

Grundlagen: Rechnernetze und verteilte Systeme

Dritte Woche: 2./4. Mai 2018

Leitungscode, WLAN-Datenraten

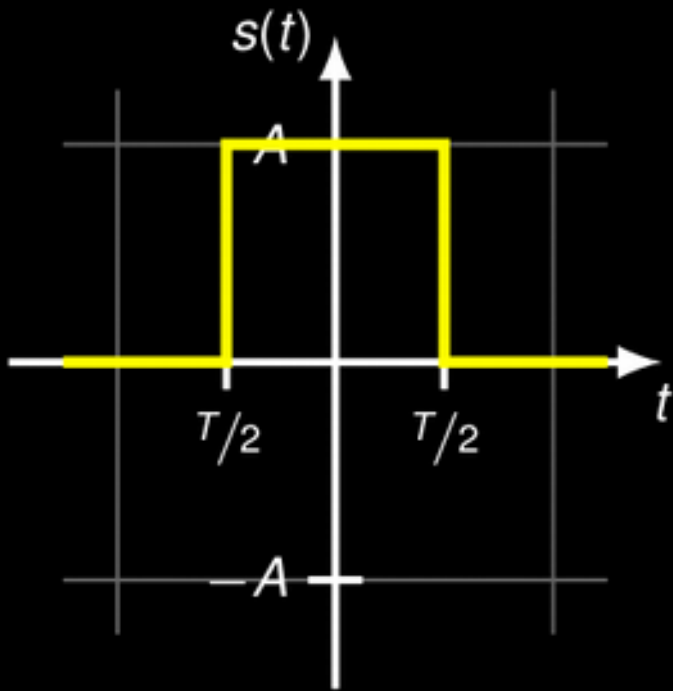
Leo Glavinić

netze@eo.gl

eo.gl/netze

2. Leitungscodes

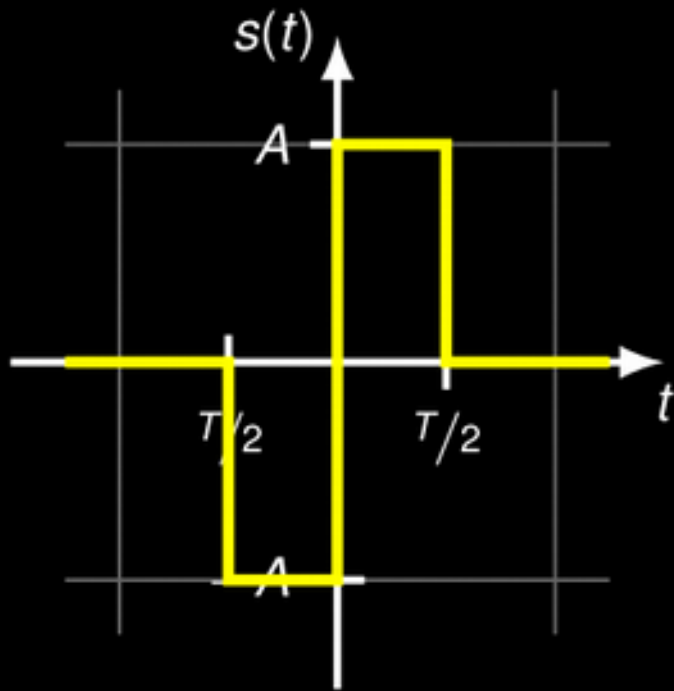
a. NRZ (Non-Return-to-Zero)-Grundimpuls ($A > 0$ sei maximaler Signalpegel)



$$g_{\text{NRZ}}(t) = \begin{cases} A & -T/2 \leq t < T/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

2. Leitungscode

b. Manchester-Code-Grundimpuls ($A > 0$ sei maximaler Signalpegel)



$$g_{\text{Manch}}(t) = \begin{cases} -A & -T/2 \leq t < 0 \\ A & 0 \leq t < T/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

