Einführung in die Informatik

Working with Multiple Objects and the `while`-Loop

Wolfram Burgard

Motivation

- In der Praxis ist es häufig erforderlich, ein und dieselbe Anweisung oder Anweisungsfolge auf vielen Objekten zu wiederholen.
- Beispielsweise möchte man das Gehalt für mehrere tausend Mitarbeiter berechnen.
- In Java gibt es mit dem **`while`-Statement** eine weitere Möglichkeit die Programmausführung zu beeinflussen.
- Insbesondere lassen sich mit dem **`while`-Statement** Anweisungsfolgen beliebig oft wiederholen.

Verarbeiten mehrerer Objekte

Ein einfaches Problem ist die Situation,

- in der **alle Objekte unabhängig voneinander** verarbeitet werden können und
- in der **einmal verarbeitete Objekte nicht länger benötigt** werden.

Beispiel für eine solche Situation:

```
Employee e = Emloyee.readIn(br);
int hours = Integer.parseInt(br.readline());
System.out.print("Employee " + e.getName() +
                 " has earned " + e.calcPay(hours));
```

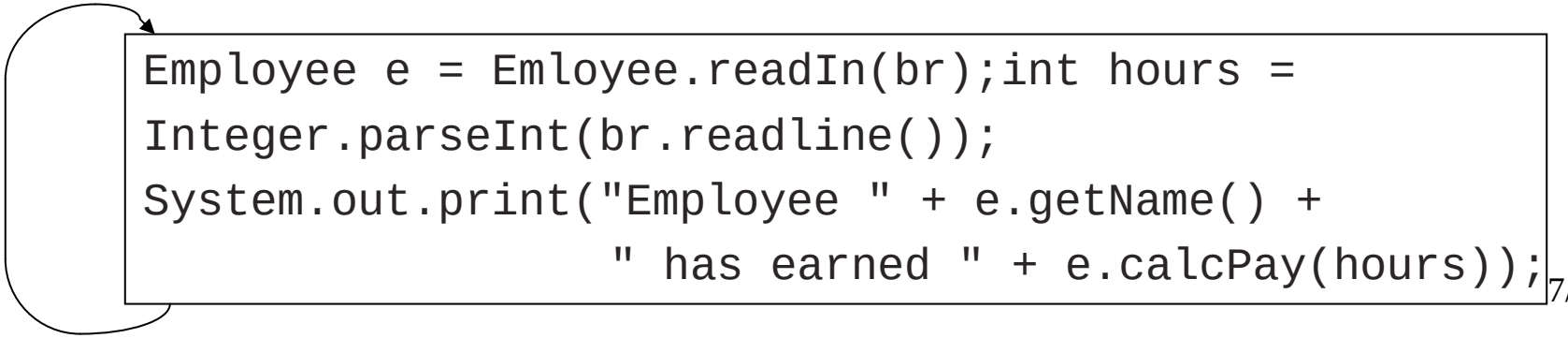
Diese Anweisungen sollen für alle Mitarbeiter jeweils einmal ausgeführt werden.

Das Konstrukt einer Schleife

Gesucht ist eine Anweisung, die es uns erlaubt, eine gegebene Sequenz von Statements zu wiederholen. Eine entsprechende Konstruktion nennt man eine **Schleife** oder **Loop**.

Bestandteile einer Schleife:

- **Rumpf der Schleife. Dieser enthält alle Anweisungen, die wiederholt ausgeführt werden sollen.**
- **Der Kopf der Schleife. Mit diesem wird festgelegt, wie häufig die Schleife ausgeführt werden soll oder wann mit der Ausführung abgebrochen werden soll, d.h. wann sie terminieren soll.**



Das `while`-Statement

- Das erste Wiederholungskonstrukt **`while`-Schleife**.
- Die allgemeine Form ist:

```
while(condition)
    body
```

- Dabei sind die **Bedingung** (`condition`) und der **Rumpf** (`body`) ebenso wie bei der `if`-Anweisung aufgebaut.
- Die **Bedingung** im **Schleifenkopf** ist eine logischer Ausdruck vom Typ `boolean`.
- Der **Rumpf** ist ein einfaches oder ein zusammengesetztes **Statement**.

Ausführung der `while`-Anweisung

1. Es wird **zunächst die Bedingung überprüft**.
2. Ist der **Wert des Ausdrucks `false`**, wird die **Schleife beendet** . Die Ausführung wird dann mit der nächsten Anweisung fortgesetzt, die unmittelbar auf den Rumpf folgt.
3. Wertet sich der **Ausdruck** hingegen zu **`true`** aus, so wird der **Rumpf der Schleife ausgeführt**.
4. Dieser Prozess wird **solange wiederholt, bis** in Schritt 2. der Fall eintritt, dass **sich der Ausdruck zu `false` auswertet**.

Typisches Schema für die Verwendung einer `while`-Schleife

- Vor der Schleife findet die **Initialisierung** für den ersten Durchlauf einer Schleife statt:
  1. **Bereitstellen der Objekte für den ersten Durchlauf** und
  2. **Variablen**, die **in der Abbruchbedingung** vorkommen, in Abhängigkeit von dem vorangegangenen Schritt **setzen**.
- **In jedem Schleifendurchlauf** dann:
  1. **Das aktuelle Objekt verarbeiten** und
  2. **Variablen für den nächsten Durchlauf setzen**, d.h. zum nächsten Objekt übergehen.
- Häufig werden dabei die einzelnen Schritte vermischt, d.h. mit dem Bereitstellen der Daten für den ersten Durchlauf wird auch gleich die Abbruchbedingung entsprechend gesetzt.

