

Die Bedeutung der MIPI CSI-2-Schnittstelle für Embedded Vision Anwendungen

In den vergangenen Jahren sind immer mehr Embedded Vision Applikationen auf dem Markt erschienen. Dabei handelt es sich um Systeme, die auf einem Embedded Computing Board und einem Kameramodul basieren. Ein solches System kann kostengünstig und effizient Vision Aufgaben bewältigen.

Für einen solchen Aufbau eines Embedded Vision Systems spielt das Interface, die Verbindung zwischen Kameramodul und Hostseite, eine wesentliche Rolle. Hier kann z.B. die plug-and-playfähige USB 3.0-Schnittstelle verwendet werden. Aber auch LVDS-basierte Schnittstellen (Low Voltage Differential Signaling) sind - gerade auch für FPGA-basierte Systeme - interessant. Für sehr viele Fälle ist aber das MIPI CSI-2 Interface die geeignete Wahl. Dieses White Paper gibt einen Überblick über Bedeutung und Eigenschaften dieser wichtigen Schnittstelle für den Embedded Vision Bereich.

Inhaltsverzeichnis

1. Was ist MIPI?.....	1
2. Was definiert MIPI CSI-2? Was nicht?.....	1
2.1 Der physikalische Layer – C-PHY vs. D-PHY	1
2.2 Der CSI-2 Protokoll-Layer	2
2.3 MIPI CSI-2 im Vergleich zu Industriestandards..	2
3. Welche Vorteile ergeben sich?.....	2
4. Welche Hürden können auftreten?.....	3
5. Fazit.....	3



1. Was ist MIPI?

Die MIPI Alliance, ausgeschrieben Mobile Industry Processor Interface Alliance, ist ein Zusammenschluss nahezu aller Hersteller von Applikationen oder Hardware der mobilen Kommunikations- und Unterhaltungselektronikindustrie. Sie verfolgt das Ziel, alle wichtigen Schnittstellen zwischen Mobilprozessor und Peripherie (Lagesensoren, Kameras, Eingabeschnittstellen, Displays usw.) zu standardisieren. Dadurch haben es Hersteller von mobiler Peripherie leichter, ihre Hardware an unterschiedliche Prozessortypen anzupassen. Für Prozessorhersteller entsteht ein größeres Angebot an potenziell kompatibler Peripherie. So können beide Seiten profitieren und kostengünstiger entwickeln und produzieren.

Bekannte MIPI Standards sind z.B. die DSI (Display Serial Interface) Spezifikation und die CSI- (Camera Serial Interface) Schnittstelle, die wir näher beleuchten werden.

2. Was definiert MIPI CSI-2? Was nicht?

Die CSI-Spezifikation gibt es bereits seit einigen Jahren. Inzwischen liegt die dritte Generation vor, nämlich CSI-3. Mangels Unterstützung durch die Hardware konnte sich

CSI-3 in der Industrie aber bisher nicht durchsetzen, obwohl es gegenüber den Vorläuferstandards unbestreitbare Vorteile hat (z.B. eine deutlich höhere max. Bandbreite). Das mag auch damit zusammenhängen, dass schon der aktuell am weitesten verbreitete CSI-2-Standard für die Anforderungen aktueller Hardware völlig ausreichend ist.

Die MIPI CSI-2 Spezifikation beschreibt zum einen den physikalischen Layer der Signalübertragung (D-PHY bzw. C-PHY), zum anderen das darauf aufsetzende CSI-Protokoll zur Bilddatenübertragung. Außerdem spezifiziert dieser Standard noch ein Interface zur Kamerakonfiguration über I²C, nämlich CCI (Camera Control Interface).

2.1 Der physikalische Layer – C-PHY vs. D-PHY

Die Übertragung der Bilddaten erfolgt bei MIPI CSI-2 seriell über einzelne Lanes. Üblich ist es, Bildsensoren bzw. Kameramodule mit zwei oder vier Lanes anzubinden. Die mögliche max. Bandbreite skaliert linear mit der Anzahl der Lanes, d.h. mit vier Lanes ist die max. mögliche Bandbreite doppelt so hoch wie mit zwei Lanes. Der Standard kommt ursprünglich aus der Welt der Smartphones, wo eine hochauflösende Kamera auf der Handrückseite mit vier Lanes, die niedriger auflösende Kamera auf der Frontseite dagegen mit nur mit zwei Lanes angebunden wird. Folglich haben auch nahezu alle entsprechenden Prozessoren on-chip bereits eine CSI-2 Schnittstelle mit zwei und eine mit vier Lanes.