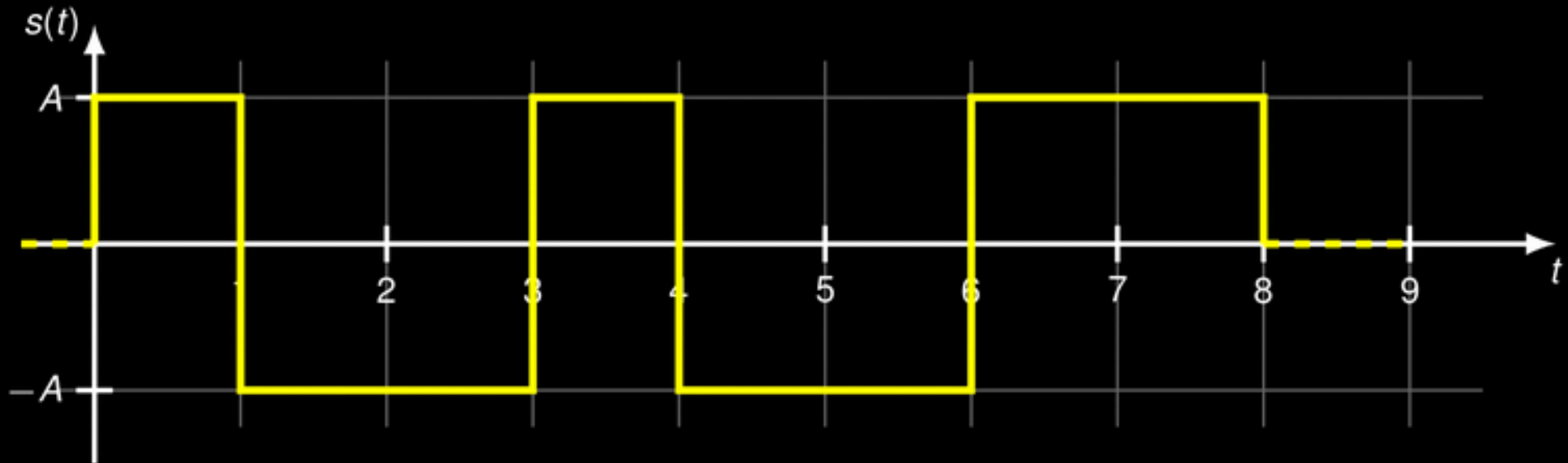
2. Leitungscodes

c. Möglichkeiten, die Bitfolge zu übertragen

„Vertauschung“ der jeweils übertragenen Signale für 0 und 1 möglich (Spiegelung an der x -Achse)

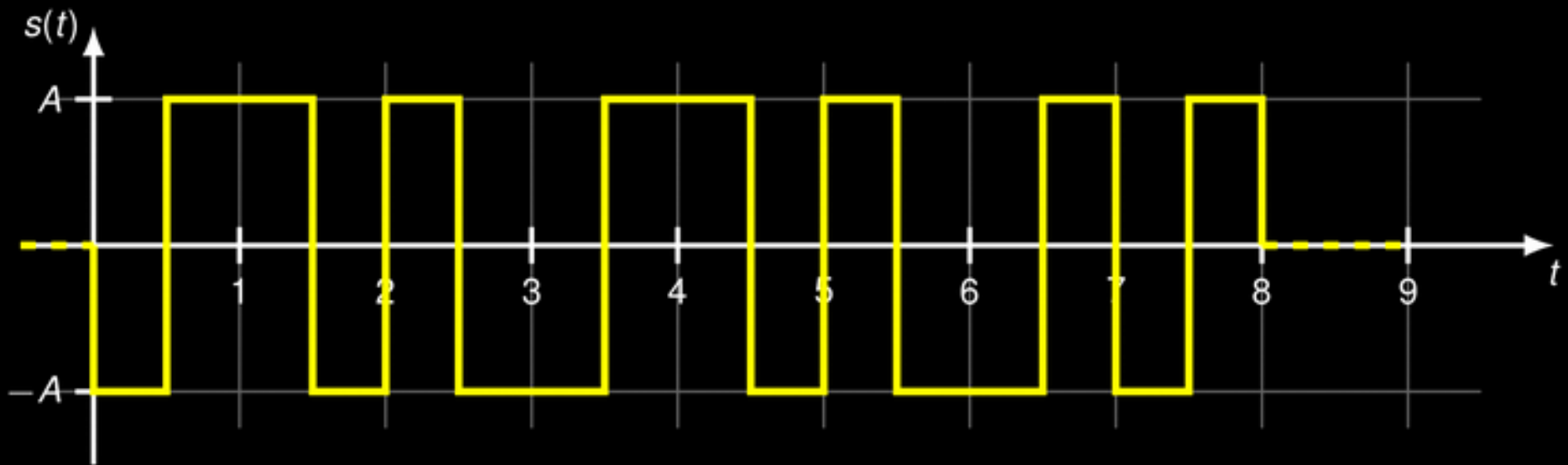
2. Leitungscodes

d. mit NRZ kodiertes Basisbandsignal



2. Leitungscodes

e. Manchester-kodiertes Basisbandsignal



2. Leitungscodes

Fouriertransformation: Abbildung nicht-periodischer Signale auf ein kontinuierliches Spektrum verschiedener Frequenzen, die sich überlagern

$$s(t) \quad \circ \text{---} \bullet \quad S(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t=-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

eulersche Formel

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t=-\infty}^{\infty} s(t) (\cos(2\pi ft) - j \sin(2\pi ft)) dt$$

(Cheatsheet!)

