

MIMO-Konzepte im Mobilfunkstandard LTE

Hendrik Vogt

23. Januar 2012

Inhalt

Einführung

Empfangsdiversität

- Maximum Ratio Combining (MRC)

- Equal Gain Combining (EGC)

- Selection Combining (SC)

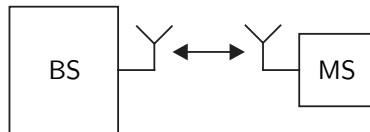
Sendediversität

- Space-Frequency Block Codes (SFBC)

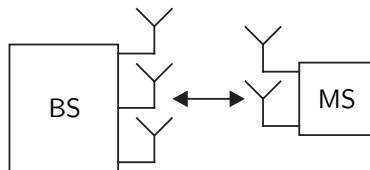
- Cyclic Delay Diversity (CDD)

Ausblick

Was ist MIMO?



SISO-System (Single-Input,
Single-Output)

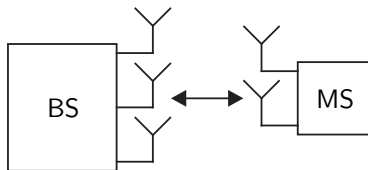


MIMO-System (Multiple-Input,
Multiple-Output)

- ▶ MIMO-Systeme sind Mehrantennensysteme
- ▶ Theoretisch entwickelt seit Mitte der 1990er Jahre
- ▶ LTE erster Mobilfunk-Standard mit systematischer Nutzung

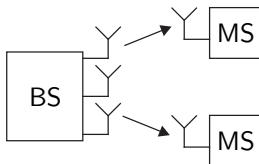
Einzelnutzer vs. Mehrnutzer

Einzelnutzer

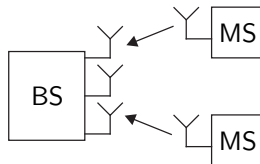


Punkt-zu-Punkt Verbindung

Mehrnutzer-Szenarien



Mehrnutzer-Downlink: Broadcast Channel (BC)



Mehrnutzer-Uplink: Multiple Access Channel (MAC)

Warum MIMO?

Diversitätsgewinn (*diversity gain*)

- ▶ Reduktion der negativen Auswirkungen des Mobilfunkkanals
- ▶ Senkung der mittleren Bitfehlerrate

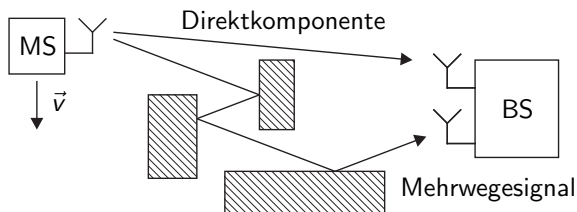
Gruppengewinn (*array gain*)

- ▶ Voraussetzung: kohärentes Zusammenführen mehrerer Empfangssignale
- ▶ Effektives SNR steigt linear mit Anzahl der Antennen

Multiplexgewinn (*multiplexing gain*)

- ▶ Erhöhung der Datenrate durch parallele Datenströme
- ▶ Bei mehreren Nutzern: Ressource Raum wird genutzt für SDMA (Space Division Multiple Access)

Fading im Mobilfunkkanal



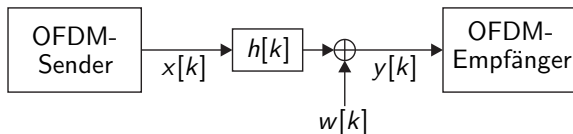
Mehrwegeausbreitung im Mobilfunkkanal

Fading:

Fluktuation der Signalstärke über kurze Distanzen oder Zeitintervalle im Mobilfunkkanal.

- ▶ Mehrwegesignale überlagern sich konstruktiv und destruktiv
- ▶ Dopplerverschiebung durch bewegte Mobilstation

LTE-Systemmodell



Eigenschaften

- ▶ Alle Signale sind bandbegrenzt, zeitdiskret im äquivalenten Basisband
- ▶ Kanalmodell: Rayleigh-Fading: $h[k] \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_h^2)$
- ▶ Rauschmodell: AWGN $w[k] \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_w^2)$
- ▶ Zyklisches Präfix ist vorhanden

$$y[k] = x[k] \odot h[k] + w[k]$$

 DFT

$$y_n = x_n \cdot h_n + w_n \quad 0 \leq n \leq N - 1$$

Inhalt

Einführung

Empfangsdiversität

- Maximum Ratio Combining (MRC)

- Equal Gain Combining (EGC)

- Selection Combining (SC)

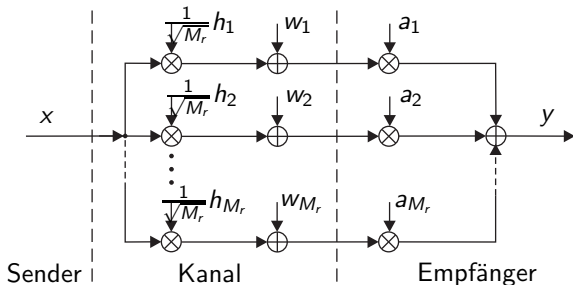
Sendediversität

- Space-Frequency Block Codes (SFBC)

