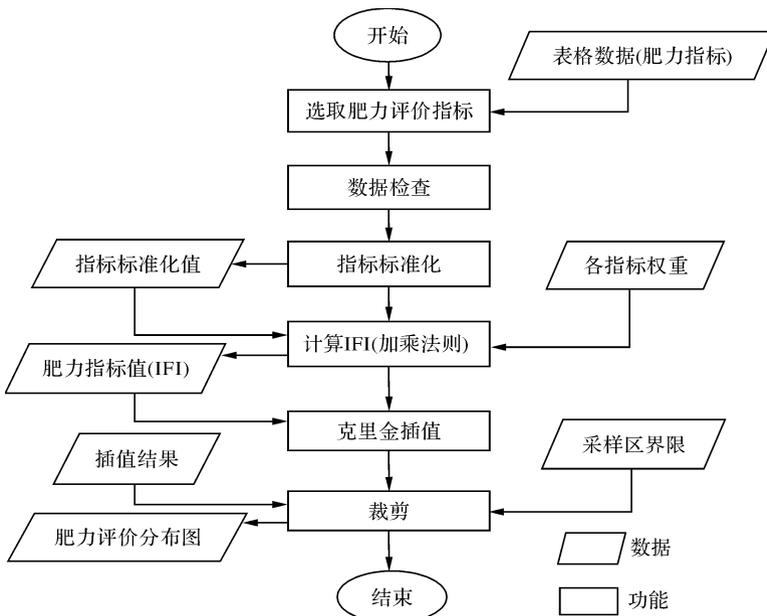


图 3 基于 GIS 的肥力评价步骤

Fig.3 The fertility evaluation based on GIS

1.2 应用实例

1) 肥力评价建模流程。图 4 为肥力评价工作流模型的实现过程。首先,将用到的数据和功能算法发布为地理信息服务;然后,将这些服务转化为地理信息活动,通过工作流将这些服务活动进行连接来构建符合 OGC 标准的肥力评价工作流模型;最后,将该工作流模型在网络共享,实现网络肥力评价。

2) 研究区域。①研究区域及数据来源。宜都市地处长江中游,东经 $111^{\circ}05' \sim 111^{\circ}36'$,北纬 $30^{\circ}05' \sim 30^{\circ}36'$ 。红花套镇位于宜都市北部,全镇面积 149 km^2 ,耕地面积 84 km^2 ;境内地势西北高,东南低,东南部沿江地带以冲积平原为主,地形地貌多

样,土壤类型具有典型性。因此,本研究选择红花套镇东南部为研究区。②数据来源:采用以 200 m 为间隔的格网布点法,使用 GPS 速测技术得到土壤样点的经纬度坐标,同时,结合室内理化分析获得该区域的土壤肥力指标。共采集 329 个样点,得到土壤有机质、有效磷、全氮、速效钾、pH、碱解氮、全钾、CEC、交换性镁、全铬、有效锌、有效铁、全磷、交换性钙、全铅及全铜共 16 个指标。红花套镇土地利用图及行政区划图来自第二次全国土地普查数据库。③软件需求:Windows Server2008 r2、Tomcat6.0、ArcGIS 10、52° North WPS 3.1.1 和 Geoserver 2.2.2。

