

Vom Prüfauge zum intelligenten Prozesssensor

Wie Edge-KI, neue Sensortechnik und leistungsfähige Hardware die industrielle Bildverarbeitung verändern

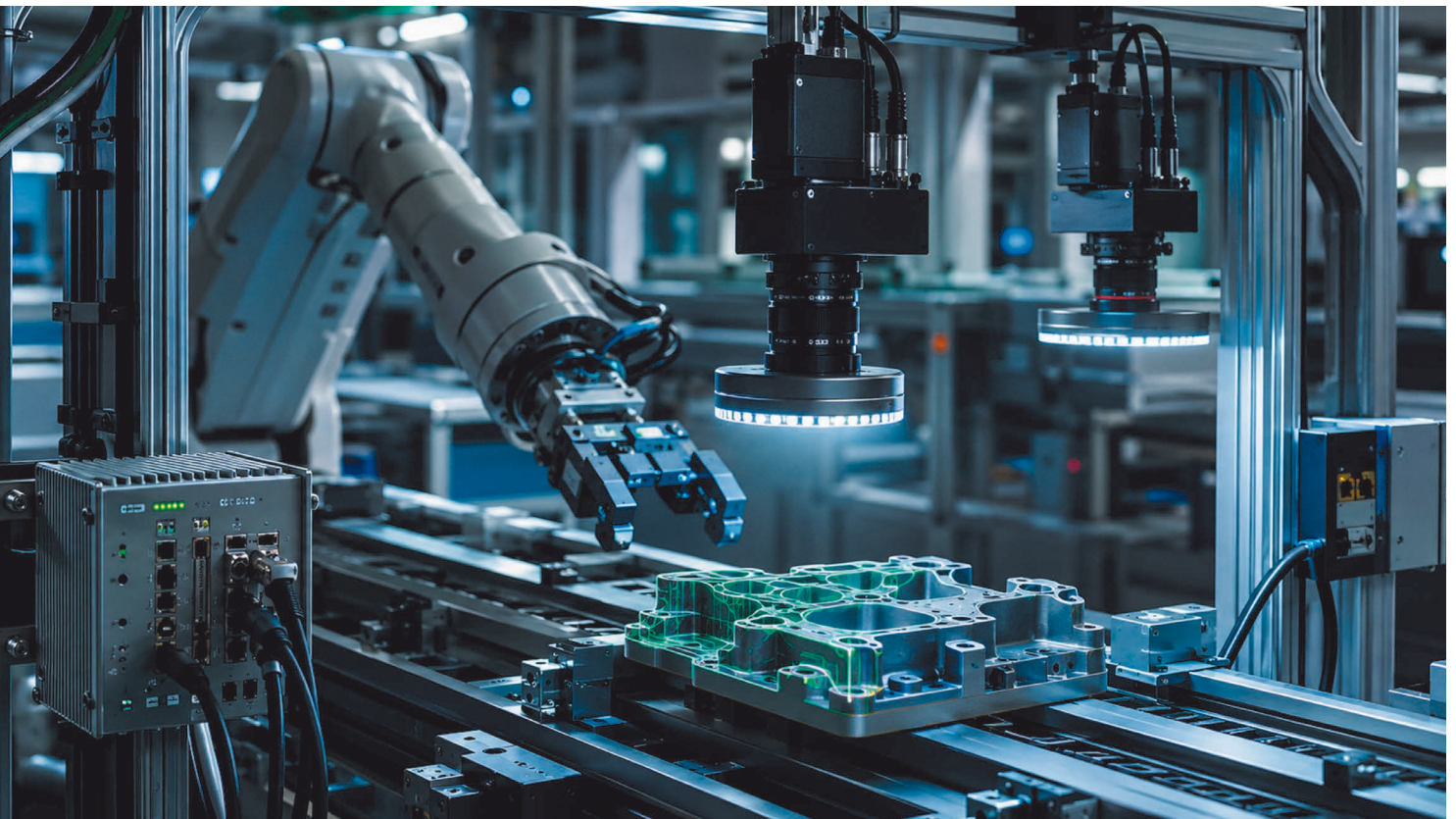


Bild 1: Moderne Bildverarbeitung verbindet Kameras, Sensorik, lokale Datenverarbeitung und Maschinensteuerung zu einem geschlossenen Informations- und Regelkreis. © ChatGPT/Bressner Technology GmbH

