



ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG

Algorithmen für drahtlose Netzwerke

Lokalisation

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



Lokalisierung

▶ **Bestimmung der physikalischen Position oder des logischen Orts**

- Koordinatensystem
- Referenzpunkte
- Absolute oder relative Koordinaten

▶ **Parameter**

- Zentrale oder verteilte Berechnung
- Einsatzbereich

- Innenbereich, Außenbereich, Global

- Informationsquellen

▶ **Metrik**

- Genauigkeit
- Präzision
- Andere Kosten

Informationsquellen

▶ Nachbarschaftsinformation

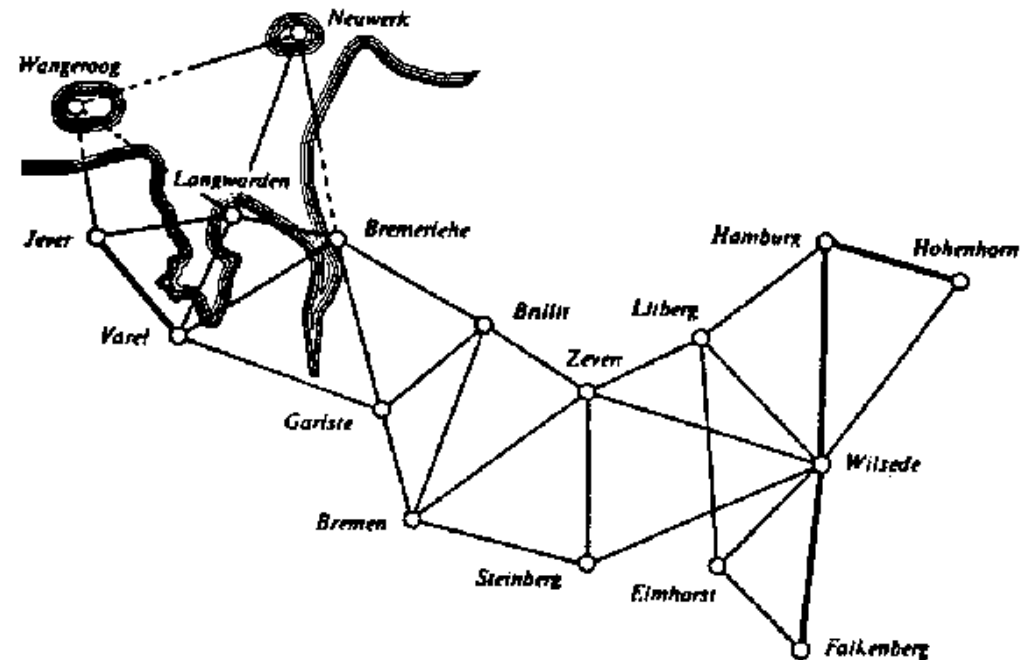
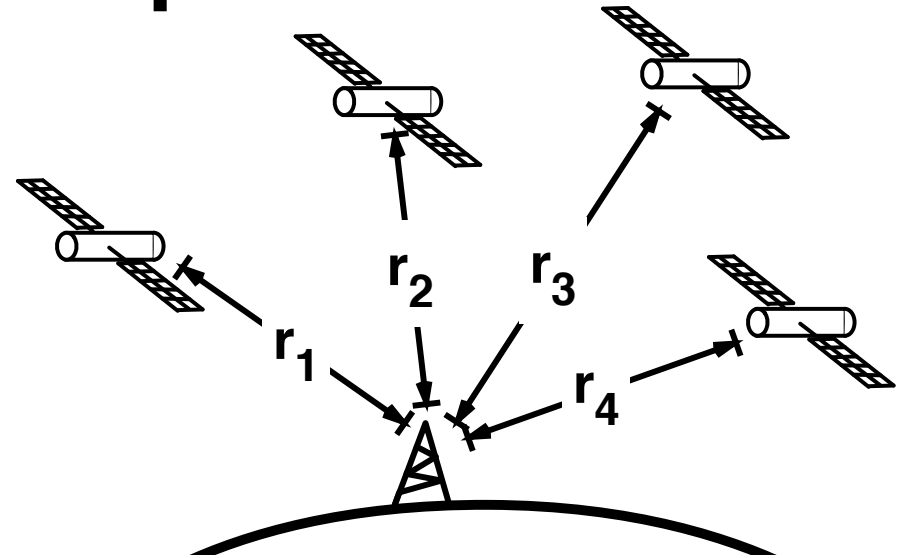
- Reichweite liefert grobe Ortsinformation
 - z.B. GSM/UMTS-Zelle, WLAN-IDs

