B3. Digitale Bildbearbeitung mit Java

B3.1 Bildbearbeitungsfunktionen in Java 2D 

B3.2 Java Advanced Imaging API

Literatur:

J. Knudsen: Java 2D Graphics, O'Reilly 1999, Kap. 10

http://java.sun.com/products/java-media/jai/

Wozu Bildverarbeitung mit Programmen?

- Bildbearbeitung für Medienzwecke
  - Zeitungen, Zeitschriften, Werbeindustrie, Gebrauchsgrafik, ...
- Bildanalyse zur Objektverfolgung
  - Optische Maus, Kameranachführung, Objekt- und Werkzeugpositionierung in der Fertigung, ...
- Bildauswertung
  - Satellitenbildanalyse (Wetter, militärische Aufklärung, ...)
  - Geodatenverarbeitung (z.B. Luftbilder mit Landkarten abgleichen)
- Verkehrstelematik
  - Verkehrsüberwachung (z.B. Mautsysteme)
- Computerspiele
- ...

Digitale Bildbearbeitung

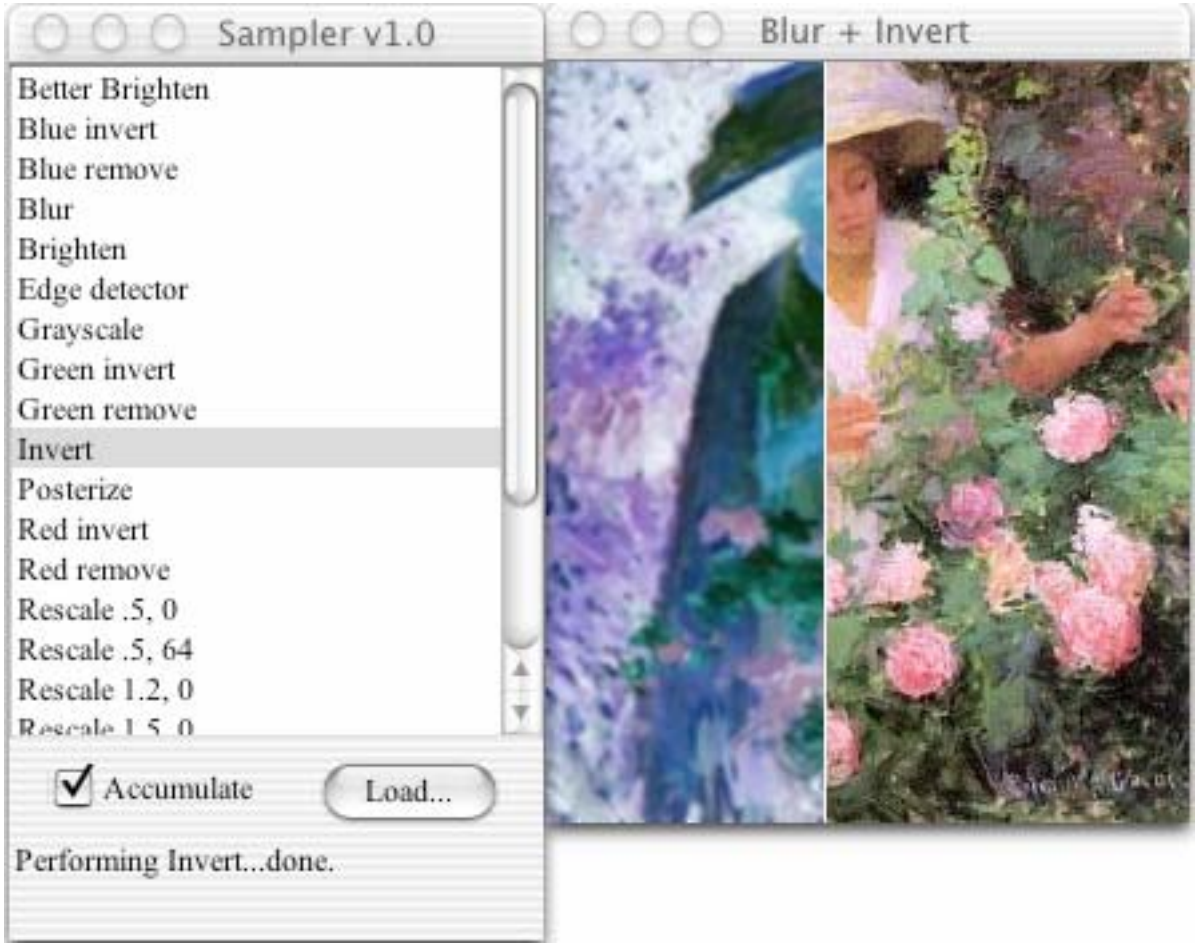
- Bilder aus der Sicht der Informatik:
  - spezielle Datenstruktur (insbesondere: 2-dimensionales Array)
  - Bearbeitung mit verschiedenen Algorithmen möglich
- *Filter*:
  - Ursprünglich Begriff aus der klassischen (analogen) Fotografie
  - Generell: Operation, die Bild in Bild transformiert
  - Klassische (physikalische) Filter:
    - » Polarisationsfilter, UV-Filter
    - » Weich-/Scharfzeichnung
    - » Helligkeits-, Farbfilter
    - » Effektfilter (z.B. Sterneffekt, Kachelung)
  - Bildbearbeitungsprogramme bieten Vielzahl von (Software-)"Filtern"
    - » Bsp. Adobe Photoshop, Gimp

