

Indoor-Lokalisierung seismischer Ereignisse anhand eines triaxialen Beschleunigungsaufnehmers

Sandra Lattacher¹, Moritz Fišer¹, Maria Fellner¹

¹JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Einleitung

Die Erkennung und Lokalisierung von Bodenvibrationen mittels Beschleunigungssensoren ist charakterisiert durch ihre Passivität. Das bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Benutzer keinerlei Komponenten am Körper tragen muss und keinen aktiven Beitrag zur Weiterleitung von spezifischen Informationen leistet. Die Sensoren werden unauffällig in die gewohnte Wohnumgebung integriert und messen so die Beschleunigung des Bodens in Richtung der drei Körperachsen (longitudinal, sagittal, transversal). Grundlegendes Ziel dieser Arbeit ist eine Machbarkeitsanalyse, ob und mit welcher Genauigkeit es mit einem Beschleunigungssensor möglich ist, den Ausgangspunkt von Bodenvibrationen zu lokalisieren. Die Signalanalyse in den nachfolgenden Methoden beschränkt sich ausschließlich auf die Verwendung eines einzelnen Sensors und auf seismische Ereignisse, die durch Impulshammerschläge erzeugt werden.

Übergeordnetes Ziel ist die Positionsbestimmung von menschlichen Fußschritten, um flexible Lösungsansätze in verschiedenen Anwendungsszenarien zu ermöglichen. Während für die Licht- oder Heizungssteuerung in *Smart Homes* die Positionsgenauigkeit eine untergeordnete Rolle spielt, erfordert die Sturzdetektion im Forschungsbereich *Ambient Assisted Living* oder die Analyse des menschlichen Ganges im Bereich der Rehabilitation eine weit höhere Exaktheit der Lokalisierung. Die Untersuchung der Genauigkeit der Ansätze soll der Einschätzung des Potenzials verwandter Methoden sowie als Basis zur Weiterentwicklung der Indoor-Lokalisierung von seismischen Ereignissen dienen. [1]

Methoden

Im folgenden werden drei Ansätze beschrieben, die zur Positionsbestimmung von seismischen Ereignissen, hervorgerufen durch Impulshammerschläge, herangezogen wurden. Die Signale stammen von äquidistanten Punkten auf vier Kreisen, die sich durch den Abstand zum Sensor unterscheiden, siehe Abbildung 1.

PACC-Features

Ein Ansatz zur Richtungsbestimmung seismischer Signalquellen basiert auf der Annahme, dass Signale, die von ähnlichen Positionen stammen, gleichartige Eigenschaften aufweisen. Für eine Anzahl definierter Richtungen können durch Mittelwertbildung über einen Trainingsdatensatz Prototyp-Signale für unterschiedliche Einfallswinkel eines seismischen Impulses ermittelt werden.

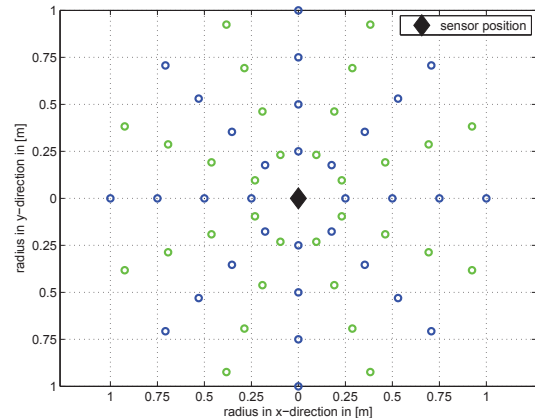


Abbildung 1: Aufbau der Messumgebung

Ein Trainingsdatensatz wird mit jedem dieser Prototypen korreliert und resultiert in einer Menge von Koeffizienten (PACC - Prototype and Correlation Coefficients), die als Eingangssignal eines neuronalen Netzes (ANN) verwendet werden. Der Zielwert wurde als zweidimensionaler Vektor \mathbf{t}_φ gewählt, der durch den Kosinus und Sinus des jeweiligen Winkels definiert ist:

$$\mathbf{t}_\varphi = [\cos(\varphi) \quad \text{sgn}(\sin(\varphi))] \quad (1)$$

Soll nun der Einfallswinkel eines unbekanntes Signals geschätzt werden, so wird eine Kreuzkorrelation mit den einzelnen Prototypen über alle drei Achsen ausgeführt. Die erhaltenen Korrelationskoeffizienten dienen als Eingang für das neuronale Netz, das durch nichtlineare Regression eine entsprechende Schätzung ermittelt. Bei der Verwendung von Prototypen mit einem Winkelabstand von 45° konnte bei einer Distanz von maximal 1 m von der Sensorposition eine mittlere Genauigkeit von $\pm 3.80^\circ$ erreicht werden.

