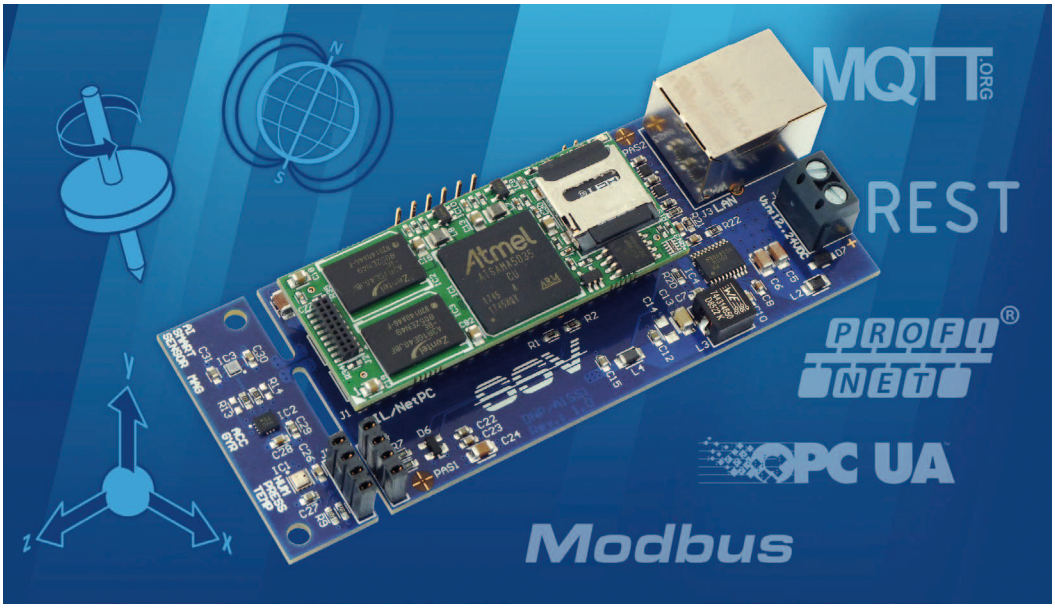
IoT-Sensoren brauchen künstliche Intelligenz!



Autor:
Klaus-Dieter Walter, CEO
SSV Software Systems GmbH
www.ssv-embedded.de

Der AMA Verband für Sensorik e. V. in Deutschland hat vor kurzem die Studie Sensor Technologien 2022 veröffentlicht. Das Dokument liefert einen guten Überblick zum aktuellen Stand der Technik. Es fehlen allerdings der echte Blick in die Zukunft sowie der Bezug zur künstlichen Intelligenz (KI). Am Ausgang zukünftiger IoT-Sensoren werden schließlich weniger die Rohdaten, sondern in vielen Fällen mittels KI-Algorithmen gewonnene Vorhersage- oder Klassifizierungsinformationen benötigt.

Die Problematik

Im Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies haben Plattformen für das Internet der Dinge den Gipfel der überzogenen Erwartungen (Peak of Inflated Expectations) fast erreicht. Trotzdem existiert bisher keine allgemein gültige Definition für einen IoT-Sensor oder ein IoT-Sensorsystem. Eine Internet-Suche mit der Zeichenfolge „IoT Sensor" bringt zwar zigtausend Treffer, verdeutlicht aber auch das breite Technologie- und Anbieterspektrum in diesem Bereich. In einigen Foren werden beispielsweise die Begriffe Smart Sensor und IoT-Sensor miteinander verknüpft, obwohl auch ein Smart Sensor je nach Sichtweise sehr unterschiedliche Eigenschaften haben kann. Bei den IoT-Sensorsystemen reichen die Beispiele vom „Body Sensor Network for Healthcare Systems" über „Industrial Wireless Sensor Networks for Data Collection" bis hin zur nahezu unüberschaubaren Vielfalt spezieller Lösungen diverser Anbieter für vertikale Märkte – zum Beispiel „The Enlighted System".

