

Tontechnik 2



Digitale Signale

Prof. Oliver Curdt
Audiovisuelle Medien
HdM Stuttgart

Grundlagen der Digitaltechnik



- große Verbreitung seit den 80er Jahren
- Vorteile:
 - leicht speicherbar
 - Qualität unabhängig vom Medium
 - verlustfreie Kopien durch Übertragung eines beschreibenden Signals (kein Tonsignal !!!)
 - Komfort bei der Bearbeitung
- Qualitätsfrage?

Grundlagen der Digitaltechnik

- analog
 - stetige Funktion
 - alle Zwischenwerte sind vorhanden

- Vorteile - Nachteile

Grundlagen der Digitaltechnik

- digital: Annäherung mit festen Werten
 - diskrete Zustände
 - Wertequantisierung (theoretisch beliebig genau)
 - Zeitquantisierung (theoretisch beliebig genau)
 - Bit = binary digit
 - 16 bit $\Rightarrow 2^{16} = 65536$
 - 24 bit $\Rightarrow 2^{24} = 16\,777\,216$
 - binär \Rightarrow nur 2 Zustände, z. B. 0 ; 1 bzw. 0,5V; 5V

Digitaltechnik / Codes

- Code
 - Zuordnungsvorschrift von den Elementen einer Menge zu den Elementen einer anderen Menge
- Binärcode \Rightarrow Dualcode
- 2 Möglichkeiten bei Umwandlung Dezimalcode in Dualcode
 - Subtraktion
 - Division

Prof. Oliver Curdt

Digitaltechnik / Codes

- Octalcode
 - 3 Dualstellen \Rightarrow 1 Octalstelle
- Hex-Code (Hexadezimal) \Rightarrow 16
 - 4 Dualstellen \Rightarrow 1 Hexstelle
- 1 byte = 8 Dualstellen = 2 Hex-Zahlen
- ASCII-Code
 - **A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange
 - 7 bit 0 ...127

Prof. Oliver Curdt

Digitaltechnik / Codes

■ Gray-Code

- 1-schrittiger Code \Rightarrow bei Übergang von einer Zahl zur nächsten Änderung nur in **einer** Stelle
- Lochstreifengeeignet
- Abzählcode
- Anwendung: Längen- und Winkelcodierung

■ BCD-Code: binary coded decimal

- jede Dezimalstelle wird durch 4 bit codiert

Prof. Oliver Curdt

Quelle: Peter Bremm: Das digitale Tonstudio, praktische Hilfe zur digitalen Tonstudioteknik

Digitaltechnik / Codes

■ Anfänge der Nachrichtenübertragung vor ca. 200 Jahren

- Datenübertragung mit Hilfe von Codes, verschlüsselt
 - optische Signale
 - Morse-Alphabet (optisch oder elektrisch)
- später: analog, unverschlüsselt
- heute: digital, Rückkehr zum binären Prinzip

Prof. Oliver Curdt

Digitaltechnik / Codes

■ Maschinensprache, Sprachen, Dialekte

- Computer und digitale Audiosignale
- WAV, SD II, AIFF, mp3
- parallel oder seriell
- PCM oder DSD

■ Interfaces

Prof. Oliver Curdt

Kodierungen

■ Querkodierung:

- Prüfung der Redundanz im Original
- ⇒ Redundanzreduktion
- ⇒ Datenkompression
- ⇒ Datenreduktion

■ Kanalkodierung:

- Kanal = Übertragungsweg, Speicherelement
- Störungen im Band ⇒ Fehlstellen (z. B. drop outs)
- Häufigkeit der Fehler ⇒ Intensität/Zeiteinheit
- Blockbildung
- fehlererkennende und korrigierende Codes