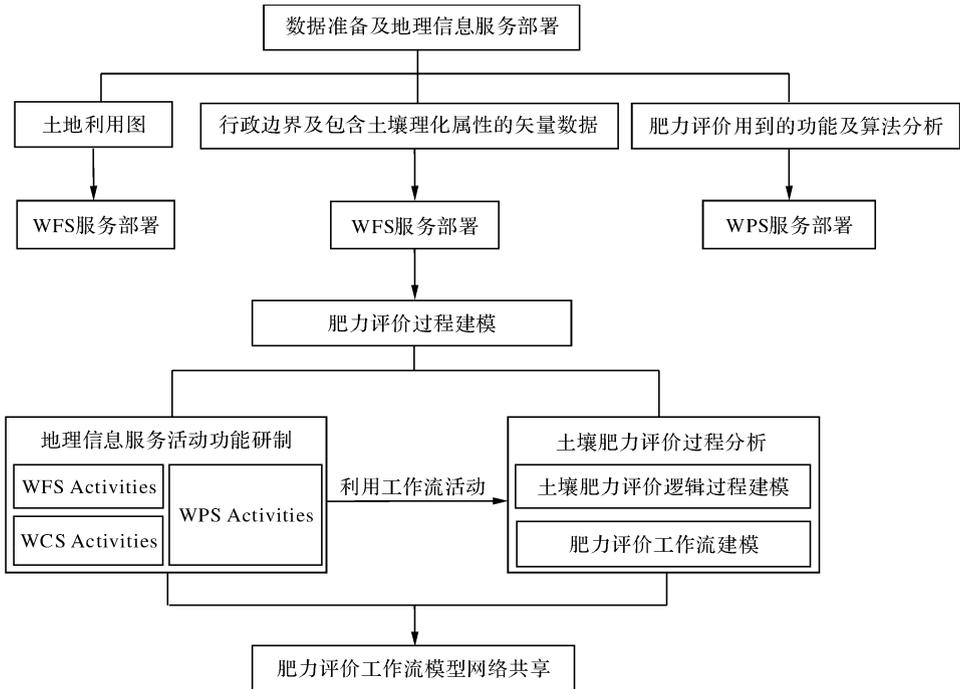


图 4 肥力评价工作流模型实现过程

Fig.4 The implementation process of fertility evaluation workflow model

3) 数据准备。首先,对采集得到的 16 个土壤肥力指标进行检查,剔除采样点中的错误点及不符合正态分布的数据指标;其次,根据主成分分析选取指标并确定各指标的权重,筛选出有机质、pH、CEC、碱解氮、全氮、全钾、有效磷、有效铁、交换性钙、有效锌、速效钾共 11 个指标,并对 11 个指标建立隶属函数,通过隶属函数对各指标进行归一化,得出各指标隶属度^[21];然后,根据主成分分析公因子方差得到的贡献率和成份得分来确定权重系数^[21]。最后,通过各指标隶属度值与权重进行加权组合得出各采样

点的肥力综合指数 (integrated fertility index, IFI)^[1]。

4) OGC 服务部署。本研究基于肥力评价过程,将肥力评价简化为 3 个功能,分别为:数据转换、克里金插值及裁剪。数据转换是将提供的数据类型转换成需要的数据类型;克里金插值是根据输入数据估测未采样区域的评价因子值和得到插值结果图;裁剪功能是将插值结果图以研究区界裁剪得研究区域肥力评价分布图。

肥力评价过程所有用到的数据通过 GeoServer

```

</wps:Process>
<wps:Process wps:processVersion="2">
  <ows:Identifier>org.n52.wps.example.ags.custom.kriging</ows:Identifier>
  <ows:Title>Kriging interpolation</ows:Title>
</wps:Process>
<wps:Process wps:processVersion="2">
  <ows:Identifier>org.n52.wps.example.ags.custom.clip</ows:Identifier>
  <ows:Title>Clip interpolation</ows:Title>
</wps:Process>
<wps:Process wps:processVersion="2">
  <ows:Identifier>org.n52.wps.example.ags.custom.DatatoConvert</ows:Identifier>
  <ows:Title>DatatoConvert interpolation</ows:Title>
</wps:Process>

```

图5 基于 52°North 的 WPS 服务

Fig.5 The WPS activities based on 52°North

部署,所有用到的处理功能使用 52°North 部署为 WPS 服务。为方便数据获取,通过 GeoServer 将含综合肥力指标 (IFI) 的红花套采样点数据和研究区边界部署成 WFS 和 WMS 服务;并将处理功能如数据转换、克里金插值及裁剪功能在 52°North WPS 3.1.1 中通过调用 ArcGIS Toolbox 发布为 WPS 服务。图 5 显示了 52°North 上部署的 WPS 服务,为 DatatoConvert、Kriging 和 Clip 3 个服务,分别实现数据转换、克里金插值和裁剪。