Standards, wie die IEEE 1451-Sammlung mit ihren verschiedenen Substandards, sind aus IoT-Sicht offenbar veraltet und daher in diesem Bereich praktisch ohne Relevanz. Noch nicht einmal die durchaus brauchbaren Ideen des IEEE 1451.4-basierten Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) finden in IoT-Anwendungen bisher irgendeine Beachtung. Ein Grund dafür dürften auch die völlig unterschiedlichen Innovationsgeschwindigkeiten im Internet der Dinge und der IEEE als internationales Standardgremium sein. Der Versuch, über ein neu zu gründendes Anbieterkonsortium einen entsprechenden IoT-Sensor-Standard zu schaffen, ist 2016 offensichtlich über die Verbreitung einer Pressemeldung nicht hinausgekommen.

Funktionseinheiten eines IoT-Sensors

Eine Orientierung zu universellen Smart Sensors, wenn auch in einer sehr frühen Phase, bietet der AMA Verband für Sensorik e. V. in Deutschland. In der Anfang 2018 erschienen Studie Sensor Technologien 2022 beschreiben die Autoren

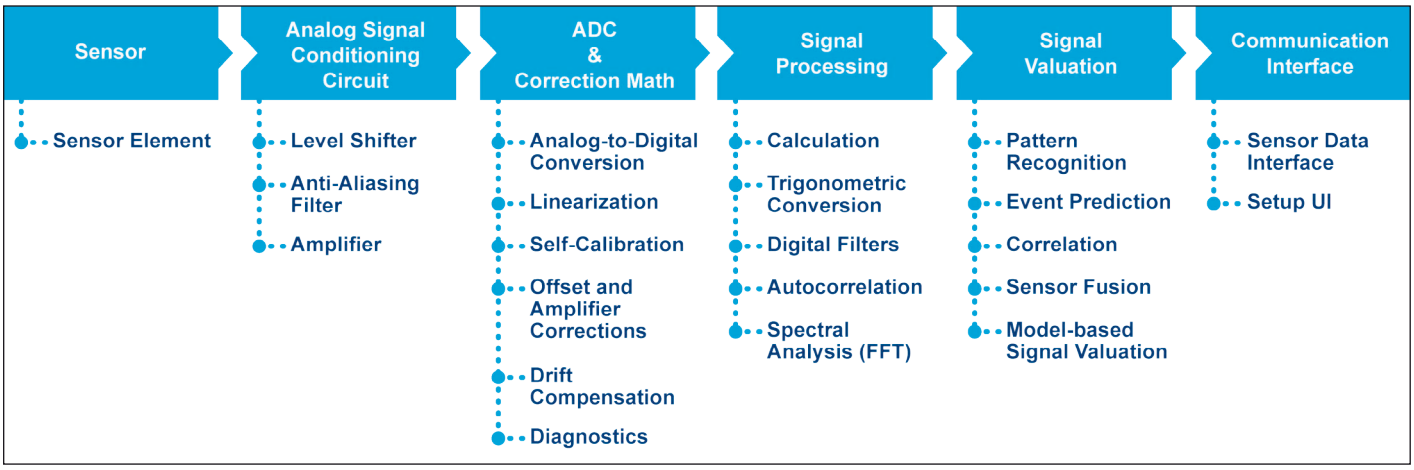


Bild 1: Smart Sensor-Funktionseinheiten und deren Eigenschaften aus Sicht des AMA Verband für Sensorik e. V. in Deutschland. Die sechs Funktionseinheiten lassen sich für einen universellen IoT-Sensor in vier Sektionen gliedern: 1. Sensing (Sensor Element + Analog Signal Conditioning Circuit), 2. Digital Signal Processing (ADC and Correction Math), 3. Sensor Data Algorithms (Signal Processing + Signal Valuation) und 4. das Communication Interface.