Physikalische Bilddatenübertragung via C-PHY:

Bei C-PHY besteht eine Lane aus drei Leitern, die eine 3-Phasen-Symbol-Kodierung mit einer eingebetteten Clock realisiert. Pro Lane lassen sich nach neuester Spezifikation damit theoretisch 5.7 GBit/s erreichen.

Physikalische Bilddatenübertragung via (D-PHY):

Im Vergleich zu C-PHY ist D-PHY einfacher aufgebaut, die Daten werden differenziell, ähnlich wie bei LVDS, über zwei Leiter übertragen. Für alle Lanes steht dann eine

gemeinsame, externe Clock-Leitung zur Verfügung. Dieser einfachere Aufbau ermöglicht daher auch nur geringere Datenraten von bis zu 2,5 GBit/s/Lane. Trotz der niedrigeren (aber für die meisten Applikationen völlig ausreichend) Bandbreite hat sich vor allem D-PHY als Standard-Layer durchgesetzt.

D-PHY und C-PHY können aber in der jeweiligen Hardware auch koexistieren und einzelne Sensoren lassen sich z.B. wahlweise über die eine oder die andere Technologie in Betrieb nehmen.

Camera Control Interface (CCI):

Auch für die Konfiguration des Sensors/Kameramoduls bietet CSI-2 mit CCI (Camera Control Interface) einen Protokollstandard an. Physikalisch basiert das CCI auf I²C und grundsätzlich könnte man z.B. das Kameramodul über eine beliebige I²C-Schnittstelle – wie sie praktisch bei allen SoCs mehrfach vorhanden ist – konfigurieren. Hier gibt es allerdings eine große Uneinheitlichkeit sowohl bei Sensoren/Kameramodulen als auch bei den SoCs selber: Manche SoCs weisen eine dedizierte I²C/CCI Schnittstelle auf, die zum Konfigurieren genutzt werden muss, zum anderen werden viele Sensoren/Kameramodule nicht über das standardisierte CCI konfiguriert, sondern über herstellerspezifische proprietäre Implementierungen.

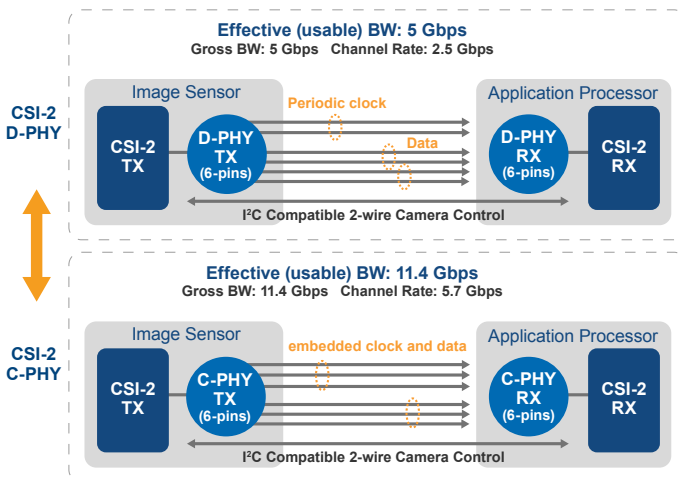


Abbildung 1: C-PHY bzw. D-PHY hier mit jeweils zwei Lanes. Mit C-PHY lässt sich pro Lane eine mehr als doppelt so hohe Bandbreite erzielen als mit D-PHY.

2.2 Der CSI-2 Protokoll-Layer

Bei CSI-2 handelt es sich um ein paketorientiertes Protokoll. Dementsprechend beschreibt die Spezifikation insbesondere das Paketdatenformat.