Prof. Oliver Curdt

Parität

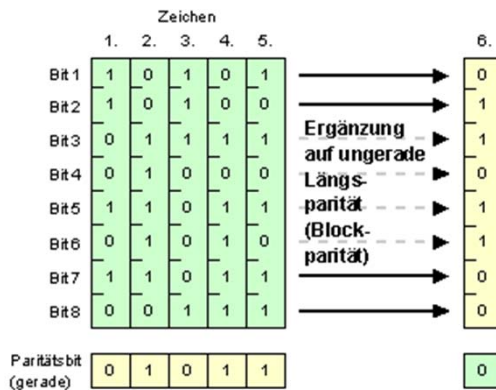
- Blockbildung mit je 2 Paritätsbits
- bei falscher Parität ⇒ Fehlererkennung und Korrektur
- vorhandene bits ⇒ Relevanz
- Zusatz-bits ⇒ Redundanz
- Fehlerkorrektur-Verfahren: zusätzlich aufgezeichnete Daten, errechnet aus den relevanten Daten (Nutzdaten)
- ggf. Gewichtung von MSB bis LSB

Prof. Oliver Curdt

Quelle: http://www.it-infothek.de/fhtw/semester_2/re_od_02.html&docid=3PxMJUdTLN-6M&imgurl

Parität

- Blockbildung mit je 2 Paritätsbits
- bei falscher Parität ⇒ Fehlererkennung und Korrektur



Prof. Oliver Curdt

Parität

- insgesamt hohe Wirksamkeit:
 - z. B. bei DAT (Digital Audio Tape) Fehlerrate von ca. 2 Fehler / sec

- RAID-Systeme, Rekonstruierbarkeit
 - ⇒ A Case for **R**edundant **A**rrays of **I**nexpensive **D**isks

Fehlerkorrektur

- Stufe 1:
 - echte Fehlerkorrektur
 - effektiv keine Veränderung des Originalsignals

- Stufe 2:
 - nur bei Audiodaten möglich, für Computerdaten unwirksam
 - Fehlerverdeckung („Concealment“ → „Verschleierung“)
 - Rekonstruktion durch Mittelwertbildung / Interpolation
 - Ergebnis nicht identisch mit Original
 - ggf. hörbar, wenn über mehrere ms nötig

Fehlerkorrektur

■ Stufe 3:

- Dropout, totaler Datenausfall
- keine Rekonstruktion möglich
- Datenwort wird weggelassen
- Audioausgang auf MUTE geschaltet

■ sog. „Interleaving“ zur Vermeidung von „Blockfehlern“

Prof. Oliver Curdt

„Fehlerkorrektur“ – Stufe 1 - Sprache

- Gemäß einer Studie einer englischen Universität, ist es nicht wichtig in welcher Reihenfolge die Buchstaben in einem Wort sind, das einzige was wichtig ist, ist daß der erste und der letzte Buchstabe an der richtigen Position sind. Der Rest kann ein totaler Buchstaben sind, trotzdem kann man ihn ohne Probleme lesen. Das geht deshalb, weil wir nicht Buchstaben für Buchstaben einzeln lesen, sondern Wörter als Ganzes. Stimmt's?

Prof. Oliver Curdt

„Fehlerkorrektur“ – Stufe 2 - Sprache

- Daß der bei witeem götßre Tiel der Mncsheen (drutaner das gznae shncöe Gcsehclhet) den Scritht zur Menikügidt, außer dem daß er birhlcswcech ist, acuh für sher giechräflh hatle: dfür seogn shocn jnee Vonerümdr, die die Ocfrahuibet uebr sie gsgütit auf scih gmmeonn heban.

Prof. Oliver Curdt

Quelle: Immanuel Kant „Was ist Aufklärung“

„Fehlerkorrektur“ – Stufe 3 - Sprache

Ndhceam sie ihr Hieavush zsuret dmum gmaeht hbean und sifrtolägg vhtüeteren, daß dsiee rheiugn Göpsfche ja kneein Shrtcit aeßur dem Gelagegwänn, darin sie sie enrpeetism, weagn dtufern, so zgeein sie ihnen nechhar die Gaefhr, die inehn droht, wenn sie es vrecusehn alieln zu gheen. Nun ist deise Gefhar zawr eben so gorß nchit, denn sie wrüedn durch eagimniel Faelln whol edlcnih gheen Ineern; aleiln ein Bpiesiel von der Art mhcat doch srcüechhtn und sccrekht giihmenen von aleln feernnen Vserehcun ab.

