

# Resultados del proyecto AWARE: Reutilización de procesos científicos en una IDE

Laura Díaz<sup>1</sup>, Carlos Granell<sup>1</sup>, Michael Gould<sup>1</sup>, Victor Pascual<sup>2</sup>, Jordi Guimet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universitat Jaume I  
{laura.diaz, carlos.granell, mgould}@uji.es

<sup>2</sup> Centre de Soporte IDEC, Institut Castogràfic de Catalunya  
{victor.pascual, jordi.guimet}@icc.cat

## Resumen

Los modelos medioambientales requieren procesos largos de recopilación de datos, formateo y análisis. Muchos de estos datos son datos geo-espaciales de modo que el flujo de trabajo a menudo implica el uso de varias aplicaciones GIS de escritorio y paquetes de teledetección con compatibilidad limitada entre ellos. Avances recientes en las arquitecturas orientadas a servicio (SOA) permiten la migración de sistemas dedicados de escritorio a servicios basados en estándares que procesan los datos de forma remota y distribuida devolviendo los resultados como parámetros a otros servicios y/o al modelo que puede también estar disponible en Web. Este trabajo presenta una aplicación orientada a servicios que analiza problemas de acceso e interoperabilidad de datos y servicios distribuidos para modelos medioambientales. Las funcionalidades requeridas de los modelos se implementan como servicios geo-espaciales que se combinan y componen para formar otros servicios y aplicaciones en contextos similares. Este trabajo se lleva a cabo en el proyecto AWARE financiado por el programa europeo Global Monitoring for Environment and Security (GMES). Mostraremos los resultados de la aplicación orientada a servicios aplicada a la estimación del caudal de agua utilizando modelos de escorrentía por el deshielo en la zona alpina, incluyendo el uso de los servicios geo-espaciales para el descubrimiento, acceso, visualización y procesamiento de datos de manera distribuida.

**Palabras clave:** procesamiento distribuido, interoperabilidad, INSPIRE.

## 1 Introducción

A la hora de ejecutar modelos medioambientales, como los modelos para la estimación de la disponibilidad de agua, el primer paso es recopilar todos los datos necesarios procedentes de fuentes heterogéneas e interpretarlos para la toma de decisiones [1][2]. En la práctica, los expertos emplean demasiado tiempo recuperando e integrando estos datos, en lugar de analizando y tomando decisiones [1][2][3][4].

En el mundo geo-espacial el acceso y la interoperabilidad de datos esta siendo tratado por las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), las cuales por medio de servicios estándares e interoperables ofrecen interfaces homogéneas para el descubrimiento, acceso y visualización de los datos, etc. A través de estos servicios estándares, para el descubrimiento, acceso y visualización, la comunidad científica puede solucionar parte de su problema, aún así, necesitan extraer la información necesaria para la toma de sus decisiones, es decir, necesitan las herramientas adecuadas para ejecutar sus modelos. Tradicionalmente, los ejecutan usando diferentes herramientas GIS instaladas localmente que no suelen ser compatibles entre sí, y cuyos resultados parciales deben ser integrados de forma manual.

En [5] se señala la necesidad de una nueva generación de aplicaciones medioambientales, migrando del uso de programas stand-alone, hacia el uso de geo-servicios distribuidos haciendo uso de tecnologías emergentes como los servicios web [6] y Grid [7], y enfatizan la necesidad de la modularidad y la reutilización mediante el desarrollo de aplicaciones como un conjunto de servicios conectados.

En la actualidad la tendencia en las aplicaciones geoespaciales es la de implantar IDEs siguiendo el paradigma de la Arquitecturas Orientadas a servicios (en inglés, SOA) cuyo objetivo se centra fundamentalmente en facilitar el acceso a datos y servicios espaciales así como en coordinar el intercambio de dichos datos y servicios entre usuarios de diferentes niveles jurisdiccionales, haciendo posible en última instancia que los mismos datos y servicios sean compartidos entre múltiples usuarios. En este mismo contexto, la directiva, de la Comisión Europea, INSPIRE [8], establece el marco legal para la creación e implantación de la Infraestructura de Información Espacial en la Comunidad Europea, la cual debe basarse en las infraestructuras de información espacial creadas por los Estados miembros. La arquitectura técnica de INSPIRE define entre otras cosas la funcionalidad básica para los diferentes tipos de servicio en las IDEs, y actualmente está en proceso de elaboración de borradores para las normas de implementación.

