



Anwendungen in der Druckindustrie erfordern Zeilenkameras mit hohen Bildraten.

# Den Turbo zünden

## Wie intelligente Datenkodierung die Grenzen von GigE überwindet

Die Bandbreite der GigE Vision-Schnittstelle war in der Vergangenheit ausreichend für CCD- und CMOS-Sensoren mit Datenraten von weniger als 100 MB/s. Neue, mehrkanalige CMOS-Sensoren übertragen jedoch mit Datenraten, die weit darüber hinausgehen. Eine innovative Technologie eröffnet nun die Möglichkeit, auch in diesen Fällen weiterhin Ethernet als Schnittstelle zu verwenden.

**T**urboDrive ist eine von Teledyne Dalsa zum Patent angemeldete Innovation, die fortschrittliche Datenkodierungstechniken nutzt, die sich auf die Redundanz der ausgehenden Daten des Sensors stützen. Diese Technologie macht es möglich, dass die Kamera Informationen mit einer Geschwindigkeit überträgt, welche die Beschränkungen von Gigabit-Ethernet übersteigt. Dabei wird eine Kodierung mit zugrunde liegender Bildentropie angewendet, um Pixelinformationen ohne Verlust abzubilden. Dies ermöglicht eine schnellere Datenübertragung, da jedes zu kodierende Pixel aus weniger Bits besteht.

Bildverarbeitungskameras nutzen üblicherweise eine absolute Kodierung von 8 bis 16 Bit, um Bildinformationen zu übertragen. Bei 8 Bit nimmt jedes Pixel beispielsweise einen Wert von 0 (schwarz) bis 255 (weiß) an. Das neue Verfahren basiert auf der loka-

lisierten relativen Kodierung, um jedes Pixel in seinem Kontext zu untersuchen, bevor es kodiert wird. Dadurch entsteht eine kompaktere Kodierung der Pixelinformationen, wodurch die gleichen Informationen in weniger Bits gepackt werden.

### Bildentropie als Ausgangspunkt

Die Bildentropie misst den Grad der Zufälligkeit in einem Bild: Je gleichmäßiger ein Bild ist, desto einfacher kann es kodiert werden. Eine sehr hohe Bildentropie bedeutet, dass das Bild sehr viele Informationen enthält, wodurch es schwerer ist, es kompakt zu kodieren. Mit Hilfe eines Histogramms lässt sich die Pixelverteilung in einem gegebenen Bild darstellen. Jedes Mal, wenn ein bestimmter Wert im Bild auftritt, erhöht sich die Histogrammspalte für diesen Wert um 1. Daraus ergibt sich, dass bei einem gleichmäßigen Bild mit einer einzigen Intensität

alle Pixel den gleichen Wert annehmen würden. Das dazugehörige Histogramm würde folglich einen einzigen Spitzenwert enthalten. Entsprechend wäre die Bildentropie gleich 0. Um ein derartiges Bild vollständig zu beschreiben, muss man nur den gemeinsamen Wert aller Pixel kennen. Man sieht also, dass die Kodierung dieses Bildes nur wenige Informationsbits erfordert. Echte Bilder sind jedoch nicht so simpel und viele von ihnen sind redundant. Das heißt, dass bestimmte Pixelwerte eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen. Vereinfacht gesagt stellt die Bildentropie die theoretische untere Grenze der durchschnittlichen Bitanzahl dar, die zur Kodierung jedes Bildpixels erforderlich ist. Also je niedriger der Wert ist, desto effektiver ist die Komprimierung, die erreicht werden kann.

#### **Nutzung des Nachbarschaftseffekts**

Um die Bitanzahl, die zur Kodierung der Pixelinformationen ohne Informationsverlust notwendig ist, noch weiter zu verringern, muss auch der Nachbarschaftseffekt berücksichtigt werden. Die Nachbarschaft eines Pixels ist die Sammlung der Pixel, die es umgeben. Für die meisten Pixel besteht eine geringe Pixel-zu-Pixel-Abweichung und eine hohe Redundanz. Deshalb ist es möglich, die Informationen der angrenzenden Pixel effizient zu nutzen, um das Referenzpixel noch effizienter zu kodieren.

Durch die Nutzung der Bildgleichmäßigkeit verwendet das neue Verfahren eher die lokalisierte relative Kodierung als die absolute Kodierung. Das ist effizienter, wenn Nachbarpixel eine höhere Korrelation aufweisen. Das Ergebnis wird anschließend als Eingabewert für den Bildentropieschritt verwendet, um eine weitere Minimierung der Kodierungsgröße des Bildes zu erreichen. Dadurch wird eine kompakte Darstellung sichergestellt, die alle Informationen des Originalbildes beibehält.