Weiter werden die möglichen Pixelformate (also z.B. RGB, YUV, RAW aber auch JPEG usw.) festgelegt, die von einer Applikation grundsätzlich verwendet werden können. Allerdings unterstützen die MIPI CSI-2 Treiber eines Mobilprozessors in der Regel nur einige wenige Pixelformate (und zwar oft Pixelformate, die auf dem Markt der industriellen Bildverarbeitung eher unüblich sind).

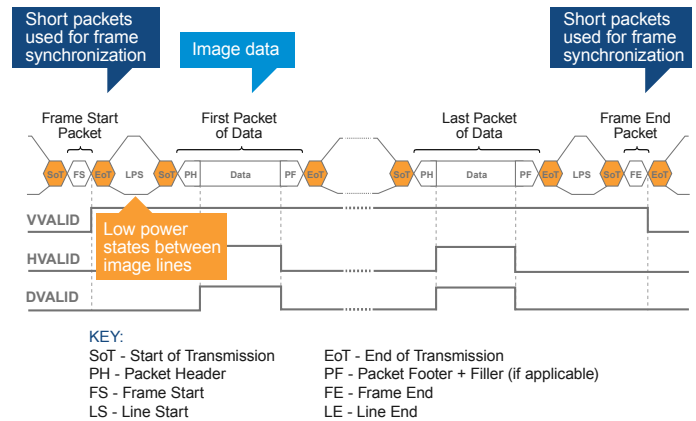


Abbildung 2: CSI-2 Paketdatenformat

2.3 MIPI CSI-2 im Vergleich zu Industriestandards (GenICam usw.)

Die MIPI CSI-2 Spezifikation beschreibt also eher den „Standard auf dem Draht“ und ist in dieser Hinsicht z.B. mit der GigEVision-Spezifikation (Bilddatenübertragung über Gigabit Ethernet) vergleichbar. Im Gegensatz zu den im Bildverarbeitungsmarkt üblichen Standards aus der GenICam-Familie, fehlt bei MIPI CSI-2 ein standardisierter Softwarestack, eine standardisierte Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API) – wie es z.B. die GenAPI darstellt – und eine standardisierte Bilddatenschnittstelle (wie z.B. GenTL). Die Bilddaten werden bei MIPI CSI-2 meist über Video4Linux (V4L)-ausgeliefert, aber auch das ist weder standardisiert noch überall der Fall.

3. Welche Vorteile ergeben sich?

Der Mobilmarkt ist riesig, Mobilprozessoren werden in extrem hohen Stückzahlen produziert, die Größe des Marktes und der Wettbewerbsdruck führen 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 bzw. vier Lanes.

Viele Hersteller von ehemals reinen Mobilprozessoren (z.B. Qualcomm, Rockchip, Samsung) haben die Bildverarbeitungsindustrie als einen interessanten Markt entdeckt und bieten ihre Produkte – teilweise über Modulpartner – jetzt auch in kleineren Stückzahlen und mit Langzeitverfügbarkeit für industrielle Applikationen an. Auf der anderen Seite sind mittlerweile auch eher typisch industrielle Embedded Prozessoren (z.B. die i.MX – Familie von NXP, einige Sitarra SoCs von TI, NVIDIA, Intel Atom SoCs usw.) mit MIPI CSI-2-Schnittstellen ausgestattet, so dass sich hier für den Bildverarbeitungsmarkt diese neue Kameraschnittstelle geradezu aufdrängt. CSI-2 erlaubt extrem schlanke und kostengünstige Machine Vision Designs, bei denen Sensoren bzw. Kameramodule mit sehr hoher Bandbreite verwendet werden können. Doch

nicht nur durch die Tatsache, dass Prozessoren günstig sind und immer günstiger werden, können die Stückkosten gesenkt werden. Ebenso führt die Vielzahl an Prozessoren dazu, dass für den Entwickler je nach Anwendung Wahlfreiheit fürs Design des optimalen Systems besteht. Unter anderem kann dadurch z.B. auch der Energieverbrauch des Embedded Systems minimiert werden.

