

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Notation</b>	<b>ix</b>
<b>Kurzfassungen</b>	<b>x</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Anwendungsszenario der automatisierten Musikklassifikation . . . . .	2
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	4
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Algorithmische Grundlagen zur Audio-Signalklassifikation</b>	<b>7</b>
2.1 Verarbeitungsschritte der Audio-Signalklassifikation . . . . .	7
2.1.1 Merkmalsextraktion . . . . .	8
2.1.2 Prozessierung . . . . .	14
2.1.3 Klassifikation . . . . .	15
2.2 Evaluation von Klassifikationsmethoden durch die Klassifikationsgüte . .	17
2.2.1 Optimierung von Klassifikationsmethoden . . . . .	18
2.2.2 Musik-Datenbanken und Referenzen . . . . .	19
2.3 Anwendungen der Audio-Signalklassifikation . . . . .	20
2.4 Stand der Technik von Musikklassifikations- und Musikempfehlungssys- temen . . . . .	21
2.5 Stand der Forschung im Bereich der automatisierten Musikklassifikation .	23
<b>3 Metriken zur effizienten Exploration des applikationsspezifischen Entwurfs- raums</b>	<b>26</b>
3.1 Kostenfaktoren und Metriken . . . . .	26
3.1.1 Kostenfaktoren . . . . .	26
3.1.2 Kombinierte Kosten-Metriken . . . . .	27
3.2 Quantitative Erfassung der Kostenfaktoren . . . . .	28
<b>4 Klassifikationsmethoden zur Bestimmung von Durchsatzraten</b>	<b>30</b>
4.1 Software-Framework für Analysen und Demonstrationen . . . . .	30
4.2 Festlegung der für Musik geeigneten Klassifikationsmethoden . . . . .	32
4.2.1 Klassifikationsmethode I (MCI) . . . . .	33
4.2.2 Klassifikationsmethode II (MCII) . . . . .	34

4.2.3	Klassifikationsmethode III (MCIII)	37
4.2.4	Klassifikationsmethode IV (MCIV)	38
4.3	Bewertung der Klassifikationsmethoden	39
<b>5</b>	<b>Konzeption der Merkmalsextraktion mit Fixpunkt-Arithmetik</b>	<b>43</b>
5.1	Fixpunktzahlendarstellung	43
5.2	Algorithmen zur Approximation algebraischer Operationen	45
5.2.1	Long Division	47
5.2.2	Nonrestoring-Verfahren zur Approximation der Quadratwurzel	49
5.2.3	BKM-Algorithmus zur Approximation des natürlichen Logarithmus	50
5.3	Methodik zur Festlegung von Fixpunktattributen	52
5.3.1	Implementierung der Fixpunkt-basierten Merkmalsextraktion	54
5.3.2	Wortlängenoptimierung	55
5.3.3	Methode zur Erstellung der Fehlerspezifikation	56
5.4	Evaluation der Fixpunktattribut-Festlegung	59
<b>6</b>	<b>Architekturspezifische Optimierung der Musikklassifikation</b>	<b>62</b>
6.1	General Purpose Prozessoren (x86)	63
6.1.1	Bewertung der Extraktionszeiten	64
6.2	Graphics Processing Unit (GPU)	64
6.2.1	Verwendung von GPUs für allgemeine Aufgaben	64
6.2.2	GPU-spezifische Optimierung	67
6.2.3	Anwendung des CUDA-Modells auf den Extraktionsprozess	72
6.2.4	Beschleunigte Extraktion der Merkmale	73
6.2.5	Bewertung der Extraktionszeiten	75
6.2.6	Kommunikationslatenz zwischen Host und GPU	76
6.3	RISC-basierte Architekturen	77
6.3.1	ARM-Cortex A8	78
6.3.2	Laufzeitanalyse der Verarbeitungsschritte	79
6.3.3	Analyse der FFT Extraktion	80
6.3.4	Bewertung der Extraktionszeiten	82
6.4	Digitale Signalprozessoren	82
6.4.1	TI C674x DSP	83
6.4.2	Optimierung der Merkmalsextraktion	85
6.4.3	Bewertung der Extraktionszeiten	86
6.4.4	Kommunikationslatenz im Betrieb in einer heterogenen Architektur	87
6.5	Applikationsspezifische Instruktionssatz Prozessoren	88
6.5.1	ARC600 Architektur	88
6.5.2	Anwendungsspezifische Optimierung des ARC600	90
6.5.3	Bewertung der Extraktionszeiten	99
6.6	Dedizierte Hardware-Architektur	99
6.6.1	Schnittstellen-Spezifikation	101

6.6.2	Pipeline FFT-Prozessor . . . . .	102
6.6.3	Funktionseinheiten für mathematische Operationen . . . . .	104
6.6.4	Design der Extraktionseinheiten am Beispiel der MFCC Merkmale 108	
6.6.5	Sortier-Modul zur Extraktion des OSC Merkmals . . . . .	110
6.6.6	Kommunikationslatenz: Konzepte zur Übertragung extrahierter Merkmale in externen Speicher . . . . .	111
6.6.7	Verifikationsumgebung . . . . .	113
6.6.8	FPGA- und ASIC-spezifische Implementierung . . . . .	114
<b>7</b>	<b>Evaluation des quantitativ erfassten Entwurfsraums</b>	<b>118</b>
7.1	Architektur-spezifische Laufzeitevaluation der vollständigen Musikklassi- fikation . . . . .	118
7.2	Bewertung der Architekturansätze zur beschleunigten Merkmalsextraktion	120
7.3	Energie- und Flächeneffizienz von Architekturen zur Merkmalsextraktion	123
7.4	Bewertung heterogener Architekturansätze . . . . .	126
7.4.1	Laufzeiten heterogener Architekturen . . . . .	127
7.4.2	ATE-Kosten heterogener Architekturen . . . . .	129
7.5	Bewertung der Ergebnisse für Endbenutzer-Geräte . . . . .	131
7.5.1	Trainingslaufzeiten . . . . .	132
7.5.2	Laufzeiten bei Analyse von Musikdaten auf externen Speichermedien	133
7.5.3	Laufzeiten bei komprimierten Musikdaten . . . . .	134
<b>8</b>	<b>Anwendung des quantitativ erfassten Entwurfsraums für die Audio-Szenen- Erkennung</b>	<b>136</b>
8.1	Bewertung Architektur-spezifischer Eigenschaften für die Audio-Szenen- Erkennung . . . . .	136
8.2	Klassifikationsgüten bei der Audio-Szenen Erkennung . . . . .	138
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>141</b>
<b>A</b>	<b>Software-Framework</b>	<b>144</b>
A.1	Algorithmen-Übersicht . . . . .	144
A.2	Anwendungsbeispiele . . . . .	145
A.3	Implementierte Klassifikationsmethoden . . . . .	146
<b>B</b>	<b>Messergebnisse des ARC600</b>	<b>147</b>
B.1	Daten-Cache abhängige Laufzeiten des ARC600 . . . . .	147
B.2	Instruktions-Cache abhängige Laufzeiten des ARC600 . . . . .	148
B.3	Effizienzwerte des ARC600 bei verschiedenen Konfigurationen . . . . .	149
<b>C</b>	<b>Evaluationsergebnisse</b>	<b>150</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>154</b>