Los resultados presentados en este trabajo se han desarrollado en el contexto del proyecto AWARE (A tool for monitoring and forecasting Available Water Resource in mountain environments)<sup>1</sup>, perteneciente a la iniciativa GMES (Global Monitoring for environment and security) y financiado por la Unión Europea. Hemos construido una aplicación Web distribuida exponiendo modelos hidrológicos como una cadena controlada de servicios Web de procesamiento. A la vez que proponemos una metodología para añadir esta capacidad de procesamiento, necesaria para los usuarios expertos, sobre las IDEs basadas en la arquitectura técnica de INSPIRE.

## **2 Trabajo relacionado**

Existen cantidad de aplicaciones y herramientas para interactuar con modelos medioambientales, la mayoría de ellas se construyen como extensiones de aplicaciones de escritorio conocidas [9][10][11]. Contrastando con estas aplicaciones, podemos encontrar soluciones Web distribuidas construidas sobre visores de mapas que visualizan conjuntos de datos [12][4], de repositorios estáticos de datos o como resultado de aplicar transformaciones dinámicas.

Una tendencia actual de ciencia colaborativa en la Web es el concepto reciente de Web Science [13][14]. Este término, cubre herramientas, representaciones de datos, infraestructuras, mecanismos, etc. para realizar de forma sencilla y eficiente el descubrimiento, integración, procesamiento y análisis de datos desde fuentes de datos heterogéneas y distribuidas.

La aproximación de los Sistemas de Información Geográfica distribuidos a SOA se representa mediante el paradigma IDE, en la que interfaces estándares son la clave para permitir a los servicios geo-espaciales comunicarse unos con otros de forma interoperable respondiendo a las necesidades de los usuarios [15][16][17].

Como se describe en la sección 4, la visión de crear y reutilizar servicios [18] es nuestra estrategia para el desarrollo de aplicaciones orientadas a servicio dentro del paradigma INSPIRE/SDI/SOA para minimizar problemas de accesibilidad e interoperabilidad de datos y servicios.

En el dominio geo-espacial [17] fue uno de los primeros en abordar el problema de la composición y encadenamiento de servicios. Otros trabajos más recientes,

---

<sup>1</sup> [www.aware-eu.info](http://www.aware-eu.info)

como el de [19], presentan un modelo basado en servicios para aplicaciones Web GIS interoperables que frecen componentes GIS elementales implementados como servicios Web XML que pueden estar distribuidos en diferentes servidores e integrados en aplicaciones clientes cuando sea necesario. El uso de interfaces estándares de servicio no esta contemplado al contrario que la solución propuesta en este trabajo.

La especificación OGC WPS (Web Processing Service) ofrece una interfaz Standard para servicios de procesamiento distribuido en las IDEs. Trabajos como el de [16][20] hablan sobre los servicios de procesamiento basado en esta especificación. [15] proponen una aproximación similar a la nuestra para procesamiento distribuido en IDE en termino de arquitecturas abiertas, aunque ellos proponen una solución diferente para crear servicios geoespaciales concentrando toda la funcionalidad requerida en una aplicación en un servicio geoespacial grueso. Este sistema que gana en eficiencia pierde en flexibilidad y reutilización. Nosotros optamos por una solución diferente, creando una librería de servicios estándares de procesamiento con granularidad variable como compromiso entre reutilización y eficiencia para la creación y exposición de modelos científicos como servicios distribuidos.

### **3 Diseño del Sistema**

Esta sección describe el diseño de la arquitectura propuesta para construir la aplicación AWARE, esta arquitectura orientada a servicios aborda la falta de accesibilidad e interoperabilidad de datos y herramientas.

#### **3.1 Arquitectura**

La aplicación AWARE integra un conjunto de componentes acomodados en una arquitectura orientada a servicios compuesta de tres capas conforme a los principios de INSPIRE.

