



Schluss mit dem Kabelsalat

Schnittstellen-Standard „Camera Link“ sorgt für Kompatibilität

Kaum eine andere Branche hat derartig gute Zukunftsaussichten wie die industrielle Bildverarbeitung (IBV) mit Zuwachsraten über 20 %. Doch proprietäre Systeme, die sich z.B. bereits beim Anschlusskabel der Kamera abgrenzen, wirken eher hinderlich auf eine breite Akzeptanz dieser Technologie. Sollen möglichst viele Branchen und Produktionsverfahren von der IBV profitieren, dann müssen offene Standards her.

Kamillo Weiss

Die analoge Signalübertragung zwischen Kamera und Rechner zur Bildverarbeitung verliert an Bedeutung. Begrenzte Bandbreite,

Übertragungsverluste und die Anfälligkeit der analogen Signale auf Störungen verhindern den Einsatz dieser recht einfachen und preiswerten Verbindung bei hohen Auflösungen und schnellen Bildfolgen. Abhilfe verspricht die digitale Übertragung – das bedeutet: Die Umsetzung der analogen Signale des Bildsensors in digitale Daten erfolgt bereits in der Kamera und nicht erst im Rechner. Dadurch verkürzen sich die Leitungswege der analogen Signale. Die neuen CMOS-Bildsensoren erlauben sogar die Integration von Signalverarbeitungsstufen, zum Beispiel ADU (Analog/Digital-Umsetzer), auf demselben Chip. Der Sensor liefert also selbst digitale Signale, angesteuert über Zei-

len- und Spaltenadresse gleich einem RAM.

Megapixelkameras erfassen dank der höheren Auflösung größere Bildbereiche bei gleichbleibender Messgenauigkeit. Um feinste Merkmale unterscheiden zu können, erfolgt verstärkt auch der Einsatz von Kameras mit mehr als 256 Graustufen (8 bit), z.B. mit 10 bit, was 1024 Helligkeitsstufen entspricht. Stößt die Graubildanalyse an die Grenzen ihrer Möglichkeiten, kann die Farb-Bildverarbeitung durch ihre Auflösung von $3 \times 8 \text{ bit} = 24 \text{ bit}$ auch noch feinste Farbnuancen eindeutig unterscheiden. Schnellere Qualitäts- und Automatisierungsaufgaben benötigen Kameras mit höheren Bildfrequenzen. Alle diese Anforderungen führen zu einem rapiden Anwachsen der Bild-daten, die in Echtzeit zu übertragen und zu verarbeiten sind. Bereits eine einzige Farbkamera mit 24 bit pro Bildpunkt und einer Pixelfrequenz von 25 MHz liefert in einer Sekunde eine Datenmenge von 600 Mbit.

Zum Rechner gelangen die binären Daten zumeist über parallele Schnittstellen, was entsprechend vieladrigte Leitungen, z.B. bei $3 \times 8 \text{ bit} = 24 \text{ bit} \Rightarrow 24 \times \text{Twisted Pair} = 48 \text{ Adern}$, und große Stecker erfordert. Serielle Übertragungsverfahren wie z.B. nach RS 422, RS/EIA 644 (LVDS, Low Voltage Differential Signaling [1, 2, 3, 4]) oder IEEE 1394a begnügen sich dagegen mit kleineren Steckern und dünneren Kabeln. Alles in allem führte diese digitale Vielfalt in der Vergangenheit zu einer schier unüberschaubaren Zahl von Kabel- und Steckervarianten.

Konfiguration	Ports	Anzahl der benötigten Channel-Link-ICs	Anzahl der Steckverbinder
Base	A, B, C $3 \times 8 \text{ bit}$	1	1
Medium	A, B, C, D, E, F $4 \times 8 \text{ bit}$ $4 \times 12 \text{ bit}$	2	2
Full	A, B, C, D, E, F, G, H $8 \times 8 \text{ bit}$	3	2

Tabelle 1. Die drei Konfigurationen des Camera Link im Überblick. Die höheren Modi Medium und Full erfordern ein zweites, allerdings identisches Kabel.