Industrielle Bildverarbeitung entwickelt sich von einer abgeschlossenen Prüfzelle zu einem vernetzten Bestandteil der Prozesssteuerung. Kameras erfassen heute nicht mehr nur sichtbare Fehler. In Verbindung mit 3D-, Spektral- und weiteren Sensordaten sowie KI-gestützter Auswertung liefern Vision-Systeme Informationen, mit denen Maschinen unmittelbar reagieren können.

Damit steigen jedoch auch die Anforderungen an Rechenleistung, Datenwege, Integrationsfähigkeit und die langfristige Verfügbarkeit der eingesetzten Modelle.

Wie funktioniert moderne Bildverarbeitung?

Industrielle Bildverarbeitung umfasst die automatisierte Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung visueller oder bildähnlicher Sensordaten. Ein typisches System besteht aus Beleuchtung, Optik, Kamera oder Sensor, geeigneten Schnittstellen, einer Recheneinheit und der Auswertungsssoftware. Das Ergebnis kann eine einfache Gut-Schlecht-Entscheidung sein, aber ebenso eine Maßprüfung, Lagebestimmung, Vollständigkeitskontrolle, Klassifizierung oder Prozessregelung.

Abgestimmtes Zusammenspiel

Der Unterschied zur allgemeinen Computer Vision liegt vor allem im Einsatzumfeld. In der Produktion müssen Ergebnisse innerhalb definierter Taktzeiten reproduzierbar vorliegen. Wechselnde Beleuchtung, Vibrationen, Staub, Temperaturunterschiede oder stark variierende Oberflächen dürfen die Entscheidung möglichst nicht beein-

flussen. Deshalb entsteht eine zuverlässige Lösung nicht allein durch eine leistungsfähige Kamera oder ein gutes KI-Modell, sondern durch das abgestimmte Zusammenspiel aller Komponenten.

Vom regelbasierten Prüfen zur hybriden Auswertung

Klassische Verfahren arbeiten mit festgelegten Merkmalen wie Kanten, Konturen, Grauwerten, Geometrien oder Farbgrenzen. Sie sind transparent, schnell und bei klar beschriebenen Aufgaben weiterhin sehr effizient. Ihre Grenzen zeigen sich vor allem bei natürlichen Schwankungen, komplexen Texturen und Fehlerbildern, die sich nur schwer vollständig in Regeln fassen lassen.

Deep Learning ergänzt diese Verfahren, indem Modelle relevante Merkmale aus Beispieldaten erlernen. Dadurch lassen sich etwa Kratzer, Verformungen, unregelmäßige Oberflächen, falsch montierte Bauteile oder wechselnde Objektklassen erkennen.

Hybrider Ansatz

In der Praxis setzt sich deshalb zunehmend ein hybrider Ansatz durch: Klassische Algorithmen übernehmen präzise Messungen und Plausibilitätsprüfungen, während neuronale Netze variantenreiche Erkennungs- und Klassifizierungsaufgaben bearbeiten. Das verbessert nicht nur die Robustheit, sondern erleichtert auch die technische Validierung, weil nicht jeder Verarbeitungsschritt als Blackbox ausgeführt wird.

Mehr Verarbeitung direkt an der Maschine

Mit höheren Auflösungen, steigenden Bildraten und mehreren synchronisierten Kameras wächst das Datenvolumen deutlich (Bild 2). Gleichzeitig sollen Maschinen ohne Umweg über entfernte Rechenzentren reagieren. Die Auswertung verlagert sich daher zunehmend an die Edge, also direkt in die Anlage, den Schaltschrank, den Roboter oder das Fahrzeug.