- Cyclic Delay Diversity (CDD)

Ausblick

Übersicht



Annahmen

- ▶ Eine Sendeantenne, M_r Empfangsantennen
- ▶ Alle empfangenen Signale sind perfekt zeit- und frequenzsynchronisiert
- ▶ Der Kanal ist bekannt

Ziel

- ▶ Empfangssignale sollen über Parameter a_i optimal kombiniert werden

Maximum Ratio Combining (MRC)

- ▶ MRC-Verfahren maximiert das mittlere SNR am Empfänger
- ▶ Bestimmung der Parameter a_i

$$y = \sum_{i=1}^{M_r} a_i \left(\frac{1}{\sqrt{M_r}} x \cdot h_i + w_i \right)$$

$$\begin{aligned} SNR_{lin} &= \frac{P_{Y_S}}{P_{Y_N}} = \frac{\frac{\sigma_x^2}{M_r} \left| \sum_{i=1}^{M_r} a_i h_i \right|^2}{\sigma_w^2 \sum_{i=1}^{M_r} |a_i|^2} \\ &= \frac{\sigma_x^2}{M_r \sigma_w^2} \sum_{i=1}^{M_r} |h_i|^2 \underbrace{\frac{\left| \sum_{i=1}^{M_r} a_i h_i \right|^2}{\sum_{i=1}^{M_r} |a_i|^2 \sum_{i=1}^{M_r} |h_i|^2}}_{\leq 1} \end{aligned}$$

- ▶ Optimale Parameter: $a_i = h_i^*$ $1 \leq i \leq M_r$

Equal Gain Combining (EGC)

- ▶ Suboptimales Verfahren
- ▶ Keine genaue Kanalkennntnis wird benötigt

Kanalkoeffizient

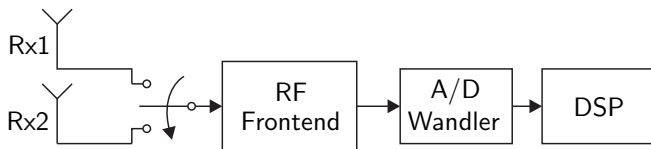
$$h_i = r_i e^{j\Theta_i}$$

Parameterwahl

$$a_i = e^{-j\Theta_i} \quad \text{mit} \quad |a_i| = 1$$

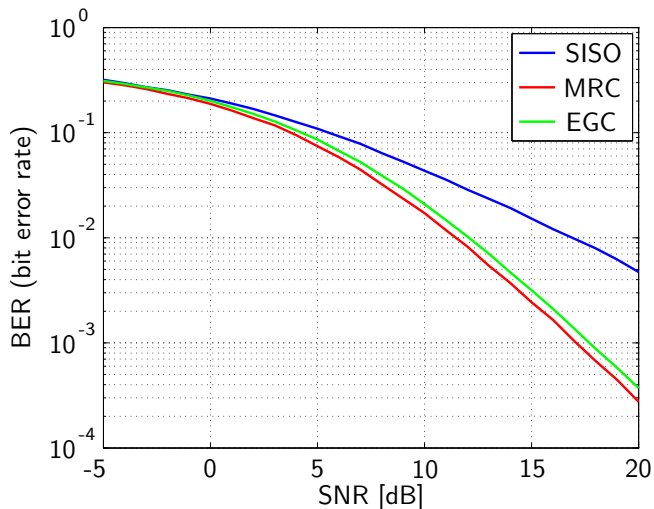
- ▶ Nur die Phase des Kanals wird berücksichtigt
- ▶ Weniger Diversitätsgewinn als beim MRC-Verfahren

Selection Combining (SC)



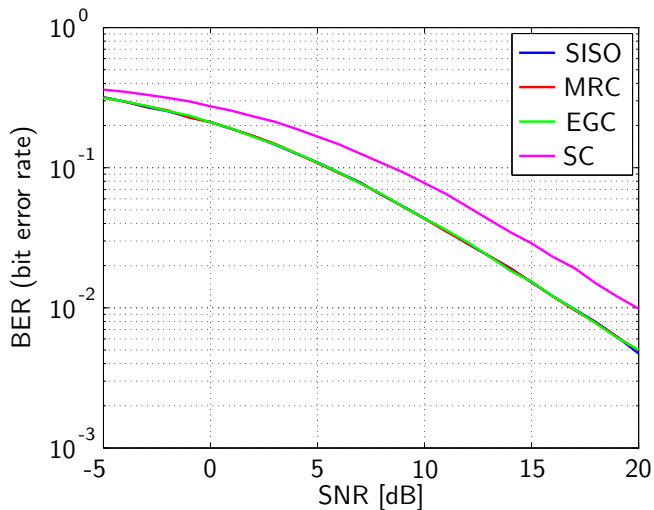
- ▶ Die Signalstärke wird an allen Antennen laufend gemessen
- ▶ Antenne mit dem höchsten Wert wird zugeschaltet
- ▶ Es wird nur ein Empfangspfad benötigt

Simulationen



Bitfehlerkurven für $M_r = 2$. Alle Kanäle sind vollständig unkorreliert.

