Kognitiver Lösungsansatz zur Reduzierung der Messunsicherheit für Prozessdrucksensoren

Thomas Opitz, Timo Kober, Yi Wang und Roland Werthschützky

Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektromechanische Konstruktionen,
Merckstrasse 25, 64283 Darmstadt

Zusammenfassung

Zur Messbereichsanpassung wählt das Messsystem das günstigste Signal von drei piezoresistiven Drucksensorelementen aus. Eine Umschaltung zwischen verschiedenen Messbereichen wird durchgeführt, damit die höchste Messgenauigkeit in jedem Bereich gewährleistet werden kann und die Messgenauigkeit des gesamten Messsystems erhöht wird. Basis für die Entscheidung der Umschaltung ist ein neuartiger, kognitiver Signalverarbeitungsalgorithmus. Zur Arbeitsfrequenzanpassung wählt das kognitive Messsystem die jeweils notwendige Abtastfrequenz zwischen 20 Hz, 100 Hz und 1 kHz. Für hochdynamische Signale wird die Abtastfrequenz selbständig erhöht, um Informationsverluste zu vermeiden. Für tieffrequente quasistatische Signale wird die Abtastfrequenz verringert, damit der Datenumfang reduziert werden kann. Der kognitive Analyzer vergleicht das aktuell gemessene Signal mit einem Mustersignal aus einem „Signal-Gedächtnis“. Eine Vorhersage über die Amplitude sowie die Signaldynamik kann abgeleitet werden, wenn ein zum aktuellen Signal passendes Mustersignal gefunden wird. Die Informationen im „Signal-Gedächtnis“, nämlich die Signalform, Wahrscheinlichkeit sowie Reihenfolge, werden beim Messen kontinuierlich aktualisiert. Dabei werden die Algorithmen „Steigungsbetrachtung“ und „Clustering and Merging“ zur Mustererzeugung verwendet. Der Signalvergleich erfolgt durch Berechnung der Differenzenergie und mittels „Markov-Ketten“ als Suchverfahren. Zur Erzeugung verschiedener Druckverläufe wird ein spezieller Messplatz aufgebaut. Das entwickelte kognitive Messsystem soll die Messgenauigkeit von Prozessdrucksensoren verbessern als auch eine Datenreduktion ermöglichen.

1 Intelligente Sensoren in der Prozessmesstechnik

Die Intelligenz eines „smarten Sensors“ oder eines „smarten Sensorsystems“ resultiert aus zusätzlichen Funktionen, wie Selbstüberwachung, Selbstidentifikation, Selbstanpassung und Selbstrekonfiguration. Das Messsystem soll eigenständig den Ist-Zustand erfassen und bewerten sowie daraus Informationen über die zukünftige Einsatzbereitschaft liefern. Somit können Störungen oder Ausfälle des Messsystems als auch systematische Messfehler erkannt werden. Letzteres ermöglicht eine Erhöhung der Messgenauigkeit [5]. Allerdings ergeben sich durch die Zusatzfunktionen auch folgende Nachteile:

- Das Messsystem verfügt nur über wenige Freiheitsgrade, sich an einen veränderten Prozessvorgang anzupassen.
- Die Signalverarbeitung bei der Sensor-Selbstüberwachung ist häufig sehr rechenintensiv. Daher sind gegenwärtige „smarte“ Messsysteme oftmals nicht echtzeitfähig.

Eine Verbesserung kann hierbei durch die Anwendung kognitiver Signalverarbeitungsansätze für Prozesssensoren erreicht werden.

2 Verfahren der Sensorselbstüberwachung

Die gegenwärtigen bekannten Methoden zur Selbstüberwachung sind die direkte Prozesskopplung, Nutzung des Prozesswissens, sowie die zusätzliche Signalverarbeitung im autarken Sensor (Abb. 1).