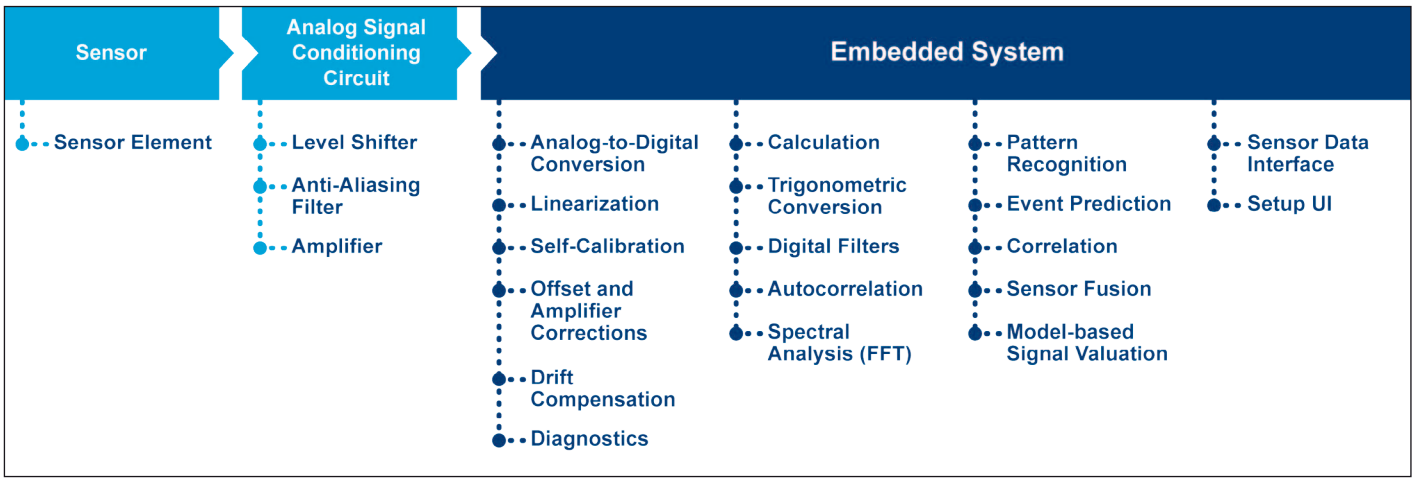


Bild 2: Die meisten Funktionen eines Smart Sensors lassen sich mit Hilfe eines Embedded Systems realisieren. Dabei werden alle relevanten Sensorfunktionen zur Informationsgewinnung und Kommunikation per Software implementiert. In der Praxis ergeben sich dadurch weitere Anforderungen, wie zum Beispiel die Notwendigkeit von Firmware Patches per FOTA (Firmware Over The Air) und Security Updates. Des Weiteren ist in der Regel eine Benutzerschnittstelle zur Konfiguration des smarten Sensors erforderlich (Setup UI).

die Funktionseinheiten eines Smart Sensors und liefern Beispiele wie sich ein solcher Sensor grundsätzlich realisieren lässt. Die AMA-Sicht lässt sich mit minimalen Erweiterungen durchaus als Vorlage (Template) für einen generischen IoT-Sensor nutzen. In der Studie beschreiben die AMA-Autoren ein Konzept für einen universellen Smart Sensor, in dem die beiden Funktionsbereiche Sensor und Analog Signal Conditioning Circuit aus Bild 1 direkt mit einem Embedded System verbunden werden, das über Hardware- und Softwareeigenschaften alle weiteren Sektionen inklusive der Kommunikationsschnittstelle realisiert. Dafür wird ein strukturierter Entwicklungsablauf gefordert, der die Aspekte

- Systemarchitektur
- Algorithmen
- Hardwareentwurf
- Hardwareprogrammierung
- ggf. Einsatz eines Betriebssystems
- Applikationssoftware
- Test und Zertifizierung

möglichst vollständig abdeckt und umfassende Spezifikationen hinsichtlich der Entwicklungsziele voraussetzt.

Das AMA-Dokument geht davon aus, dass die gesamte Firmware eines Smart Sensors im Rahmen eines konventionellen Embedded-Software-Entwicklungsprozesses erstellt wird. Das setzt voraus, dass der Zusammenhang zwischen den Sensoreingangsvariablen (Sensor Element Input) und dem gewünschten Ausgangswertebereich beim Entwicklungsbeginn vollständig bekannt ist und von den beteiligten Softwareentwicklern auch für ein Embedded System kodiert werden