▶ Triangulisierung und Trilateration

- Winkelunterschiede
- Distanzmessung

▶ Umgebungsanalyse

- Charakteristische „Handschrift“ durch Funkbedingungen in der Umgebung



RSSI

▶ Received Signal Strength Indicator

- Verwendung des Pfadverlusts bei bekannter Sendestärke
- Messung des Empfangsignals

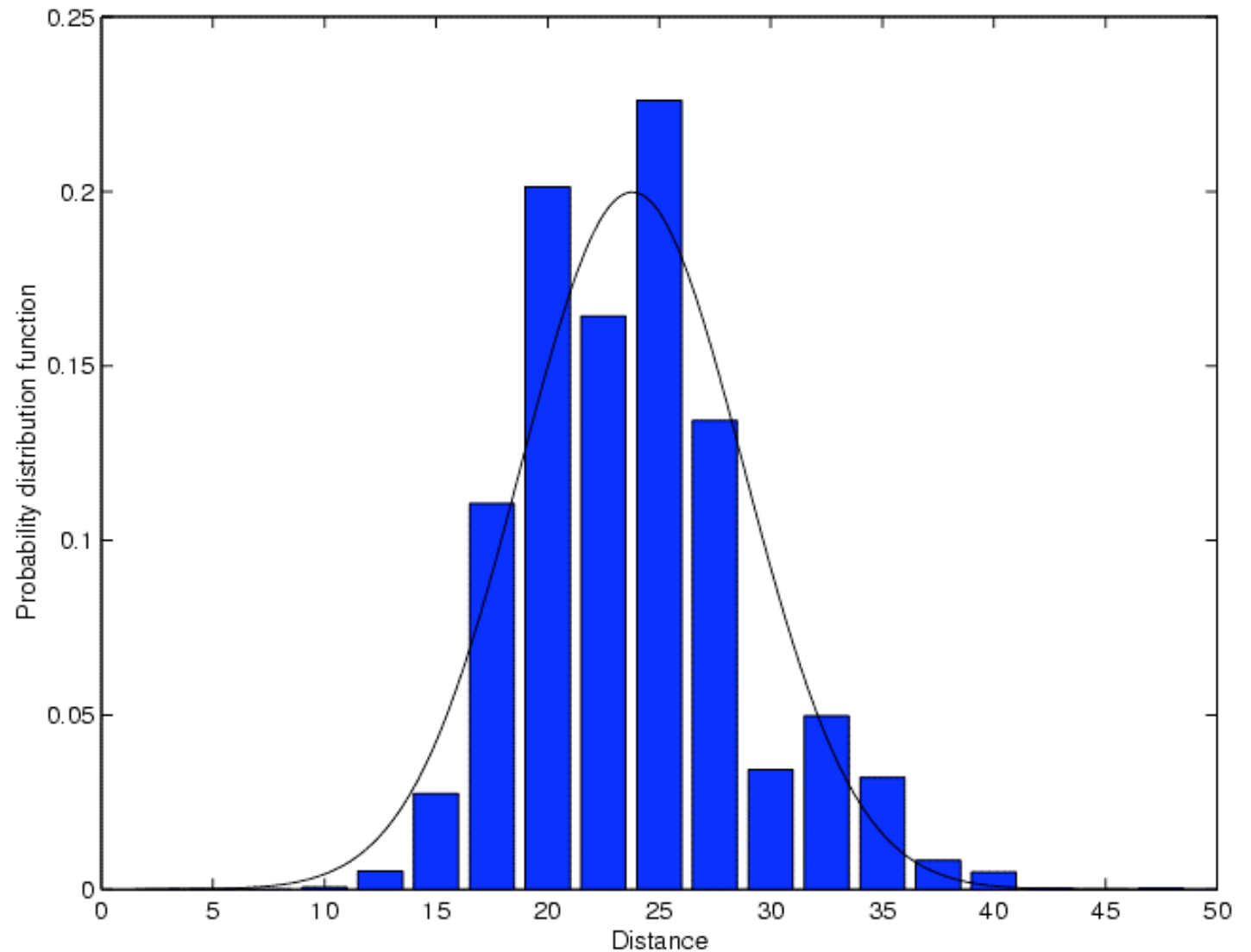
$$P_{\text{recv}} = c \frac{P_{\text{tx}}}{d^\alpha} \Leftrightarrow d = \sqrt[\alpha]{\frac{c P_{\text{tx}}}{P_{\text{recv}}}}$$

