

SCHRIFTENREIHE
GEOTECHNIK UND MARKSCHEIDEWESEN

NAZEMEH ASHRAFIANFAR

THE APPLICATION OF SATELLITE RADAR INTERFEROMETRY
IN THE DEVELOPMENT OF A
DYNAMIC NEURAL MODEL OF LAND SUBSIDENCE
INDUCED BY OVEREXPLOITATION OF GROUNDWATER

Heft 23

Herausgegeben vom
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal
Erzstraße 18, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, Telefon: 05323 / 72-2294

Nazemeh Ashrafiyanfar: The Application of Satellite Radar Interferometry in the Development of a Dynamic Neural Model of Land Subsidence Induced by Overexploitation of Groundwater. TU Clausthal, Heft 23, 2014.

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften der Technischen Universität Clausthal zur Erlangung des akademischen Grads eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation. Tag der mündlichen Prüfung war der 1. November 2013.

Vorsitzender der

Promotionskommission: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann

Hauptberichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Habil. Hossein Tudeshki

Der Druck dieses Hefts wurde aus Haushaltsmitteln des Instituts für Geotechnik und Markscheidewesen der Technischen Universität Clausthal finanziert.

Verantwortlich für die Herausgabe der Schriftenreihe:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Busch

© Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der Technischen Universität Clausthal

Alle Rechte vorbehalten

Bezugsnachweis: TU Clausthal
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen
Erzstr. 18
38678 Clausthal-Zellerfeld

Kontakt: Tel.: 05323 / 72-2294
Fax: 05323 / 72-2479
E-Mail: IGMCC@tu-clausthal.de

Abstract

This research undertakes to substantiate the feasibility of a dynamic neural model of land subsidence due to groundwater over-exploitation in an inverse problem approach. The inverse problem approach refers to a field of applied science that investigates and simulates unknown causes from observed effects (inverse solutions). In other words, inverse-problems simulate the existing rules between cause-and-effect, from effect.

The methodology of Artificial Neural Networks is iterative learning of cause and effect data, in order to extract and generalise their nonlinear relationships. This methodology was applied here as an inverse problem approach for spatio-temporal simulation of subsidence. The learning algorithm of the nonlinear multilayer ANNs is the core of this inverse problem approach. The neural models enable the extraction of the nonlinear relations between subsidence (effect) and aquifer system parameters (causes).

The Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) technique was applied to measure subsidence areally, as the solution patterns of the neural models. Accordingly, the Differential SAR interferometry (DInSAR) method was applied by using raw data from ENVISAT ASAR and ALOS PALSAR.

The time series of DInSAR-derived land subsidence were calculated in order to monitor temporal variations of subsidence. The DInSAR time series results were applied in a linear regression analysis to estimate the degree of the linear relationships and interdependence between subsidence and aquifer parameters. The results of these linear regression analyses showed no significant linear relationship between the subsidence and the aquifer parameters.

Next, a model of nonlinear feedforward (static) Neural Network model was developed and applied to generalise the nonlinear relations between the Hashtgerd land subsidence and the aquifer parameters. This time-independent (static) neural model simulated subsidence using aquifer parameters. The results of this model showed that neural models are compatible to generalise the nonlinear relation between subsidence and aquifer parameters.

In order to develop the time-dependent (dynamic) model of subsidence in this research an appropriate structure of recurrent Neural Networks was applied. This dynamic model simulated subsidence by using monthly groundwater data in the defined simulation time steps. Using this model, the outputs of every simulation time step were fed back to the network as the inputs for the next time step. The recurrent neural model was optimised by the Pattern Search algorithm in an unconstrained optimisation approach. The optimised model demonstrated a method of subsidence simulation/prediction which uses the potential of the following features of the dynamic neural model: Topology, supervised learning paradigm, regularisation algorithm and validation method. This dynamic model of subsidence is applicable in the simulation and prediction of subsidence in other overexploited aquifer systems, considering hydro-geological parameters of aquifers. It is helpful in the reducing of future hazards which provoke the quantitative and qualitative depletion of aquifers.