Technisch erlaubt MIPI CSI-2 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 USB 3.0, die durch die Stecker deutlich mehr Platz einfordern. Für viele Produkte, die auf Embedded Systemen basieren, ist verfügbarer Bauraum eine der relevantesten Randbedingungen, so dass USB 3.0 hier ggf. nicht in Frage kommt.

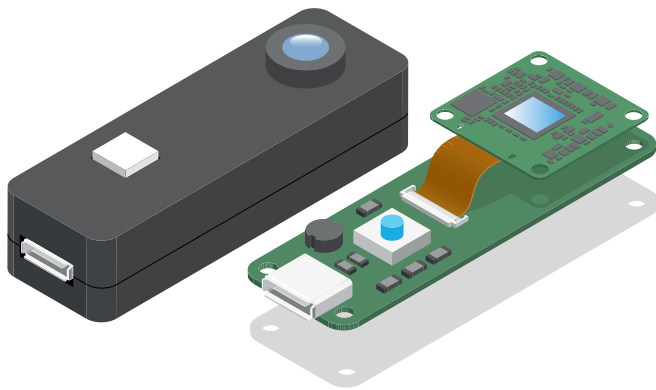


Abbildung 3: Embedded Vision System mit MIPI CSI-2-Schnittstelle

Mit der MIPI CSI-2-Schnittstelle können die Bilddaten direkt vom Kameramodul oder Sensor an den Prozessor übertragen werden. Dadurch entfällt eine Zwischenverarbeitung bzw. Umrechnung der Daten, wie es bei USB 3.0 der Fall ist, d.h. die Daten ‚nehmen keinen Umweg‘, was die Prozessorlast senkt. Ebenso entfällt entsprechende Hardware (Microcontroller u.a.). Durch diese Umstände lassen sich deutlich schlankere Embedded Systeme realisieren.

4. Welche Hürden können auftreten?

So verführerisch das quasi ohne weitere Kosten vorhandene Angebot einer leistungsfähigen MIPI CSI-2 Kameraschnittstelle auch ist, gibt es einige Hürden, die entwicklungsseitig zu bedenken sind:

- **Kabellänge.** Die physikalische Bilddatenübertragung (D-PHY) erlaubt leider nur recht kurze Kabellängen, meist nicht mehr als 20 cm. Das ist für mobile Applikationen wie Smartphones kein Thema, kann jedoch für viele industrielle Applikationen ein K.-o.-Kriterium darstellen.

- **Stecker.** Die MIPI Alliance standardisiert leider keinen Stecker für MIPI CSI-2. Das bedeutet, dass der Anschluss eines Sensors/Kameramoduls immer individuell und proprietär erfolgen muss.
- **Treibersupport.** Das Fehlen eines standardisierten Treiber- und Software-Stacks erfordert die individuelle Anpassung eines Sensors oder Kameramoduls an den CSI-2 Treiber eines gegebenen SoCs durch einen proprietären I²C-Treiber als Video4Linux Subdevice. Kurz: bei der Auswahl eines für einen SoC vorgesehenen Sensors/Kameramoduls ist darauf zu achten, dass es für dieses Modul auch einen passenden I²C-Treiber gibt. Das schränkt die Sensor/Modul- bzw. SoC-Auswahl erheblich ein.
- **Pixelformate.** Wie oben beschrieben, unterstützen die meisten CSI-2 Treiber nur sehr wenige Pixelformate, bei denen es sich nicht notwendigerweise um die auf dem Bildverarbeitungsmarkt benötigten Formate handeln muss.
- **Kamera-API.** Im Bildverarbeitungsmarkt haben sich die Standards der GenICam-Familie durchgesetzt. Dank GenICam ist das Kamera-API standardisiert und der volle Zugriff auf alle Features einer Kamera ist garantiert. Auch sind die Bezeichnungen für die Kamera-Features herstellerübergreifend vereinheitlicht, was es dem Anwender ermöglicht, das Kameramodell und sogar die Schnittstellentechnologie (z.B. USB3 Vision statt GigEVision) zu wechseln, ohne dass wesentliche Änderungen am Programcode erforderlich werden. Dagegen erschwert das Fehlen standardisierter Feature-Bezeichnungen und eines standardisierten APIs die Wiederverwendung von existierendem Code bei der Migration von einem Kameramodul auf ein anderes oder eines SoCs auf einen anderen.

