

1 Einleitung

1.1 Motivation

Seit Beginn seiner Entwicklung im Jahr 2009 boomt der Minicomputer Raspberry Pi: Er erhielt z.B. den wichtigen Designpreis INDEX: award 2013 und wurde als Innovation des Jahres 2012 bei den T3 Gadget Awards ausgezeichnet. Das Modell B verkaufte sich inzwischen (November 2013) über zwei Millionen Mal. Was sind die Gründe für den Erfolg des Pi?

Hierzu zählen seine Energieeffizienz, die Flexibilität in Verwendung und Anpassung, ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis und der niederschwellige Zugang z.B. für Jugendliche und im pädagogischen Umfeld.

Projekte von Privatpersonen sind etwa der Einsatz des Pi als Home-Server, mobiler Video-Player oder Überwachungskamera. Im wissenschaftlichen Umfeld werden immer häufiger mehrere Pis als Cluster verschaltet, um z.B. aufwändige Rechenoperationen auf mehrere Knoten zu verteilen. Hierbei stehen Fragestellungen im Mittelpunkt wie: Welche Rechenleistung können wir auf einem Pi erzielen im Vergleich zu einem Desktop-Rechner, einem Notebook oder einem Remote-Server? Welche Komponenten des Pi sind besonders leistungstark (GPU), welche weniger (CPU)? Wie können diese optimal ausgenutzt werden? Wie stellt sich die Performance eines Raspberry Pi-Cluster dar im Vergleich zu früheren oder heutigen Supercomputern?

1.2 Fragestellung

In dieser Arbeit sollen die Performance des Pi und das Skalierungsverhalten eines Raspberry Pi-Clusters fokussiert werden: Noch vor wenigen Jahren erschien es unmöglich, auf kostengünstigen Minicomputern ähnliche Leistungen wie auf Großrechnern zu erzielen. So kostete etwa der erste Supercomputer, der mit der Linpack-Benchmarksuite getestet wurde, 7 Mio. US-Dollar und hatte eine Energiezufuhr von 115 Kilowatt. Ein Raspberry Pi mit allen notwendigen Komponenten kostet nur ca. 70 US-Dollar, benötigt 5 Watt Stromzufuhr und ist viereinhalb Mal schneller als Cray 1 im Jahr 1978.

Um die Performance von Großrechnern zu testen und für Vergleiche nutzbar zu machen, werden seit Beginn der Top500-Rankings Benchmarks eingesetzt. Sowohl Linpack als auch die Whetstone-Benchmarksuite sind seit rund 35 Jahren im Einsatz, um Einzel- und Großrechner zu testen und zu klassifizieren. In dieser Arbeit sollen daher zunächst die definitorischen Grundlagen abgesteckt, Auswahl und Anpassung der verwendeten Pi-spezifischen Parameter erläutert werden (2 und 4). Dann werden einige High Performance-Benchmarks sowie Linux-spezifische Benchmarks vorgestellt (3) und ihre Performance auf einem Pi-Einzelrechner ermittelt (5). Anschließend sollen die Benchmarks für einen Cluster mit 20 Pis angepasst werden (6). Dabei steht das Skalierungsverhalten der Benchmarks im Vordergrund der Analyse (7). Den Schluss bilden die Interpretation und Zusammenfassung der Untersuchungsergeb-

1 Einleitung

nisse (8) sowie ein Ausblick auf weiterführende Fragestellungen (9).

2 Vorgehensmodell

2.1 Grundlage

Zahlreiche Benchmarks wurden bereits auf dem Raspberry Pi getestet oder für diesen angepasst. Dabei steht meist die Performance verschiedener Betriebssysteme (z.B. Fedora vs. Debian) oder einzelner Hardware-Komponenten (GPU, CPU, RAM etc.) im Vordergrund.

Dabei werden hauptsächlich werden Linux-spezifische Benchmarks verwendet wie Sysbench CPU Benchmark (CPU), PyBench (Python-Implementierung), Apache Benchmark (Webserver), OpenSSL (CPU), ioquake3 (GPU) oder die Linux Test Suite Benchmarks, in der mehrere CPU-Benchmarks zusammengefasst sind.

Es erscheint jedoch schwierig, sich ein umfassendes Bild der Landschaft von Benchmarks zu machen. Vieles, was von den Usern als „Benchmark“ bezeichnet wird, stellt sich bei näherer Betrachtung als selbst geschriebene Routine heraus, mit der z.B. die Grafikkarte getestet werden soll. Sie kann kaum als Grundlage für einen Vergleich mit HPC-Rechnern dienen.

Im Folgenden werden daher grundlegende Begriffe erläutert, auf die sich die Untersuchung stützen soll. Erst anschließend kann darauf eingegangen werden, welche Benchmarks sinnvollerweise verwendet werden können (vgl. 3) und welche Parameter verwendet bzw. für den Raspberry Pi entsprechend modifiziert werden müssen (vgl. 4).