#### **Anforderungen an den Übertragungsweg**

Eine typische Kamera zur industriellen Bildverarbeitung kodiert

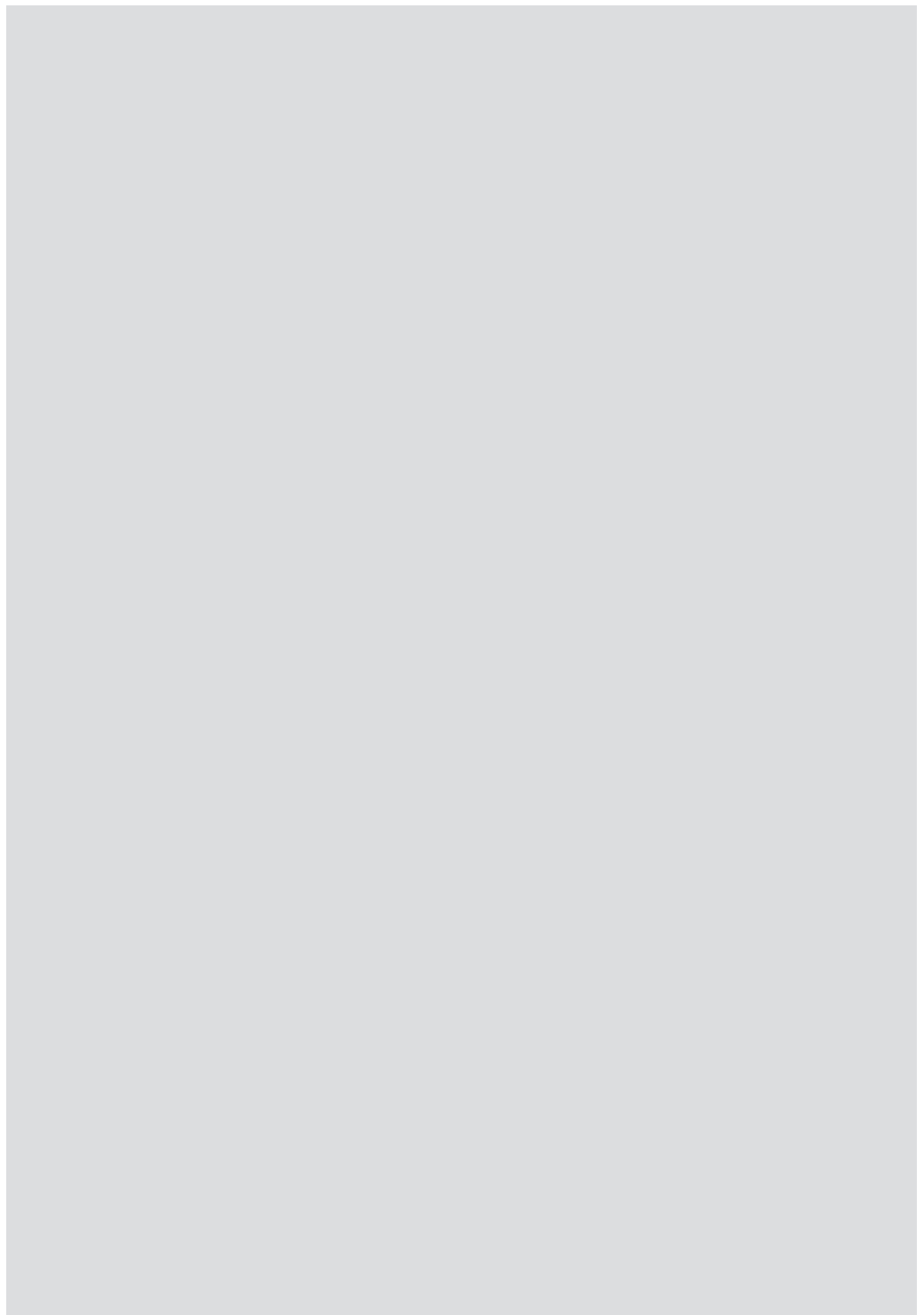
die Pixelinformationen mit Hilfe der absoluten Kodierung. Das heißt, dass jedes Pixel vollständig durch sich selbst beschrieben wird und keine zusätzlichen Informationen zur Kodierung notwendig sind. Der numerische Wert stellt die Pixelintensität dar. Diese Herangehensweise hat den Vorteil, dass bei einer fehlerhaften Übertragung der Empfänger einfach die fehlerhaften Pixel überspringen kann. Der Nachteil ist, dass diese Art der

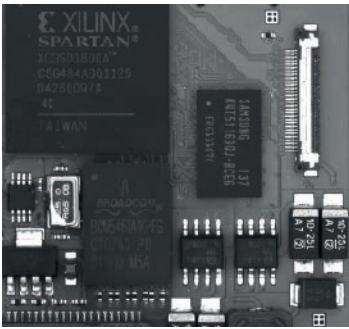
Kodierung mehr Bits erfordert, als basierend auf dem zuvor erläuterten Prinzip der Bildentropie wirklich notwendig sind.

