

Wissenschaftliche Softwareentwicklung

19. Codeoptimierung

Till Biskup

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

08.01.2024





- ❏ Laufzeit und Ressourcenverbrauch sind in den seltensten Fällen ein ernsthaftes Problem.
- ❏ Code sollte nur dann optimiert werden, wenn es unumgänglich ist.
- ❏ Voraussetzungen für erfolgreiche Optimierung sind Messbarkeit, Tests und Versionsverwaltung.
- ❏ Optimierungsstrategien hängen oft von Architektur, Programmiersprache und Compiler ab.
- ❏ Optimierungen haben häufig (ungewollt) Einfluss auf die Funktionalität.

Motivation

Voraussetzungen

Strategien

Zusammenhang mit „Sauberem Code“

Warum Code optimieren?

Es gibt wenige wirklich gute Gründe.



“ *...the first principle of optimization is don't.*

– Kernighan und Pike

Zwei Motivationen für Codeoptimierung

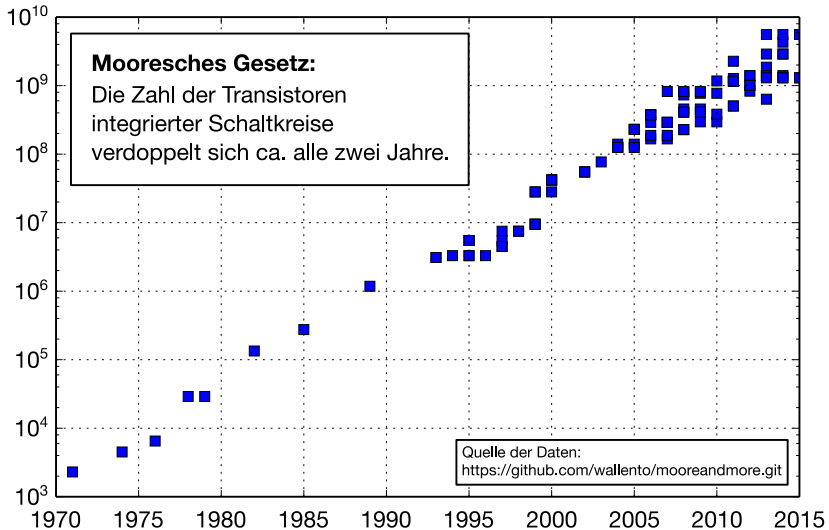
- Steigerung der Ausführungsgeschwindigkeit
- Verringerung des Ressourcenverbrauchs (meist Speicher)

Meist sind beide Aspekte nicht von Belang.

- Hardware wird schneller und billiger.
- Compiler sind mittlerweile sehr gut.
- Meist wartet der Computer eh auf den Nutzer.

Warum Code optimieren?

Es gibt wenige wirklich gute Gründe.



- Anpassung komplexer Simulationen an Daten
 - iterativer Vorgang: viele Aufrufe ($\geq 10^4$) der Simulationsfunktion
 - Laufzeit der Simulationsroutine ist entscheidend.
 - Faktor 5–10 kann über Durchführbarkeit entscheiden
- Pulvermittlung in Simulationsprogrammen
 - Mittelung über Simulationen für viele Orientierungen
 - Punkte gleichmäßig auf einer Kugel zu verteilen ist schwer.
- quantenmechanische Behandlung vieler Teilchen
 - häufig mit innerem Produkt zweier Matrizen (\otimes) verbunden
 - Matrixdimensionen steigen quadratisch an: Speicherplatz!
- 👉 Die Lösung ist in allen Fällen meist keine Codeoptimierung, sondern eine intelligente Wahl von Algorithmen.