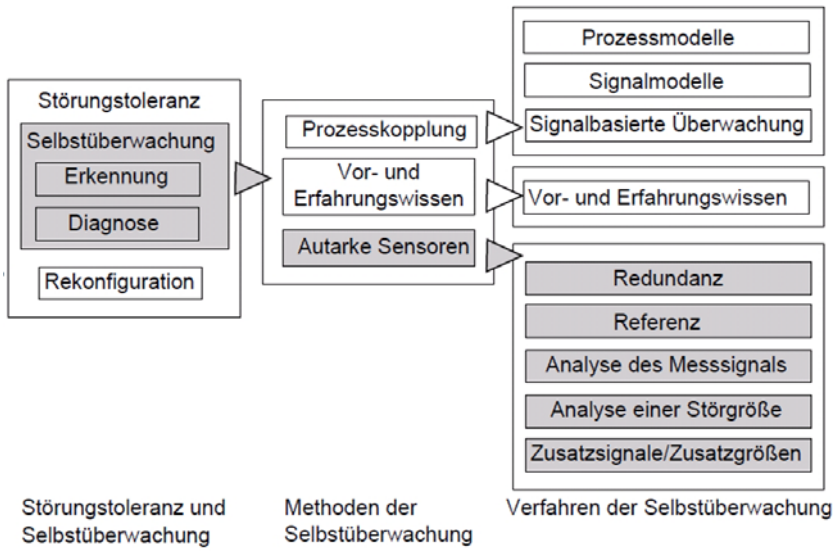

Abb. 1: Verfahren zur Sensor-Selbstüberwachung [5].

Bei der Methode der **Prozesskopplung** nutzt man das vorhandene Prozesswissen in Form eines Übertragungsmodells. Der gestörte oder ausgefallene Sensor wird durch Informationen der anderen Sensoren und des Übertragungsmodells ersetzt. Es müssen daher ausschließlich Information der Signalverarbeitung im Sensor genutzt werden. Hierfür sind gegenwärtig fünf Verfahren bekannt (Abb.1).
Das Redundanz-Verfahren bezeichnet die wichtigste Variante mit paralleler Anordnung mehrerer gleichartiger oder diversitärer unabhängiger Sensoren. Mit zunehmender Sensor-Redundanz steigt die Erkennungsrate für Störungen oder Ausfälle. Jedoch ist das Verfahren mit einem hohen Kostenaufwand verbunden und es besteht die Gefahr, dass sich durch die redundante Überlagerung negativer Sensoreigenschaften der Gesamtsensor verschlechtert [3], [4]. Nutzt man das **Erfahrungswissen** muss der Anwender über Wissen zum Prozess, z.B. typische Signalverläufe, verfügen, so dass signifikante Abweichungen bei einem Sensor direkt erkannt werden können. In der Regel besitzt jedoch nur der Anwender das Prozesswissen und nicht der Sensorhersteller.

3 Anwendung kognitiver Ansätze

Was bedeutet im technischen Sinne „Kognition”? Das Wort „Kognition” stammt aus der Psychologie und bezeichnet den menschlichen Lernprozess. Das allgemeine Modell für Kognition kennzeichnet, wie beim Menschen das Lernen abgebildet wird (Abb. 2).

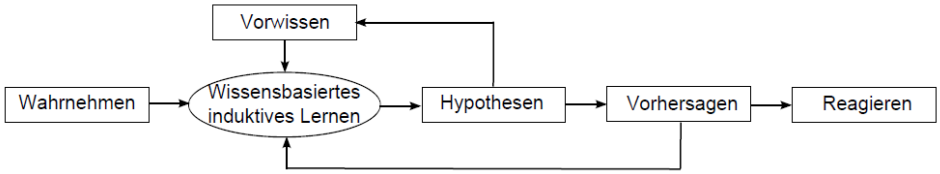

Abb. 2: Kognitionsmodell der Psychologie, basierend auf [2].

Die zu lernenden Informationen werden von den sensorischen Komponenten beobachtet (Wahrnehmen). Die neu erworbenen Regeln wirken auf das Vorwissen und ermöglichen eine Vorhersage, wie sich die Umgebung in der Zukunft wahrscheinlich entwickeln wird. Anhand der Vorhersage stellen Menschen sich so ein „Reagieren“, dass eine Anpassung an die sich verändernde Umgebung erfolgt [2].

3.1 Das Konzept zur Reduzierung der Messunsicherheit mit kognitivem Lösungsansatz

Bei jedem Abtastpunkt werden die drei aktuellen Messwerte von den drei piezoresistiven Drucksensoren erfasst. Ein Messwert wird vom kognitiven Analyzer ausgewählt und als der endgültige Messwert gespeichert. Dieser Auswahlvorgang wird als Signalumschaltung bezeichnet. Die Nennmessbereiche für die Aus-

wahl des geeigneten Messwertes werden durch die unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Drucksensoren definiert. Die Rekonfigurationsnachrichten bestehen aus zwei Informationen, nämlich aus der Signalamplitude und Signaldynamik. Der kognitive Analyzer entscheidet am Abtastpunkt $t = t_n$, von welchem Drucksensor und mit welcher Abtastfrequenz das Drucksignal beim Abtastpunkt $t = t_{n+1}$ aufgenommen werden soll (**Abb.** 3).

