

6. Digitale Bildverarbeitung

6.1 Grundlagen der Fototechnik

6.2 Digitale Fotografie

6.3 Scanner

6.4 Software zur Bildbearbeitung 
speziell: Bildbearbeitung in Java

Java 2D

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

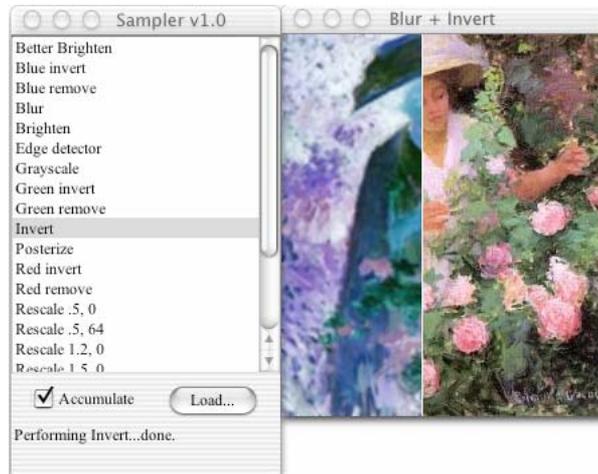
- Bilder aus der Sicht der Informatik:
 - spezielle Datenstruktur (insbesondere: 2-dimensionales Array)
 - Bearbeitung mit verschiedenen Algorithmen möglich
- *Filter*:
 - Ursprünglich Begriff aus der klassischen (analogen) Fotografie
 - Generell: Operation, die Bild in Bild transformiert
 - Klassische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

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):
 - November 1999, Portierung auf diverse Plattformen noch im Gang
 - Erweiterung von Java 2D
 - 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

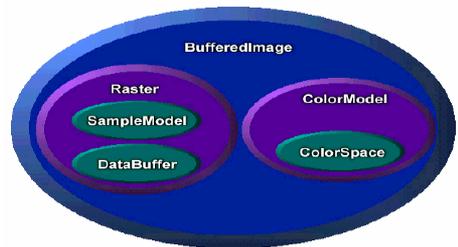
- aus: Knudsen, Kapitel 10



Ethel with Roses, Edmund Greacen, 1907

Java 2D: BufferedImage

- `java.awt.image.BufferedImage`:
 - Repräsentation eines Bildes
 - Verkapselt (d.h. versteckt Details von):
 - » Farbmodell
 - » Abtastung
 - » Datenpuffer
- 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-Codec-Implementierungen (siehe nächste Folie)
 - » Toolkit-Objekte
 - » Java Advanced Imaging (siehe unten)



Double Buffering

- Einfache Pufferung:
 - Verwendet einen Speicher in Grösse des Bildes
 - Bei Anzeige eines neuen Bildes wird Bild gelöscht und neues Bild angezeigt
 - kann zu flackerndem Bild führen
- 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 einer Bilddatei

```
import java.awt.*;
import java.awt.geom.*;
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 = getClass().getResourceAsStream(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);
    }
}
```

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 von `filter()` aus dem Objekt

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

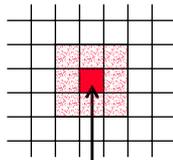
    public void paint(Graphics g) {
        Graphics2D g2 = (Graphics2D)g;
        BufferedImageOp op =
            new ColorConvertOp(ColorSpace.getInstance
                (ColorSpace.CS_GRAY), null);
        g2.drawImage(mImage, op, 0, 0);
    }
}
```

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	Farbraumkonversion	ja

Konvolutionen

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

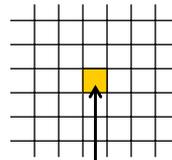


$x_{i,j}$

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*)



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

Zielbild

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

Weichzeichnen

- Konvolutionsfilter, 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 Konvolutionsoperator 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
- Konvolutionen:
 - 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	-1	-1
-1	5	-1	-1	9	-1
0	-1	0	-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:

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

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 =
    new ShortLookupTable(0, invert);
LookupOp invertOp =
    new LookupTable(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 =
    new ShortLookupTable(0, redInvert);
LookupOp redInvertOp =
    new LookupTable(table, null);
```

Zusatzparameter:

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

Helligkeits-Skalierung

- Globale lineare Veränderung der Helligkeitswerte
- Zwei Einflussmöglichkeiten
 - Skalierungsfaktor (*scale factor*)
 - Verschiebung (*offset*)
- Beispiele:
 - Helligkeit um 50% erhöhen

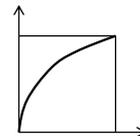
```
RescaleOp brighterOp =
    new RescaleOp(1.5f, 0, null);
```
 - Helligkeit um 50% reduzieren und absolute Korrektur um 64 Schritte

```
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

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, FPX, JPEG, PNG, PNM, TIFF)
 - 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);

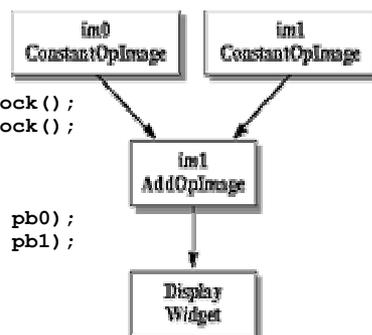
int width = image2.getWidth();
int height = image2.getHeight();
ScrollingImagePanel panel = new ScrollingImagePanel(
    image2, width, height);
Frame window = new Frame("JAI Sample Program");
window.add(panel);
window.pack();
window.show();
}
}
```

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

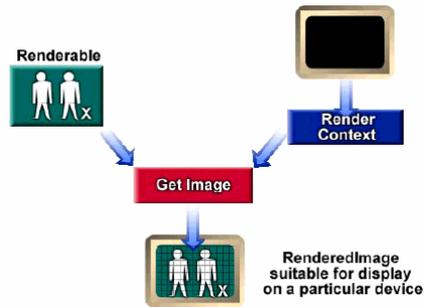
• Beispiel:

```
ParameterBlock pb0 = new ParameterBlock();
ParameterBlock pb1 = new ParameterBlock();
... // hier werden in pbX Daten
... // zur Manipulationen
... // für die Bilder geschrieben
RenderedOp im0 = JAI.create("const", pb0);
RenderedOp im1 = JAI.create("const", pb1);
im1 = JAI.create("add", im0, 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