

Modelado de simulación hidrológica utilizando un enfoque de desarrollo basado en componentes

Urciuolo Adriana, Iturraspe Rodolfo, Rosanigo Beatriz, Parson Ariel, Moyano Ezequiel, Villarreal Martín

urciuolo@tdfuego.com, iturraspe@tdfuego.com, brosanigo@infovia.com.ar, a-parson@infovia.com.ar, ezemoyano@infovia.com.ar, martinvillarreal@hotmail.com

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco – Sede Ushuaia, Darwin y Canga, (9410) Ushuaia. TE/FAX: 430892. e-mail:

Resumen

Como resultado de las características del proceso evolutivo del paradigma hidrofornática, no se dispone de *arquitecturas de software* que faciliten la construcción de aplicaciones de modelación de simulación hidrológica flexibles. En el Proyecto que se lleva adelante en una línea de investigación de Sistemas de Información ambiental por parte de un equipo de la Sede Ushuaia de la UNPSJB (desarrollado en el marco del proyecto internacional EPIC-FORCE financiado por la Unión Europea), se pretende desarrollar una arquitectura de software basada en componentes para la construcción de modelos de hidrología, aplicables a cuencas de la región andino-patagónica. La arquitectura definida podrá ser ajustada mediante la implementación de componentes básicos para un modelo simple, cuya validación se realice con los resultados obtenidos del modelo SHETRAN de la Universidad de Newcastle, siendo luego posible el desarrollo de modelos más complejos incorporando nuevos componentes.

Introducción

Debido a las limitaciones en las técnicas de medición de fenómenos del mundo real, modelos de simulación de diferentes tipos proveen medios de extrapolación cuantitativa o predicción, que permiten simular estados de un sistema hidrológico real cuando no hay datos disponibles en el espacio o en el tiempo y conocer el impacto de futuros cambios hidrológicos, ayudando de este modo a los tomadores de decisión ambiental [1].

Un *modelo hidrológico* es una representación simplificada del sistema real cuyo objetivo es estudiar la operación del sistema y predecir su salida. Sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas con las salidas, las cuales pueden expresarse como función del tiempo [2]. Abarcan una gran diversidad de problemas y funcionalidades tales como modelado de ríos y cuencas, calidad de aguas, predicción de crecidas, riesgos hidrológicos, etc. [3].

Los modelos computacionales aplicables a este dominio sufrieron un proceso de cambios y evolución, determinado por los avances en la computación, a los cuales se fueron adaptando. A su vez, estos cambios influyeron en las actividades de ingeniería que utilizaron estos modelos [4].

Si bien existe una gran diversidad de modelos hidrológicos, en este trabajo el análisis se focaliza en los modelos lluvia-escorrentía, los cuales estiman el caudal a la salida de un sistema hidrológico (cuenca, área de aporte, lago, etc.) a partir de la precipitación y otras variables meteorológicas.

El software del dominio provee una gran diversidad de modelos basados en diferentes métodos de cálculo para cada uno de los procesos hidrológicos a simular: infiltración, escurrimiento superficial, propagación de caudal, etc. Los más modernos ofrecen facilidades para su integración a SIG [5] (Sistemas de Información Geográfica) a través de interfaces [6]. No obstante, en general los modelos existentes ofrecen poca flexibilidad para la configuración de los escenarios de simulación a ejecutar [7]. La mayoría de ellos presentan características estáticas, exigiendo al usuario definir de antemano los procesos, métodos y parámetros que serán utilizados en la sesión de simulación. De acuerdo a esto, una necesidad que se observa en esta etapa de la evolución del software del dominio

es la de proveer mayor flexibilidad a los modelos para la configuración de escenarios, permitiendo a los usuarios la construcción del sistema a simular mediante una selección libre y ágil de los objetos, procesos hidrológicos y métodos de cálculo que se desee utilizar para el caso particular.

A pesar de los grandes avances existentes en el paradigma, no se cuenta con *arquitecturas de software* para la construcción de nuevas aplicaciones en forma flexible. Cada nuevo modelo que se desarrolla implica un gran esfuerzo cooperativo de diferentes instituciones.

Si bien ya se han utilizado en el dominio técnicas OO [8] [9] y se ha avanzado en la utilización de patrones conceptuales [10] y en la construcción de frameworks para modelación hidrológica [11] incluso orientados a la toma de decisión [12], en la actualidad, a los fines de brindar soluciones apropiadas a los problemas expuestos, se requiere de enfoques flexibles que provean un grado de modularidad e independencia apropiada para la complejidad que presenta el dominio.

