

Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Steiner
Institut für Elektrische Meßtechnik
und Meßsignalverarbeitung
E-Mail: gerald.steiner@tugraz.at
Tel.: 0316 873 7272



Dipl.-Ing. Dr.techn. Daniel Watzenig
Institut für Elektrische Meßtechnik
und Meßsignalverarbeitung
E-Mail: daniel.watzenig@tugraz.at
Tel.: 0316 873 7268



Management von Parameterunsicherheiten im Systementwurfsprozess – Probabilistic Design

Optimal System Design given Parameter Uncertainties – Probabilistic Design

Moderne Produkte – ob Haushaltsgeräte, intelligente nanotechnologische Sensoren oder High-Tech-Geräte für die medizinische Diagnose – weisen immer größere Zuverlässigkeit bei ständig erweiterter Funktionalität auf.

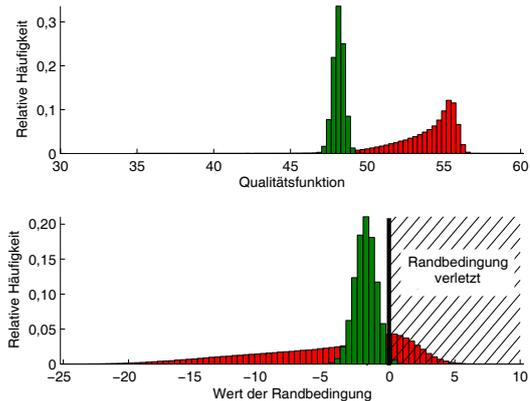
Die steigenden Anforderungen lassen sich nur mit modellbasierten Simulationen von Prozessen und Geräten bereits in der Entwicklungsphase dieser Produkte erfüllen. Stehen die geeigneten mathematischen Modelle zur Verfügung, können verschiedene Konfigurationen eines Systems untersucht werden.

Ein Modell beschreibt dabei allgemein den funktionalen Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen. Eingangsgrößen können z.B. die gewünschte Drehzahl eines Haushaltsgeräts oder eine zu messende physikalische Größe bei einem Sensor sein. Entsprechende Ausgangsgrößen wären die tatsächlich erreichte Drehzahl oder ein berechneter Messwert. Neben den Ein- und Ausgangsgrößen gibt es meist noch zahlreiche weitere Parameter, die das Verhalten des Systems entscheidend mitbestimmen, wie z.B. geometrische Abmessungen oder Bauteilwerte von elektronischen Komponenten. Im Entwurfsstadium können einzelne Design-Parameter, die Steuerparameter, in bestimmten Bereichen frei gewählt werden. Das ermöglicht das Verhalten von Systemen gezielt zu beeinflussen, um Produkte mit optimalen Eigenschaften, etwa bezüglich Genauigkeit und Herstellungskosten, zu entwerfen. Dabei wird aus den System-Ausgangsgrößen ein geeignetes Qualitätsmaß berechnet, das den Grad der Erfüllung der gewünschten optimalen Systemeigenschaften quantifiziert. Mit Optimierungsalgorithmen können dann die optimalen Steuerparameter ermittelt werden.

Jedoch zeigt sich, dass die solchermaßen entworfenen Systeme in der praktischen Realisierung nicht die gewünschte Qualität erzielen. Die Ursache hierfür liegt darin, dass bei der herkömmlichen Optimierung exakte Werte für die einzelnen Parameter verwendet werden. In der Realität sind jedoch alle Parameter gewissen Schwankungen unterworfen. So können z.B. geometrische Abmessungen nur innerhalb bestimmter Fertigungstoleranzen realisiert werden.

Neben den Kontrollparametern gibt es auch Störparameter, die das Systemverhalten mitbestimmen, aber nicht direkt wählbar sind. Dies können Temperaturschwankungen sein, die z.B. geometrische Abmessungen aufgrund von Ausdehnung beeinflussen, und eine Abnahme der Systemeffizienz zur Folge haben können. Weitere typische Ursachen für Parametervariationen ergeben sich durch natürliche Alterung verwendeter Materialien. Aber auch Umwelteinflüsse wie Staub, Vibrationen und die ständige Präsenz elektromagnetischer Streufelder können das Gesamtverhalten eines Systems nachhaltig degradieren. Ein effizienter Ansatz zum Management von Parameterunsicherheiten ist Probabilistic Design. Dabei werden die Parameter als Zufallsvariablen modelliert, um deren Schwankungen bereits in der Systementwurfsphase zu quantifizieren. Mit diesem Paradigma gelingt es, Systeme insensitiv gegenüber Parameterschwankungen zu entwerfen und gleichzeitig optimale Leistung im Durchschnitt über alle zulässigen Realisierungen zu garantieren.

Am Institut für Elektrische Messtechnik und Messsignalverarbeitung wurden neben generischen Formulierungen des Entwurfsproblems auch Optimierungsverfahren unter Einbeziehung statistischer Formulierungen entwickelt. Die Methoden haben bereits beim Entwurf verschiedener Systeme wie supraleitende Magnete für die Magnetresonanztomografie oder elektrische Sensorsysteme erfolgreich zu



Ergebnis der konventionellen (rot) und robusten (grün) Optimierung für ein Sensorsystem mit kritischen Randbedingungen anhand der a posteriori-Verteilungen der Qualitätsfunktion und einer Randbedingung, die nicht verletzt werden darf.

robusten Lösungen geführt. Als Beispiel sind in der Abbildung die Wahrscheinlichkeitsverteilungen gegenübergestellt, die sich für die Qualitätsfunktion und eine Randbedingung aus den Unsicherheiten der Entwurfsparameter ergeben, wenn konventionelle Optimierung und Probabilistic Design verwendet werden. Erst durch robustes Design erreicht man, dass ein hoher Prozentsatz der Realisierungen alle Spezifikationen erfüllt.

Probabilistic Design ermöglicht durch die Berücksichtigung der Streuung von Entwurfsparametern und des Einflusses von Störparametern die Bewertung von Exemplarstreuungen bereits im Systemdesign. Das erlaubt die Realisierung von Produkten, die bei optimaler Leistung auch robust gegenüber Parameterschwankungen sind.

Weiterführende Links:

www.mmg.emt.tugraz.at (Forschungsgruppe für modellbasierte Messtechnik am EMT)

Optimal System Design given Parameter Uncertainties – Probabilistic Design

Most products are designed using computer models containing design parameters that affect the system performance. Some of the parameters can be adjusted in the design phase. This allows the optimization of devices in terms of a performance measure like accuracy or cost. However, the actual performance is often worse than expected from the design phase. Conventional design methods assume firm parameter values while all real-life parameters are subject to random variations, e.g. manufacturing tolerances. In addition there are uncontrollable noise parameters that influence the device performance, e.g. temperature fluctuations. Probabilistic design is a powerful approach for the management of parameter uncertainties. In this framework design parameters are modelled as random variables with some probability density, allowing to quantify their influence on system performance in the design phase. This enables the design of robust devices insensitive to variations and with optimum average performance in the presence of parameter fluctuations. Efficient and convenient algorithms for robust design have been developed at the Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing over the last years. They were successfully applied to real-world design problems like superconducting magnets for magnetic resonance imaging and electrical sensor systems.