

Zeit für AUTOSAR

Tool-Kette für den richtigen Umgang mit Timing-Problemen

Eine unserer größten Herausforderungen beim Entwurf von E/E-Systemen heutiger und zukünftiger Kraftfahrzeuge ist die Beherrschung dynamischer Echtzeit-Aspekte. Wir müssen den Umgang mit Echtzeit-Anforderungen und Echtzeit-Eigenschaften vereinheitlichen, vereinfachen und methodisch in die bestehenden Prozesse und Zulieferketten integrieren. Das Ziel lautet: möglichst frühzeitig zeitliche Anforderungen an das System zu beschreiben und zeitliche Eigenschaften vorherzusagen, um die Potentiale von Software- und Modul-Baukästen optimal zu nutzen.

Das ITEA2-Forschungsprojekt TIMMO (www.timmo.org), in Deutschland gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter der Fördernummer 01IS07002(B-I,K), hat sich dieser Fragestellungen angenommen und im Abschlussbericht Antworten geliefert.

Das Ziel von TIMMO war die Entwicklung einer Sprache zur Beschreibung von Zeitinformationen mit zugehöriger Methodik zur Anwendung des Modells für Analysen, Vorhersagen und Optimierungen. Über die vollständige Kompatibilität zu AUTOSAR 3.1 und durch die Validierung an Beispielen der Industriepartner (Audi, Bosch, Continental, Denso, Volkswagen, Volvo, ZF) sollte eine unmittelbare industrielle Verwertbarkeit der Ergebnisse sichergestellt werden.

■ Was braucht man für die Modellierung und Analyse von Timing?

Um die Echtzeit-Fähigkeit eines Systems vorherzusagen und verifizieren zu können, benötigt man zunächst ein Systemmodell (ohne besonderen Fo-

Das TIMMO-Projekt (TIMing MOdel) hat eine Timing-Erweiterung für AUTOSAR entwickelt und praktisch validiert. TIMMO selbst löst noch keine Timing-Probleme, standardisiert aber deren Erfassung und den Umgang mit Timing und bildet somit die Grundlage für effiziente Standard-Tool-Ketten und eine stark beschleunigte Lernkurve beim Umgang mit Timing. AUTOSAR hat bereits Teile der Konzepte, insbesondere die Event-Constraints und EventChains, für ein eigenes Timing-Modell übernommen, das in AUTOSAR Release 4.0 verfügbar ist.

Von Dr. Marek Jersak und Dr. Kai Richter

kus auf Timing), welches erweitert wird um die für die Timing-Analyse relevanten Echtzeit-Anforderungen und Echtzeit-Eigenschaften. Zweitens benötigt man Werkzeuge, mit denen die Timing-Analyse durchgeführt werden kann. Im Rahmen von TIMMO kam hierfür insbesondere das Scheduling-Analysewerkzeug SymTA/S von Syntavision in mehreren Validatoren zum Einsatz.

Die zu Beginn von TIMMO verfügbare AUTOSAR Release 3.1 war bereits ein geeignetes Systemmodell mit Komponenten, OS-Konfigurationen und Busmatrizen. Insbesondere kann man daraus größtenteils automatisiert die RTE (Run-Time Environment) generieren und das System starten.

Das System-Timing ergibt sich aus einer solchen Realisierung, wird beeinflusst durch die verwendeten Prozessoren (Software Timing), Geschwindigkeit der Busse (Communication Timing), Nebenläufigkeit auf Prozessoren und Bussen, Abhängigkeiten zwischen Komponenten (Wirkketten) über Events, Trigger und Variablen. Ein System hat also immer ein bestimmtes Timing-Verhalten. Dabei stellt sich die Frage, ob dieses den Timing-Vorgaben genügt oder nicht. Kann das zeitliche Verhalten eines

Systems überhaupt vorhergesagt werden oder kann dieses optimiert werden, um einzelne Steuergeräte auszulasten bzw. zukunftssichere Plattformstrategien zu entwickeln? Oder kann zumindest ein mangels CPU-Leistung notwendiger Controller-Wechsel vermieden werden, der, wenn er spät im Entwicklungszyklus auftritt, hohe Kosten verursacht?

