

Messunsicherheit und ihre Auswirkungen auf die Datenanalyse

White Paper

Dieses Dokument beschreibt, wie Sie mit der Analysesoftware imc FAMOS die Messunsicherheit Ihrer Analysen berechnen können, was dabei zu beachten ist und welchen Nutzen Sie davon haben.

Einleitung

imc FAMOS rechnet mit großen Datensätzen, die Betrachtung von Zeitreihen mit mehreren tausend Messwerten steht hier im Vordergrund. Mit imc FAMOS lassen sich für fast jeden als FAMOS-Sequenz geschriebenen Algorithmus die Auswirkungen von Messunsicherheiten analysieren und die Messunsicherheiten von Ergebnissen berechnen. Folgende Möglichkeiten bietet imc FAMOS dabei:

- Berechnung der Fortpflanzung von Messunsicherheiten
- Bestimmung von Messunsicherheiten von Ergebnissen einer mathematischen Auswertung
- Beaufschlagen von Signalen und Störungen
- Analyse der Auswirkung von Störungen auf bestehende Algorithmen
- Testen der Robustheit von Algorithmen

Wie genau ist das Eingangssignal?

Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten, weil viele unterschiedliche Einflussfaktoren die Messung beeinflussen. Wichtige Faktoren sind beispielsweise: Verfahren, Messgeräte, Umgebung, Messobjekt und Benutzer. Wie der Anwender die Messunsicherheit des Eingangssignals bestimmt, obliegt ihm, er muss sich aber im Klaren darüber sein, dass eine Messung niemals exakt ist. Die Messunsicherheit kann er schätzen, oder durch ein Modell darstellen.

In einem Modell werden in der Regel die einzelnen Messunsicherheitsfaktoren gewichtet, um den Messaufbau möglichst realitätsnah darzustellen. Wie entsprechende Modelle aussehen können/müssen, um eine Messunsicherheit möglichst genau zu bestimmen, ist in vielerlei Dokumenten beschrieben. Der Leitfaden hierfür ist der „Guide to the expression of uncertainty in measurement (im Folgenden immer GUM genannt)“. Es wurde beispiels-

weise folgender Temperaturverlauf gemessen (Abbildung 1). Die Messgenauigkeit aus dem Rauschband kann man zu $0,25^{\circ}\text{C}$ schätzen.

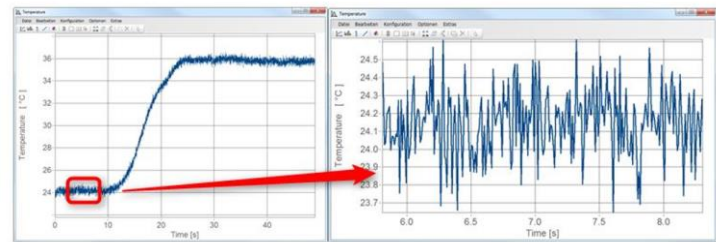


Abbildung 1

Wenn die Messunsicherheit der Eingangsdaten bestimmt ist, setzt die Arbeit von FAMOS ein. imc FAMOS kann nun die Messunsicherheitsfortpflanzung durch den Algorithmus hindurch bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass die berechnete Fehlerfortpflanzung nicht genauer sein kann, als die eingangs bestimmte Messunsicherheit.

Festlegung der Messunsicherheit der Eingangsdaten:

Mit dem Befehl „UncertaintySet()“ wird dem Eingangsmesswert eine Messunsicherheit zugeordnet. Das Eingangssignal heißt beispielsweise Temperatur und hat einen Wert von $27,0^{\circ}\text{C}$. Mit: `UncertaintySet (Temperatur, „Uncertainty“, 0.25)` wird dem Eingangssignal „Temperatur“ die Messunsicherheit $0,25^{\circ}\text{C}$ zugeordnet. Besteht das Eingangssignal aus einer Zeitreihe wird jedem der Werte die Messunsicherheit von $0,25^{\circ}\text{C}$ zugeordnet.

