

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Prozess-Scheduling unter Linux	3
2.1	Prozess-Scheduling	3
2.1.1	Vanilla Scheduler	4
2.1.2	Complete Fair Scheduler (CFS)	6
2.2	Echtzeitsysteme	7
2.3	Multiprozessor-Systeme	8
3	Der <i>OS-Jitter</i> auf dem <i>High Performance Cluster</i>	11
3.1	High Performance Cluster	11
3.2	Kommunikation im Cluster	12
3.2.1	Message Passing Interface (MPI)	12
3.2.2	OpenMP	13
3.2.3	Hybrid Programmierung	13
3.3	Definition des <i>OS-Jitter</i>	14
3.4	Applikationen mit fein- und grobgranularen Rechenschritten	15
3.5	Gang Scheduling	15
3.6	Zeitsynchronisation der Knoten	16
3.6.1	<i>Network Time Protokoll (NTP)</i>	16
3.7	Ursachen des <i>OS-Jitter</i>	17
3.7.1	Der <i>System Tick</i>	18
3.8	Messungen des <i>OS-Jitter</i>	19
3.8.1	Micro-Benchmarks	19
3.8.2	Anwendungs-Benchmarks	22
3.9	Analyse von Kernel Events	22
3.9.1	KTAU	23
3.9.2	KLogger	24
3.9.3	ClusterOS Toolkit	25
3.10	Ansätze zur Vermeidung des <i>OS-Jitter</i>	25
3.10.1	ZeptoOS I/O Node Kernel	25
3.10.2	Compute Node Linux	25
3.10.3	Compute Node Kernel	26
4	Messung des <i>OS-Jitter</i> Effekts	27
4.1	Qualität der Zeitmessung	27
4.2	1-Prozessor Micro-Benchmark	29
4.2.1	Selfish Detour Benchmark Suite	29
4.2.2	FTQ – Fix Time Quantum	30

4.3	<i>n</i> -Prozessor Benchmark – MPI-Jitter	33
5	Mathematisches Hilfsmittel zur Datenauswertung	37
5.1	Dichteschätzer	37
5.2	Frequenzanalyse mittels <i>Fast Fourier-Transformation (FFT)</i>	40
5.2.1	Anwendung der <i>Fast Fourier-Transformation</i>	41
6	Analyse der Benchmarks	47
6.1	Testumgebung	47
6.1.1	openSuSE 10.2 mit KTAU	48
6.1.2	SuSE Linux Enterprise Real Time (SLERT)	48
6.2	FTQ Messungen	49
6.2.1	openSuSE 10.2 Kernel mit KTAU Patch	49
6.2.2	SuSE Linux Enterprise Real Time 10 (SLERT)	58
6.2.3	Induzieren einer künstliche Störung	62
6.2.4	Overhead des Benchmarks	63
6.2.5	Fazit	65
6.3	MPI-Jitter Messungen	66
6.3.1	openSuSE 10.2 Kernel mit KTAU Patch	66
6.3.2	SuSE Linux Enterprise Real Time 10 System (SLERT)	77
6.3.3	Fazit	81
7	Konzipierung und Implementierung eines <i>OS-Jitter</i> Werkzeugs	83
7.1	FTQ-Benchmark	83
7.1.1	Auswertung der Daten mit <i>R</i>	84
7.2	MPI-Jitter Benchmark	86
7.2.1	Auswertung der Daten mit <i>R</i>	87
7.3	Anwendung des Konzepts exemplarisch auf den HPC-Systemen <i>JuMP</i> und <i>JuGene</i>	88
7.3.1	FTQ Messungen auf dem <i>JuMP</i> System	88
7.3.2	FTQ Messungen auf dem <i>JuGene</i> System	89
7.3.3	MPI-Jitter Messungen auf dem <i>JuMP</i> System	90
7.3.4	MPI-Jitter Messungen auf dem <i>JuGene</i> System	90
8	Ausblick	93
A	Messungen mit dem FTQ-Benchmark	95
A.1	openSuSE 10.2 mit KTAU Patch	95
A.2	SuSE Linux Enterprise Realtime	101
B	Messungen mit dem <i>MPI-Jitter</i> Benchmark	107