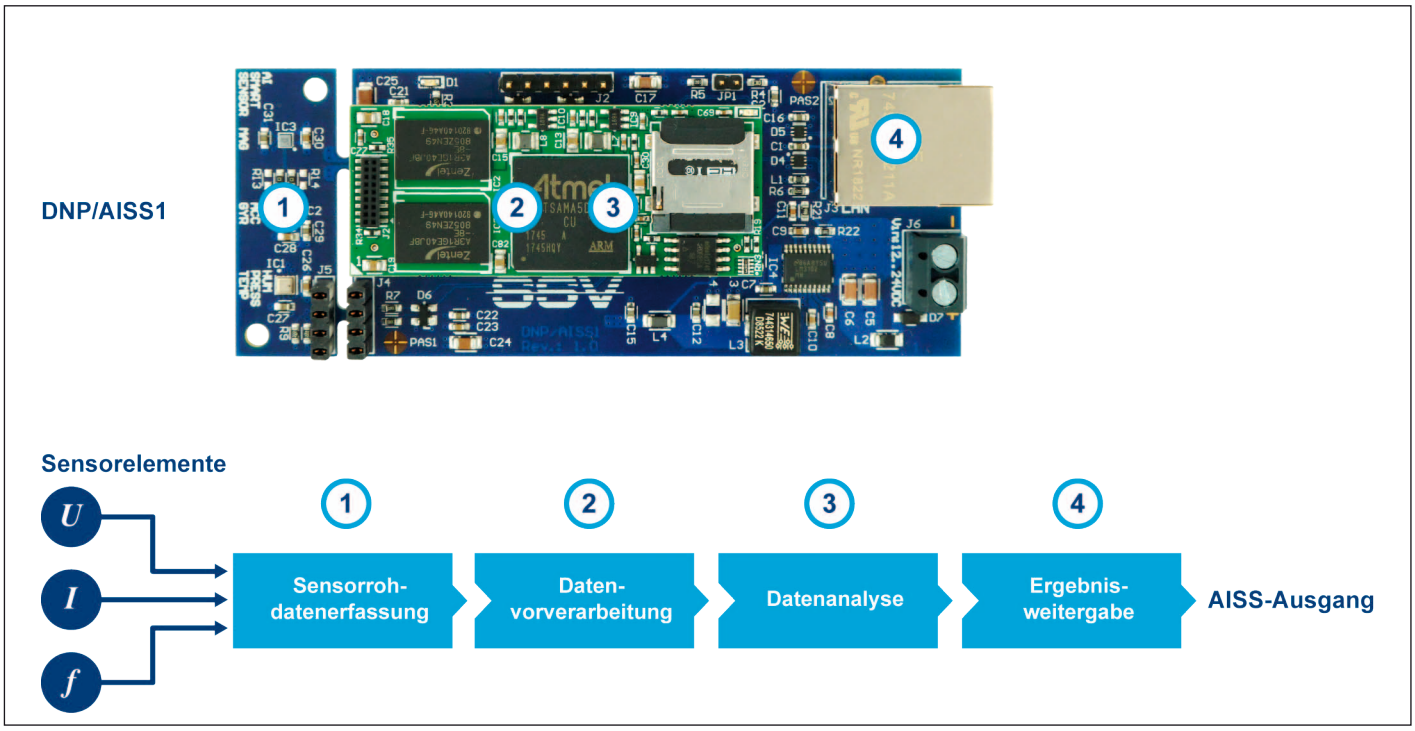


Bild 3: Zukünftige IoT-Sensoren mit hohem Anwendernutzen haben einen deutlich größeren Softwareanteil als die zurzeit existierenden Produkte. Dabei wandert ein Teil der Funktionen, für die gegenwärtig Cloud-Services genutzt werden, aus unterschiedlichen Gründen (z. B. Datensparsamkeit, Echtzeit- und Datenschutzprobleme) direkt in den Sensor. Im Sensor selbst entsteht dabei eine vierstufige Verarbeitungskette aus Rohdatenerfassung, Datenvorverarbeitung, KI-basierter Datenanalyse und Informationsweitergabe.

