

IMPLEMENTIERUNG EINES UWB-LOKALISIERUNGsalGORITHMUS IN C++ UND MATLAB SOWIE ERPROBUNG UND ANALYSE DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Sebastian Sczyslo

sebastian.sczyslo@ikt.uni-hannover.de

11. September 2007



- Motivation

● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht

● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden

● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:

● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus

● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus



● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus
 - ★ Positionsbestimmung für einen Haushaltsroboter



● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus
 - ★ Positionsbestimmung für einen Haushaltsroboter
- ▶ Problem bilden sogenannte Non-Line of Sight Szenarien

● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus
 - ★ Positionsbestimmung für einen Haushaltsroboter
- ▶ Problem bilden sogenannte Non-Line of Sight Szenarien

● Lösungsvorschlag

Verwendung von Ultrabreitbandtechnologie und Mehrfachantennensystemen ⇒ BeamLoc-Algorithmus



● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus
 - ★ Positionsbestimmung für einen Haushaltsroboter
- ▶ Problem bilden sogenannte Non-Line of Sight Szenarien

● Lösungsvorschlag

Verwendung von Ultrabreitbandtechnologie und Mehrfachantennensystemen \Rightarrow BeamLoc-Algorithmus

● Ziel dieser Arbeit

simulative Auseinandersetzung mit dem BeamLoc-Algorithmus:



● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus
 - ★ Positionsbestimmung für einen Haushaltsroboter
- ▶ Problem bilden sogenannte Non-Line of Sight Szenarien

● Lösungsvorschlag

Verwendung von Ultrabreitbandtechnologie und Mehrfachantennensystemen \Rightarrow BeamLoc-Algorithmus

● Ziel dieser Arbeit

- simulative Auseinandersetzung mit dem BeamLoc-Algorithmus:
- ▶ Implementierungskonzept



● Motivation

- ▶ GPS-System zeigt, dass großes Interesse im kommerziellen Bereich an der Nutzung von Navigationssystemen besteht
- ▶ Versagen und zu geringe Genauigkeit der Sattelitennavigation im Inneren von Gebäuden
- ▶ interessante Anwendungen für Indoor-Lokalisierung:
 - ★ Navigation eines Autos zu einem Parkplatz im Parkhaus
 - ★ Tracking von wichtigen Geräten in einem Krankenhaus
 - ★ Positionsbestimmung für einen Haushaltsroboter
- ▶ Problem bilden sogenannte Non-Line of Sight Szenarien

● Lösungsvorschlag

Verwendung von Ultrabreitbandtechnologie und Mehrfachantennensystemen ⇒ BeamLoc-Algorithmus

● Ziel dieser Arbeit

simulative Auseinandersetzung mit dem BeamLoc-Algorithmus:

- ▶ Implementierungskonzept
- ▶ Erprobung und Analyse zum Aufzeigen von Grenzen ⇒ Verbesserungsmöglichkeiten

Inhalt

Inhalt

- 1 Grundlagen

Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus

Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung



Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays

Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 Simulation

Inhalt

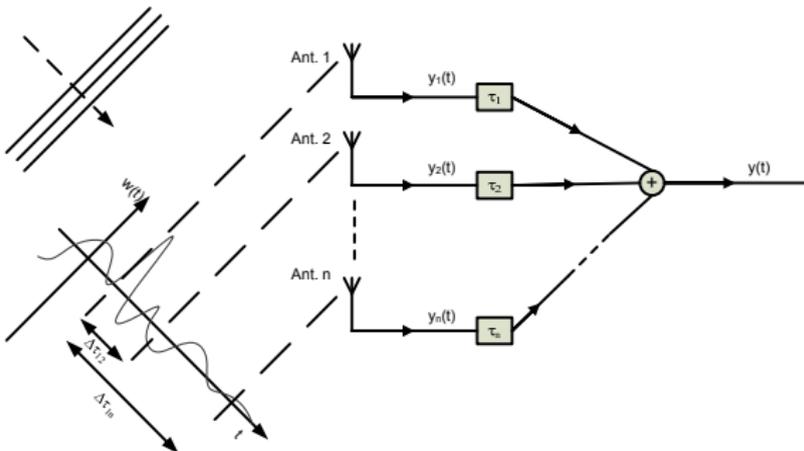
- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 Simulation
- 6 Zusammenfassung

Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 Simulation
- 6 Zusammenfassung

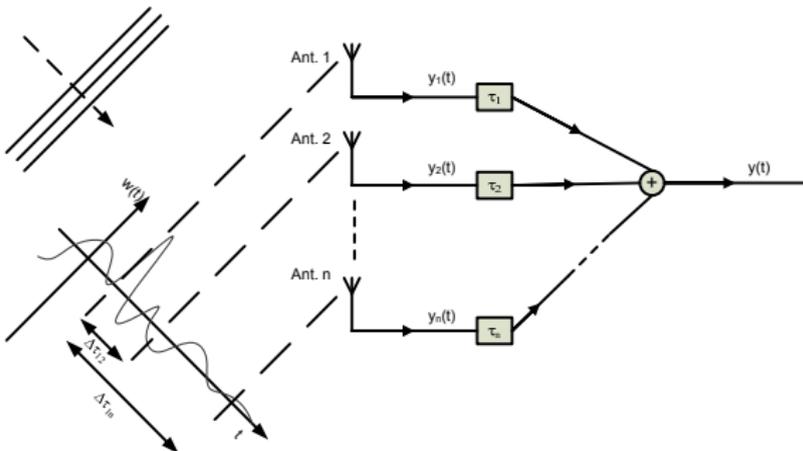


DELAY- AND SUM-BEAMFORMER





DELAY- AND SUM-BEAMFORMER

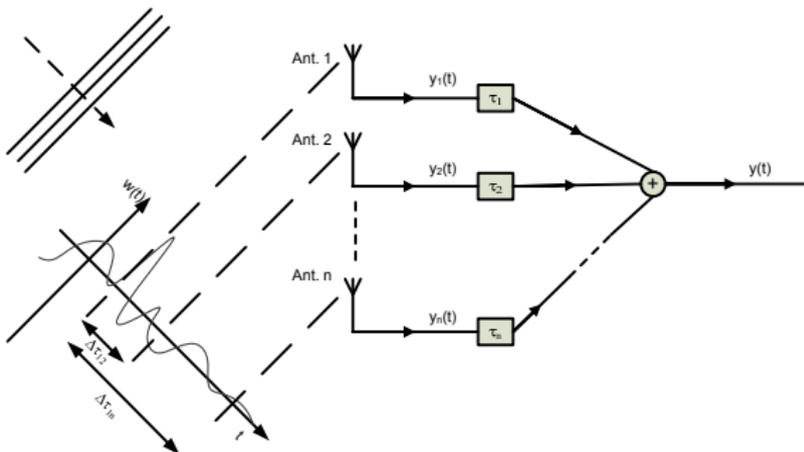


Verzögerungszeit allgemein:

$$\tau_i = -\tau_w = -\frac{d}{c_0} = -\frac{P_i \cdot n}{c_0}$$



DELAY- AND SUM-BEAMFORMER



Verzögerungszeit allgemein:

