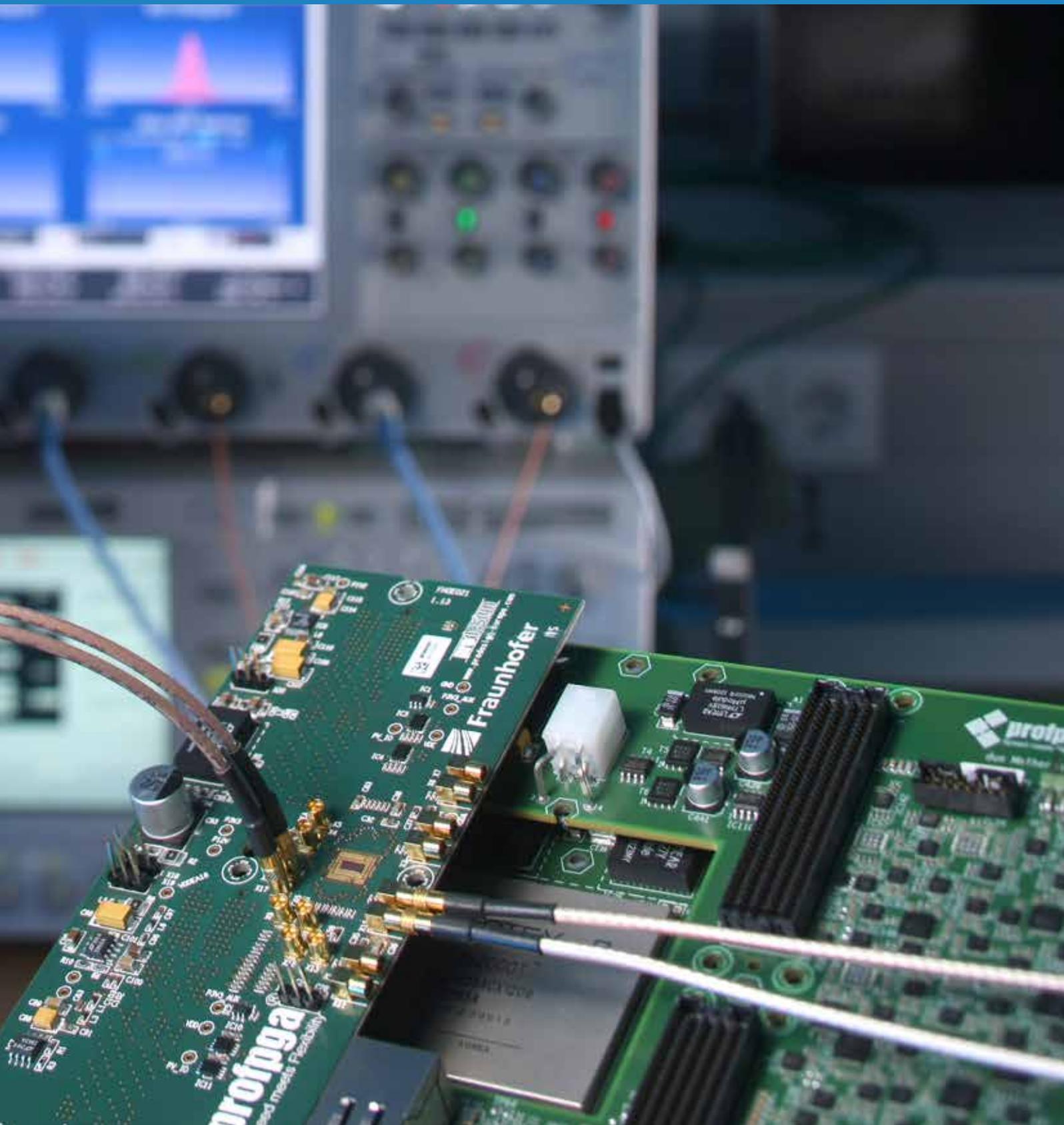




DATEN FAHREN AUF KUPFER AB

Datenraten von 10 Gbit/s können mit einem neuen High-Speed-Link über ein Kupferkabel von 10 Meter Länge in Echtzeit übertragen werden. Der Elektronikbaustein eignet sich besonders für hochbitratige Datenströme in Fahrerassistenzsystemen, für die Anbindung mobiler Endgeräte sowie für Multimediaanwendungen im Fahrzeug.



