

Digitale Signalformen und Schnittstellen

Digitale SD-Signale

- Digitalisierung (Wdh): Abtastung mit f_T , Quantisierung, Darstellung als Binärdaten
- Das Auge kann maximal 200 Graustufen unterscheiden → wird als Richtwert für die Quantisierungsstufen genutzt → 8-10 Bit (256-1024 Stufen)

Digital Composite Signal

- Entsteht aus der Digitalisierung des analogen FBAS-Signals
- Die Abtastrate ist ein Vielfaches der Farbhilfsträgerfrequenz (4,43MHz) → Faktor 4 wurde festgelegt → Grund: Rekonstruktion ist mit diesem Faktor besonders einfach zu erreichen, weil die Werte immer an den gleichen Stellen des Hilfsträgersignals liegen
→ $f_T(PAL) = 4 \cdot 4,43MHz = 17,73MHz$ / $f_T(NTSC) = 4 \cdot 3,58MHz = 14,32MHz$
- Sync.- Impuls und Burst werden mit digitalisiert
- Zeilendauer (passiv): 64 μs → 15,625 kHz (Zeilenfrequenz)
- Abtastwerte pro Zeile:
 - o $\frac{17,73MHz}{15,625kHz} = 1135$ (passiv)
 - o 948 Abtastwerte aktiv
- Maximale Datenrate bei 10 Bit: 177 MBit/s
- Aufteilung der Quantisierungsstufen:
 - o 64 Stufen → Sync.-Signal
 - o 148 Stufen → Luminanzsignal
 - o 191 Stufen → Chrominanzsignal
 - o Stufen 0 und 255 sind reserviert für digitale Synchronsignale und können nicht genutzt werden
- Austastlücke wird mit abgetastet, weil jene Systeme, die es ermöglicht hätten, zu unterbrechen, zur Entwicklungszeit sehr aufwändig waren
- Vorteile:
 - o Mehr Kopier-Generationen möglich (bezogen auf analoges FBAS)
- Nachteile:
 - o Dynamikreduktion durch Synchronsignal
 - o PAL-Artefakte bleiben erhalten (werden mit digitalisiert)
 - o Schmal-bandige Farbsignalübertragung

Digital Component Signal:

- Entsteht aus der Digitalisierung des analogen Komponentensignals $Y C_R C_B$
- Internationaler Standard für Abtastrate: IBU-R BT.601
- Bedingung: Abtastrate soll ein Vielfaches der Zeilenfrequenz sein → Einhaltung des Abtasttheorems und Festlegung von genauen Wertepunkten
- Halbbildfrequenzen:
 - o 625 Zeilensystem → 50 Hz (Europa)
 - o 525 Zeilensystem → 59,94 Hz (USA, Japan)

- Kleinstes gemeinsames Vielfaches bei 2,25MHz
- 5MHz Bandbreite des analogen Signals → fünffacher Wert (11,25MHz) würde ausreichen
 - Für kleineren Filteraufwand und größere mögliche Bandbreite wurde 6-fach festgelegt
 - $f_T = 6 \cdot 2,25MHz = 13,5MHz$ (Luminanz)
 - $f_T = 3 \cdot 2,25MHz = 6,75MHz$ (Chrominanz)
- Abtastwerte pro Zeile (passiv):
 - o 858/429/492 (für 525/59,94 System)
 - o 864/432/432 (für 625/50 System)
- Wertezahl pro digitale Zeile (aktiv):
 - o 720/360/360 (für beide Systeme)
- Digitale Zeile besteht aus 1440 Datenworten und ist länger (53,3µs) als analoge
- Nutzbare aktive Bildpunkte des analogen Signals
 - o 718 Abtastwerte (für 525/59,94 System)
 - o 702 Abtastwerte (für 625/50 System)
 - Rest gehört zur H-Austastlücke und erscheint als schmale schwarze Ränder
 - Nicht-quadratische Pixel (Verhältnis 1:1,0667)
 - Zu beachten bei Video/Bildbearbeitung am PC (dort wird im Normalfall mit 1:1 gearbeitet)
- Serielle Übertragung wird durch Zeitmultiplexing möglich
 - o Jeweils C_B und C_R schließen den ungeraden Y -Wert ein
 - o nach C_R folgt der gerade Y -Wert und dann wieder C_B
- Headroom/Footroom:
 - o Stufe 16 = 0V (schwarz), Stufe 235 = +700mV (weiß)
 - o Stufe 1 = -48mV
 - o Stufe 254 = +761mV
 - Clipping nicht so gut sichtbar, wie es in beim Ton hörbar ist
- 10-Bit-System → 4-fache Stufenanzahl
- Vom 10-Bit-System ins 8-Bit-System → Abschneiden der 2 niederwertigsten Bits
- Problem: Contouring
- Lösung: Dynamic Rounding oder Zusatz eines statistisches Signal (Dither)