Zurück zum Buchhaltungsbeispiel

```
Employee e = Employee.readIn(br);                  //Read first object
while (e != null) {                                //Object read?
   int hours = Integer.parseInt(br.readLine()); //Process Object...
   System.out.println("Employee " + e.getName() +
                      " has earned " + e.calcPay(hours));
   e = Employee.readIn(br);                        //Read next object
}
```

Sofern das Einlesen des ersten Objektes gelingt, ist `e` ungleich `null`.

Dies ist ein **typisches Beispiel für die Verwendung einer `while`-Schleife**.

Beispiel: Einlesen aller Zeilen von www.whitehouse.gov

```
import java.net.*;
import java.io.*;

class WHWWWLong {
    public static void main(String[] arg) throws Exception {
        URL u = new URL("http://www.whitehouse.gov/");
        BufferedReader whiteHouse = new BufferedReader(
            new InputStreamReader(u.openStream()));
        String line = whiteHouse.readLine();  // Read first object.
        while (line != null){                 // Something read?
            System.out.println(line);         // Process object.
            line = whiteHouse.readLine();     // Get next object.
        }
    }
}
```

Eine kompaktere Version

Das Einlesen kann mit einer Anweisung durchgeführt werden, wenn eine Wertzuweisung im Test verwendet wird:

```
import java.net.*;
import java.io.*;

class WHWWWAll {
    public static void main(String[] arg) throws Exception {
        URL u = new URL("http://www.whitehouse.gov/");
        BufferedReader whiteHouse = new BufferedReader(
            new InputStreamReader(u.openStream()));
        String line;
        while ((line = whiteHouse.readLine()) != null)
            System.out.println(line);
    }
}
```

Anwendung der `while`-Schleife zur Approximation

Viele Werte (Nullstellen, Extrema, ...) **lassen sich** in Java **nicht durch geschlossene Ausdrücke berechnen**, sondern müssen **durch geeignete Verfahren approximiert** werden.

Beispiel: Approximation von $\sqrt[3]{x}$

Ein beliebtes Verfahren ist die Folge $x_{n+1} = x_n - \frac{x_n^3 - x}{3 * x_n^2},$

wobei $x_1 \neq 0$ ein beliebiger Startwert ist.

Mit $n \to \infty$ konvergiert[a] x_n gegen $\sqrt[3]{x}$, d.h. $\lim_{n\to\infty} x_n = \sqrt[3]{x}$

[a] Sofern kein $x_n = 0$

Muster einer Realisierung

- Zur näherungsweisen Berechnung verwenden wir eine `while`-Schleife.
- Dabei müssen wir **zwei Abbruchkriterien** berücksichtigen:
  1. Das **Ergebnis ist hinreichend genau**, d.h. x_{n+1} und x_n unterscheiden sich nur geringfügig.
  2. Um zu vermeiden, dass die Schleife nicht anhält, weil die gewünschte Genauigkeit nicht erreicht werden kann, muss man die **Anzahl von Schleifendurchläufen begrenzen**.
- Wir müssen also solange weiter rechnen wie folgendes gilt:

```
Math.abs((xnPlus1 - xn)) >= maxError && n < maxIterations
```

Das Programm zur Berechnung der Dritten Wurzel

```
import java.io.*;

class ProgramRoot {
    public static void main(String arg[]) throws Exception{
        BufferedReader br = new BufferedReader(
                            new InputStreamReader(System.in));
        int n = 1, maxIterations = 1000;
        double maxError = 1e-6, xnPlus1, xn = 1, x;


        x = Double.valueOf(br.readLine()).doubleValue();
        xnPlus1 = xn - ( xn * xn * xn - x) / (3 * xn * xn);
        while (Math.abs((xnPlus1 - xn)) >= maxError && n < maxIterations){
            xn = xnPlus1;
            xnPlus1 = xn - ( xn * xn * xn - x) / (3 * xn * xn);
            System.out.println("n = " + n + ": " + xnPlus1);
            n = n+1;
        }
    }
}
```

Anwendung des Programms

Eingabe: `-27`

```
n = 1: -5.685155555555555
n = 2: -4.06856048897107
n = 3: -3.25607568936079
n = 4: -3.019611247370567 4
n = 5: -3.000127091992528 7
n = 6: -3.000000053838210
n = 7: -3.0
Process ProgramRoot finished
```

Eingabe: 10^{90}

```
n = 1: 2.222222222222218E89
n = 2: 1.4814814814814 81E89
n = 3: 9.876543209876541E88
n = 4: 6.584362139917694E88
...
n = 996: 9.999999999999999E29
n = 997: 1.0E30
n = 998: 9.999999999999999E29
n = 999: 1.0E30
Process ProgramRoot finished
```

Anwendung der `while`-Schleife: Berechnung des ggT

- Das Verfahren zur **Berechnung des größten gemeinsamen Teilers** (ggT) von zwei Zahlen a und b geht zurück auf **Euklid** (etwa 300 v. Chr.)
- Idee des Verfahrens:

$$ggT(a,b) = \begin{cases} b & , falls\ a\ mod\ b = 0 \\ ggT(b, a\ mod\ b), & sonst \end{cases}$$

- Auswertungsbeispiele:

```
ggT(15,6)=ggT(6,3)=3
ggT(24,16)=ggT(16,8)=8
```

Anwendung des Verfahrens

$$ggT(a,b) = \begin{cases} b & \text{, falls } a \bmod b = 0 \\ ggT(b, a \bmod b), & \text{sonst} \end{cases}$$

Beispiel: a = 27, b = 48

a	b	a&b

Das komplette Programm

```
import java.io.*;

class ProgramggT {
    public static void main(String arg[]) throws java.io.IOException{
        BufferedReader br = new BufferedReader(
                            new InputStreamReader(System.in));

        int a = Integer.parseInt(br.readLine());
        int b = Integer.parseInt(br.readLine());

        while (a % b !=0){     //Done?
            int r = a % b;     // Process data and prepare next round
            a = b;
            b = r;
        }
        System.out.println("Der ggT ist " + b);
    }
}
```

Anwendungsbeispiel

Betrachten wir die Eingaben 81 für `a` und 15 für `b`.