Bildbearbeitung in Java

- Frühe Java-Versionen:
  - In AWT Einlesung und Anzeigen von Bildern unterstützt
  - Noch keine Funktionen zur Modifikation von Bildern
- Java 2D:
  - Bild als Bestandteil der Rendering-Kette
  - Begrenzter Satz von Bildbearbeitungsfunktionen
- Java Advanced Imaging (JAI):
  - Erste Version November 1999, aktuell: 1.1.2 (Sept. 2004) bzw. 1.1.3 (Beta-Release Dec. 2005)
  - Ausgefeilte, hochleistungsfähige Bildbearbeitungsfunktionen
  - Folgt konsequent dem Java-Prinzip "Write once, run everywhere"
- Performance:
  - In diesem Bereich nach wie vor das Hauptproblem der Java-Plattform
  - C- und C++-Programme deutlich überlegen

Beispiel: Bildbearbeitung mit Java 2D

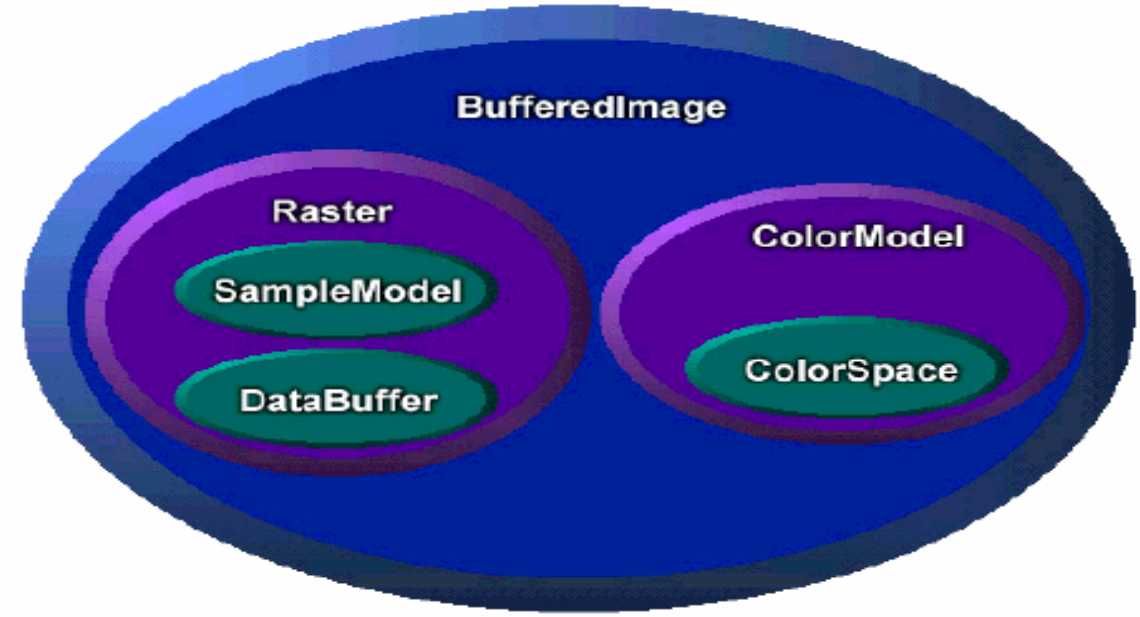
- aus: Knudsen, Kapitel 10



Ethol with Roses, Edmund Greacen, 1907

Java 2D: BufferedImage

- **`java.awt.image.BufferedImage`**:
  - Repräsentation eines Bildes
  - Verkapselt (d.h. versteckt Details von):
    - » Farbmodell
    - » Abtastung
    - » Datenpuffer



