

Embedded Artificial Intelligence

Neue Möglichkeiten in der Funktionsentwicklung für Motorsteuergeräte

Aktuelle Steuergeräte bieten dank moderner hochleistungsfähiger Ein-Chip-Systeme (System-on-Chip) mehr verfügbare Rechenleistung. Mit ihren Onboard-Ressourcen ermöglichen sie es nicht nur auf einen unvorhergesehenen Funktionszuwachs zu reagieren, sondern auch die bedarfsgerechte Erfüllung von kurzfristigen Änderungen der Kundenanforderungen innerhalb des Entwicklungsprozesses. Infineon und ETAS zeigen gemeinsam mit Ford Research, wie sich die Grenzen klassischer Steuerungsstrategien mittels datenbasierter Modellierungsalgorithmen direkt auf dem Steuergerät überwinden lassen.

Strengere Abgasvorschriften und immer komplexere neue Technologien etwa für hybridelektische Fahrzeuge und autonomes Fahren machen leistungsfähigere Steuerungsfunktionen für Motormanagementsysteme erforderlich. Klassische Steuerungsstrategien und virtuelle Sensoren in Steuergeräten waren bislang auf Applikationskennfelder mit maximal zwei Eingangsdimensionen begrenzt. Dies musste genügen, um das gewünschte Motorverhalten unter verschiedensten Betriebsbedingungen zu gewährleisten. Mehrdimensionale Zusammenhänge sind zwar durch die Kombination der Ausgangswerte mehrerer Kennfelder möglich, allerdings kann der Steuergeräte-kern nur zwei Eingangsparameter gleichzeitig verarbeiten. Angesichts der Anforderungen künftiger Steuergerätefunktionen und des anfallenden Applikationsaufwands im Entwicklungszyklus eignet sich der kennfeldbasierte Ansatz nur bedingt. Eine Lösung ist der Einsatz von datenbasierten Modellen, die klassische kennfeldbasierte Strukturen ersetzen und über-treffen können, wenn sich mehrdimensionales und nichtlineares Verhalten nicht ausreichend genau erfassen lässt.

Datenbasierte Systemidentifikation mit ETAS ASCMO

Bei der datenbasierten Modellierung wird das Eingangs-/Ausgangsverhalten eines physikalischen Systems anhand mathematischer Gleichungen nachgebildet. Dazu werden Modellparameter mithilfe repräsentativer und unter Betriebsbedingungen erfasster Messdaten angepasst. ETAS ASCMO erzeugt mittels Bayes'scher Modellierung über Gauß-Prozesse hochpräzise datenbasierte Modelle. Das Tool erstellt diese vollautomatisch ohne Parametrierung durch den Benutzer. Es erfordert keine Vorkenntnisse der zugrundeliegenden mathematischen Prinzipien und erstellt Modelle mit ähnlicher oder sogar präziserer Modellvorhersage als vergleichbare datenbasierte Verfahren. Für die Anwendung von Modellen in eingebetteten Umgebungen bietet ETAS ASCMO eine Modellkompression, die den Rechenaufwand reduziert und die Ausführung in Echtzeit gewährleistet.

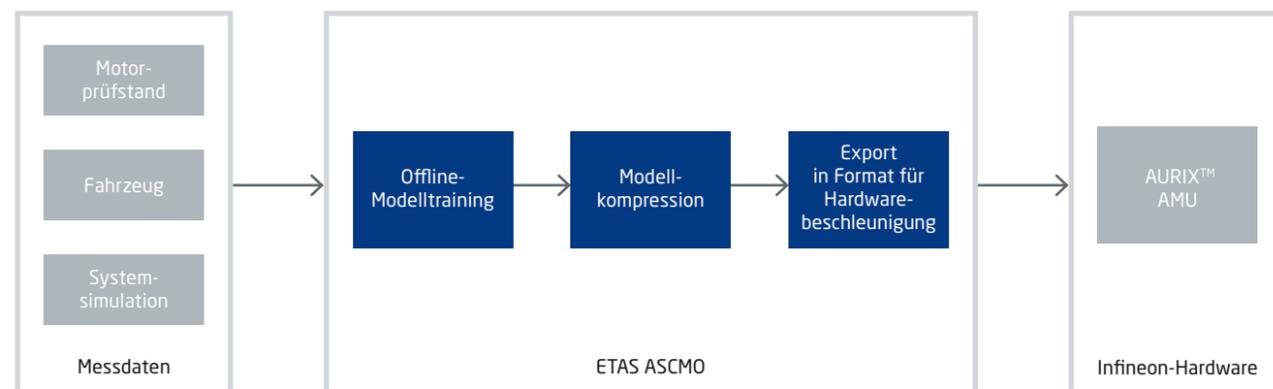


Bild 1: Schema der datenbasierten Modellierung und Hardwarebeschleunigung.

