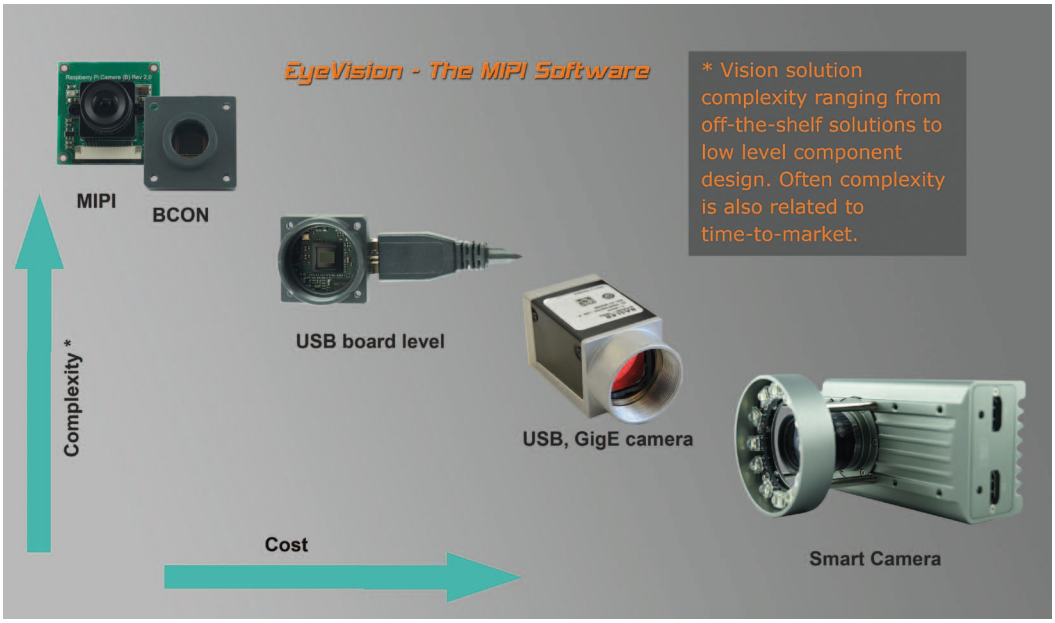
MIPI für Embedded Vision Lösungen



Embedded Vision Aufstellung von Kosten und Komplexität

Die rechenintensiven Aufgaben der Bildverarbeitung waren lange Zeit nur mit PCs zu bewältigen. Doch mit der stetigen Leistungssteigerung von Embedded-Hardware in den letzten Jahren rücken auch kleinere und kostengünstige Prozessor-Boards aus dem Embedded-Bereich zur Bewältigung selbst anspruchsvoller Anwendungen der Bildverarbeitung ins Blickfeld. Solche Boards in Kombination mit einem Kameramodul sind unter dem Begriff Embedded Vision in aller Munde, da sie viele Vision-Aufgaben kostengünstig und effizient lösen.

Die Schnittstelle für die Verbindung zwischen Kameramodul und Prozessor-Board spielt bei Embedded-Vision-Systemen eine wesentliche Rolle, da sie eine schnelle und zuverlässige Datenübertragung sicherstellen muss. Proprietäre und schlanke Schnittstellen können einen hohen Entwicklungsaufwand erzeugen, daher setzen sich auch im Embedded-Bereich zunehmend Standards durch, wie z. B. USB-3.0- oder LVDS-Schnittstellen. Für diverse Fälle hat sich jedoch ein Interface-Standard als besonders vorteilhaft erwiesen: das MIPI CSI-2-Interface.

MIPI CSI-2 ist bereits ein sehr wichtiges Interface für mobile Geräte wie Smartphones oder Tablets. Aber welche Rolle spielt MIPI in Embedded Vision?

