



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

Seminararbeit

Energieeffiziente Eingebettete Systeme: Dynamische Spannungs- und Frequenzskalierung

TU Bergakademie Freiberg

vorgelegt von

Ben Weckend

Matrikel: 67551

Prüfer:	Prof. Dr. Bernhard Jung M.Sc. Robert Lösch
Studiengang:	Diplom Robotik
Tag der Einreichung:	30. August 2024

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbstständig unter Anleitung meiner Betreuer verfasst habe. Ich habe keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken entnommen sind, ob dem Wortlaut oder dem Sinn nach, habe ich in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Diese Versicherung bezieht sich auch auf die bildlichen Darstellungen. Ich versichere, dass die Arbeit den Prinzipien der guten wissenschaftlichen Praxis genügt. Ich versichere, dass diese Arbeit bislang keiner anderen Prüfungskommission zur Begutachtung vorgelegt wurde noch wird.

Freiberg, 30. August 2024

Ben Weckend
Matrikel: 67551

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	1
1.3 Struktur der Arbeit	1
2 Grundlagen	2
2.1 Eingebettete Systeme und deren Anwendungen	2
2.2 Energieeffizienz in eingebetteten Systemen	2
2.2.1 ASIC Design	2
2.3 Dynamische Spannungs- und Frequenzskalierung Konzepte und Prinzipien	2
3 Techniken zur Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung	3
3.1 Frequenzskalierung	3
3.1.1 Dynamische Frequenzskalierung	3
3.1.2 Thermisch bedingte Frequenzskalierung	3
3.2 Spannungsskalierung	3
3.2.1 Statistische Spannungsskalierung	3
3.2.2 Adaptive Spannungsskalierungstechniken	3
3.3 Aufbau und Funktion eines Halbleiterbausteins	3
3.3.1 Spannungsskalierung und Transistoren	3
3.4 Kombinierte Spannungs- und Frequenzskalierungstechniken	3
4 Implementierung von DVFS in eingebettete Systeme	4
4.1 Hardwareanforderungen für DVFS	4
5 Grundlegenden Stromspar-Mechanismen	5
5.0.1 Gating	5
5.0.2 Cache-Hierarchien optimieren	5
5.0.3 Sleepmodus	5
5.0.4 Standby-Modus	5
5.0.5 Power-Down-Modus	5

6	Anwendungen und Fallstudien	6
6.1	DVFS in mobilen Geräten und Wearables	6
6.2	DVFS in IoT-Geräten und Sensornetzwerken	6
6.3	DVFS in Weltraumtechnik und Sonden	6
7	Herausforderungen und Zukunftsaussichten	7
8	Schlussfolgerung	8
8.1	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	8
8.2	Bewertung der Rechercheergebnisse	8
8.3	Ausblick auf zukünftige Forschungsrichtungen	8

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

5545490

1.1 Hintergrund und Motivation

1.2 Zielsetzung der Arbeit

1.3 Struktur der Arbeit

2 Grundlagen

2.1 Eingebettete Systeme und deren Anwendungen

2.2 Energieeffizienz in eingebetteten Systemen

2.2.1 ASIC Design

2.3 Dynamische Spannungs- und Frequenzskalierung Konzepte und Prinzipien

3 Techniken zur Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung

3.1 Frequenzskalierung

3.1.1 Dynamische Frequenzskalierung

3.1.2 Thermisch bedingte Frequenzskalierung

3.2 Spannungsskalierung

3.2.1 Statistische Spannungsskalierung

3.2.2 Adaptive Spannungsskalierungstechniken

3.3 Aufbau und Funktion eines Halbleiterbausteins

3.3.1 Spannungsskalierung und Transistoren

3.4 Kombinierte Spannungs- und Frequenzskalierungstechniken

4 Implementierung von DVFS in eingebettete Systeme

4.1 Hardwareanforderungen für DVFS

5 Grundlegenden Stromspar-Mechanismen

5.0.1 Gating

Power Gating

Clock Gating

5.0.2 Cache-Hierarchien optimieren

5.0.3 Sleepmodus

5.0.4 Standby-Modus

5.0.5 Power-Down-Modus

6 Anwendungen und Fallstudien

6.1 DVFS in mobilen Geräten und Wearables

6.2 DVFS in IoT-Geräten und Sensornetzwerken

6.3 DVFS in Weltraumtechnik und Sonden

7 Herausforderungen und Zukunftsaussichten

8 Schlussfolgerung

8.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

8.2 Bewertung der Rechercheergebnisse

8.3 Ausblick auf zukünftige Forschungsrichtungen

trueRef