Audiotechnik II
Digitale Audiotechnik: 7. Tutorium

Technische Universität Berlin

Prof. Dr. Stefan Weinzierl 12.12.2013

Musterlösung: 5. Dezember 2013, 18:36

1 Gütekriterien von A/D- und D/A-Wandlern

a) Was versteht man unter den Begriffen Linearitätsfehler und Jitter?
Lösung: Als Linearitätsfehler werden Unregelmäßigkeiten in der Wandlerkennline, hervorgerufen durch Bauteiltoleranzen der Widerstände, bezeichnet. Sind diese größer als ± 1 LSB wird von einem Monotoniefehler gesprochen. Linearitätsfehler verursachen nichtlineare Verzer-rungen.

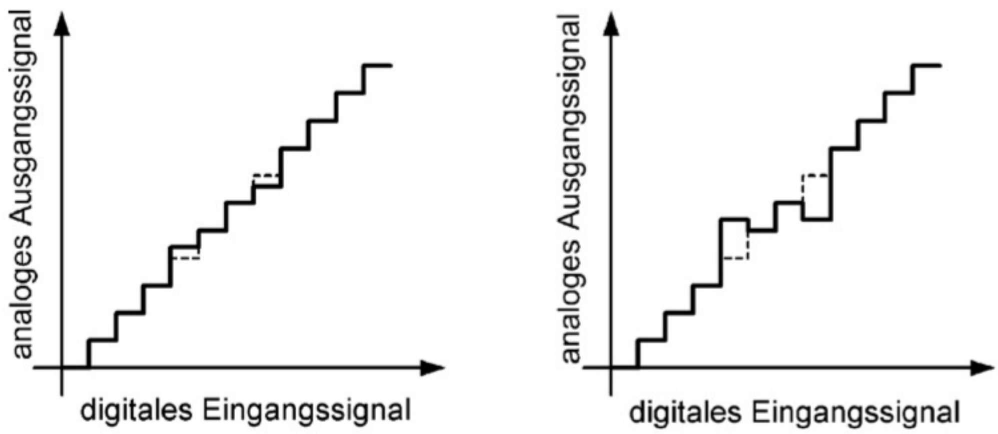


Abbildung 1: Linearitätsfehler (links) und Monotoniefehler (rechts). Grafik aus: S Weinzierl (Hrsg., 2008): Handbuch der Audiotechnik, Heidelberg, Springer.

Jitter, auch Phasenrauschen genannt, kommt zustande, wenn ein Signal bei der Wandlung nicht an den vorgesehenen Stellen abgetastet wird. Es entstehen Verzerrungen, die bei einem zufällig verteiltem Jitter in ein Rauschen übergehen.

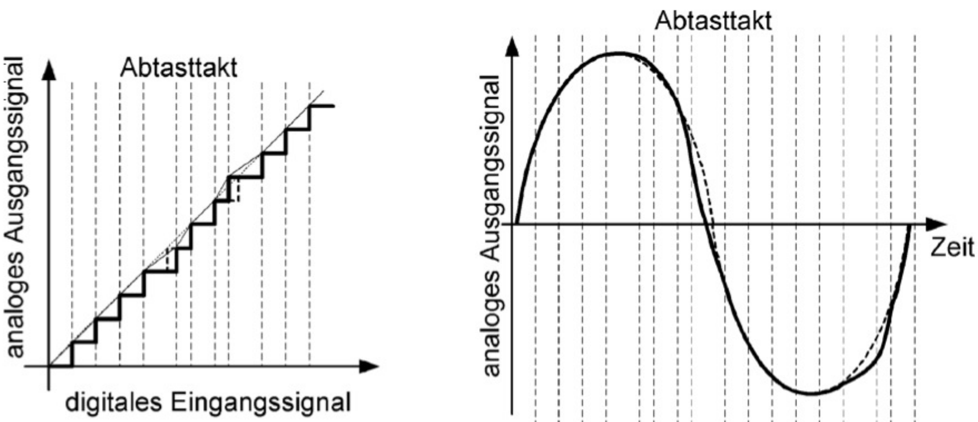


Abbildung 2: Amplitudenfehler durch Jitter: Wandlerkennline (links) und Sinussignal (rechts). Aus: S Weinzierl (Hrsg., 2008): Handbuch der Audiotechnik, Heidelberg, Springer.

b) Erläutern Sie das Messverfahren für die Größen THD+N und Dynamic Range.