Autor:

Athanasios Koutsouridis
(in Kooperation
mit KI-generierten Texten)
Senior Marketing Manager
Bressner Technology GmbH
info@bressner.de
www.bressner.de



Bild 2: GPU-beschleunigte Systeme wie der EdgeX-6000 sind den wachsenden Anforderungen an Datenvolumen und -verarbeitung in Machine Vision Anwendungen gewachsen. © Bressner Technology GmbH

Lokale Verarbeitung verkürzt Latenzen, reduziert die zu übertragende Datenmenge und erlaubt den Betrieb auch bei eingeschränkter Netzverbindung. Häufig verlassen nicht mehr alle Rohbilder die Maschine. Stattdessen werden Ergebnisse, Merkmale, Ereignisse oder ausgewählte Fehlerbilder an übergeordnete Systeme übertragen. Das vereinfacht die Einbindung in Qualitätsmanagement, Traceability und Predictive-Maintenance-Prozesse. Zugleich entstehen neue Aufgaben: Modelle, Softwarestände und Konfigura-

tionen müssen versioniert, überwacht und über lange Laufzeiten wartbar gehalten werden.

Neue Sensoren erweitern den Blick

Die klassische zweidimensionale Flächenkamera bleibt ein zentrales Werkzeug, wird aber zunehmend durch weitere Sensortypen ergänzt. 3D-Verfahren erfassen Höhe, Volumen und Form und unterstützen unter anderem Vollständigkeitskontrollen, Griffpunktbestimmung, Schweißnahtprüfung oder die Vermessung komplexer Bauteile.

Hyperspektrale Systeme liefern für jeden Bildpunkt spektrale Informationen. Damit können nicht nur sichtbare Merkmale, sondern auch Materialeigenschaften, Zusammensetzungen oder Verunreinigungen erkannt werden. Einsatzfelder finden sich beispielsweise in der Lebensmittelprüfung, der Rohstoffsortierung, im Recycling und bei beschichteten Materialien.

Ereignisbasierte Sensoren wiederum übertragen vor allem Helligkeitsänderungen statt vollständiger Einzelbilder. Sie sind für sehr schnelle Bewegungen, große

Helligkeitsunterschiede und latenzkritische Abläufe interessant. In vielen Anwendungen entsteht der größte Nutzen durch Sensorfusion: Bilddaten werden mit Tiefeninformationen, Radar, Lidar, Wegmessung oder Prozessdaten kombiniert.

Welche Anwendungen profitieren?

Ein Schwerpunkt bleibt die Inline-Qualitätskontrolle. Werden Fehler unmittelbar im laufenden Prozess erkannt, können Ausschuss und Nacharbeit früher vermieden werden. Neben Oberflächenfehlern lassen sich Maße, Positionen, Füllstände, Etiketten, Codes, Montagezustände und Materialeigenschaften kontrollieren. Die Bildverarbeitung wird dabei zunehmend vom nachgelagerten Prüfwerkzeug zum aktiven Regelkreis: Erkennt das System eine Abweichung, können Maschinenparameter angepasst oder betroffene Teile gezielt ausgeschleust werden.

In Robotik und Handhabung ermöglicht Vision die Lageerkennung unsortierter Teile, die Bahnkorrektur und die sichere Interaktion mit veränderlichen Umgebungen. Mobile Roboter und autonome Fahrzeuge nutzen mehrere Kameras und weitere Sensoren zur Orientierung, Hinderniserkennung und Situationsbewertung (Bild 3).



