

Sensorfusion im Automobil auf Basis eines RT-Ethernet Backbone

Ruben Jungnickel

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

4. Juni 2013



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

1 Motivation

- RecBar Project
- Einführung Sensorfusion
- Anforderungen an automobile Sensorik

2 Grundlagen

- Forschungszentren für automotive Anwendungen
- Stand der Technik
- Arten der Sensorfusion

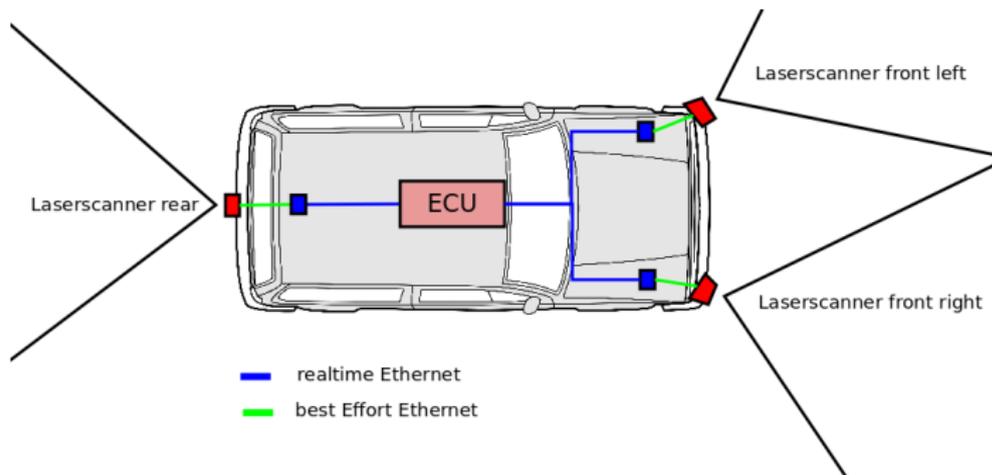
3 Anwendungen

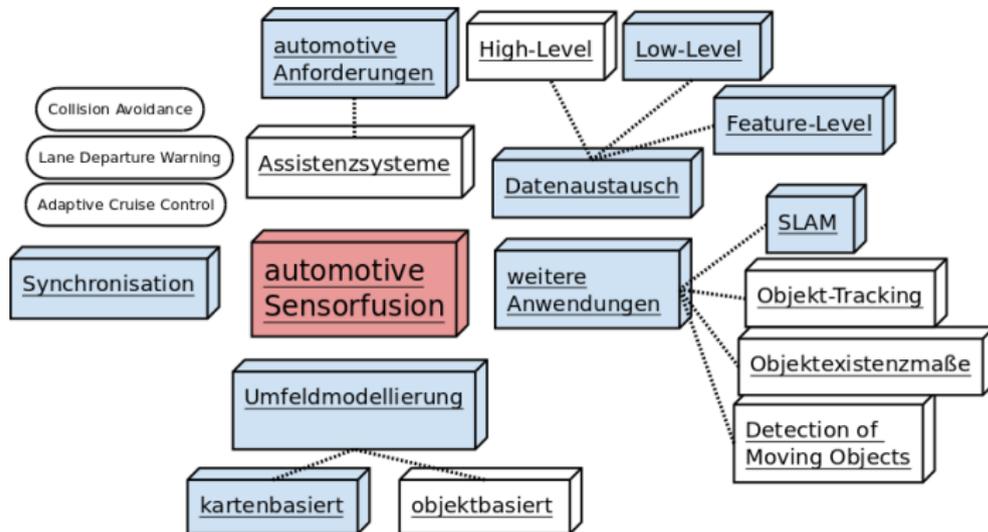
- Occupancy Grid-Map
- Simultaneous Localization and Mapping

4 Fazit

- Literaturüberblick
- Ausblick

- Realtime Ethernet Backbone for Cars
- 3 Jahre Forschungsprojekt
 - Simulation
 - Prototyp
 - Fahrassistenzsystem
- Sensorfusion um hohe Bus-Last zu erzeugen und Daten für Fahrassistenzsystem zu liefern
- Laserscanner von Ibeo AS





Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

RecBar

Einführung

Anforderung an Sensorik

Grundlagen

Anwendungen

Fazit

- verschmelzen von Daten unterschiedlicher Quellen
- zur Verbesserung der Einzelinformationen
 - Competitive → im Mittel genauer, zuverlässiger
 - Complementary → vollständiger
 - Cooperative → neue Sichtweisen [Elm02, S.16]

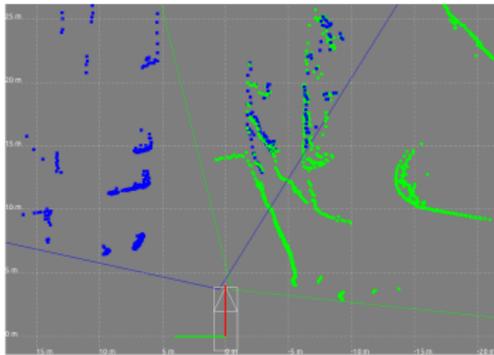


Abbildung: Laserscannerfusion

Motivation

RecBar

Einführung

Anforderung an Sensorik

Grundlagen

Anwendungen

Fazit

“Um Anforderung an ADA-Systeme zu erfüllen sind mehrere Sensoren notwendig.” [Kä07, S.13].

- Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)
 - Collision Avoidance (CA)
 - Lane Keeping Assist System (LKAS)
- stärkeres eingreifen von Fahrassistenzsystemen [Kä07, S.5]
- Objektexistenz [Kä07, S.14],[Mä09]
- Herausforderung: gemeinsame Darstellung / Abstraktionsebene [Eff09, S.68]
- safety critical
- Redundanz von Sensorsystemen

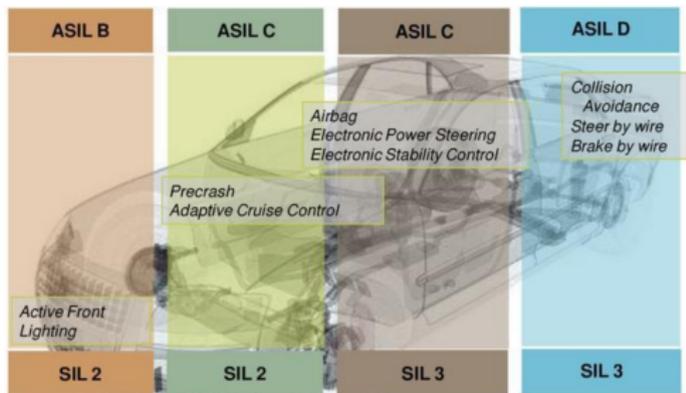


Abbildung: ASIL ([Han10])

- Automotive Safety Integrity Level (ASIL)
- Gefahren (hazards) werden klassifiziert
- Analysetechnik aus ISO-26262
 - Exposure (E) → Maß für Häufigkeit eines Szenarios
 - Classification (C) → Kontrollierbarkeit
 - Severity (S) → Unfallausmaß [Wal10, S.11-20]

Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

RecBar

Einführung

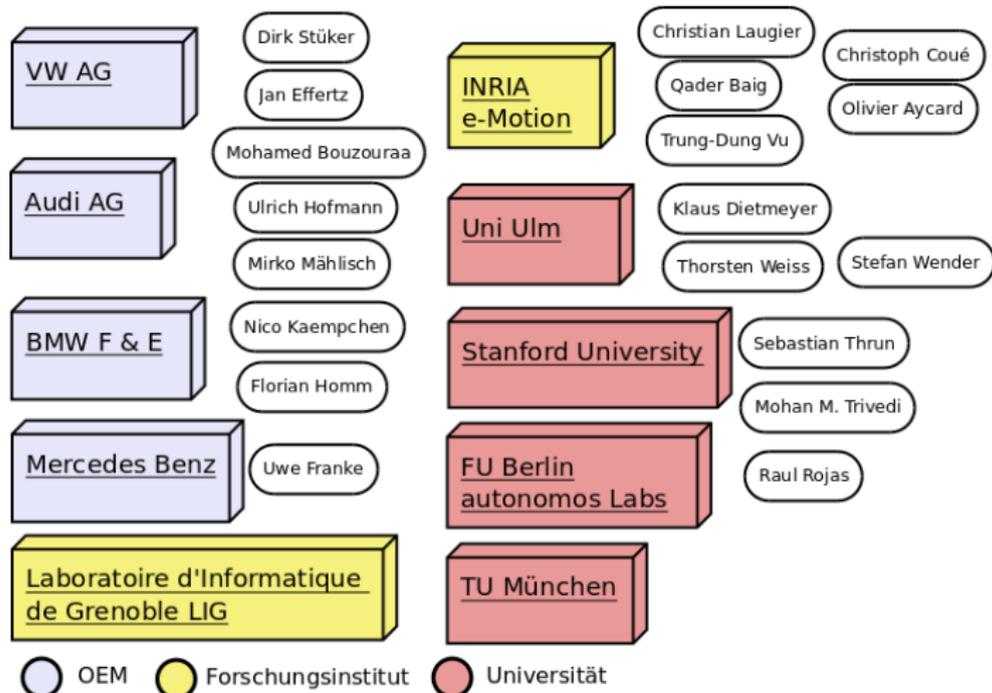
Anforderung an Sensorik

Grundlagen

Anwendungen

Fazit

Forschungszentren für automotiv Anwendungen



Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

Grundlagen

Forschungszentren

Stand der Technik

Arten der Sensorfusion

Anwendungen

Fazit

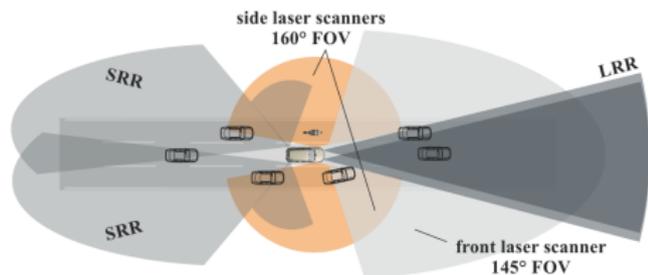


Abbildung: Multi-Sensorfusion
([SWBH12, S.692])

- Multi-Sensor Fusions-System
- Radar und Laser-Scanner für einen 360°-Blick
- gemeinsam getrackte Objekte
- gemeinsame Karte als Sensor [SWBH12]
- ausnutzen unterschiedlicher Sensoreigenschaften

Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

Grundlagen

Forschungszentren

Stand der Technik

Arten der Sensorfusion

Anwendungen

Fazit

- Synchron / Asynchron [Eff09, S.68]
 - Update-Zyklen
 - gemeinsame Uhren
- Abstraktionsebene der Sensorfusion
 - unterschiedliche Sensordaten/Eigenschaften
 - Datenaustausch

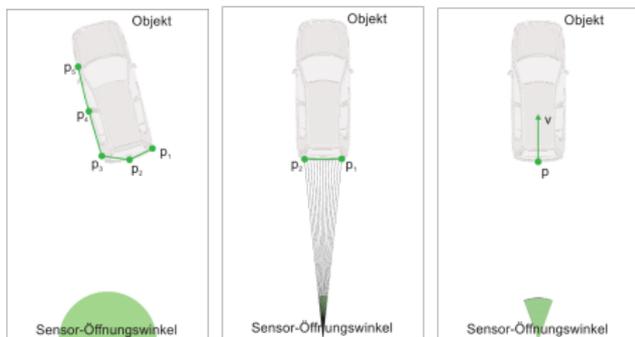


Abbildung: Laserscanner, Multibeam Lidar, Radar ([Eff09, S.79])

- Synchrones Sensornetz [Eff09, S.69]
 - selbe Messfrequenzen
 - i.d.R. selbe Aufnahmezeitpunkte
 - oder ergänzende Aufnahme (weitere Sensoren setzen Aufnahme fort)
- Asynchrones Sensornetz [Eff09, S.69]
 - unterschiedliche Messfrequenzen
 - für Fusion ist gemeinsame Zeit erforderlich
 - Daten müssen prädiziert/gespeichert werden
 - keine Zusätzliche Hardware für Synchronisation erforderlich

