

Referat

SDI - Serial Digital Interface

Referat im Rahmen der Vorlesung „Ton und Video“
an der Fachhochschule Hamburg.
Referent: Sven Rautenberg

Inhaltsverzeichnis

1	SDI	1
1.1	Überblick	1
1.2	Hardware	1
1.3	Praktische Anwendung	2
1.4	Datenraten	3
1.5	Datenübertragung	4
1.5.1	SAV und EAV	4
1.5.2	Videodaten	5
1.5.3	Non-Video- und Userdaten	6
1.5.4	Auf das Kabel	7
2	Varianten von SDI	8
2.1	Inoffizielle Weiterentwicklungen des Standards	8
2.2	SDTI	9
2.3	Schlußbetrachtung	10
3	Anhang	11
3.1	Quellen	11

1 SDI

1.1 Überblick

Die Abkürzung „SDI“ steht für „Serial Digital Interface“ und bezeichnet eine Schnittstelle für unidirektionale, digitale Datenübertragung von Videodaten nach der Norm ITU-R BT 656.4 bzw. SMPTE 259M. Die Videodaten selbst sind gemäß ITU-R BT 601.5 digitalisiert und liegen als 10-Bit-Samples im Format 4:2:2 vor. Die Datenrate beträgt 270 MBit/s für normale Videodaten und 360 MBit/s für HDTV.

1.2 Hardware

Die SDI-Schnittstelle gibt es grundsätzlich in zwei Ausführungen. Zum einen ist die parallele Datenübertragung möglich, diese wird allerdings kaum genutzt, da sie eine geringere Reichweite hat (nur bis zu 50 Meter) und darüber hinaus natürlich 10 separate Leitungen benötigt, was die Kabel entsprechend teuer macht. Die parallele Datenübertragung wird, sofern sich überhaupt Schnittstellen an den Geräten befinden, nur für kurze Übertragungswege genutzt.

Der heute überwiegend genutzte Weg ist die serielle Datenübertragung über Koaxialkabel mit 75 Ohm Wellenwiderstand, also den altbekannten Kabeln für analoge Videotechnik. Die Reichweite des Signals beträgt bis zu 300 Meter (abhängig von der Kabelqualität), kann aber durch Verstärkung und Signalaufbereitung auch darüber hinaus verlängert werden. Der Vorteil dieses Weges ist, daß die vorhandene Kabel-Infrastruktur weiterbenutzt werden kann – ein nicht unerheblicher Kostenfaktor. Diese Überlegung war maßgeblich bei der Entwicklung des Standards.

Entsprechend sind natürlich auch alle bisher benutzten Steckverbinder weiterhin verwendbar. Üblich sind BNC-Steckverbinder an den Geräten, aber auch die alten Siemens-Stecker (bekannt von älteren Video-Patchfeldern) sind grundsätzlich in der Lage, SDI-Signale zu übertragen, da es sich ja lediglich um ein hochfrequentes Signal handelt.

1.3 Praktische Anwendung

Die SDI-Schnittstelle ist unidirektional. Das bedeutet, daß die Daten immer nur in eine Richtung übertragen werden, und daß der Empfänger keine Möglichkeit hat, irgendwelche Daten noch einmal anzufordern. SDI ist also eine Schnittstelle zur Übertragung von Datenströmen (Streaming), nicht von Dateien. Eine Prüfung auf korrekte Übertragung findet nicht statt. Dieses ist ein kleiner Nachteil im Vergleich zum analogen Videosignal, denn digitale Daten sind zwar keinen qualitativen Verlusten durch die Leitung unterworfen, aber ist eine bestimmte Leitungsqualität oder -länge erst einmal unter- bzw. überschritten, werden fast ausschließlich falsche Daten empfangen und das Bildsignal bricht komplett zusammen, während Analogvideo zumindest mit reduzierter Qualität noch sichtbar wäre (das Alles-oder-Nichts-Problem digitaler Signalübertragung).