Die folgende Tabelle enthält die Werte der Ausdrücke bzw. Variablen zum Zeitpunkt des i-ten Tests der Bedingung `a % b == 0` oder `while`-Schleife:

Test Nr.	a	b	a%b
1	81	15	6
2	15	6	3
3	6	3	0

Ausgabe daher: 3

Geschachtelte `while`-Schleifen

Ebenso wie `if`-Anweisungen, können auch **`while`-Schleifen geschachtelt** werden. Eine typische Struktur ist:

```
while (condition1) {
   ...
   while (condition2) {
      ...
   }

   ...
}
```

Dabei wird für jeden Durchlauf der äußeren Schleife `(condition1)` die innere Schleife `(condition2)` ausgeführt.

Beispiel: Berechnung aller Primzahlen unter 10000

- `n` ist durch `i` teilbar, wenn `n % i == 0`.
- Eine Zahl ist Primzahl, wenn sie durch keine andere Zahl teilbar ist.
- D.h. für jede Zahl `i`, die kleiner als `n` ist, müssen wir prüfen, ob `i` Teiler von `n` ist.
- Dies müssen wir für jedes `n < 10000` durchführen. Dabei genügt es, bei `2` zu beginnen.

Das komplette Programm

```
class ProgramPrimes1 {
    public static void main(String arg[]) {
        int m = 10000;
        int n = 2;
        while (n < m){
            int i = 2;
            boolean prime = true; // Assume n is a prime
            while (i < n && prime){
                prime = ((n % i) != 0); // Is n dividable by i?
                i++;
            }
            if (prime)
                System.out.println("Prime number : " + n);
            n++;
        }
    }
}
```

Entwicklung einer effizienteren Version

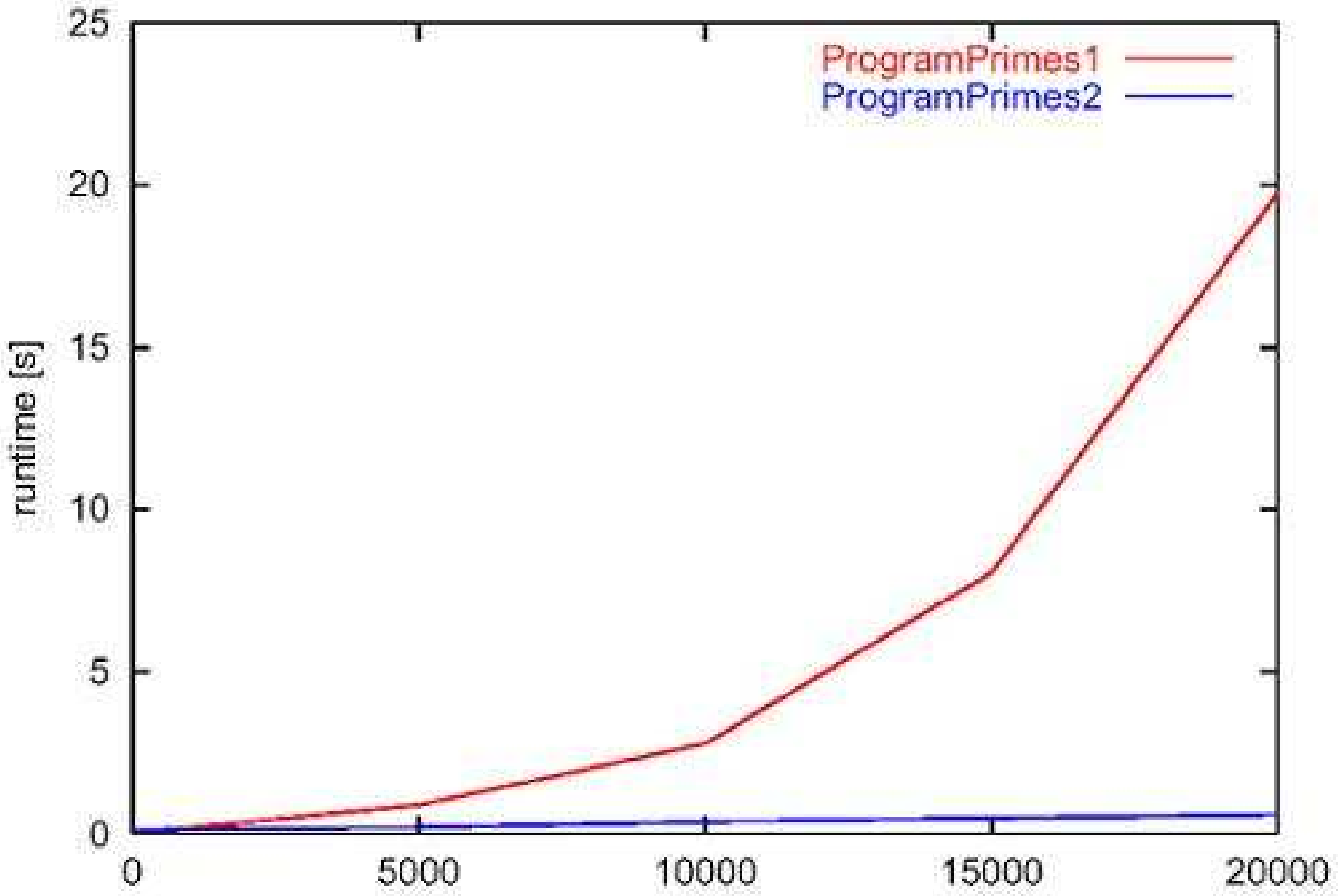
- In dieser Version wird die „innere Schleife“ jeweils n-mal „durchlaufen“.
- Tatsächlich genügt es jedoch, nur die Zahlen $i \leq \sqrt{n}$ zu betrachten
  1. Ist i Teiler von n, so existiert ein j mit $i * j = n$
  2. Offensichtlich genügt es dann, alle i mit $i \leq j$ zu betrachten.
  3. Aus $i * j \leq n$ und $i \leq j$ folgt aber, dass $i \leq \sqrt{n}$ ist.

