



# **Simulation von infrastrukturellen Umfelderfassungslösungen zur Systemkonzeptbewertung**

## **Masterarbeit**

erstellt von cand. mach. Viviane Bremer  
Braunschweig, der 7. Dezember 2018

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Fahrzeugtechnik  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay  
Betreuer: Adrian Sonka



Aufgabenstellung (Original bzw. Kopie)

## **Sperrklausel**

Die Ausgabe der vorliegenden Bachelor/Master/Studien/Projektarbeit mit dem Titel ist ausschließlich unter Genehmigung der Institutsleitung zulässig.

Ort, den Datum

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelor/Master/Studien/Projektarbeit mit dem Titel, ohne unerlaubte fremde Hilfe oder Beratung und nur unter Verwendung der angegebenen wissenschaftlichen Hilfsmittel angefertigt habe.

Ort bei Unterschrift, den Datum bei Unterschrift

---

Name des Autors

## **Kurzfassung**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Infrastrukturelle Umfelderkennung</b>	<b>2</b>
2.1 Sensoren zur Umfelderkennung . . . . .	2
2.1.1 Ultraschall . . . . .	2
2.1.2 Radar . . . . .	3
2.1.3 Lidar . . . . .	4
2.1.4 Kamera . . . . .	5
2.2 Algorithmen zur Datenverarbeitung . . . . .	5
2.2.1 Datenfusion . . . . .	5
2.2.2 Objekterkennung . . . . .	5
2.2.3 Tracking . . . . .	5
2.3 Sensoreinsatz im Fahrzeug . . . . .	5
2.4 Sensoreinsatz in der Infrastruktur . . . . .	5
<b>3 Anforderungen an ein Software-Tool zur Sensorbewertung</b>	<b>6</b>
<b>4 Software-Tool zur Sensorbewertung</b>	<b>7</b>
4.1 Programmstruktur/Architektur . . . . .	7
4.2 Implementierung . . . . .	7
<b>5 Evaluation</b>	<b>8</b>
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>9</b>
<b>Literatur</b>	<b>10</b>
<b>Anhang</b>	<b>11</b>

---

## **Abbildungsverzeichnis**



## **Tabellenverzeichnis**

---

## **Abkürzungsverzeichnis**

## Symbolverzeichnis

$\Delta h_{\text{ax}}$	$[\text{m/s}^2]$	Überschwingweite
------------------------	------------------	------------------

# 1 **Einleitung**

## 2 Infrastrukturelle Umfelderkennung

Dieses Kapitel stellt zunächst die bestehenden Sensoren zur Umfelderkennung vor und erläutert deren Funktionsprinzipien. Anschließend wird auf die Algorithmen zur Datenfusion, Objekterkennung und Tracking eingegangen. Auf diesen Grundlagen aufbauend wird in den Kapiteln 2.3 und 2.4 aufgezeigt, wie dies im Fahrzeug und auch in der Infrastruktur genutzt wird.

### 2.1 Sensoren zur Umfelderkennung

Die Sensoren zur Umfelderkennung werden in entfernungsgebende und bildgebende Sensoren unterschieden. Zu ersterem gehören der Ultraschall, der Radar und der Lidar. Zu letzterem die Kamera mit dem sichtbaren und dem Infrarotspektrum. Im Folgenden werden die einzelnen Sensorprinzipien erläutert.

#### 2.1.1 Ultraschall

Als Ultraschall werden die Schallfrequenzen ab 20kHz bezeichnet. Sie gehören zu den Frequenzen, die für das menschliche Ohr nicht hörbar sind. Die Messung mit Ultraschall gehört zu den Laufzeitmessungen. Ein Sender emittiert Schallwellen, die schließlich von Objekten reflektiert werden. Mit Hilfe der gemessenen Laufzeit  $\Delta t$  bis das Echo wieder am Sender ankommt kann der Abstand  $d$  zum gemessenen Objekt bestimmt werden:

$$d = \frac{c\Delta t}{2}. \quad (1)$$

Hierbei ist  $c_S$  die Schallgeschwindigkeit. Da die Strecke zwischen Sender und Objekt zweimal durchlaufen wird, muss diese halbiert werden um den tatsächlichen Abstand zu erhalten.

