64-041 Übung Rechnerstrukturen und Betriebssysteme WS26/27



Aufgabenblatt 2 Ausgabe: 20.10., Präsenzaufgabe, Besprechung 26-28.10.2026

Gruppe	
Name(n)	Matrikelnummer(n)

Aufgabe 2.1

Big Brother: Angenommen ein Nachrichtendienst will die Daten eines Messaging Dienstes mitschneiden. Wir wollen abschätzen, ob und mit welchem Aufwand eine Totalüberwachung aller Nutzer möglich ist. Datenmengen werden in Bytes (1 Byte sind 8 bit) angegeben, bei der Datenübertragung ist die Angabe von bit pro Sekunde üblich.

Wir nehmen an, dass ein typischer Anwender pro Tag mehrere Textnachrichten schreibt (je 1 KByte). Außer Texten werden noch weitere Daten übertragen: größere Dateien wie Fotos (je 5 MByte, bzw. $5 \cdot 10^6$ Bytes), Audio (mit geschätzter mittlerer Datenrate von etwa 500 KByte pro Minute) und Video (mit 10 MByte pro Minute). Die AV-Daten (Audio, Video) können in Nachrichten eingebettet sein oder aber für Telefonieanwendungen über den Messaging Dienst laufen. Der Anwender hat zusätzlich die Ortungsdienste seines Gerätes aktiv, und sein Standort wird einmal pro Minute gespeichert (je 50 Bytes).

(a) Welche Datenmengen ergeben sich pro Tag und Anwender, wenn wir eine Anzahl von 10 Textnachrichten, 5 Fotos, 30 Minuten Audio (Telefongespräch) und 5 Minuten Video abschätzen? Zusätzlich nehmen wir an, dass die Metadaten (wer, wann, wo, mit wem) für jede Nachricht gespeichert werden (je 1 KByte).

(b) Welche Gesamtdatenmenge ergibt sich pro Tag für eine Totalüberwachung, wenn beispielsweise WhatsApp mit weltweit ca. 3 Mrd. Nutzern „abgehört“ werden soll?

(c) Ist die Sammlung dieser Daten in einem Rechenzentrum realistisch? Welche Probleme würden auftreten?

(d) Mit welcher Bandbreite (bits/Sekunde) müsste ein Rechenzentrum angeschlossen werden, um diese Daten überhaupt übertragen zu können?

(e) Wie viele Festplatten mit einer Kapazität von 4 TB ($4 \cdot 10^{12}$ Bytes) benötigt man pro Tag für die Speicherung nur der Metadaten (und natürlich der Ortungsdaten) und wie viele für die Speicherung der gesamten Daten?

(f) Die Daten sind ja (hoffentlich) verschlüsselt. Weswegen könnte es trotzdem „interessant“ sein, den Datenverkehr abzufangen und zu speichern?

Aufgabe 2.2

Ebenen eines Digitalrechners: Wir betrachten einen Computer mit insgesamt fünf Abstraktionsebenen (0…4). Die Ausführungszeit für einen Befehl auf der untersten Hardware-Ebene beträgt k Nanosekunden. Darüber liegen die Assemblerebene, eine Java Virtuelle Maschine (www.java.com), ein Clojure Interpreter (www.clojure.org), und schließlich ein Docker-Container (www.docker.com) zur Kapselung unserer Applikation. Damit können wir unser Programm in einer funktionalen Sprache schreiben, die Java Klassenbibliothek benutzen, und alles sauber verpacken. Wir modellieren diese Ebenen zunächst durch vier geschachtelte Interpreter. Jeder dieser Interpreter benötigt n_i Befehle der niedrigeren Ebene i, um einen Befehl seiner Sprache auf Ebene $i + 1$ virtuell auszuführen.

(a) Wie lange benötigt ein Befehl auf den Ebenen 1, 2, 3 und 4? Geben Sie die Formel an.

(b) Wie lang ist die Ausführungszeit eines Programms mit 100 Milliarden Befehlen auf Ebene 4, wenn die Hardware (= Ebene 0) 3 Milliarden Maschinenbefehle pro Sekunde ausführen kann? Nehmen Sie als Faktoren $n_0 = 2$, $n_1 = 20$, $n_2 = 5$ und $n_3 = 2$ an.

(c) Tatsächlich würde man heute natürlich einen Java und Clojure Compiler (bzw. Just-in-time Compiler) verwenden. Eine realistischere Abschätzung wäre dann $n_1 = 2$ und $n_2 = 1.5$. Wie lang ist die Ausführungszeit unseres Programms dann?

Aufgabe 2.3

Moore's Law: Seit über 50 Jahren ist die Verbesserung und Miniaturisierung der Mikroelektronik die treibende Kraft bei der Hardwareentwicklung. Es ist aber zu befürchten, dass sich dieser Trend nur noch wenige Jahre so fortsetzen lässt. Wir betrachten zunächst die Tabelle MM01 im Skript, dem Ausschnitt aus der weiterhin aktuellen „International Roadmap for Devices and Systems“ mit Ausblick bis ins Jahr 2033.

(a) Wie soll sich die mittlere Performance (CPU SIP) von heute (P36M21 2024) bis ins Jahr 2033 (P32M14T4) entwickeln, was gilt für die (relative) Leistungsaufnahme („power density“), und was für die erreichbare Taktfrequenz bei gleichbleibender Leistungsdichte („favg at constant power density“, bezogen auf 2017)?

Passen diese Werte zu dem im Skript genannten Exponenten $L(t) = L(0) \cdot 2^{(t/18)}$ (t in Monaten)? Wenn nein, welcher Exponent ergibt sich statt dessen?

(b) Die graphische Darstellung der „Leistungssteigerung der Spitzenrechner seit 1993“ (top500.org Liste) zeigt drei Kurven, wobei die goldene (jeweils schnellster Rechner, #1) zwar grob dem Moore'schen Gesetz folgt, aber deutliche Stufen zeigt. Haben Sie eine Idee, woran das liegen könnte?

(c) Die beiden anderen Kurven (blau, Performance des jeweils langsamsten Rechners der top-500 Liste; grün, Summe aller 500 Rechner der jeweiligen Liste) scheinen sich ab dem Jahr 2015 und deutlicher seit 2020 abzuflachen. Erklären Sie, warum die grüne Kurve sich weniger abflacht als die blaue.