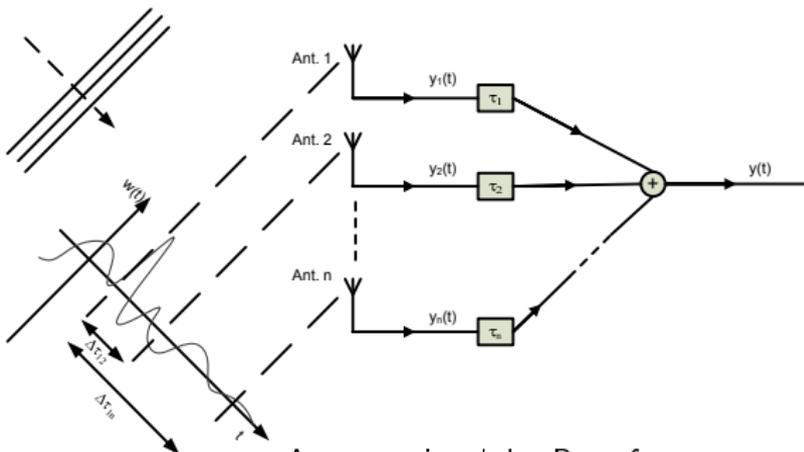
$$\tau_i = -\tau_w = -\frac{d}{c_0} = -\frac{\mathbf{P}_i \cdot \mathbf{n}}{c_0}$$

Verzögerungszeit zirkulares Array:

$$\begin{aligned} \tau_i &= -\frac{r}{c_0} \cos(\varphi - \varphi_i) \\ &= -\frac{r}{c_0} \cos\left(\varphi - \frac{i-1}{N} 2\pi\right) \end{aligned}$$



DELAY- AND SUM-BEAMFORMER



Ausgangssignal des Beamformers:

$$\begin{aligned}
 b(t, \phi, \varphi) &= \sum_{i=1}^n y_i(t) * \delta(t - \tau_{w,i}) * \delta(t + \tau_i) \\
 &= \sum_{i=1}^n y_i(t - \tau_{w,i} + \tau_i)
 \end{aligned}$$

Verzögerungszeit allgemein:

$$\tau_i = -\tau_w = -\frac{d}{c_0} = -\frac{\mathbf{P}_i \cdot \mathbf{n}}{c_0}$$

Verzögerungszeit zirkuläres Array:

$$\begin{aligned}
 \tau_i &= -\frac{r}{c_0} \cos(\varphi - \varphi_i) \\
 &= -\frac{r}{c_0} \cos\left(\varphi - \frac{i-1}{N} 2\pi\right)
 \end{aligned}$$



MEHRDEUTIGKEITSPROBLEM AM BEAMFORMERAUSGANG

Ausgangssignal des Beamformers:

$$b(t, \phi, \varphi) = \sum_{i=1}^n y(t - \tau_{w,i} + \tau_i)$$



MEHRDEUTIGKEITSPROBLEM AM BEAMFORMERAUSGANG

Ausgangssignal des Beamformers:

$$b(t, \phi, \varphi) = \sum_{i=1}^n y(t - \tau_{w,i} + \tau_i)$$

Transformation in den Frequenzbereich:

$$B(\omega, \phi, \varphi) = \sum_{i=1}^n Y(\omega) \cdot \exp(-j\omega \Delta \tau_i)$$



MEHRDEUTIGKEITSPROBLEM AM BEAMFORMERAUSGANG

Ausgangssignal des Beamformers:

$$b(t, \phi, \varphi) = \sum_{i=1}^n y(t - \tau_{w,i} + \tau_i)$$

Transformation in den Frequenzbereich:

$$B(\omega, \phi, \varphi) = \sum_{i=1}^n Y(\omega) \cdot \exp(-j\omega \Delta \tau_i)$$

exp-Funktion besitzt eine 2π Periodizität:

- Schmalband: $d_{\max} < \lambda$
- Ultrawideband: es liegt ein Gleichungssystem vor, das heißt im Fall von linear unabhängigen Gleichungen keine Beschränkung des Abstands

BEAMPATTERN DEFINITIONEN

Energie-Beampattern:

$$b(\phi, \varphi) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |b(t, \phi, \varphi)|^2 dt}$$



BEAMPATTERN DEFINITIONEN

Energie-Beampattern:

$$b(\phi, \varphi) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |b(t, \phi, \varphi)|^2 dt}$$

max-Beampattern:

$$b(\phi, \varphi) = \max_t |b(t, \phi, \varphi)|$$

BEAMPATTERN DEFINITIONEN

Energie-Beampattern:

$$b(\phi, \varphi) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |b(t, \phi, \varphi)|^2 dt}$$

max-Beampattern:

$$b(\phi, \varphi) = \max_t |b(t, \phi, \varphi)|$$

double-dB Gain Beampattern:

$$b_{\text{doubledB}}(\phi, \varphi) = \max_{t'} \sqrt{\int_{t'}^{t'+T_p} |b(t, \phi, \varphi)|^2 dt}$$



Betrachtung der Sidelobelevel, wenn gilt $|\Delta\tau_i - \Delta\tau_j| > T_p$:

$$\begin{aligned}
 SLL_{\text{ord}} &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^N |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{N} E_p
 \end{aligned}$$



Betrachtung der Sidelobelevel, wenn gilt $|\Delta\tau_i - \Delta\tau_j| > T_p$:

$$\begin{aligned}
 SLL_{\text{ord}} &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^N |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{N} E_p
 \end{aligned}$$

$$SLL_{\text{doubledB}} = \sqrt{E_p}$$



Betrachtung der Sidelobelevel, wenn gilt $|\Delta\tau_i - \Delta\tau_j| > T_p$:

$$\begin{aligned}
 SLL_{\text{ord}} &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^N |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{N E_p}
 \end{aligned}$$

$$SLL_{\text{ordMax}} = A$$

$$SLL_{\text{doubledB}} = \sqrt{E_p}$$



Betrachtung der Sidelobelevel, wenn gilt $|\Delta\tau_i - \Delta\tau_j| > T_p$:

$$\begin{aligned}
 SLL_{\text{ord}} &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^N |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} |y(t - \tau_{s,i})|^2 dt} \\
 &= \sqrt{NE_p}
 \end{aligned}$$

$$SLL_{\text{ordMax}} = A$$

$$SLL_{\text{doubledB}} = \sqrt{E_p}$$

Betrachtung des Beampattern Maximums:

$$\begin{aligned}
 b_{\text{max}}(\phi, \varphi) &= b(\varphi, \varphi) = NE_p \\
 b_{\text{max,ordMax}}(\phi, \varphi) &= b(\varphi, \varphi) = NA
 \end{aligned}$$



