

# Adaptive Filter

Eine Einführung in die Theorie mit Aufgaben und MATLAB-Simulationen auf CD-ROM

Bearbeitet von  
George S. Moschytz, Markus Hofbauer

1. Auflage 2000. Taschenbuch. x, 246 S. Paperback  
ISBN 978 3 540 67651 5  
Format (B x L): 0 x 0 cm  
Gewicht: 400 g

[Weitere Fachgebiete > EDV, Informatik > Informationsverarbeitung > Computeranwendungen in Wissenschaft & Technologie](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Einleitung . . . . .  | 1         |
| 1.1.1    | Aufgaben adaptiver Filter . . . . .   | 2         |
| 1.1.2    | Inhaltsübersicht . . . . .  | 6         |
| 1.2      | Klassifizierung von typischen Anwendungen adaptiver Filter . . . . .              | 8         |
| 1.2.1    | Systemidentifikation . . . . .  | 8         |
| 1.2.2    | Inverse Modellierung . . . . .  | 9         |
| 1.2.3    | Lineare Prädiktion . . . . .  | 9         |
| 1.2.4    | Elimination von Störungen . . . . .   | 10        |
| 1.3      | Beispiele adaptiver Filter . . . . .  | 10        |
| 1.3.1    | Adaptive Störgeräuschunterdrückung . . . . .                                      | 10        |
| 1.3.2    | Entfernung der Netzstörung bei einem klinischen<br>Diagnostikgerät . . . . .      | 12        |
| 1.3.3    | LPC-Analyse von Sprachsignalen . . . . .  | 14        |
| 1.3.4    | Adaptive Differentielle ‘Pulse-Code-Modulation’ (ADPCM) . . . . .                 | 18        |
| 1.3.5    | Egalisation bei drahtloser Multipfad-Übertragung . . . . .                        | 19        |
| 1.3.6    | Adaptive Entzerrung bei der Datenübertragung<br>über die Telefonleitung . . . . . | 21        |
| 1.3.7    | Adaptive Echokompensation . . . . .   | 25        |
| 1.3.8    | Zusammenfassung der Beispiele . . . . .   | 29        |
| 1.4      | Stochastische Prozesse . . . . .  | 30        |
| 1.4.1    | Verteilungs- und Dichtefunktionen . . . . .                                       | 31        |
| 1.4.2    | Erwartungswert, Korrelations- und Kovarianzfunktion . . . . .                     | 32        |
| 1.4.3    | Stationarität und Ergodizität . . . . .   | 33        |
| 1.4.4    | Unabhängigkeit, Unkorreliertheit und Orthogonalität . . . . .                     | 35        |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen adaptiver Filter</b>  | <b>37</b> |
| 2.1      | Strukturen adaptiver Filter . . . . .   | 38        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.2      | Das FIR-basierte adaptive Filter   | 39        |
| 2.3      | Lineare optimale Filterung   | 41        |
| 2.3.1    | Fehlersignal $e[k]$ und mittlerer quadratischer Fehler (MSE)   | 41        |
| 2.3.2    | Autokorrelationsmatrix $\mathbf{R}$ und Kreuzkorrelationsvektor $\underline{p}$                                    | 43        |
| 2.3.3    | Wiener-Filter: Minimierung der Fehlerfunktion $J(\underline{w})$<br>und optimaler Gewichtsvektor $\underline{w}^o$ | 46        |
| 2.3.4    | Orthogonalitätsprinzip: Wiener-Filterung<br>als Estimationsproblem   | 50        |
| 2.3.5    | Weitere Eigenschaften der Fehlerfunktion $J(\underline{w})$  | 55        |
| 2.3.6    | Eigenschaften der Eigenwerte und Eigenvektoren<br>der Autokorrelationsmatrix $\mathbf{R}$                          | 61        |
| 2.3.7    | Geometrische Bedeutung der Eigenvektoren und Eigenwerte  | 69        |
| 2.4      | Dekorrelation des Eingangssignals und Konditionierung  | 73        |
| 2.4.1    | Konditionszahl   | 73        |
| 2.4.2    | Diskrete Karhunen-Loève-Transformation   | 74        |
| <b>3</b> | <b>Gradienten-Suchalgorithmen für FIR-basierte adaptive Filter</b>   | <b>77</b> |
| 3.1      | Newton-, Gradienten-Verfahren und LMS-Algorithmus  | 79        |
| 3.1.1    | Das Newton-Verfahren   | 79        |
| 3.1.2    | Das Gradienten-Verfahren   | 79        |
| 3.1.3    | Der LMS-Algorithmus  | 82        |
| 3.2      | Konvergenzeigenschaften der Gradienten-Suchalgorithmen   | 88        |