2.2 Definition: Benchmark

Mit *Benchmarking* oder „Maßstäbe vergleichen“ wird die „vergleichende Analyse von Ergebnissen oder Prozessen mit einem festgelegten Bezugswert oder Vergleichsprozess“ ([wika]) bezeichnet. *Computer-Benchmarks* im Speziellen „dienen dem Vergleich der Rechenleistung von Computer-Systemen. Meist wird dabei Software verwendet, um die Leistung verschiedener Hardware-Systeme zu messen und zu vergleichen“ (ebd). Das Lexikon ITWissen liefert eine spezifischere Definition:

Unter Benchmark-Tests versteht man Vergleichstests, mit denen die Leistung von Zentraleinheiten (CPU), elektronischen Komponenten und Geräten sowie von Software unter Anwendungs- und Grenzbedingungen mit Hilfe eines Bewertungsprogramms untersucht werden. Es ist ein Maßstab zum Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Datenverarbeitungsanlagen. Um ihre Vergleichbarkeit nicht auf die Gegenüberstellung rein technischer Leistungsangaben zu beschränken, wird durch Benchmark-Verfahren die Durchlaufzeit von mehreren Jobs, speziell in der Simultanverarbeitung, gemessen und beurteilt ([itwa]).

Auch „selbst geschriebene Programme“ ([Pre11]) werden sogar in der Fachliteratur gelegentlich als Benchmarks bezeichnet. In dieser Arbeit soll jedoch die Bewertung von Hardware-Komponenten eines oder mehrerer, parallel arbeitender Rechnerkerne an Hand von standardisierten Verfahren gemessen werden. Daher soll hier mit *Benchmark* kurz das *Standardisieren von Arbeit* bezeichnet werden.

2.3 Definition: Leistung

In der Physik wird *Leistung* als „Energie pro Zeit“ definiert (vgl. z.B. [itwb]). Die Wikipedia etwa kennt *Leistung* in der Informatik nur als gleichbedeutend mit *Rechenleistung* (s. 2.4, vgl. [wikb]).

In dieser Arbeit soll ein etwas speziellerer Begriff verwendet werden: *Leistung* bezeichnet hier die *Time to completion*, d.h. die Zeit, die ein Prozess, ein Lese-/Schreibzugriff etc. von seinem Beginn bis zu seinem erfolgreichen Abschluss benötigt.

2.4 Definition: Performance

Auch für den Begriff *Performance* im Zusammenhang mit Rechnern existieren verschiedene Definitionen wie „Leistungsfähigkeit eines Computersystems“ ([Pre11]) oder das „Zeitverhalten von Programmen (Software) und Geräten (Hardware)“, gleichbedeutend mit der „Rechenleistung“ ([wikc]).

Das Lexikon ITWissen definiert Performance wie folgt:

Performance ist gleichzusetzen mit Leistungsfähigkeit. Sie kann für ganze Übertragungssysteme oder für einzelne Übertragungskomponenten, für Rechnersysteme oder einzelne Peripheriegeräte oder auch für Module und Chips angegeben werden. Performance ist mess- und vergleichbar. Die Bewertung der Performance hängt von dem zu bewertenden System oder der einzelnen Komponente ab. So unterliegt ein Router in seiner Performance-Bewertung anderen Kriterien als ein ganzes Übertragungssystem, ein Display anderen Kriterien als eine komplette DV-Anlage ([itwc]).

In dieser Arbeit wird die Leistungsfähigkeit vor allem von Supercomputern zu Grunde gelegt, an Hand derer die Performance eines Raspberry Pi-Einzelrechners und eines Raspberry Pi-Clusters betrachtet werden. *Performance* soll hier als *Arbeit pro Zeit* verstanden werden.

3 Auswahl der Benchmarks

3.1 Linpack

- **Fokus:** Klassifizierung der Top500 durch Fließpunkt-Arithmetik
- **Architektur:** Cluster + Stand-alone
- **Begründung:** Erster Schritt für HPC-Benchmark auf Pi, Option auf Erweiterung auf den Cluster
- **Details:**
 - Erfahrungswerte für Pi-Einzelrechner liegen vor, nicht aber für Pi-Cluster
 - Etabliert und gut dokumentiert
 - Vergleichswerte vorhanden

3.2 Whetstone

- **Fokus:** Performance von Computersystemen durch Fließkomma-Operationen (ähnlich Linpack)
- **Architektur:** Cluster + Stand-alone
- **Begründung:** Standard für die Performance von Mini-Computern
- **Details:**
 - Historisch erster Benchmark für industrielle Standards
 - Etabliert und gut dokumentiert
 - Angepasst für verschiedene Plattformen/Programmiersprachen
 - Wurde vom Entwickler Roy Longbottom selbst für den Pi adaptiert

3.3 Linux-spezifische Benchmarks

- **Fokus:** Vergleich Pi/PC, Analyse einzelner Hardware-Komponenten
- **Architektur:** Stand-alone
- **Begründung:** Evaluation der Performance, Absicherung der Ergebnisse
- **Details:**
 - Manche Benchmarks können Single oder Multiple CPU-Performance messen, z.B. UnixBench u. c-ray (Linux Test Suite Benchmarks)

3 Auswahl der Benchmarks

- Erweiterung für Pi-Cluster denkbar
- **Beispiele:**
 - **Sysbench CPU Benchmark** (CPU)
 - **PyBench** (Python-Implementierung)
 - **Apache Benchmark** (Webserver)
 - **OpenSSL** (CPU)
 - **ioquake3** (GPU)
 - **Linux Test Suite Benchmarks** (CPU)