(Quelle: [5])

Hersteller	Produktname	Anschlüsse	Modi				Kameras	Kamera-Kanäle (Taps)	max. Pixeltakt (MHz)	Speicher (Mbyte)	Look up Table (LUT)	digitale E/A	Bus	Chip	Betriebssystem
			Base	Medium	Full	Dual									
Alacron Inc., www.alacron.com	Basic FastFrame 1300	2	●	●			2	4 (8 bit)	80	16 - 128		4 A	PCI 64/32 PMC 32		Windows 9x/NT/2000, Solaris, Linux
	Basic FastVision	2	●	●	●		2	2×3 (8 bit) 8 (8 bit)	80	64 - 256			PCI 64/32 (33/66 MHz) PMC 33 MHz		
	FastFrame 1300 Multiprocessor	2	●	●	●		2	4 (8 bit)	80	16 - 128 + 8 - 32		4 A	PCI 64/32 PMC 32	TriMedia 1300	Windows 9x/NT/2000, Solaris, Linux
	FastImage 1300 Multiprocessor	2	●	●	●		2	8 (8 bit)	80	je µP 8 - 16		4 A	PCI 32 PMC 32	max. 4× TriMedia 1300	Windows 9x/NT/2000, Solaris, Linux
	FastVision Multiprocessor	2	●	●	●		2	2×3 (8 bit) 8 (8 bit)	80	je µP 64 - 128			PCI 64/32 (33/66 MHz) PMC 33 MHz	max 2× AltiVec	
BitFlow, www.stemmer-imaging.de	Road Runner CL	1	●				24 bit (RGB)	2 (8 - 12 bit)	50		optional		PCI 32		Windows NT/2000/XP
Coreco Imaging, www.stemmer-imaging.de	PcCamLink	1	●				24 bit (RGB)	3 (8 bit)	62,5	16	2×64 Kbit	8 E 8 A	PCI 32		
	Viper-CamLink	2	●	●	●		32 bit	8 (8 bit)	50			ja	PCI 32	i960	Windows NT/2000
Data Translation GmbH, www.datx.de	DT 3145 (neu)	1	●						40			ja	PCI 32		Windows 98/2000/ME
Datacube, www.cosyco.de	MaxRevolution	2	●	●	●		2	8 (8 bit)	85	128 - 1 G		8 E 5 A	PCI 64 (66 MHz)	Virtex II	
EDT Inc., www.edt.com	PCI DC C-Link, PMC DV C-Link	2	●	●	●		2						PCI 32 (33/66 MHz), PMC		Windows NT/2000/XP, Solaris, Linux
Epix Inc., www.cosyco.de	PIXCI CL1	1	●					3 (8 bit)	66	-	-	ja	PCI 32		Windows 95/98/NT/2000