5) workflow 模型活动。将用到的数据和功能部署为服务后,在 workflow 设计器中将部署服务的各接口操作通过自定义的方式转换为活动,并将其连接成 workflow 模型。图 6 为肥力评价 workflow 模型活动图。该 workflow 模型实现 3 个功能,数据转换、克里金插值和裁剪。首先,获取发布的采样点数据,通过 WfsGetCapabilities 获取部署的采样点数据详细信息,根据详细信息通过 WfsGetFeature 的 GET 方式将采样点数据以 XML 形式转换到本地;其次,将获取的采样点数据 WFS 服务转为本地矢量数据,通过 WFS to Shp GetCapabilities 获取数据转换服务描述信息,根据描述信息以 WFS to Shp DescribeProcess 的 GET 方式获取数据转换算法,通过 WFS to Shp Execute 以 XMAP 方式设置数据转换的输入输出来执行数据转换功能,从而将部署的采样点数据转换成本地的 Shp 类型数据;然后,通过 Decision 判断数据转换是否成功,如未成功,以 Delay 活动延迟

10 s 再执行该功能,如成功则进行克里金插值;进行克里金插值时根据 WfsGetFeature 获取转换结果,通过 KrigingDescribeProcess 的 GET 方式来获取网络上的克里金插值算法,通过 KrigingExecute 以 XMAP 方式设置输入输出参数来执行该算法,其输出结果为栅格数据;最后,再通过 Decision 进行判断,如成功则执行裁剪算法,以 WcsGetCoverage 获取克里金插值的执行结果,通过 GET 方式执行 MaskDescribeProcess 获取裁剪算法,以 MaskExecute 方式设置输入输出参数来执行裁剪功能,最终得到评价成果图。同时,该模型可通过修改 KringExcute 参数来选择插值因子。

2 结果与分析

2.1 评价结果分析

图 7 为 workflow 模型得到的肥力分析结果图。分别为有机质分布图和综合肥力指标 (IFI) 分布图,通过有机质分布图得到研究区大概的有机质分布情况,通过 IFI 图可明显看出研究区的肥力状况。同时,分布图也表明通过 workflow 模型得到的结果和一般插值结果基本无异。因此,通过将土壤数据和功能部署为网络服务,以 workflow 调用部署的服务的方法能实现肥力评价。该方法还使工作者无需依赖本地计算机软硬件,在分布式的情况下也能实现肥力评价,提高了肥力评价的效率。

