

AD – Wandlung / Digitalisierung

Was soll digitalisiert werden? Im Videobereich z.B. RGB, Y/C, FBAS

Wie wird digitalisiert? Zeitliche Diskretisierung

Ziel: diskrete Werte → zeitliche Abfolge von Zahlen

Vorteile:

- Digitale Signale sind nicht so anfällig für Störungen wie analoge Signale
- Überspielung „ohne“ Verluste möglich
- Zustände sind definiert → flexibleres Signal
- Daten können einfacher verarbeitet werden

Wie oft muss abgetastet werden (→ feine Strukturen)?

→ Pro Halbwelle der höchsten (Teil-)Frequenz (→ Fourier Zerlegung) ein Abtastwert

Abtasttheorem:

$$f_T \geq 2 \cdot f_{go} \quad f_{go} \rightarrow \text{obere Grenzfrequenz}$$

Abtastfrequenzen:

Audio: $f_T \geq 40\text{kHz}$ (z.T. 30kHz)

Video_{SD}: $f_T \geq 10\text{MHz}$ (pro Leitung, z.B. RGB → 3·10MHz)

Video_{HD}: $f_T \geq 60\text{MHz}$

AD-Wandler:

1. Filterung mit analogem Anti-Aliasing TP (max. Sperrdämpfung bei f_{NY})
2. Abtastung mit Sample and Hold (S&H) bei f_T
 - wird per Transistorschaltung realisiert, in der Kondensatoren geladen werden (Sample), deren Spannung gehalten wird (Hold)
3. Wertequantisierung mit 2^M Stufen → Abweichung führt zu Quantisierungsrauschen
 - Dithering (additives Rauschen) führt zu besserer Anpassung des Signals an Quantisierungsstufen

Signal to Noise Ratio

- Abstand zwischen Rauschen und Übersteuerungsgrenze
- Audio → 80dB, Video → 45dB („gute“ SNRs)

Berechnung:

Grundformel:

$$\frac{S}{N_Q} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{S,\max}}{P_{R,\max}} \right)$$

Annahme:

Der Quantisierungsfehler ist statistisch verteilt und weicht maximal um eine halbe Quantisierungsstufe nach unten oder oben ab.

$$u_{ss} = (s-1) \cdot \Delta u_s = (2^N - 1) \cdot \Delta u_s$$

Die Quantisierungsfehlerspannung läuft dann sägezahnförmig.

$$u_Q = -\Delta u_s \cdot \frac{t}{T}$$

Die max. Signalleistung des Quantisierungsrauschens ergibt sich aus dem Integral über dem Quadrat des Signalverlaufs in einer Periode bezogen auf den Widerstand R und die Periodendauer T:

$$P_Q = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \frac{u_Q^2}{R} dt = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \frac{\left(-\Delta u_s \cdot \frac{t}{T}\right)^2}{R} dt = \frac{(\Delta u_s)^2}{R} \cdot \frac{1}{12}$$

1. Audio

Im Audiobereich betrachtet man den Effektivwert der Signalspannung und quadriert diesen.

$$P_S = \frac{u_s^2}{R} = \frac{\left(\frac{u_s}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} = \frac{u_{ss}^2}{8 \cdot R} = \frac{(2^N \cdot \Delta u_s)^2}{8 \cdot R}$$
$$\rightarrow SNR = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_S}{P_Q}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{3}{2} \cdot 2^{2N}\right) = N \cdot 6,02 + 1,76 dB$$

2. Video

Beim Videosignal wird der Spitze-Spitze-Wert betrachtet.

$$P_S = \frac{u_{ss}^2}{R} = \frac{(2^N \cdot \Delta u_s)^2}{R}$$
$$\rightarrow SNR = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_S}{P_Q}\right) = 10 \cdot \lg(12 \cdot 2^{2N}) = N \cdot 6,02 + 10,8 dB$$

Basisbandübertragung

- PCM Signal \rightarrow Code wird oft verändert (Bits werden umgeordnet), um eine eindeutige Rekonstruktion möglich zu machen
- Quellencodierung, Kanal- und Leitungscodierung
- NRZ: Einfache Repräsentation der Bits als Zustände in Spannungsverlauf, allerdings nicht gleichwertfrei
- Rekonstruktion des Signals per Abtastung \rightarrow Erkennung muss nur zu bestimmten Zeitpunkten funktionieren \rightarrow Bandbegrenzung möglich \rightarrow TP Filter \rightarrow Puls wird zu Näherung der SI Funktion
- Pulsbreite $\frac{1}{T}$ Hauptpuls, alle anderen halb so breit

- Kopfmüller-Nyquist Bedingung: $B_N = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T_{Bit}} = \frac{1}{2} \cdot f_{Bit}$ (f_{Bit} = Bittaktfrequenz)

➔ Zur Wahl des idealen Abtastzeitpunktes

- Intersymbol Interferenz der SI Funktion soll vermindert werden
- Roll-off-Faktor als Maß für die Steilheit → je größer, desto größer die Übertragungsbandbreite in Relation zur Nutzbandbreite:

$$B_U = (1+r) \cdot B$$

- Zu kleines r bewirkt Übersprechen → verringerte Fehlertoleranz bei Rekonstruktion

➔ Angabe der BER (Bit Error Rate) → Toleranz abhängig von Einsatzzweck

- Augendiagramm zur Bestimmung der Rekonstruktionschance

➔ Kleines r nur bei weitgehend störungsfreien Kanälen

- Minderung des Rauschens über einen Filter, dessen Impulsantwort mit dem Verlauf des übertragenen Signals übereinstimmt

➔ Rauscheinfluss hängt vom mittleren Energiegehalt ab, nicht mehr von der Signalform über die Zeit:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N} \quad (\text{für redundanzfrei, ideal abgetastete Signale})$$

- NRZI: Invertierung wird in NRZ eingefügt → Code wird polaritätsunabhängig (Verwendung beim seriellen digitalen Videosignal)

➔ Scrambling (Verwürfelung), um den Taktgehalt zu erhöhen und eine Selbsttaktung zu ermöglichen → SNRZI

- BI-Phase Mark: Wechsel in jeder Bitzelle, bei 1 zusätzlicher Pegelwechsel (Anwendung z.B. bei Timecode)

- Parallele vs. Serielle Übertragung

- Verzicht auf Fehlerschutz, weil meist genug Bandbreite zur Verfügung steht

- Mehrwertige Codierung als Möglichkeit, den SNR besser auszunutzen → mehrwertige Modulation (störungsanfälliger, Fehlerschutz nötig)