	PIXCI CL3SD (neu)									1 G - 4 G			PCI 64 (66 MHz)		Windows 95/98/NT/2000
Euresys, www.svs-vistek.com	GrabLink Expert	2	●	●	●		2×12 bit RGB (24 - 36 bit)	4 (8 - 12 bit)	66 (48 bit)	16		4 E/A	PCI 64 (66 MHz)		Windows 98/ME/NT/2000
	GrabLink Value	1	●				24 bit (RGB)	2 (8 - 12 bit)	66	16			PCI 32		Windows 98/ME/NT/2000
i2S Line Scan, www.i2s-linescan.com	Horizon Link	2	●		●		2×12 bit RGB (24 bit)	2 (8, 10, 12 bit) 4 (8 bit)	40				PCI 32		Windows NT/2000
Integral Technologies Inc., www.ehd.de	FlashBus DX-CL	1	●				RGB (24 bit)		40		1024×8 bit	ja	PCI 32		Windows, Linux
	FlashBus DX-CL-2	2	●		●		2×10 bit RGB (24 bit)		40		1024×8 bit	ja	PCI 32		Windows, Linux
Matrox, www.matrox.com, www.rauscher.de	Meteor-II/ Camera Link	2	●	●	●		2×RGB (24 bit)	2 (8 - 12 bit) 4 (8 bit)	40	32	vier 256×8 bit zwei 4K×12 bit	2 E 7 A	PCI 32		Windows NT/2000, QNX
Mikrotron GmbH, www.mikrotron.de	Inspecta-4C	1	●				RGB (24 bit)	3 (8 bit)	50 (8bit)			4 E 4 A	PCI 32		Windows 9x/ME, NT/2000, Linux
National Instruments GmbH, www.ni.com	NI 1428	2	●	●					0,5 - 50	16	vier 256×8 bit	4 E/A	PCI 32		Windows 9x/ME/NT/2000
Silicon Software GmbH, www.silicon-software.de	microEnable 1	2	●	●	●			ja	60	0,5 - 2		4 E, 4 A (opt.)	PCI 32	XC4000	Windows NT/2000/XP, Linux
	microEnable 2	2	●	●	●			ja	60	1		4 E, 4 A (opt.)	PCI 32	Virtex	Windows NT/2000/XP, Linux
	microEnable 3	2	●	●	●			ja	80	96		4 E, 4 A (opt.)	PCI 64 (66 MHz)	Spartan 2	Windows NT/2000/XP, Linux
Strampe GmbH, www.strampe.de	DSPC6000 Vision Box	1	●						75 (8 bit)	32		8 E 8 A	Stand-Alone	C6203	
ViDiSys GmbH, www.vidisys.de	Syncro CL	1/2	●				16 bit (2×8 bit)		40		8 bit	6 E 6 A	PCI 32		Windows NT/2000