Es folgt für den Gewinn:

$$G_{\text{ord}} = \frac{b_{\text{max}}^2(\phi, \varphi)}{SLL_{\text{ord}}^2} = \left(\frac{NE_p}{\sqrt{NE_p}} \right)^2 = N$$

$$G_{\text{ordMax}} = \frac{b_{\text{max,ordMax}}^2(\phi, \varphi)}{SLL_{\text{ordMax}}^2} = \left(\frac{NA}{A} \right)^2 = N^2$$

$$G_{\text{doubledB}} = \frac{b_{\text{max}}^2(\phi, \varphi)}{SLL_{\text{doubledB}}^2} = \left(\frac{NE_p}{E_p} \right)^2 = N^2$$

Es folgt für den Gewinn:

$$G_{\text{ord}} = \frac{b_{\text{max}}^2(\phi, \varphi)}{SLL_{\text{ord}}^2} = \left(\frac{NE_p}{\sqrt{NE_p}} \right)^2 = N$$

$$G_{\text{ordMax}} = \frac{b_{\text{max,ordMax}}^2(\phi, \varphi)}{SLL_{\text{ordMax}}^2} = \left(\frac{NA}{A} \right)^2 = N^2$$

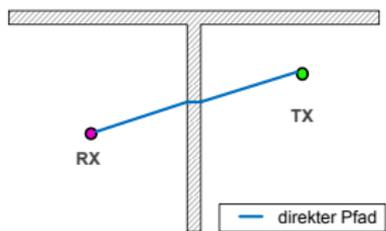
$$G_{\text{doubledB}} = \frac{b_{\text{max}}^2(\phi, \varphi)}{SLL_{\text{doubledB}}^2} = \left(\frac{NE_p}{E_p} \right)^2 = N^2$$

- nachgeschaltete max-Funktion bewirkt eine Steigerung des Gewinns
- double dB Gain Beampattern unanfälliger gegenüber Rauschen

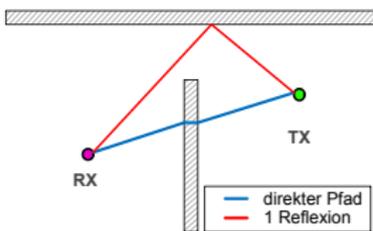
Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 **BeamLoc-Algorithmus**
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 Simulation
- 6 Zusammenfassung

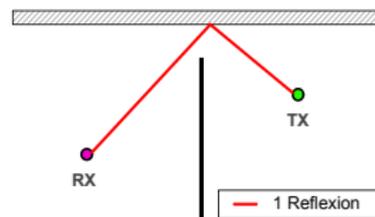
TYPEN VON NON LINE OF SIGHT SZENARIEN



(a) vollständiges NLoS



(b) NLoS mit Reflexion

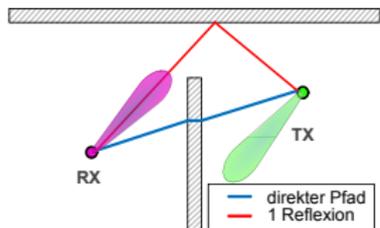


(c) blockiertes NLoS

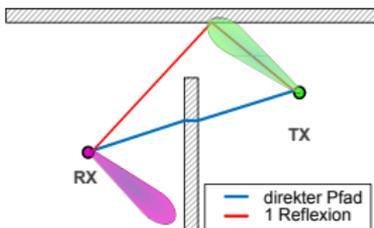


Idee: Angle of Departure und Angle of Arrival sind beim direkten Pfad um 180° versetzt \rightarrow Sende- und Empfangsarray "sehen" in die entgegengesetzte Richtung

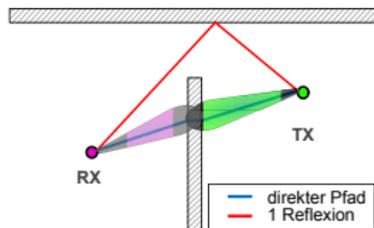
Idee: Angle of Departure und Angle of Arrival sind beim direkten Pfad um 180° versetzt \rightarrow Sende- und Empfangsarray "sehen" in die entgegengesetzte Richtung