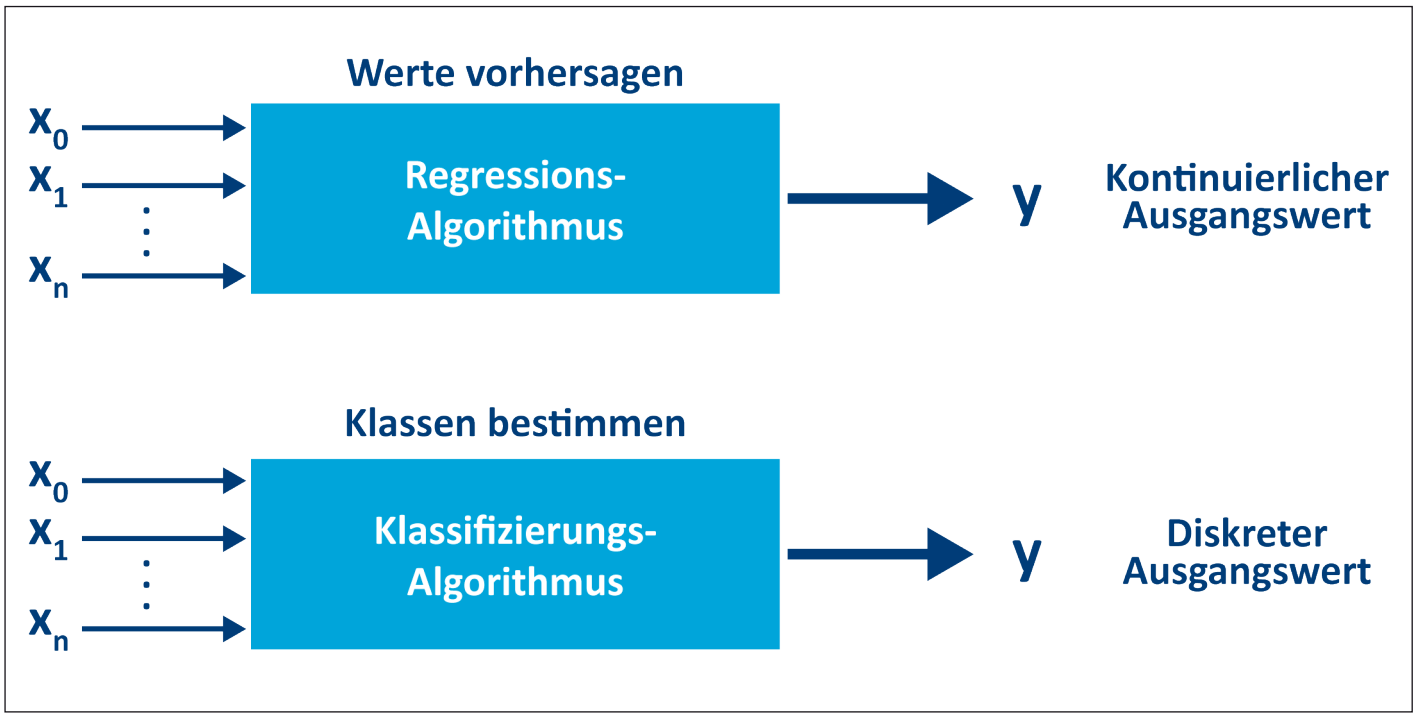


Bild 4: Durch einen integrierten KI-Algorithmus wird ein Sensor in die Lage versetzt, die internen Sensorrohdaten verschiedener Sensorelemente (x[0], x[1], … , x[n]) mit Hilfe eines Machine-Learning-Modells bzw. neuronalen Netzwerks in Echtzeit zu bewerten und eine bestimmte Information am Ausgang zu liefern, zum Beispiel an Hand der Eingangsdaten zwischen den drei Betriebszuständen OK, Kritisch und Fehler zu unterscheiden und jedem Zustand einen entsprechenden Ausgangswert zuzuordnen.

kann. Hinsichtlich einfacher Sensorelemente, zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchte, Druck und einer überschaubaren Sensorfusion mag diese Vorgehensweise noch funktionieren. Für zukünftige smarte Sensoren, die aus den Rohdaten verschiedener Sensorelemente mit Hilfe deskriptiver und prognostizierender Datenanalysen oder neuronaler Netze quasi in Echtzeit komplexe Zustände und Muster sicher erkennen und daraus Ausgangswerte ableiten, hingegen nicht. Auf Grund der Komplexität entstehen dann Sensoren, die lediglich Rohdaten mit Hilfe geeigneter Protokolle direkt an Edge- oder Cloudsysteme weitergeben (Sensor-to-Cloud-Lösungen mit einem Sensordaten-Streaming).