En los últimos años, el Desarrollo de software basado en componentes emergió como una importante solución al problema del desarrollo de sistemas grandes y complejos. Los componentes de software son piezas de software autocontenidas, reusables, accesibles sólo a través de interfaces bien definidas [13]. En contraste con la integración tradicional de sistemas, los componentes se diseñan desde un comienzo para ensamblarse en una variedad de configuraciones.

Una de las grandes ventajas de los componentes es la reusabilidad. Un reuso efectivo depende no sólo de la identificación apropiada de los componentes, sino del modo en que dichos componentes son combinados y organizados. Las arquitecturas de software basadas en componentes brindan el soporte para la integración de “partes” en sistemas mayores, facilitando la definición de una estructura de ensamblado adecuada. El empleo de esta técnica de desarrollo de software requiere por lo tanto de un cuidadoso modelado arquitectural y análisis, a los fines de asegurar reusabilidad y compatibilidad entre componentes interactuantes. En este enfoque el énfasis está centrado en la arquitectura, el diseño de dependencias entre componentes y el manejo de las mismas [14].

Considerando lo expuesto, en el presente proyecto se plantea la definición de una arquitectura de software basada en componentes que facilite la construcción flexible de escenarios para la modelación hidrológica de cuencas. Se enfatiza el desarrollo de componentes que puedan ser validados en base a los resultados obtenidos de la aplicación del modelo SHETRAN en las cuencas de Tierra del Fuego, en el marco de las actividades del Proyecto EPIC FORCE.

Temas de investigación y desarrollo

El Proyecto se desarrolla en la Facultad de Ingeniería de la Sede Ushuaia de la UNPSJB con el aval de la Secretaría de Ciencia y Técnica, en el marco del Proyecto EPIC FORCE (EVIDENCE-BASED POLICY FOR INTEGRATED CONTROL OF FORESTED RIVER CATCHMENTS IN EXTREME RAINFALL AND SNOWMELT, 2005/2008) que se lleva adelante por un consorcio de equipos de investigación de 7 países, coordinado por la Universidad de Newcastle, con financiamiento de la Unión Europea (cuyo objetivo es brindar estrategias de manejo integrado del agua y el bosque a la escala de la cuenca hídrica, a través del desarrollo de políticas basadas en evidencia científica).

El objetivo del Proyecto UNPSJB es desarrollar una arquitectura de software basada en componentes para la construcción de modelos hidrológicos de cuencas hídricas, que permita la incorporación flexible de los principales elementos físicos característicos de las mismas y facilite su integración a SIG.

El Proyecto incluye los siguientes componentes principales:

- 1) Hidrología: Análisis de los principales componentes físicos en dos cuencas piloto, para su modelado conceptual.
- 2) Informática: Desarrollo de una arquitectura de software basada en componentes para la construcción de modelos de hidrología a ser aplicados en las cuencas de la región, factibles de ser validados en las dos cuencas piloto definidas para el Proyecto EPIC FORCE, según distintos escenarios.

El grupo de trabajo es multidisciplinario, por cuanto es necesaria la participación de expertos del dominio, a los fines de proveer un adecuado conocimiento del mismo, dada su complejidad. Parte del grupo ha trabajado en proyectos anteriores vinculados al tema en la Sede Ushuaia de la UNPSJB, integrando así, un equipo de investigación en Sistemas de Información Ambiental.

El Proyecto se estructura de la siguiente forma: comprende dos partes diferenciadas vinculadas a distintas disciplinas, las cuales interactúan en forma permanente: 1) Análisis hidrológico de las cuencas piloto y 2) Definición de una arquitectura basada en componentes para la modelación de dichas cuencas. Una tercera parte corresponde a la validación de los componentes y la arquitectura obtenidos. Los temas que se investigan en cada componente del Proyecto son:

1. Análisis Hidrológico de cuencas piloto

Modelo físico de las cuencas piloto

Comprende el análisis de las cuencas piloto, incluyendo sus características físicas y funcionales, con la finalidad de definir parámetros de comportamiento hidrológico de las distintas unidades de estudio y generar series estímulo-respuesta que posibiliten la validación de resultados de modelación. Se utilizan como casos de estudio las cuencas piloto definidas para el Proyecto EPIC FORCE (Cuencas de los arroyos Buena Esperanza y Hambre), de las cuales se dispone información.

Definición de escenarios para la simulación

Se estudian los *componentes básicos* necesarios para la simulación de procesos físicos dominantes en las cuencas piloto, definiendo los métodos hidrológicos necesarios para la implementación de su funcionalidad central. Los mismos podrán ser validados realizando comparaciones con los resultados alcanzados mediante la aplicación del modelo SHETRAN de la Univ. de Newcastle utilizado en el proyecto EPIC FORCE. Se analiza el diseño de *escenarios simples de simulación hidrológica* de las cuencas piloto, que utilicen los servicios e interacciones de los componentes básicos implementados y sean factibles de ser validados.