(a) RX zeigt in Richtung der Reflexion



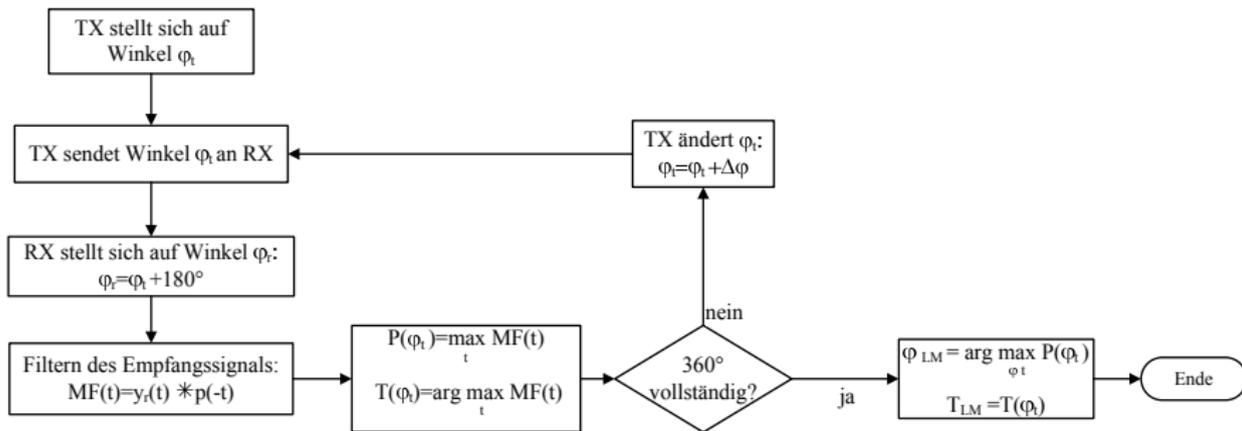
(b) TX zeigt in Richtung der Reflexion



(c) Locked Mode

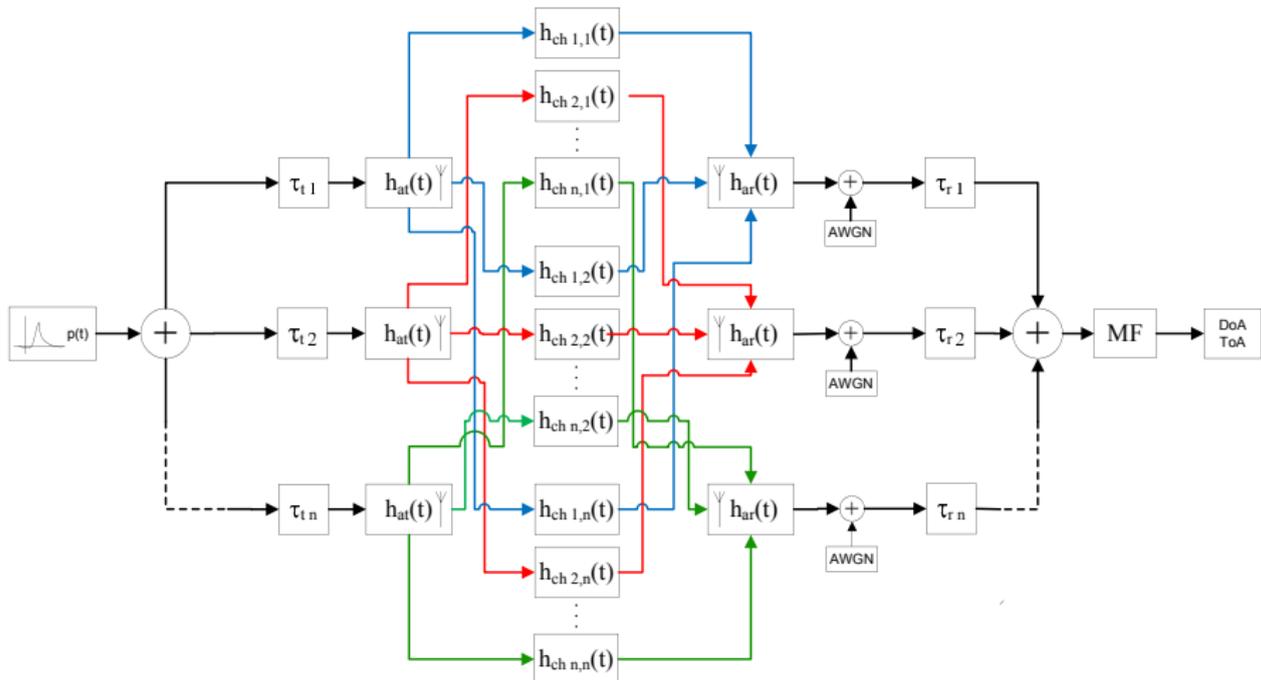


KONZEPT DES BEAMLOC-ALGORITHMUS

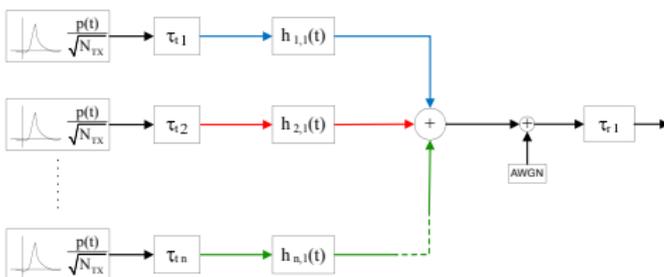




Systemtheoretische Vereinfachung

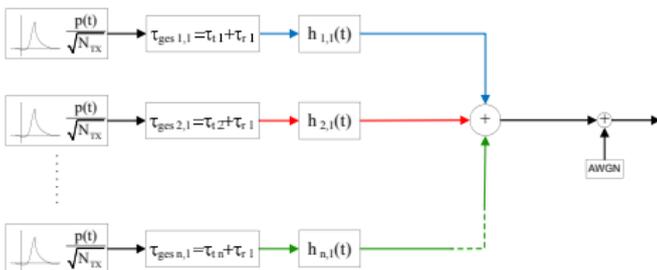
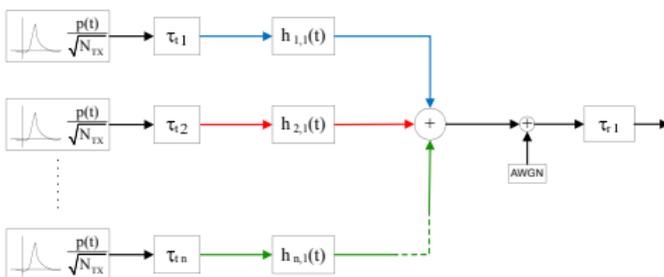


Systemtheoretische Vereinfachung



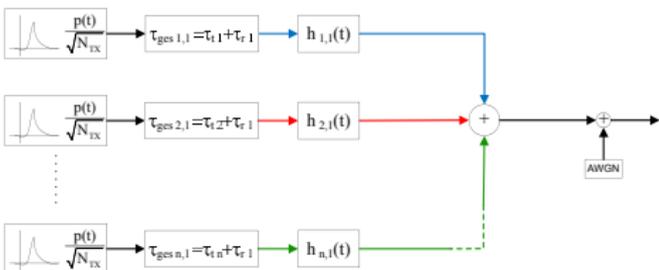
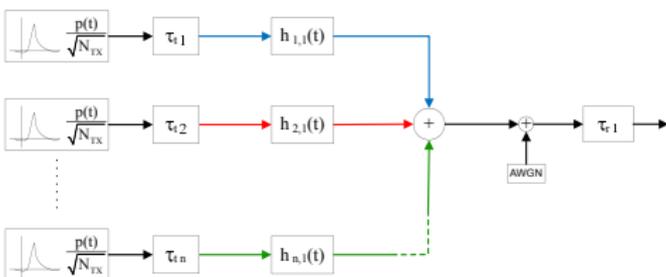