Um die Verwendung von SDI zu erleichtern, hat die Industrie eine Reihe von nützlichen Geräten entworfen, die die Anwendung erleichtern sollen. Es gibt Repeater zur Erhöhung der Reichweite des Signals, und Router, um die Datenströme zwischen allen möglichen Quellen und Senken einer Installation hin- und herzubewegen, vergleichbar mit einer zentralen Kreuzschiene. Der Vorteil des digitalen Signals besteht darin, daß es dem Router selbst mitteilen kann, wohin es geleitet werden soll, während ein analoges Signal ausschließlich die Bildinformation repräsentiert, aber keine Schaltfunktion beinhaltet¹.

Die Vorteile der digitalen Signalübertragung liegen auf der Hand:

- keinerlei Verluste durch mehrfaches Digitalisieren und Analogisieren von Signalen
- günstigere digitale Effektgeräte, wenn man den Analogeingang und A/D-Wandler einsparen kann
- Weiterverwendung installierter Kabel
- vielfältige Möglichkeiten zur Speicherung und Bearbeitung der Videodaten
- einfachere Normwandlung

Demgegenüber stehen die Nachteile der Digitalisierung:

- riesige Datenmengen (sofern nicht komprimiert wird)
- eine höhere benötigte Bandbreite gegenüber Analogsignalen

¹Denkbar wäre es aber schon, in den ungenutzten Videozeilen eine derartige Information zu plazieren. Die Auswertung wäre aber sehr aufwendig.

- Anschaffung neuer Geräte mit der Hoffnung, genau den Standard zu kaufen, der sich durchsetzt

Vor allem dieser letzte Punkt hat in der Anfangsphase der digitalen Bandformate trotz Definition der Standardschnittstelle SDI zu einer Reihe von Weiterentwicklungen dieser Schnittstelle geführt, auf die in Abschnitt 2.1 auf Seite 8 genauer eingegangen wird.

1.4 Datenraten

SDI überträgt unkomprimierte 10-Bit-Videodaten im Format 4:2:2 (gemäß ITU-R BT 601.5). Damit sind die wesentlichen Parameter der Übertragung bereits festgelegt.

Grundsätzlich wird ein Komponentensignal digitalisiert. Das Helligkeitssignal Y wird dabei doppelt so oft gesamplet wie die Farbdifferenzsignale (4:2:2²). Der Standard definiert als Samplingfrequenz 13,5 MHz. Daraus folgt:

- Jede Videozeile wird in $64 \mu s \cdot 13,5 \text{ MHz} = 864 \text{ Pixel}$ zerlegt (bei PAL)
- Dazu kommen noch einmal genausoviele Farbpixel, je zur Hälfte für ein Farbdifferenzsignal zuständig ($2 \cdot 432 \text{ Pixel}$)
- Es entsteht eine Datenrate von $15625 \text{ Zeilen/s} \cdot 8640 \text{ Bit/Zeile} \cdot 2 = 270 \text{ MBit/s}$

Da die aktive Videozeile nur 720 Pixel enthält, sind pro Videozeile 144 Pixel für anderweitige Datenübertragungen übrig. Weiterhin werden nicht alle 625 PAL-Zeilen für das aktive Bild benötigt, sondern nur 575 Zeilen, so daß pro Bild weitere 36000 Pixel freiwerden. Insgesamt werden für ein PAL-Bild $864 \cdot 652 = 540000 \text{ Pixel}$ übertragen, von denen nur $720 \cdot 575 = 414000 \text{ Pixel}$ für das aktive Bild benötigt werden, der Rest von immerhin 126000 Pixeln steht im Prinzip frei zur Verfügung. Zu beachten ist: Mit Pixel sind immer 10-Bit-Samples gemeint.

Aus diesen Zahlen ergibt sich die gesamte Datenrate:

$$540000 \text{ Pixel/Bild} \cdot 25 \text{ Bilder/s} \cdot 10 \text{ Bit/Pixel} \cdot 2 = 270 \text{ MBit/s}$$

und die Datenrate für das Videobild:

$$414000 \text{ Pixel/Bild} \cdot 25 \text{ Bilder/s} \cdot 10 \text{ Bit/Pixel} \cdot 2 = 207 \text{ MBit/s}$$

²Das Verhältnis von Helligkeits-Samples zu Farbdifferenzsamples. Für vier Helligkeitssamples (= Bildpixel) werden nur je zwei Farbdifferenzsamples digitalisiert, die horizontale Farbauflösung ist also größer als die Helligkeitsauflösung.