Die eigentliche Informationsgewinnung wird in andere Ebenen verlagert, weil dort leistungsfähige Rechnerplattformen und entsprechende Services (z. B. spezielle Algorithmen zur Datenanalyse wie Supervised Machine Learning, Deep Learning und hochkomplexe Convolutional Neural Networks mit umfangreichen Trainingsdatenbeständen) zur Verfügung stehen. Das setzt allerdings entsprechend schnelle Kommunikationsverbindungen (Ethernet, 4G, in Zukunft 5G), eine leistungsfähige Energieversorgung und einen kontinuierlichen Ausbau der Internetbandbreite voraus. Ein gravierender Nachteil ist, dass die aus den Sensordaten gewonnenen Informationen nicht direkt an der Kommunikationsschnittstelle des Embedded Systems zur Verfügung stehen, sondern in der Edge bzw. Cloud. Des Weiteren ist dieses Verfahren nicht für zeitkritische Sensordatenauswertungen geeignet.

Mehr als ein Sensorelement

In der Industrie- und Prozessautomatisierung existieren unzählige Sensoren mit entsprechenden Gehäusen für raue Einsatzbedingungen, die einen internen Aufbau gemäß Bild 1 bzw. Bild 2 aufweisen und somit lediglich ein einziges Sensorelement haben. Die Mehrzahl dieser Sensoren ist vermutlich innerhalb einer Control Loop direkt mit einer Steuerung verbunden. Jeder einzelne Sensor ist in einer solchen Anwendung für eine bestimmte Messaufgabe vorgesehen. Ein Drucksensor bestimmt den Druck in pneumatischen Systemen und liefert einen Messwert zur Steuerung. Ein DIN 10816-konformer Schwingungssensor analysiert die Ausgangsspannungen eines Piezo-Sensorelements an einem Antriebselement mit Hilfe einer FFT sowie weiterer Algorithmen und liefert ein 4 – 20 mA-Ausgangssignal an die Antriebssteuerung. Ein Radar- oder Ultraschallsensor bewertet den Füllstand einer Flüssigkeit in einem Behälter und überträgt einen zur aktuellen Füllstandshöhe korrespondierenden Messwert an eine Prozesssteuerung usw.

IoT-Sensoren

benötigen auf Grund der speziellen Aufgabenstellungen und der damit verbundenen Datenqualität in der Regel mehrere Sensorelemente, die ein gemeinsames Embedded System nutzen, dass vielfach lediglich aus einem einzigen Chip (System-on-Chip) besteht. Beispiele zur Orientierung gibt es viele, siehe beispielweise den Thingy:52 von Nordic Semiconductor stellvertretend für eine Kategorie von IoT-Sensoren, die in erster Linie für Wearable Applikationen entwickelt wurden. Im Bereich der Smart Home IoT-Sensoren mit Wi-Fi Communication Interface oder der Umweltsensoren mit 4G-basierten Mobile Network bzw. LPWA Communication Interface findet man ähnliche Beispiele.

Interner Aufbau

Der interne Aufbau solcher IoT-Sensoren unterscheidet sich primär durch die zum Einsatz kommenden Sensorelemente, die jeweilige Verbindung zum Embedded System und die technischen Daten des Communication Interface (Sensor Interface) zur Datenweitergabe an andere Systeme und Plattformen. Sekundär bedeutungsvoll sind je nach Anwendungsbereich die Spannungsversorgung und das Gehäuse. Insofern findet man am Markt IoT-Sensoren mit unterschiedlichen Kombinationen aus Sensorelementen, Messverfahren, Communication Interface Technologien, Spannungsversorgungssystemen und Gehäusebauformen. Vom IoT-Sensor mit Temperatur-, Luftfeuchtigkeit- und Luftdruck-Sensorelementen, der batteriebetrieben per IEEE 802.15.4 Wireless Communication Interface mit einem Gateway verbunden ist, bis zur Power-over-Ethernet- (PoE-) Variante, die mittels OPC UA Sensordaten direkt an eine ERP- oder MES-Software in der IT übermittelt, die Variantenvielfalt ist beachtlich und wird ständig erweitert.

