

# Huffman Coding

## Einführung

In der ersten Bonuspunkt-Aufgabe sollen Sie ein einfaches Programm zum komprimieren von Daten erzeugen. Hierzu werden Sie die Huffman-Kodierung implementieren.

Der Huffman-Algorithmus bekommt einen Text, der aus einer Liste von Zeichen besteht. Das kann ein String aus Bytes sein, muss es aber nicht. Nun zählt er, wie oft in diesem Text jedes Zeichen vorkommt und weist jedem Zeichen eine Bit-Folge zu. Den Zeichen, die häufig vorkommen, gibt er eine kurze Bit-Folge. Den Zeichen, die weniger häufig vorkommen, gibt er eine längere Bit-Folge. Hier ein kleines Beispiel:

Nehmen wir an, wir haben einen Zeichensatz von “a”, “b”, “c” und “d”. Wir können jetzt jedem dieser Zeichen einfach eine 2-Bit-Folge zuweisen

Zeichen	Repräsentation
a	00
b	01
c	10
d	11

Wenn wir damit den Text “abaaaaaaaaac” encodieren würden, dann käme die folgende Bit-Folge raus

```
a b a a a a a a a a a c
00 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 10
```

```
000100000000000000000010
```

Hierbei handelt es sich um eine offensichtliche Platzverschwendung, da fast ausschließlich “a”s vorkommen. Hätten wir dagegen die folgende Kodierung gewählt, könnten wir den Text viel kürzer ausdrücken:

Zeichen	Repräsentation
a	1
b	01
c	001
d	000

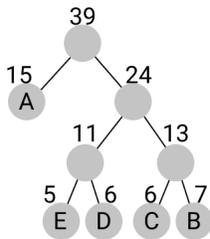
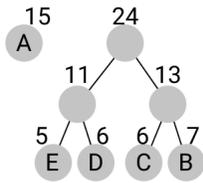
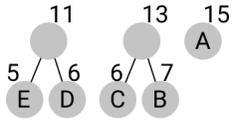
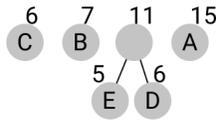
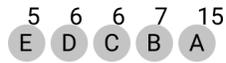
Hier wird das “a” sehr kurz codiert, die anderen hingegen länger.

```
a b a a a a a a a a a c
1 01 1 1 1 1 1 1 1 1 1 000
```

```
101111111111000
```

Die Huffman-Kodierung funktioniert nun so, dass sie einen solchen Text scannt und versucht, die optimale Codierung der Zeichen als Bit-Folgen zu finden.

Dafür wird für jedes Zeichen ein Knoten angelegt, der sowohl das Zeichen enthält als auch die Zahl, wie oft das Zeichen aufgetreten ist. Diese Knoten werden in eine anhand der Frequenz aufsteigend sortierte Liste gepackt. Der Algorithmus nimmt dann in jedem Schritt die zwei Knoten mit der kleinsten Frequenz heraus, erstellt einen Eltern Knoten mit dem kleinsten Knoten als linkes Kind und dem zweitkleinsten Knoten als rechtes Kind. Die Frequenz des neuen Knotens ist die Addition der Frequenzen der kleineren Knoten. Dieser neue Knoten wird dann wieder an der richtigen Stelle der Liste einsortiert. Ganz am Ende bleibt ein großer Knoten zurück. Das ganze ist in fünf Schritten im folgendem Bild dargestellt.



Um auf die Bit-Folge zu kommen, die ein Zeichen enkodieren soll, gehen wir nun einfach im Baum danach auf die Suche. Jedes mal, wenn wir links abbiegen nehmen wir das Bit 1, jedes mal wenn wir rechts abbiegen nehmen wir das Bit 0. Damit hat A im Baum oben die Bit-Folge 1, während die D Bit-Folge 010 hat und B die Bit-Folge 000.

Um eine Bit-Folge zu dekodieren, nehmen wir wieder den Baum und laufen für jedes Bit den Baum entlang. Die Bit-Folge 10101 entspräche also ADA.

Diese Bit-Folgen kann man jetzt natürlich als Bytes kodieren dann auf die Platte schreiben. Wenn man dazugehörigen Baum kennt oder auch mit auf der Platte speichert, hat man einen Kompressionsalgorithmus.

Den Teil mit dem Speichern auf der Platte schenken wir uns, aber das Bauen des Baumes, das Enkodieren und das Dekodieren wollen wir hier nachbauen.