Wer derartige Entscheidungen (Controller-Auswahl, Software-Erweiterbarkeit, Plattform) systematisch und zuverlässig treffen will, muss sich mit dem Timing auseinandersetzen und braucht mehr, als AUTOSAR 3.1 bietet. Deshalb haben die TIMMO-Partner zunächst die verfügbaren technischen Möglichkeiten der Vorhersage, Optimierung und Verifikation von Timing studiert. Syntavision hat hier seine Expertise bei der Modellierung und Analyse von Echtzeit-Systemen eingebracht.

Sämtliche technischen Timing-Lösungen, insbesondere System-Timing-Modelle sowie die relevanten Scheduling-Analysen, benötigen grundsätzliche drei essentielle Informationsbausteine:

► Timing der Software-Ausführung von Tasks/Runnables (Wie lange läuft ...?)

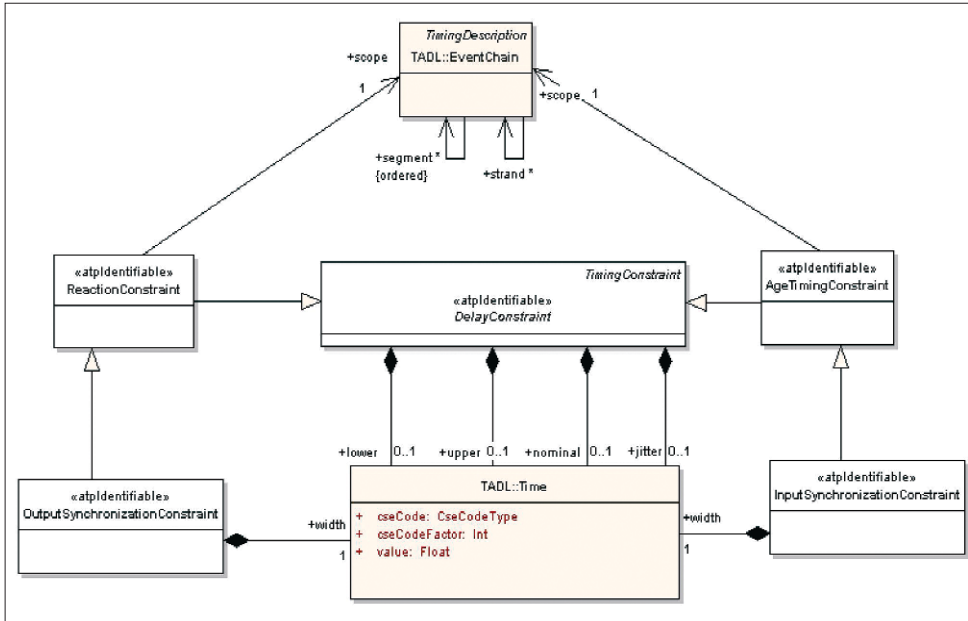


Bild 1. TADL-Spezifikation von EventChains und DelayConstraints.

- ▶ Timing von Events (Wie oft passiert ...?)
- ▶ Timing von Abhängigkeiten und Wirkketten (Wie lange dauert es, bis ...?)

Während Ersteres bereits als Core Execution Time in AUTOSAR 3.1 existiert, können die verbleibenden Punkte bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Zykluszeiten, die auch für die RTE-Generierung benötigt werden) nicht mit AUTOSAR 3.1 beschrieben werden. TIMMO füllt diese Lücke durch die Definition von EventConstraints und EventChains in der zu diesem Zweck definierten und an AUTOSAR angepassten Beschreibungssprache TADL (Timing Augmented Description Language).

EventConstraints

Mittels EventConstraints kann in TADL das Zeitverhalten von Events spezifiziert werden. Um eine einheitliche Darstellung zu erhalten, wurde eine Oberklasse EventConstraint definiert, von der weitere Klassen abgeleitet wurden (Periodic, Sporadic, Pattern und Arbitrary). Diese standardisierte Spezifikation des Zeitverhaltens von Ereignissen (Standard Event Models) ist unmittelbar in der Scheduling-Analyse verwendbar und wird vom Symtavisio-Werkzeug SymTA/S direkt unterstützt.