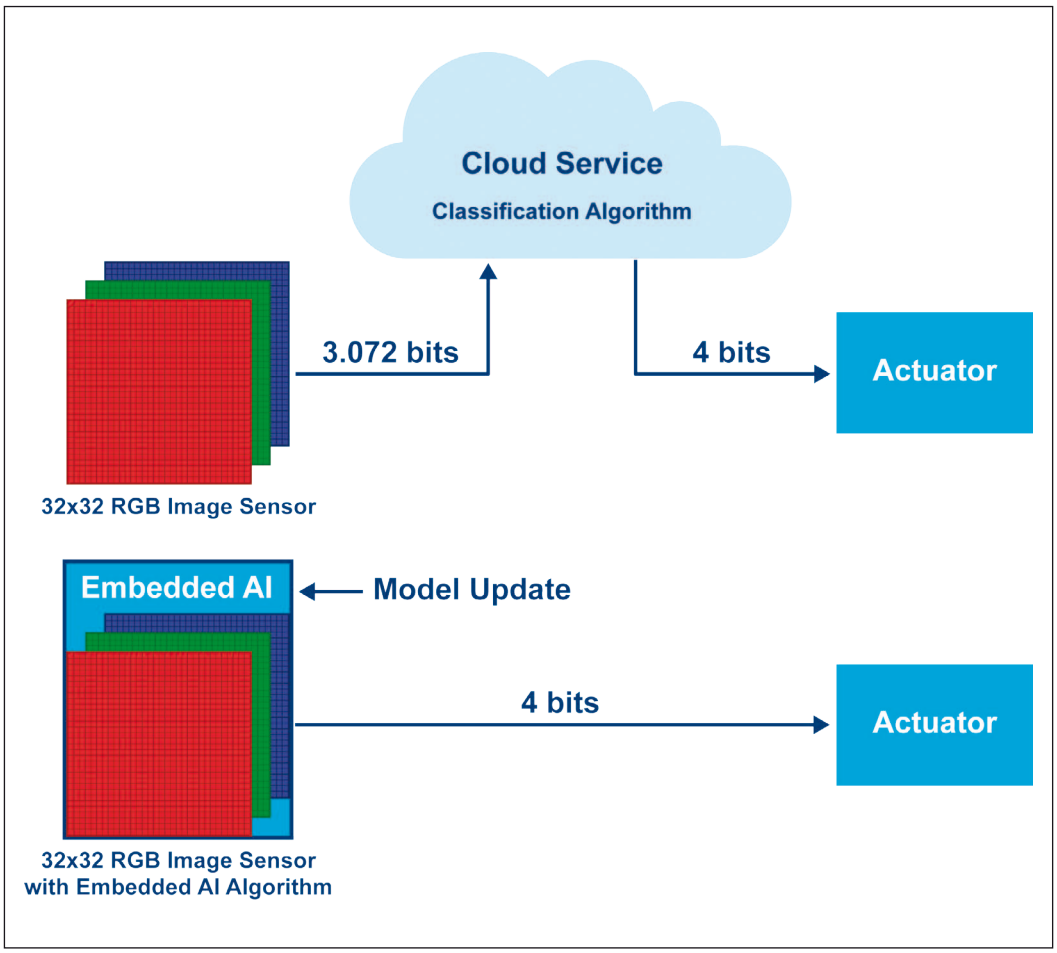


Bild 5: Derzeitige Sensor-to-Cloud-Lösungen, die einen KI-Algorithmus in der Cloud nutzen, erzeugen einen sehr großen Daten-Overhead: Um in einem Cyber-Physical-System mit Hilfe eines 32x32-Bit-RGB-Image-Sensors zwischen 10 verschiedenen Objekten unterscheiden zu können, werden jeweils 3.072 Bits in die Cloud übertragen. Die Antwort an den Aktor besteht lediglich aus 4-Bit-Nutzdaten. Mit einem integrierten KI-Algorithmus könnte der Sensor die Objekte an Hand eines zuvor geladenen Modells selbstständig identifizieren und die 4-Bit-Klassifizierung direkt an den Aktor übermitteln.

Vielseitige Kommunikationsschnittstelle

Die Kommunikationsschnittstelle (Communication Interface) eines IoT-Sensors muss in erster Linie die hier folgenden Aufgaben erfüllen:

1. Die Sensordaten oder aus den Sensordaten gewonnene Informationen müssen an andere Systeme weitergeleitet werden (primäre Funktion eines Sensor-Daten-Interface)
2. Über eine spezielle Schnittstellenfunktion ist sowohl die Konfiguration als auch die Kalibrierung am Einsatzort des Sensors zu ermöglichen (primäre Funktion der Setup-Benutzerschnittstelle);
3. Anfordern und Durchführen von Updates (z. B. Firmware, Security, Machine Learning-Modelle) aus einer sicheren Quelle (sekundäre Funktion eines Sensor-Daten-Interface)
4. Implementierung einer fälschungssicheren digitalen Identität (Root of Trust für den Empfänger der Sensordaten).