La Figura 1 muestra esta arquitectura, donde podemos ver las diferentes capas; la capa del geoportal con componentes embebidos en dos subcapas: La capa de Presentación (cajas azul claro) y la capa de Aplicación (azul oscuro), la primera se encarga del interfaz de usuario, la última de la integración e invocación de servicios. La capa de servicios esta formada por un conjunto de servicios distribuidos de diferentes tipos, cada instancia de servicios es una implementación de un tipo de servicio según los tipos de servicio INSPIRE.

La capa de datos esta compuesta por bases de datos de datos y metadatos. Esta solución multi-capa es común en otras aplicaciones Web GIS [19][21].

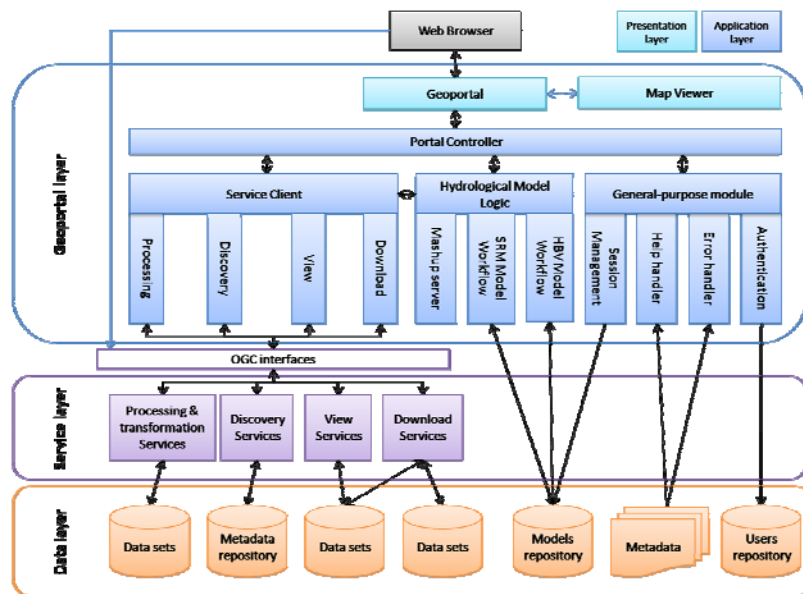


Figura 1. Arquitectura AWARE

### 3.2 Interoperabilidad de datos y servicios

La aplicación AWARE aporta dos características importantes con respecto a sistemas medioambientales en trabajos relacionados, por un lado incrementa la accesibilidad a los datos porque esta implantada sobre una IDE, de forma que los usuarios pueden encontrar y acceder a datos y servicios dentro de esta IDE, por otro lado la arquitectura propuesta hace posible ofrecer herramientas y operaciones científicas como servicios de procesamiento distribuido bajo interfaces estándares (ver sección 4).

Además el Geoport AWARE proporciona un punto de entrada e integración para el descubrimiento y recopilación de datos junto con servicios para el procesamiento de datos (ver sección 5), lo que facilita la combinación e integración de todo esto en la misma aplicación, al contrario de la forma tradicional en la que todo esto se lleva a cabo de forma separada [5].

En la figura 1, podemos ver como la capa de servicios contiene servicios definidos según los tipos de servicios definidos por INSPIRE, cada tipo define una funcionalidad concreta. En la misma figura podemos ver como desde la capa del geoport se accede a la capa de servicios mediante el modulo de Cliente de Servicios (caja azul oscuro en la parte izquierda). Cada tipo de servicio (discovery, download, processing, etc) usa una interfaz diferente, de forma que hemos desarrollado diferentes conectores (cajas verticales conectadas al Cliente de

Servicio) de forma que nuevas especificaciones y interfaces de servicios pueden ser añadidas, proporcionando una buena escalabilidad al sistema.

### **3.3 Composición de servicios**

En la capa del geoportál dentro de la arquitectura encontramos el módulo para la lógica de los modelos hidrológicos, es en este módulo donde encontramos las cadenas predefinidas de llamadas a los servicios en la capa de servicios para componer los servicios de forma que ejecuten los modelos hidrológicos elegidos por el usuario a fin de conseguir la estimación del caudal de agua. Debido a la complejidad de los modelos estos se estructuran en los grupos de tareas o *workflows*, en la sección 4 veremos como este diseño influye en el diseño de los servicios para encontrar un equilibrio entre reutilización y eficiencia conforme a los requisitos de nuestra aplicación.