2. Definición de una arquitectura basada en componentes para la modelación hidrológica de las cuencas de la región.

Se utiliza un enfoque de desarrollo de software basado en componentes, para brindar mayor flexibilidad a la construcción de los escenarios de simulación para la modelación hidrológica de cuencas, lo cual permite el desarrollo de componentes en forma progresiva, a medida que se va obteniendo mayor información y conocimiento de los procesos físicos característicos de las mismas.

Para ello, el grupo de trabajo realiza el estudio de procesos, enfoques y técnicas de desarrollo basado en componentes [15] [16] [17], a los fines de definir las ventajas y desventajas de su utilización en sistemas que modelan la naturaleza. Se ha puesto especial énfasis en el estudio de procesos que utilizan técnicas de modelado UML con extensiones específicas para componentes [18], a los fines de definir adaptaciones y/o extensiones específicas de UML apropiadas para Sistemas de Modelación de Simulación Hidrológica.

Modelado del dominio de conocimiento.

Dada la gran variedad de modelos de hidrología superficial existentes, se ha realizado el análisis de dominio específico correspondiente a los sistemas de modelado de cuencas hídricas. Se utiliza como input el conocimiento obtenido en el Análisis Hidrológico de las cuencas piloto. Se comparan técnicas de análisis de dominio, a los fines de definir su aptitud para el manejo de la complejidad. Se ha utilizado además como base, el modelo del dominio para Sistemas de Información Ambiental definido en [19], realizando su especialización al dominio de modelación de cuencas hídricas.

Se está desarrollado un Perfil básico de UML 2.0 a los fines de empaquetar la terminología y estructuras del dominio.

Análisis arquitectural

Durante esta etapa se realiza el estudio y comparación de diferentes estilos arquitecturales [20], analizando ventajas y desventajas de su utilización para el desarrollo de este tipo de sistemas, así como de arquitecturas existentes y estándares más utilizados en la actualidad, en particular los vinculados al desarrollo de SIG. En base a estos estudios, se definirá la conveniencia de utilización de un determinado estilo arquitectural para el desarrollo de aplicaciones de modelación de cuencas hídricas que facilite su integración a Sistemas de Información Geográfica.

Definición de arquitectura de componentes

Se desarrolla una primera etapa de Identificación de componentes que comprende la descripción inicial de las especificaciones de componentes, así como la especificación de la arquitectura inicial de componentes, los cuales tienen nivel conceptual. En etapas posteriores, se realizará el Análisis de Interacciones entre los principales componentes arquitecturales, determinando cómo los componentes trabajarán juntos para proveer la funcionalidad correspondiente a los *escenarios simples de simulación* planteados.

Se estudian distintas técnicas de especificación de componentes, evaluando las ventajas y desventajas de su utilización en el dominio de aplicación. Una vez especificados los componentes, se procederá a analizar la organización estructural de los mismos, definiendo un modelo de arquitectura de nivel conceptual [21] para el dominio. Se utilizará como base, la arquitectura conceptual para Sistemas de Información Hídrica integrados a Sistemas de Información Ambiental definida en [22].

3. Validación

Se realiza la implementación en Lenguaje Java, de la funcionalidad central correspondiente a los componentes identificados como “básicos” para la construcción de un modelo simple de cuencas, basado en la interacción de procesos elementales para el cálculo del output de un elemento físico de almacenamiento (lago, glaciar, suelo, etc.). Se utilizan para ello las microarquitecturas de diseño para modelos de simulación hidrológicas propuestas en proyectos anteriores del grupo de trabajo, las cuales presentan un nivel de diseño de componentes conceptuales apropiado para su codificación.

Los resultados obtenidos de la utilización de los servicios brindados por los *componentes básicos* serán validados, realizando comparaciones con los resultados obtenidos de la aplicación de los correspondientes módulos del modelo SHETRAN. Una vez probadas las funcionalidades centrales, se utilizará la arquitectura definida para construir un modelo capaz de simular en forma flexible los escenarios definidos, a los fines de validar la arquitectura obtenida.

Formación de Recursos Humanos

En el marco de esta línea de investigación se ha concluido una tesis de Magíster en Ingeniería de Software y se está desarrollando una tesis de Licenciatura en Informática. Asimismo ha sido aprobada la propuesta de una tesis de Doctorado en Ciencias Informáticas.

Conclusiones y trabajos futuros

Se ha avanzado en el estudio de una arquitectura de software apropiada para el dominio de interés, en base al estudio de los objetos y procesos del dominio físico.

