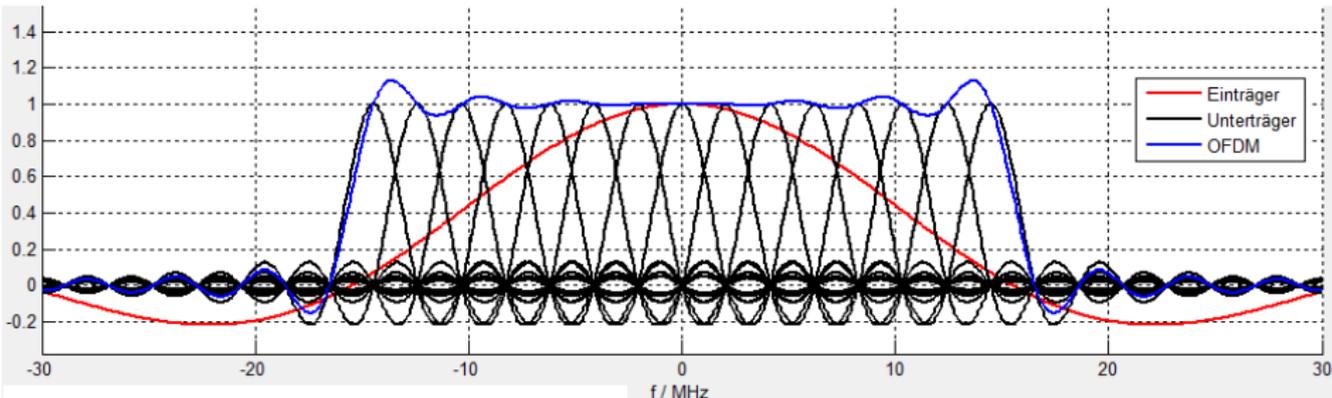


Übungen zu Nachrichtentechnik 1

Übung 6: OFDM, MIMO, CDMA

Marcus Müller | 4. Juli 2018

INSTITUT FÜR NACHRICHTENTECHNIK (CEL)



■ 29.09.2017, 08:00 Uhr: Klausur

- **Anmeldung:** Ihre persönliche Anmeldung erfolgt online bis Freitag, 22.09.2017 oder durch Abgabe Ihrer Zulassungsbescheinigung im Sekretariat des Instituts für Nachrichtentechnik, CEL (Kreuzstr. 11) zwischen 9:00 und 11:30 Uhr bis 22.09.2017.
- **Abmeldefrist:** Am 28.09.2017 bis 11.30 Uhr (im Sekretariat) bzw. bis 23:59 Uhr online.

■ Hilfsmittel:

- ein doppelseitig und **eigenhändig** beschriebenes DIN A4 Blatt
- ein nicht-programmierbarer Taschenrechner

■ Klausuranhang:

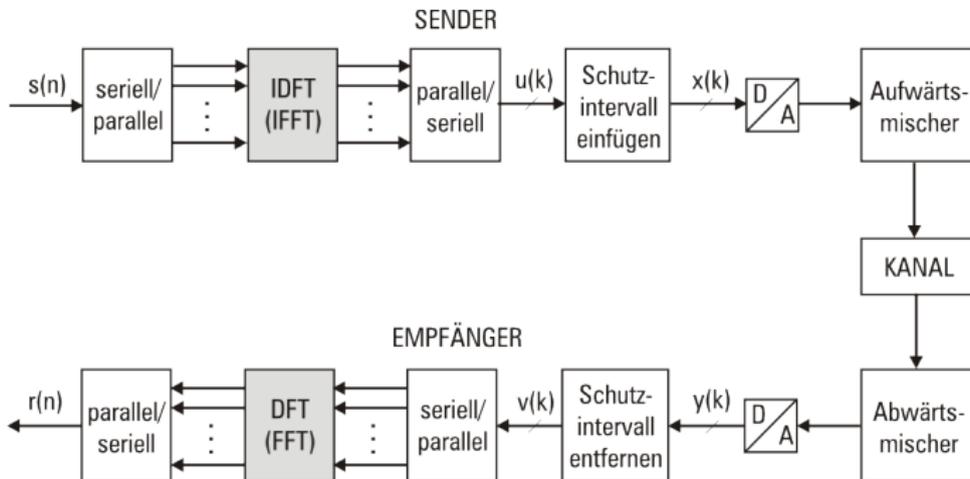
- notwendige Formeln (z.B. Fourierkorrespondenzen, Tabelle der Standardnormalverteilung, trigonometrische Formeln) an Aufgabenblätter angehängt
- Zum Download im ILIAS