Hardwarebeschleuniger „Advanced Modeling Unit“ von Infineon

Steuergerätefunktionentwickler stoßen bei der Implementierung datenbasierter Modellierungsalgorithmen in mikrocontrollerbasierten Architekturen an Grenzen. Der neue Gleitkomma-Coprozessor Advanced Modeling Unit (AMU), der mit Bosch Know-how entwickelt wurde, beschleunigt echtzeitkritische Anwendungen, indem er dem Hauptprozessor (CPU) Rechenarbeit abnimmt. Die AMU ist Teil der Infineon-Mikrocontrollerfamilie TriCore™ AURIX™ TC3x und bietet eine Hardwarelogik für die Berechnung von Exponentialfunktionen (zum Beispiel radiale Basisfunktionen, RBF). Nur mit dieser lassen sich ETAS ASCMO-Modelle auf Mikrocontrollern ohne zusätzliche Software und Prozessorressourcen ausführen. Ein RBF-basierter Anwendungsfall ist beispielsweise die Berechnung virtueller Sensoren, die dank Hardwarebeschleunigung über 30-mal schneller ausgeführt werden kann als bei einer Software-Implementierung auf der TriCore™-CPU^[1].

ETAS ASCMO und AMU in der Anwendung

In der klassischen Funktionsentwicklung sind Systemphysik und technische Grundprinzipien maßgeblich. Modelle werden grundsätzlich einmal pro Systemtyp konzipiert und dann für viele verschiedene Anwendungen wiederverwendet. Es werden große Datenmengen erfasst, um das System so weit zu durchdringen, dass es im Entwicklungsprozess modelliert werden kann. Dabei gilt es, Modelle anwendungsübergreifend identisch zu gestalten, sodass sie sich nur in der Applikation für bestimmte Anwendungen unterscheiden.

Die Software-Entwicklung mit ETAS ASCMO und AMU gestaltet sich jedoch etwas anders (Bild 1). Hier müssen nur Eingangssignale identifiziert werden, die relevant für einen konkreten Ausgang sein können. Der genaue Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgängen ist hingegen nicht erforderlich. Die für Modelltraining und -tests erforderlichen Daten stammen aus

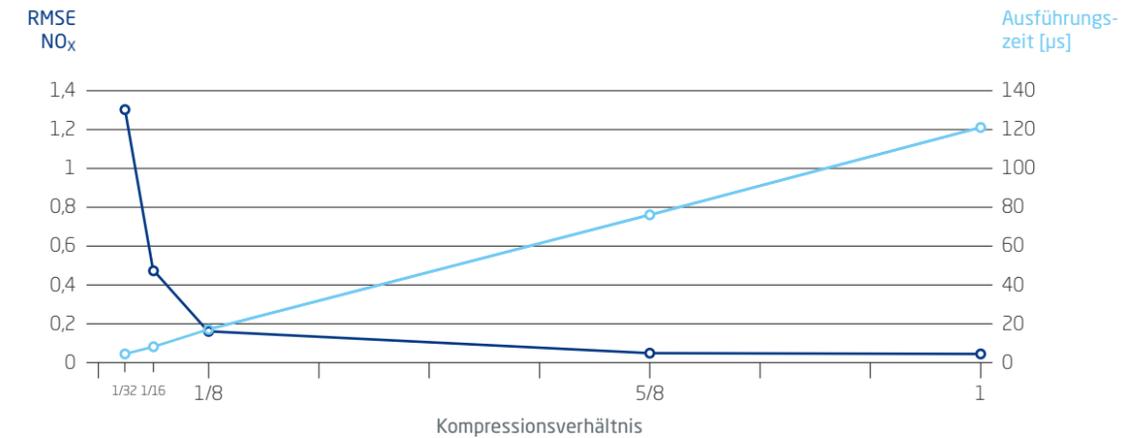


Bild 2: Ergebnisse NO_x-Beispiel.