Tabelle 2. Einige Framegrabber für Camera Link im Überblick. Die neuen Karten von Epix und Data Translation sind noch nicht verfügbar.

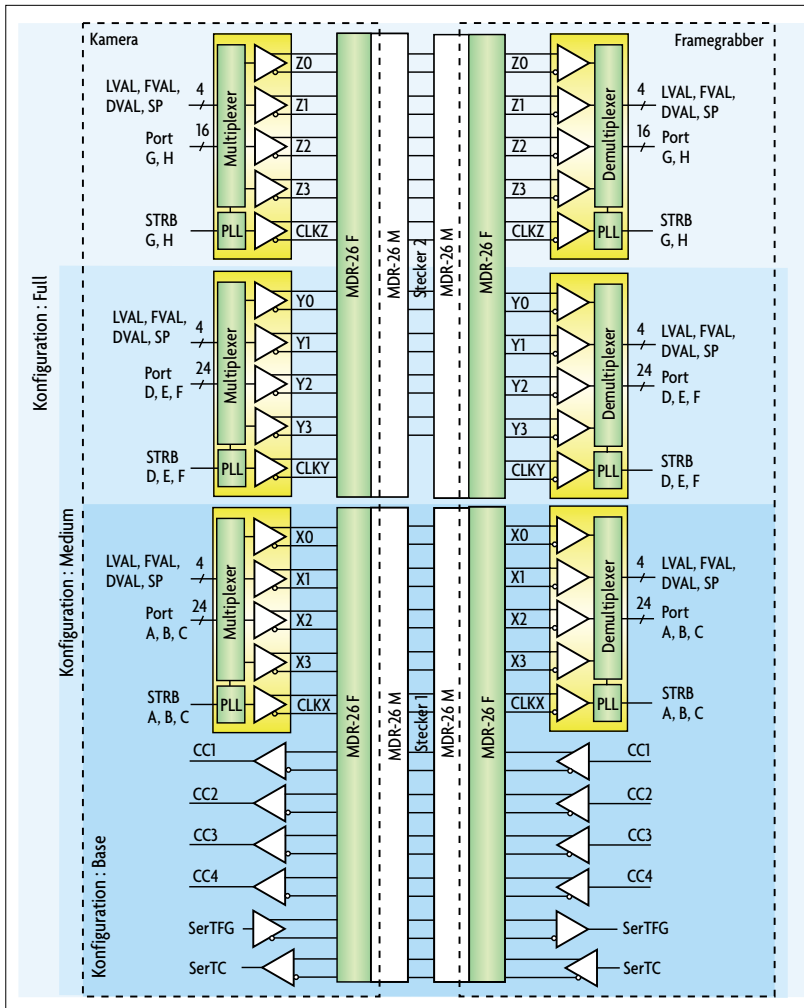


Bild 1. Camera Link – eine auf den Datenverkehr zwischen Kamera und Framegrabber optimierte Verbindung – im Überblick: Abhängig von der Konfiguration (Base, Medium, Full) ist nur ein Teil der Channel-Link-Bausteine erforderlich. (Bildquellen: [5])

► **Ein neuer Standard entsteht**

Höchste Zeit für einen einheitlichen Standard: Dreizehn Firmen – am Markt konkurrierende Hersteller von Kameras und Framegrabbern – haben zusammen eine digitale Schnittstelle erarbeitet. Der „Camera Link“ genannte Standard [5] basiert auf der seriellen LVDS-Datenübertragung von National Semiconductor (Channel Link): Der Sender fasst im Verhältnis 7:1 einen 28 bit breiten Datenstrom – hier 24 bit Bilddaten und 4 bit Steuerdaten – zu vier Zeitmultiplexsignalen zusammen. Zum Empfängerbaustein gelangen diese binären Daten als Differenzsignale (± 350 mV) über vier Adernpaare. Ein fünftes Adernpaar dient der Übertragung des zum Demultiplexen benötigten Taktsignals. Camera Link bietet eine reine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (Bild 1) für Bilddaten, bidirektionale

serielle Kommunikation und Kamera-Steuersignale:

Bilddaten

- Je nach Konfiguration (Tabelle 1 und Bild 2) sind maximal bis zu 8×8 bit übertragbar. Als Steuersignale dienen:
- FVAL – Frame Valid, High während der Zeilenübertragung.
 - LVAL – Line Valid, High während der Pixelübertragung.
 - DVAL – Data Valid, High während der Datenübertragung.
 - SP – Spare, reserviert für zukünftige Anwendungen.

Jeder der maximal drei Channel-Link-Bausteine kann diese Steuersignale übertragen. Im Standard ist nicht definiert, welche dieser Verbindungen im Medium- bzw. im Full-Modus von der Kamera zu nutzen ist. Es empfiehlt sich, diese Signale über die Leitungen