Autofahren ist einfacher und sicherer geworden: Navigationsgeräte helfen uns, den Weg zu finden. Head-up-Displays projizieren die Motordrehzahl oder die Geschwindigkeit direkt auf die Windschutzscheibe. Fahrerassistenzsysteme mit mehreren Kameras sorgen für sichere und zuverlässige Mobilität. Die Bildübertragung in Echtzeit ermöglicht es, Gefahrensituationen rechtzeitig zu erkennen und sofort zu reagieren.

In Zukunft kann Autofahren noch einfacher werden: Der Fahrer entspannt, während das Fahrzeug mit seinem kamerabasierten Assistenzsystem durch den Berufsverkehr navigiert und die Mitfahrer im Car-Entertainment-System ein aktuelles Sportereignis live per Internet-TV verfolgen. Das mobile Sport-Studio von morgen überträgt Bilder in 4K-Qualität aus jeder erdenklichen Perspektive. Und sollte man seine Lieblingssendung einmal verpasst haben, wird die Aufzeichnung aus dem kompakten und energieeffizienten Data Center ins Fahrzeug geladen. Das klingt einfach, stellt die Entwickler aber vor eine große Herausforderung, denn diese Anwendungen erfordern eine zuverlässige und leistungsfähige Datenübertragung.

10+ Gbit/s-Datenlink beschleunigt die leitungsgebundene Datenübertragung

Infotainment- und sicherheitsrelevante Kontrolldaten laufen gleichzeitig und unabhängig voneinander über ein- und dieselbe Leitung. Diese parallelen Anwendungen benötigen einen hohen Datendurchsatz mit einem einfachen und günstigen Kupferkabel bei geringem Gewicht, niedrigem Stromverbrauch und geringer Zeitverzögerung der Daten.

»HOHER DATENDURCHSATZ MIT EINEM EINFACHEN UND GÜNSTIGEN KUPFERKABEL«

Das Team um Dr. Norbert Weber hat diese Herausforderung frühzeitig angenommen und ein neues breitbandiges Übertragungssystem für hochbitratige Datenströme entwickelt. Mit einem neuen High-Speed-Link können Datenraten von

10 Gbit/s über verdrehte Kupferadern übertragen werden. Das System verwendet dazu ein gegeneinander verwundenes Adernpaar (Twisted-Pair-Kabel) von 10 bis 15 Meter Länge und verbraucht weniger als 1 Watt pro Sender- und Empfängerpaar. Die minimale Verarbeitungszeit der Signale ermöglicht es, dass Videodaten für die Mensch-Maschine-Interaktion in Echtzeit zur Verfügung stehen. Das universelle Design dieser Entwicklung erlaubt die gleichzeitige Übertragung unterschiedlichster Inhalte mit verschiedenen Anforderungen und gewährleistet so die Übertragung bisher paralleler Verbindungen über ein Kabel.