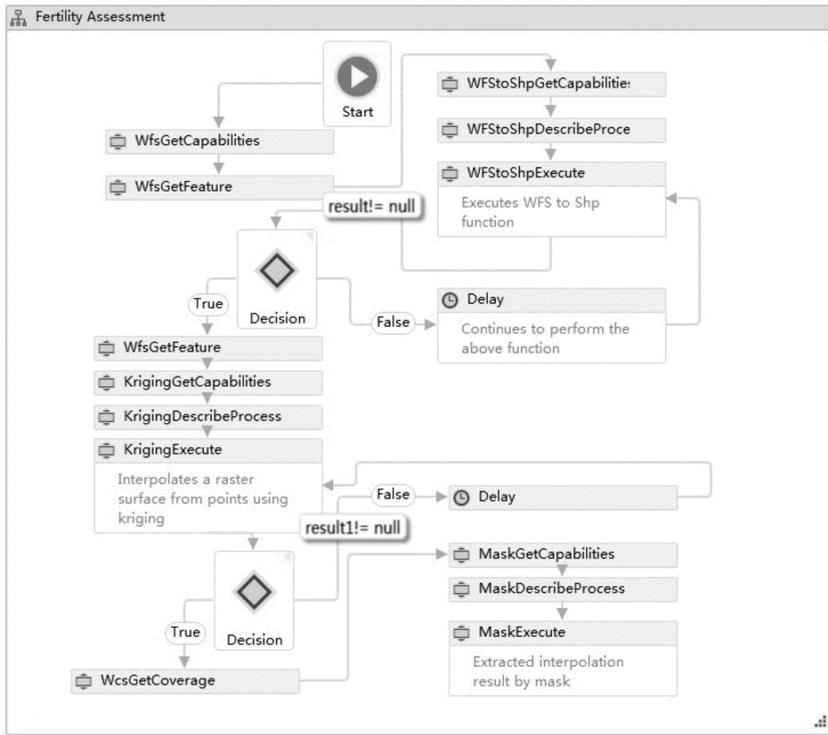
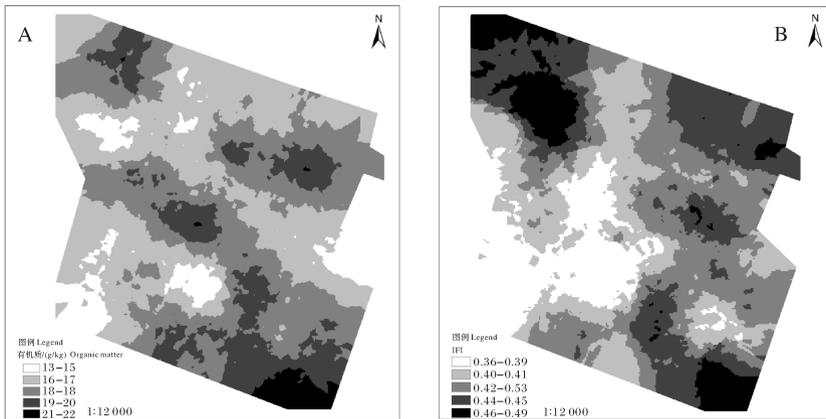


图 6 肥力评价 workflow 模型活动图

Fig.6 The activity diagram of the fertility evaluation workflow model



A: 有机质分布图 Distribution map of organic matter; B: 土壤综合肥力指标分布图 Distribution map of soil integrated fertility.

图 7 红花套镇土壤肥力分析结果图

Fig.7 The result figure of fertility analysis in Honghuatao

2.2 模型重构

图 6 中的模型实现表明该肥力评价 workflow 模型是可用的, 并且模型的构建符合 OGC 标准。用户在本地只需调用该 workflow 模型就可实现肥力评价, 评价结果也能可视化展示, 并且输入数据不同时其结果将发生变化。这样, 一旦肥力评价指标发生变

化, 只需对输入数据 WFS 服务进行重置来获得新的评价结果。

此外, 可以修改原始模型来实现其他扩展功能。例如, 能添加一个提取功能对评价结果进行提取分析, 提取出肥力较高和较低的区域。与肥力评价 WFS 服务部署类似, 将 ESRI 的地图代数功能用

52°North 部署为 WPS 服务,再根据自定义活动以 POST/GET 的方式调用该地图代数服务,将该地图代数活动连接到原 workflow 模型中,可根据参数设置的不同提取出不同的评价结果。例如,设置地图代数参数为:成果图 > 0.45 和成果图 < 0.2 ,成果图 > 0.45 为提取综合肥力指标值大于 0.45 的部分;成果图 < 0.2 为提取综合肥力指标值小于 0.2 的部分^[1]。因此,可通过修改原模型来实现其他扩展功能。

