

# Software-Test durch halbsynthetische Fahrmanöver

Reduzierter Zeit- und Hardware-Aufwand für Software-Bewertungen

Besonders wenn Software für sicherheitsrelevante Funktionen im Automobil verantwortlich ist, bedarf es umfangreicher, zeitaufwendiger und damit kostenintensiver Tests und Simulationen. Deren Ziel ist es, Software-Fehler zu finden, die eine Gefahr für die Fahrzeuginsassen und andere Verkehrsteilnehmer darstellen. Dies trifft insbesondere für Lenksysteme zu, die der höchsten Risikoklasse ASIL D (Automotive Safety Integrity Level) zuzuordnen sind. Ab 2009 sind Risikobewertungen und Maßnahmen gemäß dem Safety-Standard IEC 61508 und der spezifischen Anpassung ISO CD 26262 für die Automobilindustrie vom Gesetzgeber vorgeschrieben, was nicht nur für die EU, sondern auch für die USA und Asien gilt. Die erreichten Reifegradstufen sind durch entsprechende Sicherheitsnachweise zu dokumentieren.

Die Vorteile der Elektro-Servo-Lenkung (EPS – Electrical Power Steering) gegenüber herkömmlichen, vom Fahrzeugmotor angetriebenen hydraulischen Servosystemen bestehen in einer situations- und bedarfsgerechten Servounterstützung. Das System (Bild 1) arbeitet und verbraucht nur dann Energie, wenn Lenkbewegungen stattfinden.

Ein vollständiger Test elektronischer Steuergeräte mit einer großen Anzahl von Eingangswerten ist wegen des enormen Zeit- und Kostenaufwands meist nicht praktikabel. Um trotzdem eine weite Testabdeckung und eine gute Testtiefe zu erreichen, setzt Daimler beim Software-Test von elektrisch betriebenen Servo-Lenkungen auf eine Testfallreduzierung mittels Methoden der Grenzwert- und Einflussanalyse. In der Umsetzung kommen dabei halbsynthetische Fahrmanöver als Referenz aus der realen Welt zum Einsatz.

Von Andreas Herp, Michael Herbert und Oliver Falkner

den. Eine EPS ist besser regelbar und leistet einen Beitrag zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und damit der Emissionen. Für den Fahrer ist es wichtig, dass die Charakteristik und die Fahrdynamik der EPS Kontinuität aufweisen. Beim Update auf neue Software-Stände besteht jedoch immer das Risiko, dass neben den erwünschten Änderungen auch unerwünschte Nebeneffekte auftreten. In harmlosen Fällen irritieren diese den Fahrer lediglich, während ernste Fehlfunktionen von einer Beeinträchtigung der Fahrersicherheit bis zu einem völligen Ausfall der EPS aufgrund nicht plausibler Eingangssignale führen können. Um

Änderungen im Lenkverhalten zwischen verschiedenen Software-Ständen aufzudecken, macht deshalb grundsätzlich jede Veränderung der Software eine neue Bewertung durch Regressionstests notwendig.

## ■ Embedded Software erfordert Black-Box-Tests

Da es sich bei der EPS um ein Zuliefersystem handelt, liegen Daimler über die Embedded Software – bis auf wenige Parameter und Kennlinien – keine Detailinformationen vor. Alle Tests und Bewertungen sind daher als Black-Box-Tests durchzuführen. Als proble-

### Wissensintegration und Kombination dreier Testmethoden

► **Äquivalenzklassenmethode:** Äquivalenzklassen fassen Ein- oder Ausgabewerte zusammen, die eine identische Reaktion des Systems vermuten lassen, d.h., man testet jeweils nur einen oder wenige Vertreter jeder Äquivalenzklasse. Alle gültigen Werte eines definierten Eingangsbereichs bilden z.B. eine Äquivalenzklasse, während Werte außerhalb des definierten Wertebereichs eine andere Äquivalenzklasse darstellen. Letztere kann man wiederum unterteilen in Werte, die größer und die kleiner sind als der gültige Wertebereich, und dort jeweils einen Test durchführen. Die Äquivalenzklassenmethode ist von der IEC 61508/ISO 26262 vorgeschrieben.

