

Lösung 02: Physical Layer, iPerf

Aufgabe 1: Bandbreite, Nyquist, Shannon

- a) Die maximale Datenrate D berechnet man nach dem Nyquist Theorem: $D = 2 * B * \log_2 V$.
Es ergibt sich: $D = (2 * 7\text{MHz} * \log_2 4) [\text{bits}] = 28 \text{ Mbit/s} = 3,5\text{MB/s}$
Da jedes Symbol 2 Bit an Information repräsentiert, ist die Baudrate halb so groß wie die Bitrate, also 14 MBaud.
- b) Prinzipiell könnte ein unverrauschter Kanal eine beliebige Menge an Informationen transportieren. Gemäß Nyquist gilt: $D = 2 * B * \log_2 V [\text{bits/s}]$
Demnach muss man für hohe Datenraten lediglich die Anzahl der Symbole, also V erhöhen. Auf diese Weise kodiert man viel Information pro Symbol.

$$D = 2 * B * \log_2 V \rightarrow \frac{D}{2B} = \log_2 V \rightarrow 2^{\frac{D}{2B}} = V$$

Durch Einsetzen der Werte $D = 14 \text{ Mbps}$ und $D = 112 \text{ Mbps}$ erhält man:

- $V = 2^{\frac{14 [\text{Mbit/s}]}{2 * 7\text{MHz}}} = 2$ bzw.
- $V = 2^{\frac{112 [\text{Mbit/s}]}{2 * 7\text{MHz}}} = 256$

Durch Einsatz von 2 bzw. 256 verschiedener Symbole kann man die theoretische Obergrenze erreichen. In der Praxis ist der Einsatz vieler Symbole problematisch. Wegen immer vorhandenem Rauschen würde ein Empfänger die Schwierigkeit haben, die einzelnen Symbole zu unterscheiden.

- c) Das Shannon-Theorem gibt eine weitere (obere) Grenze für die erreichbare Datenrate vor, falls ein Kanal verrauscht ist.

Zunächst rechnet man Dezibel in ein absolutes Verhältnis um:

$$30 = 10 \log_{10} d \rightarrow 3 = \log_{10} d \rightarrow d = 1000$$

$$\text{Shannon: } D = B * \log_2(1 + \text{SNR}) [\text{bits}] = 7\text{MHz} * \log_2(1 + 1000) \left[\frac{\text{bits}}{\text{s}}\right] = 70 \text{ Mbit/s}$$

Hinweis: Nach Aufgabe b) sind theoretisch in einem rauschfreien Kanal bei sonst gleichen Bedingungen (256 Symbole) 112 Mbps möglich. Das Shannon-Theorem setzt hier aber die tiefere Grenze von 70 Mbps.

Ohne Rauschen ließe sich die Datenrate beliebig steigern, wenn man sehr viele Symbole definieren würde. Shannon setzt hier eine Grenze, damit bei vorhandenem Rauschen die Symbole unterscheidbar bleiben.

Aufgabe 2: Bandbreitenlängenprodukt

- a) $R * d_{\text{prop}} = 2 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} * \frac{20000000 \text{ m}}{2,5 * 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 160000 [\text{bits}]$
- b) 160 000, also genau das Ergebnis von a). Das Propagation Delay beschreibt, wie lange ein Bit (z.B. das erste Bit eines Paket) von A nach B benötigt. Falls zum Zeitpunkt des Eintreffens des ersten Bits bei B immer noch Daten auf den Link gelegt werden (weil das Paket so groß ist), ist der Link komplett mit Bits belegt. Genau das ist hier der Fall!
- c) Das *Bandbreitenlängenprodukt* gibt die maximale Anzahl an Bits an, die gleichzeitig auf einem Link unterwegs sein können.
- d) $\frac{s}{\text{Bandbreitenlängenprodukt}} = \frac{s}{R * d_{\text{prop}}} = \frac{20000000 \text{ m}}{160000} = 125 \text{ m}$. Anschaulich benötigt 1 Bit also 125 m Platz auf dem Link.

Aufgabe 3: Übertragungsmedien

- a) **Ölpipe**: Half-Duplex unter der Annahme, dass Öl in beide Richtungen fließen kann. Man könnte auch argumentieren, dass es Simplex ist, falls Öl nur in einer Richtung fließen kann.
Funkgerät: Halb-Duplex. Meist muss man einen Knopf drücken während man spricht. Während dieser Zeit wird nichts empfangen.
Fluss: offensichtlich Simplex.
- b) Aufschluss gibt z.B. Wikipedia! Man beobachtet, dass in den Bezeichnungen eine gewisse Struktur steckt. Der erste Teil gibt immer die Geschwindigkeit an, „BASE“ bedeutet „Baseband Ethernet“, also Übertragung im Basisband, siehe Aufgabe 3. Der letzte Teil beschreibt das eigentliche Übertragungsmedium (T bedeutet z.B. immer Twisted Pair Kupferkabel).
- 1000BaseT: 1Gbps („Gigabit Ethernet“) über Twisted Pair Kupferleitungen
 - 1000BaseSX: 1 Gbps über Glasfaser (Multimode: 770-860 nm Wellenlänge). Das „S“ in „SX“ steht übrigens für Übertragungen mit kurzer Wellenlänge.

Aufgabe 4: Messung des Datendurchsatzes mit iPerf

Der folgende Screenshot zeigt das Ergebnis bei einem Test vom Laptop des Dozenten (iPerf Client) zu einem Raspberry Pi (iPerf Server). Beide sind im gleichen Ethernet LAN.

Die gewünschte Bandbreite (besser Durchsatz, Datenrate) von 2Mbit/s wurde erreicht. Der Jitter beträgt 0,344 ms. Das heißt, dass die Zeit zwischen den angekommenen Paketen nicht immer gleich ist und sondern im Schnitt 0,344 ms abweicht (= Laufzeitschwankung). Von den 306 Paketen gingen im konkreten Fall 2 verloren.

a)

```

C:\Users\muwo522\Downloads>iperf3.exe -u -c 192.168.178.55 -b 2M
Connecting to host 192.168.178.55, port 5201
4] local 192.168.178.25 port 61301 connected to 192.168.178.55 port 5201
ID] Interval          Transfer      Bandwidth      Total Datagrams
4]  0.00-1.00    sec    248 KBytes    2.03 Mbits/sec    31
4]  1.00-2.00    sec    248 KBytes    2.03 Mbits/sec    31
4]  2.00-3.00    sec    248 KBytes    2.03 Mbits/sec    31
4]  3.00-4.00    sec    248 KBytes    2.03 Mbits/sec    31
4]  4.00-5.00    sec    240 KBytes    1.97 Mbits/sec    30
4]  5.00-6.00    sec    240 KBytes    1.97 Mbits/sec    30
4]  6.00-7.00    sec    232 KBytes    1.90 Mbits/sec    29
4]  7.00-8.00    sec    264 KBytes    2.16 Mbits/sec    33
4]  8.00-9.00    sec    240 KBytes    1.97 Mbits/sec    30
4]  9.00-10.00   sec    248 KBytes    2.03 Mbits/sec    31
-----
ID] Interval          Transfer      Bandwidth      Jitter      Lost/Total Datagrams
4]  0.00-10.00   sec    2.40 MBytes    2.01 Mbits/sec    0.344 ms    2/306 (0.65%)
4] Sent 306 datagrams

iperf Done.
```

b)