## **4 Servicios reutilizables**

El núcleo de la arquitectura AWARE es la capa de servicios donde residen los servicios AWARE. Estos servicios están basados en los tipos de servicios INSPIRE y proporcionan capacidad para encontrar, acceder y procesar los datos de la aplicación, para ejecutar los modelos hidrológicos de forma distribuida.

Para exponer estos modelos como servicios hay que tener en cuenta varias cosas; por un lado tenemos que encontrar la granularidad adecuada de los servicios para maximizar su reutilización a la vez que no disminuimos el rendimiento debido a excesivas llamadas a servicios y por otro lado en cuanto a interfaces de servicios hay que elegir los estándares adecuados para maximizar su uso. A continuación describimos los principios de diseño e implementación de los servicios desarrollados.

### **4.1 Principios de diseño**

El objetivo del proyecto AWARE es proporcionar a los hidrólogos con herramientas distribuidas y reutilizables para monitorizar y predecir la disponibilidad de agua. La metodología desestructurada de los hidrólogos, utilizando diferentes aplicaciones de escritorio ha sido migrada a una colección de servicios estándares accesibles vía Web e integrados en un punto de entrada implementado como un Geoportál. Vamos a describir la estrategia de diseño de servicios para exponer modelos científicos, concretamente hidrológicos.

En el contexto AWARE la estrategia de diseño de servicios ha seguido una metodología top-down, en el sentido en el que junto con el equipo de hidrólogos, los tecnólogos hemos desglosado los modelos hidrológicos en piezas cada vez más pequeñas para identificar los procesos más relevantes. Esta metodología recursiva continúa hasta encontrar el nivel adecuado de granularidad para cada proceso. El criterio para parar esta descomposición es considerar al proceso con una funcionalidad indivisible según nuestro escenario y requisitos de aplicación. Cada uno de estos procesos se expone dentro de un servicio de procesamiento. Estos procesos que implementan una funcionalidad básica pueden ser reutilizados en diferentes workflows dentro de la aplicación y además en otros escenarios. Esta metodología esta relacionada con las tareas de los workflows de los modelos ejecutados en la capa de aplicación. Como comentábamos en la sección 3.3 los workflows científicos proporcionan un mecanismo de composición en la capa de aplicación para exponer los modelos medioambientales como una cadena de llamadas a servicios distribuidos.

Tras identificar estas tareas básicas y exponerlas como procesos, en la capa de aplicación encontramos cadenas de tareas que se repiten a lo largo del modelo. Una practica recursiva en los desarrollos de aplicaciones GIS y en SOA en general es combinar operaciones elementales en herramientas más complejas para tratar requisitos específicos, ya que esto disminuye el tráfico de red, o la sobrecarga de llamadas a servicios. Para ilustrar esto con un ejemplo, tenemos la tarea de ElevationZones, cuyo diagrama de secuencia vemos en la figura 2.

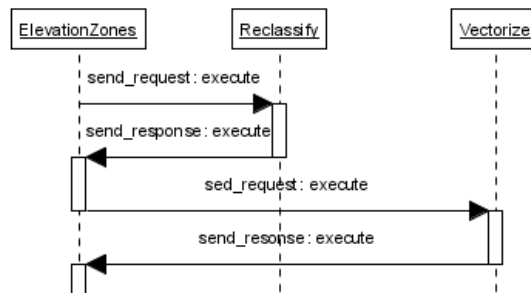


Figura 2. Diagrama de secuencia del proceso ElevationZones

Esta tarea consiste en invocar a los de procesos de Reclassify y Vectorize. Estos han sido expuestos dentro de un servicio para su reutilización. Como esta secuencia conjunta también se repite a lo largo del modelo, para reducir las llamadas a servicios, podemos integrarlos y formar un proceso de un nivel de granularidad mayor. En términos de reutilización cuanto mas fino (básico) es el proceso es

mejor, sin embargo para encontrar un balance entre reutilización y rendimiento diseñamos servicios de diferentes niveles de granularidad.