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a\alpha & a\beta & b\alpha & b\beta \\ a\gamma & a\delta & b\gamma & b\delta \\ c\alpha & c\beta & d\alpha & d\beta \\ c\gamma & c\delta & d\gamma & d\delta \end{pmatrix}$$

Beispiel

- Für N Teilchen ist die Matrix-Dimension 2^N .
- Jedes Feld in der Matrix ist eine 64-Bit-Gleitkommazahl.
- Für $N = 14$ sind das 2^{14^2} Felder, also ca. 2×10^9 Byte.
- ☛ Für $N > 15$ wird es auch mit moderner Hardware eng...
- ☛ Dann helfen nur noch Näherungen.

$$\mathcal{O}(g(n)) = \{f(n) \mid \exists c > 0 \exists n_0 \in \mathbb{N} \forall n \geq n_0 : f(n) \leq c \cdot g(n)\}$$

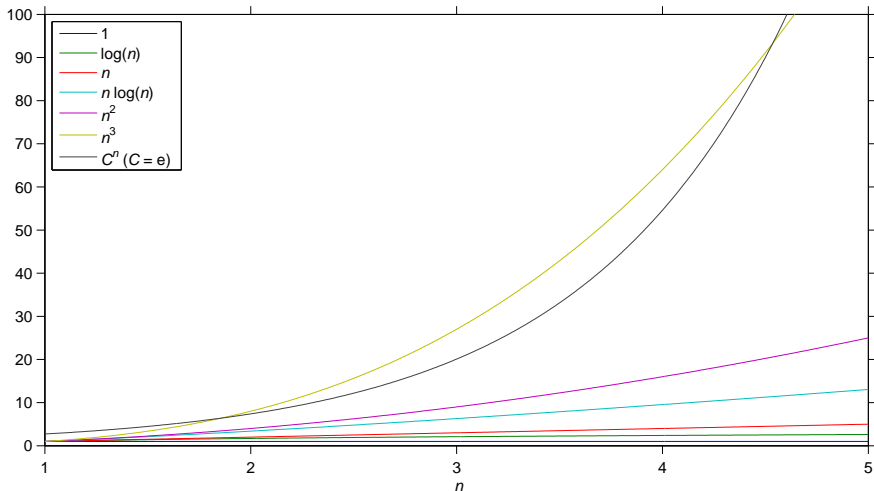
- $g(n)$ ist die asymptotische obere Schranke von $f(n)$.
- $\mathcal{O}(g(n))$ ist die Menge aller $f(n)$, für die $g(n)$ eine asymptotische obere Schranke ist.

Anwendung in der Informatik

- gilt sowohl für Ausführungsgeschwindigkeit als auch für Ressourcenverbrauch (meist Speicher)
- gibt jeweils den „*worst case*“ (obere Grenze) an
- sagt nichts über den realen Ressourcenverbrauch bzw. die Laufzeit eines Algorithmus für fixes n aus

Ordnung	typisches Beispiel
$\mathcal{O}(1)$	Zugriff auf Vektorelement
$\mathcal{O}(\log(n))$	Binärsuche
$\mathcal{O}(n)$	sequentielle Suche
$\mathcal{O}(n \log(n))$	Quicksort, Heapsort
$\mathcal{O}(n^2)$	Selectionsort
$\mathcal{O}(n^3)$	Multiplikation zweier $n \times n$ -Matrizen
$\mathcal{O}(C^n)$	Problem des Handlungsreisenden

- Häufig lässt sich $\mathcal{O}(n^2)$ zu $\mathcal{O}(n \log(n))$ reduzieren.
- Algorithmen mit $\mathcal{O}(n^2)$ Speicherbedarf sind problematisch.



☛ Die Größe von n kann entscheidend sein.

Motivation

Voraussetzungen

Strategien

Zusammenhang mit „Sauberem Code“

Bevor man anfängt zu optimieren

Vier essentielle Voraussetzungen für Codeoptimierungen



“ *A fast program that gets the wrong answer doesn't save any time.*

– Kernighan und Pike

Vier Voraussetzungen

- funktionierender Code
 - Tests mit ausreichender Testabdeckung
 - Versionsverwaltung
 - Messungen der Codegeschwindigkeit
- ☛ (fast) gleiche Voraussetzungen wie für Refactoring
- ☛ Erst Geschwindigkeit messen, (*nur*) dann optimieren.

