

# ***Predicción en tiempo real del nivel en una cuenca mediante modelos adaptativos predictivos***

## ***Tema B (primera opción), tema M (segunda opción)***

J.V. Aguilar\*, P. Langarita\*, L. Linares\*\*, J. Rodellar<sup>+</sup>, M. Gómez<sup>++</sup>

\*Grupo de Automatización y Control. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza  
jvaguilar@chebro.org; plangarita@chebro.org

\*\* Grupo de Automatización y Control. SICE, Zaragoza  
llinares@uteebro.com

<sup>+</sup>Grupo de Control, Dinámica y Aplicaciones. Departamento de Matemática Aplicada III.  
Universidad Politécnica de Catalunya- BarcelonaTECH  
jose.rodellar@upc.edu

<sup>++</sup>Grupo FLUMEN. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental.  
Universidad Politécnica de Catalunya- BarcelonaTECH  
manuel.gomez@upc.edu

El problema del agua en España se origina por la desigual distribución de las precipitaciones tanto en el espacio como en el tiempo, lo que reduce su disponibilidad; fruto de esa irregularidad han surgido los efectos asociados de sequía e inundación y su control ha fomentado el desarrollo de importantes infraestructuras hidráulicas cuya seguridad es vital garantizar en situaciones de avenidas. Ante esta situación, y tras las trágicas inundaciones en el Norte y el Levante español al principio de la década de los ochenta del siglo pasado, surgió la necesidad de implantar en las Confederaciones Hidrográficas sistemas automáticos de información hidrológica (SAIH), que permitan disponer de los datos hidrológicos-hidráulicos en tiempo real y Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) [1]. Con los datos proporcionados por el SAIH y con otros datos complementarios (previsiones meteorológicas, reservas de nieve, etc) y, utilizando fundamentalmente modelos matemáticos estos sistemas SAD estiman la evolución temporal de los niveles y los caudales a lo largo de los diferentes ríos de una cuenca hidrográfica. Entre estos modelos, existe uno encargado de describir y calcular la evolución de los caudales a lo largo de los ríos de la cuenca.

Los modelos más utilizados actualmente en operación y distribuidos comercialmente están basados en las leyes de la física. Su fundamento físico los hace muy adecuados para describir con precisión el ciclo hidrológico completo y el proceso de transporte del agua. Cuando se usan para una predicción operacional, sus principales inconvenientes son dos: (1) la precisión en la predicción puede depender significativamente de la calidad de los datos disponibles de la cuenca, de la estimación de los parámetros, la geometría de los cauces y del esquema numérico utilizado; (2) pueden requerir grandes tiempos de cálculo, de forma que se usan normalmente para previsiones a medio o largo plazo con adaptaciones diarias.

Una forma alternativa de superar algunos de estos inconvenientes se ha basado en el uso de modelos del tipo caja negra basados directamente en datos medidos. Estos modelos identifican una relación directa entre variables de entrada y de salida con una reducida visión de la física del proceso. Aunque su capacidad para describir los fenómenos es limitada, su interés está en explotar su simplicidad y el hecho de que necesitan la calibración o identificación de un número reducido de parámetros. Su papel principal es ser utilizados en tiempo real, con un tiempo de operación corto, con fines de predicción a corto plazo o de control del proceso. Redes neuronales y lógica difusa están entre las técnicas más utilizadas recientemente con este propósito [2-8].

Otra propuesta, motivada por la idea de obtener modelos de predicción simplificados, son los llamados modelos mecanicistas [9,10]. En esta línea, se identifican modelos lineales de entrada-salida en tiempo discreto para describir tramos de ríos, donde las entradas son niveles de agua que se estiman a partir de datos pluviométricos. Al final estos modelos proporcionan predicciones en tiempo real de niveles de agua en puntos de consigna sobre

un horizonte temporal futuro. Aunque la metodología se basa en datos y es capaz de suministrar predicciones actualizadas en cada hora, tiene un grado de complejidad que puede ser un inconveniente para su aplicación por operadores que, aún teniendo experiencia práctica, pueden requerir de un alto bagaje matemático para gestionar adecuadamente el esquema completo de predicción en un sistema en operación.

