

Komplexe Verarbeitung von Sensorkennlinien

H. Mio², G. Wießpeiner¹, P. Wach^{1,2}, H. Kontschieder³, H. Marsoner³, F. Skrabal⁴,
P. Kotanko^{2,4}

- 1 Institut für Elektro- und biomedizinische Technik, Technische Universität Graz
- 2 Ludwig Boltzmann-Institut für technische Lebenshilfen, Graz
- 3 Firma AVL, Graz
- 4 Krankenhaus der Barmherzigen Brüder, Graz

KURZFASSUNG

Elektronische Sensoren zeigen vielfach nicht-lineare Kennlinien, die zudem von äußeren Einflußfaktoren wie z.B. Temperatur, Konzentration u.dgl. abhängig sind. Diese Querempfindlichkeiten sind meist ihrerseits wieder nichtlineare Funktionen, wogegen noch zusätzlich ein Empfindlichkeitsverlust mit der Toleranz, Einsatzzeit und Vorgesichte des Sensors berücksichtigt werden muß. Meßergebnisse mit hoher Genauigkeit von derartigen Sensoren stellen hohe Ansprüche an die Technik der Analysegeräte, um die Störeinflüsse zu vermeiden.

In der vorliegenden Arbeit werden die Störeinflüsse zugelassen und softwaremäßig berücksichtigt. Dazu wird in einem einfachen Kalibriervorgang zuerst die Sensorkennlinie berechnet, die dann während der Messung mit den nichtlinearen Funktionen der Störparameter korrigiert wird.

Damit lassen sich auch bei hoher Anfangs-Meßunsicherheit Meßfehler von $< 1\%$ erzielen.

Besonders hervorgehoben wird die Strategie und Organisation von Korrekturfunktionen bei der Eingabe, Erfassung und Auswertung.

EINLEITUNG

Das Problem der Verarbeitung von Sensorkennlinien wird hier grob in drei Bereiche eingeteilt:

- 1) Approximation einer bestimmten Zahl von Meßpunkten durch eine möglichst einfache, meist nichtlineare Funktion, welche die Sensorcharakteristik repräsentiert.
- 2) Berücksichtigung von Quereinflüssen (z.B. Temperatur, Druck, Konzentration, ...) auf die zu messende Größe, die ihrerseits wiederum nichtlinear ist.
- 3) Programmierung eines Prozeßrechners.

ad 1) APPROXIMATION DER SENSORKENNLINIEN

Elektronische Sensoren liefern ein Strom- oder Spannungssignal, das der zu messenden Größe (Konzentration, Temperatur, ...) proportional ist. Dabei ist aber der Zusammenhang zwischen dem Sensorsignal und dem gewünschten Anzeigewert im verwendeten Bereich oft nichtlinear. In der Praxis sieht man sich vor das Problem gestellt, aus einer großen Anzahl von Meßdaten eine mathematische Formulierung (d.h.: eine mathematische Funktion) zu finden, die den Zusammenhang zwischen Sensor und Anzeigewert beschreibt. Konkret heißt das, man hat eine Anzahl von x_i Werten, denen die gleiche Anzahl

von $y_i + \Delta f$ Werten zugehörig ist, wobei das Δf (entspricht der Abweichung der später gefundenen Funktion) vorerst noch unbekannt ist. Der Lösungsvorgang stellt ein Optimierungsproblem dar, mit der Vorschrift, die y_i Werte so anzunähern, daß die Summe der $|\Delta f|$ möglichst klein wird. Dafür steht eine Anzahl von Software-Paketen zu Verfügung, welche die mühselige und zeitaufwendige Rechenarbeit ersparen. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf ein Softwareprogramm mit der Bezeichnung "GPAD" [1] verwiesen, das Meßpunkte anhand verschiedener zur Verfügung stehender Funktionen (z.B. Polynome (1. bis 4. Grad), Exponentialfunktionen, trigonometrische und hyperbolische Funktionen u.a.) "möglichst gut" annähert. Wie "gut" angenähert werden kann, hängt von der Gewichtung der y -Werte ab. Im "GPAD"-Programm stehen dazu drei Möglichkeiten zur Verfügung.

- 1) Absolut: alle y -Werte werden gleich gewichtet
- 2) $1/y$: je größer die y -Werte desto kleiner die Gewichtung
- 3) $1/y^2$: die Gewichtung der y -Werte nimmt mit dem Quadrat derselben ab.

Als Ergebnis der Approximation werden die gefundenen Funktionen mit ihren Koeffizienten numerisch und graphisch im Vergleich zu den Originalwerten dargestellt.

Außerdem bietet das Programmpaket "GPAD" noch weitere Möglichkeiten an, wie z.B. Graphikprogramme, auf die hier allerdings nicht eingegangen wird.

ad 2) BERÜCKSICHTIGUNG VON QUEREINFLÜSSEN

Wenn die mathematische Formulierung einer Sensorkennlinie gefunden wurde, gilt es noch die Quereinflüsse, die wiederum oft nicht-linear sind, zu berücksichtigen.