► **Grenzwertanalyse:** Diese basiert auf den Äquivalenzklassen, wobei man hier das

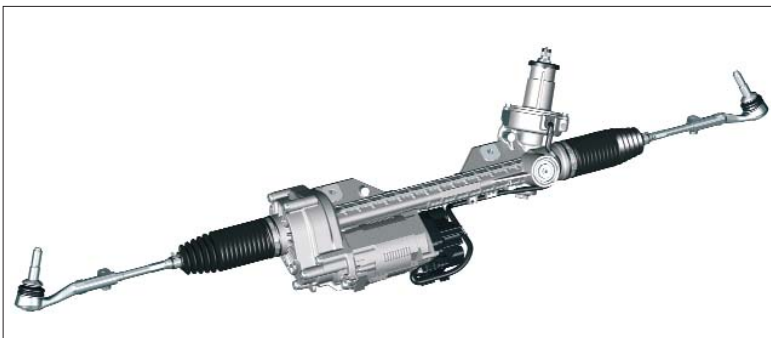
Hauptaugenmerk auf die Grenzen der Wertebereiche richtet, wie maximale definierte Signalgrößen oder Lenkmomente. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Fehlerursachen häufig dort zu suchen sind. Neben den Grenzwerten ist es sinnvoll, auch die um 1 größeren und kleineren Werte zu testen, um Fehler durch Überläufe oder Interpolationsfehler aufzudecken.

► **Pairwise-Methode:** Darunter versteht man die verbreitete Praxis, jeweils alle Kombinationen von zwei Signalen zu testen. Da das blinde Anwenden dieser Methode allerdings fast ausschließlich unplausible Testkombinationen hervorruft, ist eine Kombination mit Wissensintegration sinnvoll, bei der typische Eingangskombinationen der betrachteten Anwendung im Fokus stehen.

matisch stellt sich die hohe Anzahl der Eingangsgrößen dar. Manpower und Zeit reichen nicht im Entferntesten aus, alle theoretisch möglichen Kombinationen in HiL-Simulationen (Hardware-in-the-Loop) oder gar realen

lenzklassenmethode, der Grenzwertanalyse und der Pairwise-Methode erreichbar (**Kasten**).

Mithilfe der Einflussanalyse ermittelt Daimler am HiL-Prüfstand diejenigen Signale, die den größten Einfluss auf das Systemverhalten haben. Zusätzlich zu den drei Testmethoden ist eine Optimierung durch Wissensintegration unverzichtbar, d.h., man legt den Fokus auf häufige Eingangskombinationen des Anwendungsfalls. Die Wissensintegration schafft



**Bild 1.** Der Test der Elektro-Servo-Lenkung (EPS – Electrical Power Steering) zur situations- und bedarfsgerechten Servounterstützung ist aufgrund der Vielzahl an Eingangsgrößen extrem aufwendig.

(Bild: Daimler AG)

Fahrmanövern durchzuspielen. Neben dem Handmoment als elementarer Eingangsgröße sind 47 Signale als weitere Einflussfaktoren von Bedeutung. Allein die Anzahl der möglichen Kombinationen dieser Eingangsgrößen ergibt eine unvorstellbare Anzahl von Testfällen, deren Durchführung mehrere Jahre dauern würde. Um praktikable Tests durchzuführen, musste Daimler deshalb die Summe aller möglichen Eingangskombinationen auf wenige repräsentative Testfälle mit hoher Testabdeckung reduzieren. Dies ist durch die gemeinsame Anwendung verschiedener Testmethoden wie der Äquiva-

sinnvolle Testfälle und leistet einen wertvollen Beitrag zur Erhöhung der Software-Qualität. Schließlich bleiben 704 relevante Testfälle übrig, die eine komplette Testdauer von ca. zwölf Stunden ergeben.

