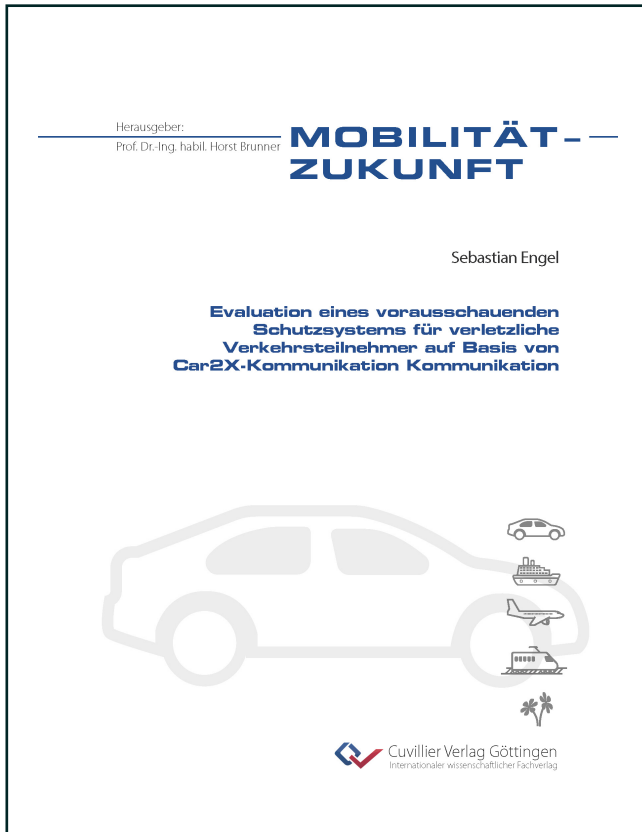




Sebastian Engel (Autor)

Evaluation eines vorausschauenden Schutzsystems für verletzbare Verkehrsteilnehmer auf Basis von Car2X-Kommunikation