- funktionierender Code
 - möglichst in einer Hochsprache entwickeln
 - Code sollte das gesamte System abbilden.
 - Optimierung ist oft auf Systemebene effektiver.
 - Tests mit ausreichender Testabdeckung
 - Codeoptimierung führt oft zu subtilen Fehlern.
 - Nur automatisierte Tests können ausreichend sicherstellen, dass Code (immer noch) funktioniert.
 - Tests sollten nach jedem Optimierungsschritt durchlaufen.
 - Versionsverwaltung
 - Codeoptimierung ist nie ein linearer Prozess.
 - Funktionierende Versionen des Codes dienen als Referenz.
- ☛ Es gibt vor dem Optimieren erstmal genug zu tun ...

“ *...intuition is a poor guide to where the bottlenecks are, even for one who knows the code in question intimately.*

– Eric S. Raymond

- Regeln zur Messung der Codegeschwindigkeit
 - Werkzeuge verwenden (Profiler etc.)
 - mehrfach messen (Streuung ist teilweise erheblich)
 - Messergebnisse sauber mitdokumentieren (Logbuch!)
- ☛ Meist sind weniger als fünf Prozent des Codes für 90 Prozent der Ausführungszeit verantwortlich.
- ☛ Intuition weist meist vollständig in die Irre.

Motivation

Voraussetzungen

Strategien

Zusammenhang mit „Sauberem Code“

“ *The most effective way to optimize your code is to keep it small and simple.*

– Eric S. Raymond

- Problem mit konkreten Optimierungsstrategien:
 - von vielen Parametern abhängig
 - gelten jeweils nur für wenige Spezialfälle
- mögliche Abhängigkeiten – eine Auswahl:
 - Programmiersprache und Version
 - Compiler, dessen Flags und Version
 - verwendete Bibliotheken und deren Versionen
 - Hardwarearchitektur

- 1 bestehende Version sichern (Versionsverwaltung)
 - 2 Geschwindigkeit messen (Profiler o.ä.)
 - 3 Grund für schlechte Leistung herausfinden
 - 4 entdeckten Flaschenhals beheben (Refactoring)
 - 5 nach jedem Einzelschritt Geschwindigkeit messen
 - 6 wenn erfolglos: zurück zur gesicherten Vorversion
- ☛ Meist sind über die Hälfte der Versuche erfolglos.
 - ☛ (Erfolgreiche) Optimierung ist ein iterativer Prozess.
 - ☛ nur optimieren, wenn es wirklich angebracht ist
 - ☛ saubere Buchführung über erreichte Geschwindigkeiten

- **Compileroptimierungen verwenden**
 - Moderne Compiler bieten oft Optimierungsmöglichkeiten.
 - Optimierung durch Compiler ist oft besser als per Hand.
- **teure durch billige Berechnungen ersetzen**
 - abhängig von der jeweiligen Programmiersprache
 - Division ist meist „teurer“ als Multiplikation.
- **häufige Berechnungen nur einmal durchführen**
 - Bsp.: Berechnung eines festen Wertes in einer Schleife
 - Speicherplatz ist oft ausreichend vorhanden.
- **Werte vorberechnen**
 - Bsp.: langwierige Berechnungen fixer, oft genutzter Werte
 - Werte können ggf. aus einer Datei eingelesen werden.

- Reihenfolge verschachtelter Schleifen optimieren
 - Schleifeninitialisierung kostet Rechenzeit.
 - Innere Schleifen sollten häufiger laufen als äußere.
- Array-Operationen: Reihenfolge im Speicher beachten
 - row-major (C) vs. column-major (Fortran)
- Näherungen statt exakter Werte
 - Nicht immer ist die maximale Genauigkeit notwendig.
 - Genauigkeit korreliert direkt mit Speichergröße.
- Auslagern in maschinennähere Sprache
 - setzt Kenntnisse in mehr als einer Sprache voraus
 - kann entscheidende Geschwindigkeitsvorteile bringen
 - wichtig: besonderer Fokus auf größtmögliche Lesbarkeit
- ☛ Kenntnis der jeweiligen Sprache und ihrer Eigenheiten und genaue Messung der Laufzeiten ist essentiell.