Die jeweiligen Eigenschaften des Communication Interface eines bestimmten IoT-Sensors hängen in erster Linie vom Anwendungsbereich ab. In Smart Home-Anwendungen ist das Communication Interface zur Datenweitergabe zum Beispiel als Wi-Fi- oder ZigBee-Funkschnittstelle ausgelegt. Wi-Fi eignet sich über einen Software-enabled Access Point (SoftAP) Mode auch als Setup UI, um per Webbrowser mit einem PC, Smartphone oder Tablet auf den Sensor zuzugreifen und Einstellungen vorzunehmen. Bei einer ZigBee-Schnittstelle zur Datenweitergabe ist z. B. zusätzlich eine USB- oder NFC-Schnittstelle für die Konfiguration und Kalibrierung erforderlich. Ein IoT-Sensor für Wearable- oder E-Bike-Applikationen nutzt in der Regel hingegen ein Bluetooth Low Energy (BLE)-basiertes Communication Interface, um die Messwerte an eine Smartphone-App zu übermitteln. In Gegenrichtung werden von der App über die gleiche Funkschnittstelle sowohl Setup- als auch Kalibrierungsdaten an den Sensor übertragen.

Künstliche Intelligenz eingebettet

Durch Spamfilter in E-Mail-Programmen und die Sprachassistenten von Amazon, Apple, Google, Microsoft sowie anderen Anbietern sind Produkte mit integrierten Algorithmen aus dem Umfeld der künstlichen Intelligenz (KI) nach und nach zu Massenanwendungen geworden. Die Entwicklung der KI wird von Forschern inzwischen sogar als Universaltechnologie angesehen und hinsichtlich der zu erwartenden Auswirkungen auf eine Stufe mit den Erfindungen der Dampfmaschine, Elektrizität und dem Verbrennungsmotor gestellt. Nicht nur selbstfahrende PKWs, LKWs, Flurförderfahrzeuge, Drohnen und Roboter, sondern praktisch alles, was mindestens einen Microchip enthält, wird in Zukunft auch KI-basierte Funktionen haben. Gleiches gilt für Anwendungssoftware: Jede Smartphone-App, PC-Tabellenkalkulation oder Enterprise-IT-Anwendung beinhaltet früher oder später auch KI-Algorithmen – in vielen Fällen ist das sogar schon längst Stand der Technik. Diese Entwicklung wird auch die Eigenschaften von Sensoren nachhaltig verändern.

Zurzeit findet man zahlreiche Sensor-to-Cloud-Anwendungen, die Sensorrohdaten einfach in eine Cloud streamen. Alle weiteren Schritte, von der Datenaufbereitung bis zur eigentlichen Informationsgewinnung, erfolgen dann in der Cloud-Plattform unter Zuhilfenahme kostenpflichtiger Services. Viele Echtzeitanwendungen, wie beispielsweise autonom agierende Maschinen, aber auch die Nutzung von LPWA-Funkverbindungen (LoRa, NB-IoT, Sigfox u.a.), sind mit solchen Konzepten nicht möglich. Andere Anwendungen lassen sich auf Grund der Cloud-Betriebskosten oder rigoroser Sicherheitsvorgaben mit solchen Lösungsansätzen ebenfalls nicht umsetzen. Insofern hat das angesprochene AMA-Dokument zwar ein beachtliches Orientierungspotenzial in Bezug auf die Sensorrohdaten und deren direkte Weitergabe. Es fehlt hingegen nahezu vollständig der Bezug zur KI. Zukünftige Sensoren für IoT- und Industrie-4.0-Anwendungen werden vollständige Verarbeitungsketten mit Sensorrohdatenerfassung, Datenvorverarbeitung, KI-basierter Datenanalyse und Informationsweitergabe beinhalten. Am Sensorausgang steht dann direkt die gewünschte Information in Echtzeit und nicht mehr der Messwert eines Sensorelements zur Verfügung.

Link zur kostenpflichtigen AMA-Studie Sensor Technologien 2022 https://www.ama-sensorik.de/studie-kaufen/ ◄