Wenn also eine absolute Kodierung suboptimal ist, warum wird sie so oft zur industriellen Bildverarbeitung eingesetzt? Nehmen wir Camera Link als Beispiel: Diese Kameraschnittstelle wurde im Jahr 2000 eingeführt und ist seitdem sehr beliebt, hauptsächlich aufgrund des schnellen Datendurchsatzes

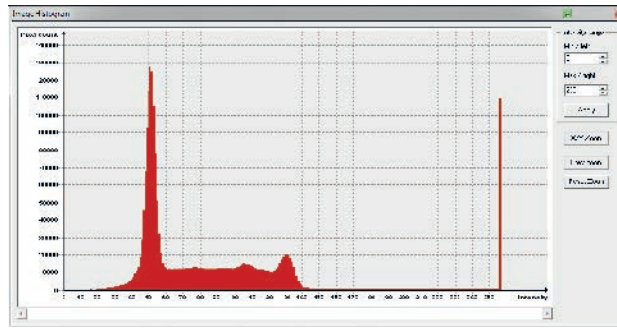
von bis zu 850 MB/s. Ein weniger bekannter Aspekt ist allerdings, dass Camera Link keine Stabilität bietet, wenn Bitfehler auftreten: Wenn ein Bit während der Übertragung beschädigt wird, hat der Framegrabber keine Möglichkeit, das Problem zu erkennen oder die Anwendung zu benachrichtigen. Das betroffene Pixel nimmt daraufhin einen falschen Wert an. Das Ausmaß dieses Effekts hängt davon

*Fortsetzung auf S. 16*

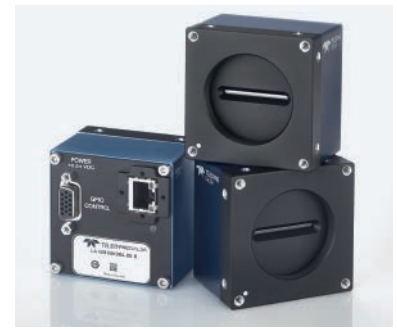




Beispiel: S/W-Aufnahme einer Platine



Das Histogramm zeigt die Grautonverteilung aller Pixel im Beispielbild.



Linea GigE-Zeilenkameras von Teledyne Dalsa

ab, ob das beschädigte Bit näher am signifikantesten Bit (großes Ausmaß) oder näher am unwichtigsten Bit (geringes Ausmaß) liegt. Camera Link bietet keine Prüfsumme, keine erneute Datenübertragung oder Vorwärtsfehlerkorrektur. Aber auch eine neuere Kameraschnittstelle, wie z. B. CoaXPress 1.1, ist auf die Fehlererkennung beschränkt, ohne die Garantie einer Bildübertragungsstabilität.

Die Abhängigkeit von den angrenzenden Pixeln erfordert zuverlässige Übertragungskanäle, wie sie durch GigE Vision, USB3 Vision und Camera Link HS bereitgestellt werden. Jeder Übertragungsfehler wird dann auf dem Übertragungslayer verwaltet. Das heißt, dass die Dekodierungsengine immer ein fehlerfreies digitales Signal empfängt. Falls der Kanal nicht zuverlässig ist, würde sich ein Übertragungsfehler in einem Pixel auf seine Nachbarn ausbreiten und dadurch ein Cluster aus falschen Werten erzeugen.

### Durchbrechen der Bandbreitenbarriere

Die oben geschilderten drei Prinzipien reichen jedoch nicht aus, um den maximalen Durchsatz der Kameraschnittstelle zu überschreiten. Die meisten Bildverarbeitungskameras wurden entwickelt, um Bilder mit einer Bildrate zu empfangen, die nicht die Kapazität des Übertragungsweges überschreitet. Der Bildempfang wird dadurch nicht von der Bildübertragung entkoppelt. Diese Herangehensweise stammt wiederum von Analog- und Camera Link-Kameras. Um den Vorteil von der neuen Technologie voll zu nutzen, muss die Kamera mit einer Geschwindigkeit arbeiten, die höher als die nominale Übertragungsgeschwindigkeit ist, wenn eine absolute Kodierung angewendet wird. Wir nennen dies den „Burst-Modus“. Die Kamera kann anschließend das lokalisierte relative Kodierungsschema nutzen, um zusätzliche Informationen auf dem Übertragungsweg zu komprimieren. Dadurch werden der Empfang und die Übertragung von Bildern beschleunigt. Eine GigE Vision-Kamera kann somit eine Geschwindigkeit von 115 MB/s überschreiten, da jedes Pixel bei der Kodierung weniger als 8 Bit erfordert.

