

Dipl.-Phys. Christoph Hiller, Ostfildern

# **Aktive Lärmkompensation auf der Basis stochastischer Gradientenverfahren**

Reihe **11** : Schwingungstechnik      Nr. **252**

# Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VIII
Kurzfassung	XI
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Bedeutung der Lärmbekämpfung . . . . .	1
1.2 Chancen der aktiven Lärmkompensation . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Grundlagen digitaler Active-Noise-Control-(ANC)-Techniken</b>	<b>5</b>
2.1 Digitale Filter . . . . .	5
2.1.1 Nichtrekursive und rekursive Filter . . . . .	5
2.1.1.1 Finite-Impulse-Response-(FIR)-Filter . . . . .	7
2.1.1.2 Infinite-Impulse-Response-(IIR)-Filter . . . . .	7
2.1.2 Adaptive Filter . . . . .	8
2.2 Adaptionen-Algorithmen . . . . .	10
2.2.1 Newton-Methode . . . . .	11
2.2.2 Gradientenverfahren . . . . .	12
2.2.3 Least-Mean-Squares-(LMS)-Algorithmus . . . . .	12
2.2.4 Rekursiver LMS-Algorithmus . . . . .	14
2.3 Active Noise Control mit LMS-Algorithmen . . . . .	17
2.3.1 Filtered-X-Algorithmus . . . . .	17

2.3.2	Filtered-U-Algorithmus . . . . .	18
2.3.3	Mehrkanalige Algorithmen . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Eigenschaften von ANC-Systemen</b>	<b>24</b>
3.1	Konfigurationen bei ANC-Systemen . . . . .	24
3.1.1	Feedforward- und Feedback-Systeme . . . . .	24
3.1.2	Controller-Feedforward- und Controller-Feedback-Systeme . . . . .	25
3.1.3	ANC-Systeme mit kombinierten und separaten Mikrofonen . . . . .	30
3.1.4	Kausale und akusale ANC-Systeme . . . . .	32
3.2	Grenzen für den Kompensationserfolg . . . . .	35
3.2.1	Interferenzlimit . . . . .	35
3.2.2	Kohärenzlimit . . . . .	37
3.2.3	Korrelationslimit . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Verhalten von ANC-Systemen</b>	<b>46</b>
4.1	Grundlegende Stabilitätsbetrachtungen . . . . .	46
4.2	Instabilitäten bei ANC-Systemen . . . . .	49
4.2.1	Abbruch durch Instabilität . . . . .	50
4.2.2	Anregung ungedämpfter Filtermoden . . . . .	52
4.3	Stabilisierungsmaßnahmen . . . . .	60
4.3.1	Verwendung eines Schwellwerts . . . . .	60
4.3.2	Einführung eines Leakage-Faktors . . . . .	61
4.3.3	Rückkopplungskompensation . . . . .	65
4.3.3.1	Systeme mit kombinierten Mikrofonen . . . . .	65
4.3.3.2	System mit separaten Mikrofonen . . . . .	69
4.4	Einfluß der Fehlerstrecke . . . . .	70
4.4.1	Frequenzselektivität . . . . .	70
4.4.2	Verminderung des frequenzselektiven Fehlerstreckeneinflusses . . . . .	74
4.4.2.1	Inverse Modellierung . . . . .	74

4.4.2.2	Lineare Prädiktion . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Anwendungsorientierte Systemerweiterungen</b>	<b>81</b>
5.1	Systemidentifikation . . . . .	81
5.1.1	Off-Line-Systemidentifikation . . . . .	81
5.1.2	On-Line-Systemidentifikation . . . . .	82
5.1.3	Anregung mittels m-Sequenz . . . . .	84
5.2	Verbesserung der Langzeitstabilität . . . . .	85
5.2.1	Normierung des Konvergenzkoeffizienten . . . . .	86
5.2.2	Verwendung eines Sicherheitswerts . . . . .	87
<b>6</b>	<b>Echtzeitanwendungen</b>	<b>89</b>
6.1	Entzerrung der Fehlerstrecke . . . . .	89
6.1.1	Systembeschreibung . . . . .	89
6.1.2	Fehlerstreckenentzerrung mittels linearer Prädiktion . . . . .	91
6.2	Kfz-Innengeräuschkompensation . . . . .	93
6.2.1	Aufbau des Systems . . . . .	94
6.2.2	Verwendeter Algorithmus . . . . .	95
6.2.3	Echtzeit-Simulationen . . . . .	97
6.2.4	Kompensationserfolge . . . . .	99
6.2.4.1	Kompensationserfolge an den Fehlermikrofonen . . . . .	100
6.2.4.2	Wirkung auf die Fahrzeuginsassen . . . . .	102
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>107</b>
<b>A</b>	<b>RLMS-Algorithmus für MIMO-Systeme</b>	<b>110</b>
<b>B</b>	<b>Berechnung des Entzerrungsfilters</b>	<b>114</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>116</b>