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8809>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Motivation vorausschauender Schutzsysteme für verletzbare Verkehrsteilnehmer | 3 |
| 1.2 | Problemstellung und Ziele der Arbeit | 6 |
| 1.3 | Gliederung der Arbeit | 7 |
| 2 | Unfallanalyse | 9 |
| 2.1 | Tageszeit | 10 |
| 2.2 | Niederschlag | 11 |
| 2.3 | Ortslage | 12 |
| 2.4 | Geschwindigkeit des PKWs | 12 |
| 2.5 | Unfalltyp | 14 |
| 2.6 | Fazit: Anforderungen an den Sensor eines vorausschauenden Schutzsystems für verletzbare Verkehrsteilnehmer | 17 |
| 3 | Stand der Technik | 21 |
| 3.1 | Maßnahmen der Post-Crash-Phase | 22 |
| 3.2 | Maßnahmen der In-Crash-Phase | 22 |
| 3.2.1 | Passive Strukturmaßnahmen | 23 |
| 3.2.2 | Crash-aktive Strukturmaßnahmen | 24 |
| 3.3 | Maßnahmen der Pre-Crash-Phase | 25 |
| 3.3.1 | Maßnahmen während der Unvermeidbarkeit | 25 |
| 3.3.2 | Maßnahmen während der Unfallgefahr | 25 |
| 3.3.3 | Maßnahmen während des normalen Fahrzustandes | 26 |
| 3.3.4 | Aktionskonzepte für die Pre-Crash-Phase | 26 |
| 3.4 | Umfeldsensorik für die Pre-Crash-Phase | 27 |
| 3.4.1 | Kamerasensoren | 29 |
| 3.4.2 | Radarsensoren | 32 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.4.3 | Lasersensoren | 33 |
| 3.4.4 | Infrarotsensoren | 34 |
| 3.4.5 | Photonic Mixer Device Sensor | 35 |
| 3.5 | Funkbasierte Sensorik für die Pre-Crash-Phase | 36 |
| 3.5.1 | Funkmessung | 38 |
| 3.5.2 | Funkkommunikation | 47 |
| 3.6 | Fazit: Sensorvergleich und Vorteile kooperativer Sensorik | 55 |
| 4 | Analyse der Sensoren und Funkschnittstellen von Smartphones und Eignung von Smartphones für ein funkbasiertes VRU-Schutzsystem | 59 |
| 4.1 | Sensoren | 59 |
| 4.1.1 | Kompass | 60 |
| 4.1.2 | Drehratensensor | 61 |
| 4.1.3 | Beschleunigungssensor | 65 |
| 4.1.4 | Global Positioning System Sensor | 68 |
| 4.1.5 | Näherungssensor | 68 |
| 4.1.6 | Helligkeitssensor | 69 |
| 4.1.7 | Fazit: Geeignete Sensoren für den funkbasierten Fußgänger- schutz | 69 |
| 4.2 | Funkschnittstellen | 70 |
| 4.2.1 | Bluetooth | 70 |
| 4.2.2 | Zellulare Netze | 72 |
| 4.2.3 | Wireless Local Area Network | 78 |
| 4.2.4 | Near Field Communication | 82 |
| 4.2.5 | Fazit: Geeignete Funkschnittstellen für den funkbasierten Fuß- gängerschutz | 82 |
| 4.3 | Untersuchung der Sensor- und Schnittstelleneigenschaften | 83 |
| 4.3.1 | Erreichbare Sensorgenauigkeiten | 84 |
| 4.3.2 | Erreichbare Positionierungsgenauigkeiten | 87 |
| 4.3.3 | Erreichbare Kommunikationsreichweiten | 92 |
| 4.4 | Smartphone-Verbreitung | 96 |
| 4.5 | Fazit: Eignung von Smartphones für den funkbasierten Fußgänger- schutz und Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes | 98 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Analyse des Bewegungsverhaltens von Fußgängern und Radfahrern mittels Smartphone-Sensorik | 103 |
| 5.1 | Grundlagen der Aktivitätserkennung | 103 |
| 5.1.1 | Maschinenlernverfahren und Mustererkennung | 104 |
| 5.1.2 | Klassifikation mittels k-Nearest Neighbor Algorithmus | 107 |
| 5.1.3 | Klassifikation mittels Entscheidungsbaum | 109 |
| 5.1.4 | Merkmalsextraktion | 112 |
| 5.2 | Konzeption und Umsetzung einer Aktivitätserkennung auf Basis von Smartphone-Sensorik | 117 |
| 5.2.1 | Konzept der Aktivitätserkennung | 118 |
| 5.2.2 | Umsetzung der Aktivitätserkennung | 123 |
| 5.3 | Fazit: Eignung von Smartphones für die Aktivitätserkennung | 132 |
| 6 | Konzeption und Umsetzung einer Sensordatenfusion zur verbesserten Positionsbestimmung von Fußgängern und Radfahrern | 135 |
| 6.1 | Grundlagen der Sensordatenfusion | 135 |
| 6.1.1 | Ausprägungen der Sensordatenfusion | 136 |
| 6.1.2 | Ebenen der Sensordatenfusion | 137 |
| 6.1.3 | Zeitlicher Ablauf der Fusion | 139 |
| 6.1.4 | Bayes'sche Filter | 140 |
| 6.1.5 | Kalman Filter | 142 |
| 6.2 | Analyse der Smartphone-Sensorinformationen bei Durchführung verschiedener Bewegungsabläufe und Generierung neuer Eingangssignale | 144 |
| 6.2.1 | Änderung der Geschwindigkeit | 144 |
| 6.2.2 | Änderung der Bewegungsrichtung | 145 |
| 6.2.3 | Nutzung der Smartphone-Sensorinformationen zur Generierung zusätzlicher Eingangsdaten für den Fusionsalgorithmus | 146 |
| 6.3 | Konzept der Sensordatenfusion für Fußgänger und Radfahrer | 149 |
| 6.3.1 | Spezifikation des allgemeinen Zustandsübergangsmodells | 151 |
| 6.3.2 | Spezifikation des Zustandsübergangsmodells für die Aktivität <i>Stehen</i> | 152 |
| 6.3.3 | Spezifikation des Zustandsübergangsmodells für den Fußgänger | 152 |
| 6.3.4 | Spezifikation des Zustandsübergangsmodells für den Radfahrer | 154 |
| 6.4 | Auswertung der Positionsverbesserung | 156 |
| 6.4.1 | Beschreibung der Testszenarien | 157 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 6.4.2 | Erzielte Ergebnisse | 158 |
| 6.4.3 | Untersuchung bezüglich der Echtzeitfähigkeit | 165 |
| 6.5 | Fazit: Möglichkeiten der Positionsverbesserung durch Sensordatenfusion im Smartphone | 167 |
| 7 | Umsetzung eines funkbasierten Schutzsystems für Fußgänger und Radfahrer | 173 |
| 7.1 | Umsetzung des Schutzsystems | 173 |
| 7.1.1 | Datenprotokoll | 173 |
| 7.1.2 | Fahrzeugaufbau | 177 |
| 7.1.3 | VRU-Schutzfunktion im Fahrzeug | 179 |
| 7.1.4 | Ausblick auf Erweiterungsmöglichkeiten des VRU-Schutzsystems | 187 |
| 7.2 | Effektivitätsbewertung anhand von Simulationen realer Unfallszenarien | 189 |
| 7.2.1 | Beschreibung der Simulation | 189 |
| 7.2.2 | Ermittlung der Verletzungswahrscheinlichkeit und Ableitung der Effektivität | 193 |
| 7.3 | Fazit: Eignung eines funkbasierten Schutzsystems auf Basis von Smartphones | 197 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick | 199 |
| A | Gruppierung der Unfalltypen | 203 |
| B | Global Positioning System | 213 |
| B.1 | Systemüberblick | 213 |
| B.2 | Satellitensignale | 214 |
| B.3 | GPS-Empfänger | 215 |
| B.4 | Positionsbestimmung mittels GPS | 216 |
| B.5 | Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung | 219 |
| C | Weiterführende Informationen und mathematische Herleitungen | 225 |
| C.1 | Herleitung der Hall-Spannung | 225 |
| C.2 | Netzwerkarchitekturen verschiedener Kommunikationstechnologien | 226 |
| C.2.1 | Bluetooth | 226 |
| C.2.2 | UMTS | 227 |
| C.2.3 | LTE | 229 |



| | |
|--|------------|
| C.2.4 WLAN | 229 |
| D Weiterführende Informationen zu Messreihen | 233 |
| D.1 Ergebnisse der Sensor-Genauigkeitsmessungen | 233 |
| D.2 Ergebnisse und Aufnahmen der GPS-Genauigkeitsmessungen | 237 |
| D.3 Ergebnisse der Reichweitentests | 248 |
| D.4 Ergebnisse der Probandentests zur Klassifikatorauswahl | 251 |
| Eigene Veröffentlichungen und Patente | 261 |
| Betreute Arbeiten | 265 |
| Literaturverzeichnis | 267 |
| Abbildungsverzeichnis | 281 |
| Tabellenverzeichnis | 287 |
| Abkürzungsverzeichnis | 291 |