Lösung:

THD+N:

THD+N (total harmonic distortion plus noise) ist das Verhältnis aller Oberschwingungen inkl. Grundrauschen zu den Oberschwingungen, Grundrauschen und dem voll ausgesteuerten Messsignal (Effektivwerte[1]). Der THD+N ist also einfacher zu messen als der THD allein, da bei letzterem auch Aliasinganteile der Obertöne an völlig anderen Positionen als der Obertonreihe auftreten können und berücksichtigt werden müssten. Diese aufwändige Spektralanalyse kann entfallen, da beim THD+N einfach „alles" im hörbaren Audiobereich in den Messwert einfließt, was sich vom Messton unterscheidet. Die Messung berücksichtigt somit nicht nur harmonische Oberwellen, sondern das gesamte Störspektrum ein-schließlich unharmonischer Anteile, Einstreuungen, Brummen, Rauschanteile u.ä.

Ablauf der Messung:
- rege mit $f_0 = 997$ Hz Ton bei $-0,5$ dB FS $/-1$ dB FS an
- messe Effektivwert von Rauschen und Verzerrungsprodukten im gesamten Audio-band bei Unterdrückung von f_0 durch Notch-Filter
- bilde Verhältnis zu ungefiltertem Signal und berechne Pegel:

$$THD + N = 10 \log_{10} \left(\frac{THD + N}{S_{FS}} \right)$$

Notation z.B.: THD+N (997 Hz, -1 dB FS) = -85 dB FS

Für das Grundrauschen wird üblicherweise kein Gewichtungsfilter verwendet, da von voll ausgesteuerten also „lauten" Nutzsignalen ausgegangen wird (ungefähr linearer Bereich der Hörkurve).

Dynamic Range:

Dynamic Range – teils auch SNR genannt – bezeichnet das Verhältnis eines vollaussteuerten Signals zum (frequenzbewerteten) Grundrauschen. Dabei kann das Grundrauschen sowohl in Abwehsenheit, als auch in Anwesenheit eines (leisen) Signals (-60 dB FS) ermittelt werden. Es erscheint in der AES-17-Norm als „Signal-to-Noise Ratio (SNR) in the presence of a signal".

Ablauf der Messung:
- zur Angabe des DR-Wertes muss vorher eine Full-Scale-Messung stattgefunden haben
- ein Messton von $f_0 = 997$ Hz bei -60 dB FS, der nur nichtlineare Anteil unterhalb des Rauschteppichs erzeugt, wird benutzt ,um den Effektivwert von Rauschen (und Verzerrungsprodukten) im gesamten Audioband bei Unterdrückung von f_0 durch Notch-Filter zu messen
- bilde Verhältnis zur Full-Scale-Spannung und berechne Pegel:

$$DR = 10 \log_{10} \left(\frac{S_{FS}}{N} \right)$$

Notation z.B.: DR = 85 dB FS A

Gewichtungsfilter z.B.: A, CCIR

[1] Die Festlegung der Fullscale-Amplitude erfolgt dabei während der Messung selbst, da diese nach der AES-17 Norm wie folgt definiert ist: „... wenn das digitale Signal nicht zugänglich ist, wird Input-Fullscale 0,5 dB unterhalb des Amplitudenwertes eines 997-Hz-Sinustons gesetzt, bei dem 1% THD+N oder 0,3dB Kompression erreicht werden...".

2 Codierungsbegriff

a) Erläutern Sie anhand der Abbildung die Begriffe Quellkodierung, Kanalkodierung und Leitungskodierung und nennen Sie jeweils Beispiele dafür.