Hersteller	Produktname	Sensor	Modi			Kanäle (Taps)	Bildpunkte horizontal	Bildpunkte vertikal	Pixelgröße (µm)	Pixeltakt (MHz)	max. Teilbildfrequenz (Hz)	max. Vollbildfrequenz (Hz)	Helligkeitsstufen	Dynamik (dB) (Sensor)	Spektralbereich (nm)
			Base	Medium	Full										
Atmel ES2 GmbH, www.atmel-grenoble.com	AVIIVA	CCD	●				1024, 2048, 4096 / 512, 1024, 2048	1	10 × 10 14 × 14	60	109 k, 57 k 29 k, 15 k		12 bit (s/w)		250 - 1100
Basler AG, www.baslerweb.com	A202k	CCD	●			2	1004	1004	7,4 × 7,4	40	48	48	8/10 bit (s/w)	60	300 - 1000
	A501k	CMOS	●			2	1280	1024	12 × 12	50	300	74	8 bit (s/w)	59	300 - 1000
	L101k-1k, L101k-2k	CMOS	●			1	1024, 2048	1	10 × 10	20	18,35 k 9,42 k		8/10 bit (s/w)	76,4	300 - 1000
	L103k-1k, L103k-2k	CMOS	●			1/2	1024, 2048	1	10 × 10	40	36,75 k 18,9 k		8/10 bit (s/w)	76,4	300 - 1000
	L104k-1k, L104k-2k	CMOS	●			1/2	1024, 2048	1	10 × 10	62,5	57,45 k 29,56 k		8/10 bit (s/w)	76,4	300 - 1000
Dalsa GmbH, www.stemmer-imaging.de	Piranha2	CCD (PPD)	●	●		2/4	1024, 2048 / 4096, 6144, 8192	1	10 × 10 7 × 7	160 (je 40)	67 k, 36 k 24 k, 18 k 12 k, 9 k		8/10 bit (s/w)		400 - 1000
Fastcom Technology S.A., www.fastcom-technology.com	iMVS-157	CMOS	●				1024	1024	8 × 8	40	4,9 k (512 Pixel)		8/10 bit (s/w)	120	400 - 1000
JAI, www.stemmer-imaging.de	M4CL	CCD	●				1280	1024	6,7 × 6,7	40,5		24	8 bit (s/w)		
	M7CL, (Bayer Farbfilter)	CCD	●				1280	1024	6,7 × 6,7	40,5		24	8 bit		
Mikrotron GmbH, www.mikrotron.de	MC1301	CMOS	●				1280	1024	12 × 12	7,5 - 66	4850	100	16 bit (s/w)	59	400 - 800
Photonfocus AG, www.photonfocus.com	MV-D1024-28 CL-8, MV-D1024-28 CL-10	CMOS	●			1	1024	1024	10,6 × 10,6	28	27	27	8/10 bit (s/w)	>120	400 - 1100
	MV-D1024-80 CL-8, MV-D1024-80 CL-10	CMOS	●			2	1024	1024	10,6 × 10,6	40	75	75	8/10 bit (s/w)	>120	400 - 1100
Pulnix GmbH, www.pulnix.com	TM-1020-15CL	CCD	●				1024	1024	9 × 9	20	30	15	8 bit (s/w)	64	
	TM-1320-15CL	CCD	●				1300	1030	6,7 × 6,7	25	30	15	8 bit (s/w)	54	
	TMC-1000CL	CCD	●				1008	1018	9 × 9			15	3 × 8 bit (RGB)		
	TMC- 6700CL	CCD	●				640	480	9 × 9			60	3 × 8 bit (RGB)		
SVS-Vistek GmbH, www.svs-vistek.com	SVS 084, SVS 084 Color, (Bayer Farbfilter)	CCD	●			1	640	480	7,4 × 7,4	43	64 / 94	64 / 94	10 bit (s/w), 10 bit		380 - 950
	SVS 085, SVS 085 Color, (Bayer Farbfilter)	CCD	●			1	1280	1024	6,7 × 6,7	43	13 / 25	13 / 25	10 bit (s/w), 10 bit		380 - 950
	SVS 204, SVS 204 Color, (Bayer Farbfilter)	CCD	●			1	1024	768	4,65 × 4,65	43	21 / 42	21 / 42	10 bit (s/w), 10 bit		380 - 950
	SVS 282 Color, (Bayer Farbfilter)	CCD	●			1	2580	1944	3,4 × 3,4	29,5	10	5	10 bit		350 - 1000
	SVS 285 HQE	CCD	●			1	1360	1024	6,45 × 6,45	43	15 / 22	15 / 22	10 bit (s/w)		350 - 1000
VDS Vosskühler GmbH, www.vdsvossk.de	CMC-1300, optional (Bayer Farbfilter)	CMOS	●	●	●	max. 10	1280 1280 1280	1024 512 1	12 × 12	82,5	685 975 250 k	485	8 (9) bit (s/w),		400 - 1100

Tabelle 3. Übersicht einiger Kameras mit Camera-Link-Anschluß. Zur Berechnung der Dynamik wenden die Hersteller unterschiedliche Methoden an.

des ersten Steckverbinders (Base) zu senden oder – wie bereits von einigen Kameraherstellern praktiziert – alle möglichen Übertragungswege pro Steuersignal parallel anzusteuern. Es existieren bereits Framegrabber, die dem Anwender erlauben, einen der drei Steuersignalfade per Software auszuwählen.