3 讨论

随着 Web 服务标准的提出和不断更新,地学算法从封闭、紧耦合的单机环境向开放、松耦合的地理信息服务方向发展,使得地理信息服务的分布式共享和集成成为 GIS 领域研究重点。目前,已有不少软件能实现地理信息服务的分布式共享,MapServer 和 GeoServer 等开源软件都能部署数据服务,从而将地理空间数据转换为符合开放地理信息服务 OGC 标准的数据形式。52°North 平台被较多地用于部署 WPS 服务,由于 WPS 服务能封装和调用其他现有的符合 OGC 标准服务^[17],使用 WPS 标准可以把 GIS 所有的功能处理模块都部署成 Web Service。OGC 服务的访问是通过 HTTP-GET/POST,以 XML 文档为数据访问形式,对于普通用户使用困难。因此,本研究使用 WWF 的 Activity 的方式进行请求和包装,将需要访问的复杂数据及功能算法包装为活动,通过调用活动来访问数据和功能,能更好地实现人机交换,可适用于普通用户。

工作流与建模技术的发展,为分解复杂问题、重建处理流程提供便利。工作流与网络服务的结合更为网络方式下实现复杂分析提供了技术基础^[12]。工作流平台作为开源平台,可通过自定义活动方法来构建工作流过程需要的任何活动。其自定义活动的好处在于开发的代码段是离散、可分离、可重复用的组件,并能根据需要向用户暴露输入参数,活动一旦测试成功,可采用拖放的方法将其添加到任意的工作流模型中。同时,工作流平台也可通过调用网络服务相关操作来自定义网络服务活动,实现在不同数据和功能来源情况下完成特定任务的目的。基于此,本研究使用自定义活动的方式在工作流平台中调用数据服务和处理服务,实现了基于网络服务的工作流模型构建。

此外,基于 GIS 的肥力评价是目前使用较多的评价方法,但很难在网络环境中实现,仅专业人员安

装专业软件才能完成肥力评价工作。以致该方法只能被专业人员使用,很难实现大众化。本研究根据网络服务的工作流模型构建方法,将肥力评价用到的数据及功能转化为符合网络标准的数据及功能服务,在工作流平台中实现了网络环境下的肥力评价。

本研究根据 OGC Web 服务标准将地理空间数据和算法共享为地理信息服务,为网络计算提供了理论基础;通过工作流方式将地理信息服务研制成活动放入工作流模型,使得地理信息服务在分布式环境下实现互操作和集成成为可能。此外,本研究将 OGC 的具体活动嵌入工作流模型,将应用模型分离成稳定的处理功能和灵活的输入参数,使得模型设计与具体运行分离,易于用户重构和重用,具有可扩展性和实用价值。通过自定义活动将肥力评价模型构建成工作流模型,使工作流模型能调用部署在网络上的数据和功能。该方法验证了以地理信息服务建模的可行性,并能为资源环境评价提供一定的应用价值。但是,该方法仍处于初级阶段,对于分布式环境下工作流活动的异步调用及运行模型的共享机制还需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 孙波,张桃林.我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J].土壤学报,1995,32(4):362-369.
- [2] 刘洪鸽,赵玉明,王秀颖,等.土壤肥力评价方法探讨[J].长江科学院院报,2008,25(3):62-66.
- [3] 徐敬敬.基于 GIS 的崇明土壤养分空间变异及肥力综合评价研究[D].上海:上海交通大学图书馆,2010.
- [4] 王子龙,付强,姜秋香.土壤肥力综合评价研究进展[J].农业系统科学与综合研究,2007,23(1):15-18.
- [5] 骆东奇,白洁,谢德体.论土壤肥力评价指标和方法[J].土壤与环境,2002,11(2):202-205.
- [6] BO S, ZHANG T, ZHAO Q. Comprehensive evaluation of soil fertility in the hilly and mountainous region of southeastern China[J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32: 369-375.
- [7] 任艳,李慧,陈家赢,等.基于 Geoprocessing 的油菜产地肥力自动分析方法[J].华中农业大学学报,2013,32(2):78-83.
- [8] DU C, ZHOU J. Evaluation of soil fertility using infrared spectroscopy: a review[J]. Environmental Chemistry Letters, 2008, 7(2): 97-113.
- [9] ALEXIS S, GARCIA-MONTERO G, HERNANDEZ A J, et al. Soil fertility and GIS raster models for tropical agroforestry planning in economically depressed and contaminated Caribbean areas (coffee and kidney bean plantations)[J]. Agroforestry Systems, 2010, 79(3): 381-391.
- [10] MOWO J, JANSSEN B, OENEMA O, et al. Soil fertility evaluation and management by smallholder farmer communities in

