

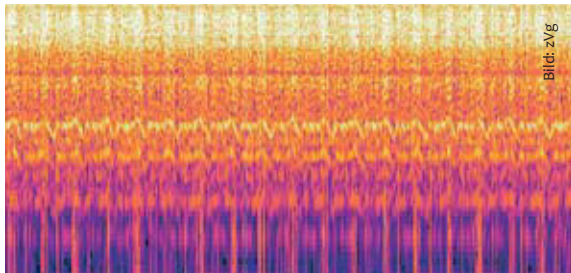
IM FOKUS: DIGITALISIERUNG

Fledermausohren und Fliegenaugen

» Mit geschärften Sinnen und künstlicher Intelligenz lassen sich Maschinenfehler besser und leichter entdecken.

Autoren: Christoph Netsch, Mario Russi und Alexander Steinecker

Hochfrequente Geräusche sind ein wichtiger Indikator für den Maschinenzustand.



«Schalte das Licht aus und verbinde mir die Augen. Ich werde eine Runde durch diese Halle gehen – und danach werde ich dir zu jeder dieser Maschinen sagen, was ihr Problem ist.» Herr Andrade spricht laut, während sein Arm zu einem weiten Halbkreis ausholt und die enge Fertigungshalle vor uns umrahmt. Die Werksrundgänge mit dem alten Argentinier waren die Höhepunkte vieler Tage vor Ort bei einem mittelgrossen Automobilzulieferer. Seit fast zwei Jahrzehnten leitete er dort die Instandhaltung. Theatralisch umherstolpernd, als habe man ihm tatsächlich die Augen verbunden, deutet er in eine Ecke der Werkhalle: «Die Hydraulikaggregate der Tiefzieh-

pressen, sie strahlen zu viel Wärme ab. Ich spüre das!» Er gestikuliert, zeigt in die andere Ecke und zählt weiter auf: «Das Förderband in der Lackierstrasse. Ich höre, dass es nicht rund läuft. Und der Ofen – er riecht seltsam.»

WIE WERDEN ANOMALIEN ERKANNT?

Die Dichte an Informationen, die wir über unsere Sinne registrieren, überschreitet unser Vorstellungsvermögen. Ständig beurteilen wir komplexe Zusammenhänge, entscheiden was normal ist und was nicht. Das geschieht völlig unterbewusst: Obwohl wir nicht immer in der Lage sind, zu beschreiben, was gesund charakterisiert, gelingt es nach jahrzehntelanger Vertrautheit mit einer Umgebung, Abweichungen fast unmittelbar zu erkennen.

Nur skaliert diese Methode nicht sonderlich gut. Die Überwachung eines grösseren Maschinenparks zu jeder Zeit kann ein einzelner Experte nicht leisten. Die Begegnungen mit Herrn Andrade liegen fast zehn Jahre zurück. Er müsste inzwischen pensioniert sein. Ob sich wohl jemand gefunden hat, der sich seine Fähigkeiten hat aneignen können?

ANOMALIE-DETEKTION VS. FEHLERKLASSIFIZIERUNG

Bei der Entwicklung intelligenter Wartungssysteme setzt man im ersten Schritt häufig darauf, eben dieses Expertenwissen durch eine künstliche Intelligenz (KI) abzubilden. Am Anfang steht die Detektion von Auffälligkeiten – die Anomaliedetektion. Das bietet wesentliche Vorteile: Im Gegensatz zu herkömmlichen KI-Verfahren, wie sie beispielsweise die industrielle Bilderkennung dominieren, benötigt das Trainieren einer Anomaliedetektion lediglich Daten des

Ultraschallmikrofone ermöglichen es, Frequenzen bis zu 150'000 Hz aufzuzeichnen.



gesunden Prozesses. Während die Datenmuster von Maschinenfehlern äusserst knapp sind, liegen Daten des Normalbetriebs meist in ausreichender Menge unter den verschiedensten Prozessbedingungen vor. Zusätzlich verspricht die Methode, ähnlich dem erfahrenen Instandhalter, auch jene Prozessfehler zu detektieren, die noch nicht bekannt sind.

VON DER ANOMALIEDETEKTION ZUR FEHLERKLASSIFIZIERUNG UND -VORHERSAGE

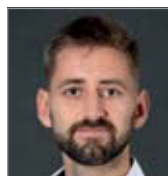
Der Mensch lernt das Gehen in kleinen Schritten – so ist es auch in der Algorithmik. Jede der drei nachfolgenden Phasen liefert bereits Mehrwert in der industriellen Praxis. Und jeder weitere Schritt baut die Fähigkeit der KI aus:

1. **Anomaliedetektion:** In ausgefeilten neuronalen Netzwerken oder anderen probabilistischen Modellen wird zunächst der Normalzustand abgebildet. Das Mass an Abweichung von diesem Normalzustand gibt Auskunft über die Schwere einer Anomalie.
2. **Fehlerklassifizierung:** Hier werden umfangreichere Informationen benötigt. Bei Vorliegen einer Anomalie, soll nämlich zusätzlich beurteilt werden, um welche Art von Fehler es sich handelt. Die hierzu benötigten Fehlerbeispiele können gesammelt werden, während die Anomaliedetektion bereits im Einsatz ist. Sie werden laufend durch Prozesssachkundige beurteilt. Je höher die Anzahl an Fehlerbeispielen, desto robuster wird das Modell. Irgendwann wird der Punkt erreicht, wo die künstliche Intelligenz Anomalien und Fehler genauso gut erkennt wie langjährige Mitarbeitende (Human Parity).
3. **Fehlervorhersage:** Die Vorhersage von Maschinenfehlern (Predictive Maintenance) gilt als die Königsdisziplin der vorrausschauenden Wartung. Erst wenn im Realbetrieb eine reichhaltige Datenbasis an Beispielen der entsprechenden Verschleissmuster erfasst wurden, kann eine Lösung entwickelt und validiert werden, die den Zusatz «vorrausschauend» verdient hat.