| 3.2.1    | Konvergenz des Gradienten-Verfahrens   | 88        |
| 3.2.2    | Konvergenz des LMS-Algorithmus   | 92        |
| 3.2.3    | Grenzen der Schrittweite $\mu$   | 96        |
| 3.2.4    | Die Konvergenzzeit   | 99        |
| 3.2.5    | Die Lernkurve  | 103       |
| 3.2.6    | Gradientenvektor, LMS-approximierter Gradientenvektor<br>und Gradientenrauschvektor                                | 106       |
| 3.2.7    | Der Überschussfehler $J_{\text{ex}}$ und die Fehleinstellung $M$<br>beim LMS-Algorithmus                           | 111       |
| 3.2.8    | Simulation:<br>Systemidentifikation durch den LMS-Algorithmus  | 111       |
| 3.3      | Varianten des LMS-Algorithmus  | 119       |
| 3.3.1    | Der normierte LMS-Algorithmus (NLMS)   | 119       |
| 3.3.2    | Der komplexe LMS-Algorithmus   | 120       |
| 3.3.3    | Der Newton-LMS-Algorithmus   | 121       |
| 3.3.4    | Der P-Vektor- oder Griffiths-Algorithmus   | 124       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3.5    | Der Vorzeichen-LMS-Algorithmus . . . . .   | 125        |
| <b>4</b> | <b>Least-Squares-Adaptionsalgorithmen</b>  | <b>127</b> |
| 4.1      | Das Least-Squares-Schätzproblem . . . . .  | 128        |
| 4.2      | Der RLS-Algorithmus . . . . .  | 133        |
| 4.2.1    | Initialisierung und Rechenaufwand des RLS-Algorithmus  | 140        |
| 4.3      | Der RLS-Algorithmus mit Vergessensfaktor . . . . .   | 142        |
| 4.4      | Analyse des RLS-Algorithmus . . . . .  | 146        |
| 4.5      | Simulation: Systemidentifikation durch den RLS-Algorithmus .                                       | 152        |
| 4.6      | Der 'Fast'-RLS-Algorithmus . . . . .   | 154        |
| <b>5</b> | <b>Adaptive Filter im Frequenzbereich</b>  | <b>157</b> |
| 5.1      | Der 'Frequency-Domain'-LMS-Algorithmus (FLMS) . . . . .  | 158        |
| 5.1.1    | Notation . . . . .   | 158        |
| 5.1.2    | Filterung im Frequenzbereich<br>durch das Overlap-Save-Verfahren . . . . .                         | 160        |
| 5.1.3    | Adaption des Filters im Frequenzbereich . . . . .  | 161        |
| 5.1.4    | Die Dekorrelationseigenschaft der DFT . . . . .  | 166        |
| 5.1.5    | Wahl der Parameter beim FLMS-Algorithmus,<br>Rechenaufwand und Fehleinstellung . . . . .           | 172        |
| 5.1.6    | Simulation:<br>Systemidentifikation durch den FLMS-Algorithmus . . .                               | 174        |
| 5.2      | Der 'Partitioned Frequency-Domain'-LMS-Algorithmus (PFLMS)   | 176        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung und Vergleich der Eigenschaften<br/>der Adaptionsalgorithmen</b>                | <b>183</b> |
| 6.1      | Grundlagen . . . . .   | 183        |
| 6.2      | Adaptionsalgorithmen . . . . .   | 184        |
| 6.2.1    | LMS-Algorithmus . . . . .  | 185        |
| 6.2.2    | RLS-Algorithmus . . . . .  | 187        |
| 6.2.3    | FLMS- und PFLMS-Algorithmus . . . . .  | 188        |
| 6.3      | Klassifikation der Adaptionsalgorithmen . . . . .  | 189        |
| 6.4      | Simulation: Vergleich der Konvergenzeigenschaften<br>des LMS-, RLS- und FLMS-Algorithmus . . . . . | 189        |
| <b>A</b> | <b>Aufgaben und Anleitung zu den Simulationen</b>  | <b>193</b> |
| A.1      | Aufgaben . . . . .   | 193        |
| A.2      | Lösungen zu den Aufgaben . . . . .   | 200        |
| A.3      | Anleitung zu den Simulationen . . . . .  | 210        |

|   |            |
|---|------------|
| A.3.1 Vorbereitende Überlegungen und Definitionen:<br>MSE, $J_{\min}$ , $\underline{w}^\circ$ , System-Fehler-Mass $\Delta w_{\text{dB}}$ und ERLE<br>im Kontext der Systemidentifikation . . . . . | 210        |
| A.3.2 Simulationsbeschreibung . . . . .   | 215        |
| <b>B Die lineare und die zyklische Faltung</b>  | <b>229</b> |
| <b>C Berechnung des Gradienten von Vektor-Matrix-Gleichungen</b>  | <b>233</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>237</b> |
| <b>Index</b>  | <b>239</b> |