Double Buffering

- Einfache Pufferung:
  - Verwendet einen internen Pufferspeicher in Größe des Bildes
  - Bei Änderung des Bildes wird Bild gelöscht und neues Bild angezeigt
  - kann zu flackerndem Bild führen
  - führt oft unnötig viele Anzeigevorgänge durch
- Doppel-Pufferung:
  - Verwendet zwei Speicher:
    - » *onScreen*- und *offScreen*-Fassung
  - Neues Bild wird zuerst *offScreen* aufgebaut
  - Angezeigtes Bild wird in einem Schritt durch neues Bild ersetzt
- Java 2D und Swing unterstützen an vielen Stellen automatisch Doppel-Pufferung

Einlesen von Bilddateien in Java

- Einlesen von Bilddateien umfasst komplexe Algorithmen
  - Decodieren des Bildformats
  - Einlesen lokal aus Datei oder über eine URL
  - Berücksichtigung von langsamen Festplatten- und Netzzugriffen
    - » Observer-Modell: Anzeigefunktion wird wieder aufgerufen, wenn Daten nachgeladen sind
- Java: Diverse Möglichkeiten zum Laden eines Bilds
  - Standard-AWT-Methode (MediaTracker)
  - Swing-Methode (ImageIcon)
  - Spezielle Codecs (Sun-JPEG-Codec meist in Standardinstallation enthalten)
  - Java Advanced Imaging (siehe unten)

Einlesen einer JPEG-Datei mit Spezial-Codec

```
import java.awt.*;
import java.awt.image.BufferedImage;
import java.io.*;
import com.sun.image.codec.jpeg.*;

public class LoadJpeg extends Frame {

  private static BufferedImage mImage;

  public static void main(String[] args)  throws Exception {
    Frame f = new LoadJpeg("yinmao.small.jpg");
    f.setSize(mImage.getWidth(), mImage.getHeight());
    f.setLocation(200, 200);
    f.setVisible(true);
  }

  public LoadJpeg(String filename)
      throws IOException, ImageFormatException {
    // Load the specified JPEG file.
     InputStream in = new FileInputStream(filename);
    JPEGImageDecoder decoder = JPEGCodec.createJPEGDecoder(in);
    mImage = decoder.decodeAsBufferedImage();
    in.close();
  }

  public void paint(Graphics g) {
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    g2.drawImage(mImage, 0, 0, null);
  }
}
```

Einlesen einer Bilddatei mit AWT MediaTracker

```
import java.awt.*;

public class LoadJpeg1 extends Frame {

  private static Image img;

  public static void main(String[] args)   {
    Frame f = new LoadJpeg1();
    MediaTracker tracker = new MediaTracker(f);
    img = Toolkit.getDefaultToolkit().getImage("yinmao.small.jpg");
    tracker.addImage(img, 0);
    try {
      tracker.waitForAll();
    } catch (InterruptedException e) {
      throw new Error("Loading problem");
    }
    f.setSize(img.getWidth(null),img.getHeight(null));
    f.setLocation(200, 200);
    f.setVisible(true);
  }


  public void paint(Graphics g) {
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    g2.drawImage(img, 0, 0, null);
  }
}
```

Einlesen einer Bilddatei als Swing-Icon

```
import java.awt.*;
import javax.swing.*;

public class LoadJpeg2 extends Frame {

  private static Image img;

  public static void main(String[] args)   {
    Frame f = new LoadJpeg2();
    ImageIcon icon = new ImageIcon("yinmao.small.jpg");
    img = icon.getImage();
    f.setSize(img.getWidth(null),img.getHeight(null));
    f.setLocation(200, 200);
    f.setVisible(true);
  }


  public void paint(Graphics g) {
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    g2.drawImage(img, 0, 0, null);
  }
}
```

Java 2D: Bildbearbeitungsfunktionen

- Bildbearbeitungsfunktionen (in Java 2D):
  - Schnittstelle **`java.awt.image.BufferedImageOp`**