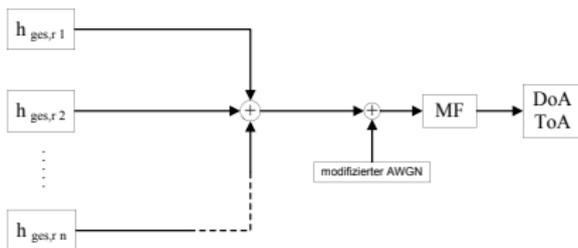
Systemtheoretische Vereinfachung





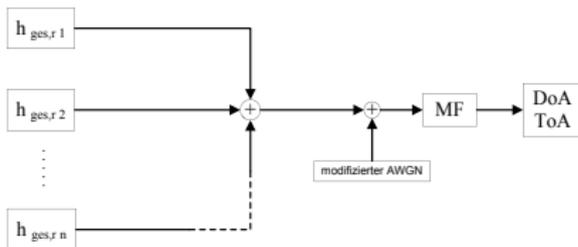
Systemtheoretische Vereinfachung



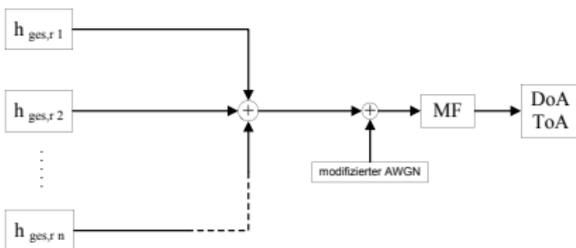




Systemtheoretische Vereinfachung



Systemtheoretische Vereinfachung



Unter Beachtung der sehr großen Bandbreite des Empfängers kann ein AWGN-Kanal approximiert werden





Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 **Implementierung**
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 Simulation
- 6 Zusammenfassung

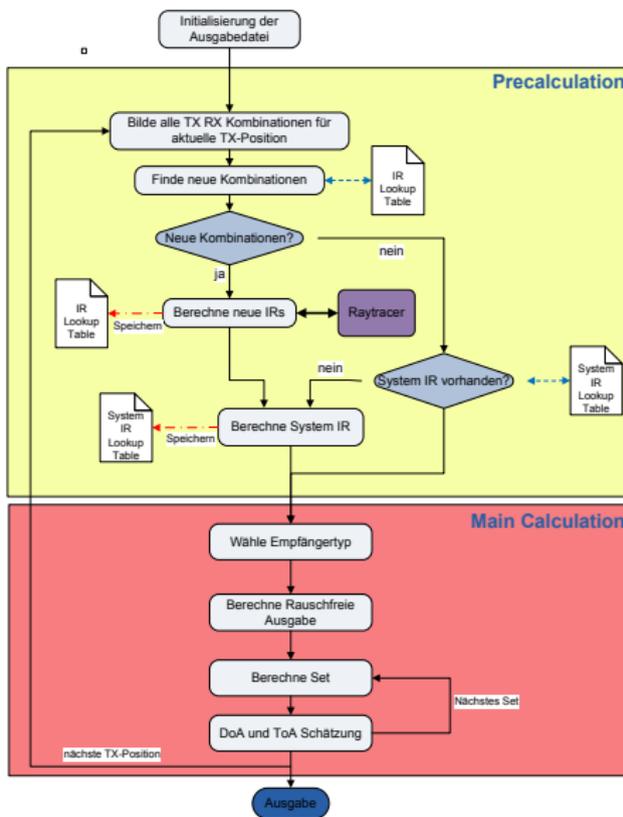


Implementierung ausschließlich mit MATLAB:

- zeitkritische Funktionen liegen bereits hochoptimiert in C bzw. Fortran Code vor
- vorhandene Toolboxen sowie eigene Implementierungen sind bzgl. ihrer Geschwindigkeit bestenfalls in gleicher Größenordnung
- MATLAB's Scripting Sprache ist schneller und sicherer zu programmieren, da z.B. Speicher nicht ausdrücklich allokiert werden muss



Implementierung

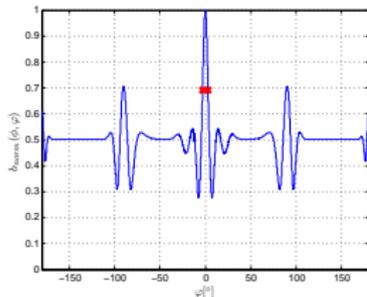
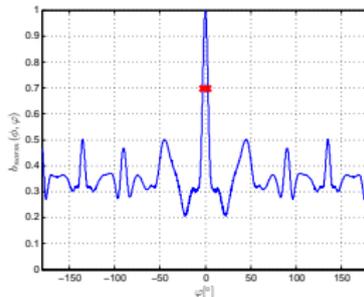
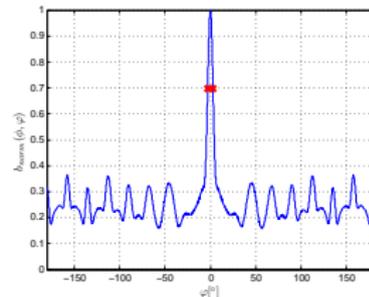


Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 **Analyse des zirkularen Arrays**
- 5 Simulation
- 6 Zusammenfassung



NORMIERTES BEAMPATTERN EINES

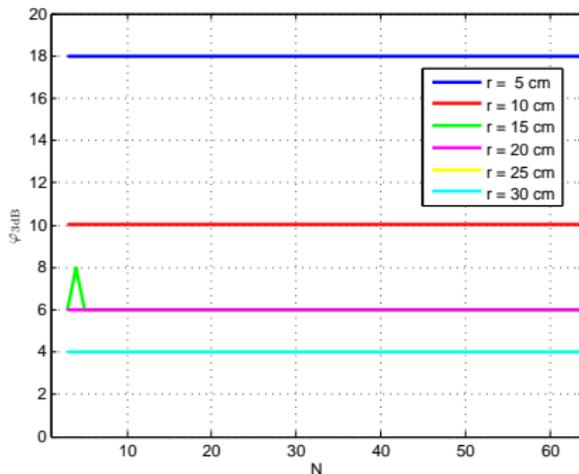
GAUSSPULSES 2.ORDNUNG MIT $T_p = 240$ ps UND $r = 15$ cm(a) $N = 4$ (b) $N = 8$ (c) $N = 16$

Vermutungen

- 3dB-Winkel scheint unabhängig von der Anzahl der Antennen
- Gewinn steigt mit zunehmender Antennenzahl



Analyse der Abhängigkeit des 3dB-Winkels

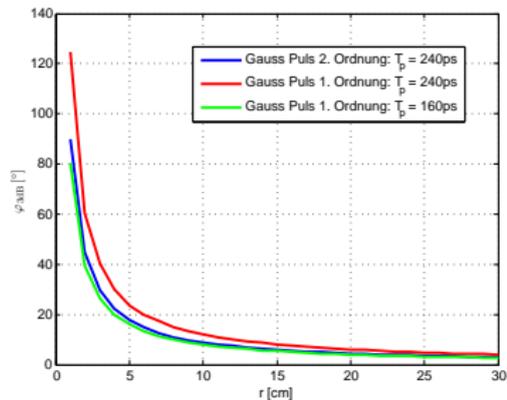


3dB-Winkel ist unabhängig von der Anzahl der Antennen, jedoch abhängig vom Radius des Arrays