Bidirektionale Kommunikation

Zwei LVDS-Leitungspaare (SerTFG – Serial to Framegrabber – und SerTC – Serial to Camera) sind für eine asynchrone, bidirek-

Alternative: IEEE 1394

Apple nennt ihn FireWire, bei Sony heißt er i.Link und für alle anderen ist es einfach nur IEEE 1394: ein serielles Bussystem mit Datenraten von zunächst 100 Mbit/s, 200 Mbit/s oder 400 Mbit/s, das bis zu 63 Teilnehmer adressieren kann. Erfunden von Apple für den Einsatz im Computer- und Consumer-Bereich, dringt dieser Standard langsam aber sicher auch in die Bereiche der Industrie, Mess- und Steuertechnik und auch Automotive vor. Wesentliche Merkmale dieses Standards sind die Baumstruktur und die Auslegung als Peer-to-Peer-Netzwerk. Neben dem Transport von asynchronen Datenpaketen gestattet IEEE-1394 auch die Übertragung isochroner Pakete. Diese Übertragungsart ist wichtig für das Senden der Bilddaten einer Kamera. Maximal 80 % der Übertragungskapazität des Busses lässt sich für isochrome Datenströme nutzen. Speziell für den Einsatz in der industriellen Bildverarbeitung entstand auf der Basis des 1394-Standards die Spezifikation IIDC (Digital Camera, www.1394ta.org) für digitale Kameras – aktuelle Version 1.30. Hierin sind die Bildformate und alle Register (Inquiry, Status, Control) einer digitalen Kamera, das Format der Datenpakete und das Busmanagement definiert. Eine 1394-Kamera („passive“ Bus-Komponente) wird stets mit einem Rechner („aktiver“ Knoten) verbunden. Deshalb fordert der Standard nur ein vereinfachtes Interface in der Kamera. Die Funktionen des Cycle Master und des Bus Manager muss der Rechner übernehmen.

IEEE 1394 als serielle Schnittstelle zum Anschließen einer Kamera an einen Computer hat eine Reihe von Vorteilen wie z.B. sehr kompakte Steckverbinder (6-polig mit Stromversorgung, 4-polig ohne Stromversorgung), den direkten Anschluss der Kamera an den Rechner (ohne Framegrabber) und nicht zuletzt preiswerte Controller-ICs. Eine Reihe von Betriebssystemen (z.B. MacOS, Windows 98/2000/ME/XP, Linux) unterstützen direkt das benötigte OHCI1394 (Open Host Controller Interface). Allerdings ist in der aktuellen Version IEEE 1394a die Kabellänge auf 4,5 m begrenzt – schließlich handelt es sich um einen Bus. Größere Distanzen sind nur mit zwischengeschalteten Knoten (Repeatern) zu überbrücken, und die maximal mögliche Datenrate von 320 Mbit/s eignet sich nicht für schnelle und hochauflösende Kameras.

Alle Erwartungen sind daher auf IEEE 1394b gerichtet. Dieser neue Standard soll nicht nur höhere Datenraten (800 Mbit/s, 1,6 Gbit/s und 3,2 Gbit/s), sondern auch längere Anschlussleitungen (auch optische Wellenleiter) ermöglichen. Jedoch ist im Standard „b“ vieles anders (z.B. ringförmige Busstruktur ist erlaubt, 8B10B-Codierung, Arbitrierung per Datenpaket, andere Steckverbinder), so dass keine Kompatibilität mit 1394a herrscht. *hs*

