Kurzbericht

16ME0382K - Seventh-SensIC

Förderkennzeichen:	16ME0382K
Projektlaufzeit:	01.08.2021 – 31.12.2024
Berichtszeitraum:	01.08.2021 – 31.12.2024

Auftraggeber / Projektpartner:

Firma:	VDI/VDE-IT
Straße:	Steinplatz 1
PLZ Ort:	10623 Berlin

Verfasser:	Jacob Göppert, Thorsten Hehn		
E-Mail & Telefon:	jacob.goeppert@hahn-schickard.de	0761	/ 887 865 721
	thorsten.hehn@hahn-schickard.de	0761	/ 887 865 722

Ziel des Projekts *Seventh-SensIC* war die Entwicklung eines modularen, energieeffizienten Systems zur hardwareseitigen Merkmalsextraktion aus sensorischen Zeitreihendaten. Im Mittelpunkt stand ein universelles Feature-System, das verschiedene Signaltransformationen und Merkmalsextraktionen integriert und damit eine breit anwendbare Grundlage für unterschiedliche Klassifikationsprobleme bereitstellt. Der Ansatz wurde so ausgelegt, dass er auf unterschiedlichste Datentypen – etwa akustische, biophysikalische oder mechanische Signale – übertragbar ist, ohne auf eine spezifische Anwendungsdomäne beschränkt zu sein (vgl. Abbildung 1).

Das Gesamtsystem besteht aus zwei zentralen Komponenten: einem entscheidungsbaumbasierten Klassifikator, der vom Projektpartner entwickelt wurde, und dem im Projekt realisierten Feature-System, das die für die Klassifikation erforderlichen Merkmale direkt aus den Eingangsdaten berechnet. In diesem Bericht steht die Entwicklung und Umsetzung des Feature-Systems im Vordergrund.

Eine zentrale Projektaktivität war die Analyse repräsentativer öffentlicher Datensätze aus verschiedenen Anwendungsbereichen, darunter Medizintechnik, Lifestyle und Maschinenbau. Ziel war die Identifikation generisch geeigneter Merkmale und Transformationen, die eine robuste Klassifikation in unterschiedlichen Kontexten ermöglichen. Hieraus wurde ein optimierter Merkmalsraum abgeleitet, der sowohl klassische statistische Kennwerte (z. B. Mittelwert, Varianz, Schiefe) als auch Transformationsergebnisse wie FFT, Wavelet und Teager-Energie umfasst.

Neben der Klassifikationseffizienz wurden die ausgewählten Features auch unter dem Gesichtspunkt ihrer energetischen Kosten bewertet. Hierfür wurde ein formales Verfahren zur Bestimmung der Feature-Kosten-Effizienz entwickelt, das für jedes Merkmal den Beitrag zur Klassifikationsgüte in Relation zum Energiebedarf der hardwareseitigen Implementierung setzt. Diese Informationen flossen sowohl in die Architektur des Feature-Systems als auch in die Trainingsdaten der späteren Klassifikatoren ein.