Se están estudiando técnicas apropiadas para el desarrollo de componentes que permitan construir modelos hidrológicos de cuencas hídricas con la flexibilidad que se requiere para definir diferentes escenarios de simulación que consideren la diversidad de procesos presentes en una cuenca hídrica,

así como lenguajes para la especificación apropiada de componentes. Se está desarrollando un Perfil UML 2.0 para especificar las estructuras y terminología del dominio.

Si bien ya han sido analizadas algunas posibles arquitecturas para los requerimientos definidos, se deberá continuar estudiando otros estilos para obtener una arquitectura general. Asimismo, se deberán implementar los componentes en lenguaje Java, para validar los resultados de la modelación de cuencas piloto definidas para el Proyecto, en base a la aplicación del modelo SHETRAN en el marco del Proyecto EPIC FORCE: Una vez evaluadas diferentes alternativas de arquitectura se implementará un modelo hidrológico basado en dicha arquitectura, a los fines de obtener una evaluación ajustada.

Bibliografía

- [1] Beven K. *Rainfall-Runoff Modelling*. Wiley, 2000.
- [2] Chow Ven Te. *Hidrología Superficial*. Addison Wesley, 1997.
- [3] Holz P. *Hydroinformatics Systems*. IAHR-EGW Summer School 2000 - Institut für Bauinformatik Brandenburg University of Technology at Cottbus, Germany, 2000.
- [4] Babovic V. *Emergence, Evolution, Intelligence: Hydroinformatics*. PhD Thesis, IHE Delft, Balkema, 1996.
- [5] Laurini R., Thompson D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, 7th printing, 1999.
- [6] Maidment D.R. and Djokic D. *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support*. California: Environmental Research Institute, Incorporated, 2000.
- [7] Urciuolo Adriana, Iturraspe Rodolfo, Parson Ariel “Conceptual Microarchitectures for Hydrologic Simulation Models”. Trabajo presentado en 3^a JIISIC (Jornadas de Ingeniería de Software y del Conocimiento), Valdivia, Chile, Noviembre de 2003. Publicado en Proceedings JIISIC 03 “Ingeniería de Software e Ingeniería de conocimiento”. Pp 167- 174. Publicación de Trabajo extendido en Journal Electrónico de CLEI, 2003-.
- [8] Ichikawa Y., Tachikawa Y., Takara K., Shiiba M. *Object-oriented Hydrological Modeling System*. Proceedings Hydroinformatics 2000, 23-27, Ceder Rapids, IA, USA, 2000.
- [9] Tachikawa Y., Ichikawa Y., Takara K. Development of a macro scale distributed hydrological model using an object-oriented hydrological modeling system. Proceedings Hydroinformatics 2000, 23-27, Ceder Rapids, IA, USA, July 2000.
- [10] Urciuolo A., Iturraspe R., Parson A., Sandoval S. *Patrones conceptuales para Sistemas de Información Hídrica*. Trabajo presentado en el CACIC 2002, Buenos Aires, 2002.
- [11] Wal T. van der & van Elswijk M.J.B. *A generic framework for hydroenvironmental modelling*. Proceedings Hydroinformatics 2000, Ceder Rapids, IA, USA, 2000.
- [12] Blind M., Adrichem B. *Generic Framework Water: An open modelling system for efficient model linking in integrated water management - current status*. Paper presented at the 4th International Eurosime 2001 congress “Shaping Future with Simulation”, 2001.
- [13] Szyperski C. *Component Software. Beyond Object-Oriented Programming*. Addison-Wesley, 1998.
- [14] Cheesman J., Daniels J., *UML Components*. Addison Wesley, 2001
- [15] Apperley, Hofman, Latchem *Service- and Component-based Development: Using the Select Perspective and UML* Addison Wesley, 2003
- [16] Brown A., *Large Scale Component-based development*. Prentice Hall, 2000.
- [17] Heineman G., Council W. *Component Based Software Engineering: Putting the Pieces Together*. Addison Wesley, 2001.
- [18] Cheesman J., Daniels J., *UML Components*. Addison Wesley, 2001
- [19] Urciuolo A., Iturraspe R. *Conceptual Patterns for Water Resources Information Systems*. Journal of Computer Science & Technology, Vol. 3, N° 1, ISTECA La Plata, April 2003.
- [20] Bass L., Kazman R. *Architecture-Based Development*. Technical Report CMU-SEI-99-TR-007, 1999.
- [21] Frankel D. *Model Driven Architecture: Applying MDA to Enterprise Computing*. Wiley Publishing, 2003
- [22] Urciuolo A., Iturraspe R., Parson A., Esteban N. *Arquitectura de software para Sistemas de Información Ambiental*. Trabajo presentado en WICC 2003., 22 y 23 de mayo de 2003, Tandil, Argentina. Proceedings, pp 339-343, 2003.