

Zusammenfassung der Promotionsschrift

Improved Rapid Assessment of Earthquake Hazard
Safety of Existing Buildings Using a Hierarchical
Type-2 Fuzzy Logic Model

Ehsan Harirchian

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen
der
Bauhaus-Universität Weimar

Mentor: Prof. Dr. rer. nat. Tom Lahmer

Status: Intern

Weimar, 29. Mai 2020

Problemstellung und Zielsetzung

1. Erdbeben sind Naturkatastrophen, welche Bauwerke schädigen, Gefahr für Leib und Leben darstellen und finanzielle und soziale Verluste verursachen. Aufgrund der stochastischen Natur der Erdbeben ist die Schadens- und Standsicherheitsbewertung von Tragwerken während des Erdbebens, insbesondere im städtischen Maßstab, eine anspruchsvolle Aufgabe. Die Mehrheit der Bestandsgebäude in erdbebengefährdeten Regionen entspricht nicht den Anforderungen moderner Vorschriften und benötigt daher eine genauere Bewertung, um sie auf ein angemessenes Niveau nachzurüsten und so Schäden durch seismische Aktivitäten zu minimieren.
2. Die Mehrheit der Methoden zur Bewertung der seismischen Anfälligkeit von Gebäuden beinhaltet eine detaillierte Strukturanalyse, welche durch die benötigte große Anzahl an detaillierten, technischen Informationen sehr zeit- und kostenintensiv ist. Um die Gebäude für eine umfassende Bewertung zu filtern und zu priorisieren, werden alternative Methoden des Rapid Visual Screening (RVS) entwickelt. Eines der Ziele dieser Arbeit ist die Verbesserung der aktuellen Methoden zur schnellen Schadensbewertung.
3. Eine Bewertung auf Grundlage einer Begehung, welche auch bei einem großen Gebäudezustand ressourcenschonend ist, ist anfällig für die Subjektivität der Inspizierenden Personen. Darüber hinaus wird die Entscheidung durch die verschiedenen Versagensarten beeinflusst, was eine risikobasierte Bewertung erfordert. Daher besteht die Notwendigkeit, eine risikobasierte RVS-Methode und ein Werkzeug zu entwickeln, um mangelhafte Gebäude zu filtern, Prioritäten für die weitere Untersuchung zu setzen und die Unsicherheiten zu berücksichtigen. All diese Problemstellungen werden in dieser Arbeit mit Hilfe eines Unschärfe-Logik-Modells vom Typ 2 (type-2 fuzzy logic model) behandelt.
4. Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die schnelle visuelle Bewertung der Schädigung zu verbessern und das Erdbebenrisiko von Stahlbetontragwerken zu beurteilen. Daher wird ein zweistufiges, auf Unschärfe-Regeln basierendes Modell zur Priorisierung von Gebäuden nach ihrer Schwachstelle bei Erdbeben vorgeschlagen. In diesem Modell wird jede Unsicherheit aufgrund des subjektiven Urteils der Bewertung nach einer Begehung mit Hilfe der Typ-2-Unschärfemengentheorie (type-2 fuzzy set theory) behandelt.

Stand der Wissenschaft

5. Seismischen Prüfungsmethoden werden in beobachtende und vorhersagende Vulnerabilitätsverfahren und deren Kombination eingeteilt. Beobachtende Vulnerabilitätsverfahren verwenden Statistiken und Expertenmeinungen über Schäden vergangener Erdbeben, um das voraussichtliche Verhalten der Bauwerke bei zukünftigen Ereignissen zu bestimmen. Das Hauptproblem dieses Ansatzes ist der mögliche Mangel an vorhandenen Daten, die Subjektivität bei deren Interpretation und die fehlende analytische Grundlage. Vorhersagende Vulnerabilitätsverfahren nutzen daher analytische Ansätze zur Bestimmung des wahrscheinlichen Tragwerkverhaltens für eine Bemessungs-Erdbebenbelastung. Dieser Ansatz wird jedoch durch den Zeit- und Rechenaufwand einer detaillierten Systemanalyse beschränkt. Daher muss ein ausgewogenes Verhältnis zwischen

geringem Aufwand je evaluiertem Gebäude und hoher Genauigkeit gefunden werden. Weiterhin muss das neue Modell eine Verbesserung der Genauigkeit und Korrelation zwischen dem Ergebnis der Schadensbewertung und den schnellen Bewertungsmethoden beinhalten.

6. Neben nationalen und technischen Methoden werden in der Literatur drei weitere Ansätze vorgeschlagen. Auf statistischen Ansätzen basierende Methoden reduzieren die nichtlineare Beziehung zwischen Gebäudeparametern, Seismizitätsparametern und Schädigungsfähigkeit auf eine lineare Beziehung zwischen Ein- und Ausgabe. Methoden, die auf maschinellem Lernen und ANNs-Ansätzen basieren, benötigen eine große Anzahl an Trainingsdaten über Gebäudeparameter und der Schadensart nach den Erdbeben. Existieren diese nicht, sind solche Ansätze wenig praktikabel. Darüber hinaus sind diese Ansätze lokal und auf ein bestimmtes Gebiet beschränkt. Die letzte Art der Methoden berücksichtigen in den Unschärfe-Systemen die Meinung von Experten, wobei die Beschreibung der Unschärfe der Gebäudeparameter linguistisch vorgenommen wird.
7. Unschärfe-Systeme tragen zu bedeutenden Erfolgen bei der Anfälligkeitsbewertung bei, da sie auf Grundlage unpräziser oder mehrdeutiger Daten endgültige Entscheidungen treffen konnten. Das Hauptproblem aller bisherigen Studien, die auf dem herkömmlichen Fuzzy-Logic-System (Typ 1) basieren, besteht darin, dass sie nur die Vagheit der Zugehörigkeitsfunktionen berücksichtigen, aufgrund der klaren Zugehörigkeitsfunktionen jedoch nicht alle Arten von Unsicherheiten einbeziehen. Diese Arbeit schlägt daher eine Methode vor, die auf dem hierarchischen Typ-2-Fuzzy-System basiert, um die Schwäche der bestehenden unschärfebasierten RVS-Methoden zu überwinden.