■ Vorbereitung:

1. Übungsaufgaben \Rightarrow Auch Verständnis (Textaufgaben!)
2. Alte Klausuren mit Fokus auf den letzten 4 Jahren

ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)

OFDM Übertragung



Ein OFDM-System mit 48 Unterträgern, rechteckiger Impulsformung und BPSK als Unterträgermodulation soll 2 Mbit/s übertragen.

- Geben Sie die Dauer T_N eines OFDM-Nutzsymbols, den Unterträgerabstand Δf und die Gesamtbandbreite des Systems B_s an!
- Um wieviele BPSK-Symbole muss das OFDM-Nutzsymbol verlängert werden, damit bei einer Dauer der Kanalimpulsantwort von $\tau_{max} = 1,6 \mu s$ keine Intersymbolinterferenz (ISI) auftritt?
- Wie groß muss in diesem Fall die Kanalkohärenzzeit τ_k mindestens sein, damit der Kanal als zeitinvariant gelten kann?

- a) Ein Sender habe 6 Sendeantennen. Die Sendesymbole seien durch $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, \dots$ gegeben. Gehen Sie davon aus, dass bereits ein Zustand erreicht ist, in dem pro Zeitschlitz jede Antenne ein Symbol sendet. Dieser Zustand soll als Zeitschlitz 0 festgelegt werden. Geben Sie die Sendevektoren für D-BLAST als auch für V-BLAST im dritten Zeitschlitz an.

Lsg.: Aufgabe 42 a)

- **V-BLAST:** Verteilung aufeinanderfolgender Symbole über die Antennen, wobei jedes Symbol nur $1 \times$ gesendet wird.
⇒ Jede Antenne sendet einen unabhängigen Datenstrom.
⇒ M-fache Symbolrate, Empfangsdiversität

Antenne	Zeitschlitz			
	0	1	2	3
1	s_1	s_7	s_{13}	s_{19}
2	s_2	s_8	s_{14}	s_{20}
3	s_3	s_9	s_{15}	s_{21}
4	s_4	s_{10}	s_{16}	s_{22}
5	s_5	s_{11}	s_{17}	s_{23}
6	s_6	s_{12}	s_{18}	s_{24}

Daraus folgt: $\vec{s}_{V\text{-BLAST}}(3) = (s_{19}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24})$.

Lsg.: Aufgabe 42 a)

- **V-BLAST:** Verteilung aufeinanderfolgender Symbole über die Antennen, wobei jedes Symbol nur $1 \times$ gesendet wird.
⇒ Jede Antenne sendet einen unabhängigen Datenstrom.
⇒ M-fache Symbolrate, Empfangsdiversität

Antenne	Zeitschlitz			
	0	1	2	3
1	s_1	s_7	s_{13}	s_{19}
2	s_2	s_8	s_{14}	s_{20}
3	s_3	s_9	s_{15}	s_{21}
4	s_4	s_{10}	s_{16}	s_{22}
5	s_5	s_{11}	s_{17}	s_{23}
6	s_6	s_{12}	s_{18}	s_{24}

Daraus folgt: $\vec{s}_{V\text{-BLAST}}(3) = (s_{19}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24})$.

Lsg.: Aufgabe 42 a)

- **V-BLAST:** Verteilung aufeinanderfolgender Symbole über die Antennen, wobei jedes Symbol nur $1 \times$ gesendet wird.
⇒ Jede Antenne sendet einen unabhängigen Datenstrom.
⇒ M-fache Symbolrate, Empfangsdiversität

Antenne	Zeitschlitz			
	0	1	2	3
1	s_1	s_7	s_{13}	s_{19}
2	s_2	s_8	s_{14}	s_{20}
3	s_3	s_9	s_{15}	s_{21}
4	s_4	s_{10}	s_{16}	s_{22}
5	s_5	s_{11}	s_{17}	s_{23}
6	s_6	s_{12}	s_{18}	s_{24}

Daraus folgt: $\vec{s}_{V\text{-BLAST}}(3) = (s_{19}, s_{20}, s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24})$.