2. Leitungscode

f. Spektrum des Manchester-Impulses

wird live berechnet ;)

2. Leitungscode

f. Spektrum des Manchester-Impulses

einfach einsetzen, Euler anwenden und integrieren

$$G_{\text{Manch}}(f) = j \frac{A}{\sqrt{2\pi}} \frac{\cos(\pi ft) - 1}{\pi f}$$

2. Leitungscodes

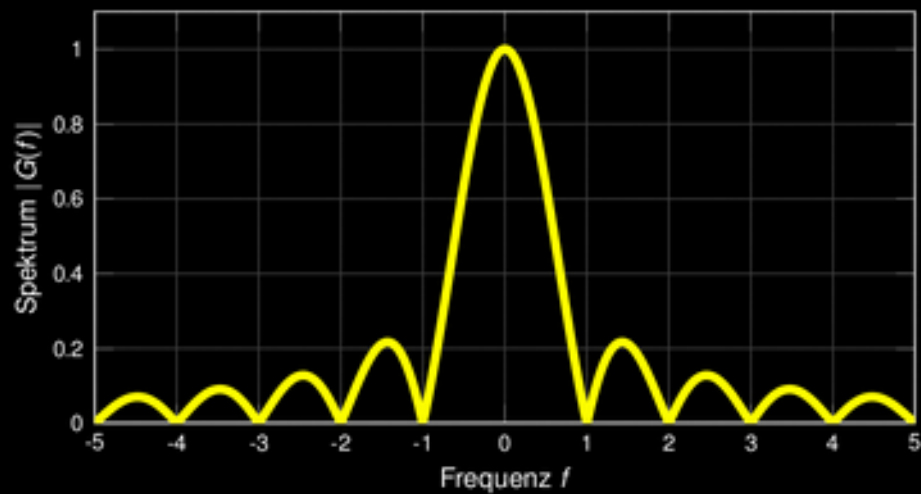
Spektrum des NRZ-Impulses: $G_{\text{NRZ}}(f) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sin(\pi fT)}{\pi f}$

g. Verhalten der Spektren für $f \rightarrow \infty$

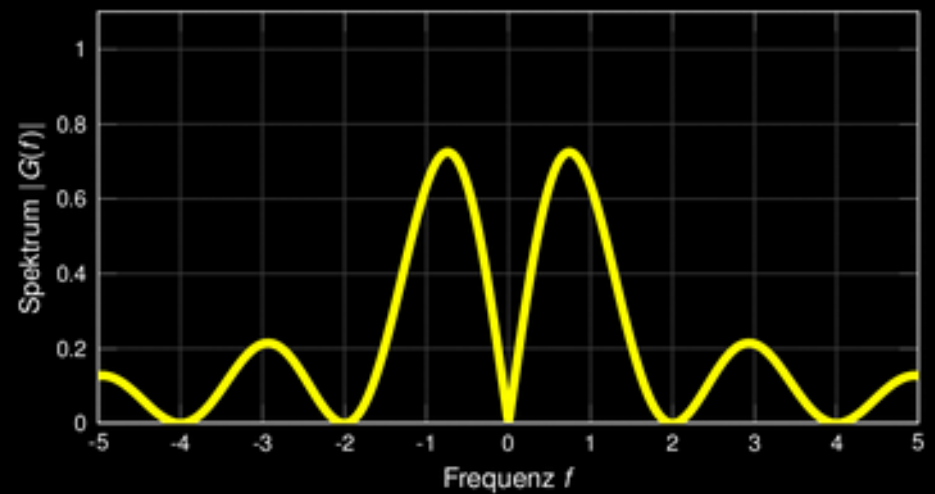
Abklingen mit $1/f$, kein asymptotischer Unterschied

2. Leitungscodes

h. Plots der Spektren



(a) NRZ



(b) Manchester

2. Leitungscode

Relevanz für uns: viele einfließende Überlegungen in Wahl des Leitungscode (Gleichstromfreiheit, Spektrum, Effizienz, Schwierigkeit der Taktrückgewinnung...) → unbedingt merken, wie die Codes aussehen!

keine Angst vor Fourier(reih|transformation)en! Nur einsetzen und einfache Integrale berechnen ;)

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

WLAN mit IEEE 802.11a: Frequenzen zwischen 5170 MHz und 5330 MHz (de facto in Deutschland)

