technische universität dortmund

Fakultät für Informatik
Lehrstuhl 11

Mart Hagedoorn
Guangping Li

Sommersemester 2024
10. Mai

DAP2 Praktikum – Blatt 5

Abgabe: KW 20

Studienleistung

- Zum Bestehen des Praktikums muss jeder Teilnehmer*innen die folgenden Leistungen erbringen:
  - Es müssen mindestens 50 Prozent der Punkte in den Kurzaufgaben erreicht werden.
  - Es müssen mindestens 50 Prozent der Punkte in den Langaufgaben erreicht werden.
- Im Krankheitsfall kann ein Testat bei Vorlage eines Attests in der folgenden Woche nachgeholt werden.
- Wenn ein Praktikumstermin auf einen Feiertag fällt, müssen Sie sich an einem beliebigen anderen Praktikumstermin in der gleichen Woche testieren lassen.
- **Hinweis:** Notieren Sie sich Ihre Punkte nach jedem Testat! Dies dient der eigenen Kontrolle. (Ihr Punktestand kann Ihnen während des Semesters nicht genannt werden.)

Wichtige Information (im Moodle verfügbar)

- Beachten Sie die Erklärung des **Ablaufs (Blatt A)**.
- Beachten Sie die **Regeln und Hinweise (Blatt R)** in der aktuellsten Version!
- Beachten Sie die **Hilfestellungen (Blatt H)** in der aktuellsten Version!

Kurzaufgabe 5.1: Quicksort (3 Punkte)

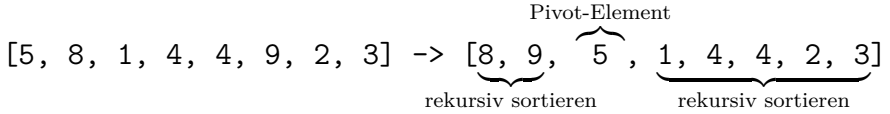
Auf diesem Blatt dreht sich alles um den vergleichsbasierten Sortieralgorithmus `Quicksort`. Der Algorithmus soll ein Subarray $A[l, r]$ von vergleichbaren Werten (möglicherweise das gesamte Array $A = A[0, n-1]$) als Eingabe bekommen, und es in *absteigende Reihenfolge* bringen. Beispiel für ein (Sub-)Array der Länge 8:

```
[5, 8, 1, 4, 4, 9, 2, 3] -> [9, 8, 5, 4, 4, 3, 2, 1]
```

Dabei geht der Algorithmus rekursiv vor. Wenn $l \geq r$, dann enthält das Subarray höchstens ein Element und ist bereits korrekt sortiert. Andernfalls wird $A[l, r]$ zunächst partitioniert. Sei $p = A[l]$ das erste Element des Subarrays *vor der Partitionierung* (das sogenannte Pivot-Element). Die Elemente des Subarrays werden nun umgeordnet, sodass für ein $m \in \{l, \ldots, r\}$ die folgende Invarianten gelten:

- $A[m] = p$ (i.e., m ist die neue Position von p), und
- $\forall i \in \{l, \ldots, m\} : A[i] \geq p$ (i.e., Elemente links von p sind nicht kleiner als p), und
- $\forall i \in \{m, \ldots, r\} : A[i] \leq p$ (i.e., Elemente rechts von p sind nicht größer als p).

Jetzt müssen nur noch die Intervalle $A[l, m-1]$ und $A[m+1, r]$ rekursiv sortiert werden. Der erste Partitionierungsschritt für das obige Beispiel sieht wie folgt aus:



Legen Sie eine Klasse `B5A1` an, in welcher Sie folgende Methoden implementieren:

(a) Die Methode `public static int partition(int[] data, int l, int r)` partitioniert ein Subarray `data[l, r]` so dass die oben gegebene 3 Invarianten gelten. Rückgabewert ist der dabei gefundene Wert m. Sie dürfen in der Methode `partition` keine Hilfsarrays verwenden (die Partitionierung soll in-place erfolgen).

(b) Die rekursive Methode `public static void qsort(int[] data, int l, int r)` verwendet die Methode `partition` aus Aufgabe 5.1(a). Anschließend müssen noch die beiden Subarrays in sich sortiert werden. Dazu wird die Methode `qsort` jeweils auf dem linken und auf dem rechten Subarray ausgeführt.

(c) Die Methode `public static void main(String[] args)` erhält wie immer eine Ganzzahl n und eine Liste von Ganzzahlen $a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}$ via Standard-In, und sortiert die Liste mit `qsort`. Falls das Array weniger als 20 Elemente enthält, geben Sie es vor und nach dem Sortieren aus. Dazu dürfen Sie `Arrays.toString()` aus der Bibliothek `java.util.Arrays` verwenden.