Bild 3: Die Nuvo-9154GC Serie von Bressner Technology ist eine leistungsstarke Edge-KI-Plattform für autonome mobile Roboter (AMR), intelligente Logistiksysteme sowie anspruchsvolle Machine-Vision-Anwendungen. © ChatGPT/Bressner Technology GmbH

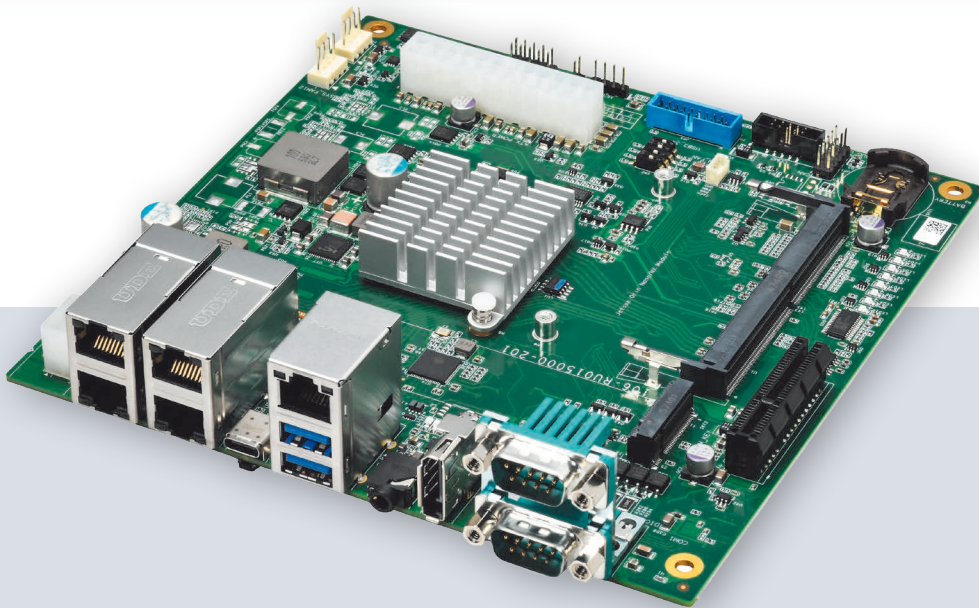


Bild 4: Die Jemii-150 Serie von Bressner Technology ist eine kompakte Mini-ITX-Edge-KI-Plattform, die speziell entwickelt wurde, um den Einsatz von NVIDIA Jetson-basierten Anwendungen in der industriellen Bildverarbeitung zu vereinfachen. © Bressner Technology GmbH

In Logistik und Verpackung unterstützt Bildverarbeitung das Lesen von Codes, die Identifikation von Objekten, die Volumenbestimmung und die Kontrolle vollständiger Sendungen. Weitere Anwendungen reichen von Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung über Elektronikfertigung und Medizintechnik bis zur Überwachung von Infrastruktur.

Welche Rolle spielt KI bei der Bilderkennung?

KI kann die Bilderkennung besonders dort unterstützen, wo Fehlerbilder variieren oder eine starre Beschreibung zu aufwendig wäre. Neben überwachten Verfahren, die viele gekennzeichnete Beispiele benötigen, gewinnen Anomalieerkennung und selbstüberwachtes Lernen an Bedeutung. Dabei lernt das System zunächst den Normalzustand und markiert Abweichungen, ohne dass jede mögliche Fehlerart zuvor vollständig bekannt sein muss. Das ist hilfreich, wenn reale Fehler selten auftreten oder sich während einer Produkteinführung noch verändern.

Vision-Language-Modelle

verbinden Bildinhalte mit Text und können Klassifikation, Dokumentation oder Bedienerunterstützung ergänzen. Für Freigabeentschei-

dungen bleibt eine anwendungsbezogene Validierung erforderlich.

Auch synthetisch erzeugte Trainingsbilder und Simulationen können Datenlücken schließen. Sie ersetzen reale Aufnahmen jedoch nicht vollständig. Unterschiede zwischen Simulation und Produktionsumgebung, etwa bei Reflexionen, Verschmutzung oder Bauteiltoleranzen, müssen berücksichtigt werden.

Kontrollierter Modelllebenszyklus

Entscheidend ist daher ein kontrollierter Modelllebenszyklus: Datensätze benötigen eine klare Herkunft und Versionierung, Ergebnisse müssen mit repräsentativen Prüfserien bewertet und Änderungen dokumentiert werden. Bei sicherheitsrelevanten Anwendungen kommen Anforderungen an Risikomanagement, menschliche Aufsicht und nachvollziehbare Leistungsgrenzen hinzu.