EventChains

Die zweite Neuerung erlaubt die Angabe von Zeitinformationen für Wirkketten über mehrere Komponenten. Solche EventChains können weiterhin segmentiert werden. Auch hier lassen sich über DelayConstraints zeitliche Vorgaben festlegen. Je nach Anwendungsfall werden unterschiedliche Semantiken (Bedeutungen) des Constraint unterschieden. In TADL sind es insgesamt vier (Bild 1):

- ▶ Alter (Age): Diese Zeitanforderung be-

schreibt, wie alt das Auftreten eines Ereignisses sein darf, damit es noch für die Erzeugung einer Antwort akzeptiert wird. Anders ausgedrückt beschreibt es, wie weit das Auftreten eines Ereignisses zurückliegen darf, um noch eine Antwort zu erzeugen.

▶ Reaktion (Reaction): Diese Zeitanforderung beschreibt, wie schnell auf das Auftreten eines Ereignisses reagiert werden muss. Bezüglich der involvierten Ereignisse bedeutet es, wann die Antwort auf einen Stimulus auftreten muss.

▶ Input- bzw. Output-Synchronität (Synchronization): Diese Zeitanforderung beschreibt den maximalen Abstand zwischen zusammengehörenden Ereignissen. Es ist sowohl möglich, die Synchronität von Stimuli zu fordern, als auch die Synchronität von Reaktionen.

Verbindung zu AUTOSAR

Die Schnittstelle zu AUTOSAR besteht für beide neuen Konzepte (d.h. EventConstraints und EventChains) in den Events. AUTOSAR definiert eine

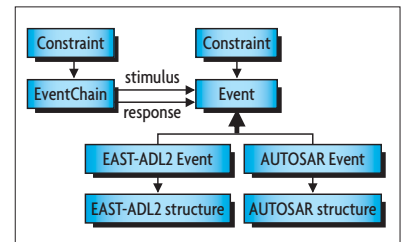


Bild 2. Verbindung zwischen TADL EventConstraints und EventChains zu AUTOSAR-Events.

ganze Reihe von AUTOSAR-Events, z.B. für die Aktivierung von Tasks, die Ankunft von Interrupts, das Ankommen einer PDU in COM, das erfolgreiche Empfangen eines Bus-Frames und viele mehr (Bild 2). Genau hier können die EventConstraints und EventChains (Letztere mit zwei Events, einem Stimulus und einer Response) eingeordnet werden. Das heißt, diese zusätzlichen Timing-Informationen von TADL referenzieren AUTOSAR-Elemente und können in einer optionalen Zusatzdatei zusammen mit AUTOSAR benutzt werden, ohne dass dazu Änderungen an den AUTOSAR-Modellen oder gar Definitionen notwen-

dig wären. Dadurch wird die Praxis der Implementierung und Code-Generierung auch nicht beeinflusst, was essentiell für die Akzeptanz der Einführung von Timing-Modellen ist. Für den System-Entwurf können Timing-Informationen nun erstmals in standardisierter Form genutzt werden. In **Bild 3** ist ein Beispiel für die Benutzung von Ereignissen (Event: Stimulus, Response) und Ereignisketten (EventChain) dargestellt.

Methodik

Kernelement der TIMMO-Methodik ist die semantisch präzise Beschreibung unterschiedlicher Arten zeitlicher Anforderungen sowie deren Nachverfolgbarkeit entlang des gesamten Entwicklungsprozesses über alle Abstraktionsebenen. Zusätzlich wurde auf AUTOSAR-Kompatibilität geachtet: Grundlegende AUTOSAR-Konzepte, die von der TIMMO-Methodik unterstützt werden müssen, um deren Anwendbarkeit im Kontext von AUTOSAR-Systemen sicherzustellen, wurden identifiziert und in die Anforderungen aufgenommen. Dabei zielt TIMMO primär auf die frühen Entwicklungsphasen, insbesondere auf die AUTOSAR-Schritte System-Configuration und ECU-Configuration. Gleichzeitig galt es darzustellen, auf

welche Weise die notwendigen Daten in der Praxis bestimmt werden können.