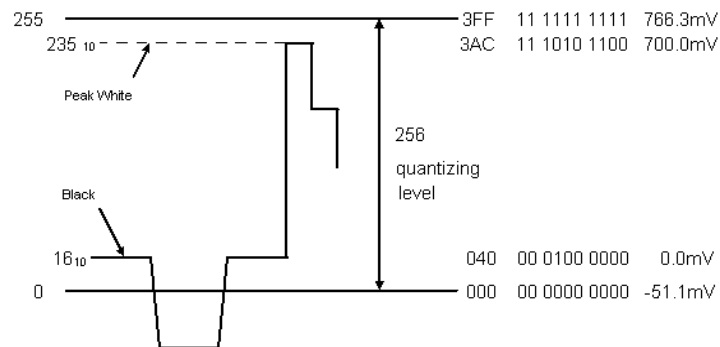


Abbildung 1.1: Quantisierung des Helligkeitssignals

In den verbleibenden 63 MBit/s lassen sich bequem vier Tonkanäle³ á 768 kBit/s (gesamt 3,1 MBit/s) unterbringen.

Die Quantisierung des Videosignals ist ebenfalls definiert. Ein standardgemäßes Komponenten-Videosignal besteht aus einem Helligkeitssignal im Bereich von 0,0 mV bis 700,0 mV sowie zwei Farbdifferenzsignalen im Bereich von -350,0 mV bis +350,0 mV. Diese nutzen, wie auf den Bildern 1.1 und 1.2 zu sehen, nicht den gesamten verfügbaren Wertebereich aus, sondern lassen etwas Raum oberhalb und unterhalb. Dies hat zum einen den Grund, auch leicht zu große Pegel noch ohne Übersteuerung quantisieren zu können, zum anderen sorgt es dafür, daß die Extremwerte 00 0000 0000 und 11 1111 1111 schon auf natürliche Weise sehr sicher nicht vorkommen, was für die Datenübertragung von elementarer Bedeutung ist. Die dezimalen Zahlen in den Bildern beziehen sich auf 8-Bit-Quantisierung.

1.5 Datenübertragung

1.5.1 SAV und EAV

Die Datenübertragung selbst ist ein Datenstrom von 10-Bit-Samples, angereichert durch ein paar Kontrollinformationen und nutzerdefinierter Daten in den Austastlücken.

Die wichtigsten Bestandteile im Signal sind die beiden Kontrollinformationen „End of Active Video (EAV)“ und „Start of Active Video (SAV)“. EAV bedeutet das Ende der aktiven Videozeile und steht zu Beginn der Austastlücke. Ihm folgen Informationen

³je Kanal 48 kHz Samplingrate mit 16 Bit Auflösung, unkomprimiert

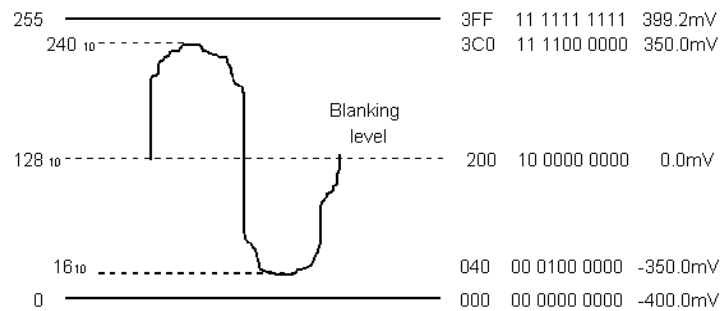


Abbildung 1.2: Quantisierung des Farbdifferenzsignals

Byte	Flag	Erklärung
7 (MSB)	1	immer 1
6	F	0 = Zeile gehört zum Field 1 1 = Zeile gehört zum Field 2
5	V	1 = Zeile enthält keine Videodaten (vertikale Austastlücke)
4	H	0 = Start of Active Video SAV 1 = End of Active Video EAV
3-0	Px	Paritäts-Nibble

Tabelle 1.1: Bedeutung der Bits bei SAV und EAV

über die als nächstes folgende Zeile sowie die nutzerdefinierten Daten. Am Ende der Austastlücke wird mit SAV der Beginn der Videodaten signalisiert.