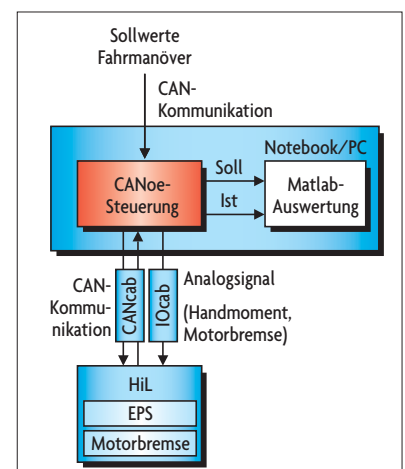
### Real-World-Daten statt High-Cost-HiL

Bei den praktischen Tests am HiL-Prüfstand spielen halbsynthetische Fahrmanöver (Abspielen und Manipulieren von aufgezeichneten realen Fahrmanövern) eine zentrale Rolle. Grundlage der Tests bildet ein Katalog

von Standardfahrmanövern, die das Sollverhalten der EPS in den jeweiligen Situationen definieren. Dazu gehören Aktionen wie Slalomfahren, Kreisfahrt, Bremsen in der Kurve, Lenkungszuziehen oder Elch-Test. Diese Standardmanöver durchfahren die Fahrzeugentwickler in realen Fahrzeugtests. Dabei wird im Fahrzeug auf einem Laptop mit dem Test- und Simulationswerkzeug CANoe von Vector Informatik der Bus-

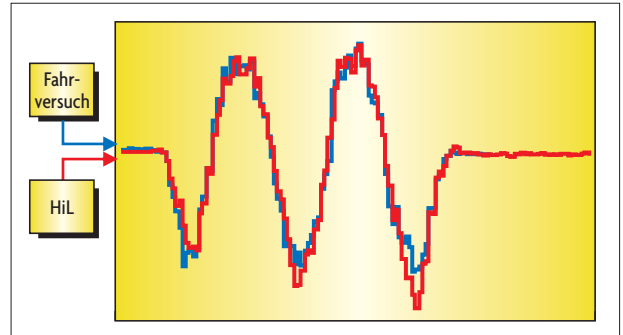
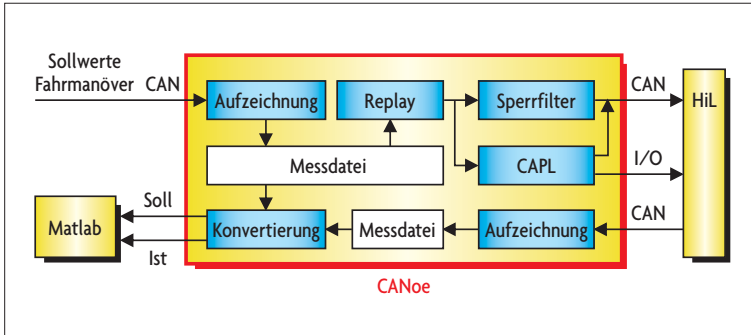
verkehr aufgezeichnet (**Bild 2**). Diese „Real-World-Daten“ lassen sich anschließend auf dem Prüfstand 1:1 wiedergeben und der EPS als virtuelle Umgebung vorspielen.

Allerdings ist es nicht sinnvoll, nur die Original-Fahrmanöver zu testen, sondern entsprechend der oben genannten Testauswahl das Verhalten der EPS auch in modifizierten Szenarien und Grenzbereichen zu prüfen, beispielsweise mit höheren Geschwindigkeiten, anderen Drehzahlen, Reibwerten oder veränderten Handmomenten. Dazu ist es notwendig, bestimmte Parameter während der Simulationen gezielt zu verstellen. In dem von Daimler entwickelten Testsystem werden auf dem



**Bild 2.** Testaufbau zur Aufzeichnung der realen Buskommunikation, Ansteuerung der HiL und Auswertung der Messwerte.

(Quelle: Vector Informatik GmbH)



**Bild 3.** In CANoe kommen verschiedene interne Verarbeitungs-Blöcke für die Aufzeichnung und Wiedergabe der Daten zum Einsatz.