Eingesetzte Methoden

8. Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die visuelle Schnellbewertung der Anfälligkeit zu verbessern und das Erdbebenrisiko von Gebäuden mit einem Stahlbetontragsystem zu bewerten. Dazu wird ein hierarchisches zweistufiges Unschärfe-Regel-basiertes Modell zur Priorisierung von Gebäuden entsprechend ihrer Anfälligkeit bei Erdbeben vorgeschlagen. In jeder Stufe werden die Unsicherheiten aufgrund des subjektiven Urteils einer Bewertung durch eine Begehung oder der Bewertungsverfahren mit Hilfe des Intervall-Typ-2-Fuzzy-Logic-Systems (IT2FLS) behandelt.
9. In der ersten Phase wurde ein Modell zur Bewertung der Erdbebengefährdung von Gebäuden entwickelt. Die berücksichtigten Parameter, welche sich leicht durch eine Begehung und technische Zeichnungen ermitteln lassen, stimmen mit FEMA P-154 (2015) überein: i) Bodentyp, ii) seismische Zone, iii) Anzahl der Stockwerke, iv) Gebäudetyp, v) vertikale Unregelmäßigkeit, vi) Planunregelmäßigkeit, vii) Baujahr und viii) Bauqualität.
10. In der zweiten Phase wurden die Bedeutung und Exposition der Gebäude sowie weitere Parameter wie Gebäudenutzung, Belegung und Zeitpunkt des Ereignisses unter Verwendung eines hierarchischen Unschärfe-Modells zur Bewertung des Erdbebenrisikoindex des Gebäudes in das entwickelte Modell der ersten Phase integriert. Dieser Teil kann zur Risikobewertung vor als auch zur Ermittlung des

anfänglichen und unmittelbaren Ausmaßes des Risikos nach dem Erdbeben (z.B. zur Gebäudepriorisierung für Rettungs- und Notfalldienste) eingesetzt werden.

11. Ferner beinhaltet die Arbeit eine Bewertung und einen Vergleich der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Methode mit tatsächlich geschädigten Gebäuden aus zwei Fallstudien und den Vergleich mit anderen gebräuchlichen Methoden, die mit den gleichen Daten bearbeitet wurden.

Wesentliche Ergebnisse

12. Das neue, einfache zweistufige Modell ermöglicht eine schnelle Bewertung der seismischen Anfälligkeit und des Risikoindexniveaus von Gebäuden, wobei alle Ungenauigkeiten, die mit der subjektiven Bewertung von Stahlbetongebäuden verbunden sind, durch IT2FLS abgedeckt werden.
13. Die vorgeschlagene Methode wurde in einer einfachen und überschaubaren hierarchischen Struktur angelegt. Dies hat eine Minimierung der Regeln des Unschärfe-Logik-Systems, eine Erhöhung der Berechnungsgeschwindigkeit, eine Problemvereinfachung sowie die Reduzierung des Berechnungsaufwands zur Folge.
14. Die Anwendung dieser Methode ist nicht wie andere auf eine bestimmte Region begrenzt, sondern lässt sich leicht modifizieren und aktualisieren, sodass sie für jeden Standort verwendet werden kann. Zusätzlich ist sie einfach zu bedienen und benutzerfreundlich gestaltet, wodurch jede Anwenderin bzw. jeder Anwender mit etwas Hintergrundwissen und kurzer Schulung damit arbeiten kann. Diese Methode ist flexibel genug, um neue Schadensmechanismen einzubeziehen.
15. Die Robustheit der vorgeschlagenen Methode wurde nachgewiesen, nachdem 512 verschiedene Gebäude aus verschiedenen Städten, welche von Erdbeben betroffen waren, in Fallstudien untersucht worden waren. Es wurde gezeigt, dass die bewertete Anfälligkeitsklasse sehr nahe an der tatsächlichen Schadenshöhe lag, die bei den Gebäuden beobachtet wurde. Dies ergibt im Vergleich zu früheren Methoden eine zuverlässigere Verteilung zwischen den verschiedenen Schadenshöhen.
16. Die vorgeschlagene Methode ist entsprechend der getätigten Forschung genauer als andere Methoden. Im Vergleich zu gängigen nationalen Methoden wurde die Genauigkeit um etwa 30 bis 40 % signifikant verbessert. Auch im Vergleich zu Methoden des maschinellen Lernens konnte eine Verbesserung von etwa 12 bis 16 % erzielt werden. Neben den finanziellen Vorteilen und einer besseren Planung des Naturkatastrophenmanagements macht diese Leistung auch die Nachrüstung von Gebäuden intelligenter und rettet das Leben der Bewohnerinnen und Bewohner.
17. Die risikobasierte Priorisierung umfasst Aspekte der technischen Entscheidungsfindung, wie z.B. die Schadensabschätzung und den gesellschaftlichen Wert (bspw. die Toleranz gegenüber den Folgen des Versagens).