→ Bandbreite 160 MHz; Unterteilung in acht Kanäle à 20 MHz

Unterteilung eines Kanals in 64 Subcarrier à 312,5 kHz; Nutzung von 48 davon (Rest reserviert für sog. Pilotsymbole oder nicht belegt)

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

→ Symboldauer (ein Impuls): $1/312,5 \text{ kHz} = 3,2 \mu\text{s}$

mit Schutzabstand: $T_s = 4 \mu\text{s}$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

erzielbare Datenrate:

Datenrate [Mbit/s]	Modulation	Coderate
6	BPSK	1/2
9	BPSK	3/4
12	QPSK	1/2
18	QPSK	3/4
24	16-QAM	1/2
36	16-QAM	3/4
48	64-QAM	2/3
54	64-QAM	3/4

zunächst nur Betrachtung von $r_{max} = 54$ Mbit/s

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

a. Zahl der Bits pro Symbol

Anzahl verschiedener Symbole bei 64-QAM: $M=64$
 $n = \log_2(M) = \log_2(64) = 6$ bit

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

b. Zahl der Bits pro Symboldauer (48 Subcarrier)

$$n_{\text{brutto},48} = 48n = 288 \text{ bit}$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

c. Zahl der Bits an Nutzdaten pro Symboldauer

$$n_{\text{netto},48} = 3/4 \cdot n_{\text{brutto},48} = 216 \text{ bit}$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

d. Überprüfung von $r_{max} = 54 \text{ Mbit/s}$

$$r_{max} = n_{netto,48} / T_s = 216 \text{ bit} \cdot 250000 \text{ Hz} = 54 \text{ Mbit/s}$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

Formeln zur Kanalbandbreite B (C_{max} : obere Schranke für Netto-Datenrate) (Cheatsheet!)

Rauschabstand: $SNR = \text{Signalleistung} / \text{Rauschleistung}$
 SNR in Dezibel: $SNR \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(SNR) \text{ dB}$

Hartley: $C_H = 2B \cdot \log_2(M)$

Shannon: $C_S = B \cdot \log_2(1 + SNR)$

obere Schranke: $C_{max} \leq \min\{C_H, C_S\}$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

e. Hartley: minimale Bandbreite B_{min} für 54 Mbit/s mit 64 Symbolen

$$B_{min} = r / (2 \log_2(M)) = (54 \text{ Mbit/s}) / (2 \cdot \log_2(64)) \text{ bit} = 4,5 \text{ MHz}$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

e. Hartley: minimale Bandbreite B_{min} für 54 Mbit/s mit 64 Symbolen

$$B_{min} = r / (2 \log_2(M)) = (54 \text{ Mbit/s}) / (2 \cdot \log_2(64)) \text{ bit} = 4,5 \text{ MHz}$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

f. Shannon: minimales SNR (in dB) für maximale Datenrate $r_{max} = 54$ Mbit/s (mit gegebener maximaler Kanalbandbreite $B = 20$ MHz)

$$r_{max} = B \log_2 (1 + \text{SNR})$$

$$\text{SNR} = 2^{r_{max}/B} - 1$$

$$= 2^{(54 \cdot 10^6)/(20 \cdot 10^6)} - 1 = 2^{54/20} - 1 = 2^{2,7} - 1 \approx 5,50$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

f. Shannon: minimales SNR (in dB) für maximale Datenrate $r_{max} = 54$ Mbit/s (mit gegebener maximaler Kanalbandbreite $B=20$ MHz)

$$r_{max} = B \log_2 (1 + SNR)$$

$$SNR = 2^{r_{max}/B} - 1$$

$$= 2^{(54 \cdot 10^6)/(20 \cdot 10^6)} - 1 = 2^{54/20} - 1 = 2^{2,7} - 1 \approx 5,50$$

in Dezibel: $SNR \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(SNR) \text{ dB} \approx 7,40 \text{ dB}$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

g. Shannon: Modulationsverfahren und Coderate mit Signalleistung beim Empfänger $P_S=45 \mu\text{W}$,

Rauschleistung $P_N=15 \mu\text{W}$ und Kanalbandbreite

$B=20 \text{ MHz}$

$$r = B \cdot \log_2 (1 + \text{SNR})$$

$$= B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right)$$

$$= 20 \cdot 10^6 / \text{s} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{45}{15} \right) \text{ bit} = 40 \text{ Mbit/s}$$

1. Datenraten mit IEEE 802.11a

siehe Tabelle: $48 \text{ Mbit/s} > r > 36 \text{ Mbit/s}$

→ Herunterschalten der Datenrate auf höchstens
36 Mbit/s

→ Modulation mit QAM-16 und Coderate $R = 3/4$