



# **Simulation von infrastrukturellen Umfelderfassungslösungen zur Systemkonzeptbewertung**

## **Masterarbeit**

erstellt von cand. mach. Viviane Bremer  
Braunschweig, der 10. 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>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 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 . . . . .	6
2.2.1 Datenfusion . . . . .	6
2.2.2 Objekterkennung . . . . .	6
2.2.3 Tracking . . . . .	6
2.3 Sensoreinsatz im Fahrzeug . . . . .	6
2.4 Sensoreinsatz in der Infrastruktur . . . . .	6
<b>3 Anforderungen an ein Software-Tool zur Sensorbewertung</b>	<b>7</b>
<b>4 Software-Tool zur Sensorbewertung</b>	<b>8</b>
4.1 Programmstruktur/Architektur . . . . .	8
4.2 Implementierung . . . . .	8
<b>5 Evaluation</b>	<b>9</b>
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>10</b>
<b>Literatur</b>	<b>11</b>
<b>Anhang</b>	<b>12</b>

---

## **Abbildungsverzeichnis**



## **Tabellenverzeichnis**

---

## **Abkürzungsverzeichnis**

## Symbolverzeichnis

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

---

# 1 **Einleitung**

## 2 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 [TR14]:

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

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 in Abhängigkeit von der Entfernung  $r$  des gemessenen

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

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

Des Weiteren verringert der Reflexionsgrad  $\rho_s$  die Schallintensität bei der Reflexion. Damit ein Objekt erkannt wird muss die Intensität des Empfangssignals oberhalb des Rauschens liegen, d.h.  $\leq 10\text{dB}$  sein.

Ultraschallsensoren nutzen eine Membran aus einer Piezokeramik zur Schallerzeugung und -empfang[WHLS15]. Zum Aussenden der Schallwellen wird die Membran aktiv in Schwingung versetzt und nach einer festgelegten Sendedauer wieder zur Ruhe gebracht. Die Zeit bis der reflektierte Schall die Membran wieder zur Schwingung anregt wird zur Abstandsbestimmung genutzt.

### 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[WHLS15].

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 Objekt, das größer als der Lichtpunkt ist, 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 Objekt, das kleiner ist als der Lichtpunkt, 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

Die Kamera gehört zu den bildgebenden Sensoren und besitzt dadurch den Vorteil ähnliche Informationen wie das menschliche Auge zu produzieren. Somit können Objekte mit einer hohen Genauigkeit identifiziert werden. Jedoch ist die Entfernungsmessung mit einer Monokamera eher ungenau, da dies nur anhand der Auflösung bestimmt werden kann. Diese bestimmt auch den Sichtbereich und die Reichweite. Letzteres wird durch den Bereich des scharfen Abbildens begrenzt[HMS16]. Die untere Grenze  $a_v$  der Reichweite liegt vor und die obere Grenze  $a_h$  hinter der Objektebene und ergeben sich mit

$$a_v = \frac{af'^2}{f'^2 - u'k(a + f')} \quad (8)$$

$$a_h = \frac{af'^2}{f'^2 + u'k(a + f')}. \quad (9)$$

Dabei ist  $k$  die Blendenzahl,  $a$  der Abstand zwischen Objektebene und Eintrittspupille,  $f'$  die Brennweite und  $u'$  der Durchmesser des Unschärfekreises, der sich folgendermaßen bestimmen lässt:

$$u' = \frac{\text{Formatdiagonale}}{1000} \quad (10)$$

Neben dem sichtbaren Spektrum können einige Kameras auch das Infrarotspektrum erkennen. So kann auch bei Nacht bzw. Dunkelheit die Kamera weiterhin eingesetzt werden. Es gibt zwei verschiedene Ansätze hierbei, die unterschiedliche Infrarotbereiche nutzen. Zum Einen ist das das Nahinfrarot (NIR). Hierbei wird ein NIR-Blitz eingesetzt, der Infrarotstrahlen aussendet, die von der Kamera erkannt werden. Zum Anderen ist das das Ferninfrarot (FIR). In diesem Spektrum liegt die Wärmestrahlung von Objekten, die von speziellen Wärmebildkameras erfasst werden kann.



## **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

- [HMS16] HERING, Ekbert ; MARTIN, Rolf ; STOHRER, Martin: *Physik für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-49355-7>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-49355-7>. – ISBN 978-3-662-49354-0
- [TR14] TRÄNKLER, Hans-Rolf ; REINDL, Leonhard M.: *Sensortechnik*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29942-1>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29942-1>. – ISBN 978-3-642-29941-4
- [WHLS15] WINNER, Hermann ; HAKULI, Stephan ; LOTZ, Felix ; SINGER, Christina: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3>. – ISBN 978-3-658-05733-6

## Anhang

### Hier sind zusätzliche Infos einzubringen

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

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

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

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