Simulationen



Bitfehlerkurven für $M_r = 2$. Alle Kanäle sind gleich.

Inhalt

Einführung

Empfangsdiversität

Maximum Ratio Combining (MRC)

Equal Gain Combining (EGC)

Selection Combining (SC)

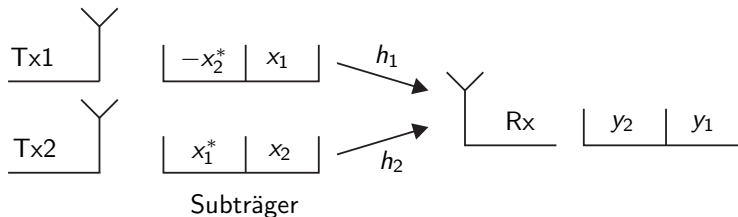
Sendediversität

Space-Frequency Block Codes (SFBC)

Cyclic Delay Diversity (CDD)

Ausblick

Space Frequency Block Codes (SFBC)



- ▶ Basiert auf Space-Time Block Codes (STBC) für $M_t = 2$, auch *Alamouti*-Schema genannt
- ▶ Voraussetzung: Kanalkoeffizienten müssen über zwei benachbarte Subträger gleich bleiben

$$y_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1 h_1 + x_2 h_2) + w_1$$

$$y_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(-x_2^* h_1 + x_1^* h_2) + w_2.$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}$$

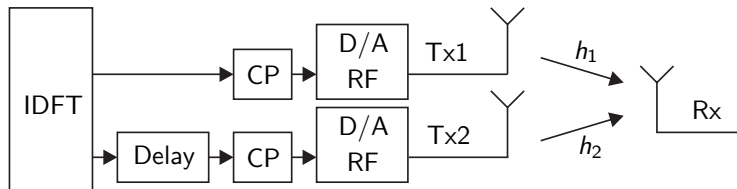
Space-Frequency Block Codes (SFBC)

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \underbrace{\begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}} = \mathbf{H}^H \mathbf{y} &= \begin{bmatrix} h_1^* & h_2 \\ h_2^* & -h_1 \end{bmatrix} \mathbf{y} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} |h_1|^2 + |h_2|^2 & 0 \\ 0 & |h_1|^2 + |h_2|^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

- ▶ Datensymbole x_1 und x_2 sind entkoppelt
- ▶ Es stellt sich ein Diversitätsgewinn ein
- ▶ Nutzung von weiteren Empfangsantennen bringt zusätzlichen Diversitätsgewinn

Cyclic Delay Diversity (CDD)



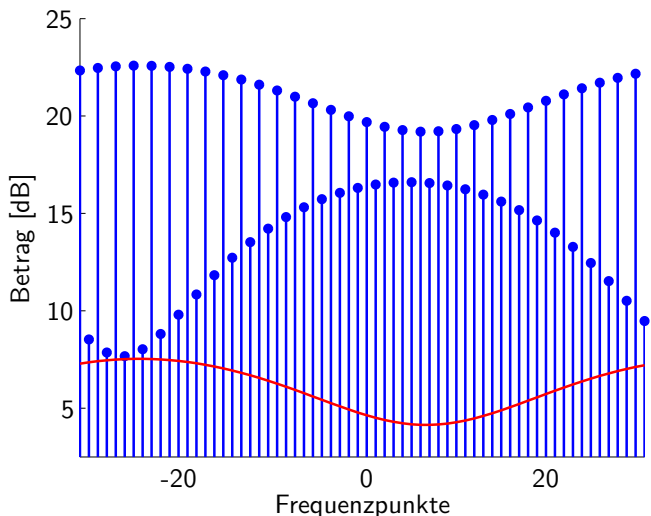
Cyclic Delay Diversity (CDD) für $M_t = 2$.

$$y[k] = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (x[k] \odot h_1[k] + x[k - D] \odot h_2[k]) + w[k]$$

\circ DFT
 \bullet

$$y_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (x_n \cdot h_{1,n} + x_n e^{-j\Phi n} \cdot h_{2,n}) + w_n$$

Cyclic Delay Diversity (CDD)



Cyclic Delay Diversity (CDD) für $N_{FFT} = 64$ und $M_t = 2$. Phasenhub $\Phi = \pi$.

Tabelle: Zusammenfassung der MIMO-Konzepte in LTE

Kategorie	Verfahren	M_t	M_r
Empfangsdiversität	Maximum Ratio Combining (MRC)	1	2-4
	Equal Gain Combining (EGC)	1	2-4
	Selection Combining (SC)	1	2-4
Sendediversität	Space Frequency Block Codes (SFBC)	2,4	1-4
	Cyclic Delay Diversity (CDD)	2-4	2-4
Raummultiplex	Offener Raummultiplex	2-4	2-4
	Geschlossener Raummultiplex	2-4	2-4
	Multi-User MIMO	2-4	2-4