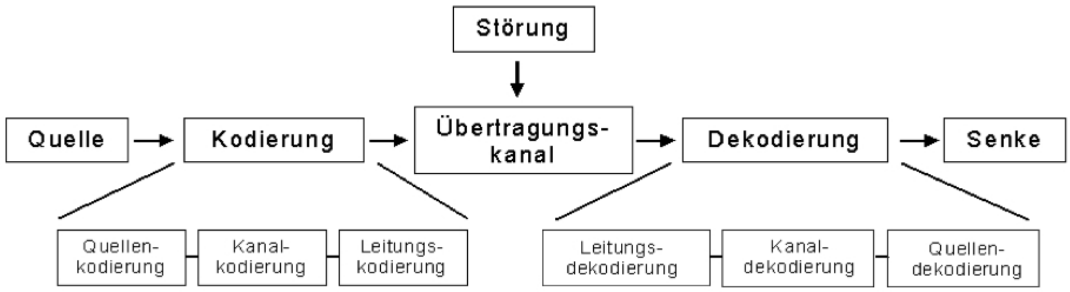


Abbildung 3: Nachrichtenübertragungsstrecke von Quelle zu Senke

Lösung:

- Die **Quellkodierung** legt das Speicherformat einer Quelle fest. Oft hat sie die Aufgabe, die zu sendende Information zu komprimieren, also die Datenmenge, die zur Übertragung oder Speicherung benötigt wird zu verringern. Die **Quelldekodierung** wandelt das Signal wieder in das Ausgangssignal zurück. Beispiele für Datenkomprimierende Verfahren sind die Huffman-Kodierung und FLAC (Redundanzkodierung) oder MPEG-1 Layer 3 (MP3, Irrelevanzkodierung), aber auch eine einfache A/D oder D/A-Wandlung ist eine Quellkodierung, bzw. dekodierung.

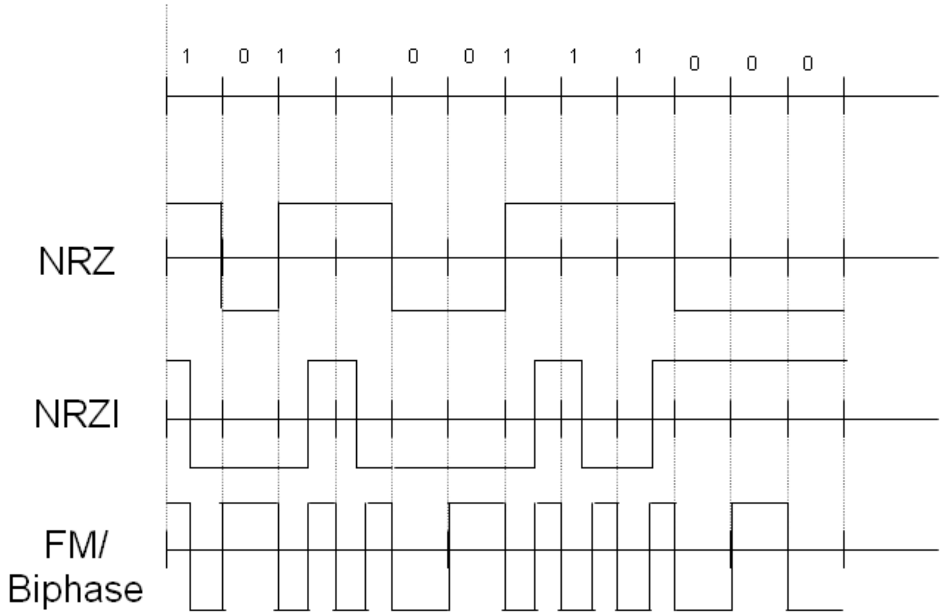
- Bei der **Kanalkodierung** werden dem Signal zusätzliche Informationen hinzugefügt - die Datenmenge wird wieder erhöht. Das macht es möglich durch die Übertragung entstandene Fehler ggf. bei der **Kanaldekodierung** zu erkennen und zu korrigieren. Beispiele sind Paritätsbits oder das Interleaving von Datenblöcken.

- Die **Leitungskodierung** bereitet die in digitaler Form vorliegenden Signale so auf, dass sie analog übertragen werden können. Dafür werden die meist binären Daten in z.B. unterschiedliche Spannungs- oder Helligkeitswerte umgewandelt. Die **Leitungsdekodierung** nimmt dann eine A/D-Wandlung der Signale vor. Beispiele für Leitungskodes sind RZ (Return to zero) und NRZ (Non return to zero).