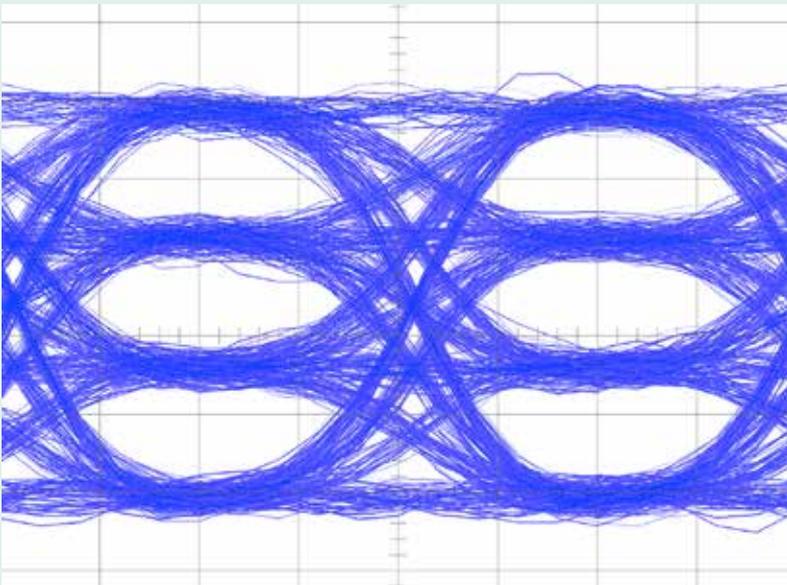
Im Bereich der breitbandigen Datenübertragung können die Wissenschaftler auf jahrelange Erfahrung zurückblicken. Bereits 2004 wurden in Zusammenarbeit mit dem deutschen Halbleiterhersteller Inova Semiconductors Systeme entwickelt, die eine Punkt-zu-Punkt-Datenübertragung mit einer Datenrate bis zu 1 Gbit/s über ein Kupferkabel ermöglichen. Dieses Verfahren ist unter der Bezeichnung APIX (Automotive Pixel Link) auf dem Markt bekannt und wird bereits seit einigen Jahren von verschiedenen Fahrzeugherstellern erfolgreich in Serie eingesetzt. 2009 folgte APIX2 mit einer Datenübertragungsrate von 3 Gbit/s, diese Technologie ist inzwischen in allen aktuellen Modellen von BMW verbaut. Immer höhere Datenraten erforderten jedoch die Entwicklung eines 10+ Gbit/s-Datenlinks, die 2011 im Rahmen eines Förderprojekts unter der Leitung von Norbert Weber gestartet wurde. »Am fernen Horizont tauchen bereits die magischen 10 Gbit/s auf«, konstatierte damals Roland Neumann, Entwicklungsleiter bei Inova Semiconductors, mit Blick auf den Bedarf in der Autoindustrie. Doch wie ist die Übertragung so großer Datenmengen mit einem Kupferkabel eigentlich möglich?

Entzerrer kompensieren die Unzulänglichkeiten des Kabels

Will man hochbitratige Signale über ein einfaches Twisted-Pair-Kabel übertragen, stößt man zunächst auf die Schwierigkeit, dass solche Signale ein sehr breites Frequenzspektrum belegen. Twisted-Pair-Kabel sind jedoch nur begrenzt für hohe Frequenzen nutzbar, weil die Dämpfung der Kabel mit zunehmender Frequenz stark ansteigt. Die hochfrequenten Signalanteile werden also unterdrückt, und ein Datenbit, das auf das Kabel geschickt wird, wird stark verschliffen und zeitlich verschmiert. So kommt am Kabelende nur ein müde ansteigendes Signal an.

Außerdem ist es zeitlich stark verbreitert; dies führt letztlich zu Übertragungsfehlern (Bitfehlern).

Um die schlechten Kabeleigenschaften zu kompensieren, sorgen analoge Entzerrer- und spezielle Filterschaltungen in Sender und Empfänger dafür, letztlich eine inverse Kabelcharakteristik zu erzeugen, sodass sich am Ende ein sehr flacher Frequenzverlauf ergibt. Die Entscheiderlogik im Empfänger kann dann das gesendete Signal wieder eindeutig rekonstruieren. In der Praxis heißt das, dass ein 3 Gbit/s-Signal wie im »APIX2«-Standard über ein 10 Meter langes Kabel noch gut übertragen werden kann.