Eine effizientere Version

Es genügt, alle `i` mit `i*i <= n` zu betrachten!

```
class ProgramPrimes2 {
    public static void main(String arg[]) {
        int m = 10000;
        int n = 2;
        while (n < m){
            int i = 2;
            boolean prime = true; // Assume n is a prime
            while (i*i <= n && prime){
                prime = ((n % i) != 0); // Is n dividable by i?
                i++;
            }
            if (prime)
            System.out.println("Prime number : " + n);
            n++;
        }
    }
}
```

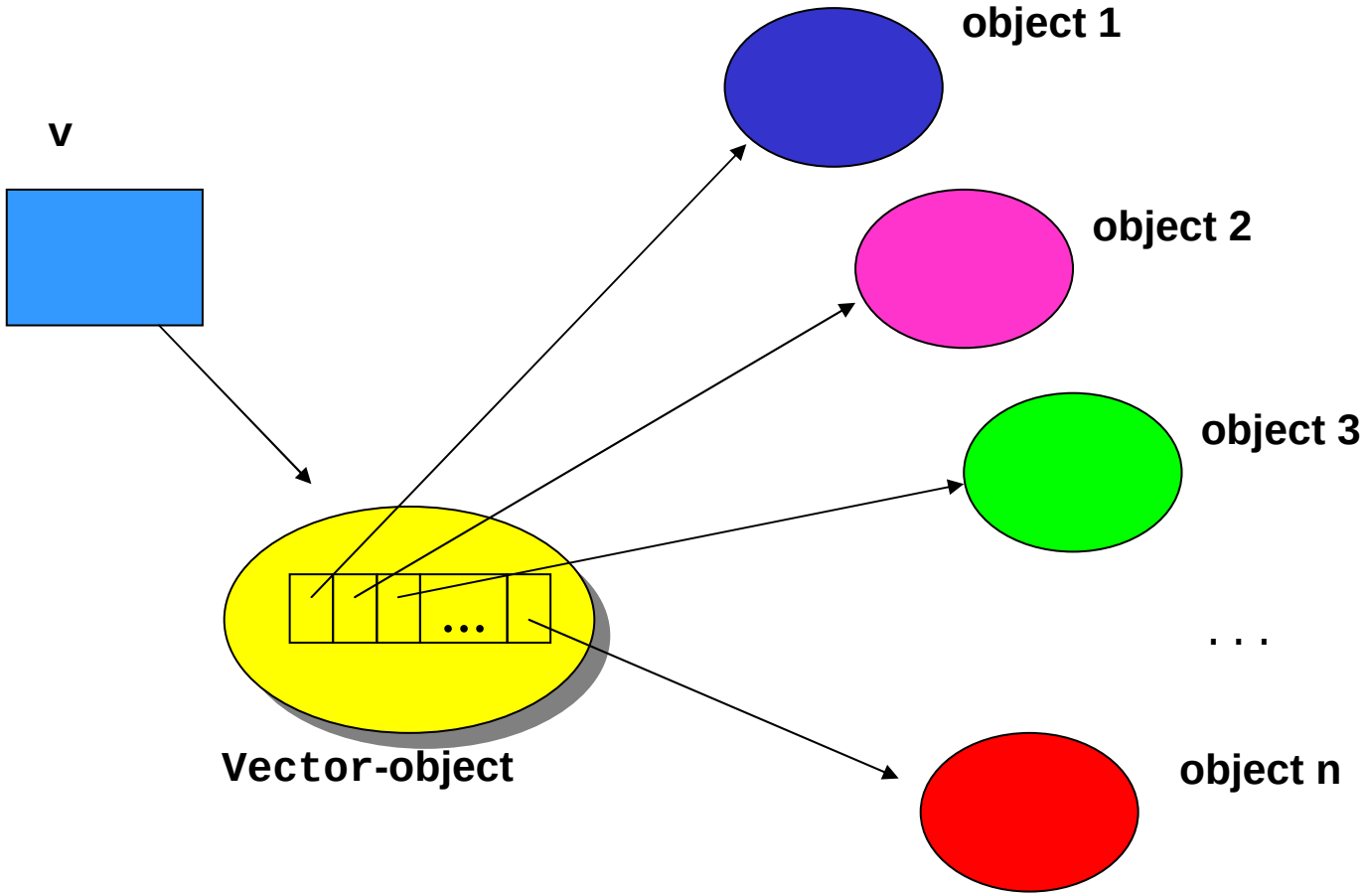
Vergleich der Laufzeiten



Kollektionen mehrere Objekte: Die Klasse `Vector`

- Mit `Vector` stellt Java eine Klasse zur Verfügung, die eine **Zusammenfassung von unter Umständen auch verschiedenen Objekten in einer Liste** oder Reihe erlaubt.
- Die Klasse `Vector` ist **nicht** gedacht **für Vektoren im mathematischen Sinn und deren Operationen**.
- **Grundoperationen für Kollektionen** von Objekten sind:
  - das **Erzeugen** einer Kollektion (mit dem Konstruktor),
  - das **Hinzufügen** von Objekten in die Kollektion,
  - das **Löschen** von Objekten aus der Kollektion, und
  - das **Verarbeiten** von Objekten in der Kollektion.