Zugeschnitten auf die Bedürfnisse des Messtechnikers:

imc FAMOS hält sich für die Berechnung der Messunsicherheiten in weiten Teilen an den GUM. Über den GUM hinausgehend, bietet FAMOS dem Anwender die Möglichkeit, für den Messtechniker relevante Störgrößen zu verwenden, z.B. Rauschen, Netzbrummen oder eine Offset-Drift. Die Zuordnung ist ebenfalls über die Funktion „UncertaintySet()“ möglich. Somit kann ein Spannungskanal (es wurde eine Sinusfunktion gemessen) auch mit

Spannungsspitzen beaufschlagt werden. Exemplarisch werden in Abbildung 2 die Spannungsspitzen von fünf Durchläufen gezeigt. Die einzelnen Farben stehen hierbei für die Spannungsspitzen der einzelnen Durchläufe.

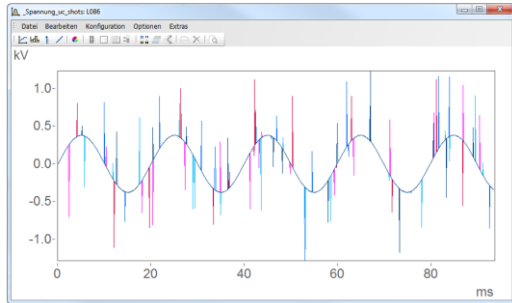


Abbildung 2

Wie arbeitet imc FAMOS?

Der in imc FAMOS zu berechnende Algorithmus führt zu Ergebnissen, die ihrerseits wieder eine Messunsicherheit aufweisen. Die Messunsicherheit dieser Ergebnisse wird bestimmt. Dabei wird in FAMOS die Monte Carlo Methode verwendet.

Monte Carlo Methode in imc FAMOS

Die Monte Carlo Methode (MCM) beruht darauf, die Eingangsdaten (leicht) zu verrauschen (den obigen Beispielen entsprechend mit 0,25°C oder mit den Spannungsspitzen). Die Daten werden mit Zufallszahlen beaufschlagt, um die Abweichungen zu simulieren. Diese Abweichungen wirken sich als Abweichungen der Ergebnisse des zu rechnenden Algorithmus aus. Die Anzahl der Monte Carlo Versuche wird statistisch ausgewertet und die Messunsicherheit der Ergebnisse bestimmt. Die Anzahl der Versuche, kann über die Funktion „Uncertainty_LOOP“ eingegeben werden. Die Ergebnisse des Algorithmus erhalten die anwenderdefinierte Eigenschaft „Uncertainty“, diese ist als Standardabweichung angegeben. Der Mittelwert ist immer der Wert der ersten Messung, da bei diesem ersten Schritt der Monte Carlo Methode noch kein Rauschen beaufschlagt wurde.

Anzahl der Monte Carlo Versuche:

Grundsätzlich ist eine hohe Anzahl an Monte Carlo Versuchen notwendig, um ein möglichst genaues Ergebnis zu erzielen. Das Monte-Carlo Verfahren konvergiert mit Wurzel M (\sqrt{M}). Für eine deutlich stabilere Messunsicherheit müssen Sie die Anzahl der Monte-Carlo Versuche quadratisch steigern.

Beispiel Anzahl der Monte Carlo Simulationen:

In imc FAMOS wird aber mit Zeitreihen-Datensätzen gerechnet. Es liegen beispielsweise zwei Temperaturmessreihen vor, die jeweils 1.000 Messwerte enthalten. Aus diesen beiden Kanälen wird die Temperatur-Differenz ermittelt. Das Ergebnis selbst ist wieder eine Messreihe mit 1000 Werten. Hier kann sich zeigen, dass bereits nach $M=10$ Monte-Carlo Versuchen ein recht gutes Ergebnis erzielt wird. Denn in die Berechnung der Standardabweichung fließen $n=1.000 \cdot 10=10.000$ Werte ein.