El objetivo de este trabajo es explorar si se puede desarrollar un método de predicción más simple, pero efectivo, operando en un esquema en tiempo real como el considerado en [9,10]. En este artículo, una cuenca de grandes dimensiones se representa mediante un conjunto de modelos adaptativos lineales en tiempo discretos. Cada modelo representa un tramo del río y todos ellos están conectados en cascada: la salida de un sistema es la entrada para el siguiente. Además cada sistema recibe entradas adicionales de un número de estaciones de aforo localizadas a lo largo del río principal y de sus afluentes y suministra su salida a través de una estación de aforo aguas abajo del tramo del río principal. Todas las variables de entradas y salidas son niveles de agua medidas con un período de muestreo de una hora. Este es el modelo de un sistema individual genérico:

$$y(k) = \sum_{i=1}^n a_i(k)y(k-i) + \sum_{i=1}^{m_1} b_{1i}(k)u_1(k-r_1(k)-i) + \dots + \sum_{i=1}^{m_p} b_{pi}(k)u_p(k-r_p(k)-i)$$

donde  $u_i$  e  $y$  denotan las entradas y la salida respectivamente en cada instante de muestreo  $k$ ;  $r_i(k)$  representan los tiempos de retardo entre la salida y las entradas correspondientes, mientras que  $a(k)$  y  $b(k)$  son parámetros. En general los retardos y los parámetros pueden depender del tiempo, tratando de capturar de una forma razonable y práctica las no linealidades de los sistemas. Los parámetros del modelo se actualizan en cada instante de muestreo mediante un algoritmo de adaptación [11].

Los modelos se utilizan para realizar predicciones en tiempo real en cada instante de muestreo sobre un horizonte de predicción que en general tiene una duración igual al tiempo de retardo observado en el tramo. Para mejorar las predicciones, los parámetros adaptados usando información medida en el instante de muestreo se compensan con unos coeficientes de peso generados por un algoritmo de lógica difusa diseñado incorporando datos de análisis de riadas pasadas conservados en la base de datos del sistema de ayuda a la toma de decisiones. El artículo presenta la metodología y analiza su eficacia y su potencial de operación usando datos reales de una riada registrada en el río Ebro por el sistema SAIH.

#### REFERENCIAS

- [1] R. Romeo, A. Linares and E. García, "Flood control in Ebro river basin", in *II Days on Decision Support Systems for Real Time Hydraulic and Hydrological Problems*, Zaragoza, Spain, 2004 (in Spanish).
- [2] L. See and S. Opehshaw, "Applying soft computing approaches to river level forecasting", *Hydrol. Sciences*, vol. 44(5), pp. 763-778, 1999.
- [3] P.C. Young, "Advances in real-time flood forecasting", *Phil. Trans. Royal Soc.: Math. Phys. Eng. Sciences*, vol. 362, pp. 1433-1050, 2002.
- [4] R. Bruen and J. Yang, "Functional networks in real-time flood forecasting – a novel approach", *Adv. Water Research*, vol. 28, pp. 899-909, 2005.
- [5] H. Moradkany, K.L. Hsu, H.V. Gupta and S. Sorooshian, "Improved streamflow forecasting using self-organizing radial-basis function artificial neural networks", *J. Hydrol.*, vol.295, pp. 246-262, 2004.
- [6] I. Pulido-Calvo and M.M. Portela, "Application of neural approaches to one-step daily flow forecasting in Portuguese watersheds", *J. Hydrol.*, vol.332, pp. 1-15, 2007.
- [7] S. Alvisi, G. Mascellani, M. Franchini and A. Bárdossy, "Water level forecasting through fuzzy logic and artificial neural network approaches", *Hydrol. Earth Sys. Sciences*, vol. 10, pp. 1-17, 2006.
- [8] P.C. Young, "Advances in real-time flood forecasting", *Phil. Trans. Royal Soc.: Math. Phys. Eng. Sciences*, vol. 362, pp. 1433-1050, 2002.
- [9] R.J. Romanowicz, P.C. Young and K.J. Beven, "Data assimilation and adaptive forecasting of water levels in the river Severn catchment, United Kingdom", *Water Res. Res.*, vol. 42, 2006.
- [10] R.J. Romanowicz, P.C. Young, K.J. Beven and F. Pappenberger, "A data based mechanistic approach to nonlinear flood routing and adaptive flood level forecasting", *Adv. Water Res.*, vol. 31, pp. 1048-1056, 2008.
- [11] J.M. Martín-Sánchez and J. Rodellar, *Adaptive Predictive Control, from the Concepts to Plant Optimization*, Prentice Hall, UK, 1996.
- [12] E.H. Mandani, "Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant", *Proc. IEEE*, vol. 121, pp. 1585-1888, 1974.
- [13] L. See and S. Opehshaw, "A hybrid multi-model approach to river level forecasting", *Hydrol. Sciences*, vol. 45(4), pp. 523-536, 2000.