    ```
    public BufferedImage filter
      (BufferedImage src, BufferedImage dst)
    ```
  - Bearbeitet **`src`**, mit genauer zu definierendem Algorithmus
  - Liefert bearbeitetes Bild als Resultat
  - **`dst`** ermöglicht Angabe eines Speicherbereichs für das Ergebnis
    - » Falls **`dst = null`**: neues Bild erzeugt
    - » **`dst = src`**: Operation "auf der Stelle" ausgeführt *(in place)*
- Operationen werden als Objekte erzeugt
  - Entwurfsmuster *"Strategy"* (Gamma et al.)
  - Ausführung:
    - » Entweder bei Übergabe an **`drawImage()`**
    - » oder durch Aufruf der Methode **`filter()`** des Operations-Objekts

Java 2D: Verwendung vordefinierter Operationen

- Beispiel: Konversion in Graustufen

```
public static BufferedImage convertToGrayscale
  (BufferedImage source) {
  BufferedImageOp op =
    new ColorConvertOp(
      ColorSpace.getInstance(ColorSpace.CS_GRAY), null);
    return op.filter(source, null);
}
```

Java 2D: Einfaches Rahmenprogramm für Operationen

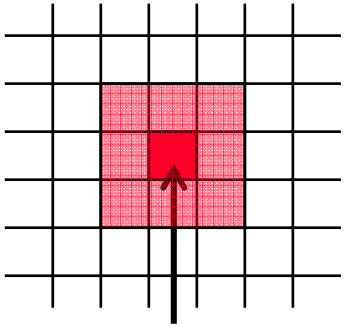
```
import java.awt.*;
import java.awt.geom.*;
import java.awt.color.*;
import java.awt.image.*;
import java.io.*;
import com.sun.image.codec.jpeg.*;

public class GrayJpeg extends Frame {

  private static BufferedImage mImage;

  ... Einlesen wie in obigem Beispiel

  public void paint(Graphics g) {
    Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
    BufferedImageOp op =
      new ColorConvertOp(ColorSpace.getInstance
                         (ColorSpace.CS_GRAY), null);
    g2.drawImage(mImage, op, 0, 0);
  }
}
```

Vordefinierte Operationen in Java 2D

Klasse	Hilfsklassen	Effekte	"in place"? (src = dst)
`ConvolveOp`	**`Kernel`**	Weich- und Scharfzeichnen, Kantenerkennung	nein
`Affine TransformOp`	**`java.awt.geom. AffineTransform`**	Geometrische Transformationen	nein
`LookupOp`	**`LookupTable, ByteLookupTable, ShortLookupTable`**	Inversion, Farbtrennung, Aufhellung, Thresholding	ja
`RescaleOp`		Aufhellen, Abdunkeln	ja
`Color ConvertOp`	**`java.awt.Color. ColorSpace`**	Farbraum-konversion	ja

Faltung

- Mathematisches Prinzip: Faltung *(spatial convolution)*
  - Berechnung der Farbe eines Zielpixels aus der Farbe des entsprechenden Quellpixels *und seiner Nachbarn*
  - Gewichtsfaktoren gegeben durch Matrix: Faltungskern *(kernel)*
  - Summe der Matrixeinträge 1: Gesamthelligkeit unverändert

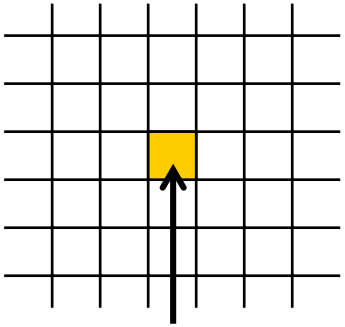


$x_{i,j}$

Quellbild

$k_{-1,-1}$	$k_{0,-1}$	$k_{+1,-1}$
$k_{-1,0}$	$k_{0,0}$	$k_{+1,0}$
$k_{-1,+1}$	$k_{0,+1}$	$k_{+1,+1}$

Matrix *(kernel)*



$$x'_{i,j} = \sum_{\substack{-1 \le r \le +1 \\ -1 \le s \le +1}} k_{r,s} \cdot x_{i+r,\,j+s}$$

Zielbild

Zusätzlich müssen die Zielwerte auf den zulässigen Wertebereich beschränkt (abgeschnitten) werden.

