

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Symbolverzeichnis | XI |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Einordnung der Arbeit | 2 |
| 1.2 Gliederung der Arbeit | 5 |
| 2 Wirbelstromsensorsystem (WSS) | 9 |
| 2.1 Messprinzip des Wirbelstromsensors | 9 |
| 2.2 Technische Realisierung | 10 |
| 2.3 Signalentstehungsmodell Schwellen | 14 |
| 2.4 Prüfstand | 16 |
| 3 Geschwindigkeitsschätzung und Distanzmessung | 17 |
| 3.1 Geschwindigkeitsschätzung mit Laufzeitkorrelationsverfahren .. | 17 |
| 3.2 Geschwindigkeitsschätzung mit Präsignalentzerrung | 19 |
| 3.2.1 Signalentzerrung durch modellbasierte adaptive Neuab- tastung | 21 |
| 3.2.2 Laufzeitkorrelation mit Parabelinterpolation | 25 |
| 3.2.3 Kalman-Filter und Ausfalldetektion | 26 |
| 3.2.4 Experimentelle Ergebnisse der Präsignalentzerrung | 26 |
| 3.3 Ereignisbezogene Distanzmessung | 30 |
| 3.4 Zusammenfassung Distanzmessung | 34 |
| 4 Weichenerkennung | 35 |
| 4.1 Eisenbahnweichen | 37 |
| 4.1.1 Eigenschaften | 37 |
| 4.1.2 Signalentstehungsmodell Weichen | 40 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.1.3 | Störeinflüsse des Weichensignalmodells | 44 |
| 4.1.4 | Zusammenfassung Weichensignalmodell | 45 |
| 4.2 | Mustererkennung | 47 |
| 4.2.1 | Verdeckte Markowmodelle (HMMs) | 49 |
| 4.3 | Erzeugung der Merkmalsvektoren für HMMs | 53 |
| 4.4 | Detektion von Eisenbahnweichen | 57 |
| 4.4.1 | Signalvorverarbeitung – Signalspezifische Merkmale | 58 |
| 4.4.1.1 | Längenmerkmale | 58 |
| 4.4.1.2 | Leistungsmerkmale | 60 |
| 4.4.1.3 | Merkmalsraum | 62 |
| 4.4.2 | Topologie des Detektions-HMM | 64 |
| 4.4.2.1 | Modellierung strukturspezifischer Merkmale mit HMMs | 64 |
| 4.4.2.2 | Modelltopologie für die Schritt haltende Signalerkennung | 65 |
| 4.4.3 | Modellierung des Detektionsmerkmalsraums mit HMMs | 66 |
| 4.4.3.1 | Modellierung der Signalleistung mit HMMs | 66 |
| 4.4.3.2 | Modellierung der Bauteillänge mit HMMs | 66 |
| 4.4.4 | Dekodierung der WSS-Signale | 69 |
| 4.4.5 | Zusammenfassung Weichendetektion | 74 |
| 4.5 | Klassifikation von Eisenbahnweichen | 74 |
| 4.5.1 | Modelltopologie | 75 |
| 4.5.2 | Merkmalsextraktion | 75 |
| 4.5.3 | HMM-Modellierung der Klassifikationsmerkmale | 76 |
| 4.5.4 | Modellparameterschätzung | 79 |
| 4.5.4.1 | Parameteranpassung für mehrere Weichensequenzen | 80 |
| 4.5.4.2 | Modellwahl | 80 |
| 4.5.4.3 | Erstellung und Initialisierung der Transitionsmatrix | 81 |
| 4.5.4.4 | Initialisierung der Emissionsdichten | 84 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.5.5 | Modellauswertung | 85 |
| 4.5.6 | Zusammenfassung Weichenklassifikation | 85 |
| 4.6 | Experimentelle Ergebnisse der Weichenerkennung | 86 |
| 4.6.1 | Ergebnisse der Detektion von Eisenbahnweichen | 87 |
| 4.6.2 | Ergebnisse der Klassifikation von Eisenbahnweichen | 92 |
| 4.6.2.1 | Einfluss der Weichendetektion auf das Klassifikationsergebnis | 96 |
| 4.6.3 | Zusammenfassung Ergebnisse Weichenerkennung | 99 |
| 4.7 | Zusammenfassung Weichenerkennung | 100 |
| 5 | Stochastische Lokalisierung in topologischen Karten | 101 |
| 5.1 | Karte | 103 |
| 5.1.1 | Topologische Karten | 103 |
| 5.1.2 | Kartengewinnung | 104 |
| 5.1.2.1 | Bestimmung der Topologie | 104 |
| 5.1.2.2 | Bestimmung der Gleislängen | 106 |
| 5.1.2.3 | Integration spezifischer Merkmale | 107 |
| 5.2 | Szenarien | 107 |
| 5.2.1 | Lokalisierung auf Basis der Weichendetektion | 107 |
| 5.2.2 | Lokalisierung auf Basis der Weichenklassifikation | 109 |
| 5.3 | Rekursive Positionsschätzung | 109 |
| 5.3.1 | Problemformulierung im Zeitbereich | 109 |
| 5.3.2 | Modellierung der Transitionssdichte | 111 |
| 5.3.3 | Modellierung der Likelihood | 113 |
| 5.3.4 | Formulierung für die ereignisbezogene Distanzmessung . | 117 |
| 5.3.5 | Dichteapproximation mit sequentiellen Monte-Carlo-Methoden | 119 |
| 5.3.5.1 | Globale Initialisierung | 119 |
| 5.4 | Ergebnisse des stochastischen Lokalisierungsansatzes | 122 |
| 5.4.1 | Ergebnisse der Kartenerzeugung | 122 |
| 5.4.2 | Ergebnisse der rekursiven Positionsschätzung | 123 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.4.3 | Ergebnisse der Positionsverfolgung | 124 |
| 5.4.4 | Ergebnisse der globalen Initialisierung | 130 |
| 5.5 | Zusammenfassung stochastische Lokalisierung | 132 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 135 |
| A | Anhang | 139 |
| A.1 | Stochastische Prozesse | 139 |
| A.2 | Dynamische Zustandsschätzung | 140 |
| A.2.1 | Rekursive Bayes'sche Schätzung | 140 |
| A.2.2 | Lineare stochastische Systeme | 141 |
| A.2.3 | Kalman-Filter | 142 |
| A.2.4 | Sequentielle Monte-Carlo-Methoden | 144 |
| A.2.4.1 | SIR-Algorithmus | 146 |
| A.3 | Verdeckte Markowmodelle (HMMs) | 149 |
| A.3.1 | Rekursive Berechnung der Produktionswahrscheinlichkeiten | 149 |
| A.3.2 | Der Viterbi-Algorithmus | 149 |
| A.3.3 | Der EM-Algorithmus | 150 |
| A.4 | Voruntersuchungen in der Datenbasis | 153 |
| A.4.1 | Bestimmung der Basisdichtenanzahl | 153 |
| A.4.2 | Bestimmung der Baum-Welch-Iterationen | 153 |
| A.4.3 | Bestimmung der Trainingssequenzanzahl | 155 |
| A.4.4 | Verteilung der Sequenzanzahl in der Datenbasis | 155 |
| A.4.5 | Parameterstudien für Waveletmerkmale | 156 |
| A.4.5.1 | Auswahl des Mutterwavelets | 156 |
| A.4.5.2 | Auswahl der Waveletskalen | 156 |
| A.4.6 | Schätzung der Gleislängen im Albtal | 157 |
| | Literaturverzeichnis | 159 |