Prof. Oliver Curdt

„Fehlerkorrektur“ – Sprache als Code

- According to a research at an English university, it doesn't matter in what order the letters in a word are, the only important thing is that the first and last letter is at the right place. The rest can be a total mess and you can still read it without problem. This is because we do not read every letter by itself but the word as a whole.
ceehiro.

Digitaler Audioschnittplatz



Digitaler Audioschnittplatz



Prof. Oliver Curdt

Digitalformate - Schnittstellen

- AES/EBU
 - | selbstsynchronisierend
- SPDIF (Sony / Philips Digital Interface) (koaxial)
 - | selbstsynchronisierend



Prof. Oliver Curdt

Digitalformate – Schnittstellen

■ MIDI (**M**usical **I**nstrument **D**igital **I**nterface)

- | digitale Schnittstelle und Datenübertragungsnorm
 - | DIN5-Stecker
- | ursprünglich zur Verbindung verschiedener digitaler Musikinstrumente
 - | Entwicklung 1981
- | heute häufig im Bereich Computerspiele / Multimedia als Aufzeichnungs- und Wiedergabemedium von Musik

Prof. Oliver Curdt

Digitalformate – Schnittstellen

■ TDIF (TASCAM Digital Interface)

- | bidirektional
- | seit 1992
- | parallele Arbeitsweise
- | 8 Kanäle



Prof. Oliver Curdt

Digitalformate – Schnittstellen

- optisch (z. B. CD-Player, DAT)
 - verschiedene File -Typen für Festplattenspeicher
 - WAV
 - AIFF
 - FLAC
 - ...
- ADAT (optisch)
 - Alesis Digital Audio Tape
 - selbstsynchronisierend

Prof. Oliver Curdt

Digitalformate – Schnittstellen

- **MADI (Multichannel Audio Digital Interface)**, seit 1989
 - ursprünglich nicht selbstsynchronisierend
 - anfangs zusätzliche Leitung für Wordclock notwendig
 - bis zu 64 Kanäle in 48 kHz; nur 56 Kanäle bis 2003 (wegen Varispeed bei Bandmaschinen)
 - serielle Übertragung mit 75-Ohm-Koaxialkabel mit BNC-Steckverbindung (**B**ayonet **N**eill **C**oncelmann)



Prof. Oliver Curdt

Digitalformate – Schnittstellen

■ MADI

- Filter zur Minimierung von Übertragungsverlusten (Anhebung von hohen Frequenzen)

- mögliche Kabellängen
 - ca. 100 m koaxial
 - ca. 2000 m optisch

- bei DASH-Format (SONY, Studer) [Digital Audio Stationary Head]

- bei PD-Format (Mitsubishi, Otari) [ProDigital]

Digitalformate – Schnittstellen

■ Dante Audionetzwerk

- 100 Mbps: 48 Hin- und 48 Rückkanäle bei 24 bit/48 kHz
- 1-Gbps: 512 Hin- und 512 Rückkanäle bei 24 bit/48 kHz

■ Rocknet 300

- CAT-5-Leitung
- bis zu 160 Kanäle bei 24 bit/48 kHz

■ CobraNet

- CAT-5-Leitung
- bis zu 64 Audiokanäle (20 Bit/48 kHz)

Leitungswiderstände / digital

- AES-Kabel: (XLR-Stecker, symmetrisch)
 - Impedanz 110Ω , $\pm 20\%$
 - bei Frequenzen bis ca. 6 MHz
 - Übertragung über mehrere 100 Meter möglich
 - Jitter ± 20 ns
 - Pegelbereich 0,2 ... 5 V (Spitze / Spitze)

- SPDIF / Koaxialkabel: RCA (Cinch, unsymmetrisch)
 - Impedanz 75Ω
 - Pegelbereich 0,2 ... 0,5 V (Spitze / Spitze)
 - Jitter: Toleranz nicht definiert