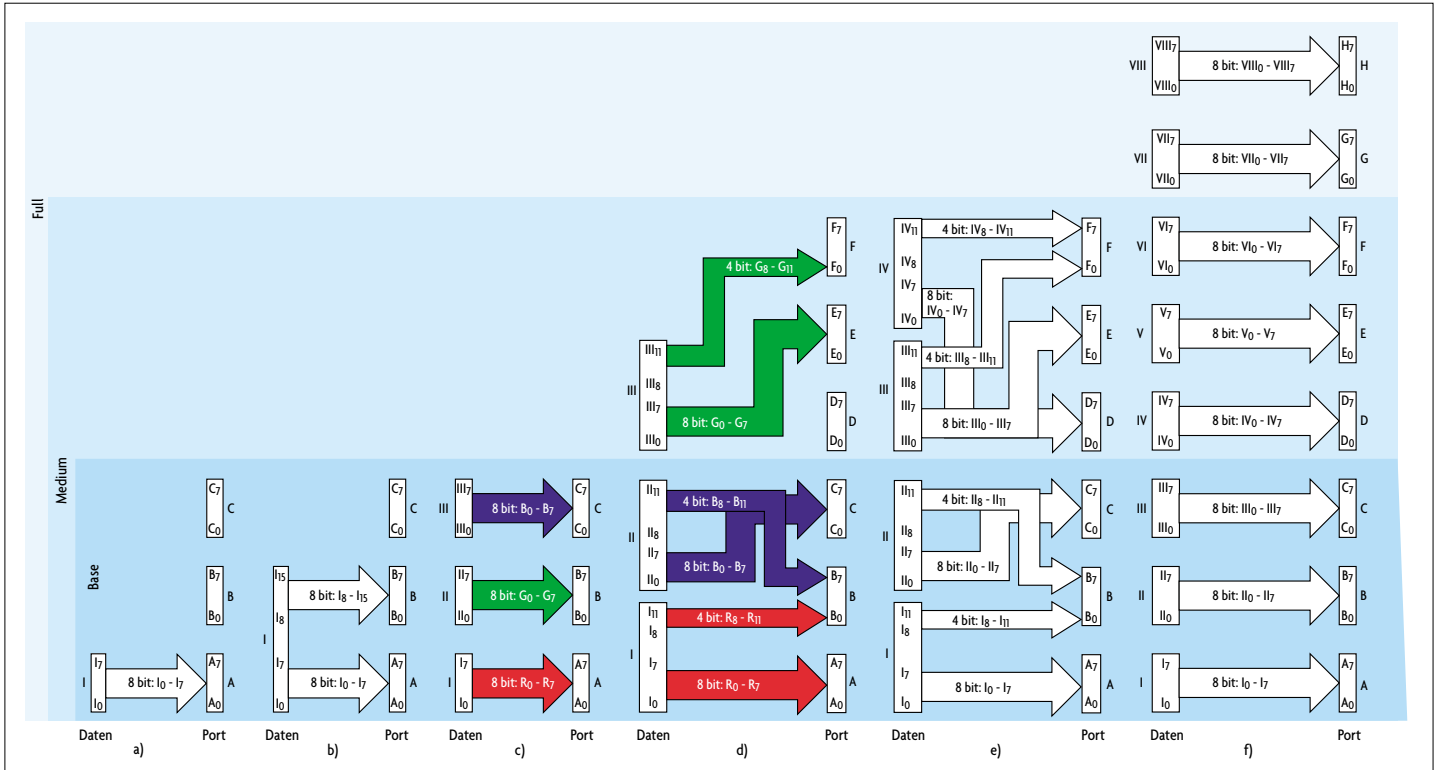


Bild 2. Eine Darstellung der gängigsten Datenströme auf der Camera-Link-Schnittstelle: a) 1×8 bit, b) 1×16 bit, c) 3×8 bit (RGB), d) 3×12 bit (RGB), e) 4×12 bit und f) 8×8 bit.

tionale Kommunikation zwischen der Kamera und dem Framegrabber reserviert. Die RS-232- oder RS-485-Schnittstelle des PC, eine Benutzerschnittstelle auf dem Framegrabber-Board oder ein allgemeines API (Application Programming Interface) als DLL (Direct

Link Library) bieten sich hierfür an. Die meisten Framegrabber-Hersteller wollen neben einer Benutzerschnittstelle auch ein API zur Verfügung stellen. Im Standard definiert ist ein allgemeines API für asynchrones Lesen und Schreiben. Es bietet die Basis für die

Kamerahersteller, um die spezifische Konfiguration der eigenen Kamera framegrabberunabhängig zu schreiben.