EAV und SAV beginnen mit der im Signal einmaligen Sequenz 3FF 000 000. Diese Signalfolge kommt im Videosignal nicht vor. Das nachfolgende Byte gibt weitere Informationen über die Art der Kontrollinformation (vgl. Tabelle 1.1). Dadurch gewinnt der Datenstrom Struktur. Es folgen regelmäßig SAV- und EAV-Signale, nach dem SAV folgen Videodaten, nach dem EAV folgen andere Daten. Ein Empfänger, der sich zu einem zufälligen Zeitpunkt zuschaltet, kann sich anhand dieser Informationen synchronisieren.

1.5.2 Videodaten

Direkt nach dem Signal SAV werden abwechselnd Y- und C-Samples übertragen, wobei sich Cr- und Cb-Samples abwechseln. Die Abbildung 1.3 verdeutlicht die Abfolge.

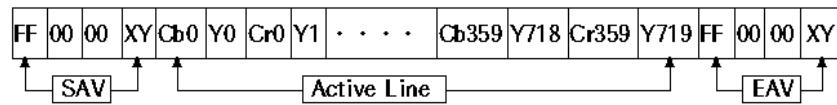


Abbildung 1.3: Abfolge der Videodaten

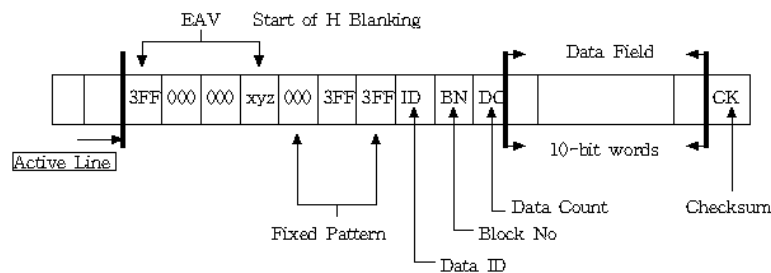


Abbildung 1.4: Userdaten in der Austastlücke

Nicht alle digitalen Signalquellen arbeiten mit 10 Bit Auflösung. Sollte ein Gerät nur 8 Bit verarbeiten, so sind die Samples trotzdem mit 10 Bit zu senden. In diesem Falle werden die untersten zwei Bit mit Nullen aufgefüllt. Empfängt das Gerät die Daten, kann es die untersten zwei Bit ignorieren.

1.5.3 Non-Video- und Userdaten

Der Bereich zwischen EAV und SAV sowie der Bereich der vertikalen Austastlücke wird zur Übertragung zusätzlicher Informationen genutzt, wie z.B. Gerätedaten, AES/EBU 4-Kanal-Audio, Timecode oder Programminformationen.

Diese Informationen folgen direkt auf das EAV-Signal (vgl. Bild 1.4). Als erstes wird ein festes Muster 000 3FF 3FF gesendet, dann eine Daten-ID zur Kennzeichnung unterschiedlicher Arten von Daten, eine Block-Nummer und die Anzahl der Daten. Darauf folgen die eigentlichen Daten (wie z.B. Audio), und zum Schluß eine Checksumme.

Fehlerkorrekturen sind durch die Checksumme nicht möglich, sie dient lediglich zum Erkennen falsch übertragener Daten. Welche Daten übertragen werden, bleibt im Prinzip dem Hersteller der Geräte überlassen. Die Übertragung von 4-Kanal-Audio ist definiert und üblich.

1.5.4 Auf das Kabel

Nachdem der Datenstrom mit allen Anreicherungen vollständig generiert wurde, wird er über die Kabelverbindung gesendet. Das geschieht aber nicht direkt, sondern durch Verwendung eines Scramblers/NRZI-Encoders.

Der NRZI Code⁴ wechselt seinen Level von Low nach High oder umgekehrt immer dann, wenn im Datenstrom eine 1 auftritt. Er hält den Level, wenn eine 0 auftritt. Der Vorteil ist: Solange häufig genug der Level wechselt, kann der Empfänger aus dem Signal auch den Takt gewinnen. Aus diesem Grunde werden die Bits vorher im Scrambler etwas umgeordnet und verwürfelt. Dadurch treten gut verteilt 1-Bits auf, und der Empfänger hat seinen Takt. Es ist aber auch nicht unüblich, daß der Takt zentral erzeugt und an alle Geräte geleitet wird, um den korrekten Empfang absolut sicherzustellen.