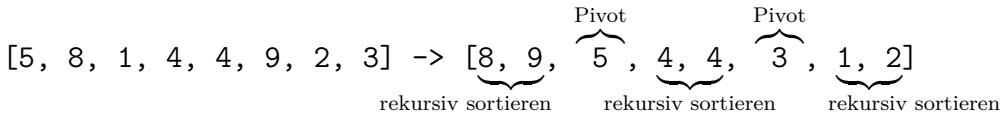
```
java B5A1.java <Enter>
6 11 7 15 16 5 9 <Enter>
Input Array:
[11, 7, 15, 16, 5, 9]
After sorting:
[16, 15, 11, 9, 7, 5]
```

Kurzaufgabe 5.2: Dual-Pivot Quicksort (3 Punkte)

Eine Variante von Quicksort erziehlt in der Praxis oftmals schnellere Laufzeiten, indem sie zwei Pivot-Elemente verwendet. Die Partitionierung von $A[l, r]$ funktioniert dann wie folgt: Seien $p_1 = A[l]$ und $p_2 = A[r]$ das erste und letzte Element des Subarrays *vor der Partitionierung* (die beiden Pivot-Elemente). Die Elemente des Subarrays werden nun umgeordnet, sodass für zwei Positionen $m_1, m_2 \in \{l, \ldots, r\}$ die folgende Invarianten gelten:

- $A[m_1] = \max(p_1, p_2)$ und $A[m_2] = \min(p_1, p_2)$, und
- $\forall i \in \{l, \ldots, m_1\} : A[i] \geq \max(p_1, p_2)$, und
- $\forall i \in \{m_2, \ldots, r\} : A[i] \leq \min(p_1, p_2)$, und
- $\forall i \in \{m_1, \ldots, m_2\} : \max(p_1, p_2) \geq A[i] \geq \min(p_1, p_2)$.

Jetzt müssen nur noch die Intervalle $A[l, m_1 - 1]$, $A[m_1 + 1, m_2 - 1]$ und $A[m_2 + 1, r]$ rekursiv sortiert werden. Der erste Partitionierungsschritt für das obige Beispiel sieht wie folgt aus:



Implementieren Sie in einer Klasse `B5A2` die Dual-Pivot-Variante von Quicksort. Als Startpunkt können Sie einfach Ihre Lösung von Aufgabe 5.1 kopieren. Die Methode `partition` muss in dieser Variante natürlich zwei Werte (m_1 und m_2) zurückgeben. Dazu sollten Sie ein Array vom Typ `int []` der Länge 2 verwenden.

Kurzaufgabe 5.3: Assertions (1 Punkt)

Implementieren Sie eine Methode `public static boolean isPartitioned(int[] data, int l, int r, int m, int p)`, die überprüft, ob das Subarray `data[l,...,r]` richtig partitioniert ist, wobei m ist die neue Position von dem Pivotelement p. Verwenden Sie `isPartitioned` im Zusammenspiel mit dem Schlüsselwort `assert` am Ende der `partition`-Methode, um die Invarianten nach der Partitionierung zu verifizieren.
Implementieren Sie in der Klasse B5A2 die Dual-Pivot-Variante:
`public static boolean isPartitioned(int[] data, int l, int r, int m1, int p1, int m2, int p2)`

Implementieren Sie eine Methode `public static boolean isSorted(int[] data)`, die überprüft, ob das gegebene Array absteigend sortiert ist. Verwenden Sie `isSorted` im Zusammenspiel mit dem Schlüsselwort `assert` in der `main`-Methode, um die Korrektheit von `qsort` nach der Ausführung zu verifizieren.

Hinweis:
assert <Bedingung> : <Fehlermeldung>; Sie müssen den Code mit der Flag `-ea` ausführen: `java -ea B5A1.java`

Kurzaufgabe 5.4: Laufzeitmessung (1 Punkt)

Messen Sie die Laufzeit Ihrer Implementierungen mithilfe der Bibliotheken `java.time.Instant` und `java.time.Duration` (Beispiel unten). Sie sollten sicherstellen, dass *nur die zum Sortieren benötigte Zeit* gemessen wird, und nicht die Zeit zum Lesen der Eingabe!

Wie lange brauchen Sie, um eine zufällige Permutation von $\{1, \ldots, 2^{22}\}$ zu sortieren? Ist Ihre Dual-Pivot-Variante schneller als Ihre Single-Pivot-Variante?

Um aussagekräftige Messwerte zu erhalten, sollten Sie die Messung mehrfach ausführen. Der Median von fünf gemessenen Zeiten ist ein guter Richtwert.

```
Instant start = Instant.now();
// Code, dessen Laufzeit Sie messen wollen
// ...
Instant finish = Instant.now();
long time = Duration.between(start, finish).toMillis();
System.out.println("Time: " + time);
```