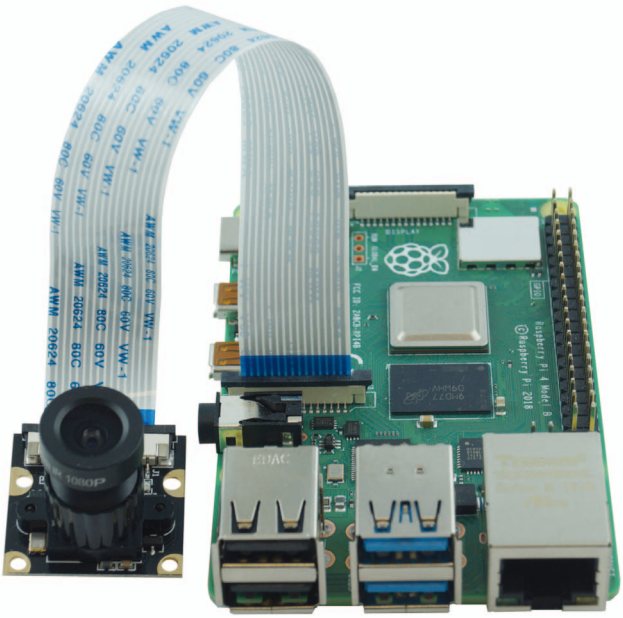
Was ist Embedded Vision?

Um der Frage nach der Bedeutung von MIPI in der Bildverarbeitung nachzugehen, muss erst geklärt werden, was eigentlich damit erreicht werden kann, nämlich: Was ist Embedded Vision?

Der Begriff Embedded Vision bedeutet im Wesentlichen einfach nur, dass die Bildverarbeitung onboard eines Gerätes erfolgt. Dies kann in unterschiedlichen Formaten und Technologien ausgeführt werden, aber die grundsätzliche Idee ist die Lösung so einzubetten, dass sie so effizient wie möglich läuft, in einem kompakten Format und üblicherweise auf Prozessoren basierend auf ARM oder x86 Architektur. Das errechnete „Ergebnis" ist oft das einzige, das vom System ausgegeben wird und minimalisiert dadurch die Daten auf eine anwendungsnahe Bandbreite und präsentiert nur die benötigte Kerninformation.

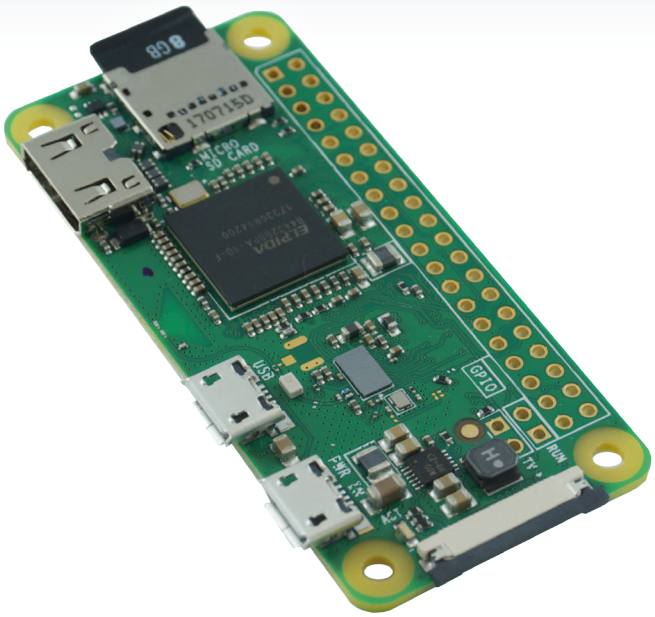
Früher, in der traditionellen Machine Vision Industrie, wurden Vision Systeme wie Smart Cameras oder lüfterlose PCs als „embedded" bezeichnet. Aber heutzutage, bezeichnet es vor allem die Board Level Designs, die mit einer großen Anzahl an Bildverarbeitungsanwendungen in Verbindung gebracht werden und kompakte und zielgerichtete Lösungen liefern. Für die MIPI Schnittstelle, welche von einer Vielzahl von Boards unterstützt wird, gibt es eine immer größer werdende Menge an Kamerasensoren.