Synchrone und Asynchrone Sensorfusion

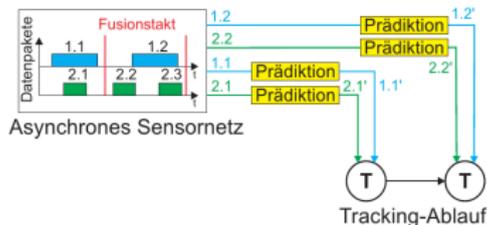
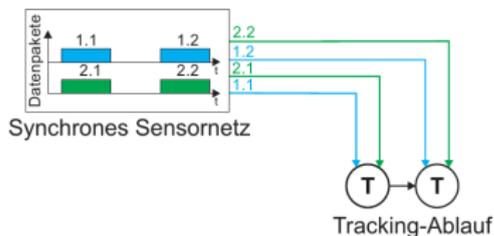


Abbildung: parallele Fusion, Messwertprädiktion

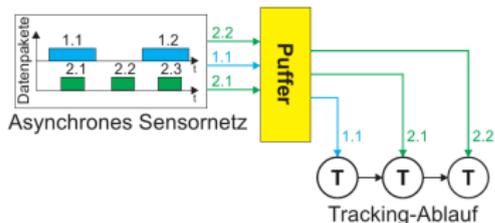


Abbildung: Messwertpuffer [Eff09, S.68]

Motivation

Grundlagen

Forschungszentren

Stand der Technik

Arten der Sensorfusion

Anwendungen

Fazit

- Roh-Daten Fusion (Low-Level) [Elm02, S.14]
 - Sensordaten werden in gemeinsame Koordinaten überführt
 - weitere Algorithmen funktionieren wie bei Einzelsensor [Kä07, S.37 ff.]
- Feature-Level Fusion
 - Sensordaten werden auf Merkmale abgebildet
 - geringere Bandbreite bei Übertragung
 - Informationsgehalt wird reduziert [Kä07, S.40 ff.]
- Karten Fusion
 - Fahrzeugumfeld wird durch Zellen mit fester Größe beschrieben
 - Zelleigenschaften geben Messergebnis wieder
 - Async: Karte wird durch Sensor mit höchster Frequenz dominiert
 - Lösung: Karte für jeden Sensor erstellen [Eff09, S.70]

Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

Grundlagen

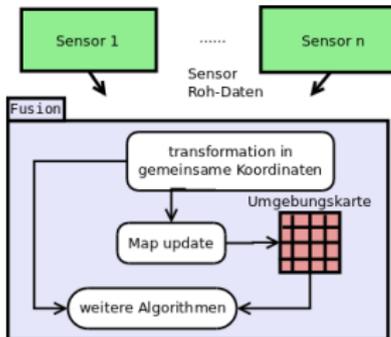
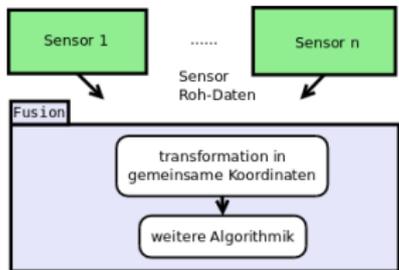
Forschungszentren

Stand der Technik

Arten der Sensorfusion

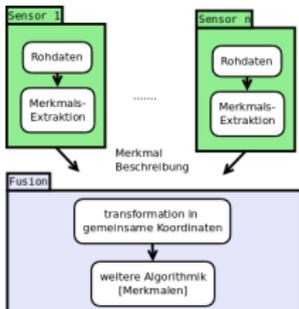
Anwendungen

Fazit



kartenbasierte Fusion

Low-Level-Fusion



Feature-Level-Fusion

- Umgebungskarte mit meist quadratischen Zellen
- Zellen beinhalten Belegungswahrscheinlichkeiten
- gesucht ist eine Karte, die alle Messung(Y) bis zum Zeitpunkt k enthält [Eff09, S.70].
- binäres Bayes Filter

$$z(i, j) = 0 : \textit{frei} \quad (1)$$

$$z(i, j) = 1 : \textit{belegt} \quad (2)$$

$$P[Z|Y_k] = P[z(1, 1), \dots, z(M, N)|Y_k] \quad (3)$$

$$P[y_{k+1}|z_{k+1}] = \frac{P[z_{k+1}|y_{k+1}] * P[y_{k+1}]}{P[z_{k+1}]} \quad (4)$$