Una vez definida la funcionalidad de cada proceso, estos se agrupan según la similitud y se integran en un mismo Servicio Web de Procesamiento, de forma que cada proceso queda envuelto con una interfaz estándar, cada uno de estos servicios se identifica por un tipo de servicio AWARE que derivan directamente de los tipos de servicios INSPIRE.

La Tabla 1 muestra un listado de los servicios disponibles en la capa de servicio de AWARE, así como su tipo conforme a la clasificación de INSPIRE y los procesos disponibles en el caso de los servicios de procesamiento.

<b>Servicio AWARE</b>	<b>Tipo / Specification</b>	<b>Procesos</b>	<b>Descripción</b>
Catalogue	<i>Discovery</i> / OGC Catalogue Service for Web (CSW)	N/A	Buscar datos catalogados sobre las áreas de estudio en el proyecto AWARE.
Web Map	<i>View</i> / OGC Web Map Service (WMS)	N/A	Mapas de los datos de las áreas de estudio.
Chart	<i>View</i> / OGC Web Processing Service (WPS)	Depletion Curves Plot Discharge Plot, HBV Runoff Plot, HBV SWE Plot, Sensor Data Chart	Creación de diferentes diagramas y gráficas.
Web Feature	<i>Download</i> / OGC Web Feature Service (WFS)	N/A	Datos vectoriales en GML) sobre las áreas de estudio
Coordinate Transformation	<i>Processing</i> / WPS	TransCoordGMLPoint, TransCoordPoint, TransCoordPoint7P	Conversión de coordenadas
Data Conversion	<i>Processing</i> / WPS	Shp2GML	Conversión de formatos
Topology	<i>Processing</i> / WPS	Area, Intersection, Buffer, Max Extent, Snow Percentage, Get Feature By Attribute, Thiessen	Operaciones topológicas y de interpolación
Sextante	<i>Processing</i> / WPS	Coordinate Elevation, Stations Elevation, Elevation Curves, Elevation Zones,	Operaciones para el procesamiento de imágenes, sobre todo MDT



		Hypsometric Elevation, Reclassify, Vectorize	
IDL	Processing / WPS	Snow Interpolation, Calibration, Simulation, K Coefficient Computation	Operaciones de interpolación y calibración de parámetros, ejecutadas en motores de IDL.

*Tabla 1. Servicios AWARE*

#### 4.2 Principios de implementación

Según INSPIRE los servicios diseñados y desplegados en una IDE deben implementar en la medida de lo posible los estándares existentes. Open Geospatial Consortium (OGC) es una organización que define especificaciones de interfaces de servicio que han demostrado ser suficiente maduras como para convertirse en estándares de facto dentro del mundo GIS.

La especificación OGC Web Processing Service (WPS), ofrece una interfaz que proporciona los métodos necesarios para ejecutar cualquier tipo de proceso de forma remota y distribuida. Los servicios de procesamiento implementados según el OGC WPS permiten acceder y compartir rutinas de procesamiento remoto. De esta forma los usuarios pueden compartir no solo datos sino también los algoritmos que los procesan y ayudan a la toma de decisiones haciendo más eficiente el trabajo de los expertos en el contexto de las Infraestructuras de Datos Espaciales. La comunicación se realiza fácilmente utilizando conexiones http y xml garantizando la interoperabilidad y la independencia entre sistemas. Por lo tanto, para ofrecer nuestros servicios de procesamiento con una interfaz estándar y de fácil integración dentro de una IDE, hemos adoptado esta especificación para envolver los procesos científicos que serán expuestos como servicios WPS. En la tabla 1 se muestra la interfaz OGC elegida para cada uno de los servicios AWARE.

