

# INHALT

	Seite
1. Einführung	1
2. Grundprobleme der automatischen Spracherkennung	4
2.1 Akustisch-phonetische Analyse	4
2.2 Entscheidungstheoretische Formulierung der Satzerkennung	6
3. Vorverarbeitung des Sprachsignals	11
3.1 Kurzzeitspektren	11
3.2 Funktionsmodell der Lautheitsempfindung	14
3.3 Lineare Prädiktion	16
3.4 Vergleich der verschiedenen Verfahren zur Vorverarbeitung	18
3.5 Vokalstichprobe für experimentelle Untersuchungen	20
4. Methoden der Klassifikation	23
4.1 Linearer Klassifikator	27
4.1.1 Generalisierte Entscheidungsfunktionen	30
4.1.2 Trennbarkeit des linearen Klassifikators	32
4.1.3 Lernverfahren bei linearen Klassifikatoren	35
4.1.3.1 Lösung des Systems von Ungleichungen	35
4.1.3.2 Stochastische Approximation für mehrere Klassen	39
4.1.4 Experimentelle Untersuchungen mit Vokalspektren	42
4.2 Abstandsklassifikatoren	45
4.2.1 Nächster-Nachbar-Regel	46
4.2.2 Mahalanobis-Klassifikator	48
4.2.3 Experimentelle Untersuchungen mit Vokalspektren	51
4.3 Statistische Klassifikatoren	54
4.3.1 Der optimale Klassifikator	54
4.3.2 Annahme von Normalverteilungen	57
4.3.3 Schätzung von Normalverteilungen	60
4.3.4 Schätzung allgemeiner Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen	61
4.3.5 Experimentelle Untersuchungen mit Vokalspektren	63
4.3.6 Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse aus Abschn. 4.	64

<b>5. Methoden der Merkmalsextraktion</b>	<b>67</b>
<b>5.1 Grundprobleme</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Diskrete Karhunen-Loëve-Reihenentwicklung</b>	<b>70</b>
<b>5.2.1 Zusammenhang mit der Hauptachsen-Transformation</b>	<b>73</b>
<b>5.2.2 Informationstheoretische Betrachtung der KL-Reihenentwicklung</b>	<b>76</b>
<b>5.3 Generalisierte Karhunen-Loëve-Reihenentwicklung</b>	<b>80</b>
<b>5.3.1 Verwendung mehrerer Transformationen</b>	<b>80</b>
<b>5.3.2 Verwendung einer gemeinsamen Transformation</b>	<b>82</b>
<b>5.3.2.1 Auswahl der Achsen</b>	<b>83</b>
<b>5.3.2.2 Optimale Transformation bezüglich der Klassenmittelpunkte</b>	<b>84</b>
<b>5.3.2.3 Experimentelle Untersuchungen mit Vokalspektren</b>	<b>87</b>
<b>5.4 Gütemaße für Merkmale zur Bewertung der Trennbarkeit</b>	<b>92</b>
<b>5.4.1 Fehlerrate des optimalen Klassifikators</b>	<b>92</b>
<b>5.4.2 Abstandsmaße für Verteilungsdichten bei 2 Klassen</b>	<b>94</b>
<b>5.4.3 Transinformation als Gütemaß</b>	<b>97</b>
<b>5.5 Merkmalsselektion</b>	<b>100</b>
<b>5.5.1 Schrittweise Merkmalsauswahl</b>	<b>100</b>
<b>5.5.2 Optimale Merkmalsauswahl mit Hilfe eines Baumsuchverfahrens</b>	<b>101</b>
<b>5.5.3 Experimentelle Untersuchungen mit Vokalspektren</b>	<b>103</b>
<b>6. Automatische Spracherkennung auf der Basis silbenorientierter Einheiten</b>	<b>106</b>
<b>6.1 Grundkonzepte für Spracherkennungssysteme</b>	<b>106</b>
<b>6.2 Die Rolle der Silbe in der Sprachverarbeitung</b>	<b>109</b>
<b>6.3 Halbsilben als Verarbeitungseinheiten</b>	<b>112</b>
<b>6.4 Vokale und Konsonantenfolgen als Entscheidungseinheiten</b>	<b>113</b>
<b>7. Experimentelle Untersuchungen zur silbenorientierten Spracherkennung</b>	<b>116</b>
<b>7.1 Segmentierung in Halbsilben</b>	<b>117</b>
<b>7.2 Klassifikation der Konsonantenfolgen und Vokale</b>	<b>123</b>
<b>7.2.1 Klassifikation anhand von Gesamtmustern</b>	<b>124</b>
<b>7.2.1.1 Dynamische Interpolation</b>	<b>124</b>
<b>7.2.1.2 Mustervergleich mit Dynamischer Programmierung</b>	<b>125</b>
<b>7.2.1.3 Experimentelle Ergebnisse</b>	<b>127</b>
<b>7.2.2 Auswertung akustisch-phonetischer Merkmale</b>	<b>129</b>
<b>7.2.2.1 Extraktion der akustischen Merkmale</b>	<b>133</b>
<b>7.2.2.2 Klassifikation der Merkmalsvektoren</b>	<b>138</b>
<b>7.2.2.3 Kontrollexperiment mit Gesamtmustern</b>	<b>143</b>

<b>7.3 Silbenorientierte Lexikonsuche</b>	<b>146</b>
<b>7.3.1 Optimale Korrektur von Erkennungsfehlern</b>	<b>147</b>
<b>7.3.2 Lexikonsuche mit spektralen Repräsentanten</b>	<b>150</b>
<b>7.4 Erkennung gesprochener Sätze</b>	<b>154</b>
<b>7.4.1 Ausprachemodelle für Wörter</b>	<b>155</b>
<b>7.4.2 Satzerkennung mit 1-stufiger Dynamischer Programmierung</b>	<b>157</b>
<b>7.4.3 Experimentelle Ergebnisse zur Satzerkennung</b>	<b>160</b>
<b>7.4.4 Verwandtschaft zu Markov-Modellen</b>	<b>161</b>
<b>7.4.5 Berücksichtigung der Syntax</b>	<b>167</b>
<b>7.4.6 Experimentelle Ergebnisse zur Satzerkennung mit Syntax</b>	<b>169</b>
<b>8. Spezielle Algorithmen der Spracherkennung</b>	<b>172</b>
<b>8.1 Mustervergleich durch Dynamische Programmierung</b>	<b>172</b>
<b>8.1.1 1-stufiger DP-Algorithmus</b>	<b>176</b>
<b>8.2 "Hidden-Markov"-Modelle (HMM)</b>	<b>178</b>
<b>8.2.1 Berechnung der Emissionswahrscheinlichkeiten</b>	<b>182</b>
<b>8.2.2 Lernverfahren für HMMs</b>	<b>184</b>
<b>8.3 Neuronale Netze für die Spracherkennung</b>	<b>186</b>
<b>8.3.1 Lernverfahren für Neuronale Netze</b>	<b>189</b>
<b>8.3.2 Erkennung von Musterverläufen</b>	<b>193</b>
<b>9. Schlußbetrachtung</b>	<b>195</b>
<b>10. Zusammenfassung</b>	<b>197</b>
<b>11. Verzeichnis der wichtigsten mathematischen Symbole</b>	<b>199</b>
<b>12. Literatur</b>	<b>200</b>
<b>13. Anhang A: Liste der 1001 häufigsten Wörter des Deutschen</b>	<b>207</b>
<b>B: Liste der 16 Testsätze</b>	<b>211</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>212</b>