These

Die intelligente Wahl von Algorithmen ist meist wesentlich effizienter als jede Strategie zur Codeoptimierung.

- Näherungen sind oft die einzige gangbare Möglichkeit.
 - Die Grenzen der Näherungen müssen bekannt sein.
 - Ein Einsatz jenseits der Grenzen verfälscht die Ergebnisse.
 - Der *Anwender* ist für den korrekten Einsatz verantwortlich.
- Näherungen setzen ein tiefes Verständnis voraus.
 - Verantwortungsbereich der Naturwissenschaftler
 - Realität: Programme häufig als „*black box*“ eingesetzt
- 👉 Verantwortung des Programmierers:
Grenzen der Näherungen sauber dokumentieren

Motivation

Voraussetzungen

Strategien

Zusammenhang mit „Sauberem Code“

“ *...the only result of optimization you can usually be sure of without measuring performance is that you've made your code harder to read.*

– Steve McConnell

- „Sauberer Code“ ist (zwingende) Voraussetzung für erfolgreiche Optimierung.
- Optimierende Compiler tun sich oft wesentlich leichter mit sauber geschriebenem Code als mit „handoptimiertem“.
- Ausführungsgeschwindigkeit ist kein Grund für schlechte Lesbarkeit und schlecht gepflegten Code.

- Optimierung und Lesbarkeit stehen oft im Widerspruch.
 - Die schnellste Implementierung ist selten die lesbarste.
 - Lesbarkeit hat immensen Einfluss auf die Qualität.
- Lesbarkeit ist meist wichtiger als Geschwindigkeit.
 - Lesbarkeit sorgt für bessere Erweiterbar- und Wartbarkeit.
- Optimierung erfordert besonderen Fokus auf Lesbarkeit.
 - Es gibt auch bei optimiertem Code noch genug Potential.
 - Bsp.: gute Namen und übersichtliche Codeformatierung
- Optimierung schränkt oft die Plattformunabhängigkeit ein.
 - immer den nichtoptimierten, portablen Code behalten
- ☛ Optimiert werden sollte nur, wenn es unumgänglich ist, und immer nur soviel wie unbedingt nötig.

- Wissenschaftlichkeit setzt Nachvollziehbarkeit voraus.
 - Lesbarkeit von Quellcode ist essentiell.
 - Codeoptimierung geht meist zulasten der Lesbarkeit.
 - Lesbarkeit sollte *vorher* trainiert werden.
- Codeoptimierung ist fast nie relevant.
 - (Fast) nur für aufwendige Simulationen notwendig.
 - (Fast) niemand schreibt selbst Simulationsprogramme.
- Die Wahl des Algorithmus ist oft entscheidend.
 - Setzt tiefe Kenntnis der grundlegenden Mathematik voraus.
 - Viele Algorithmen sind in Bibliotheken implementiert.
- 👉 Codeoptimierung sollte nicht mit den Ansprüchen an die Wissenschaftlichkeit des Quellcodes kollidieren.



- ❏ Laufzeit und Ressourcenverbrauch sind in den seltensten Fällen ein ernsthaftes Problem.
- ❏ Code sollte nur dann optimiert werden, wenn es unumgänglich ist.
- ❏ Voraussetzungen für erfolgreiche Optimierung sind Messbarkeit, Tests und Versionsverwaltung.
- ❏ Optimierungsstrategien hängen oft von Architektur, Programmiersprache und Compiler ab.
- ❏ Optimierungen haben häufig (ungewollt) Einfluss auf die Funktionalität.