"Occupancy Grid-Maps zur Umfelderkennung haben sich in den letzten Jahrzehnten zu einer führenden Modellierung entwickelt." [Thr02, S.1]

Sensorfusion

R. Jungnickel

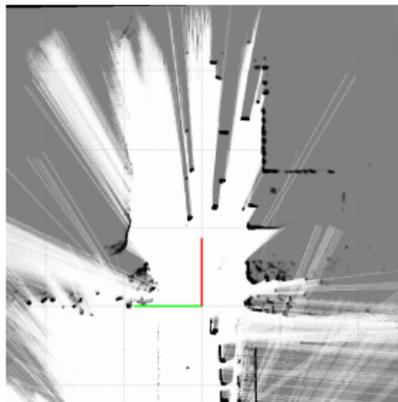
Motivation

Grundlagen

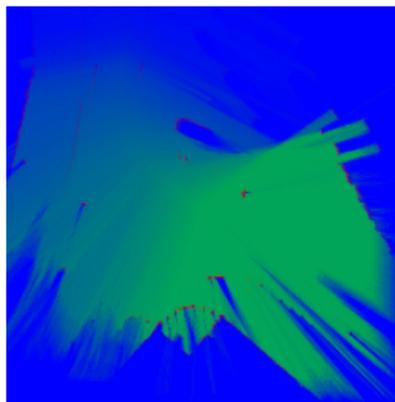
Anwendungen

Occupancy Grid-Map
SLAM

Fazit



Bayes Belegungskarte



Dempster-Shafer Karte

Binäres Bayes Filter	Dempster-Shafer
für die Zelle m zum Zeitpunkt 0 gilt:	
$P[z_0] = 0.5$	$m_{z_0}[B] = 0.0$ $m_{z_0}[F] = 0.0$ $m_{z_0}[U] = 1.0$
Messung 1. z_1 ist mit Wahrscheinlichkeit von 90% belegt	
$P[z_1 y_1] = 0.9$ $P[z_1] = 0.9$	$m_{z_1}[B] = 0.9$ $m_{z_1}[F] = 0.0$ $m_{z_1}[U] = 0.1$
Messung 2. z_2 ist mit Wahrscheinlichkeit von 90% frei	
$P[z_2 y_2] = 0.1$ $P[z_2] = 0.5$	$m_{z_2}[B] = 0.47$ $m_{z_2}[F] = 0.47$ $m_{z_2}[U] = 0.06$

Motivation

Grundlagen

Anwendungen

Occupancy Grid-Map
SLAM

Fazit

“Zur Erzeugung einer genauen Umgebungskarte ist eine genaue Positionierung nötig [vgl.][LCDW12].”

- Fusion von Odometrie- und Umgebungsmessdaten
- durch Umgebungskarte [BVA09] oder Landmarken [WS10]
- Odometriedaten (Wegmessung) fehlerbehaftet

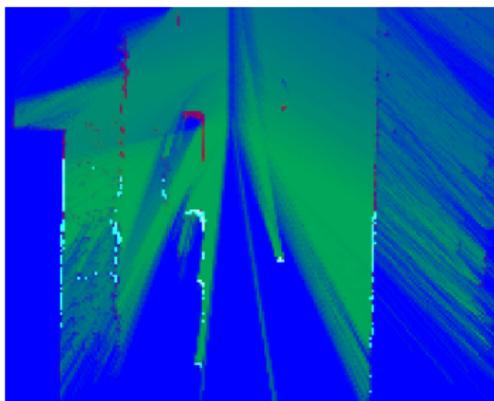


Abbildung: Scan Matching mit Belegungskarte nach [BVA09]

- Henne-Ei-Problem
- Korrektur durch genaue Eigenpositionierung
- Partikel-Filter
- Extended Kalman-Filter
- statische Positionsmessung dienen als Referenz

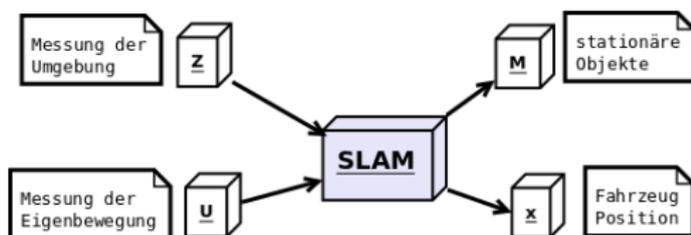


Abbildung: SLAM-Prozess [PTB11, S.2]

Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

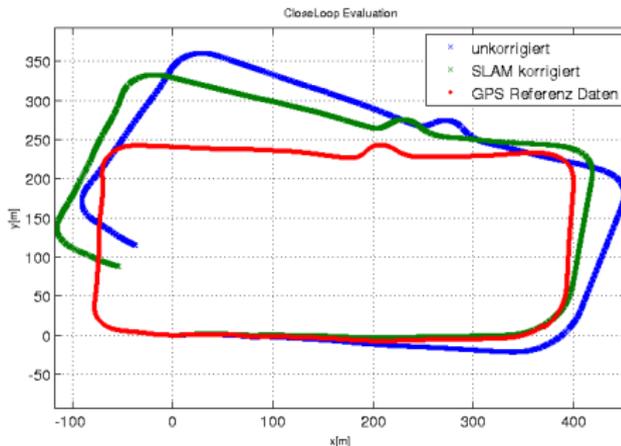
Grundlagen

Anwendungen

Occupancy Grid-Map

SLAM

Fazit



- Evaluation erfolgt durch eine Close-Loop-Fahrt
- Fahrzeug wird im Kreis bewegt
- die Fehler der Odometrie summieren sich über die Zeit
- als Referenz werden GPS-Daten genutzt

behandelte Themen mit relevanter Literatur

Themen				
Anforderungen	Synchronisation	Umfeldmodellierung		SLAM
		objektbasiert	kartenbasiert	
Walderyd [Wal10]	Effertz[Eff09]			Wu Ming [WS10]
Hillenbrand [Hil11]	Rabel [RSG04]	Wender [Wen08]	Baig[BVA09]	
Kämpchen [Kä07]	Kämpchen [NKD03]	Kämpchen [Kä07]	Thrun[TBF05]	
	MacQueen [Mac67]	Mählich [Mä09]	Bouzouraa [BH10]	Pancham [PTB11]
Schlummer [Sch12]	Mählich[MSRD06]		Thrun [Thr02]	Baer [BBD+09]
	Stüker[Stü03]		Garcia [GAVA08]	Lin [LCDW12]

- RecBar Prototyp mit Multi-Lidar¹-Fusion
- asynchrones Sensornetzwerk
- Fusion mit zentralen Fusionstakt
- Umfelderkennung mittels Dempster-Shafer Belegungskarte
- SLAM auf Basis Belegungskarte und Partikelfilter

¹Light Detection and Ranging

Sensorfusion

R. Jungnickel

Motivation

Grundlagen

Anwendungen

Fazit

Literaturüberblick

Ausblick

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Gibt es Fragen?

- [BBD⁺09] M. Baer, M.E. Bouzouraa, C. Demiral, U. Hofmann, S. Gies, and K. Diepold. **Egomaster: A central ego motion estimation for driver assist systems.**
In Control and Automation, 2009. ICCA 2009. IEEE International Conference on, pages 1708–1715, 2009.
- [BH10] M.E. Bouzouraa and U. Hofmann. **Fusion of occupancy grid mapping and model based object tracking for driver assistance systems using laser and radar sensors.**
In Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE, pages 294–300, 2010.
- [BVA09] Q. Baig, Trung-Dung Vu, and O. Aycard. **Online localization and mapping with moving objects detection in dynamic outdoor environments.**
In Intelligent Computer Communication and Processing, 2009. ICCP 2009. IEEE 5th International Conference on, pages 401–408, 2009.
- [Eff09] Jan Effertz. **Autonome Fahrzeugführung in urbaner Umgebung durch Kombination objekt- und kartenbasierter Umfeldmodelle.**
PhD thesis, Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Februar 2009.
- [Elm02] Wilfried Elmenreich. **Sensor Fusion in Time-Triggered Systems.**
PhD thesis, Technischen Universität Wien, Oktober 2002.
- [GAVA08] R. Garcia, O. Aycard, Trung-Dung Vu, and M. Ahrholdt. **High level sensor data fusion for automotive applications using occupancy grids.**
In Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARCV 2008. 10th International Conference on, pages 530–535, 2008.