Erweiterte Analysen:

Mit der Bestimmung der Messunsicherheit des Ergebnisses ist die Aufgabe erfüllt. Mitunter wird aber eine Erklärung für den Wert benötigt. Die `uncertaintyCalc()` Funktion bietet eine Reihe zusätzlicher Analysen, die helfen, die berechnete Messunsicherheit zu verstehen und zu deuten. Eine dieser Funktionen ist beispielsweise die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion „pdf“.

Über die Glattheit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, erhält man einen guten Überblick, ob die Anzahl der Simulationen ausreichend waren. Die Abbildungen 3 zeigen die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für $M=10, 100, 1000, 10.000$ Versuche.

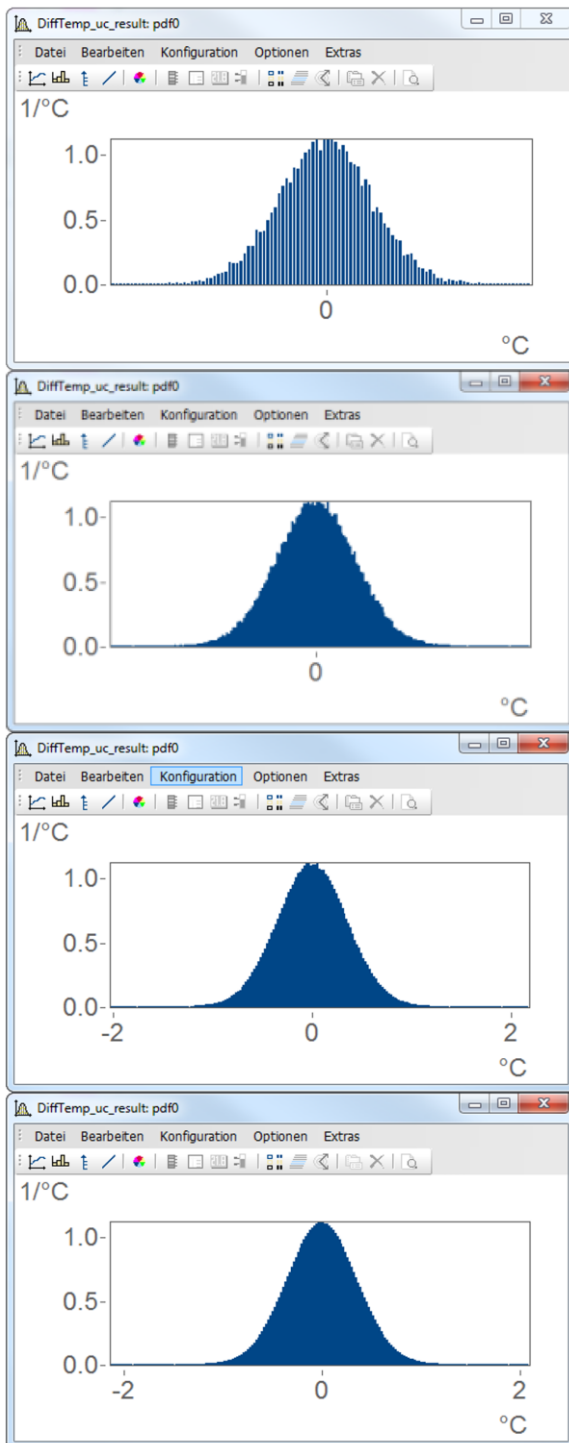


Abbildung 3

Zusammenfassung der einzelnen Arbeitsschritte und Rechenbeispiel

1. Eingangsdaten liegen vor
2. Eingangsdaten wird eine Messunsicherheit zugeordnet
3. Berechnung des Algorithmus mit unbeeinflussten Eingangsdaten
4. Unbeeinflusste Ergebnisse liegen vor
5. Schleife über M Monte Carlo Versuche
 - a. Eingangsdaten werden verrauscht
 - b. Berechnung des Algorithmus mit verrauschten Eingangsdaten
 - c. Algorithmus liefert verrauschte Ergebnisse
 - d. Iterative Berechnung der Messunsicherheit der Ergebnisse
6. Nochmalige Berechnung des Algorithmus mit unbeeinflussten Eingangsdaten
7. Auswertung der ermittelten Messunsicherheit der Ergebnisse