Die bevorzugte Lösung von Symtavisio besteht in der Kombination aller verfügbaren Informationsquellen. Wertvolle Informationen gehen bereits aus dem System-

Wissen (inkl. der mechanischen Komponenten) hervor, z.B. die Kurbelwellen-Interrupts einer Motorsteuerung. Und die Wirkketten (DelayConstraints) im Fahrwerks- und Motor-Bereich ergeben sich oft aus regelungstechnischen Vorgaben.

Für die implementierungsabhängigen Größen wie Software-Laufzeiten und Interrupts bieten sich Timing-Messung (Tracing) an einem bestehenden System an. Hier generiert man Verständnis für die internen Abläufe und bestimmt dann daraus die genannten Timing-Parameter. Der tatsächliche Umgang mit Timing beginnt daher oftmals mit der Überprüfung der Einhaltung von Constraints, d.h. oben rechts im V-Modell, die Daten bilden aber auch den Ausgangspunkt für Optimierungen und Erweiterungen, für die das

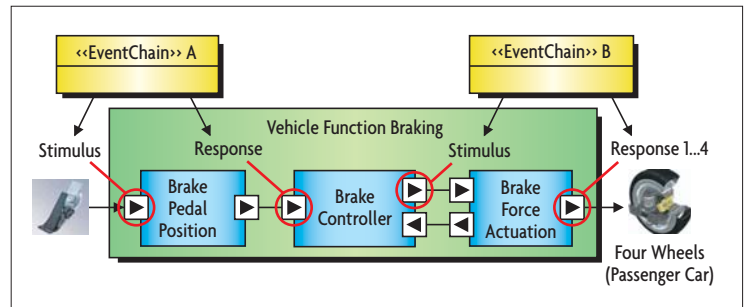
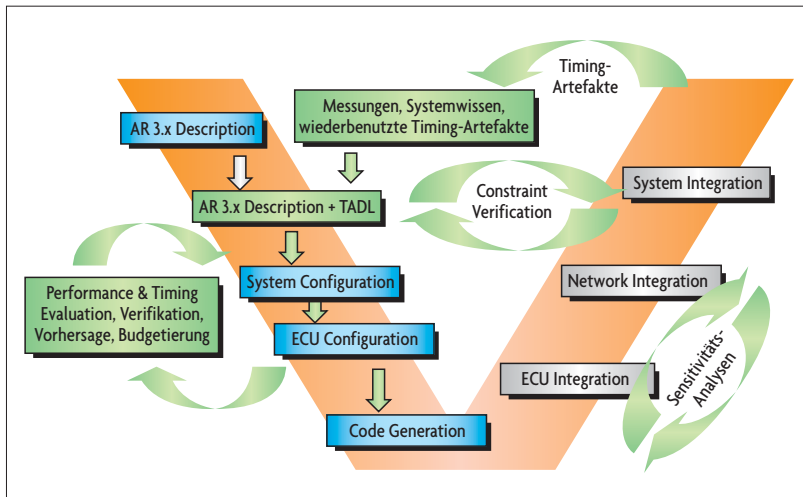


Bild 3. Ereignisse (Events) und Ereignisketten (EventChains) sowie deren kausaler Zusammenhang (Stimuli, Response). Das Auftreten der Ereignisse kann an den rot umkreisten Punkten (Ports) im E/E-System beobachtet werden.

Timing-Modell wiederbenutzt werden kann. Dieses Vorgehen hat sich in der Praxis bei Weiterentwicklungen bestehender Systeme etabliert. Die Übergänge zwischen den einzelnen Stufen im V-Modell sind in **Bild 4** gezeigt.

Bei einer kompletten Neuentwicklung kann man indes kaum Laufzeitdaten wiederverwenden. Hier zeigt sich ein besonderer Vorteil von abstrahierten Timing-Modellen. Anstatt auf die fertige Software-Implementierung zu warten, können Entwickler schon früh Schätzwerte oder Budgets für alle Komponenten annotieren. Die Timing-Analysen von Symtavisio können mit solchen Schätzwerten arbeiten und das Gesamtsystem-Timing als eine virtuelle Integration aus diesen Schätzungen vorhersagen. Wenn die Entwicklung voranschreitet, können die Entwickler

