

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, eine Restlebensdauerschätzung für translatorisch arbeitende elektromagnetische Aktorik zu entwickeln. Hierbei soll der Verschleiß in Form von Reibungserhöhung im mechanischen Teilsystem des Aktors ausschließlich anhand von gemessenen elektrischen Größen ermittelt werden.

Stand der Technik ist hierbei, die im Stromverlauf ablesbare Schaltzeit des Aktors als Indikator für einsetzenden Verschleiß zu verwenden. Diese Information kann entweder über ein mathematisches Modell oder aber datenbasiert zugänglich gemacht werden. In beiden Fällen müssen die elektrischen Signale in einer ausreichend hochfrequent abgetasteten Form vorliegen, um die relevanten Charakteristika zuverlässig extrahieren zu können.

Dieses Problem soll umgangen werden, indem Compressed Sensing gleichzeitig für die Datenaufnahme, als auch für die Merkmalsextraktion eingesetzt wird. Das Sampling der Stromverläufe erfolgt hierbei direkt in einen komprimierten Messraum, wobei untersucht werden soll, ob die relevanten Informationen durch den Kompressionsschritt konserviert werden.

Als Messsystem kam in den Simulationsstudien das endlich dimensionale Compressed Sensing Standardmodell sowie ein Random Demodulator zum Einsatz. Die Fusionierung der komprimierten Messdaten in einen Health-Index erfolgte mittels logistischer Regression sowie anhand der Manhattan-Metrik. Eine möglichst robuste Schätzung der verbleibenden Restlebensdauer wurde durch den Einsatz von Wiener-Prozessen sowie der Berechnung der sog. First-Hitting-Time Verteilung erreicht. Deren Parameter wurden mittels einer gleichzeitigen Zustands- und Parameterschätzung aus den vorliegenden Monitoring-Daten, also den Health-Indices, bestimmt.

Hierbei konnte gezeigt werden, dass die mittels Compressed Sensing generierten Health-Indices eine gute Korrelation mit der Schaltzeit aufweisen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Restlebensdauerschätzungen basierend auf den Compressed Sensing Health-Indices die wahre Restlebensdauer im Vergleich mit den Ground-Truth basierten Schätzungen weniger stark überschätzen. Hierbei liefert insbesondere die Schätzung basierend auf dem mittels logistischer Regression berechneten Health-Index ein gutes Konvergenzverhalten sowie eine gute Reproduktion der wahren Restlebensdauer.

Abstract

The goal of this dissertation is to develop a remaining useful life estimation approach for translatory electromagnetic actuators. Therefore, wear in form of increased friction in the mechanical subsystem of the actuator has to be determined solely on the basis of measured electrical variables.

State of the art in this context is to use the switching time of the actuator as an indicator for the onset of wear which can be extracted from measured current signals. This information can either be made available via a mathematical modeling or based on measurements. In both cases, electrical signals must be sampled with a frequency high enough in order to reliably extract the relevant characteristics.

This problem can be circumvented by using compressed sensing for a concurrent data acquisition and feature extraction. The current signals are sampled directly into a compressed measurement space, with the aim of investigating whether the relevant information is preserved by the compression step.

As measurement system in the simulation studies the finite-dimensional compressed sensing standard model as well as a random demodulator were used. The compressed measurement data was merged into a health index using logistic regression and the Manhattan metric. To achieve an as robust remaining useful life estimates as possible Wiener processes as well as a calculation of the so-called first-hitting time distribution were employed. Their parameters were determined by means of a simultaneous state and parameter estimation from the available monitoring data, i.e. the health indices.

It was shown that health indices generated using compressed sensing have good correlation with the ground truth signal switching time. In addition, it was shown that remaining useful life estimates based on the compressed sensing health indices overestimate the true remaining useful life to a lesser extent than the ground truth-based estimates. Especially, estimates based on the logistic regression health index show good convergence behaviour and good reproduction of the true remaining useful life.