Beispiel

Für den in Abbildung 1 angegebenen Temperaturverlauf soll die Anstiegszeit ermittelt werden.

```
UncertaintySet(Temperature, "Uncertainty", 0.25)
```

```
UNCERTAINTY_LOOP 1000
```

```
_Temperature = UncertaintyModify (Temperature)
```

```
_Temperature = smo(_Temperature,1)
```

```
L1 = mean(cut(_Temperature,5,10))
```

```
L2 = mean(cut(_Temperature,30,35))
```

```
RiseTime = pos(_Temperature, L1+(L2-L1)*0.9) - pos(_Temperature, L1+(L2-L1)*0.1)
```

```
UncertaintyCalc (RiseTime )
```

```
End
```

```
uc = UncertaintyGet( RiseTime, "Uncertainty")
```

Erklärung des Codes:

UncertaintySet()	Messunsicherheit zuordnen	UncertaintyCalc	Unsicherheitsberechnung
Uncertainty_LOOP	Anzahl der Simulationen	uc	Messunsicherheit abfragen
UncertaintyModify()	Messdaten verrauschen		
Smo()	Filterung durchführen		
RiseTime	Anstiegszeit berechnen	Es ergibt sich eine Messunsicherheit von 0.07s, was bei einem Wert von 8.6s zu einer relativen Messunsicherheit von 0.8% führt.	

Weitere Informationen erhalten Sie unter:

imc Test & Measurement GmbH

Voltastr. 5
D-13355 Berlin

Telefon: +49 (0)30-46 7090-0
Fax: +49 (0)30-46 31 576
E-Mail: hotline@imc-tm.de
Internet: <http://www.imc-tm.de>

Die imc Test & Measurement GmbH ist Hersteller und Lösungsanbieter von produktiven Mess- und Prüfsystemen für Forschung, Entwicklung, Service und Fertigung. Darüber hinaus konzipiert und produziert imc schlüsselfertige Elektromotorenprüfstände. Passgenaue Sensor- und Telemetriesysteme ergänzen unser Produktportfolio.

Unsere Anwender kommen aus den Bereichen Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Bahn, Luftfahrt und Energie. Sie nutzen die imc-Messgeräte, Softwarelösungen und Prüfstände, um Prototypen zu validieren, Produkte zu optimieren, Prozesse zu überwachen und Erkenntnisse aus Messdaten zu gewinnen. Rund um die imc Geräte steht dafür ein umfassendes Dienstleistungsspektrum zur Verfüg-

ung, das von der Beratung bis zur kompletten Prüfstandsautomatisierung reicht. Auf diese Weise verfolgen wir konsequent das imc Leistungsversprechen „produktiv messen“.

National wie international unterstützen wir unsere Kunden und Anwender mit einem starken Kompetenz- und Vertriebsnetzwerk.

Wenn Sie mehr über die imc Produkte und Dienstleistungen in Ihrem Land erfahren wollen oder selbst Distributor werden möchten, finden Sie auf unserer Webseite alle Informationen zum imc Partnernetzwerk:

<http://www.imc-tm.de/partner/>



Nutzungshinweis:

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Dieser Bericht darf ohne Genehmigung weder bearbeitet, abgewandelt noch in anderer Weise verändert werden. Ausdrücklich gestattet ist das Veröffentlichende und Vervielfältigen des Dokuments. Bei Veröffentlichung bitten wir darum, dass der Name des Autors, des Unternehmens und eine Verlinkung zur Homepage www.imc-tm.de genannt werden. Trotz inhaltlicher sorgfältiger Ausarbeitung, kann dieser Bericht Fehler enthalten. Sollten Ihnen unzutreffende Informationen auffallen, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis an: marketing@imc-tm.de. Eine Haftung für die Richtigkeit der Informationen wird grundsätzlich ausgeschlossen.