Sensorfusion

R. Jungnickel

- [Han10] **K. Hansen.**
Technologies for embedded processors and applications for intelligent control.
In *Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), 2010 10th IEEE International Conference on*, 2010.
- [Hil11] **M. Hillenbrand.**
Funktionale Sicherheit nach ISO 26262 in der Konzeptphase der Entwicklung von Elektrik/Elektronik Architekturen von Fahrzeugen.
Steinbuch series on advances in information technology. KIT Scientific Publ., 2011.
- [Kä07] **Nico Kämpchen.**
Feature-Level Fusion of Laser Scanner and Video Data for Advanced Driver Assistance Systems.
PhD thesis, Universität Ulm, Juli 2007.
- [LCDW12] **Kuen-Han Lin, Chun-Hua Chang, Andreas Dopfer, and Chieh-Chih Wang.**
Mapping and localization in 3d environments using a 2d laser scanner and a stereo camera.
J. Inf. Sci. Eng., 28(1):131–144, 2012.
- [Mac67] **J. B. MacQueen.**
Some methods for classification and analysis of multivariate observations.
In L. M. Le Cam and J. Neyman, editors, *Proc. of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, volume 1, pages 281–297. University of California Press, 1967.
- [MSRD06] **M. Mählisch, R. Schweiger, W. Ritter, and K. Dietmayer.**
Sensorfusion using spatio-temporal aligned video and lidar for improved vehicle detection.
In *Intelligent Vehicles Symposium, 2006 IEEE*, pages 424–429, 2006.

- [Mä09] **Mirko Mählich.**
Filtersynthese zur simultanen Minimierung von Existenz-, Assoziations- und Zustandsunsicherheiten in der Fahrzeugumfelderfassung mit heterogenen Sensordaten.
PhD thesis, Universität Ulm, August 2009.
- [NKD03] **Multi-Sensor Fusion Nico, Nico Kaempchen, and Klaus Dietmayer.**
Data synchronization strategies for, 2003.
- [PTB11] **Ardhisha Pancham, Nkgatho Tlale1, and Glen Bright1.**
Literature review of slam and datmo.
In *Robotics and Mechatronics Conference of South Africa (ROBMECH 2011)*, pages 130–136, 2011.
- [RSG04] **M. Rabel, A. Schmeiser, and H.P. Grossmann.**
Communication architecture for sensorfusion systems.
In *Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE*, pages 363–368, 2004.
- [Sch12] **Marco Heinz Schlummer.**
Beitrag zur Entwicklung einer alternativen Vorgehensweise für eine Proven-in-Use-Argumentation in der Automobilindustrie.
PhD thesis, Bergischen Universität Wuppertal, März 2012.
- [Stü03] **Dirk Stüker.**
Heterogene Sensordatenfusion zur robusten Objektverfolgung im automobilen Straßenverkehr.
PhD thesis, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, November 2003.
- [SWBH12] **K. Schueler, T. Weiherer, E. Bouzouraa, and U. Hofmann.**
360 degree multi sensor fusion for static and dynamic obstacles.
In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE*, pages 692–697, 2012.

Sensorfusion

R. Jungnickel

- [TBF05]** Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, and Dieter Fox.
Probabilistic Robotics.
Intelligent Robotics and Autonomous Agents. MIT Press, Cambridge, MA, 2005.
- [Thr02]** Sebastian Thrun.
Learning occupancy grids with forward sensor models.
Autonomous Robots, 15:111–127, 2002.
- [Wal10]** Frederik Walderyd.
Hazard identification and safety goals on power electronics in hybrid vehicles.
Master's thesis, Chalmers University of Technology, September 2010.
- [Wen08]** S. Wender.
Multisensorsystem zur erweiterten Fahrzeugumfelderfassung.
PhD thesis, Universität Ulm, 2008.
- [WS10]** Ming Wu and Ji-Ying Sun.
Simultaneous localization, mapping and detection of moving objects with mobile robot in dynamic environments.
In *Computer Engineering and Technology (ICCET)*, 2010 2nd International Conference on, volume 1, pages V1–696–V1–701, 2010.