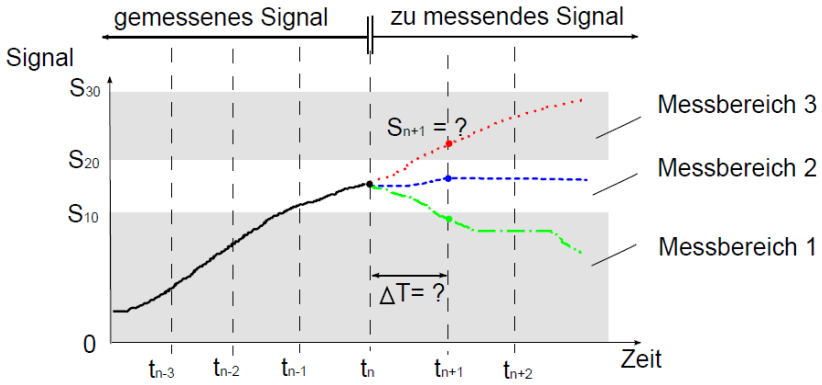

Abb. 3: Fortlaufende Vorhersage des künftigen Signalverlaufs.
Daraus wird das Umschalten der Messbereiche und Abtastfrequenz abgeleitet.

Diese Entscheidung beruht auf der Vorhersage über die Zukunft der Signalamplitude und der Signaldynamik. Für die Rekonfiguration des Messbereiches wird der gesamte Messbereich in kleine Messbereiche eingeteilt. Für jeden Teilmessbereich ist ein Drucksensor geeignet. Diese Schätzung des zukünftigen Signals wird kontinuierlich fortgeführt und daraus der quasioptimale Teilmessbereich zugeordnet.

3.2 Anwendung in der Prozessmesstechnik

Bevor der optimierte Messvorgang beginnt, werden r charakteristische Druckverläufe, die verschiedenen Prozessen entsprechen, erzeugt und vom Messsystem gemessen. Diese Verläufe werden mehrfach erfasst, damit das Messsystem die Muster solcher Prozesse erkennt und die zur Regenerierung benötigten Informationen speichern kann. Diese Informationen bilden das Gedächtnis des Messsystems (Abb. 4 a). Mit der Kenntnis der Wahrscheinlichkeit der typischen Signale kann das Messsystem ein Muster aus dem Gedächtnis auswählen. Eine Schätzung für den Messwert und die Abtastfrequenz wird erstellt. Das aktuelle Messsignal wird mit der geschätzten Abtastfrequenz gemessen und mit dem Schätzwert verglichen (Abb. 4 b). Das Vergleichsergebnis wird bewertet und geschlussfolgert, ob das gewählte Muster zum aktuellen Messsignal passt. Wenn nicht, muss ein anderes Muster aus dem Gedächtnis gewählt werden. Die Suche wird mit den Verfahren der Wahrscheinlichkeiten der 1. Ordnung bzw. 2. Ordnung - Markov-Wahrscheinlichkeit - realisiert. Wenn kein passendes Muster gefunden werden kann, wird das aktuell gemessene Messsignal als neues Muster bezeichnet.

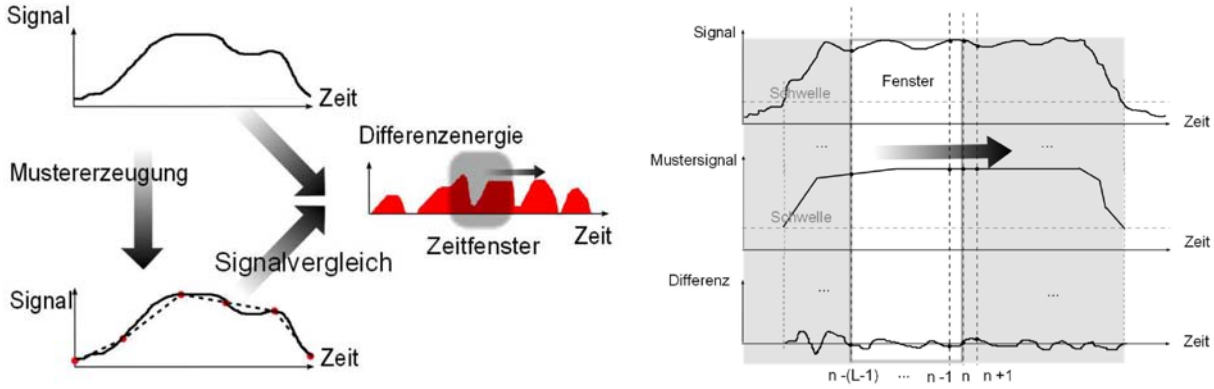

Abb. 4: Verfahren der Mustererzeugung und Signalanalyse.
a) Mustersignalerzeugung aus dem aktuellen Signalverlauf, b) Fortlaufende Signalanalyse des entsprechenden Mustersignals mit dem aktuellen Signalverlauf