All diese Hürden lassen sich mit entsprechendem Aufwand überwinden, was allerdings die Entwicklungs- und Herstellkosten (z.B. um längere Kabel zu realisieren) in die Höhe treiben kann.

Einzelne Industriekamerahersteller arbeiten daran, auch für MIPI CSI-2-basierte Kameralösungen eine GenICam Schnittstelle mit vollem Zugriff auf alle Kamera-Features und alle Pixelformate zu schaffen und gleichzeitig deutlich längere Kabel (über einen Meter) zu ermöglichen.

5. Fazit

Die MIPI CSI-2-Schnittstelle ist für Embedded Vision Systeme geeignet, bei denen ein schlanker und kostenoptimierter Aufbau gewünscht ist. Die Integration eines entsprechenden Kameramoduls ist aber mit einem gewissen Aufwand verbunden, insbesondere softwareseitig. Es müssen ggf. Treiber und die Bilddaten-schnittstellen an die Applikationen angepasst werden. Daneben sind auch andere, z.B. hardwareseitige Einschränkungen zu beachten.

Damit also der Systementwickler seinen Arbeitsaufwand zuverlässig abschätzen kann, muss er Umfang und Kompatibilität der Treiber sowie ggf. vorhandene Kamerasoftware und deren SW-Schnittstellen berücksichtigen. Sind hier entsprechende Möglichkeiten vorhanden, kann ein effizientes Vision System aufgebaut und damit ein performantes Endprodukt realisiert werden.



Autoren



Dr. Thomas Rademacher
Product Market Manager -
Factory & Traffic

Dr. Thomas Rademacher ist seit 2015 als Produktmanager bei Basler tätig. In dieser Funktion ist er verantwortlich für die Basler dart Kamera Serie und für Embedded Vision Systeme.

Nach Abschluss seiner Promotion im Fach Physik an der Universität Göttingen arbeitete er zunächst im Produktmanagement in einem führenden Unternehmen für industrielle Messtechnik in der Halbleiterbranche. Dort lag sein Tätigkeitsschwerpunkt im Bereich der optischen Metrologie und automatisierter Bildverarbeitung- und analyse.

Kontakt

Dr. Thomas Rademacher – Product Market Manager -
Factory & Traffic

Tel. +49 4102 463 487
Fax +49 4102 463 46487
Email: thomas.rademacher@baslerweb.com

Basler AG
An der Strusbek 60-62
22926 Ahrensburg
Deutschland

Basler AG

Basler ist ein international führender Hersteller von hochwertigen digitalen Kameras und Zubehör für Anwendungen in Fabrikautomation, Medizin, Verkehr und einer Vielzahl von weiteren Märkten. Das Produktportfolio umfasst Flächen- und Zeilenkameras in kompakten Gehäusegrößen, Kameramodule als Boardlevel-Varianten für Embedded Vision-Lösungen sowie 3D-Kameras. Abgerundet wird das Angebot durch unser bediener-



Frank Karstens
Product Platform Manager

Frank Karstens ist Product Platform Manager bei der Basler AG.

Er ist Diplomingenieur (FH) und startete seine Laufbahn 2005 bei Basler im Bereich Components.

In seiner aktuellen Position ist er verantwortlich für Embedded Software sowie für zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich.

Kontakt

Frank Karstens – Product Platform Manager

Tel. +49 4102 463 492
Fax +49 4102 463 46492
Email: frank.karstens@baslerweb.com

Basler AG
An der Strusbek 60-62
22926 Ahrensburg
Deutschland

freundliches pylon SDK sowie ein breites Spektrum von teils eigens entwickeltem Zubehör, das optimal auf unsere Kameras abgestimmt ist. Basler verfügt über drei Jahrzehnte Erfahrung im Bereich der Computer Vision. Das Unternehmen beschäftigt rund 500 Mitarbeiter an seinem Hauptsitz in Ahrensburg sowie in Niederlassungen und Vertriebsbüros in Europa, Asien und Nordamerika.