

ABSTRACT

This paper sheds light on the use of Machine Learning (ML) in earthquake prediction, a research area of significant importance for safety, infrastructure, and the economy. Given the challenges associated with accurate earthquake forecasting and the identification of precursor patterns, this study focuses on evaluating the effectiveness and accuracy of various ML methods compared to traditional seismological approaches. This is achieved through a comprehensive meta-analysis of existing literature and the development and validation of a proprietary ML model for predicting the magnitude and occurrence of major seismic events.

At the heart of this work's methodological approach is the integration of multidisciplinary techniques that combine ML algorithms with seismological data to gain comprehensive insights into seismic patterns and their predictive potential. The investigation includes a wide range of data sources, including seismic waveform data, geological and tectonic information, and historical earthquake records. A key scientific finding of the study is the significant role of feature engineering and the integration of new data parameters using advanced seismological computation methods in improving prediction accuracy. This underscores that, alongside advanced ML models, especially those based on Deep Learning and Ensemble methods, the quality of data preparation is crucial for successful forecasting.

Moreover, the development and implementation of a proprietary ML model in the Turkey-Syria region demonstrate that such models can predict the magnitude and occurrence of major earthquake events with remarkable precision. An LSTM model achieved excellent accuracy in magnitude prediction with a MAE of 0.6679 and an MSE of 1.2887. The prediction of future major earthquakes was precisely achieved with the help of an Ensemble model, which boasts an accuracy of 0.873 and a precision of 0.5496, as well as another LSTM model distinguished by a sensitivity of 0.8830.

These findings underscore the scientific relevance of ML in seismology and its ability to significantly enhance the accuracy and reliability of earthquake forecasts. They highlight the need for continuous improvement of ML algorithms, optimization of data quality and diversity, and the establishment of uniform evaluation criteria to increase the precision of prediction models. Thus, the integration of ML into seismological research is crucial for effective risk reduction and preparedness for earthquakes.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit beleuchtet den Einsatz von Machine Learning (ML) in der Erdbebenvorhersage, einem Forschungsfeld von großer Tragweite für Sicherheit, Infrastruktur und Wirtschaft. Vor dem Hintergrund der Schwierigkeiten, die mit der genauen Vorhersage von Erdbeben und der Identifikation von Vorläufermustern verbunden sind, fokussiert sich diese Studie auf die Untersuchung der Effektivität und Genauigkeit verschiedener ML-Methoden im Vergleich zu traditionellen seismologischen Ansätzen. Dies erfolgt einerseits durch eine umfassende Meta-Analyse bestehender Literatur und andererseits durch die Entwicklung und Validierung eines eigenen ML-Modells zur Vorhersage der Magnitude und des Auftretens starker Erdbebenereignisse.

Im Zentrum des methodischen Ansatzes dieser Arbeit steht die Integration multidisziplinärer Techniken, welche ML-Algorithmen mit seismologischen Daten verbinden, um umfassende Einblicke in seismische Muster und deren Vorhersagepotenzial zu erlangen. Die Untersuchung umfasst eine breite Palette an Datenquellen, darunter seismische Wellenformdaten, geologische und tektonische Informationen sowie historische Erdbeben Datensätze. Eine zentrale wissenschaftliche Erkenntnis der Studie ist die signifikante Rolle des Feature Engineerings, der Integration neuer Datenparameter mittels fortschrittlicher seismologischer Berechnungsmethoden, bei der Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit. Dies unterstreicht, dass neben fortschrittlichen ML-Modellen, insbesondere jenen, die auf Deep Learning und Ensemble-Methoden basieren, die Qualität der Datenaufbereitung entscheidend für den Erfolg der Vorhersage ist.

Darüber hinaus demonstriert die Entwicklung und Umsetzung eines eigenen ML-Modells in der Türkei-Syrien-Region, dass solche Modelle die Magnitude und das Auftreten starker Erdbebenereignisse mit bemerkenswerter Präzision vorhersagen können. Hierbei erreichte ein LSTM-Modell mit einem MAE von 0.6679 und einem MSE von 1.2887 eine exzellente Genauigkeit in der Magnitudenvorhersage. Die Vorhersage zukünftiger starker Erdbeben gelang präzise mit Hilfe eines Ensemble-Modells, das eine Genauigkeit von 0.873 und eine Präzision von 0.5496 aufweist, sowie eines weiteren LSTM-Modells, das sich durch eine Sensitivität von 0.8830 auszeichnet.

Diese Erkenntnisse unterstreichen die wissenschaftliche Relevanz von ML in der Seismologie und dessen Fähigkeit, die Genauigkeit und Verlässlichkeit von Erdbebenvorhersagen wesentlich zu erhöhen. Sie betonen die Notwendigkeit, ML-Algorithmen fortlaufend zu verbessern, Datenqualität und -diversität zu optimieren und einheitliche Bewertungskriterien zu etablieren, um die Präzision der Vorhersagemodelle zu steigern. Der Einsatz von ML in der seismologischen Forschung ist damit entscheidend für eine effektive Risikominderung und Vorbereitung auf Erdbeben.