ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG

Algorithmen für drahtlose Netzwerke

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

CoNe Freiburg

IIF
INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Wiederholung

- **Multiplex-Verfahren**
  - Raummultiplexverfahren
  - *Frequenzmultiplexverfahren*
  - Zeitmultiplexverfahren
  - Codemultiplexverfahren
  - Multiple-Input Multiple-Output (nächste Vorlesung)
- **Modulation**
  - *Amplituden-Modulation*
  - *Phasen-Modulation*
  - Frequenz-Modulation

Prinzip von OFDM

- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)**
  - Signale werden in parallele Signalströme aufgeteilt
  - Parallele Signale werden auf Trägerwellen verschiedener Frequenzen Phasen/Amplituden moduliert
    - z.B. 16-QAM
  - Die Trägersignale werden zusammengefasst und gleichzeitig gesendet
- **Sonderform der Frequenz-Multiplex-Verfahren**
- **Die Trägerwellen verwenden orthogonale Frequenzen:**
  - Frequenzen f, 2f, 3f, 4f, 5f, ...

Wiederholung: Komplexe Zahlen

- **i: imaginäre Zahl mit**
  - $i^2 = -1$
- **Komplexe Zahl ist lineare Kombinaton aus Realteil a und Imaginärteil b**
  - $z = a + bi$
- **Rechenregeln:**
  - $(a+bi)+(c+di) = (a+c) + (b+d)\,i$
  - $(a+bi)\,(c+di) = (ac - bd) + (ad + bc)\,i$
  - $1/\,(a+b\,i) = (a-bi)/(a^2+b^2)$
- **Komplex konjugierte Zahl**
  - $(a+bi)^* = (a - bi)$

Potenzierung komplexer Zahlen

- **Wichtige Gleichung:**
  - $e^{i\pi} = -1$
  - $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$
- **Exponentation einer komplexen Zahl**
  - $e^{a+bi} = e^a e^{bi} = e^a (\cos b + i \sin b)$
- **Also**
  - Realteil von $e^{i\varphi}$: $\mathrm{Re}(e^{i\varphi}) = \cos \varphi$
  - Imaginärteil von $e^{i\varphi}$: $\mathrm{Im}(e^{i\varphi}) = \sin \varphi$

Äquivalente Darstellungen der FFT

- **Realzahlendarstellung**
  - Sinus und Cosinus-Funktionen der einzelnen Frequenzen

$$g(x) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k cos\frac{2\pi kt}{T} + b_k sin\frac{2\pi kt}{T}$$

- **Berechnung der Inversen durch Integralprodukt mit Cosinus/Sinus**

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\cos(2\pi nft)dt$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T g(t)\sin(2\pi nft)dt$$

- **Komplexe Darstellung**
  - Realteil der Exponentialfunktion der verschiedenen Frequenzen

$$f(x) = \sum_{k=0}^{N-1} z_k\ e^{i2\pi kt/T}$$

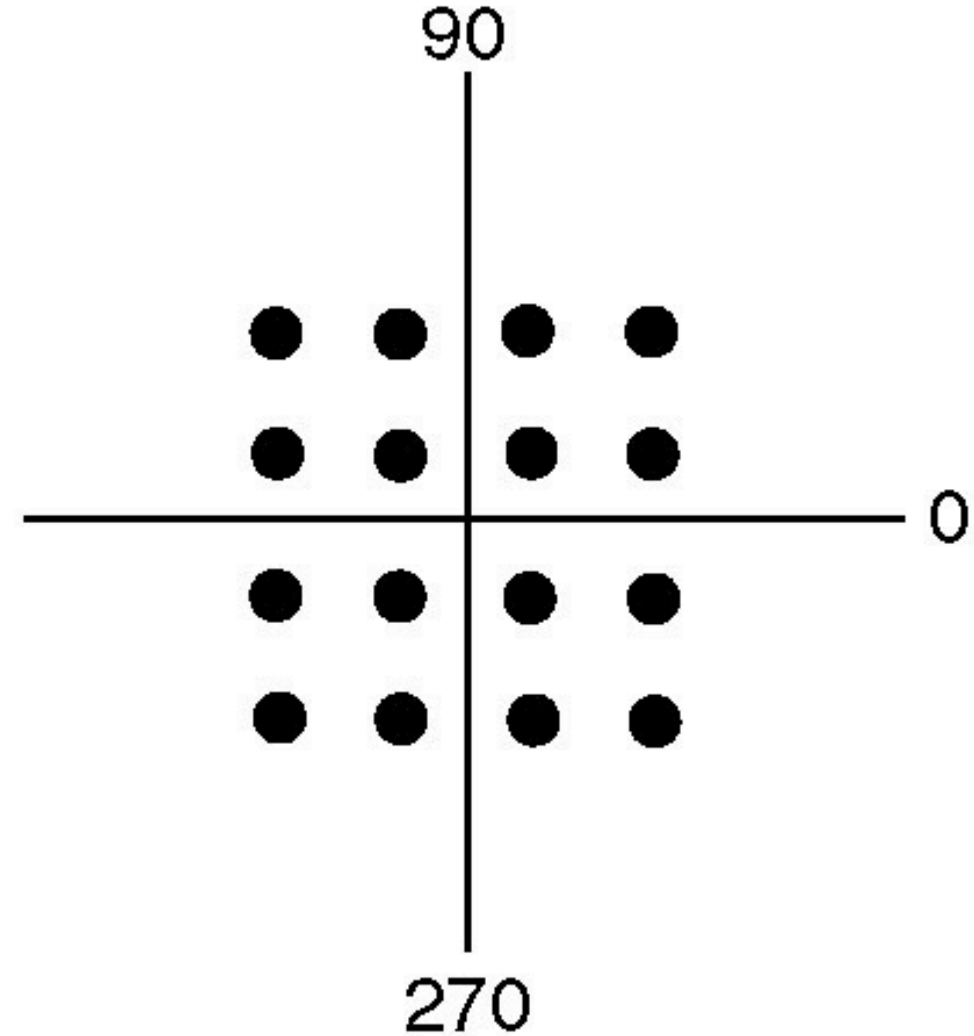
- **Berechnung der Inversen durch Integral des Produkts mit der komplex konjugierten Trägerwelle**

$$z_k = \frac{1}{T}\int_0^T \left(e^{i2\pi kt/T}\right)^* f(x)dt$$

Vorteil der komplexen Darstellung

- **Jedes Symbol des QAM kann direkt als komplexe Zahl dargestellt werden**

$$f(x) = \sum_{k=0}^{N-1} z_k \; e^{i2\pi kt/T}$$



Anwendungen OFDM

- **Drahtgebunden**
  - Breitband-Internet (ADSL, VDSL)
  - Kommunikation über Stromnetze (Power line communication)
- **Drahtlos**
  - WLAN: 802.11 a,g,n
  - Terrestrisches digitales Fernsehen: DVB-T
  - Mobilfunk
    - 802.16 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
  - WPAN 802.15.3a

Vorteile und Nachteile

- **Vorteile**
  - Hohe Bandbreiten bei schlechten SINR
  - Einfaches und effizientes Verfahren
  - Bewährte Technologie
  - Robust gegen Multiple Path Fading
  - Effiziente Verwendung des Frequenzbands
- **Nachteile**
  - Anfällig für Doppler-Effekt
  - Hoher Stromverbrauch
  - Synchronisation verringert Effizienz

ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG

Algorithmen für drahtlose Netzwerke

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG