



Entwicklung von Bildverarbeitungssoftware

Institut für Informatik
Mustererkennung und Bioinformatik

Angewandte Bildverarbeitung, SS 2007



Überblick

Entwicklung
von
Bildver-
arbeitungssoft-
ware

Überblick

- 1 Kommerzielle Entwicklungsumgebungen: Matlab
- 2 Java vs. C++
- 3 JAI - Java Advanced Imaging
- 4 Intel OpenCV
- 5 GNU Scientific Library
- 6 Bildverarbeitungsquellen im Internet



Kommerzielle BV-Software

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- integrierte Entwicklungsumgebungen, die z.B...
 - ... eine große Palette an vordefinierten Funktionen mitbringen
 - ... Rapid-Prototyping unterstützen
 - ... graphische Programmierung unterstützen
 - ... Support bieten

... und meistens sehr, sehr teuer sind!

- Beispiele:
 - Khoral (früher Khoros)
 - Matlab
 - Halcon
 - ...



Matlab

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- Quasi-Standard bei kommerziellen Tools
- Anbieter: The MathWorks,
<http://www.mathworks.com/>
- Hauptanwendungsfeld:
 numerische Berechnungen, Simulationen
- Basispaket + Toolboxen, z.B. für
 - Signalanalyse
 - Bildverarbeitung
 - Bioinformatik
 - ...
- viele Algorithmen für Matlab im Internet verfügbar
- private Einzellizenz: \approx 1000 Euro (ohne Toolboxen)



Matlab: Screenshot

Entwicklung
 von
 Bildverarbeitungssoftware

Matlab

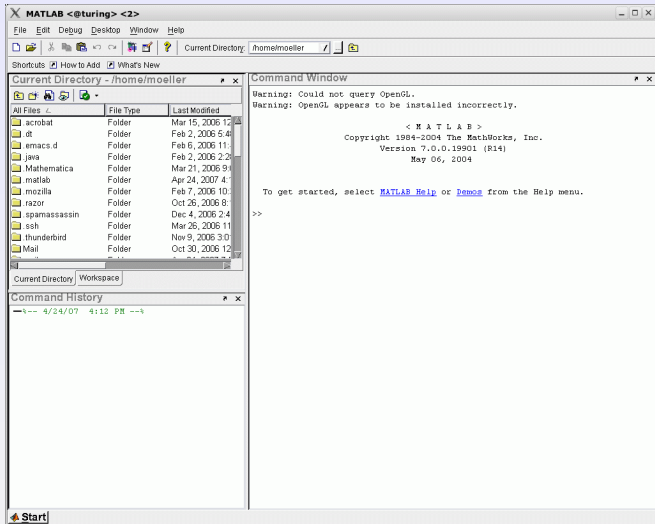
Java/C++

JAI

OpenCV

GPL

Internet





Matlab: Key-Features

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- Skriptsprache (C-like)
- große "a-priori-Funktionalität"
- einfache Kombination von mathematischer Funktionalität und graphischer Visualisierung
- Integration von C-Code
- Export von Matlab-unabhängigen Executables
- ... aber auch: hohe Laufzeiten (!)
 ⇒ effiziente Code-Entwicklung oft doch wieder in C
- Online-Berechnungen komplex (z.B. Hardwarezugriff)
 ⇒ Hauptziel: Rapid-Prototyping



Freie Alternative: Octave

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- <http://www.gnu.org/software/octave/>
- Matlab-kompatibel
 - ... zumindest theoretisch sollte Matlab
 Octave-Code ausführen!
- Basisfunktionsumfang weitgehend identisch,
 aber im Detail bietet Matlab mehr Komfort/Funktionalität
- Bildverarbeitung nur rudimentär unterstützt
 (kein Vergleich mit der Image Processing Toolbox)
 - ⇒ Hauptziel: numerische Simulationen
 Visualisierung
 Statistik



Programmiersprachen

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssof-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- weit verbreitet sind imperative/objektorientierte Ansätze:
 - C (... immer mehr ersetzt durch C++, oder kombiniert)
 - C++
 - Java
- Auswahlkriterien:
 - Was ist das Ziel-Szenario?
 (Web-Applikation, RealTime-System)
 - Wer soll die Software nutzen (User, OS)?
 - Welche Hardware wird gebraucht (Treiber)?
 - Welche Grundlagen gibt es schon (Bibliotheken)?
- oftmals "philosophische Frage" ohne klare Antwort



- Vorteile:
 - RealTime-Fähigkeit durch Low-Level-Zugriffe (direkte Speicher manipulation)
 - nah am Betriebssystem, d.h. oft einfache Ressourcennutzung
 - unter Linux: oft guter Treibersupport für Hardware
- Nachteile:
 - direkte Speicher manipulation durch Low-Level-Zugriffe (Segmentation Faults, undefiniertes Programmverhalten)
 - graphische Oberflächen/Visualisierung nicht integriert (externe Libs: Qt, OpenCV, Gtk, ...)