Kurzfassung

In dieser Dissertation wird gezeigt, wie mit einem inversen Ansatz für ein dynamisches Modell die Bodensenkungen, die durch die Übernutzung des Grundwassers hervorgerufen werden, bestimmt werden können. Inverse Problemansätze werden im Bereich der angewandten Wissenschaft genutzt, wenn von beobachteten Effekten auf die unbekannt Ursachen geschlossen und diese untersucht und simuliert werden sollen. Die Methodik der Künstlichen Neuronalen Netzwerke (Artificial Neural Networks, ANN) besteht in einem iterativen Lernen auf der Grundlage von Daten über Ursache und Wirkung, um ihre nichtlinearen Beziehungen zu extrahieren und zu verallgemeinern. Diese Methode wird hier als inverser Ansatz zur räumlich-zeitlichen Simulation von Bodensenkungen in einem überwachten Lernverfahren angewendet. Der Lernalgorithmus der verwendeten mehrschichtigen ANN ist der Kern dieses inversen Ansatzes. Die neuronalen Modelle ermöglichen die Extraktion der nichtlinearen Beziehungen zwischen Bodensenkungen (Wirkung) und Aquifer-Parametern (Ursachen). Um Bodensenkungen zu messen, wurde die Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (dInSAR)-Technik auf ENVISAT-ASAR- und ALOS-PALSAR-Rohdaten angewendet. Die Ergebnisse dieser Messungen bilden die Lösungsmuster der neuronalen Modelle.

Dann wurden auch die Zeitreihen der Bodensenkungen berechnet, um die zeitlichen Variationen der Senkungen zu erkennen. Die Ergebnisse der dInSAR-Zeitreihen-Auswertung wurden in einer linearen Regressionsanalyse genutzt, um den Grad der linearen Beziehung und der Abhängigkeit zwischen Bodensenkung und Aquifer-Parametern zu bestimmen. Die Ergebnisse dieser linearen Regression ergaben keine signifikanten linearen Beziehungen zwischen der Senkung und den Aquifer-Parametern. Daher wurde ein mehrschichtiges feedforward Künstliches Neuronales Netzwerk (Static Artificial Neural Network) entwickelt und angewandt, um die nichtlinearen Beziehungen zwischen Bodensenkungen und Aquifer-Parametern für das Testgebiet Hashtgerd/Iran zu bestimmen. Die Ergebnisse des feedforward Netzwerks als eine Art von nichtlinearer Regression zeigen, dass die neuronalen Modelle fähig sind, den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Bodensenkung und Aquifer-Parametern verallgemeinert abzubilden.

Um die zeitlichen Änderungen der Bodenbewegungen zu modellieren, wurde in dieser Arbeit ein rekurrentes Neuronales Netzwerk (Dynamic Artificial Neural Network) entwickelt. Dieses Modell verwendet die dInSAR-Zeitreihen als Lösungsmuster. Das dynamische Modell simuliert Bodensenkungen aus monatlichen Grundwasserdaten in definierten Zeitschritten, wobei die Ausgaben jedes Simulationszeitschrittes als Eingaben für den nächsten Zeitschritt rückkoppeln. Das hier genutzte rekurrente Netzwerk wird durch eine Mustersuche (Pattern Search algorithm) in einem nebenbedingungs-freien Ansatz optimiert. Dieses optimierte Modell zur Simulation von Bodensenkungen besitzt das Potenzial der folgenden Strukturen eines Dynamisches Neuronales Netzwerk: Topologie, überwachte Lernverfahren, Regularisierungsalgorithmen und Validierungsmethoden. Dieses dynamische Modell kann auch zur Simulation und Vorhersage von Bodensenkungen in anderen Aquifer-Systemen benutzt werden, in denen ähnliche Bedingungen vorherrschen. Damit leistet dieses Modell einen Beitrag zur Reduktion von Gefahren an der Tagesoberfläche die infolge einer quantitativen und qualitativen Erschöpfung der Grundwasserleiter hervorgerufen werden.