MIPI CSI-2 ist ursprünglich keine Kamera-Schnittstelle im Sinne der industriellen Bildverarbeitung, sondern eher ein Sensor-Interface. Es



Raspberry Pi 4 mit MIPI Kamera

EVT Eye Vision Technology
www.evt-web.com



Raspberry Pi Zero – kleines Board mit MIPI Schnittstelle

wird üblicherweise in eingebetteten Systemen verwendet, um einen Bildsensor mit einem Embedded Board zu verbinden, das es steuert und die Bilddaten verarbeitet. Das Board und der Sensor fungieren gemeinsam als Kamera.

Was ist MIPI?

Die zwei bekannten und verbreiteten MIPI-Standards sind die Spezifikation DSI (Display Serial Interface) und die Schnittstelle CSI (Camera Serial Interface). Letztere spielt derzeit für das Thema Embedded Vision eine entscheidende Rolle und beschreibt in der Spezifikation MIPI CSI-2 drei Elemente einer Schnittstelle zwischen Kamera und weiterer Hardware. MIPI CSI-2 ist eine standardisierte Schnittstelle für Embedded Systeme und hat eine Transport-, Anwendungs- und Bit-Übertragungsschicht. Letztere ist in zwei Versionen verfügbar: D-PHY und C-PHY. D-PHY ist dabei im Rahmen von mobilen und/oder eingebetteten Systemen die bevorzugte Lösung, die sich bereits seit über einem Jahrzehnt etabliert und in Millionen von Systemen bewährt hat.

MIPI CSI-2 ist heute die weit verbreitetste Schnittstelle, wenn es darum geht ein Embedded System mit maschinellem Sehen auszustatten. Aktuelle Embedded Boards haben standardmäßig eine solche Schnittstelle.

MIPI CSI-2 beruht auf flexiblen Flachbandkabeln. Der maximale Abstand zwischen Host und Kamera beträgt etwa 40 cm, was in einem eingebetteten System mehr als genug ist. Der MIPI CSI-2-Standard konzentriert sich auf das Protokoll der Datenübertragung. CSI-2 bündelt alle Funktionen in einem Kabel, so dass kein weiteres Kabel für Stromversorgung oder Triggering benötigt wird.

Vorteile

Ein Vorteil der MIPI CSI-2-Technologie ist die hohe Bandbreite von bis zu 6 Gigabit/Sekunde Netto-Bilddaten. Darüber hinaus ist die Bilddaten-Übertragung skalierbar: jede der vier Bilddaten-Bahnen hat eine Bandbreite von bis zu 1,5 Gbit/s. Systemintegratoren können je nach Anforderung des Anwendungssystems entscheiden, ein, zwei, drei oder alle vier Bahnen zu verwenden. So kann die Bandbreite flexibel von 1,5 bis 6 Gbit/s angepasst werden. Verglichen mit den üblicherweise verwendeten Schnittstellen USB3 und GigE Vision, liegt das Camera Serial Interface in der Bandbreite eindeutig vorn und übertrifft mit bis zu 6 Gbit/s (D-Phy 1.1) die Kapazität von USB (max. 5 Gbit/s) und von GigE Vision (max. 1 Gbit/s) bei weitem.

Da der Mobilmarkt enorm groß ist, werden die eingesetzten Mobilprozessoren in extrem hohen Stückzahlen produziert. Die Größe des Marktes und der Wettbewerbsdruck führen zudem in kurzen Innovationszyklen zu immer leistungsfähigeren Prozessoren. Selbst sehr kostengünstige Low-End-Prozessoren verfügen heute in der Regel On-Chip über zwei MIPI-CSI-2-Schnittstellen mit zwei beziehungsweise vier Lanes.

Viele Hersteller ehemals reiner Mobilprozessoren wie Qualcomm, Rockchip oder Samsung haben die Bildverarbeitungsindustrie inzwischen als einen interessanten Markt entdeckt und bieten ihre Produkte, deshalb jetzt auch in kleineren Stückzahlen und mit der in dieser Branche erforderlichen Langzeitverfügbarkeit für industrielle Applikationen an.