Herr Andrade zeigt uns, wie mächtig die menschlichen Sinne sind. Aber schon einfache Sensoren registrieren viel mehr. CSEM hat untersucht, wie man mit generisch anwendbaren, nachrüstbaren Sensor-konzepten Anomalien im Maschinenbetrieb früh erkennt.

ANOMALIEDETEKTION MIT ÜBERMENSCHLICHEM GEHÖR

Hochfrequente Geräusche sind ein wichtiger Indikator für den Maschinenzustand. Sie treten zum Beispiel beim Kontakt zwischen Metallteilen (so etwa bei Lagerverschleiss) auf. Spezielle Ultraschallmikrofone ermöglichen es, Frequenzen bis zu 150'000 Hz



Christoph Netsch
R&D Engineer Deep Learning am CSEM (Schweizer Forschungs- und Entwicklungszentrum mit Schwerpunkt Mikrotechnologie, Digitalisierung und Energie).

Alles was Sie für Ihre Immobilien brauchen

Campos ist die erste, webbasierte und führende CAFM-Plattform der Schweiz. Der digitale Hub Campos liefert relevante Immobiliendaten und vernetzt alle für das Facility Management relevanten Personen. Ob am Arbeitsplatz, von unterwegs mit Campos Mobile oder über den Campos Service Desk – Sie sind stets auf dem neusten Stand.

www.campos.ch

IDS Kamera mit Regions of Interest.



Mario Russi
Senior R&D Engineer Robotics & Machine Learning am CSEM (Schweizer Forschungs- und Entwicklungszentrum mit Schwerpunkt Mikrotechnologie, Digitalisierung und Energie).

aufzuzeichnen. Im Vergleich: Der Mensch hört bis ungefähr 20'000 Hz. Bislang wurden solche Mikrofone vor allem in der Natur zum Schutz von Fledermäusen vor Windkraftanlagen genutzt. Jetzt helfen sie mit KI bei der Maschinenüberwachung.

Um industrielle Lösungen zu entwickeln, betreibt das CSEM eine Pilotanlage. Dank der zweckentfremdeten Mikrofone und einem eigens entwickelten neuronalen Netzwerk gelingt es, 14 verschiedenartige Prozessanomalien zuverlässig zu erkennen und zu klassifizieren. Gezielt werden dabei bestimmte Frequenzbänder ausgewertet und tieffrequente Geräusche herausgefiltert. So gelingt es, die Robustheit zu steigern. Störungen aus der Umgebung, etwa vorbeilaufenden Personen oder zufallende Türen, werden eliminiert.

Die Mikrofone lassen sich günstig und platzsparend in bereits bestehenden Anlagen nachrüsten und erfordern keine Anpassungen an vorhandene Softwarearchitekturen, da sie autonom aufzeichnen und lokal ausgewertet werden. Aktuell kooperiert das CSEM unter anderem mit der Aurovis AG, um das Verfahren für den zuverlässigen Anlagenbetrieb zu nutzen.

SCHALL SEHEN

Manchmal stösst die akustische Messung an ihre Grenzen. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn zu viele Störgeräusche in grosser Variation vorliegen: In einer vollen Werkhalle stehen viele Maschinen. Man kann sich nicht zwingend darauf verlassen, dass diese in ihren Schallemissionen derart verlässlich sind, dass die KI lernt, sie zu ignorieren.

Mario Russi, Senior R&D-Ingenieur am CSEM, beschäftigt sich damit, die Vibration einer Maschine zu sehen. Mit speziellen Industriekameras fokussiert er

eine eng begrenzte *Regions of Interest*. In einem Bildausschnitt von nur 100x100 Pixel erfasst er eine Kante des zu überwachenden Maschinenelements. Selbst mit kostengünstiger Hardware können mit diesem Ansatz Bildraten von 3000 FPS realisiert werden – achtmal so schnell, wie eine Stubenfliege sieht. Die Schwingungen, die mit diesem Verfahren gemessen, liegen, verglichen mit dem Ultraschallmikrofon, in einem deutlich tieffrequenteren Bereich. Dafür bleibt man von jeglichen Störgeräuschen der Umwelt unbeeinflusst und erhält zudem die Information, an welchem Ort die Vibration aufgezeichnet wurde.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Entwicklung intelligenter Instandhaltungslösungen kommt es in erster Linie auf eine gute Datengrundlage an. Kann man nicht auf die eingebauten Maschinensensoren zugreifen, oder mangelt es diesen an Informationsgehalt, so liegt in der Messung und KI-gestützten Verarbeitung von Körper- oder Luftschalldaten eine flexible und leistungsfähige Alternative. Doch auch, wie diese Datenbasis genutzt wird, spielt eine Rolle: Der Zugang zu Predictive Maintenance über die Anomaliedetektion ist in den meisten Anwendungsfällen der pragmatischste. Mit ihr gelingt es, bereits mit den verfügbaren Daten des normalen Maschinenbetriebs eine kostensparende Lösung für die eigene Maschinenflotte umzusetzen. Im laufenden Betrieb kann ausgebaut werden, wobei der Vorhersagewert der Lösung Schritt für Schritt gesteigert wird. <<