Mittelwertoperator: Weichzeichnen

- Faltungsfilter, das Übergänge glättet ("verschmiert", *blur filter*)
  - Wertverteilung im Zielbild gleichmäßiger als im Quellbild
  - Gleichverteilung der Gewichte in der Matrix: bei 3x3-Matrix alle Einträge 1/9

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Java-Quellcode dazu:

```
float ninth = 1.0f/9.0f;
float[] blurKernel = {
  ninth, ninth, ninth,
  ninth, ninth, ninth,
  ninth, ninth, ninth
};
ConvolveOp blurOp = new ConvolveOp
  (new Kernel(3, 3, blurKernel),
  ConvolveOp.EDGE_NO_OP, null);
```

Java 2D: ConvolveOp

- Klasse **`Kernel:`**

  `public Kernel (int width, int height, float[] data)`

  – Konstruiert eine neue *kernel*-Matrix mit gegebenen Dimensionen

  – Das angegebene Array muss **`width`** x **`height`** viele Werte enthalten

- Erzeugung des Operators

  – **`ConvolveOp`** implementiert das Interface **`BufferedImageOp`**

  `public ConvolveOp(Kernel kernel, int edgeHint)`

  – erzeugt einen Faltungsoperator mit gegebenem *kernel*

  – Zusatzangabe zur Behandlung der Pixel an Aussenkanten

  » **`EDGE_ZERO_FILL:`** Randpixel des Zielbildes werden schwarz

  » **`EDGE_NO_OP:`** Randpixel des Zielbildes bleiben unverändert

Ortsfrequenz-Filter

- Mathematische Darstellung eines Bildes: (Orts-)Funktion

  $f : X \times Y \rightarrow ColorValue$

- (Orts-)Frequenzraum:
  - Wie häufig wechselt der Farbwert (bzw. die Signalstärke) bei einer Veränderung auf der Ortsachse?
  - Fourier-Transformation: Zerlegung des Signals in Frequenzanteile
- Faltungen:
  - sind Ortsfrequenz-Filter
  - Weichzeichner:
    - » Entfernt hohe Ortsfrequenzen
  - Scharfzeichner:
    - » Betont hohe Ortsfrequenzen

Schärfen

- Schärfung:
  - Filter, das jedes Pixel unverändert lässt, wenn seine Umgebung den gleichen Wert wie das Pixel selbst hat
  - Bei Änderungen in der Umgebung wird der Kontrast der Änderung verstärkt
- Idee:
  - Umgebungsgewichte negativ, kompensiert durch Gewicht des zentralen Pixels
- Beispiele:

0	–1	0
–1	5	–1
0	–1	0

–1	–1	–1
–1	9	–1
–1	–1	–1

Kantenerkennung

- Wie Schärfen, aber geringeres Gewicht für Originalinformation
- Summe der Matrix wesentlich kleiner als 1
  - Bild wird dunkel, fast schwarz
  - Kanten mit hohem Kontrast in weiß zu erkennen
- Beispiel *(Laplace-Operator)*:

0	–1	0
–1	4	–1
0	–1	0

Weitere Kantenerkennungsoperatoren durch Faltung herstellbar
z.B. *Sobel*-Operatoren (selektiv für horizontal/vertikal)

Lookup-Tabellen (1)

- Lookup-Tabellen erlauben eine direkte Umrechnung der Werte des Quellbildes in Werte des Zielbildes
  - Tabellierte Funktion:
    Quellwerte als Index für Tabelle benutzt, Zielwerte sind Einträge
  - Meist Werte zwischen 0 und 255, also 255 Tabelleneinträge
  - Verschiedene Varianten für Datentyp der Einträge (Byte, Short)
- Beispiel: Inversion
  - Ähnlich zum fotografischen Negativbild

```
short[] invert = new short[256];
for (int i = 0; i < 256; i++)
  invert[i] = (short)(255 - i);
LookupTable table =
  new ShortLookupTable(0, invert);
LookupOp invertOp =
  new LookupOp(table, null);
```

Lookup-Tabellen (2)

- Es können auch verschiedene Lookup-Tabellen je Farbkanal angegeben werden
- Beispiel: Inversion des Rot-Wertes

```
short[] invert = new short[256];
short[] straight = new short[256];
for (int i = 0; i < 256; i++) {
  invert[i] = (short)(255 - i);
  straight[i] = (short)i;
}
short[][] redInvert = {invert, straight, straight};
LookupTable table =
  new ShortLookupTable(0, redInvert);
LookupOp redInvertOp =
  new LookupOp(table, null);
```