Der Empfänger leitet das Signal zuerst durch einen NRZI-Decoder/Descrambler, der die Kodierung rückgängig macht, und erhält dadurch den ursprünglichen Datenstrom.

⁴NRZI = Non Return to Zero Inverted

2 Varianten von SDI

2.1 Inoffizielle Weiterentwicklungen des Standards

Nach Einführung des SDI-Standards haben sich einige Hersteller schnell Gedanken gemacht, die Schnittstelle für die eigenen Geräte weiterzuentwickeln. Das Ziel war, für die eigenen komprimierenden Digitalformate die Datenrate der Schnittstelle effektiver auszunutzen und die notwendigen Dekomprimierungen und Komprimierungen der Videodaten zu vermeiden. Solche zusätzlichen Schritte sind für die Qualität des Videosignals nicht unbedingt gut, da sie niemals spurlos bleiben. Die direkte, unveränderte Übertragung des Signals ist immer vorzuziehen.

Im Rahmen dieser Erweiterungen sind die Schnittstellen SDDI, QSDI und CSDI entstanden. Alle sind mit dem ursprünglichen Standard kompatibel, können also die gleiche Infrastruktur nutzen. Lediglich das Empfangsgerät muß die veränderten Daten auch sinnvoll interpretieren und verarbeiten können.

SDDI (Serial Digital Data Interface) wurde von Sony für das Bandformat Betacam SX entwickelt, um komprimierte Daten in vierfacher Geschwindigkeit zu übertragen. Betacam SX quantisiert mit 8 Bit 4:2:2 und komprimiert variabel 10:1.

QSDI ist ein ebenfalls von Sony entwickelter Standard für die Übertragung von DVCAM-Daten, ebenfalls mit vierfacher Geschwindigkeit. DVCAM quantisiert mit 8 Bit 4:2:0 und komprimiert 5:1.

CSDI wurde von Panasonic entwickelt und überträgt DVCPRO-Daten ebenfalls mit vierfacher Geschwindigkeit. DVCPRO quantisiert mit 8 Bit 4:1:1 und komprimiert ebenfalls 5:1 bzw. 3,3:1 bei DVCPRO50.

Alle Verfahren nutzen aus, daß die Videodaten einer Zeile nicht näher spezifiziert sind und im Prinzip beliebige Daten sein können. Die Beschleunigung der Übertragung liegt in der Kompression der Geräte begründet, so daß die Datenmenge einer unkomprimierten Videozeile für mehr als vier komprimierte Zeilen ausreichen.

2.2 SDTI

Die unterschiedlichen Eigengewächse der Hersteller wurden zu einer neuen Schnittstellendefinition zusammengefaßt: SDTI, Serial Digital Transport Interface. Genau wie die Vorgänger nutzt SDTI die vorhandene SDI-Hardware und ist kompatibel.

Es bietet aber die Möglichkeit, beliebige komprimierte Videodaten wie DV oder MPEG2 zu senden, und es definiert außerdem einen Datenbereich für das Routen von Videodaten ähnlich wie bei einem Computernetzwerk. Zu diesem Zweck folgt dem EAV-Signal ein 53 Worte¹ langer Block, in dem für die nachfolgende Videozeile angegeben ist:

- ihre Zeilennummer (stellt die Datenkontinuität sicher)
- wieviele Videodaten folgen (bei 270 MBit/s enthält eine Zeile 1440 Datenworte, bei 360 MBit/s 1920 Datenworte)
- welcher Adressierungstyp benutzt wird (bislang ist nur die Adressierung über IPv6 definiert)
- die Quell- und Zieladresse (je 128 Bit, basierend auf IPv6),
- und die Art der Datenblöcke (variable oder feste Länge, mit oder ohne Fehlerkorrektur ECC).

Zwischen SAV und EAV werden dann die Videodaten eingefügt. Bislang sind DVC-PRO, DVCPRO50, Digital-S, Betacam-SX, DVCAM und MPEG-2 als Datentypen bei der SMPTE registriert, was eigentlich alle heute benutzten Digitalformate abdecken dürfte.