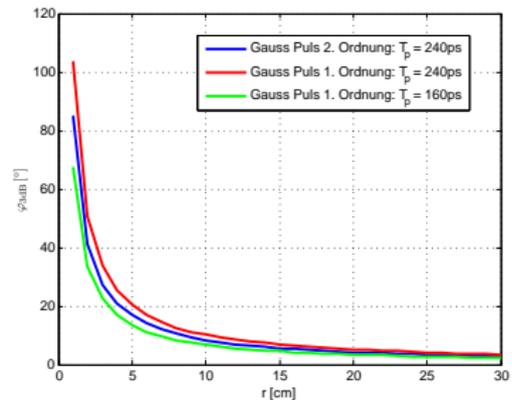


Analyse der Abhängigkeit des 3dB-Winkels

ABHÄNGIGKEIT DES 3dB-WINKELS GEGENÜBER DEM RADIUS FÜR VERSCHIEDENE UWB-PULSE



(a) Energie-Beampattern

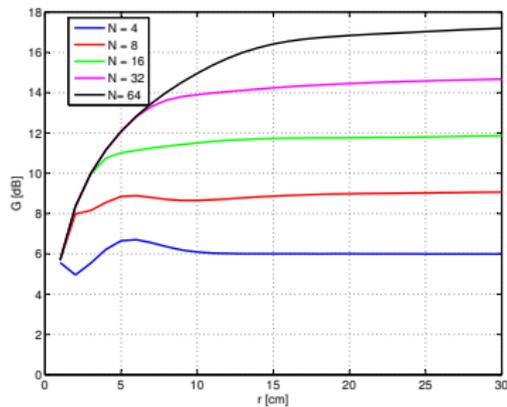


(b) max-Beampattern

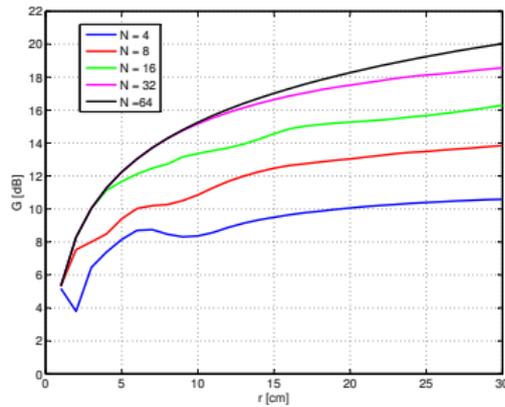


ABHÄNGIGKEIT DES GEWINNS GEGENÜBER VERSCHIEDENEN RADIEN r BEI FESTER ANTENNENANZAHL N FÜR EINEN GAUSSPULS 2.ORDNUNG MIT

$T_p = 240$ ps



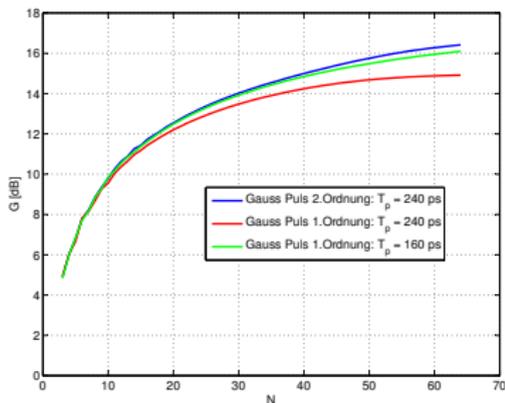
(a) Energie-Beampattern



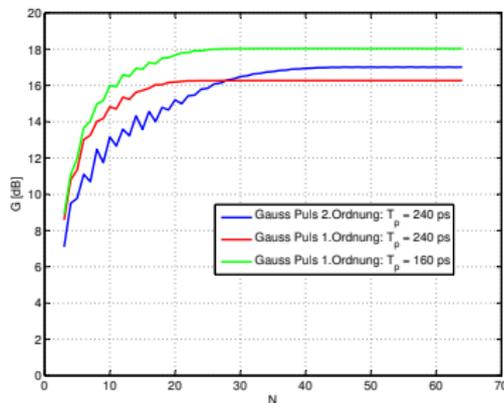
(b) max-Beampattern



ABHÄNGIGKEIT DES GEWINNS GEGENÜBER DER ANTENNENANZAHL N BEI FESTEM RADIUS r FÜR VERSCHIEDENE PULSE



(a) Energie-Beampattern



(b) max-Beampattern

Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 **Simulation**
- 6 Zusammenfassung

PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240$ ps; $A = 2$ V

PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240$ ps; $A = 2$ V
- Rauschlevel: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit analoger Bandbreite von 12.5 GHz $\rightarrow N_{\text{sim}} = -50.2$ dBm

PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240 \text{ ps}$; $A = 2 \text{ V}$
- Rauschlevel: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit analoger Bandbreite von 12.5 GHz $\rightarrow N_{\text{sim}} = -50.2 \text{ dBm}$
- Abtastrate: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit 50 GS/s $\rightarrow t_{\text{step}} = 20 \text{ ps}$

PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240$ ps; $A = 2$ V
- Rauschlevel: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit analoger Bandbreite von 12.5 GHz $\rightarrow N_{\text{sim}} = -50.2$ dBm
- Abtastrate: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit 50 GS/s $\rightarrow t_{\text{step}} = 20$ ps
- Winkelauflösung: 1°



PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240$ ps; $A = 2$ V
- Rauschlevel: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit analoger Bandbreite von 12.5 GHz $\rightarrow N_{\text{sim}} = -50.2$ dBm
- Abtastrate: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit 50 GS/s $\rightarrow t_{\text{step}} = 20$ ps
- Winkelauflösung: 1°
- Höhe der Arrays: 1 m



PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240$ ps; $A = 2$ V
- Rauschlevel: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit analoger Bandbreite von 12.5 GHz $\rightarrow N_{\text{sim}} = -50.2$ dBm
- Abtastrate: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit 50 GS/s $\rightarrow t_{\text{step}} = 20$ ps
- Winkelauflösung: 1°
- Höhe der Arrays: 1 m
- Raytracer: einzelne Frequenz bei $f = 6.85$ GHz