3 Kanal- und Leitungskodierung

Gegeben sei die Bitfolge von 101100111000

a) Skizzieren Sie den Spannungsverlauf dieses Signals in i) NRZ-Kodierung, ii) NRZI-Kodierung, iii) Biphase Mark-Kodierung. Welche Kodes sind selbsttaktend?
Lösung:
i) NRZ (non return to zero): bildet 1 auf hohes, 0 auf niedriges Potential ab
ii) NRZI (NRZ-inverted): Potentialwechsel in der Mitte einer Bitperiode für 1 (in jede Richtung), kein Potentialwechsel für 0
iii) Biphase Mark/FM (Frequency Modulation): Potentialwechsel am Anfang und in der Mitte einer Bitperiode für 1, Potentialwechsel am Anfang einer Bitperiode für 0



Der NRZ und NRZI Kode sind nicht selbsttaktend, da nicht festgelegt ist, wie viel Zeit maximal zwischen zwei Potentialwechseln vergehen kann. Der Biphase Mark/FM Kode ist selbsttaktend weil es mindestens einen Potentialwechsel je übertragenem Symbol gibt.

b) Konstruieren Sie eine eigene Kodetabelle für einen 3/5-Gruppenkode mit einer $(0, 2)$ RLL Lauflängenkodierung (min/max Anzahl der Nullen zwischen zwei Einsen).
Lösung: Der zu erstellende Kode muss Datenworte von $m = 3$ bit Länge auf speziell ausgewählte Kanalkodeworte der Länge $n = 5$ abbilden.
Die $2^3 = 8$ möglichen Datenworte umfassen das binäre Intervall von$[000; 111]$. Die $(0, 2)$-RLL Kodierung verlangt eine minimale Anzahl von $d = 0$ und eine maximale Anzahl von $k = 2$ Nullen zwischen zwei aufeinander folgenden „1“-Symbolen, was auch bei aufeinander folgenden Kodeworten einzuhalten ist.
Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen lassen sich den Quellkodeworten entsprechende Kanalkodeworte zuweisen. Die Tabelle zeigt für alle Quellkodeworte die ihnen zuzuweisenden Kanalkodeworte. Dabei handelt es sich um eine rein willkürliche (!) Auswahl und Zuweisung.

Quellkodewort	Kanalkodewort
000	01110
001	01101
010	01011
011	10011
100	10101
101	10110
110	11010
111	01111

c) Worin liegt der Vorteil von Run-Length-Limited Gruppenkodes?
Lösung: Die Kanalbitrate erhöht sich gegenüber dem Quellkode durch die Gruppenkodierung zwar um den Faktor n/m (in diesem Fall 5/3), dies kann aber durch eine geeignete Wahl von (d, k) ausgeglichen werden. Außerdem kann eine Optimierung unter dem Gesichtspunkt höherer Fehlersicherheit erzielt werden, indem für Kanalkodeworte der minimaler Kodewortabstand dmin (Hammingabstand = Anzahl der unterschiedlichen Bitstellen je Kodewort, vgl. Skript) maximiert wird. Außerdem kann ein selbsttaktender Kode mit einfachen Leitungskodes (z.B. NRZ) realisiert werden.

4 Fehlerkorrektur I

Gegeben sei folgender Kode, bestehend aus vier Kodewörtern:

10100 01000 10011 01111

a) Um was für einen Kode kann es sich handeln?
Lösung: Da es nur 4 Kodwörter gibt, die 5 bit Lang sind könnte es sich um einen 2/5 Gruppenkode mit einer (0,4)-RLL Kodierung handeln.

a) Wie viele Bit-Fehler können mit dem Kode erkannt bzw. korrigiert werden?
Lösung: Die Anzahl der Fehlerhaften bits die korrigiert bzw. erkannt werden können, hängt vom minimalen Hammingabstand ab. Für binäre Kodeworte ist er durch die Modulo 2 Addition der Bits zweier Kodewörter gegeben:

$$d(a_i,\ a_j) = \sum_{g=1}^{N} u_{i,g} \oplus u_{j,g}$$

Dabei sind a die Kodewörter der Quelle und u deren Bits. u_j, g ist also das g-te Bit von Kodewort a_j. Der minimale Abstand für den gegebenen Kode ist $d_{min} = 3$. Es können also

$$f_e = d_{min} - 1 = 2$$

fehlerhafte Bits erkannt und

$$f_k = \left\lfloor \frac{d_{min} - 1}{2} \right\rfloor = 1 \tag{1}$$

fehlerhafte Bits korrigiert werden.