Schlanke und kostengünstige Designs

Ein großer Vorzug von MIPI CSI-2 besteht darin, dass sich damit extrem schlanke und kostengünstige Machine-Vision-Designs realisieren lassen, bei denen Sensoren beziehungsweise Kameramodule mit sehr hoher Bandbreite verwendet werden können.

Entwickler haben durch die Vielzahl verfügbarer Prozessoren je nach Anwendung zudem große Wahlfreiheit, um das Design eines Systems optimal zu gestalten. Unter anderem lässt sich dadurch auch die Leistungsaufnahme eines Embedded-Systems minimieren. MIPI CSI-2 ermöglicht sehr kleine Bauformen, die durch die Board-zu-Board-Verbindung über ein Flachbandkabel realisiert werden können. Dies ist sonst nur über LVDS-basierte Anbindungen möglich, keinesfalls jedoch durch eine Anbindung über die Schnittstelle USB 3.0, die aufgrund ihrer Stecker deutlich mehr Platz erfordert.

Benötigt wenig Rechenleistung

Darüber hinaus erfordert das CSI-2-Protokoll weit weniger Rechenleistung auf der Host-Seite als andere Schnittstellen. Die Bilddaten werden direkt vom Kameramodul oder Sensor an den Prozessor übertragen. Dadurch entfällt eine Zwischenverarbeitung beziehungsweise Umrechnung der Daten, die zum Beispiel bei USB-3.0-Systemen erforderlich ist. Die Verwendung einer USB-Kamera nimmt viel Rechenleistung des Zentralen Prozessors (System-Level-CPU) in Anspruch, da bei USB Pakete gepackt und entpackt werden müssen. Heutige Multicore Prozessoren haben MIPI CSI-2 direkt in der CPU integriert. Der Vorteil liegt dabei auf der Hand, die Bilddaten müssen so nicht beispielsweise über den Peripherie-Bus im System wandern, sondern können direkt prozessiert werden.

Nachteile

Generell ist die MIPI-CSI-2-Spezifikation sehr Hardware-nah ausgelegt. Im Gegensatz zu den im Bildverarbeitungsmarkt üblichen Standards, fehlen bei MIPI CSI-2 jedoch ein standardisierter Software-Stack, eine standardisierte Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API) und eine standardisierte Bilddatenschnittstelle (wie GenTL). Das Fehlen standardisierter Feature-Bezeichnungen und eines standardisierten APIs erschwert die Wiederverwendung von existierendem Code bei der Migration von einem Kameramodul auf ein anderes oder beim Wechsel auf ein anderes SoC.

Ein nicht zu unterschätzender Aspekt bei der Integration eines Kameramoduls in ein System, ist der erforderliche Aufwand für die Programmierung und Anpassung. Im MIPI-CSI-2-Standard sind weder Treiber- noch Software-Stacks definiert und eine Anpassung an den Sensor oder das Kameramodul muss über den Entwickler erfolgen.

Da die Belegung der einzelnen Kanäle nicht standardisiert vordefiniert ist, müssen die Anschlüsse entsprechend dem Gerät am anderen Ende des Kabels angepasst werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein Adapter Board zu nutzen. Das bedeutet aber auch, dass jeder Anwender und Systementwickler die Flexibilität der CSI-2-Verbindung für sich nutzen und gezielt auf seine Bedürfnisse anpassen kann. Zusätzlich werden nur wenige Pixelformate unterstützt. Und auch die Kabellänge darf meist nicht mehr als 20 bis 30 cm betragen.

Fazit

In der heutigen Embedded Welt ist MIPI CSI-2 weltweit eine weit verbreitete Schnittstelle. Das liegt nicht nur daran, dass sie in Smartphones, Tablets und Laptops Anwendung findet. Sie wird auch maßgeblich durch die Nutzung von Embedded Boards wie dem aktuellen Raspberry 4, oder der NVIDIA Jetson Serie vorangetrieben. ◄