

Schlussbericht
Teil I – Kurzbericht

Verbundprojekt: Eingebettete Datenspeicher für Mikrocontroller mit
Künstlicher Intelligenz - StorAlge

Teilprojekt von Endiio Engineering GmbH

StorAlge

Förderkennzeichen 16MEE0159

Dr.-Ing. Tolgay Ungan
Endiio Engineering GmbH



I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung sowie Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Aufgabe des Teilprojekts bestand darin, energieeffiziente Verfahren zur Signalverarbeitung und eingebetteten Künstlichen Intelligenz auf Mikrocontrollern zu entwickeln, die in batteriebetriebenen, schwer zugänglichen Sensorknoten eingesetzt werden können. Ausgangspunkt war die Tatsache, dass Funksensoren in industriellen Anwendungen etwa in Windturbinengetrieben große Rohdatenmengen übertragen müssen und dadurch viel Energie verbrauchen, was die Batterielebensdauer deutlich verkürzt. Gleichzeitig wächst der Bedarf an zuverlässiger Echtzeitanalyse zur Zustandsüberwachung und Anomaliedetektion. Diese Verfahren sind jedoch in der Regel nicht direkt auf Mikrocontroller übertragbar, da sie für Plattformen mit höheren Ressourcen entwickelt wurden. Der technologische Ausgangspunkt bestand daher darin, moderne ML- und Signalverarbeitungsverfahren so anzupassen, dass sie auf sehr begrenzter Hardware zuverlässig und energieeffizient arbeiten können.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben gliederte sich in die Entwicklung energieeffizienter Signalverarbeitungsmethoden, die Implementierung ressourcenschonender ML-Modelle und die Validierung der Ergebnisse in zwei industriellen Demonstratoren. Zunächst wurden auf Mikrocontrollern hochauflösende Frequenzanalysen durch eine optimierte Zoom FFT realisiert, die weniger als 1 Hz Auflösung bei minimalem Speicherbedarf ermöglicht. Diese lokale Vorverarbeitung reduzierte die zu übertragende Datenmenge erheblich und bildete die Grundlage für die anschließenden eingebetteten ML-Verfahren. Parallel dazu wurde ein ultraniedrigenergetischer RF-Wake-Up-Empfänger entwickelt und gemeinsam mit dem Partner IMMS technisch validiert, um Funkmodule nur bei Bedarf aktivieren zu müssen und somit die Gesamtsystemenergie weiter zu reduzieren. Im weiteren Verlauf wurden die entwickelten Verfahren in einem Anwendungsfall getestet: im Windturbinengetriebe-Use-Case wurden Beschleunigungssignale eines Prüfstands analysiert. Der Demonstrator diente als Realumgebungen, um die Effizienz, Robustheit und Echtzeitfähigkeit der entwickelten Methoden auf Mikrocontrollerhardware nachzuweisen.

3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Im Ergebnis zeigt das Projekt, dass anspruchsvolle signalverarbeitende und maschinelle Lernverfahren erfolgreich auf Mikrocontroller portiert und in industriellen Szenarien eingesetzt werden können. Die Zoom FFT ermöglichte eine hochauflösende Analyse bei drastisch reduziertem Energiebedarf und verlängerte die Batterielebensdauer eines Sensorknotens um etwa 40 %. Ergänzend wurde der gemeinsam mit IMMS entwickelte RF-Wake-Up-Empfänger erfolgreich validiert, der mit nur 5,6 μA Ruhestrom und 6 ms Reaktionszeit eine wichtige Grundlage für langlebige IoT-Systeme bildet. Die enge Zusammenarbeit mit ZF Friedrichshafen ermöglichte realistische Tests an einem industriellen Getriebeprüfstand, während Knowtion GmbH wesentliche Beiträge zur Modellintegration und ML-Optimierung lieferte. Insgesamt leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur energieeffizienten Edge-KI, Predictive Maintenance und zur industriellen Digitalisierung und schafft eine solide Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen der multisensorische Fusion.