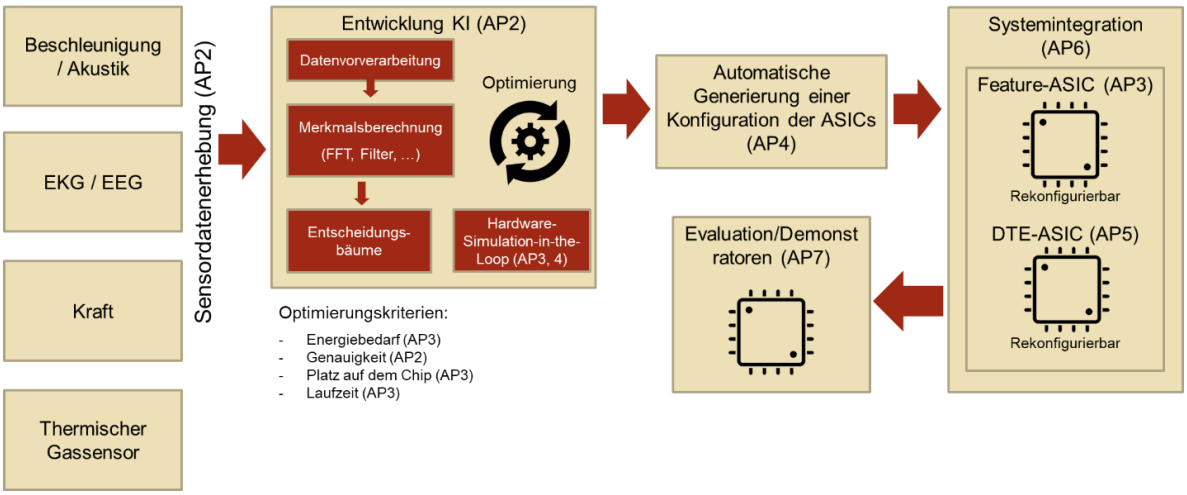

Abbildung 1 Projektkonzept

Das Hardwaredesign der Merkmalsberechnung folgt einem modularen Systemansatz. Die Architektur des Feature-Systems basiert auf einer zentralen State-Machine, die den Ablauf der Datenverarbeitung deterministisch steuert. Alle Feature-Blöcke sind über einen gemeinsamen Bus eingebunden und können flexibel aktiviert oder deaktiviert werden. Dadurch lässt sich die Auswahl sowohl der Signaltransformationen (z. B. FFT, Wavelet, Teager-Energie) als auch der darauf aufbauenden Merkmale konfigurieren. Dieses modulare Konzept ermöglicht eine effiziente Anpassung des Systems an unterschiedliche Signaltypen und Klassifikationsaufgaben, ohne die zugrunde liegende Hardwarearchitektur verändern zu müssen.

Eingangssignale werden in nicht überlappende Fenster von 64 bis 512 Samples segmentiert und jeweils unabhängig verarbeitet. Für jedes Datenfenster können verschiedene Transformationen angewendet werden, deren Ergebnisse als alternative Eingangsvektoren dienen. Die eigentliche Merkmalsextraktion erfolgt in zwei Stufen: Einfache Features (z. B. Extrema, Mittelwert, Nulldurchgänge) werden direkt beim Einlesen der Datenpunkte aktualisiert, um Speicherzugriffe zu minimieren. Komplexe Features (z. B. RMS, Varianz, Schiefe, Kurtosis) werden in einem zweiten Verarbeitungsschritt berechnet und nutzen teilweise Zwischenergebnisse aus der ersten Stufe oder von anderen komplexen Features.

Durch diese Struktur werden gemeinsame Rechenpfade genutzt, wodurch sich die Energie- und Laufzeitkosten einzelner Features nicht additiv verhalten, sondern teilweise überlappen. Diese Eigenschaft ist Grundlage des im Projekt entwickelten Optimierungsansatzes, der Klassifikationseffizienz und Energiebedarf kombiniert betrachtet.

Das Projekt umfasste zwei Chipfertigungen in der 22FDX-Technologie von GlobalFoundries. Während der erste Fertigungsschritt vor allem der Verifikation von Test- und Kommunikationskonzepten diente, wurde im zweiten Schritt das neu entwickelte Feature-System integriert.

Das Feature-System selbst wurde im Projekt umfassend auf Simulationsebene evaluiert. Grundlage waren Trainings- und Testdatensätze aus den adressierten Klassifikationsproblemen, auf deren Basis eine breite funktionale Testabdeckung erzielt wurde. Die Implementierung benötigt in der 22 nm-Technologie eine Chipfläche von rund 0,25 mm².

Die Energieeffizienz hängt von Fenstergröße und Konfiguration ab, was durch den entwickelten Optimierungsansatz systematisch berücksichtigt wird. Die Energie pro Klassifikation reicht von 15 nJ bei kleinen Datenfenstern bis zu 11 mJ bei großen, komplexen Auswertungen. Damit konnte gezeigt werden, dass das System flexibel an unterschiedliche Einsatzszenarien angepasst werden kann – von stark energiebegrenzten Umgebungen bis hin zu rechenintensiven Anwendungen mit erweiterten Analyseanforderungen.