- Problem: Hohe Fehlerrate

RSSI

► Problem: hohe Fehlerrate

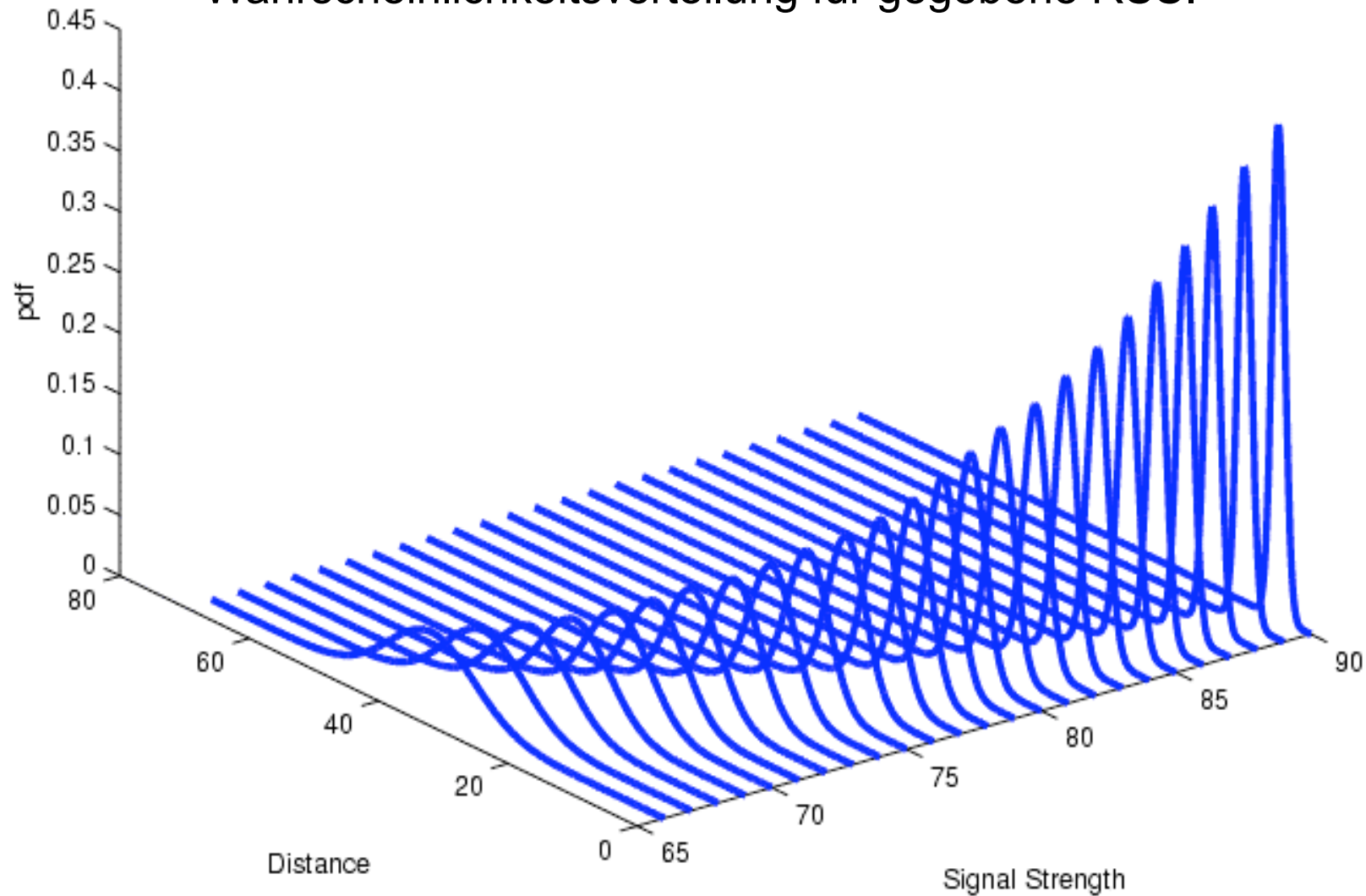
- Wahrscheinlichkeitsverteilung für gegebenen RSSI und Sendestärke



RSSI

► Problem: hohe Fehlerrate

- Wahrscheinlichkeitsverteilung für gegebene RSSI



Time of Arrival

▶ Time of arrival (ToA)