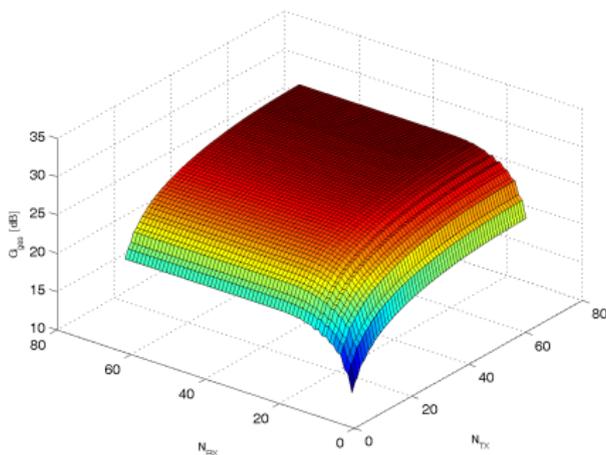


PARAMETER FÜR DIE SIMULATION

- Pulsform: Gaußpuls 2. Ordnung, da TX-Antenne differenzierende Eigenschaft besitzt; FCC-Maske $\rightarrow T_p = 240 \text{ ps}$; $A = 2 \text{ V}$
- Rauschlevel: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit analoger Bandbreite von $12.5 \text{ GHz} \rightarrow N_{\text{sim}} = -50.2 \text{ dBm}$
- Abtastrate: Referenzdaten eines Oszilloskops von Tektronix (DPO 71254) mit $50 \text{ GS/s} \rightarrow t_{\text{step}} = 20 \text{ ps}$
- Winkelauflösung: 1°
- Höhe der Arrays: 1 m
- Raytracer: einzelne Frequenz bei $f = 6.85 \text{ GHz}$
- Radius der Arrays: 15 cm , da Array auf einem fahrbaren Roboter platziert werden muss



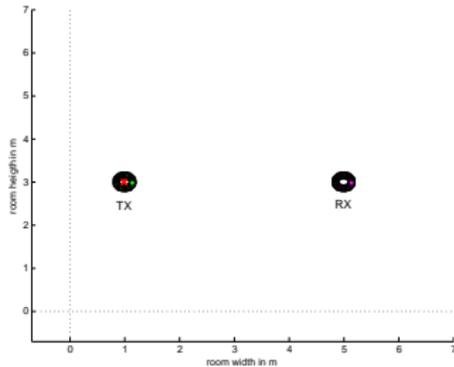
Anzahl der Antennen



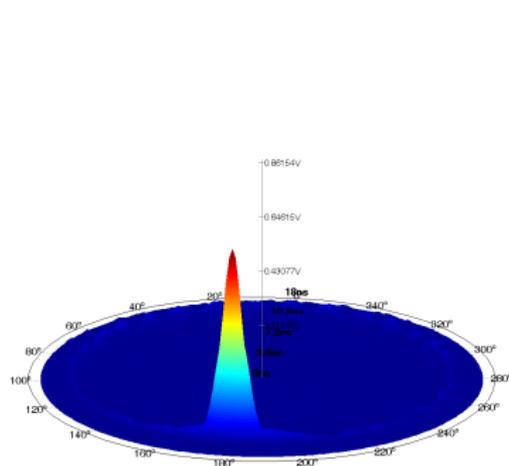
gleiche Anzahl von Antennen auf Sende- und Empfangsseite $\rightarrow N = 32$