Berechnung der Digitalwerte:

$$D_{Y8} = \frac{U_Y}{0,7V} \cdot 219 + 16 \text{ (Luminanz im 8-Bit System)}$$

$$D_{Y10} = \frac{U_Y}{0,7V} \cdot 876 + 64 \text{ (Luminanz im 10-Bit System)}$$

$$D_{Y8} = \frac{U_C}{0,7V} \cdot 224 + 128 \text{ (Farbdifferenzkomponenten im 8-Bit System)}$$

$$D_{Y8} = \frac{U_C}{0,7V} \cdot 896 + 512 \text{ (Farbdifferenzkomponenten im 10-Bit System)}$$

Abtaststrukturen:

- 4:2:2 – Komponentenformat (CCIR 601)
 - 4:4:4 – RGB-Komponenten
 - 4:2:2:4 – Komponentenformat mit Alphakanal (Alpha als Stanzkanal/Durchsichtigkeit)
 - 4:1:1 – Datenreduktion
 - o Unterabtastung → halbe Horizontalauflösung in den Farbdifferenzkomponenten
 - 4:2:0 – Datenreduktion
 - o Vertikale Farbauflösung halbiert (Farbdifferenzsignale nur in jeder 2. Zeile)
- ➔ Unterabtastung nur im Produktionsbereich problematisch

Synchronsignale:

- Sync.-Signal wird nicht digitalisiert → durch 2 Bits (Info Start/Ende der Zeile und H/V Sync.)
 - ➔ Timing Reference Signal (TRS) am Anfang und Ende der Zeile
 - SAV / EAV (Start/End of active Video) im TRS enthalten
 - Aufbau in 4 Bytes:
 - o 1. Byte → komplett auf 1 (Stufe 255 daher sonst nicht nutzbar)
 - o 2./3. Byte → komplett auf 0 (Stufe 0 daher sonst nicht nutzbar)
 - o 4. Byte:
 - Bit 0: immer auf 1
 - Bit 1: 0/1 → 1. oder 2. Halbbild (Fields)
 - Bit 2: 0/1 → aktive Zeile
 - Bit 3: 0/1 → SAV
 - Bit 4-6: Fehlerschutz
 - Bit 7: Paritätsbit
 - Zählung der Datenworte:
 - o Bildpunktweise
 - o Wortweise
- ➔ Zählstart nach SAV-Information

SD-Schnittstellen

Parallelschnittstelle:

- Parallele Übertragung der einzelnen Bits, NRZ codiert, nicht selbst-taktend
- Pro Bit ein Leitungspaar + Taktleitung
- Taktrate = Datenwortrate (17,7MHz vs. 27MHz)
- 10 Bit auf 8-Bit-Leitung → 8 Most Significant Bits
- Symmetrische Leitung: Twisted Pairs (verdrillt)
- Beispiel:
 - o 10 Bit + 1 Takt = 11 Leitungspaare
 - o 22 Leitungen + 1 Masse = 23 Leitungen
- D-Sub 25 Stecker (bekannt aus der Computerwelt, z.B. zum Anschluss von Druckern)

Serielle Schnittstelle:

- Standardisiert: SDI (Serial Digital Interface)
- Benötigt Multiplexer → Übertragung mit 10-facher Taktrate

- Datenrate stets 270 Mbit/s (10 x 27MHz)
 - Auslegung für 10 Bit → bei 8 Bit werden zwei Nullen als LSB's hinzugefügt
 - Codierung per (S)NRZI → 135MHz Bandbreite
 - Digitale Übertragung per Koaxialkabel:
 - o Im Studio schon verlegt, weil auch für analog genutzt
 - o Bei 135MHz → Dämpfung → maximale Kabellänge ca. 250m
 - o Digitales Grenzverhalten bei Kabellängen beachten
 - SNRZI (Scrambled-Non-Return-to-Zero-Invert):
 - o „Scrambled“ = „verworfelter“ (NRZI) → durch Schieberegister erzeugte Zufallsfolge
 - o Lange Null-Folgen werden verhindert
 - o Takt ist im Empfänger bekannt (Daten/Taktrate)
- (quasi) selbst-taktend!

