

Tutorübung zur Vorlesung Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme
Übungsblatt 3 (4. Mai – 8. Mai 2015)

Hinweis: Die mit * gekennzeichneten Teilaufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorhergehender Teilaufgaben lösbar.

Aufgabe 1 Erzielbare Datenraten mit IEEE 802.11a Wireless LAN

In dieser Aufgabe betrachten wir die physikalische Schicht von IEEE 802.11a (einem der WLAN-Standards). Dieser verwendet Trägerfrequenzen zwischen 5127 MHz und 5910 MHz. Da die Regulierung der Funkfrequenzen landesabhängig ist, unterscheiden sich die verfügbaren Frequenzbereiche im internationalen Vergleich. In Deutschland beispielsweise steht lediglich der Bereich 5170 MHz – 5330 MHz ohne Einschränkungen zur Verfügung. Dies entspricht einer Bandbreite von 160 MHz, welche in insgesamt 8 Kanäle zu jeweils 20 MHz unterteilt ist. Jeder Kanal ist wiederum in 64 Subcarrier zu je 312,5 kHz unterteilt. Die Symboldauer (zeitliche Ausdehnung eines Symbols) beträgt daher $1\text{ s}/312,5\text{ kHz} = 3,2\text{ }\mu\text{s}$. Um Störungen zu durch Reflexionen zu vermeiden, wird zwischen Symbolen ein zeitlicher Schutzabstand (engl. „Guard Interval“) eingefügt. Die effektive Symboldauer beträgt daher $T_s = 4\text{ }\mu\text{s}$. Hinzu kommt, dass zu jedem Zeitpunkt nur 48 der 64 Subcarrier zur Datenübertragung verwendet werden. Dies ist in Abbildung 1 verdeutlicht.

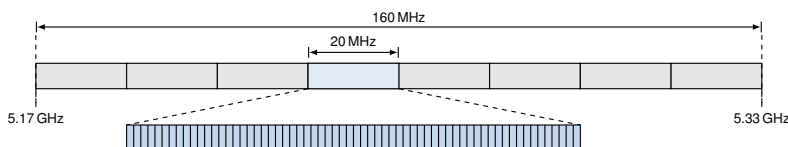


Abbildung 1: IEEE 802.11a Kanalaufteilung für Deutschland.

Die effektiv erzielbare Datenrate hängt nun vom verwendeten Modulationsverfahren sowie der Coderate des Kanalcodes ab. Diese sind in Tabelle 1 aufgelistet.

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

Tabelle 1: Datenraten, Modulationsverfahren und Coderaten für IEEE 802.11a.

Wir betrachten zunächst nur die maximale Übertragungsrate $r_{\max} = 54 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$.

- Wieviele Bit werden pro Symbol übertragen?
- Wie viele Bit werden bei Verwendung von 48 Subcarriern insgesamt pro Zeitschritt übertragen?
- Wie viele Bit von dem in Teilaufgabe b) berechneten Wert sind Nutzdaten (berücksichtigen Sie die Redundanz der Kanalkodierung)?
- Bestätigen Sie unter Verwendung des Ergebnisses aus Teilaufgaben c) die maximale Datenrate $r_{\max} = 54 \text{ Mbit/s}$.
- * Bestimmen Sie nun unter Verwendung von Hartleys Gesetz die minimal notwendige Bandbreite B' , die notwendig ist, um unter Verwendung von QAM-64 eine Datenrate von $54 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$ zu erreichen.

- f) Aus welchem Grund ist der in Teilaufgabe e) errechnete Bandbreite B' bedeutend kleiner als $B = 20 \text{ MHz}$?
- g) Bestimmen Sie das minimale SNR nach Shannon in der Einheit dB, so dass theoretisch die maximale Datenrate $r_{\max} = 54 \text{ Mbit/s}$ erreicht werden kann. Nutzen Sie dazu die in Teilaufgabe e) ermittelte Bandbreite B' .
- h) Die Signalleistung beim Empfänger betrage nun $40 \mu\text{W}$. Das Rauschen habe eine Leistung von $P_N = 3,75 \mu\text{W}$. Welches Modulationsverfahren und welche Coderate werden unter diesen Bedingungen zum Einsatz kommen?

Aufgabe 2 ALOHA

ALOHA (hawaiisch: „Hallo“) ist eines der ältesten Medienzugriffsverfahren und wurde 1971 an der Universität von Hawaii entwickelt, um die Hawaii-Inseln über eine Funkverbindung mit einer zentralen Vermittlungsstation zu verbinden. Die Trennung der zwei Kommunikationsrichtungen von den Inseln zur Vermittlungsstation und zurück erfolgte durch Frequenzduplex (FDD). Die Steuerung des Medienzugriffs war denkbar einfach: Sobald ein Sender Daten erhalten hatte, durfte dieser zu senden beginnen. Da aber keine Richtfunkantennen eingesetzt wurden und alle Sender auf den Inseln dieselbe Frequenz verwendeten, konnte es zu Kollisionen kommen, wenn sich zwei Übertragungen zeitlich überschneiden.

Zwei Jahre später wurde Slotted ALOHA eingeführt, bei dem die Sender nur noch zu Beginn fester Zeitschlitz (engl. *time slots*) anfangen durften zu senden. Die Vermittlungsstation übertrug dafür auf dem Rückkanal ein Taktsignal zur Synchronisation.

Wir wollen nun eine eigene Strategie definieren, die wir p -persistentes Slotted ALOHA nennen. Liegen Daten vor, so sendet eine Station mit Wahrscheinlichkeit p im nächsten Slot bzw. verzögert die Übertragung mit Wahrscheinlichkeit $1 - p$ um einen Slot. Folgende Ausgangssituation sei gegeben:

- Es gibt n Nutzer, die saturiert sind, d. h. es liegen stets Daten zum Senden vor.
- Jeder Nutzer fängt mit Wahrscheinlichkeit p im nächsten möglichen Zeitschlitz an zu senden.
- Die Dauer eines Sendevorgangs entspricht der Länge eines Zeitschlitzes.

- a)* Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass in einem Zeitschlitz eine kollisionsfreie Übertragung stattfindet?
- b) Bestimmen Sie das optimale p^* , so dass die Wahrscheinlichkeit einer kollisionsfreien Übertragung maximiert wird.
- c) Bestimmen Sie nun die maximale Kanalauslastung bei n Nutzern.
- d) Bestimmen Sie nun die maximale Kanalauslastung bei einer sehr großen Anzahl von Nutzern.

Hinweis: $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n = e^x$