Bild 4. TIMMO TADL (grün) erlaubt neue Entwurfsschritte in der AUTOSAR-Methodik (blau) und kann darüber hinaus entwurfsbegleitend eingesetzt werden, bis hin zur Verifikation von System EventConstraints während der System-Integration.



ihre Schätzungen anpassen und so die Genauigkeit sukzessive verbessern. Kontinuierlich durchgeführt, werden kritische Engpässe frühzeitig entdeckt, und die Entwickler können entsprechend reagieren. Dabei helfen automatisierte Sensitivitätsanalysen (Was wäre wenn ...?). Diese variieren die geschätzten Werte und zeigen den Einfluss möglicher Schätzfehler auf das Echtzeit-Verhalten. So funktioniert die Engpass-Vermeidung auch dann, wenn

die geschätzten Größen oder Budgets noch eine Unsicherheit aufweisen, wie sie typisch für frühe Entwicklungsphasen ist.

Validierung

In TIMMO haben die OEMs und Tier-1-Zulieferer insgesamt fünf Validatoren aufgebaut. Dabei kommen verschiedene Werkzeuge zum Einsatz, darunter die Symtvision-Werkzeuge TraceAnalyzer zur Auswertung von Messungen und SymTA/S zur Vorhersage, Optimierung und Absicherung der Echtzeit-Fähigkeit. Dazu wird großteils automatisch ein initiales Timing-Modell aus Traces an vorhandenen Steuergeräten erzeugt. Dieses Modell wird dann um neue Software-Funktionen oder Kommunikationswege ergänzt. Weiter können

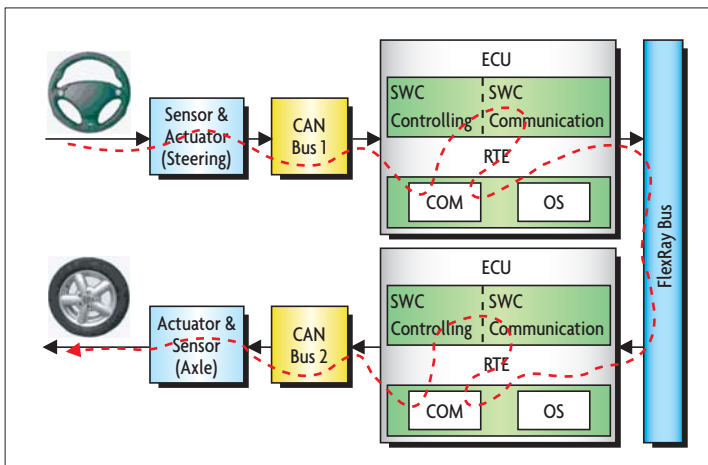


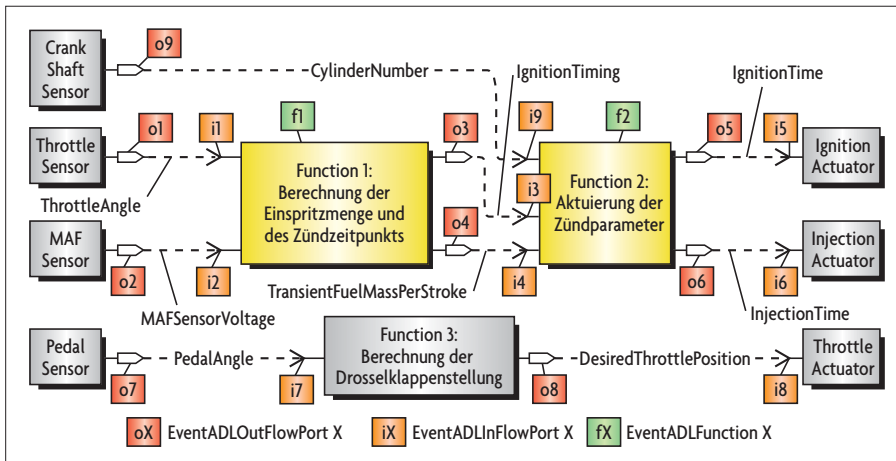
Bild 5. Wirkkette eines Steer-by-Wire-Systems über mehrere ECUs und Busse.

verschiedenen Änderungen am System virtuell vorgenommen und so „Was wäre wenn“-Vorhersagen getroffen werden.