Lsg.: Aufgabe 42 a) ct'd.

- **D-BLAST:** Verteilung der Symbole durch M -faches, in Zeit-Antennenebene diagonales Wiederholen eines jeden Symbols.
 - ⇒ Jedes Symbol wird ein Mal von jeder Antenne und zu M verschiedenen Zeitpunkten gesendet.
 - ⇒ Sende- und Empfangsdiversität, keine Steigerung der Symbolrate
 - ⇒ Datenratensteigerung durch höherwertige Modulationsverfahren

Antenne	Zeitschlitz								
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9
2	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8
3	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7
4	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6
5	-	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
6	-	-	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4

Es ergibt sich: $\vec{s}_{\text{D-BLAST}}(3) = (s_9, s_8, s_7, s_6, s_5, s_4)$.

Lsg.: Aufgabe 42 a) ct'd.

- **D-BLAST:** Verteilung der Symbole durch M -faches, in Zeit-Antennenebene diagonales Wiederholen eines jeden Symbols.
 - ⇒ Jedes Symbol wird ein Mal von jeder Antenne und zu M verschiedenen Zeitpunkten gesendet.
 - ⇒ Sende- und Empfangsdiversität, keine Steigerung der Symbolrate
 - ⇒ Datenratensteigerung durch höherwertige Modulationsverfahren

Antenne	Zeitschlitz								
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9
2	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8
3	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7
4	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6
5	-	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
6	-	-	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4

Es ergibt sich: $\vec{s}_{D-BLAST}(3) = (s_9, s_8, s_7, s_6, s_5, s_4)$.

Lsg.: Aufgabe 42 a) ct'd.

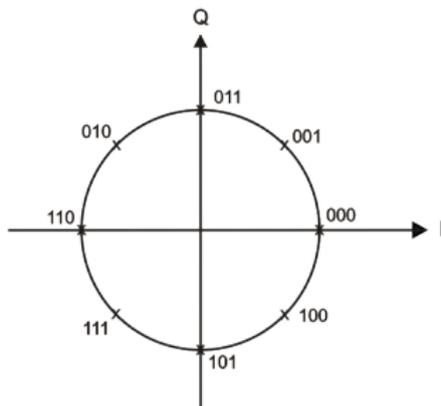
- **D-BLAST:** Verteilung der Symbole durch M -faches, in Zeit-Antennenebene diagonales Wiederholen eines jeden Symbols.
 - ⇒ Jedes Symbol wird ein Mal von jeder Antenne und zu M verschiedenen Zeitpunkten gesendet.
 - ⇒ Sende- und Empfangsdiversität, keine Steigerung der Symbolrate
 - ⇒ Datenratensteigerung durch höherwertige Modulationsverfahren

Antenne	Zeitschlitz								
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9
2	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8
3	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7
4	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6
5	-	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
6	-	-	-	-	-	s_1	s_2	s_3	s_4

Es ergibt sich: $\vec{s}_{\text{D-BLAST}}(3) = (s_9, s_8, s_7, s_6, s_5, s_4)$.

Aufgabe 42 ct'd [H2010]

Gegeben sei das folgende 8-PSK Signalraumdiagramm, bei dem alle Signalpunkte auf dem Einheitskreis liegen.



Die Bitfolge (010 110 100 101) soll mit Hilfe des gegebenen Signalraumdiagramms moduliert und anschließend unter Verwendung des Alamouti-Verfahrens übertragen werden.

Aufgabe 42 ct'd [H2010]

Alamouti-Schema:

	Zeitschlitz	
Antenne	1	2
1	s_1	$-s_2^*$
2	s_2	s_1^*

- b) Ordnen Sie den Bitfolgen die bei der Modulation entstehenden komplexen Signale zu.
- c) Geben Sie für die ersten vier Zeitschlitz die jeweils von Antenne 1 bzw. Antenne 2 gesendeten Signale an.
- d) Kann durch Verwendung des Alamouti-Codes die Übertragungsrate vergrößert werden?

$$\frac{2 \text{ Symbole}}{2 \text{ Zeitschlitz}} = 1 \frac{\text{Symbol}}{\text{Zeitschlitz}}$$