Augendiagramm des verwendeten Datenübertragungsformats PAM4

So funktioniert die breitbandige Datenübertragung

Der Kern der Technologie basiert auf einer PAM4-Modulation: In einem Zeitschlitz werden 2 Bits übertragen statt nur einem. Dadurch wird nur die halbe Bandbreite benötigt, und die Verwendung der bisher gebräuchlichen Kabel ist auch weiterhin möglich. Um die Entzerrung leistungsfähiger gestalten zu können, wurden jetzt außerdem Digital-Analog-Wandler im Sender und Analog-Digital-Wandler im Empfänger eingesetzt. Die Entzerrung findet nun in der digitalen Domäne statt und kann in der FPGA-Testplattform auch noch modifiziert werden.

10 Gbit/s erfordert Paradigmenwechsel in der Technologie

Viele gebräuchliche Twisted-Pair-Kabel zeigen noch zusätzliche ungünstige Eigenschaften: Bedingt durch die Kabelbauart ergibt sich im Bereich von ca. 3 Gigahertz ein Einbruch im Frequenzgang, d. h. eine punktuell sehr hohe Dämpfung. Ein Signal mit hoher Bandbreite kann über ein solches Kabel nicht mehr übertragen werden. Für die Übertragung mit 10 Gbit/s mussten die Wissenschaftler daher eine andere Art der Signalübertragung wählen (siehe Seite 39). Die Abteilung Nachrichtenübertragung des Fraunhofer IIS entwickelte in Zusammenarbeit mit den IC-Designern eine Wellenform, die eine geringere Bandbreite belegt als die vorher verwendete Signalform. Gleichzeitig stellt das Signal gerade noch machbare Anforderungen an die CMOS-Technologie – schließlich soll ja die gesamte Schaltung für ein Serienprodukt auf einem möglichst kleinen Chip Platz finden und möglichst wenig Strom verbrauchen.

Vielfältige Anwendungsgebiete für die 10 Gbit/s-Technologie

Die Übertragung von Videosignalen ist zwar der hauptsächliche Treiber für hohe Datenraten, doch auch in anderen Bereichen müssen immer höhere Datenmengen bewältigt werden. Irgendwann könnte jeder Rechner eine 10 Gbit/s-Datenschnittstelle haben, so wie Apple das mit seiner Thunderbolt-Schnittstelle schon begonnen hat. Um vom Rechner zum Hausnetz zu kommen, müssen jedoch vielfach mehr als die 3 Meter überbrückt werden, die Thunderbolt derzeit bietet. Dies gilt auch für die Vernetzung von Serverschränken, wo heute optische Verbindungen verwendet werden. Eine elektrische Verbindung über ein Kupferkabel wäre eine deutlich flexiblere und preiswertere Variante.