Jitter

- eng. „Fluktuation“, „Schwankung“

- allgem.: abrupter und unerwünschter Wechsel der Signalcharakteristik
 - Amplitude
 - Frequenz
 - Phasenlage

- Taktzittern bei der Übertragung von Digitalsignalen
 - Zufällige Variation der Zeitabstände
 - reines Übertragungsproblem
 - \Rightarrow Signalverfälschung, weil Abstände bei Rekonstruktion wieder konstant

Jitter

- mögliche Ursache
 - leichte Genauigkeitsschwankungen im Übertragungstakt (Referenz Clock, Wordclock)
 - Dämpfung des Hochfrequenzanteils eines Frequenzspektrums auf einer langen Kabelstrecke
- Unterdrückung von Jitter durch PLL-Schaltungen (**P**hase **L**ocked **L**oop) mit rel. langsamer Reaktionszeit
- ≠ Latenz !!!

Prof. Oliver Curdt

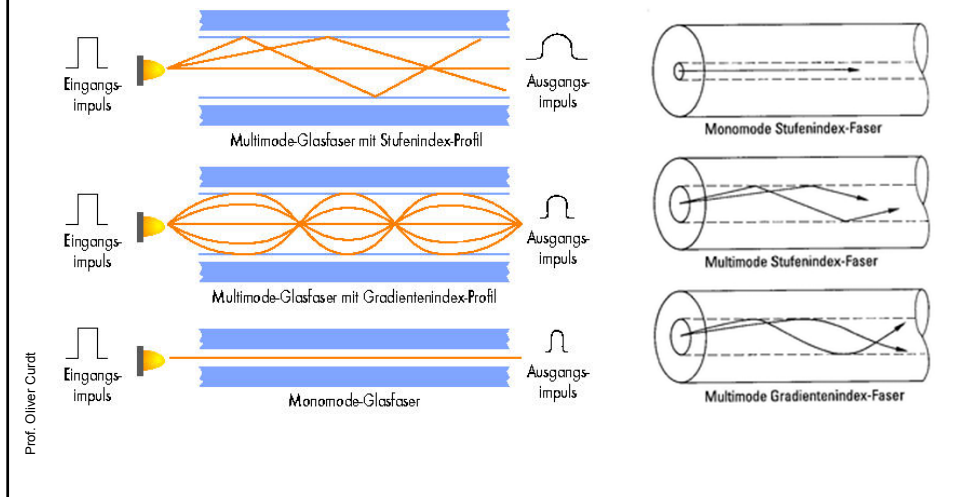
Quelle: Peter Bremm: Das digitale Tonstudio, praktische Hilfe zur digitalen Tonstudietechnik

Leitungswiderstände / digital

- optische Kabel / Lichtleiter
 - Kunststoff-Lichtleiter wesentlich höhere Dämpfung des Lichtes als echte Glasfaserleitungen
 - Anfälligkeit gegen Biegen und Brechen
 - ADAT (Kunststoff) max. 5 m Länge
 - Multi, Mono, Gradient

Prof. Oliver Curdt

Optische Kabel / Lichtleiter



Leitungswiderstände / digital

- elektrische Leitung: Kapazität + ohmschen Widerstand
 - unterschiedliche Dämpfung und Laufzeiten bei verschiedenen Frequenzen
 - Wordclock 44,1 kHz bzw. 48 kHz
 - digitales Audiosignal \Rightarrow mehrere MHz
 - je höher die Frequenz, desto höher die Dämpfung und Laufzeit des Signals
- \Rightarrow Phasenverschiebung zwischen Wordclock und Audiosignal
- Prof. Oliver Curdt

Leitungswiderstände / digital

- wenn Phasenverschiebung $> \frac{1}{2}$ Sample

⇒ Empfänger wechselt unmittelbar zum nächsten Sample

⇒ hörbarer „digitaler“ Click

- 1 sample \triangleq ca. 22 μ s bei 44100 Hz
- 44 sample \approx 1 ms