Zusatzparameter:
– bei Konstruktor für LookupTable: Angabe eines Offsets für Wertebereich (hier 0)
– bei Konstruktor für LookupOp: Angabe von RenderingHints (hier null)

Helligkeits-Skalierung

- Globale lineare Veränderung der Helligkeitswerte
- Zwei Einflussmöglichkeiten
  - Skalierungsfaktor *(scale factor)*
  - Verschiebung *(offset)*

- Beispiele:
  - Helligkeit um 50% erhöhen

```
RescaleOp brighterOp =
  new RescaleOp(1.5f, 0, null);
```

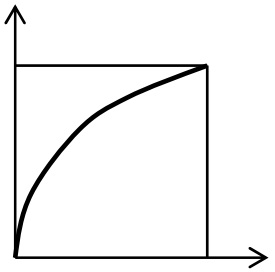
  - Helligkeit um 50% reduzieren und absolute Korrektur um 64 Schritte

```
RescaleOp dimOffsetOp =
  new RescaleOp(0.5f, 64f, null);
```

Verbesserte Helligkeitsskalierung

- Eine lineare Skalierung ist nicht optimal geeignet zur Helligkeitsanpassung (Farben wirken "ausgewaschen")
- Komplexere Funktionen in der Skalierung durch Lookup-Tabellen realisierbar
- Beispiel: Quadratische Skalierung

```
short rootBrighten = new short[256];
for (int i = 0; i < 256; i++)
  rootBrighten[i] = (short)
    (Math.sqrt((double)i/255.0) * 255.0;
```



linear

quadratisch

Farbraumkonvertierung

- Bilder müssen oft gezielt auf einen anderen Farbraum angepasst werden
  - Die notwendigen Umrechnungen existieren vordefiniert, z.B. in Java 2D
- Drei Varianten:
  - Anpassung an Farbraum des Zielbildes
    - » nur sinnvoll, wenn Zielbild (in Java 2D: BufferedImage) bekannt
  - Anpassung an gegebenen Standard-Farbraum
    - » Beispiel (Graustufen):

```
BufferedImageOp op =
  new ColorConvertOp(
   ColorSpace.getInstance(ColorSpace.CS_GRAY), null);
```

  - Anpassung an gegebene (ICC-)Farbprofile
    - » Bestandteil eines potentiell komplexen Farbmanagement-Systems

B3. Digitale Bildbearbeitung mit Java

B3.1 Bildbearbeitungsfunktionen in Java 2D

B3.2 Java Advanced Imaging API

Literatur:

J. Knudsen: Java 2D Graphics, O'Reilly 1999, Kap. 10

http://java.sun.com/products/java-media/jai/

Java Advanced Imaging (JAI)

- Aktuelle Weiterentwicklung der Java-Bibliotheken zur Bildbearbeitung
- Wesentliche Zusatzeigenschaften:
  - Unterstützung verteilter Bildbearbeitung
    - » basiert auf Java Remote Method Invocation (RMI) und Internet Imaging Protocol (IIP) (siehe: http://www.i3a.org/i_iip.html)
  - Standardisierte Ein- und Ausgabe verschiedener Bildformate aus Dateien (BMP, GIF, JPEG, JPEG2000, PNG, PNM, Raw, TIFF, WBNP)
    - » Java Image I/O API (Mai 2006)
  - Optimierungen des Datenzugriffs:
    - » Zerlegung von Bildern in separat ladbare "Kacheln" (kompatibel mit "FlashPix"-Format)
  - Optimierung des Ausführungsmodells
    - » Zurückstellen von Teiloperationen
  - Durch Fremdhersteller erweiterbare Rahmenlösung
- Viele zusätzliche Bildbearbeitungsfunktionen
- Achtung: **Nicht** Bestandteil einer Standard-Java-Installation!