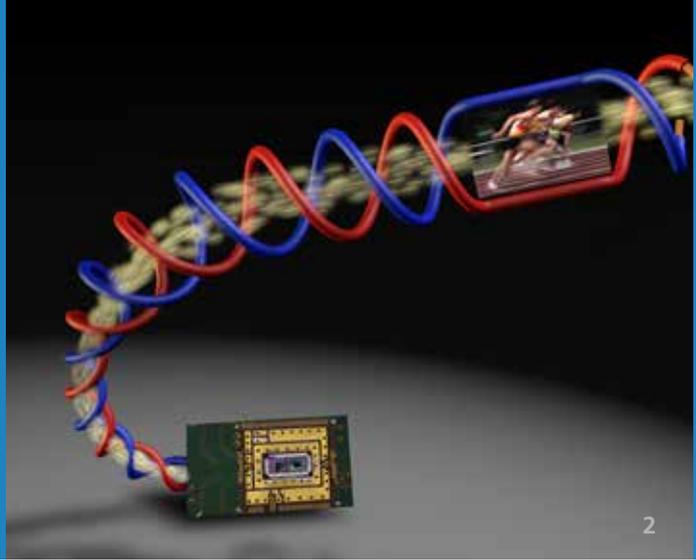
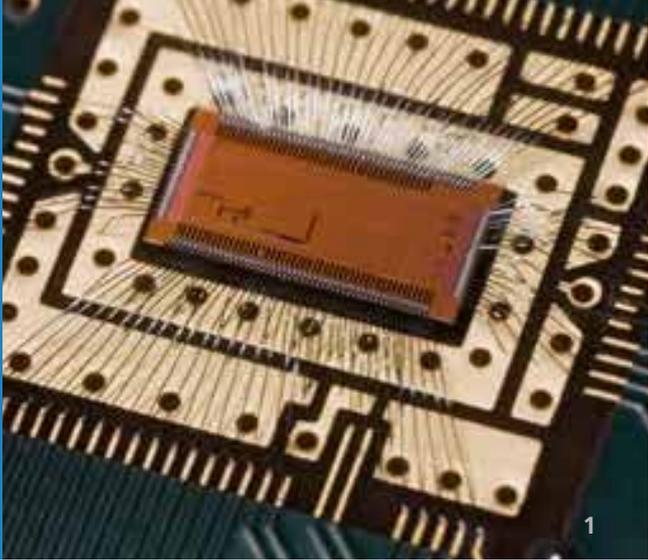
Eine weitere Anwendung ist die Übertragung von breitbandigen Antennensignalen von sogenannten smart antennas im Automotivebereich: Die Daten müssen dann nicht mehr

fehleranfällig analog übertragen werden, sondern es findet direkt an der Antenne eine Umwandlung in ein digitales Signal statt.

Ähnliche Anforderungen finden sich auch in der Medizintechnik, wie z. B. in einem Röntgen-Computertomographen. Die hochaufgelösten Röntgenbilder müssen von der Röntgenkamera, die sich um den Patienten dreht, an eine Speichereinheit im Gerät übertragen werden. Dabei fallen Datenraten von 10 Gbit/s und mehr an. Auch professionelle Kamerasysteme liefern sehr hochbitratige Signale, da sie entweder mit HD-Auflösung oder hoher Geschwindigkeit betrieben werden – im Extremfall sogar beides. Kameraschnittstellen erfordern daher ebenfalls Datenraten jenseits der 10 Gbit/s.

Datenraten von 12 Gbit/s und mehr sind möglich

Hochauflösende Kameras und Displays werden die Datenraten nicht nur im Fahrzeug weiter nach oben treiben. Für künftige Anwendungen sind daher Datenraten bis 12 Gbit/s geplant, wie sie von der Automobilindustrie jetzt schon gefordert werden. Daran wird am Fraunhofer IIS bereits gearbeitet. ■



DER 10+ GBIT/S PHYSICAL LAYER

Merkmale

- Übertragung über Twisted-Pair-Kupferkabel
- Bandbreitenbelegung kleiner als 3 Gigahertz durch PAM4-Modulation
- Verlustleistung unter 1 Watt für Sender-Empfänger-Paar
- Reichweite 10–15 Meter

Anwendungsfelder

- Videosignalübertragung für 4K-Displays
- Vernetzung von Serverschränken
- Signalübertragung von »smart antennas«
- Röntgen-CT-Anlagen

Weitere Informationen zum Forschungsfeld IC Design und Entwurfsautomatisierung finden Sie hier:
www.iis.fraunhofer.de/icdea

1 IC mit integrierter Sensor- und Empfängerelektronik.

2 Effizienter High-Speed Physical Layer 10+ Gbit/s für die nächste Generation der Videoübertragung.

KONTAKT

Dr. Norbert Weber, Leiter der Gruppe Optische Sensorik und Kommunikationstechnik
Telefon +49 9131 776-9210
norbert.weber@iis.fraunhofer.de