Auxillary Data:

- Horizontalaustastlücke besteht aus 288 Datenworten
 - o Y-Signal: 864 (passiv) – 720 (aktiv) = 144
 - o je 72 für C_R und C_B , zusammen 144
- 288 ANC (Ancillary Data)
- Davon max. 255 Aux-Daten (Auxiliary Data)
- Kennzeichnung:
 - o 3 x Präambel (000, 3FF, 3FF)
 - o Data ID = Datenart (z.B. Audio = „FF“)
 - o Data Block-Nr. = einfache Block-Nummerierung
 - o Data Count Word = Anzahl der Datenworte im Block
 - o Check Sum = Summer aller Worte ab „Data ID“
- Digitale Audiodaten im ANC
 - o Maximal 4 Kanäle möglich (AES/EBU codiert)
- Messung und Signalkontrolle:
 - o In den meisten Fällen D/A Wandlung und Betrachtung auf „analogen“ Messskalen
 - o Analyse der Fehler per Bitmuster im ANC

Digitale HD Signale

Geschichte:

- 2004 erster HDTV Sender → EURO1080
- In USA wurde die Digitalisierung verknüpft mit HDTV → International verwertbar und unabhängige Nutzung vom Fernsehen
- Entwicklung von Multifunktionsgeräten
 - o Formatunabhängig (50 Hz / 60 Hz)
 - o + 24 Hz für progressive Abtastung (Kino)

Signalform:

- Enge Anlehnung an digitale SD-Signalparameter
- Basiert auf analogem HD-Signal
 - o Verwendung von Komponenten
 - o Bildseitenverhältnis 16:9

- Grenzfrequenz ohne Kellfaktor
- ➔ ABER: Quadratische Pixel

Berechnung der HD Signale:

- Farbraum wurde aktuellen Leuchtstoffen angepasst
 - ➔ $Y = 0,213 R + 0,715 G + 0,072 B$
- Änderung der Pegelreduktion für C_R / C_B :
 - $C_R = 0,635 (R - Y)$
 - $C_B = 0,539 (B - Y)$
- ➔ Ziel: Signalspannung weiterhin ± 350 mV für C_R / C_B

Digitalisierung:

- Digitalisierung mit 8 oder 10 Bit
- Wertezuordnung entsprechend der SD Signale:
 - Abtastrate ganzzahliges Vielfaches von 2,25 MHz
 - $32 \cdot 2,25 \text{ MHz} = 72 \text{ MHz}$
 - 6-Fach aus SD Welt
 - 5,33-Fach aus Verdopplung der Auflösung und Übergang auf 16:9 ($2 \cdot 2 \cdot 1,33$)
- ➔ Internationale Angleichung auf 74,25 MHz
- Feste Abtastrate & aktive Pixel
- Verschiedene Bildfrequenzen für Systeme:
 - Unterschiedliche Zeilenfrequenzen
 - Verschiedene Anzahl von Abtastwerten pro Zeile
- Unterscheidung 720p/50 und 1080i/50:
 - Hohe Bewegungsauflösung vs. Hohe vertikale Auflösung
 - ➔ Wünschenswert wäre 1080p/50 (Datenrate 148,5MHz nötig)
 - ➔ Grundsätzlich die Anzahl der Vollbilder beachten, wenn von 1080p die Rede ist
- Von der EBU wird 720p/50 empfohlen, weshalb die meisten TV-Sender dieses HD-Format ausstrahlen

Synchronsignale:

- Weitgehend wie beim digitalen SD-Komponentensignal
 - SAV bleibt
 - EAV bekommt Zeilennummerierung und Fehlerschutz
- Per Definition existieren bei 1080i zwei Datenströme im Multiplex
 - Y-Datenworte im ersten Datenstrom
 - C_R / C_B - Datenworte im zweiten Datenstrom

HD Schnittstellen:

- HD-SDI fast genauso wie SDI
 - Generell nur 10 Bit Wortbreite
 - 8-Bit werden um „00“ erweitert
- Höhere Datenrate von 1,485 Gbit/s ➔ größere Kabeldämpfung ➔ max. 80m Leitungslänge
- Signalkontrolle wie bei SD ➔ D/A Wandlung

- Dual Link & 3G-SDI → Nötig bei 1080p (wieder doppelte Datenrate)
- Dual Link:
 - o Parallelübertragung mit 2 x HD-SDI
 - o Kanal 1 & Kanal 2
 - o „einfaches“ HD-Signal in Kanal 1
- 3G-SDI:
 - o Quasi wie HD-SDI mit 2,97 Gbit/s
 - o max. Leitungslänge nur ca. 40m
- Analoge PC-Schnittstelle:
 - o VGA (Videographics Adapter) → 640 x 480
 - o Entwicklung mit größeren Auflösungen (XGA, etc.)
 - o „W-...“ → 16/10 Bildseitenverhältnis statt 4/3
- DVI (Digital Visual Interface)
 - o Sowohl analoge VGA-Signale als auch digitale Signale übertragbar
 - o DVI-A = analoge Übertragung
 - o DVI-D = digitale Übertragung
 - o DVI-I = kombiniert
 - o Ab UXGA/1080p → Dual Link
- HDMI (High Definition Multimedia Interface)
 - o „DVI-Nachfolger“ / „Digitaler SCART-Stecker“
 - o Audio-, Video- & Steuerdaten
 - o Video: DVI-kompatibel
 - o Integrierter Kopierschutz: HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection)
 - o Audio bis zu 8 Kanälen à 24Bit @ 192kHz