

Daniela Steffes-lai: Approximation Methods for High Dimensional Simulation Results – Parameter Sensitivity Analysis and Propagation of Variations for Process Chains

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Analyse mehrerer, aufeinanderfolgender Prozesse adressiert. Diese Prozessketten sind insbesondere bei der Herstellung einzelner robuster Produktkomponenten von großer Bedeutung. Unsicherheiten der Designparameter in jedem einzelnen der Prozessschritte können Auswirkungen auf die nachfolgenden Schritte haben, da dadurch die Anfangsbedingungen für folgende Schritte geändert und insbesondere Verteilungen von resultierenden Größen, wie Spannungen, inhomogen werden können.

Aufgrund des hohen Zeitaufwandes für hochaufgelöste Simulationen und eines enormen Datenaufkommens ist die ganzheitliche Betrachtung von Unsicherheiten in Prozessketten, d.h. insbesondere die Übertragung relevanter Schwankungen von einem Prozessschritt auf den nächsten, bisher nicht Stand der Technik.

Daher wird in dieser Arbeit die Methodik PRO-CHAIN entwickelt, welche eine effiziente Analyse, Quantifizierung und Übertragung der Einflüsse von Parameterunsicherheiten für komplette Prozessketten erlaubt.

Eine der wichtigsten Komponenten der neuen Methodik ist das entwickelte Parameterklassifizierungsverfahren. Dieses unterteilt Designparameter nach ihrer relativen Wichtigkeit und der Art des Einflusses auf das Ergebnis. Zusätzlich können mit der entwickelten Klassifizierung lokale Effekte des Prozesses identifiziert werden. Darauf basierend kann die Vorhersagegenauigkeit in diesen lokal interessanten Gebieten verbessert werden.

Durch ein iteratives Erstellen einer geeigneten Datenbasis von Simulationsergebnissen und eine physikalische Kompression dieser Datenbasis wird der Aufwand für folgende Analyseschritte minimiert, der Speicherverbrauch reduziert, und gleichzeitig eine geeignete Genauigkeit bei nichtlinearem Parametereinfluss sichergestellt.

Die komprimierte Datenbasis wird für die Vorhersage einzelner Zielfunktionale genutzt. Dazu werden Metamodelle mit radialen Basisfunktionen durch die komprimierte Datenbasis beschleunigt, so dass Vorhersagen lokal auf dem gesamten Bauteil effizient ermöglicht werden. Zudem wird eine Erweiterung dieser Modelle zur erfolgreichen Vorhersage der Versagensinitiierung für Crash Prozesse entwickelt.

Auf Basis der eingeführten Vorhersagemodelle wird eine lokale Approximation der Wahrscheinlichkeitsverteilung ermöglicht. Dadurch können, zum

Beispiel, der Median und weitere Quantile als Robustheitsmaße in einer Optimierung lokal auf dem gesamten Bauteil betrachtet werden.

Zudem wird ein Schätzer des erwarteten Approximationsfehlers in einem vorhergesagten Zielfunktional in einem einzelnen Prozessschritt entwickelt, der direkt innerhalb der neuen Methodik berechnet wird, so dass dieser als aussagekräftiger Fehlerschätzer in den Anwendungen betrachtet werden kann. Ergänzend wird ein Schätzer für den maximalen Approximationsfehler für die Verkettung mehrerer Prozessschritte theoretisch hergeleitet.

Insgesamt ermöglicht die Methodik PRO-CHAIN die Übertragung nicht nur einzelner Ergebnisse, sondern aller relevanten Einflüsse von Parameterunsicherheiten von einem Prozessschritt auf den nächsten. Es wird gezeigt, dass dadurch die Vorhersagequalität des letzten Prozessschrittes deutlich verbessert werden kann.

Die neu entwickelte Methodik PRO-CHAIN wird auf industrielle Fragestellungen angewandt. Unter anderem wird eine komplexe Prozesskette von der Blechumformung hin zur Unfallsimulation (Crash) in der Automobilentwicklung untersucht. Damit werden die Effizienz sowie die Vorteile der Methodik im Vergleich zu typischen quasi-Monte Carlo Verfahren dargestellt. Insbesondere wird demonstriert, wie wichtige Einflüsse der Unsicherheiten identifiziert und lokale Effekte charakterisiert werden können, und ein mögliches Bauteilversagen korrekt vorhergesagt werden kann.