(Quelle: Vector Informatik)

**Bild 4.** Die real gemessenen Sollwerte werden in Matlab mit den Ausgangswerten der HiL verglichen.

(Bild: Daimler AG)

Laptop die aufgezeichneten Messdaten in CANoe mit einem Replay-Block gesplittet abgespielt (Bild 3). Im ersten Zweig entfernt ein Sperrfilter die im Fahrzeug von der EPS gesendeten CAN-Botschaften, um Signalüberschneidungen zu vermeiden. Im zweiten Zweig generiert das System die manipulierten Signale und berechnet die analogen Spannungen. Dies geschieht mit Hilfe der in CANoe integrierten Skriptsprache CAPL, die auf einer vereinfachten C-Syntax aufbaut. Damit lassen sich real gemessene Signalwerte für die Testfälle einfach manipulieren, unterschiedliche Handmomente simulieren sowie unterschiedliche Solldrehzahlen und Reglerfreigaben generieren.

PCMCIA-Karte CANcardXL, die sich durch zwei austauschbare Anschlusskabel hinsichtlich der Schnittstellen-Physik optimal auf die Anforderungen der Anwendung konfigurieren lässt. Über ein so genanntes CANcab sendet das System zum einen die manipulierte Restbussimulation und empfängt zum anderen die von der EPS in der HiL-Umgebung erzeugte CAN-Kommunikation. Die gesamte Kommunikation speichert CANoe für die spätere Auswertung ab. Für die Ausgabe der analogen Signalspannungen von Handmoment-Simulation, Solldrehzahlvorgabe und Freigabe der Motorbremse ist ein IOcab verantwortlich. Die Motorbremse simuliert im HiL das beim Lenken wirksame Gegenmoment aufgrund von Reibung und Rollwiderstand.

Die Analyse der HiL-Messdaten (Bild 4) erfolgt komfortabel offline mit Matlab/Simulink. Dazu exportiert

CANoe die Soll- und Istwerte im .mat-Format. Eine Online-Auswertung war bis jetzt noch nicht gefordert, könnte aber durch eine direkte Integration der Matlab/Simulink-Modelle in CANoe erreicht werden.

Die Funktionsfähigkeit der EPS ist gegeben, wenn die Abweichungen der Ist-EPS-Momente von den korrespondierenden Soll-EPS-Momenten eine definierte Größenordnung nicht überschreiten. Erst danach sind gegebenenfalls weitere Tests im realen Fahrzeug sinnvoll, da nun unvorhersehbare Gefahren für Fahrer und Fahrzeug auf ein minimales Restrisiko beschränkt sind.

Mit dem Simulations- und Testsystem CANoe, das sowohl bei Tests als auch bei Fahrmanövern zum Einsatz kommt, gewinnen die Daimler-Ingenieure aussagekräftige Resultate für das Verhalten der als Black-Box vorliegenden EPS. ms

## Digitale und analoge Schnittstellen

Als Hardware-Schnittstelle zwischen Laptop und HiL-System dient die



**Dipl.-Ing. Andreas Herp**

studierte Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe. Seit Oktober 1998 ist er bei der Daimler AG als Entwicklungsingenieur und seit 2006 als Projektleiter E/E für die Steuergeräte- und Software-Entwicklung der Elektroservolenkung tätig.

[andreas.herp@daimler.com](mailto:andreas.herp@daimler.com)



**Dipl.-Ing. Michael Herbert**

studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU Darmstadt. Im Rahmen seiner Diplomarbeit mit der Daimler AG beschäftigte er sich mit dem Thema Einfluss- und Grenzwertanalyse einer EPS. Seit Oktober 2008 ist er bei der Daimler AG als Berechnungsingenieur für die Handlungssimulation der S-Klasse zuständig.

[michael.herbert@daimler.com](mailto:michael.herbert@daimler.com)



**Dipl.-Ing. Oliver Falkner**

studierte Elektrotechnik an der Universität Stuttgart. Nach dem Studium trat er 1999 in die Vector Informatik GmbH in Stuttgart ein und ist dort Senior Product Management Engineer in der Produktlinie Networks and Distributed Systems.

[oliver.falkner@vector-informatik.de](mailto:oliver.falkner@vector-informatik.de)