De todas las implementaciones de la norma OGC WPS que existen, hemos utilizado 52North WPS<sup>2</sup>, ya que ofrece un marco donde se puede implementar de forma sencilla los procesos necesarios para la ejecución de los modelos hidrológicos y exponerlos como servicios. Para la implementación de cada uno de los procesos hemos utilizado, en la medida de lo posible, librerías de código abierto existentes que proporciona la funcionalidad buscada como Geotools, JTS, Sextante y JFreeChart, al igual que hemos envuelto con esta interfaz rutinas existentes en

<sup>2</sup> <http://52north.org/maven/project-sites/wps/52n-wps-webapp/>

sistemas ya implantados (legacy software). En el caso de no existir software libre con la funcionalidad requerida, la hemos desarrollado.

Para acceder e invocar esta librería de servicios de procesamiento distribuido hemos desarrollado una API que implementa el interfaz de la parte cliente de un OGC WPS, implantado en la arquitectura (figura 1) como un conector en el modulo de clientes de servicio en la capa del Geoportal.

## **5 Aplicación AWARE**

El Geoportal AWARE actúa de interfaz de usuario y permite a los científicos la introducción de datos y ejecución de los modelos hidrológicos. Este Geoportal contiene unos módulos que se encargan de componer los diferentes servicios existentes para la ejecución de los modelos hidrológicos concretos, como hemos descrito en la sección 3.1. El WPS API (conector de geoprocessing en figura 1) permite al Geoportal acceder a estos WPS, obtener las descripciones de los procesos que proporcionan y por ultimo ejecutarlos mandando los parámetros adecuados y obtener los resultados de los procesos.

En la figura 3 podemos observar como desde el geoportal, los expertos hidrólogos pueden introducir sus parámetros y ser guiados a través del asistente, mientras que el geoportal se encargará de ejecutar estos modelos hidrológicos como una secuencia de llamadas a los servicios web de procesamiento disponibles, preparando los datos para ser mostrados con los resultados que espera el usuario.

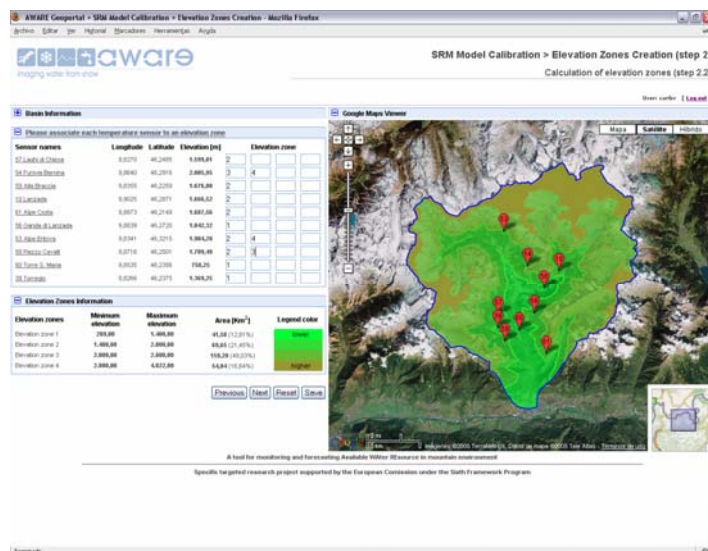


Figura 3. Geoportal AWARE

## 6 Conclusiones

Este trabajo demuestra parcialmente la madurez de los estándares OGC para la implementación de servicios con capacidad de procesamiento. Estos servicios estándares ofrecen procesos científicos que sirven como herramientas para extraer información necesaria para la toma de decisiones por parte de expertos. Estas herramientas pueden ser compartidas y reutilizadas en múltiples contextos y escenarios ya que ofrecen funcionalidades potencialmente útiles en diferentes dominios a través de servicios estándares, garantizando de este modo la interoperabilidad entre sistemas. Esto posibilita la creación de aplicaciones científicas distribuidas mediante el uso de los servicios ofrecidos por una IDE.

Además esta red de servicios estándares de procesamiento implementada dentro de un proyecto GMES y siguiendo la arquitectura técnica de INSPIRE, puede tener el valor añadida de poder ser accesible y reutilizada en sistemas mayores, cuyo propósito es crear e interconectar herramientas para monitorizar el medioambiente, tales como SEIS y GEOSS.

**Agradecimientos.** Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto AWARE (SST4-2004-012257) de la Unión Europea, dentro del programa GMES.