4 Fazit und Ausblick

Beim Messen wird das gewählte Muster mit dem aktuell laufenden Messsignal verglichen. Anhand des Vergleichsergebnisses kann das kognitive Messsystem vorhersagen, welcher Messwert am nächsten Zeitpunkt gemessen und wie schnell sich das Signal ändern wird. Anhand solcher Vorhersagen werden der geeignete Messbereich sowie die geeignete Abtastfrequenz bestimmt. Das kognitive Messsystem wählt selbständig das günstigste Messsignal durch Umschalten zwischen den Drucksensoren mit verschiedenen Messbereichen und Anpassen der Abtastfrequenz aus. Die Vorteile eines kognitiven Messsystems sind, dass für jeden Messbereich der Sensor mit der niedrigsten Messunsicherheit ausgewählt und außerdem eine Reduzierung der Datenumfangs durch Selbstanpassung an die Signaldynamik erreicht werden kann.

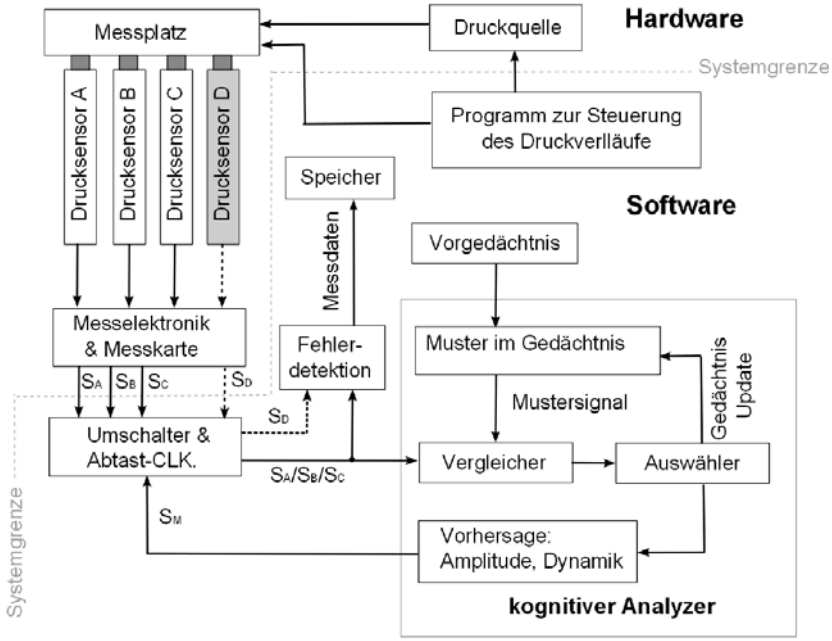

Abb. 5 Anwendung kognitiver Eigenschaften im aufgebauten Messsystem.

Es gibt oft ein Verhältnis zwischen zwei Messstellen in einem zu messenden Prozess. Die abhängigen Messstellen können Informationen über die zukünftigen Verläufe von vorangestellten Messstellen erhalten. Dafür kann ein Netzwerk zur Druckmessung entwickelt werden. Jede einzelne Messstelle verhält sich als Knoten dieses Netzwerkes und erhält Informationen von anderen Knoten. Anhand der gelernten Informationen kann das Messsystem Vorhersagen über zukünftige Signalverläufe erstellen. Diese Vorhersage wird durch die Anwendung kognitiver Eigenschaften in der Prozessmesstechnik ermöglicht. Zukünftige Aufgaben werden dabei die Abschätzung des notwendigen Zeitfensters und der Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit der Schätzung sein.

Literatur

[1] Yi Wang: Messtechnischer Nachweis kognitiver Eigenschaften an Drucksensoren der Prozessmesstechnik. Technische Universität Darmstadt: Diplomarbeit 2011.
[2] Peter Norvig, Stuart Russell. Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2/E. Prentice Hall, 2003.
[3] Ralf Müller, Roland Werthschützky: Selbstüberwachung und Störungstoleranz von autarken Sensoren. Technisches Messen, 74:176, 2007
[4] Prof. Dr.-Ing. Roland Werthschützky. Skriptum zur Vorlesung Mess- und Sensortechnik (MT I), Band 1: Elektrisches Messen mechanischer Größen. Institut für Elektromechanische Konstruktionen, Technische Universität Darmstadt, 04. 2007.
[5] Sensor-Trends 2014. AMA Fachverband für Sensorik e.V., 04.2010