- Übertragungszeit wird gemessen
- ergibt sich aus Quotient:
 - $\text{Übertragungszeit} = \frac{\text{Entfernung}}{\text{Signalgeschwindigkeit}}$

▶ Problem:

- Positionen von Messpunkten (Anker) müssen bekannt sein
- Genaue Zeitmessung
- Uhrensynchronisierung
- Relative Zeitmessung erfordert weiteren Anker

Time Difference of Arrival (ToA)

- ▶ **Zwei verschiedene Signale mit unterschiedlicher Übertragungsgeschwindigkeit**
 - Beispiel: Ultraschall und Funksignal
 - Hauptkomponente Schallgeschwindigkeit
 - Berechnung der unterschiedlichen Ankunftszeiten ergibt Distanz
- ▶ **Probleme:**
 - Kalibrierung
 - Spezielle Hardware notwendig

Bestimmung von Winkeln

- ▶ **Optische Winkelmessung**
 - nur manuell möglich
- ▶ **Laserstrahlen**
 - größtmögliche Genauigkeit
 - Ansteuerung durch drehende Spiegel
- ▶ **Gerichtete Antennen**
 - Drehbar gelagerte Richt- oder Parabolantennen
- ▶ **Smart Antennae (Antennen-Array)**
 - (noch) geringe Präzision (bis zu 1-2 Grad)

Grobe Lokalisierungstechniken

▶ Hop-Distanz

- in dichten Ad-Hoc-Netzwerken oder drahtlosen Sensor-Netzen
- ungefähre Position durch Anzahl der Hops zu Ankerpunkten

▶ Überlappende Verbindungen

- Position ist im Schnittpunkt der empfangenen Sendekreise

▶ Punktlokalisierung im Dreieck

- Bestimmung von Dreiecken von Ankerpunkten
 - in welchem ein Punkt liegt
- Überlappung liefert ungefähre Position

Trilateration

- ▶ **Angenommen die Distanz zu drei Punkten ist gegeben**
- ▶ **Gleichungssystem**
 - (x_i, y_i) : Koordinaten eines Ankerpunkts i ,
 - r_i Distanz zum Ankerpunkt i
 - (x_u, y_u) : unbekannte Koordinaten eines Knoten

$$(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 = r_i^2 \text{ for } i = 1, \dots, 3$$

- ▶ **Problem: Quadratisches Gleichungssystem**
 - Umformungen führen zu lineares Gleichungssystem

Trilateration

- ▶ **Gleichungssystem**

$$(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 = r_i^2 \text{ for } i = 1, \dots, 3$$

- ▶ **Umformung**

$$(x_1 - x_u)^2 - (x_3 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 - (y_3 - y_u)^2 = r_1^2 - r_3^2$$

$$(x_2 - x_u)^2 - (x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 - (y_2 - y_u)^2 = r_2^2 - r_3^2.$$

- ▶ **Ergibt:**

$$2(x_3 - x_1)x_u + 2(y_3 - y_1)y_u = (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2)$$

$$2(x_3 - x_2)x_u + 2(y_3 - y_2)y_u = (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2)$$

Trilateration als lineares Gleichungssystem

► Umformung als Gleichungssystem

$$2 \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix}$$

► Beispiel:

- $(x_1, y_1) = (2, 1)$, $(x_2, y_2) = (5, 4)$, $(x_3, y_3) = (8, 2)$,
- $r_1 = 10^{1/2}$, $r_2 = 2$, $r_3 = 3$

$$2 \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 3 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 64 \\ 22 \end{bmatrix}$$

$\rightarrow (x_u, y_u) = (5, 2)$

Einige verfügbare Lokalisierungssysteme

- ▶ **Satellitengestützt**
 - NAVSTAR-GPS
 - GLONASS
 - Galileo
- ▶ **Landfunkstellen**
 - LORAN-C
 - Mobilfunkzellen
 - WLAN-Identifikation

Verbesserungsmöglichkeiten

- ▶ **Kombination verschiedener Methoden**
 - Magnetfeld
 - Luftdruck
 - Echolot
- ▶ **Kalman-Filter**
 - Erweiterung von Markov-Filter
- ▶ **Berücksichtigung der Messwerte von Bewegungssensoren**
 - Gyroskope
 - Beschleunigungssensoren



ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG

Algorithmen für drahtlose Netzwerke

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