- northern Tanzania [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 116(1/2): 47-59.
- [11] 范协裕, 任应超, 唐建智, 等. 基于 OGC 数据服务的空间信息处理服务平台[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29(9): 3353-3355.
- [12] 谢斌, 俞乐, 张登荣. 基于 GIS 服务链的遥感影像分布式融合处理[J]. *国土资源遥感*, 2011(1): 138-142.
- [13] MICHAELIS C D, AMES D P. Evaluation and implementation of the OGC web processing service for use in client-side GIS [J]. *Geoinformatica*, 2008, 13(1): 109-120.
- [14] 姜超, 徐青, 孙庆辉, 等. 基于 OGC WPS 的 GIS 空间分析方法[J]. *测绘科学*, 2011, 36(6): 198-200.
- [15] NOGUERAS-ISO J, ZARAZAGA-SORIA J, BEJAR R, et al. OGC catalog services: a key element for the development of spatial data infrastructures [J]. *Computers & Geosciences*, 2005, 31(2): 199-209.
- [16] 张登荣, 俞乐, 邓超, 等. 基于 OGC WPS 的 Web 环境遥感图像处理技术研究[J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2008, 42(7): 1184-1188.
- [17] LI Q C, LI H W, LIANG R P. Research on building a geographic information services portal oriented web services [C]//Sixth International Symposium on Digital Earth: Models, Algorithms, and Virtual Reality, September 9-12, 2009, Beijing, China. Bellingham, Wash.: SPIE, c2010.
- [18] BUGS G, GRANELL C, FONTS O, et al. An assessment of public participation GIS and Web 2.0 technologies in urban planning practice in Canela, Brazil [J]. *Cities*, 2010, 27(3): 172-181.
- [19] GRANELL C, DIAZ L, GOULD M. Service-oriented applications for environmental models: reusable geospatial services [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, 25(2): 182-198.
- [20] 李红臣, 史美林. workflow 模型及其形式化描述 [J]. *计算机学报*, 2003, 26(11): 1456-1463.
- [21] 陈小红, 段争虎, 谭明亮. 沙漠化逆转过程中土壤理化因子的权重分析—以宁夏盐池县为例 [J]. *土壤通报*, 2009, 40(6): 1280-1283.

Implementing workflow of the soil fertility evaluation model based on geographic information services

REN Yan^{1,2} CHEN Lan-kang² CHEN Jia-ying¹ ZHANG Hai-tao¹ ZHANG Ke¹

1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Land Surveying and Mapping Institute, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530000, China

Abstract The traditional desktop-based fertility evaluation was affected by the frequently updated data, the complex operations and so on. The impact was difficult to obtain real-time evaluation results. According to the workflow technology and Open Geospatial Consortium (OGC) specification, a method was proposed to achieve fertility evaluation in the network environment. All data acquisition and processing functions in this method are packaged into OGC-compliant services. By calling the service-related operations, each operation will be converted to comply with OGC standard's activities in workflow platform. In this way, it will be able to realize automatic processing function connecting the operation activities. In order to verify the method, the soil data of Honghuatao Town in Yidu City, Hubei Province was used as an example to achieve soil fertility evaluation under the network environment. The example deployed all soil data into data services and procedures related to fertility evaluation into WPS services. The results showed that the combination of the geographical information service with the workflow technology could realize the fertility evaluation under the network environment and improve the efficiency of the fertility evaluation.

Key words Open Geospatial Consortium; geographic information services; workflow; fertility evaluation model