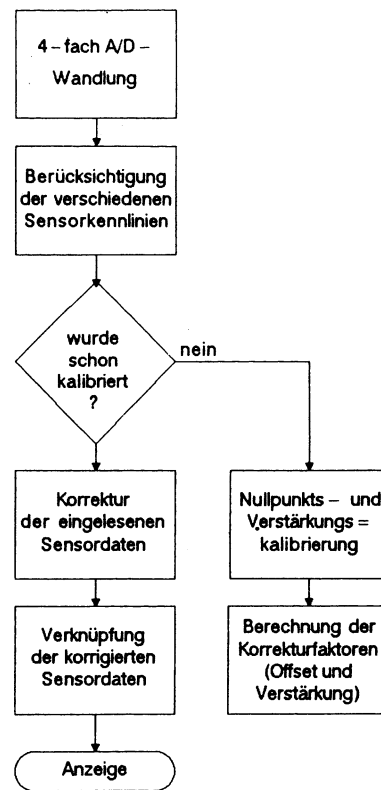
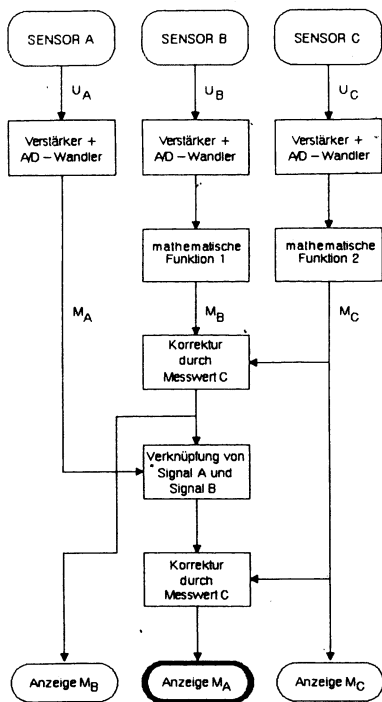
Dieses Problem wird anhand des vorliegenden konkreten Beispiels näher beschrieben.

Beispiel:

Es wird mit drei unterschiedlichen Sensoren gemessen, die als Sensor A, Sensor B und Sensor C bezeichnet werden.

Die letztlich interessierende Meßgröße liefert Sensor A unter Berücksichtigung der Quereinflüsse, die von den beiden anderen Sensoren quantifiziert werden.

Die Spannungswerte von Sensor B müssen umgerechnet und von den umgerechneten Werten von Sensor C korrigiert werden. Die korrigierten Werte von B werden wiederum mit den Spannungswerten von Sensor A mathematisch verknüpft und das gewonnene Ergebnis mit den umgerechneten Werten von Sensor C korrigiert. Das ganze noch einmal graphisch veranschaulicht:



Damit wäre die Aufgabenstellung zur Programmierung gegeben.

ad 3) PROGRAMMIERUNG

Die mobile Meßtechnik erfordert kleine, netzunabhängige Geräte. Zur praktischen Realisierung wurde ein handliches Datenerfassungssystem (DES) [2] mit einem 8bit-Single-Chip-Mikroprozessor eingesetzt, der in Assembler programmiert wird.

Wegen der Sensortoleranzen und -driften muß der Nullpunkt und die Empfindlichkeit vor und während der Messung kalibriert werden. Den Sensoren werden dazu bekannte Signale kalibriert, welche vom Prozessor mit den Sollwerten verglichen, und daraus die Korrekturfaktoren für den Nullpunktsfehler und Verstärkungsfaktor errechnet werden. Eine 2-Punktkalibrierung genügt, wenn vorher im PC die Sensorkennlinie ad 1) approximiert wird und dem Mikroprozessor in tabellarischer Form (die Kennlinie wird in 256 y-Werte diskretisiert) zur Verfügung steht. Dabei wird jedoch davon ausgegangen, daß sich von Sensor zu Sensor nur die Empfindlichkeit (Verstärkungsfaktor) ändert, nicht aber dessen grundsätzliche Charakteristik. Besitzt der Sensor eine andere Kennliniencharakteristik, so kann dem nur durch Ermittlung einer neuen mathematischen Approximation Rechnung getragen werden. Ansonsten nimmt der Meßfehler in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Charakteristik mit zunehmender Abweichung vom Kalibrierpunkt zu.

Auch hier soll ein Flußdiagramm den Berechnungsablauf veranschaulichen.

Das jeweilige Sensorsignal wird abgetastet, digital gefiltert und zeigt als Pointer auf den linearisierten Wert der Sensortabelle, welche vom PC errechnet und tabellarisch abgespeichert wurde. Danach werden in der Meßroutine die Quereinflüsse der Sensorsignale berücksichtigt und der korrigierte Meßwert zur Anzeige gebracht.

Dieses einfache Schema stößt beim Programmieren des Prozessors auf größere Probleme. Den komplexen mathematischen Approximationen der Sensorkennlinien stehen nur die einfachen binären Grundoperationen: Addition, Subtraktion und Multiplikation im Single-Chip-Prozessor gegenüber.

ERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem mobilen Datenerfassungssystem können Messungen mit zufriedenstellender Genauigkeit durchgeführt werden. Im gesamten Meßbereich liegt der relative Fehler unter 5 %. Ein prinzipieller Grenzwert ist durch das Auflösungsvermögen des A/D-Wandlers gegeben (hier: 8-Bit-Wandler mit 9,8 mV Inkrementen). Durch die Ausnützung der jeweiligen Vorteile der zusammenwirkenden Rechnersysteme (PC, DES) konnte der Softwareaufwand optimiert werden. Das Programm zur Berechnung der Sensorkennlinien und zum Datentransfer hat einen Umfang von 13 kByte (Turbo Basic, *EXE File). Das Assemblerprogramm für das mobile Datenerfassungssystem zur Kalibrierung, Linearisierung und Anzeige der Meßwerte benötigt 2,5 kByte Objekt Code.

Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und von der Stadt Graz gefördert.