Kollektion eventuell unterschiedlicher Objekte mit der Klasse `Vector`

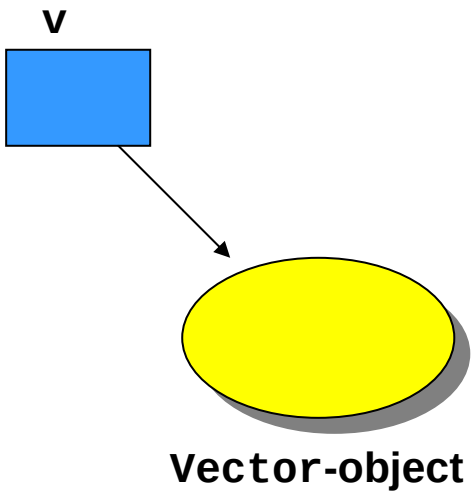


Erzeugen eines `Vector`-Objektes

- Wie bei anderen Klassen auch werden Objekte `Vector` mit dem Konstruktor erzeugt.
- Der Konstruktor von `Vector` hat keine Argumente:

```
Vector v = new Vector();
```

- Wirkung des Konstruktors:



Hinzufügen von Objekten zu einem `Vector`-Objekt

Um Objekte zu einem `Vector`-Objekt hinzuzufügen, verwenden wir die Methode `addElement`.

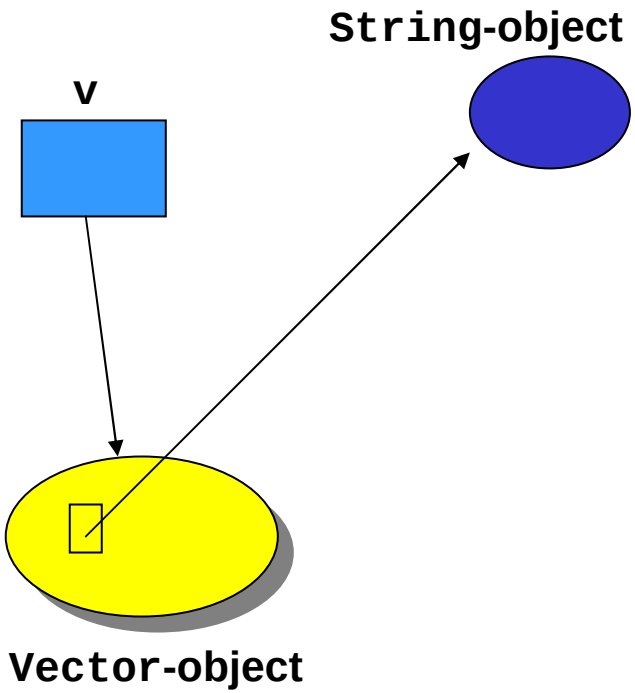
Dieser Methoden geben wir als Argument das hinzuzufügende Objekt mit.

Das folgende Programm liest eine Sequenz von `String`-Objekten ein und fügt sie unserem `Vector`-Objekt hinzu:

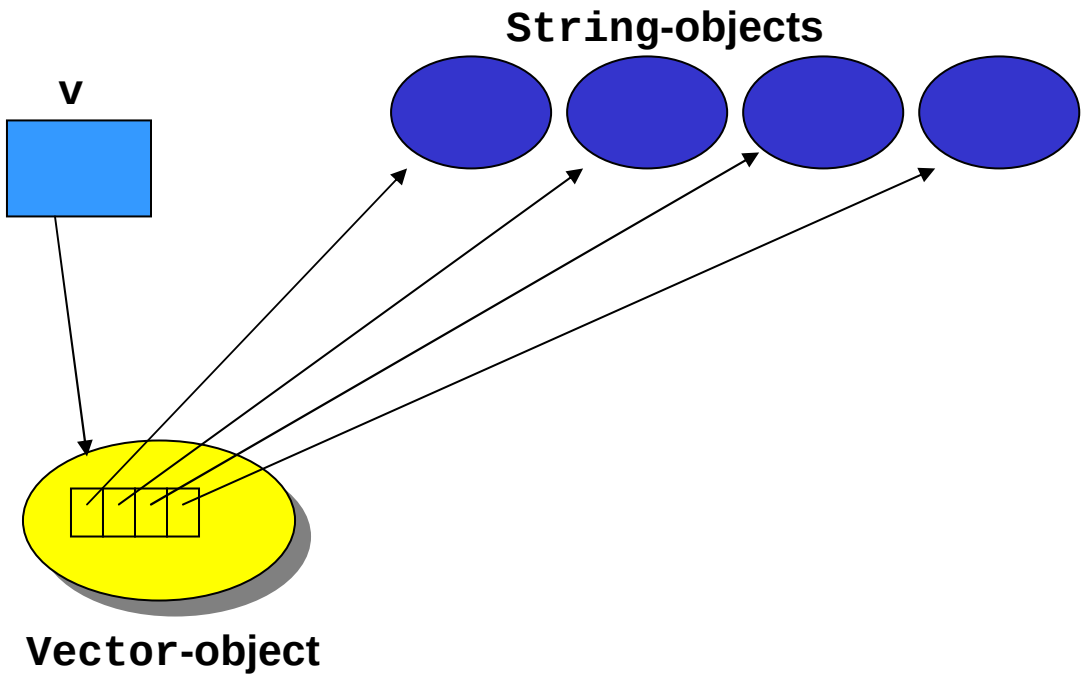
```
String s = br.readLine()   // Read first string
while (s != null){         // Something read?
    v.addElement(s);       // Processing adds s to v
    s = br.readLine();     // Read next string
}
```

Anwendung dieses Programmstücks

1 Aufruf von `addElement`



4 Aufrufe von `addElement`



Hier referenziert unser `Vector`-Objekt lediglich Objekte der Klasse `String`.