Zur Nutzung dieses Vorteils muss die Kamera integrierte Puffer besitzen. Diese

Puffer sammeln die Pixelinformationen. Das hat den Vorteil, dass Abweichungen in der Kodierungsstufe kompensiert werden: Puffer korrigieren Kodierungsabweichungen, um eine gute durchschnittliche Übertragungsgeschwindigkeit zu erreichen, die innerhalb der Grenzwerte des maximalen Durchsatzes der Kameraschnittstelle liegt. Des Weiteren kann die Kamera Totzeiten zwischen Bildern nutzen, um die Übertragung fortzusetzen und die internen Puffer zu leeren. Dadurch wird der Übertragungsweg weiterhin ausgelastet. Wenn ausreichende Puffer zur Verfügung stehen, ist das Ziel ein durchschnittlicher Durchsatz nach der relativen Kodierung einschließlich der Totzeiten, der der maximalen Übertragungsgeschwindigkeit der Kameraschnittstelle entspricht.

### Vorteile in der Anwendung

Die Linea GigE ist die erste Kameraserie von Teledyne Dalsa mit TurboDrive. Durch die Nutzung der beschriebenen Techniken, kann die Kamera den für diese Produktklasse typischen Durchsatz von 115 MB/s übertreffen. Die Linea Mono 4K GigE ist beispielsweise aufgrund der Gigabit-Ethernet-Verbindungsgeschwindigkeit auf 26 kHz beschränkt. Durch die Aktivierung der Datenkomprimierung und die Berücksichtigung der Totzeit zwischen virtuellen Bildern kann die Zeilenrate für Szenen mit niedriger Bildentropie 80 kHz erreichen. Das ist die gleiche Zeilenrate, die das Camera Link-Modell anbietet.

Es ergeben sich jedoch zusätzliche Vorteile durch den Einsatz der Ethernet-Schnittstelle: Bestehende, auf Ethernet basierende Bildverarbeitungssysteme können auf einfache Weise mit den Kameras Linea oder Genie Nano leistungsfähiger gemacht werden. Für den Anwender heißt das, dass er höhere Bildfrequenzen und kürzere Taktzeiten realisieren kann und somit eine schnellere und effizientere Produktion ermöglicht. Als weitere Vorteile kann die kostengünstige Ethernet-Struktur weiterhin verwendet werden, der Einsatz langer Kabel ist möglich und ein schnelles Re-Design von Systemen und somit eine schnellere Marktreife kann erzielt werden. Zudem lassen sich niedrige Systemkosten erreichen, da kein Framegrabber erforderlich ist.

Eine weitere Anwendung der neuen Technologie findet sich in Multi-Kamera-Systemen. Mit Hilfe eines Ethernet-Switches ist es möglich, Bild-Streams von mehreren Kameras in einer einzigen Netzwerkkarte (NIC) zu kombinieren. Dabei darf der aggregierte Durchsatz dieser Kameras nach der Kodierung die maximale Verbindungsgeschwindigkeit von 115 MB/s für GigE Vision nicht überschreiten. In einigen Bildverarbeitungssystemen könnte dies kosteneffektiver als die Verwendung von mehreren NIC sein.

### Durchsatzerhöhung bis zu 235%

Bei der Verwendung eines zuverlässigen Übertragungsmediums wie GigE Vision ist es möglich, von der traditionellen absoluten Kodierung, bei der jedes Pixel durch seine Intensität dargestellt wird, zur effizienteren Datenkodierung basierend auf Redundanz zu wechseln, wobei keine Informationen verloren gehen, da das dekodierte Bild Bit für Bit mit dem erfassten Bild identisch ist. Das beschriebene Verfahren nutzt den kombinierten Effekt der Bildentropie und der Abweichung angrenzender Pixel, um den Kameradurchsatz zu erhöhen. Bei der experimentellen Untersuchung von Bildern aus typischen Anwendungen wie Strichcode, OCR, ITS oder elektronischen Prüfverfahren hat sich gezeigt, dass die Durchsatzerhöhung zwischen 120 % und 235 % liegt. Für eine Geschwindigkeit von 115 MB/s, wie sie standardmäßig für GigE Vision über eine Gigabit-Ethernet-Verbindung verfügbar ist, stellt dies eine äquivalente Übertragungsbandbreite von 138 MB/s bis 270 MB/s dar.

TurboDrive steht Anwendern der Programmierbibliothek Common Vision Blox (CVB) von Stemmer Imaging in der neuesten Version dieser Bildverarbeitungssoftware seit Anfang 2016 zur Verfügung.

**Autor**  
Klaus Mählert, Leiter Produktmanagement

**Kontakt**  
Stemmer Imaging GmbH, Puchheim b. München  
Tel.: +49 89 809 02 0  
info@stemmer-imaging.de  
www.stemmer-imaging.de