LINE OF SIGHT SZENARIO



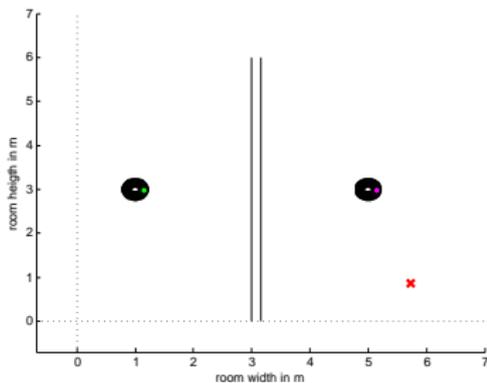
(a) Raumplan



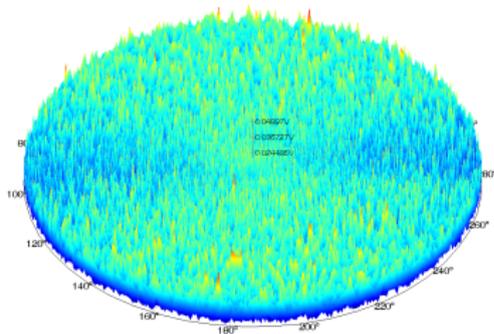
(b) Ergebnis



VOLLSTÄNDIGES NON LINE OF SIGHT SZENARIO



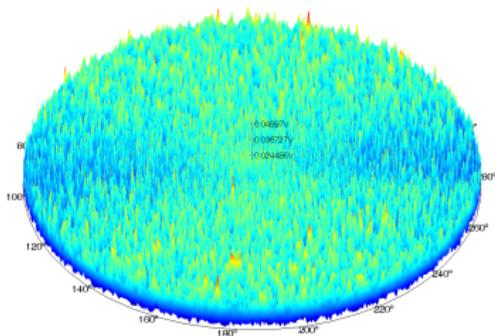
(a) Raumplan



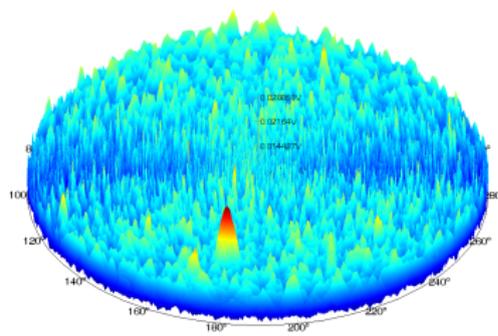
(b) Ergebnis



ERGEBNIS OHNE UND MIT ANGULAR FILTERING



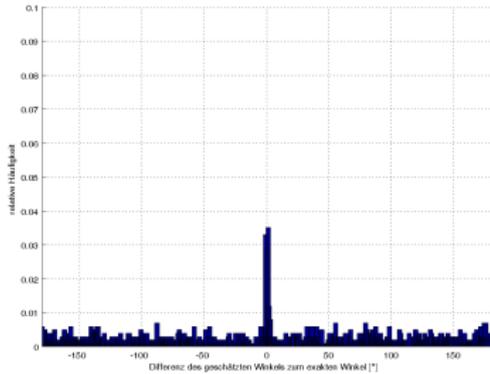
(a) Ergebnis ohne Filtering



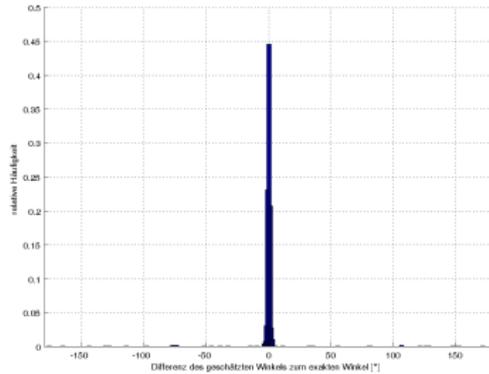
(b) Ergebnis mit Filtering



STATISTISCHER VERGLEICH MIT UND OHNE ANGULAR FILTERING



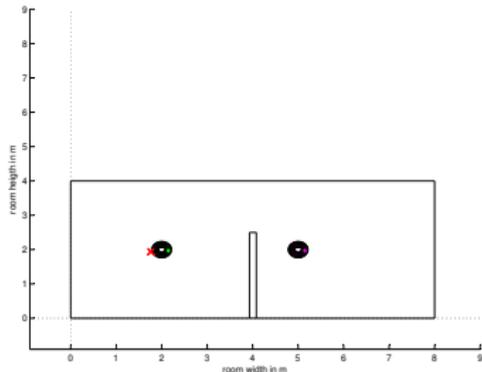
(a) Ergebnis ohne Filtering



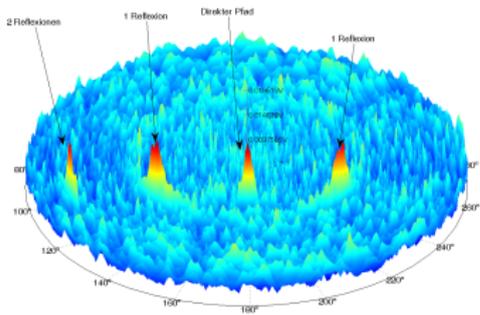
(b) Ergebnis mit Filtering



NON LINE OF SIGHT SZENARIO MIT REFLEXION



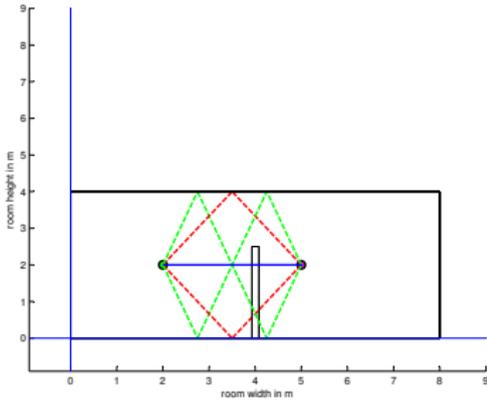
(a) Raumplan



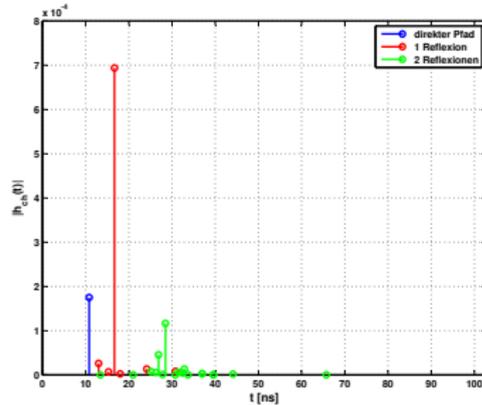
(b) Ergebnis



ERGEBNIS DES RAYTRACERS



(a) Raytracer Pfade

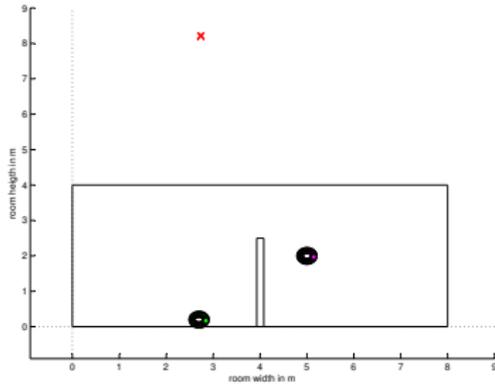


(b) Betrag der Impulsantwort des Raytracers

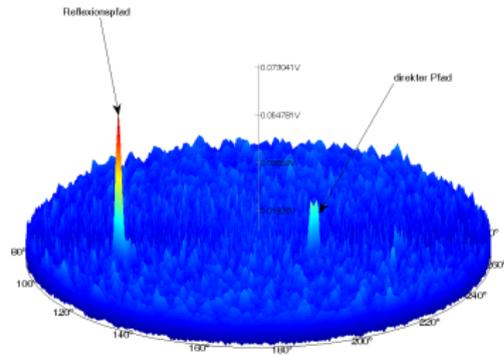


NLoS mit Reflexion

SZENARIO MIT STARKEM REFLEXIONSPFAD



(a) Raumplan



(b) Ergebnis



Inhalt

- 1 Grundlagen
- 2 BeamLoc-Algorithmus
- 3 Implementierung
- 4 Analyse des zirkularen Arrays
- 5 Simulation
- 6 Zusammenfassung

ZUSAMMENFASSUNG

ZUSAMMENFASSUNG

- das System des BeamLoc-Algorithmus wurde systemtheoretisch vereinfacht und implementiert

ZUSAMMENFASSUNG

- das System des BeamLoc-Algorithmus wurde systemtheoretisch vereinfacht und implementiert
- das zirkulare Array wurde näher analysiert

ZUSAMMENFASSUNG

- das System des BeamLoc-Algorithmus wurde systemtheoretisch vereinfacht und implementiert
- das zirkulare Array wurde näher analysiert
 - ▶ 3dB-Winkel ist unabhängig von der Anzahl der Elemente im Array



ZUSAMMENFASSUNG

- das System des BeamLoc-Algorithmus wurde systemtheoretisch vereinfacht und implementiert
- das zirkulare Array wurde näher analysiert
 - ▶ 3dB-Winkel ist unabhängig von der Anzahl der Elemente im Array
 - ▶ Gewinn erreicht ein Maximum und geht in Sättigung ab einer bestimmten Anzahl von Elementen

ZUSAMMENFASSUNG

- das System des BeamLoc-Algorithmus wurde systemtheoretisch vereinfacht und implementiert
- das zirkulare Array wurde näher analysiert
 - ▶ 3dB-Winkel ist unabhängig von der Anzahl der Elemente im Array
 - ▶ Gewinn erreicht ein Maximum und geht in Sättigung ab einer bestimmten Anzahl von Elementen
- ein Filter in Winkelrichtung wurde vorgeschlagen zur Verbesserung der Lokalisierung

ZUSAMMENFASSUNG

- das System des BeamLoc-Algorithmus wurde systemtheoretisch vereinfacht und implementiert
- das zirkulare Array wurde näher analysiert
 - ▶ 3dB-Winkel ist unabhängig von der Anzahl der Elemente im Array
 - ▶ Gewinn erreicht ein Maximum und geht in Sättigung ab einer bestimmten Anzahl von Elementen
- ein Filter in Winkelrichtung wurde vorgeschlagen zur Verbesserung der Lokalisierung
- ein Problemszenario des Algorithmus, welches im Zusammenhang mit Doppelreflexionen auftritt, wurde aufgezeigt

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit