

DESARROLLO DE APLICACIONES DE DETECCIÓN AUTOMÁTICAS DE FUGAS EN SISTEMAS OPERATIVOS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Rodolfo Alvarado Montero, Erik Ruijgh y Sam van der Zwan

Deltares, Delft, Países Bajos.

E-mail: rodolfo.alvaradomontero@deltares.nl, erik.ruijgh@deltares.nl, sam.vanderzwan@deltares.nl

Introducción

La detección automática de fugas se refiere al procedimiento de detección de pérdidas de agua en una red de distribución de agua utilizando una combinación de las capacidades de modelado hidráulico y de las observaciones de la red. Este tipo de detecciones se beneficia de la captura de procesos dinámicos a través de componentes de modelado, con los cuales se puede rastrear perturbaciones en el sistema al comparar variables observadas y simuladas.

Metodología

Varios procedimientos ya han sido propuestos en la literatura, aunque las aplicaciones prácticas son escasas. Algunas de estas técnicas incluyen algoritmos genéticos (Meseguer et al. 2015), la asimilación de datos utilizando los filtros de ensamble de Kalman (Ruzza et al, 2015), la optimización de funciones objetivas (Adachi et al.), entre otros (Puust et al., 2010).

Estos métodos por ahora carecen de un enfoque integrado con fines operativos. En este artículo exploramos el desarrollo de dos de las metodologías de detección automática de fugas, con la finalidad de que esta tecnología esté disponible para la aplicación diaria en el sector de distribución de agua potable, particularmente vinculada a sistemas operativos:

- Uso de algoritmos de optimización: las diferencias entre variables observadas como presión y flujos y las variables simuladas de un modelo numérico, se pueden resumir en una función a minimizar, sujeta a las perturbaciones de flujo a lo largo de la red. Dichas perturbaciones corresponden a la cantidad de fugas y se pueden calcular con la ayuda de un modelo adjunto que captura las sensibilidades de primer orden en la red, o mediante un algoritmo de optimización global que muestrea el dominio matemático en busca de valores mínimos. Aunque ni la optimización basada en el modelo adjunto ni el enfoque de optimización global garantizan la solución matemática óptima global, el problema se resuelve dentro de tolerancias predefinidas para alcanzar una buena estimación de las fugas en la red. En este primer enfoque, el problema de optimización considera una ventana temporal de observaciones que correlaciona las fugas en espacio temporal.

$$\min_l J = \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^N \|v_{k,i}(l) - \hat{v}_{k,i}(l)\| \quad [1]$$

Donde: J es la función objetivo minimizada en función de valores de fugas l , v corresponde a la variables simulada, \hat{v} es la variable observada, k, i son indicadores de tiempo y espacio, T el número de simulaciones temporales, N el número de variables observadas

- Enfoque de asimilación de datos: la optimización se limita a la solución de funciones de mínimos cuadrados que representan la compensación entre los valores simulados y

observados para calcular una mejor estimación de la situación actual dentro de un sistema. La idea es generar perturbaciones en las entradas del sistema (por ejemplo, presión, flujos, fugas) que capturan la relación dinámica entre las variables del modelo. Estas relaciones se resumen en una matriz de covarianza que luego se usa para propagar las diferencias entre las variables observadas y medidas al resto de las variables en el sistema. La ventaja de este enfoque es el cálculo de una representación estocástica de los estados, que genera una función de densidad de probabilidad en los flujos de fuga. Esto significa que podemos calcular la probabilidad de la fuga y proporcionar la expectativa del valor de la fuga a lo largo de la red.

$$l_k^+ = l_k^- + K \cdot (Z - H \cdot l_k^-) \quad [2]$$

Donde: los signos (+) indican la actualización del valor de fugas, (-) indica una variable de simulación, Z es el vector de observación, H es la matriz operador de las observaciones que correlaciona las observaciones con las simulaciones, K es la matriz de ganancia de Kalman definida por:

$$K = \frac{PH^T}{R + HPH^T} \quad [3]$$

Donde: P es la matriz de covarianza de los errores del modelo, R es la covarianza de las observaciones, T indica una transposición de la matriz.

Resultados preliminares

Los primeros prototipos muestran gran potencial para la detección automática de fugas, con precisión de hasta menos de un 1% de la fuga, utilizando simulaciones en una red virtual. Para ambos métodos evaluamos la sensibilidad de la aplicación ante un mayor o menor número de observaciones en el sistema. En el caso de la optimización de la función objetivo, complementamos el enfoque con técnicas multi-modelos que permiten generar mayor robustez en los resultados. Asimismo, evaluamos la técnica de asimilación de datos bajo distintos números de ensambles así como variantes en la perturbación de los datos de entrada del modelo.

Tanto la metodología utilizando algoritmos de optimización como las técnicas basadas en filtros de ensamble de Kalman requieren cálculos muy rápidos del modelo hidráulico, ya que dependen de algoritmos iterativos. El desarrollo del sistema de detección de fugas está, por lo tanto, relacionado con una formulación de dicho modelo que permite la comunicación del software en la memoria computacional, con el algoritmo de fuga. Por ahora los algoritmos utilizados en esta investigación se basan en el método de gradiente global (Todini y Pilati, 1998), sin embargo se prevé el potencial uso de la variante reformulada utilizando co-árboles de flujos como una opción más eficiente (Elhay, S. et al. 2013).

Referencias bibliográficas

Adachi, S., Takahashi, S., Kurisu, H., Tadokoro, H. (2014) Estimating area leakage in water networks based on hydraulic model and asset information. *16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014. Procedia Engineering*, Vol. 89, pp. 278-285.

Elhay, S., Simpson, A.R., Deuerlein, J., Alexander, B. Schilders, W.H.A. (2013). A reformulated co-tree flows method competitive with the global gradient algorithm for solving the water distribution system equations. *CASA-Report* 13-18. Centre for Analysis, Scientific Computing and Applications.

Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D.A., Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, Vol. 7, No. 1, pp. 25-45.

Ruzza, V., Crestani, E., Darvini, G., Salandin, P. Losses identification in water distribution networks through EnKF and ES (2015). *Journal of Applied Water Engineering and Research*, Vol. 3, pp. 12-18.

Todini, E., Pilati, S (1998). A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. *Computer applications in water supply – Systems analysis and simulation*, B. Coulbeck and C.H. Orr (Eds.), Vol.1, Wiley, London, 1998, pp. 1-20.