

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>1. Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand der Technik bei Parallelisierung in der Bildverarbeitung</b>	<b>5</b>
2.1. Hardware-basierte Parallelisierung . . . . .	5
2.1.1. Zusätzliche Koprozessoren . . . . .	5
2.1.1.1. Field Programmable Gate Arrays . . . . .	6
2.1.1.2. Digitale Signalprozessoren . . . . .	8
2.1.1.3. Weitere Lösungen . . . . .	9
2.1.2. Intelligente Kameras . . . . .	10
2.1.3. Grafikkarten als Koprozessoren . . . . .	11
2.2. Software-basierte Parallelisierung . . . . .	13
2.2.1. Streaming SIMD Extensions . . . . .	13
2.2.2. Explizites Multithreading . . . . .	14
2.2.3. Datenparallelität und OpenMP . . . . .	18
2.2.4. Weitere Bibliotheken . . . . .	21
2.2.4.1. Intel Threading Building Blocks . . . . .	21
2.2.4.2. Message Passing Interface . . . . .	21
2.2.4.3. OpenCV . . . . .	22
<b>3. Petri-Netze als Beschreibungsmittel</b>	<b>25</b>
3.1. Strukturelemente und Dynamik gewöhnlicher Petri-Netze . . . . .	25

3.2. Höhere Petri-Netze . . . . .	27
<b>4. Modellierung des Datenflussnetzwerkes auf Basis von Petri-Netzen</b>	<b>31</b>
4.1. Grundmodell . . . . .	31
4.1.1. Modellierung als gefärbtes Netzwerk . . . . .	32
4.1.1.1. Der Netzwerkbegriff . . . . .	32
4.1.1.2. Netzwerke aus skalarwertigen Operationen . . . . .	34
4.1.1.3. Syntaxprüfung skalarwertiger Netzwerke . . . . .	36
4.1.1.4. Netzwerke aus vektorwertigen Operationen . . . . .	36
4.1.1.5. Syntaxprüfung für vektorwertige Netzwerke . . . . .	37
4.1.2. Transformation zu einem Petri-Netz . . . . .	38
4.2. Operatoren . . . . .	40
4.2.1. Formale Definition . . . . .	41
4.2.2. Syntaxprüfung von Pipelines . . . . .	43
4.3. Scopes . . . . .	44
4.3.1. Datenschranken . . . . .	45
4.3.2. Scopes als lokale Umgebungen . . . . .	45
<b>5. Modellerweiterung: Ablaufsteuerung</b>	<b>49</b>
5.1. Bedingte Ausführung . . . . .	49
5.1.1. Datenweichen und alternative Pfade . . . . .	49
5.1.2. Zweiseitige Auswahl . . . . .	51
5.2. Wiederholte Ausführung . . . . .	52
5.2.1. Erweiterung der Operatorstruktur . . . . .	52
5.2.2. Datenschranken mit Update . . . . .	56
5.2.3. Iterierende Scopes als fußgesteuerte Schleifen . . . . .	58
<b>6. Scheduling</b>	<b>61</b>
6.1. Problemstellung . . . . .	61
6.2. Klassisch deterministisches Offline-Scheduling . . . . .	63
6.3. Implementierungsbeispiele für Online-Systeme . . . . .	66
6.3.1. Zentrales Scheduling . . . . .	67
6.3.2. Dezentrales Scheduling . . . . .	72