JAI: Einfaches Beispielprogramm (1)

```
import java.awt.Frame;
import java.awt.image.renderable.ParameterBlock;
import java.io.IOException;
import javax.media.jai.Interpolation;
import javax.media.jai.JAI;
import javax.media.jai.RenderedOp;
import com.sun.media.jai.codec.FileSeekableStream;
import javax.media.jai.widget.ScrollingImagePanel;
/**
* This program decodes an image file of any JAI supported
* formats, such as GIF, JPEG, TIFF, BMP, PNM, PNG, into a
* RenderedImage, scales the image by 2X with bilinear
* interpolation, and then displays the result of the scale
* operation.
*/
public class JAISampleProgram {
   public static void main(String[] args) {
   /* Validate input. */
   if (args.length != 1) {
       System.out.println("Usage: java JAISampleProgram " +
              "input_image_filename");
       System.exit(-1);
   }
...
```

JAI: Einfaches Beispielprogramm (2)

```
/*
* Create an input stream from the specified file name
* to be used with the file decoding operator.
*/
  FileSeekableStream stream = null;
  try {
      stream = new FileSeekableStream(args[0]);
  } catch (IOException e) {
      e.printStackTrace();
      System.exit(0);
  }

/* Create an operator to decode the image file. */
  RenderedOp image1 = JAI.create("stream", stream);

/*
* Create a standard bilinear interpolation object to be
* used with the "scale" operator.
*/
  Interpolation interp = Interpolation.getInstance(
      Interpolation.INTERP_BILINEAR);
...
```

JAI: Einfaches Beispielprogramm (3)

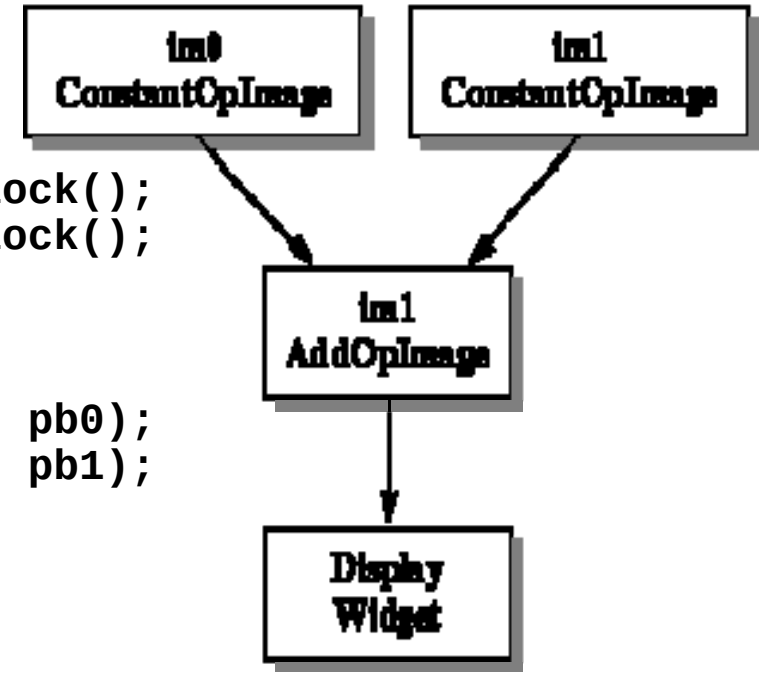
```
/**
* Stores the required input source and parameters in a
* ParameterBlock to be sent to the operation registry,
* and eventually to the “scale” operator.
*/
   ParameterBlock params = new ParameterBlock();
   params.addSource(image1);
   params.add(2.0F); // x scale factor
   params.add(2.0F); // y scale factor
   params.add(0.0F); // x translate
   params.add(0.0F); // y translate
   params.add(interp); // interpolation method

/* Create an operator to scale image1. */
   RenderedOp image2 = JAI.create(“scale”, params);

   int width = image2.getWidth();
   int height = image2.getHeight();
   ScrollingImagePanel panel = new ScrollingImagePanel(
     image2, width, height);
   Frame window = new Frame(“JAI Sample Program”);
   window.add(panel);
   window.pack();
   window.show();
   }
}
```

JAI: Programmiermodell

- Operationen werden nicht direkt ausgeführt, sondern als Datenstruktur aufgebaut
  - Entwurfsmuster *"Command"* (Gamma et al.)
  - *Rendergraph* ist eine Baumstruktur mit den auszuführenden Operationen
  - *Parameterblöcke* werden in Rendergraph eingefügt