- \Rightarrow Symbolrate bleibt gleich
- Erzeugung von Sendediversität
- Aufgrund des durch die Sendediversität erhöhten SNR kann evtl. ein höherstufiges Modulationsverfahren verwendet werden und so die Datenrate gesteigert werden.

$$\frac{2 \text{ Symbole}}{2 \text{ Zeitschlitz}} = 1 \frac{\text{Symbol}}{\text{Zeitschlitz}}$$

- \Rightarrow Symbolrate bleibt gleich
- Erzeugung von Sendediversität
- Aufgrund des durch die Sendediversität erhöhten SNR kann evtl. ein höherstufiges Modulationsverfahren verwendet werden und so die Datenrate gesteigert werden.

Aufgabe 43 [H2010]

- a) Geben Sie für ein UMTS-System mit 8 Nutzern die teilnehmerspezifischen Spreizcodes an.
- b) Nennen Sie die wesentlichen Eigenschaften von OVVSF-Folgen.
- c) Eine Basisstation sendet die Infolge $(1, 1)$ an einen Nutzer mit der Spreizfolge $(1, 1, 1, 1)$ und die Infolge $(-1, 1)$ an einen Nutzer mit der Spreizfolge $(1, -1, 1, -1)$. Geben Sie die Empfangsfolge an.
- d) Nutzer 1 befindet sich in unmittelbarer Nähe zur Basisstation, während Nutzer 2 so weit von dieser entfernt ist, dass die Signallaufzeit in etwa einer Chipdauer entspricht. Warum kann die Basisstation die Daten nicht richtig entspreizen, und was kann man dagegen tun?

- b)
 - Codes auf unterschiedlichen Zweigen des OVVSF-Codebaums sind orthogonal zueinander
 - Diese können auch eine unterschiedliche Länge besitzen und daher für variable Spreizfaktoren eingesetzt werden.

- d)
 - OVVSF Codes sind nur bei synchronem Empfang (Anfang der Folgen zum gleichen Zeitpunkt) orthogonal zueinander
 - Damit dies gilt müssen die Codes im Uplink in Abhängigkeit der Signallaufzeiten der Teilnehmer verzögert werden (*time advance*, Rahmensynchronisation)

- b)
 - Codes auf unterschiedlichen Zweigen des OVSF-Codebaums sind orthogonal zueinander
 - Diese können auch eine unterschiedliche Länge besitzen und daher für variable Spreizfaktoren eingesetzt werden.
- d)
 - OVSF Codes sind nur bei synchronem Empfang (Anfang der Folgen zum gleichen Zeitpunkt) orthogonal zueinander
 - Damit dies gilt müssen die Codes im Uplink in Abhängigkeit der Signallaufzeiten der Teilnehmer verzögert werden (*time advance*, Rahmensynchronisation)

Aufgabe 43 [H2010]

- e) Gegeben ist das in folgender Abbildung dargestellte CDMA-OFDM-System. Die Spreizfolge $c(m)$ hat die Länge 8, das OFDM-System nutzt 24 Träger. Findet die Spreizung im Frequenz- oder im Zeitbereich statt?

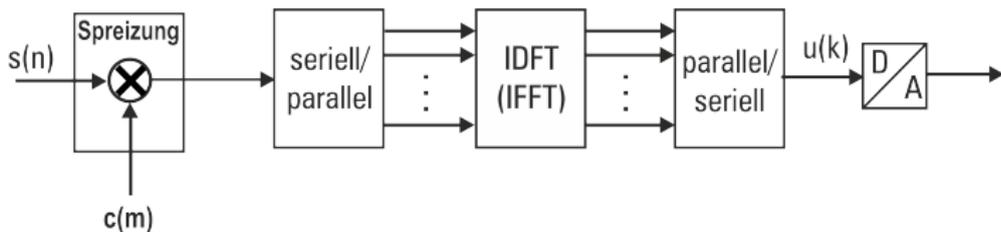


Abbildung: CDMA-OFDM-System

- f) Das System unterstützt eine Datenrate von 500 kbit/s und verwendet als Modulation BPSK. Geben Sie die Dauer T_N eines OFDM-Symbols und die Gesamtbandbreite an.