Die Reichweite des Ultraschallsensors ist abhängig von der ausgesendeten Schallintensität  $I_S$ , da die Schallintensität zum Einen in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  und zum Anderen durch den Reflexionsgrad  $\rho$  des gemessenen Objektes abnimmt. Somit

ergibt sich, mit der effektiven Reflexionsfläche  $\sigma$  und bezogen auf den Normabstand  $r_1$ , die reflektierte Schallintensität

Schallreflexion  
 $\rho$ ?

$$I_{refl} = \sigma I_s \left( \frac{r_1}{2r} \right)^2. \quad (2)$$

Damit ein Objekt erkannt wird muss das Empfangssignal oberhalb des Rauschens liegen, d.h.  $\leq 10\text{dB}$  sein.

### 2.1.2 Radar

Radar steht für **radio detection and ranging** und nutzt die elektromagnetischen Wellen im Radiofrequenzbereich. Für den Automobilbereich sind die 24GHz und 77GHz Frequenzbänder reserviert.

Quellen!

Im Gegensatz zum Ultraschall breiten sich hier die Wellen nicht in alle Raumrichtungen gleichmäßig aus sondern werden mit Hilfe einer sogenannten Richtantenne gebündelt. Je nach Richtcharakteristik ergibt sich der Antennengewinn  $G$ , der Einfluss auf die Reichweite nimmt. Die Empfangsleistung für ein reflektiertes Radarsignal ergibt sich zu

$$P_R = 10^{-2kr/1000} \cdot \sigma \cdot \lambda^2 \cdot G^2 \cdot V_{mp}^2 \cdot P_{total} / (4\pi)^3 r^4 \quad (3)$$

mit dem Rückstreuquerschnitt

$$\sigma_{plate} = 4\pi \frac{A^2}{\lambda^2}. \quad (4)$$

Gleichung 3 berücksichtigt außerdem sogenannte Signalleistungsschüttler mit dem Faktor  $V_{mp}^2$ ,  $0 \leq V_{mp} \leq 2$ .

Bei der Abstandsmessung wird neben der Laufzeitbestimmung der Doppler-Effekt genutzt. Der Doppler-Effekt besagt, dass sich die Frequenz bei der Reflexion in Abhängigkeit von der Änderung des Abstandes  $\dot{r}$  ändert. Diese Frequenz wird auch

Dopplerfrequenz  $f_{Doppler}$  genannt und ergibt sich mit der Trägerfrequenz  $f_0$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  folgendermaßen:

$$f_{Doppler} = -2\dot{r}f_0/c \quad (5)$$

Bei einer Annäherung ( $\dot{r} < 0$ ) ist diese positiv und beim Entfernen negativ. Stehende Objekte können mit diesem Effekt jedoch nicht gemessen werden.

### 2.1.3 Lidar

Das Lidar (light detection and ranging) gehört zu den optischen Messverfahren und nutzt Laserpulse. Der Abstand wird, wie beim Ultraschall, mittels Laufzeitmessung bestimmt. Die empfangene Lichtintensität ist insbesondere von der Größe und vom Reflexionsgrad  $\rho$  des gemessenen Objektes abhängig. So bestimmt sie sich für ein großes Objekt mit

$$P_r = \frac{\rho \cdot A_t \cdot H \cdot T^2 \cdot P_t}{\pi^2 \cdot R^3 \cdot (Q_v/4)(\Phi/2)^2} \quad (6)$$

und für ein kleines Objekt mit

$$P_r = \frac{\rho \cdot A_t \cdot H \cdot T^2 \cdot P_t}{\pi^2 \cdot R^4 \cdot (Q_v Q_h/4)(\Phi/2)^2}. \quad (7)$$

#### **2.1.4 Kamera**

### **2.2 Algorithmen zur Datenverarbeitung**

#### **2.2.1 Datenfusion**

#### **2.2.2 Objekterkennung**

#### **2.2.3 Tracking**

### **2.3 Sensoreinsatz im Fahrzeug**

### **2.4 Sensoreinsatz in der Infrastruktur**



### **3 Anforderungen an ein Software-Tool zur Sensorbewertung**

## **4 Software-Tool zur Sensorbewertung**

### **4.1 Programmstruktur/Architektur**

### **4.2 Implementierung**

---

## 5 Evaluation

---

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

## **Literatur**

## Anhang

### Hier sind zusätzliche Infos einzubringen

Das Beispiel für eine Tabbing Umgebung zeigt, dass es möglich ist, mehrere Zeilen mit dem gleichen Einzug darzustellen:

$$v_{Start} = 120 \text{ km/h} = 33,3 \text{ m/s}$$

$$v_{End} = 80 \text{ km/h} = 22,2 \text{ m/s}$$

$$v_{Diff} = 40 \text{ km/h} = 11,1 \text{ m/s}$$