Ein großer Vorteil ist, daß die Datenübertragung durch Fehlerkorrektur (ECC, Error Correction Code) abgesichert werden kann, was bei komprimierten Daten erheblich wichtiger ist als bei unkomprimierten Daten, da ein falsches Bit unter Umständen gleich mehrere Pixel beeinflußt.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist der enorme Geschwindigkeitsgewinn. Die meisten Datenformate lassen sich mit SDTI in der vierfachen Geschwindigkeit² übertragen, verglichen mit der Laufzeit des Videomaterials. Dadurch läßt sich ein großer Zeitfaktor beim Überspielen von Videodaten stark verkürzen.

¹ein Wort ist 10 Bit lang

²bzw. der sechsfachen Geschwindigkeit bei 360 MBit/s

Mit der Adressierung über IPv6 wurde zudem ein Schema gewählt, welches auch im Internet die Zukunft darstellt. Da man nie weiß, ob nicht auch SDTI-Daten über leistungsstarke Computernetzwerke übertragen werden sollen (mit ATM ist das bereits möglich), ist diese Entscheidung auf jeden Fall zukunftsweisend. Die Vernetzung aller Quellen und Senken und das automatische Routen von Signalen zwischen ihnen, zusammen mit einer hohen Übertragungsgeschwindigkeit, eröffnet ein großes Potential an Produktivitätssteigerung für die digitale Videoproduktion.

2.3 Schlußbetrachtung

SDI ist sozusagen das „größte gemeinsame Vielfache“ aller Digitalsignale, mit Ausnahme von 4:4:4-gesampelten Daten. Es ist als digitales Standardsignal weit verbreitet. SDTI eröffnet als wesentlich variables, aber dennoch kompatibles Signal eine wesentlich breitere Anwendungspalette, da qualitätsmindernde Umkodierung vermieden werden kann, wenn die zugrundeliegenden Formate zumindest kompatibel sind. Die Einführung eines noch schnelleren Standards für HDTV-Anwendungen machen es nahezu universell verwendbar. Außerdem sind digitalisierte Videosignale mit relativ geringem Aufwand normwandelbar.

Zusammen mit universellen Videobild-Formaten wie 1080p steht dem Zusammenwachsen der bislang in NTSC, SECAM und PAL bzw. 25 fps und 30 fps zersplitterten TV-Welt nichts mehr im Wege. Dies wird vor allem für die Medienmogule interessant, die ihre Produkte dadurch noch besser weltweit verwerten können.

Die Möglichkeit, SDTI über ein Gateway in TCP/IP-Netzen zu übertragen, eröffnet ebenfalls Möglichkeiten, die heute noch nicht abschätzbar sind. Durch die Nutzung von Standard-Netzwerkkomponenten wird die digitale Videodatenübertragung mit Sicherheit nochmal um ein Vielfaches flexibler und auch kostengünstiger werden.

3 Anhang

3.1 Quellen

Die verwendeten Diagramme stammen aus dem koreanischen Dokument „Serial Digital Interface “ unter

<http://myhome.netsgo.com/n111/Etc/etc20.html>.

Informationen über SDI in deutscher Sprache liefert u.a. die „Ausarbeitung zum Thema ‚Digitales Video in High End‘ von Dirk Wolfanger“ unter <http://graphics.cs.uni-sb.de/Courses/ws9900/cg-seminar/Ausarbeitung/Dirk.Wolfanger/>.

Ein umfassendes englisches Dokument über „Interconnectivity in the DTV Era – The Emergence of SDTI“ ist unter

<http://www.digitalpostproduction.com/Htm/Tutorials/WhatIsSDTI.htm> verfügbar.

Das englische „Digital Fact Book“ der Firma Quantel ist unter <http://www.quantel.com/dfb/> erreichbar. Lesenswert sind u.a. auch die Artikel und Tutorials.

Ein kleines deutsches Glossar bietet Scheer und Wabbel Anlagentechnik unter <http://www.scheer-wabbel.de/master/glossar/glossar.htm> an.

Ein Link zum Interface SDI-12, welches mit Video absolut nichts zu tun hat: <http://www.sdi-12.org/index.htm>