## Referencias

- [1] Denzer, R. Generic integration of environment decision support systems – state-of-the-art. *Environmental Modelling & Software*, 20(10): 1217-1223 (2005)
- [2] Liu, Y., Gupta, H., Springer, E., Wagener, T. Linking science with environmental decision making: Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management. *Environmental Modelling & Software*, 23(7):846-858 (2008)
- [3] McColl, C., Aggett, G. Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support. *Journal of Environmental Management*, 84(4): 494-512 (2007)
- [4] Goodall, J.L., Horsburgh, J.S., Whiteaker, T.L., Maidment, D.R., Zaslavsky, I. A first approach to web services for the National Water Information System. *Environmental Modelling & Software*, 23(3): 304-401 (2008)
- [5] Mineter, M.J., Jarvis, C.H., Dowers, S. From stand-alone programs towards grid-aware services and components: a case study in agricultural modelling with interpolated climate data. *Environmental Modelling & Software*, 18(4): 379-391 (2003)
- [6] Alonso, G., Casati, F., Harumi, K., Machiraju, V. *Web Services. Concepts, Architectures and Applications*. Springer, Heidelberg (2004)
- [7] Foster, I., Kesselman, C., Tuecke, S. The anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organisations. *International Journal of Supercomputer Applications*, 15, 200-222 (2001)
- [8] INSPIRE EU Directive. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007. *Official Journal of the European Union*, L 108/1, Volume 50, 25 April 2007. (2007)
- [9] Best, B. D., Halpin, P. N., Fujioka, E., Read, A.J., Qian, S.S., Hazen, L.J., Schick, R.S. Geospatial web services within a scientific workflow: Predicting marine mammal habitats in a dynamic environment. *Ecological Informatics*, 2(3): 210-223 (2007)
- [10] Teng, J., Vaze, J., Tuteja, N. K., Gallant, J.C. A GIS-Based Tool for Spatial and Distributed Hydrological Modelling: CLASS Spatial Analyst. *Transactions in GIS*, 12(2): 209-225 (2008)

- [11] Jeong, S., Liang, Y., Liang, X. Design of an integrated data retrieval, analysis, and visualization system: Application in the hydrology domain. *Environmental Modelling & Software*, 21(12): 1722-1740 (2006)
- [12] Soh, L-K, Zhang, J., Samal, A. A Task-Based Approach to User Interface Design for a Web-Based Hydrologic Information Systems. *Transactions in GIS*, 10 (3): 417-449 (2006)
- [13] Berners-Lee, T., Hall, W., Hendler, J., Shadbolt, N., Weitzner, D.J. Creating a Science of the Web. *Science*, 313: 769-771 (2006)
- [14] Shneiderman, B. Web Science: A Provocative Invitation to Computer Science. *Communication of ACM*, 50(6): 25-27 (2007)
- [15] Friis-Christensen, A., Ostländer, N., Lutz, M., Bernard, L. Designing Service Architectures for Distributed Geoprocessing: Challenges and Future Directions. *Transactions in GIS*, 11(6):799-818 (2007)
- [16] Kiehle, C., Greve, K., Heier, C. Standardized Geoprocessing - Taking Spatial Data Infrastructure one Step Further. In *Proc. of the AGILE Conference on Geographic Information Science*, Visegrád, Hungary, University of West Hungary (2006)
- [17] Alameh, N., 2003. Chaining Geographic Information Web Services. *IEEE Internet Computing*, 7(5): 22-29
- [18] Foster, I. Service-oriented science. *Science*, 308 (5723), 814-817 (2005)
- [19] Chang, Y-S, Park, H-D. XML Web Service-based development model for Internet GIS applications. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(4): 371-399 (2006)
- [20] Yang, C., Li, W., Xie, J., Zhou, B. Distributed geospatial information processing: sharing distributed geospatial resources to support Digital Earth. *International Journal of Digital Earth*, 1(3):259-278 (2008)
  
- [21] Moreno-Sanchez, R., Anderson, G., Cruz, J., Hayden, M. The potential for the use of Open Source Software and Open Specifications in creating Web-based cross-border health spatial information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(10): 1135-1163 (2007)