Kamera-Steuersignale

Camera Control 1 (CC1) bis Camera Control 4 (CC4) sind als Kamera-Ein-

gänge und Framegrabber-Ausgänge definiert. Die Kamerahersteller dürfen die Signalbelegung individuell festlegen. Asynchrone Resetsignale wie HD (Horizontal Drive), VD (Vertical Drive) und VINIT (Vertikal Scan Initialisation) sind mögliche Signale der Kamerasteuerung.

► Ein Stecker, maximal zwei Kabel

Die Verbindung zwischen Kamera und Framegrabber erfolgt über ein einheitliches 26-adriges Kabel. Der 26-polige Anschlussstecker (MDR-26) wurde wegen seiner Robustheit und seiner hervorragenden Übertragungseigenschaften speziell für LVDS-Signale ausgewählt. Jedes Leitungspaar ist mit einer Aluminiumfolie abgeschirmt (Twinaxial). Die Drähte des inneren Schirmes sind mit den Digital-Ground-Kontakten des Steckers, der äußere Kabelschirm (Masse-Schirm) ist mit den beiden Steckergehäusen verbunden und hat keinen Kontakt zum inneren Schirm.

In der Base-Konfiguration genügen ein Schaltkreis, der die 28 parallelen Daten- und Signalleitungen in fünf LVDS-Kanäle umsetzt, und ein Verbindungskabel. Die höheren Datenraten in der Medium- und Full-Konfiguration erfordern zwei ICs (zehn LVDS Kanäle) bzw. drei Schaltkreise (15 LVDS Kanäle) und ein zweites, gleichartiges Kabel. Zur Realisierung der Schnittstelle nutzt der Camera-Link-Standard die Channel-Link-Schaltkreise von National Semiconductor, wie z.B. die ICs DS90CR283 und DS90CR284.

LVDS-ICs anderer Hersteller – z.B. Flatlink von Texas Instruments oder Panel Link von Silicon Image – können inkompatibel sein. Eine Liste der kompatiblen Schaltkreise ist in der Dokumentation des Standards [5] enthalten.

Abhängig von der gewählten Taktfrequenz bietet dieser speziell auf die Verbindung von Kamera zu Framegrabber zugeschnittene Standard hohe Übertragungsraten: Bilddaten mit 1,584 Gbit/s, bei 66 MHz bereits in der Konfiguration Base. Im Medium- und im Full-Modus steigt die Netto-Übertragungsrate auf das Doppelte (3,168 Gbit/s) bzw. auf 4,224 Gbit/s. Die Länge des Camera-Link-Anschlusskabels hängt von der gewünschten Datenübertragungsrate ab. Kabellängen bis zu 10 m bereiten – nach Informationen von National Semiconductor – LVDS keine Probleme, größere Kabellängen sind mit entsprechend reduzierter Taktrate möglich. *hs*



Dipl.-Ing. Kamillo Weiss

ist freier Fachjournalist in den Themenbereichen industrielle Automatisierung und Qualitätssicherung.

► **E-Mail: KamilloPR@aol.com**

Literatur

- [1] Lewis, D.: Sparsam und schnell über Board und Kabel. *Elektronik* 1998, H. 12, S. 38ff.
- [2] Beisert, J.: Nur das Auge bleibt analog. *Elektronik* 1998, H. 17, S. 56 – 59.
- [3] Dehmelt, F.: Störunanfällig und schnell. *Elektronik* 2001, H. 22, S. 86 – 93.
- [4] Kampainen, St.: Backplanes für die dritte Mobilfunkgeneration. *Elektronik* 2001, H. 8, S. 64 – 76.
- [5] www.pulnix.com/CameraLink5.pdf