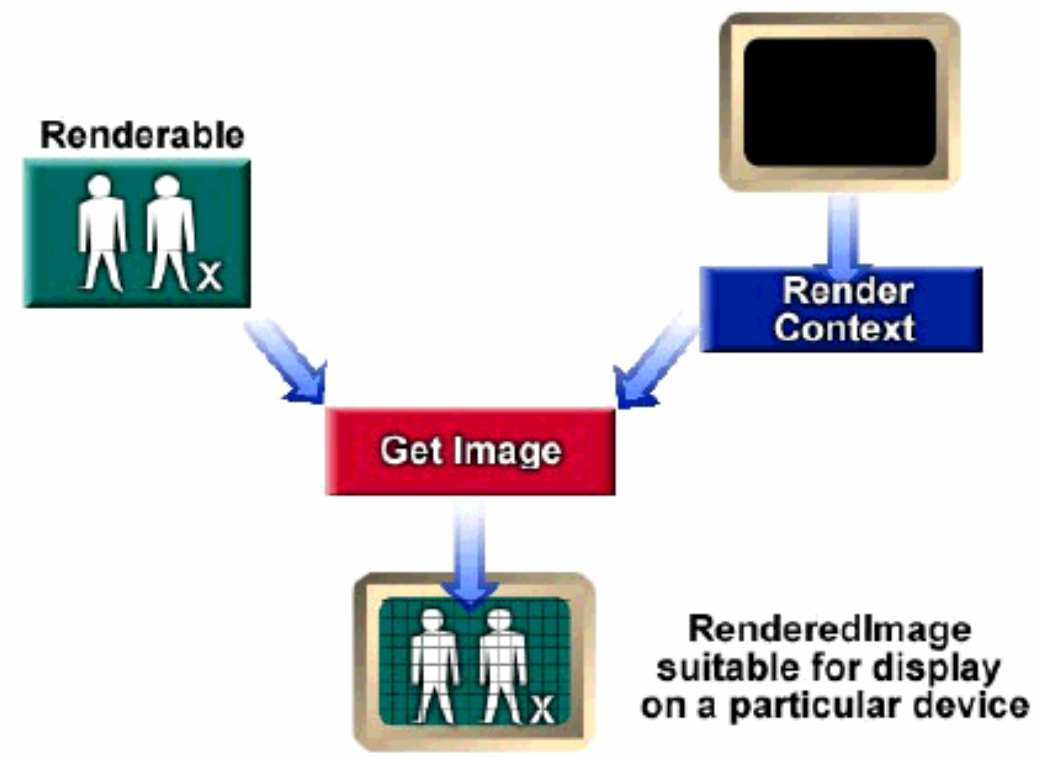
- Beispiel:

```
ParameterBlock pb0 = new ParameterBlock();
ParameterBlock pb1 = new ParameterBlock();
... // hier werden in pbX Daten
... // zur Manipulationen
... // für die Bilder geschrieben
RenderedOp imO = JAI.create("const", pb0);
RenderedOp im1 = JAI.create("const", pb1);
im1 = JAI.create("add", imO, im1);
```



Geräteunabhängiges Rendering

- JAI ermöglicht die Bereitstellung von Rendergraphen, die unabhängig vom gerätespezifischen Koordinatensystem sind
  - "renderable"-Objekte



Operationen in JAI (1)

- Punkt-Operatoren
  - Eingangspixelwert durch Operation zu Ausgangspixelwert
  - Add, And, Or, Xor, Divide, Invert, Lookup, Composite, Constant, Threshold
- Flächen-Operatoren
  - Veränderung der Bildfläche durch Filtern bestimmter Pixels (Umgebungen)
  - Border, Convolve
- Geometrie-Operatoren
  - Geometrische Transformationen, die Umpositionierung der Pixel zur Folge haben
  - Lineare: Translation, Rotation, Skalierung
  - Nicht lineare: Warp-Transformationen
  - Ändern der Lage, Größe, Form eines Bildes
    - » Rotate, Scale, Translate, Warp

Operatoren in JAI (2)

- Farbquantisierungs-Operatoren
  - Auch bekannt als Dithering
  - Quantisierungsfehler gering halten bei Operationen auf:
    Monochrombilder (Farbtiefe < 8 Bit), Farbbilder (Farbtiefe < 24 Bit)
  - ErrorDiffusion, OrderedDither
- Datei-Operatoren
  - Lesen und Schreiben
  - Fileload, Filestore, Encode, JPEG, usw.
- Frequenz-Operatoren
  - Räumlich orientierte- in frequenzorientierte Bilder übersetzen (Fourier Transformation)
  - DCT, Conjugate
- Statistik-Operatoren
  - Zum Analysieren des Inhalts von Bildern
  - Extrema, Histogram
- Kantenextraktions-Operatoren
  - Gradient, der Kanten im Bild zum Vorschein bringt
  - GradientMagnitude