Durchlauf durch einen Vektor

- Der Prozess des **Verarbeitens aller Objekte einer Kollektion** wird auch **Durchlauf** genannt.
- Ziel ist es, eine (von der Anwendung abhängige) Operation auf allen Objekten der Kollektion auszuführen.
- Dazu verwenden wir eine **`while`-Schleife** der Form:

```
while (es gibt noch Objekte, die zu besuchen sind)
   besuche das nächste Objekt
```

- Die **zentralen Aufgaben**, die wir dabei durchführen müssen, sind:
  - auf die **Objekte einer Kollektion zugreifen**,
  - **zum nächsten Element** einer Kollektion **übergehen** und
  - **testen, ob es noch weitere Objekte gibt**, die besucht werden müssen.

Wie kann man Durchläufe realisieren?

- Offensichtlich müssen diese **Funktionen von jeder Kollektionsklasse realisiert werden**.
- Dabei sollten die entsprechenden Methoden möglichst so sein, dass sie **nicht von der verwendeten Kollektionsklasse** abhängen.
- Vielmehr ist es wünschenswert, dass **jede Kollektionsklasse sich an einen Standard** bei diesen Methoden **hält**.
- Auf diese Weise kann man sehr **leicht zu anderen Kollektionsklassen übergehen, ohne dass man das Programm ändern muss**, welches die Kollektionsklasse verwendet.

Enumerations

Java bietet eine **abstrakte Klasse `Enumeration`** zur Realisierung von **Durchläufen durch `Vector`-Objekte** und andere Kollektionsklassen.

Jede Kollektionsklasse stellt eine **Methode zur Erzeugung eines `Enumeration`-Objektes** zur Verfügung.

Die Klasse **`Vector`** enthält eine Methode **`elements`**, die eine Referenz auf ein **`Enumeration`**-Objekt liefert. Ihr Prototyp ist:

```
Enumeration elements()          // Liefert eine Enumeration für einen Vector
```

Die Klasse **`Enumeration`** wiederum bietet die folgenden Methoden

```
boolean hasMoreElements()       // True, falls es weitere Elemente gibt
Object nextElement()            // Liefert das nächste Objekt
```

Der Return-Type von `nextElement`

- Im Prinzip muss die Methode **`nextElement`** **Referenzen auf Objekte beliebiger Klassen** liefern.
- Um eine breite Anwendbarkeit realisieren zu können, müssen Klassen wie `Vector` oder `Enumeration` diese **Flexibilität** haben.
- Aus diesem Grund liefern solche Methoden eine **Referenz auf ein `Object`-Objekt.**
- **`Object` ist eine Klasse** und in Java ist **jedes Objekt** auch ein **`Object`-Objekt**.
- Somit kann also eine Methode wie **`nextElement`** mit ihrem **`Object`-Rückgabewert beliebige Objekte zurückgeben**.
- Allerdings muss man in Java mittels **Casting** stets mitteilen, was für ein Objekt durch einen Aufruf von **`nextElement`** zurückgegeben wird.

Durchlauf durch ein `Vector`- Objekt

Um einen Durchlauf durch unser `Vector`-Objekt `v` wir nun wie folgt vor:

```
while (es gibt weitere Elemente) {
   x = hole das naechste Element
   verarbeite x
}
```

Dies wird nun überführt zu

```
Enumeration en = v.elements();
while (en.hasMoreElements()) {
   String s = (String) en.getNextElement();
   System.out.print(s);
}
```

Primitive Datentypen und `Vector`-Objekte

- Kollektionsklassen wie `Vector` können nur Objekte aufnehmen.
- Primitive Datentypen wie `int`, `float` und `boolean` stellen keine `Objects` dar und können daher nicht als Parameter von `addElement` verwendet werden.
- Um dieses Problem zu lösen bietet Java so genannte **`Wrapper`**-Klassen für primitive Datentypen dar, z.B.:

Primitiver Typ	Wrapper-Typ
`int`	`Integer`
`boolean`	`Boolean`
`float`	`Float`

- Darüber hinaus enthalten die `Wrapper`-Klassen auch **`static`- Methoden** für den jeweiligen primitiven Datentyp.

Einfügen von `ints` in ein `Vector`-Objekt

```
Vector vi = new Vector();
int i;
i =1;
vi.addElement(new Integer(i));
i =2;
vi.addElement(new Integer(i));
i =3;
vi.addElement(new Integer(i));
Enumeration e = vi.elements();
while (e.hasMoreElements()) {
   Integer i1 = (Integer) e.nextElement();
   System.out.println(i1.intValue());
}
```

Für `double`, `boolean`, `float` etc. ist das Verfahren analog.

Anwendung von `Vector` zur Modellierung von Mengen

- Auf der Basis solcher Kollektionsklassen wie `Vector` lassen sich nun andere Kollektionsklassen definieren.
- Im folgenden modellieren wir Mengen mit Hilfe der `Vector`-Klasse.
- Ziel ist die Implementierung einer eigenen Klasse `Set` einschließlich typischer Mengen-Operationen.