## Aufgabenstellung

### Allgemeine Hinweise

- Die Aufgabe muss funktional, das bedeutet ohne Seiteneffekte geschrieben werden. Unter anderem bedeutet das: Benutzen Sie keine `var` Variablen, nur `val` Variablen. Rufen Sie außerdem keine Methoden auf, die den State von irgendetwas verändern.
- Es wird in den Aufgaben der Typ `Map` benutzt. Dieser kommt aus der Standard-Library. Wenn Sie nicht wissen, wie man damit umgeht, lesen Sie dazu den Eintrag in der offiziellen Scala-API-Dokumentation oder suchen Sie nach Beispielen im Internet. Prinzipiell funktioniert er ähnlich wie Maps oder Dictionaries in anderen Sprachen, jedoch natürlich in funktional, d.h. Methoden zum Verändern geben eine neue Map zurück.
- Auch die anderen Typen in dieser Aufgabe kommen alle aus der Standard-Library und nicht aus der

Vorlesung. Sie dürfen alle Methoden darauf benutzen. Auch hier kann es sinnvoll sein, im Internet nach Beispielen oder der Dokumentation zu suchen.

- Sie können in dieser Aufgabe davon ausgehen, dass alle Typen, auch wenn sie generisch sind, in Hash-Maps gepackt und miteinander verglichen werden können. Das ist im Allgemeinen nicht so, wird hier aber einfach angenommen, damit die Aufgabe nicht unnötig groß wird.
- Die Aufgabe gilt als bestanden, wenn Sie alle Tests erfolgreich bestehen (und der Code funktional ist).
- Die Tests sind in der Vorlage enthalten, Sie können diese also lokal ausführen. Hierzu können Sie ihre IDE / Ihren Editor nutzen, oder in sbt den Befehl `test` verwenden.
- Zur Abgabe laden Sie die bearbeitete Datei “Main.scala” oder Ihren Projektordner als Archiv (zip oder tar.gz/tar.xz) hoch.

Um den Baum zu modellieren benutzen wir folgende Datenstruktur:

```
enum Node[+A]:
  case Inner(left: Node[A], right: Node[A], freq: Int)
  case Leaf(value: A, freq: Int)
  def freq: Int
```

Jeder Knoten hat also eine Frequenz und ist entweder ein innerer Knoten oder ein Blatt. Zu Beginn des Baumbauens haben wir also eine Liste, in denen nur Blätter sind, welche sich dann langsam in eine Liste mit nur einem einzigen inneren Knoten wandelt.

Außerdem können einige Fehler passieren, wenn wir den Baum bauen oder ihn zum enkodieren nehmen. Deswegen repräsentieren wir die möglichen Fehler in einem Enum:

```
enum HuffmanError:
  case NoFrequencies, ValueNotFound, MissingBits
```

Insgesamt sollen Sie die folgenden vier Funktionen implementieren.

```
def getFrequency[A](as: List[A]): Map[A, Int] = ???
```

Diese Funktion bekommt eine Liste mit Zeichen vom Typ A und liefert eine HashMap zurück, welche jedem A seine Frequenz zuordnet.

```
def createTree[A](freqInfo: Map[A, Int]): Either[HuffmanError, Node[A]] = ???
```

Diese Funktion bekommt die Frequency-Informationen der vorherigen Funktion und liefert entweder den NoFrequencies-Fehler zurück, wenn die übergebene Map leer ist, oder den wie nach obigem Algorithmus spezifiziert gebauten Baum.

```
def encode[A](as: List[A], tree: Node[A]): Either[HuffmanError, List[Boolean]] = ???
```

Diese Funktion bekommt eine Liste mit Zeichen und einen Baum, und soll dieses in eine Liste aus Bits (Booleans) enkodieren. Falls ein Zeichen in der Liste nicht im Baum vorkommt, soll der ValueNotFound Fehler zurück gegeben werden.

```
def decode[A](bits: List[Boolean], tree: Node[A]): Either[HuffmanError, List[A]] = ???
```

Diese Funktion bekommt eine Liste mit Bits und einen Baum übergeben und soll diese Liste wieder in eine Liste von As dekodieren. Sollte am Ende der Liste von Bits ein Zeichen noch nicht fertig dekodiert sein, soll der MissingBits Fehler zurück gegeben werden.