Die Validatoren konzentrierten sich im Wesentlichen auf die Entwurfs- und Implementierungsphase der TIMMO-Methodik, wobei einzelne Validatoren auch Teile der Fahrzeug- und Systemdefinition sowie der Testphase und die Anwendbarkeit von TADL untersuchten.

Beim ersten Validator handelt es sich um ein Antiblockiersystem (ABS) von Volvo. Volvo hat umfangreiche Analysen von Wirkketten mit SymTA/S durchgeführt und damit EventConstraints und DelayConstraints einer komplexen Software-Architektur abgesichert. Der zweite Validator der Universität Paderborn implementierte ein Steer-by-Wire-System mit aktiver Stoßdämpfung. Auch hier kam SymTA/S zum Einsatz, in diesem Fall für die Software und die verteilte Bus-Kommunikation entlang der gezeigten Wirkketten (Bild 5). Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Synchronisation zwischen den ECUs und dem FlexRay-Bus bzw. den Sensoren gelegt.

Der dritte Validator implementierte ein Bosch Engine Management eines Achtzylinder-Viertakt-Motors. Als Ausgangspunkt dienten das Simulink-Modell der Motorsteuerung sowie das Ascet-Modell der Anwendung. Am Beispiel dieser Ascet-Module wurden relevante Events identifiziert und als Eventketten in TADL repräsentiert. Bild 6 zeigt die abstrakte Darstellung der Teilfunktionen und die an den Ein- und Ausgängen identifizierten Events. Der eigentliche Versuchsaufbau bestand aus einer TriCore-basierten ECU, die mit Ascet konfiguriert wurde und



I Bild 6. Beispiel Engine Management.

als Basis der Timing-Analyse diente. Vom Board wurden die Traces mittels RTA-Trace aufgenommen und zur Timing-Analyse mit SymTA/S aufgearbeitet.

Der vierte Validator implementierte ein Transmission-Control-Szenario für ein elektronisches Schaltgetriebe von ZF. Auch hier wurde mittels Tracing und des Symtvision Trace-Analyzers ein erstes Timing-Modell erstellt. Dieses fungierte als Ausgangspunkt für eine Reihe von Experimenten (mit dem Werkzeug SymTA/S), mit denen das zeitliche Verhalten des Systems verifiziert und optimiert werden konnte. Insbesondere wurde auch gezeigt, dass und wie sich der Einfluss

von Entwurfsentscheidungen und Systemerweiterungen auf das Timing-Verhalten systematisch vorhersagen lässt. Hierzu war das Vorhandensein eines Timing-Modells essentiell, und es konnten bereits virtuell Fehler entdeckt und gelöst werden, wobei gleichzeitig das System optimiert wurde.

Zusammen mit Continental Automotive wurde ein SymTA/S-Timing-Modell einer hochgradig dynamischen Motorsteuerung für den fünften Validator, eine Cruise-Control-Anwendung, erarbeitet und analysiert. Weiterhin wurden die SymTA/S-Importschnittstellen an spezifische Anforderungen von Continental Automotive angepasst. sj



Dr. Marek Jersak

studierte Elektrotechnik an der RWTH-Aachen und promovierte 2004 an der TU-Braunschweig. Von 1997 bis 1999 arbeitete er als Ingenieur und Projektleiter für Conexant Systems, Newport Beach/Kalifornien, im Bereich DSP-Compiler-Design und Optimierung. Seit 2005 ist er Geschäftsführer (CEO) der Symtvision GmbH, die er mit gründete. Seine Aufgaben umfassen Unternehmensstrategie und Business-Development.

jersak@symtvision.com



Dr. Kai Richter

hat Elektrotechnik an der Technischen Universität Braunschweig studiert und 2004 promoviert. Als anerkannter Experte im Bereich der Zeit- und Performanz-Analyse verteilter, eingebetteter Systeme hat er mehr als 50 Veröffentlichungen für international renommierte Zeitschriften und Konferenzen verfasst und weitaus mehr Vorträge zum Thema gehalten. Seit 2005 ist er in der von ihm mit gegründeten Symtvision GmbH als Geschäftsführer für Technologie und Forschung verantwortlich.

richter@symtvision.com