Festlegen des Verhaltens der `Set`-Klasse

In unserem Beispiel wollen wir die folgenden Mengenoperationen bzw. Methoden zur Verfügung stellen:

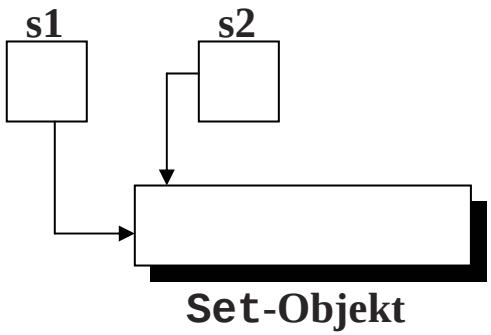
- Den `Set`-Konstruktor
- `contains` (Elementtest)
- `isEmpty` (Test auf die leere Menge)
- `addElment` (hinzufügen eines Elements)
- `copy` (Kopie einer Menge erzeugen)
- `size` (Anzahl der Elemente)
- `elements` (Durchlauf durch eine Menge)
- `union` (Vereinigung)
- `intersection` (Durchschnitt) Alle Elemente ausgeben

Notwendigkeit der copy-Operation

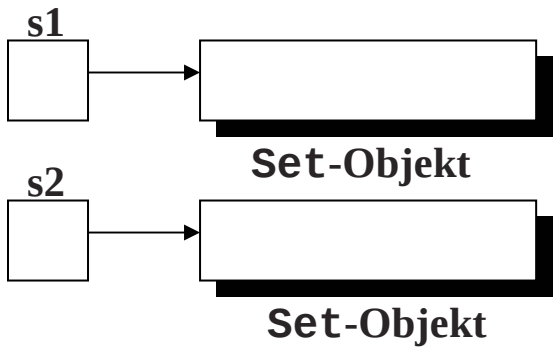
Der Effekt der Anweisung `s2 = s1 = new Set()` ist, dass es zwei Referenzen auf ein- und dasselbe `Set`-Objekt gibt:

Da Methoden wie `addElement` ein `Set`-Objekt verändern, benötigen wir eine Kopier-Operation um eine Menge zu speichern

Nach der Anweisung `s2 = s1.copy()` gibt es zwei Referenzen auf zwei unterschiedliche Objekte mit gleichem Inhalt.




```
s2 = s1 = new Set();
```




```
s2 = s1.copy();
```

Festlegen der Schnittstellen

Prototypen der einzelnen Methoden:

```
public Set()
public boolean isEmpty()
public int size()
public boolean contains(Object o)
public void addElement(Object o)
public Set copy()
public Set union(Set s)
public Set intersection(Set s)
public Enumeration elements()
```

Ein typisches Beispielprogramm

```
class useSet {
   public static void main(String [] args) {
        Set s1 = new Set();
        s1.addElement("A");
        s1.addElement("B");
        s1.addElement("C");
        s1.addElement("A");
        System.out.println(s1);
        Set s2 = new Set();
        s2.addElement("B");
        s2.addElement("C");
        s2.addElement("D");
        s2.addElement("D");
        System.out.println(s2);
        System.out.println(s1.union(s2));
        System.out.println(s1.intersection(s2));
   }
}
```

Das Skelett der Set-Klasse

```
class Set {
   public Set() {... };
   public boolean isEmpty() {... };
   public int size() {... };
   public boolean contains(Object o) {... };
   public void addElement(Object o) {... };
   public Set copy() {... };
   public Set union(Set s) {... };
   public Set intersection(Set s) {... };
   public Enumeration elements() {... };
   ...

   private Vector theElements;
}
```

Implementierung der Methoden (1)

1. Der **Konstruktor** ruft lediglich die entsprechende Methode der `Vector`-Klasse auf:

```
public Set() {
    this.theElements = new Vector();
}
```

2. Die **Methoden** `size` **und** `empty` nutzen ebenfalls vordefinierte Methoden der Klasse `Vector`:

```
public boolean isEmpty() {
    return this.theElements.isEmpty();
}

public int size() {
    return this.theElements.size();
}
```

Implementierung der Methoden (2)

3. Um alle **Elemente der Menge aufzuzählen**, müssen wir eine Methode `elements` realisieren:

```
Enumeration elements() {
    return this.theElements.elements();
}
```

4. Die `copy`-**Methode** muss alle Elemente des `Vector`-Objektes durchlaufen und sie einem neuen `Set`-Objekt hinzufügen:

```
public Set copy() {
    Set destSet = new Set();
    Enumeration e = this.elements();
    while (e.hasMoreElements())
        destSet.addElement(e.nextElement());
    return destSet;
}
```

Implementierung der Methoden (3)

5. Da Mengen jeden Wert höchstens einmal enthalten, müssen wir vor dem **Einfügen** prüfen, ob der entsprechende Wert bereits enthalten ist:

```
public void addElement(Object o) {
    if (!this.contains(o))
        this.theElements.addElement(o);
}
```

Implementierung der Methoden (4)

6. Um die **Vereinigung von zwei Mengen** zu berechnen, kopieren wir die erste Menge und fügen der Kopie alle noch nicht enthaltenen Elemente aus der zweiten Menge hinzu.

```
public Set union(Set s) {
    Set unionSet = s.copy();
    Enumeration e = this.elements();
    while (e.hasMoreElements())
        unionSet.addElement(e.nextElement());
    return unionSet;
}
```

Implementierung der Methoden (5)

7. Um den **Durchschnitt** von zwei Mengen zu berechnen, starten wir mit der leeren Menge. Dann durchlaufen wir das Empfänger-`Set` und fügen alle Elemente zu der neuen Menge hinzu, sofern sie auch in dem zweiten `Set`-Objekt vorkommen.

```
public Set intersection(Set s) {
    Set interSet = new Set();
    Enumeration e = this.elements();
    while (e.hasMoreElements()) {
        Object elem = e.nextElement();
        if (s.contains(elem))
            interSet.addElement(elem);
    }
    return interSet;
}
```

Implementierung der Methoden (6)

8. Um zu **testen, ob ein Objekt in einer Menge enthalten ist**, müssen wir einen Durchlauf realisieren. Dabei testen wir in jedem Schritt, ob das gegebene Objekt mit dem aktuellen Objekt in der Menge übereinstimmt:

   - Dies wirft das Problem auf, dass wir Objekte vergleichen müssen, ohne dass wir wissen, zu welcher Klasse sie gehören.
   - Hierbei ist zu beachten, dass der Gleichheitstest `==` lediglich testet, ob der Wert von zwei Variablen gleich ist, d.h. bei Referenzvariablen, ob sie **dasselbe** Objekt referenzieren (im Gegensatz zu „das gleiche“).
   - Um beliebige Objekte einer Klasse miteinander vergleichen zu können, stellt die Klasse `Objekt` eine Methode `equals` zur Verfügung.
   - Spezielle Klassen wie z.B. `Integer` oder `String` aber auch programmierte Klassen können ihre eigene `equals`-Methode bereitstellen.
   - Im Folgenden gehen wir davon aus, dass eine solche Methode stets existiert.

Implementierung der Methoden (6)

9. Daraus resultiert die folgende Implementierung der Methode `contains`:

```
public boolean contains(Object o) {
        Enumeration e = this.elements();
        while (e.hasMoreElements()) {
           Object elem = e.nextElement();
           if (elem.equals(o))
               return true;
        }
        return false;
    }
```

Implementierung der Methoden (7)

10. Um die **Elemente auszugeben**, verwenden wir ebenfalls wieder einen Durchlauf. Dabei gehen wir erneut davon aus, dass die Klasse des referenzierten Objektes (wie die `Object`-Klasse) eine Methode `toString` bereitstellt.

    - Prinzipiell gibt es hierfür verschiedene Alternativen.
    - Eine offensichtliche Möglichkeit besteht darin, eine Methode `print(PrintStream ps)` zu implementieren.
    - In Java gibt es aber eine elegantere Variante: Es genügt eine Methode `toString()` zu realisieren.
    - Diese wird immer dann aufgerufen, wenn ein `Set`-Objekt als Argument einer `print`-Methode verwendet wird.

Die Methode `toString()`

```
public String toString(){
    String s = "[";
    Enumeration e = this.elements();
    if (e.hasMoreElements())
       s += e.nextElement().toString();
    while (e.hasMoreElements())
       s += ", " + e.nextElement().toString();
    return s + "]";
}
```

Die komplette Klasse Set

```
import java.io.*;
import java.util.*;
class Set {
 public Set() {
            this.theElements = new Vector();
    }
    public boolean isEmpty() {
            return this.theElements.isEmpty();
    }
    public int size() {
            return this.theElements.size();
    }
    Enumeration elements() {
            return this.theElements.elements();
    }
    public boolean contains(Object o) {
            Enumeration e = this.elements();
            while (e.hasMoreElements()) {
                Object elem = e.nextElement();
                if (elem.equals(o))
                    return true;
            }
            return false;
    }
    public void addElement(Object o) {
            if (!this.contains(o))
            this.theElements.addElement(o);
    }
    public Set copy() {
            Set destSet = new Set();
            Enumeration e = this.elements();
            while (e.hasMoreElements())
                destSet.addElement(e.nextElement());
            return destSet;
        }
        public Set union(Set s) {
            Set unionSet = s.copy();
            Enumeration e = this.elements();
            while (e.hasMoreElements())
                unionSet.addElement(e.nextElement());
            return unionSet;
        }
        public Set intersection(Set s) {
            Set interSet = new Set();
            Enumeration e = this.elements();
            while (e.hasMoreElements()) {
                Object elem = e.nextElement();
                if (s.contains(elem))
                    interSet.addElement(elem);
            }
            return interSet;
        }
        void removeAllElements() {
            this.theElements.removeAllElements();
        }
        public String toString(){
            String s = "[";
            Enumeration e = this.elements();
            if (e.hasMoreElements())
                s += e.nextElement().toString();
            while (e.hasMoreElements())
                s += ", " + e.nextElement().toString();
            return s + "]";
        }
        private Vector theElements;
}
```

Unser Beispielprogramm (erneut)

```
class useSet {
    public static void main(String [] args) {
        Set s1 = new Set();
        s1.addElement("A");
        s1.addElement("B");
        s1.addElement("C");
        s1.addElement("A");
        System.out.println(s1);
        Set s2 = new Set();
        s2.addElement("B");
        s2.addElement("C");
        s2.addElement("D");
        s2.addElement("D");
        System.out.println(s2);
        System.out.println(s1.union(s2));
        System.out.println(s1.intersection(s2));
    }
}
```

Ausgabe des Beispielprogramms

```
java useSet

[A, B, C]
[B, C, D]
[B, C, D, A]
[B, C]

Process useSet finished
```

Zusammenfassung (1)

- Die **Wiederholung von Anweisungssequenzen** durch **Schleifen** oder **Loops** ist eines der **mächtigsten Programmierkonstrukte**.
- Mit Hilfe von Schleifen wie der **`while`-Schleife** können Sequenzen von **Anweisungen beliebig häufig wiederholt** werden.
- **Kollektionen** sind Objekte, die es erlauben, **Objekte zusammenzufassen**.
- **`Vector`** ist eine solche **Kollektionsklasse**, mit der **Objekte beliebiger Klassen** zusammengefasst werden können.

Zusammenfassung (2)

- Die **einzelnen Objekte** eines `Vector`-Objektes können mit **Durchläufen** unter Verwendung eines Objektes der Klasse **`Enumeration` prozessiert** werden.
- Mit Hilfe der Klasse `Vector` können wir dann **andere Kollektionsklassen definieren** (wie z.B. eine `Set`-Klasse).
- Für **primitive Datentypen** verwenden wir **`Wrapper`- Klassen**, um sie in Kollektionen einzufügen.