SEDSL Ansatz

Der zweite Ansatz zur Richtungsbestimmung basiert auf der Erwartung, dass infolge einer Projektion der drei Achsen auf die Wegrichtung des eintretenden Signals die Varianz in diese Richtung ein Maximum darstellt (SEDSL - seismic event detection and source location) und so der Winkel der seismischen Quelle bestimmt werden kann. Die Herausforderung besteht hier in der Berechnung der Projektion p eines Vektors \mathbf{x} im (x, y, z) -Raum um den normalisierten Vektor \mathbf{u} :

$$p = \mathbf{u}^T \mathbf{x} = [u_1 \quad u_2 \quad u_3] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dabei muss die Varianz der projizierten Richtung bezüglich \mathbf{u} maximiert werden.

$$\hat{\mathbf{u}} = \arg \max_{\mathbf{u}} (\sigma_p^2), \quad (3)$$

Die projizierte Varianz entspricht der Richtung aus der das seismische Signal eintrifft und wird ein Maximum wenn \mathbf{u} als Eigenvektor entsprechend dem größten Eigenwert berechnet wird:

$$\mathbf{u}^T \mathbf{C} \mathbf{u} = \lambda. \quad (4)$$

Eine Unterscheidung der Anregungsrichtung in die vier Quadranten des Einheitskreises war mit diesem Ansatz nicht möglich. Allerdings konnte durch eine nachträgliche Zuweisung der Quadranten eine Genauigkeit von $\pm 6.74^\circ$ erreicht werden. Ursprünglich wurde dieser Ansatz, der auf der Hauptkomponentenanalyse basiert und vollständig in [2] beschrieben ist, für die Lokalisierung von illegal durchgeführten Nukleartests entwickelt. Dafür wurde ein einzelnes Seismometer verwendet, um Explosionen über eine epizentrale Distanz von 2 200 km zu lokalisieren.

CC-Features

Der Ansatz zur Distanzbestimmung basiert auf kepstralen Koeffizienten (CC-Features) in Verbindung mit neuronalen Netzen. Die Grundidee dafür stammt aus der Annahme, dass Frequenzkomponenten innerhalb des Signals, abhängig von der Distanz der Quelle zum Sensor, variieren. Deshalb wird das Anregungssignal von der Impulsantwort durch homomorphe Filterung getrennt.

$$\log(|S(f)|) = \log(|H(f)|) + \log(|E(f)|) \quad (5)$$

Die Art der Anregung ist in diesem Kontext nicht von Bedeutung, weshalb das Anregungssignal verworfen und das Filtersignal als dreidimensionales Eingangssignal eines neuronalen Netzes genutzt wird. Die Entfernung der seismischen Quelle bezüglich des Sensors konnte mit einer Genauigkeit von ± 3.30 cm berechnet werden.

Ergebnis

Die Implementierung des Offline Demonstrators basiert auf den PACC-Features zur Richtungs- und den CC-Features zur Distanzbestimmung von Impulshammerschlägen innerhalb einer kreisförmigen Fläche von 3.14 m^2 . Aufgrund der fehlerhaften Quadrantenzuweisung findet der SEDSL Ansatz im Prototyp des Lokalisierungssystems keine Anwendung. In Tabelle 1 ist der Positionsfehler für zehn Test-Punkte, die nicht im Trainingsdatensatz enthalten waren, ersichtlich. Jede Messung wurde 100 mal durchgeführt und der Median des Positionsfehlers in cm berechnet.

Tabelle 1: Median des Positionsfehlers des Lokalisierungssystems

	Radius in cm			
	25	50	75	100
0.00	6.92	6.08	13.90	19.00
22.50	1.40	1.63	11.69	3.01
45.00	0.61	1.77	5.29	2.37
67.50	0.81	3.30	10.37	6.37
90.00	0.94	8.35	11.01	6.37
112.50	1.78	2.78	12.01	3.18
135.00	0.50	1.19	6.06	5.71
157.50	0.79	3.46	3.87	2.68
180.00	0.12	13.46	15.44	36.72
202.50	1.33	1.64	8.29	3.55
225.00	2.16	2.20	6.71	3.75
247.50	1.20	2.25	8.00	2.84
270.00	0.26	3.03	4.21	4.53
292.50	1.35	6.81	7.97	4.63
315.00	0.62	1.83	5.75	3.39
337.50	1.23	2.33	17.76	2.16

Der Offline Demonstrator des Lokalisierungssystems zur Positionsbestimmung von Impulshammerschlägen weist, unter Verwendung von PACC- und CC-Features, eine mittlere Genauigkeit von ± 6.30 cm auf.

Zusammenfassung

Es wurden drei Methoden zur Richtungs- und Distanzbestimmung von seismischen Ereignissen mittels eines einzelnen Beschleunigungssensors entwickelt. Die Anregung des Bodens erfolgte ausschließlich mit einem Impulshammer. Die Lokalisierungsgenauigkeit des beschriebenen Ansatzes liegt im Bereich von ± 6.30 cm innerhalb einer zirkulären Fläche von 3.14 m^2 .

Die erreichte Lokalisierungsgenauigkeit von seismischen Quellen stellt ein robustes Ergebnis in Hinblick auf Indoor-Lokalisierung mit einem einzelnen triaxialen Beschleunigungssensor dar. Gleichzeitig müssen wichtige Punkte weiterführend beachtet werden, wenn ein komplettes Low Cost Indoor Lokalisierungssystem basierend auf diesen Methoden entwickelt werden soll [1]. Speziell im Bereich *Ambient Assisted Living* ist ein Testaufbau mit menschlichen Fußschritten unbedingt erforderlich. Die Initialisierung der neuronalen Netze wurde aufgrund grober empirischer Analysen durchgeführt und sind für weiterführende Studien zu optimieren.

Literatur

- [1] LATTACHER, Sandra L.: *Vibroacoustic Source Localization*, Carinthia University of Applied Sciences, Diplomarbeit, 2014
- [2] MAGOTRA, Neeraj ; AHMED, Nasir ; CHAEL, Eric: Single-Station Seismic Event Detection and Location. In: *IEEE Transaction of Geoscience and Remote Sensing* 27 (1989), Nr. 1, S. 15–23