Motorprüfständen oder instrumentierten Fahrzeugen. Die erstellten Modelle werden in ETAS ASCMO offline trainiert und geprüft. Je nach Größe der Trainingsdatensätze und der verwendeten Modellkompression in ETAS ASCMO ändern sich Ausführungszeit, Speicherbedarf und Modellgüte. Die Validierung der Modellgenauigkeit auf Basis statistischer Verfahren erfolgt ebenfalls in ETAS ASCMO. Bei ausreichender Genauigkeit wird das Modell in das AMU-Format exportiert und auf der Steuergerätehardware implementiert.

Beispiel und Ergebnisse

Bild 2 veranschaulicht ein nicht für die Serienfertigung bestimmtes Beispiel zur Berechnung von NO_x-Motoremissionen. Die AMU-Ausführungszeit des unkomprimierten Modells betrug etwa 120 µs. Eine wichtige Erkenntnis aus der Abbildung ist, dass das Kompressionsverhältnis des Modells und die Ausführungszeit linear zusammenhängen, wobei die Steigung der Geraden von der Anzahl der Eingänge abhängt. Zudem zeigt sich eine nichtlineare Abhängigkeit zwischen der Kompressionsrate des Modells und seinem mittleren quadratischen Fehler (Root Mean Square Error, RMSE). Letzterer steigt bei höheren Kompressionsfaktoren – hier 1/8 und darunter – drastisch an. Die Verkleinerung des Modells mittels Modellkompression kann die Ausführungszeiten signifikant verkürzen bei nahezu unveränderter Modellgenauigkeit. Das konkrete Kompressionsverhältnis hängt von den RMSE-Anforderungen der jeweiligen Anwendung ab.

Andere Anwendungen von ETAS ASCMO und der Infineon-AMU finden sich in der Fachliteratur, beispielsweise für die Modellierung volumetrischer Wirkungsgrade und Abgasrückführung^[2] – ein weiterer Beleg für die Vorteile dieses neuen Ansatzes in der Entwicklung von Seriensoftware.

Zusammenfassung

Angesichts immer komplexerer Steuergerätefunktionen beschleunigt und vereinfacht die datenbasierte Modellierung die Entwicklungsarbeit beträchtlich – bei höherer Qualität und Verständlichkeit der Anwendung. Mit ETAS ASCMO lassen sich mühelos hochpräzise Verhaltensmodelle erstellen. Dank der Infineon-AURIX™-AMU können ETAS ASCMO-Modelle in Echtzeit ausgeführt werden, ohne den Hauptkern des Steuergeräts merklich zu belasten. Die AMU-Hardwarebeschleunigung und die Modellkompression in ETAS ASCMO sind entscheidend für eine effiziente Implementierung datenbasierter Modelle auf Steuergeräten.

Autoren

Chinh Nguyen ist System-on-Chip and In-vehicle Compute Research Engineer bei der Ford Motor Company. **Tobias Gutjahr** ist Program Manager bei ETAS Inc. **Adam Banker** ist Powertrain Controls Research Technical Expert bei der Ford Motor Company. **Dona Burkard** ist In-vehicle Core Software Manager bei der Ford Motor Company. **Klaus Scheibert** ist Senior Principal in the System Architectures Team for PT&xEV Applications within Infineon Automotive Microcontrollers bei der Infineon Technologies AG. **Atila Bulmus** ist Lead Principal System Application Engineer for Powertrain bei der Infineon Technologies North America Corp.

Dieser Artikel ist eine Zusammenfassung der bereits in ^[1] veröffentlichten Ergebnisse.

Literaturangaben

^[1] Nguyen, C., Gutjahr, T., Banker, A., Burkard, D., Scheibert, K., Bulmus, A., „Hardware Supported Data-Driven Modeling for ECU Function Development“, SAE-Technikdokument 2020-01-1366, 2020.
^[2] Nork, B. und Diener, R., „AMU-Based Functions on Engine ECUs“, in „International Conference on Calibration Methods and Automotive Data Analytics“, expert Verlag, 2019.