

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Adaptive Filtering and Transformation of
Cardiac Motion-Induced Signals during Low-Amplitude Activities

zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing)

vorgelegt von
Marian Haescher geboren am 03.09.1985 in Schwerin

Gutachter:

Reviewer 1

Reviewer 2

Reviewer 3

Abstract deutsch:

Das Ziel der vorgelegten Arbeit war die Entwicklung eines Konzeptes zur adaptiven Filterung und Transformation von herzinduzierten Bewegungsdaten (Seismokardiogrammen) in Zeiträumen niedrig-amplitudiger Aktivitäten. Dabei wurde basierend auf Analysen der theoretischen Grundlagen und dem aktuellen Stand der Forschung ein Konzept zur Extraktion von validen Vitalparametern erstellt und zugleich eine Überführung der herzinduzierten Bewegungssignale (Seismokardiogramme) in den Goldstandard der nicht bildgebenden Herzdiagnostik (Elektrokardiogramme) durchgeführt. Die Transformation von Seismokardiogrammen in Elektrokardiogramme ermöglicht dabei Domainexperten die Diagnostik anhand klinisch relevanter Informationen. Die Extraktion von validen Vitaldaten ermöglicht zudem die Reduktion falscher Alarme und bietet somit Vorteile für Anomalie-Erkennungssysteme.

In elf Studien wurden relevante Einflussfaktoren wie z.B. die Wahl der geeigneten Messposition (Körperpositionen), Einflüsse durch verschiedene Körperpositionen und Gewebestrukturen (z.B. Dämpfung), Vorteile von Mehrkanallösungen bzw. Vorteile multisensorischer Ansätze sowie Vorteile verschiedener Sensortechnologien und letztlich die Transformation evaluiert (z.B. Accelerometer, Gyroskope; Doppler-Radar). Die Ergebnisse wurden jeweils mit konkurrierenden Ansätzen (z.B. Ballistokardiogramm) und dem Goldstandard (Elektrokardiogramm) verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass herzinduzierte Bewegungssignale, im Speziellen Seismokardiogramme, durch die Nutzung von Deep Learning Architekturen in Elektrokardiogramme transformiert werden können. Die transformierten Signale zeigen eine Kreuzkorrelation von bis zu 94% ($r=0.94$, $SD: 0.05$) mit dem Goldstandard, also eine hohe Übereinstimmung. Eine Befragung von 15 Domainexpert:innen (Kardiolog:innen und Rhythmolog:innen) ergab im Mittel eine Bewertung von **4,87** von **5** Punkten für die Möglichkeit der Stellung rhythmologischer Diagnosen sowie **4,67** von **5** Punkten für morphologische Diagnosen auf einer 5-Punkte Likert Skala. Zudem zeigt die Evaluation der adaptiven Filterung, dass Vitalparameter wie z.B. die Herzrate dabei verlässlich aus den herzinduzierten Bewegungen extrahiert werden können. Im Falle von Seismokardiogrammen konnte dabei im Vergleich zum Goldstandard (EKG) eine mittlere Abweichung von lediglich 0,31 Schlägen pro Minute erzielt werden ($M: 0,31$ bpm, $SD: 1,65$ bpm).

Somit wurde in dieser Arbeit ein neues Konzept entwickelt und evaluiert, welches die Reliabilität und Validität des bisherigen Goldstandards mit einer vereinfachten Aufzeichnung kombiniert, und das Risiko für Infektionen und Fehlmessungen eliminiert (durch den Wegfall der Elektroden).

Abstract English:

The goal of the presented work was the development of a concept for the adaptive filtering and transformation of motion-induced cardiac signals during low-amplitude activities. In this process, analyses of the fundamentals and the current state-of-the-art were conducted in order to extract valid vital sign readings and allow for a transformation of the motion-induced cardiac signals (Seismocardiograms) into the golden standard of non-imaging cardiac diagnostics (Electrocardiograms). The transformation of Seismocardiograms into Electrocardiograms allows domain experts to perform diagnostics based on clinically relevant information. The extraction of valid vital sign readings also enables the reduction of false alerts and thus provides advantages for anomaly detection systems.

In eleven studies, confounding factors such as influences due to varying measuring positions or body postures, influences due to varying tissue structure (i.e., damping), advantages of multi-channel solutions or multi-sensory approaches, and advantages of different sensor types (i.e., accelerometer, gyroscope, Doppler-radar) and, finally, the transformation have been evaluated. The results were tested against competing approaches (e.g., Ballistocardiograms) and the golden standard (Electrocardiogram).

, in particular, Seismocardiograms, can be transformed into electrocardiograms by applying deep learning architectures. The transformed signals show a cross-correlation of 94% (**$r=0.94$, $SD: 0.05$**) with the golden standard, indicating a high congruence. An expert evaluation with 15 domain experts (cardiologists and rhythmologists) showed a mean evaluation of **4.87** out of **5** for the possibility of conducting rhythmological diagnostics and a **4.67** out of **5** for morphological diagnostics on a 5-point Likert scale. In addition to this, the evaluation of the adaptive filtering showed that vital sign readings (e.g., heart rate) could be extracted correctly from the motion-induced cardiac signals. In case of the Seismocardiograms, the comparison with the ground truth ECG (golden standard) showed only a small mean deviation of 0.31 beats per minute (**$M: 0.31$ bpm, $SD: 1.65$ bpm**).

Thereby, the concept developed and evaluated in this work combines the reliability and validity of the golden standard with an improved and simpler data acquisition and eliminates the risk for infections and erroneous measurements by presenting an electrodeless solution.