

Resumen

El filtro de Kalman de conjuntos (EnKF) es un método inverso de gran potencial para la caracterización de conductividades hidráulicas, que funciona bien con ecuaciones de estado no lineales y parámetros con distribuciones gaussianas. Es computacionalmente más eficiente que otros métodos inversos; sin embargo, consume mucho tiempo de cálculo. Esta tesis se centra en dos cuestiones, la forma de acelerar el EnKF a través de la paralelización del código y la forma de abordar adecuadamente el problema de la caracterización de campos de conductividad hidráulica no gaussianos. La tesis está organizada en cuatro partes.

En la primera parte se presenta el algoritmo de paralelización del filtro de Kalman de conjuntos en el contexto de la caracterización de la conductividad hidráulica utilizando datos de piezometría en estado transitorio. El EnKF consta de dos pasos, predicción y análisis, y ambos pasos son susceptibles de ser paralelizados. En la fase de predicción, debido a que el EnKF tiene una componente importante de análisis de Monte-Carlo, la forma más sencilla para su paralelización es a nivel de realización, donde cada miembro del conjunto se envía a un procesador diferente. Mientras que en la etapa de análisis, los cálculos de las covarianzas se distribuyen entre los diferentes procesadores. Los resultados, en cuanto a aceleración y eficiencia del cálculo, muestran que la paralelización del EnKF puede reducir significativamente el tiempo de cálculo, especialmente para los casos en que el número de realizaciones es grande.

La segunda parte describe una aplicación del EnKF con anamorfosis localizada, e inflación de la covarianza a un campo de conductividades heterogéneo y con una distribución bimodal. El objetivo de esta parte es demostrar el potencial de las alturas piezométricas transitorias para la caracterización de la variabilidad espacial de un campo de conductividades hidráulicas bimodal y con patrones de variabilidad complejos, donde la única información a priori existente es su distribución marginal univariada. Además, se demuestra el uso de las técnicas de localización e inflación de la covarianza para evitar la aparición de correlaciones espurias y la subestimación de la incertidumbre final. La localización de la covarianza elimina el efecto de las correlaciones espurias entre las variables de estado y los parámetros al restringir el rango de correlación de la covarianza empírica. La inflación de la covarianza es una técnica utilizada para evitar el colapso

del filtro aumentando (inflando) los valores de la covarianza empírica. Los resultados muestran la importancia de estas técnicas en la reducción del colapso del filtro.

La tercera parte investiga el método inverso propuesto por (Hu et al., 2013) y propone una versión mejorada. A diferencia de la idea de (Hu et al., 2013), que utiliza el EnKF para actualizar directamente campos uniformes no correlacionados (los que se utilizan para el muestreo aleatorio de las distribuciones marginales condicionales locales en la simulación secuencial), la nueva versión propone trabajar en campos aleatorios uniformes correlacionados, más precisamente los mismos campos que se utilizan en la simulación por campos de probabilidades (Froidevaux, 1993). La comparación de las dos versiones demuestra que la nueva versión propuesta es mucho mejor que la original tanto a la hora de capturar los principales patrones de conductividad como en la reducción de la incertidumbre.

La cuarta y última parte propone un nuevo método inverso estocástico llamado simulación secuencial inversa (iSS). La iSS es una mezcla de simulación secuencial y filtro de Kalman con anamorfosis. El nuevo método usa el concepto de conjuntos del EnKF para generar realizaciones por simulación secuencial usando las covarianzas cruzadas no estacionarias entre conductividades experimentales y alturas piezométricas calculadas a partir de un conjunto de realizaciones. Utilizamos la anamorfosis para asegurar una distribución gaussiana marginal. Y entonces, aplicamos la simulación secuencial gaussiana estándar para generar realizaciones de conductividad condicionando tanto en la conductividad como en los datos piezométricos. El comparación con el NS-EnKF muestra que la iSS es capaz de generar realizaciones no gaussianas condicionadas a las alturas piezométricas con calidad similar para ambos métodos.