<b>7. Parallelisierungspotenzial in Aufgaben der industriellen Bildverarbeitung</b>	<b>75</b>
7.1. Makros als Untersuchungsgegenstand . . . . .	76
7.2. Analyse der Befehls- und Datenflussstrukturen . . . . .	77
7.2.1. Übersicht über den Ablauf der Analyse . . . . .	77
7.2.2. Auswahl der Makros . . . . .	77
7.2.2.1. Levenshtein-Distanzen als Ähnlichkeitsmaß . . . . .	78
7.2.2.2. Auswahlverfahren . . . . .	79
7.2.3. Ermittlung der Datenflussstrukturen . . . . .	81
7.2.4. Untersuchung der Effizienz bei paralleler simulierter Ausführung . .	83
7.2.5. Auswertung der Effizienzuntersuchung . . . . .	86
<b>8. Leistungsbewertung</b>	<b>93</b>
8.1. Untersuchungen zur optimalen Granularität von Abläufen . . . . .	93
8.1.1. Pipelines aus zusammenhangslosen Operatoren . . . . .	93
8.1.1.1. Ergebnisse bei zentralem Scheduling . . . . .	94
8.1.1.2. Ergebnisse bei dezentralem Scheduling . . . . .	95
8.1.2. Pipelines mit Makrostrukturen . . . . .	96
8.1.2.1. Ergebnisse bei zentralem Scheduling . . . . .	97
8.1.2.2. Ergebnisse bei dezentralem Scheduling . . . . .	100
8.1.3. Alternative Implementierungsansätze . . . . .	101
8.1.3.1. Alternativansatz mit zentralem Scheduling . . . . .	101
8.1.3.2. Alternativansatz mit dezentralem Scheduling . . . . .	103
8.1.3.3. Vergleich erreichter Effizienz mit theoretischem Maximum	105
8.2. Untersuchung der Skalierbarkeit des Systems . . . . .	107
8.2.1. Skalierungsverhalten bei zentralem Scheduling . . . . .	109
8.2.2. Skalierungsverhalten des Systems mit dezentralem Scheduling . .	117
<b>9. Validierung der Untersuchungen</b>	<b>125</b>
9.1. Testergebnisse . . . . .	128
9.2. Vergleich mit Prognose auf Basis der Algorithmenstruktur . . . . .	133
<b>10. Zusammenfassung</b>	<b>143</b>

<b>A. Einzelaufstellung der Ergebnisse der statistischen Untersuchung des Parallelisierungspotenzials</b>	<b>149</b>
<b>B. Einzelaufstellung der Ergebnisse der Skalierungsuntersuchungen</b>	<b>159</b>
B.1. Abhängigkeit von der mittleren Operatorlaufzeit . . . . .	159
B.1.1. Beispielimplementierung mit zentralem Scheduling . . . . .	159
B.1.2. Beispielimplementierung mit dezentralem Scheduling . . . . .	162
B.2. Abhängigkeit von der Anzahl verfügbarer Prozessoren . . . . .	165
B.2.1. Beispielimplementierung mit zentralem Scheduling . . . . .	165
B.2.1.1. Effizienz ohne SMT . . . . .	165
B.2.1.2. Effizienz mit SMT . . . . .	168
B.2.1.3. SpeedUp ohne SMT . . . . .	171
B.2.1.4. SpeedUp mit SMT . . . . .	174
B.2.1.5. Relative Effektivität ohne SMT . . . . .	177
B.2.1.6. Relative Effektivität mit SMT . . . . .	180
B.2.2. Beispielimplementierung mit dezentralem Scheduling . . . . .	183
B.2.2.1. Effizienz ohne SMT . . . . .	183
B.2.2.2. Effizienz mit SMT . . . . .	186
B.2.2.3. SpeedUp ohne SMT . . . . .	189
B.2.2.4. SpeedUp mit SMT . . . . .	192
B.2.2.5. Relative Effektivität ohne SMT . . . . .	195
B.2.2.6. Relative Effektivität mit SMT . . . . .	198
<b>C. Skalierungsverhalten des Testalgorithmus</b>	<b>201</b>
C.1. Skalierungsverhalten des vollständigen Algorithmus . . . . .	201
C.2. Strukturbasierte Prognose für den vollständigen Schleifenkörper . . . . .	203
C.3. Strukturbasierte Prognose für den bereinigten Schleifenkörper . . . . .	204
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>205</b>
<b>Thesen zur Dissertation</b>	<b>217</b>