Der Industrie-PC als Integrationsplattform

Die benötigte Rechnerarchitektur hängt stark von der Anwendung ab. Eine einzelne Kamera mit klarer Prüfaufgabe kann auf einer kompakten Embedded-Plattform laufen. Mehrere hochauflösende Kameras, 3D-Sensoren oder neuronale Netze

erfordern dagegen häufig GPU- oder NPU-Beschleunigung. Große Multi-Kamera-Systeme, parallele Modelle oder die lokale Nachtrainierung benötigen wiederum Serverklasse, hohen Speicherdurchsatz und mehrere Beschleunigerkarten (Bild 4).

Neben der reinen Rechenleistung sind die Datenpfade entscheidend. Kameraanschlüsse über Gigabit Ethernet, Power-over-Ethernet, USB, GMSL oder spezialisierte Framegrabber müssen zur Auflösung, Bildrate und Kabellänge passen. Schnelle Netzwerkverbindungen, NVMe-Speicher und ausreichend PCI-Express-Lanes verhindern Engpässe.

Für den Industrieinsatz kommen ECC-Arbeitspeicher, geeignete Kühlung, Weitbereichseingänge, Schutz gegen Stöße und Vibrationen, lange Verfügbarkeit sowie Remote-Management hinzu. Standardisierte Schnittstellen und Protokolle reduzieren den Integrationsaufwand und erleichtern den Austausch einzelner Komponenten.

Drei Hardwareklassen für unterschiedliche Aufgaben

Für kompakte Maschinenmodule und wenige Kameras eignen sich standardisierte Embedded-Boards, die Kamera-, Netzwerk- und I/O-Schnittstellen direkt bereitstellen.

In Robotik, autonomen Systemen und anspruchsvoller Sensorfusion kommen robuste Edge-KI-Computer mit integrierten Beschleunigern und mehreren Kameraeingängen zum Einsatz.

Bei sehr großen Datenmengen, vielen parallelen Bildströmen oder mehreren KI-Modellen sind Edge-Server mit hoher CPU-Leistung, großem ECC-Speicher und mehreren GPU-Steckplätzen sinnvoll. Die Wahl der Plattform sollte dabei nicht allein anhand theoretischer Rechenwerte erfolgen. Auch Speicherbandbreite, Schnittstellenbelegung, thermische Reserven und das Verhalten unter dauerhafter Last müssen in die Auslegung einbezogen werden.

Fazit

Die industrielle Bildverarbeitung wird leistungsfähiger, vielseitiger und enger mit der Prozessautomatisierung verbunden. Ihr Fortschritt beruht nicht auf einer einzelnen Technologie, sondern auf dem Zusammenspiel aus geeigneter Optik und Beleuchtung, neuen Sensortypen, klassischen Algorithmen, KI-Modellen und einer zur Aufgabe passenden Rechenplattform.

Erfolgreiche Projekte beginnen deshalb nicht mit der Frage nach maximaler Rechenleistung, sondern mit einer klaren Definition von Prüfmerkmalen, Taktzeit, Umgebungsbedingungen und geforderter Nachweisbarkeit. Wer zusätzlich Datenmanagement, Wartbarkeit und Skalierbarkeit früh berücksichtigt, schafft Vision-Systeme, die nicht nur im Labor überzeugen, sondern dauerhaft in der Produktion bestehen.

Wer schreibt

Als Systemintegrator und Value-Added Distributor hat sich Bressner Technology in den letzten 30 Jahren ein umfangreiches Produkt- und Service Portfolio im Bereich industrieller Hardware-Lösungen aufgebaut. Mit hoch spezialisierten Hardware-Systemen und Komponenten bedient das Unternehmen die Branchen, in denen Standard-Hardware an ihre Grenzen stößt. Durch ein stetig wachsendes Partnernetzwerk und langjährige Erfahrung, ist Bressner in der Lage, State-of-the-Art Hardware-Lösungen für nahezu jedes Anwendungsgebiet zu liefern. ◀