- Vorteile:
 - komplette Entwicklungsumgebung mit vielen Bibliotheken: Datenbankverbindungen, parallele Programmierung, direkter Netzwerkzugriff, ...
 - integrierte graphische Schnittstellen und GUIs
 - "sicheres" Design
 - einfacher Entwurf von Web-Applikationen
 - (theoretisch) hohe Portierbarkeit
- Nachteile:
 - Hardware-Zugriff manchmal komplex
 - i.A. nicht RealTime-fähig (bei komplexer Algorithmetik)

Java Advanced Imaging (JAI)



- Klassenbibliothek für die Bildverarbeitung
- Anbieter: SUN
<http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jai/>
- aktuelle Version 1.1.3 (September 2006)

JAI

”The Java Advanced Imaging API provides a set of object-oriented interfaces that support a simple, high-level programming model which lets you manipulate images easily.”

JAI bietet. . .



Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- Basisklassen für Bilder
- Operatoren, die auf die Bilder angewendet werden können
- Ein- und Ausgabeklassen, Streams
- Klassen zur Bildmanipulation
- Klassen zur Bildverbesserung (Fouriertranf.)
- Klassen zur Bildtransformation (geom. Manipulationen)
- Klassen für (effizientes) Rendering

Schwerpunkt auf Low-Level-Bildverarbeitung / -bearbeitung



Image Analysis in JAI - I

Entwicklung
von
Bildver-
arbeitungssoft-
ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- Mittelwerte von Regionen berechnen
- Extrema in Bildern finden
- Bildhistogramme berechnen
- Kantendetektion
- Bildstatistik
- ...

JAI geht maximal bis zum Intermediate-Level...



- JAI ist auf Web-Anwendungen und Rendering ausgelegt. . .
- Subprojects:
 - **hdr-codec**
 Codecs for different high dynamic range image file formats
 - jai-core
 The Java Advanced Imaging API Core
 - jai-demos
 Demonstration programs for JAI
 - **jai-webstart**
 Java Advanced Imaging Web Start binaries
 - jaistuff
 Java Advanced Imaging (JAI) API examples and tutorial.



JAI-Beispiele: Bilder lesen und schreiben

```

public void loadImage( String fileName ){
    PlanarImage src = null;

    if ( fileName != null ) {
        File f = new File(fileName);

        if ( f.exists() && f.canRead() )
            src = JAI.create("fileload", fileName);
        else {
            throw new IOException( "File does not exist or is not readable" );
        }
    }
}

public void saveImage( String fileName, PlanarImage img ){

    ParameterBlock pb = new ParameterBlock();
    pb.addSource( img);
    pb.add(fileName);

    pb.add("jpeg");
    JAI.create("fileStore", pb);
}
    
```



JAI-Beispiele: Bildzugriffe

```
import javax.media.jai.*;
import java.awt.image.*;

public class Operations {
    public static PlanarImage thres( PlanarImage img, int th) {
        Raster inRast = img.getData();

        // create a copy of input image with one tile
        // this adds overhead since we copy the data
        TiledImage outImg =
            new TiledImage(img, inRast.getWidth(), inRast.getHeight());

        WritableRaster outRast = outImg.getWritableTile( 0, 0);

        int[] pixel = new int[1];
        for ( int y = 0 ; y < inRast.getHeight() ; y++ )
            for ( int x = 0 ; x < inRast.getWidth() ; x++ ) {
                inRast.getPixel( x, y, pixel);
                if ( pixel[0] < th )
                    pixel[0] = 0;
                else
                    pixel[0] = 255;

                outRast.setPixel( x, y, pixel);
            }
        return outImg;
    }
}
```




- Installiert auf den AG-Rechnern unter
 /vol/software/usr/java/jai-1_1_2_01
- Umgebungskonfiguration:

```
setenv JAIDIR /vol/software/usr/java
```

```
setenv JAIHOME "$JAIDIR/jai-1_1_2_01/lib"
```

```
setenv CLASSPATH
```

```
.:$JAIHOME/jai_core.jar:${JAIHOME}/jai_codec.jar:${JAIHOME}/mliwrapper_jai.jar
```

```
setenv LD_LIBRARY_PATH :.:${JAIHOME}:${CLASSPATH}:${LD_LIBRARY_PATH}
```



JAI-Dokumentation

Entwicklung
von
Bildver-
arbeitungssoft-
ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- Tutorial

<http://java.sun.com/developer/onlineTraining/javaai/index.html>

- API

<http://download.java.net/media/jai/javadoc/1.1.3/jai-apidocs/index.html>

- ... und die Demo-Programme unter

/vol/lehre/angewandteBV_SS07/misc/jai/demo



- freie C++-Klassenbibliothek für Windows/Linux
- Anbieter: Intel
<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>
- inzwischen in der BV-Community weit verbreitet
- direkt unterstützt von Intel
 ⇒ Intel IPP - Performance Library (kommerziell. . .)
- Hauptziel:
 High-Level-Bildverarbeitung



Intel OpenCV - Überblick

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- Image functions: creation, allocation, destruction, fast access
- Contour Processing
- Geometry: Line and ellipse fitting, Convex hull, Contour analysis
- Features: 1st & 2nd Image Derivatives, Canny, Hough
- Morphology: erode, dilate, open, close, gradients
- Camera Calibration
- Active Contours: Snakes
- Stereo Gesture Recognition
- Eigen Objects
- Drawing Primitives: line, rectangle, circle, ellipse, polygon, text
- ...



Intel OpenCV - Basisbibliotheken

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- *libcxcore* - Basisfunktionalität
 (Basisklassen, Fehlerbehandlung, Speicherverwaltung,
 Streams, etc.)
- *libcv* - Algorithmik
- *libhighgui* - Ein-/Ausgabe & Interaktion
 (Fenster, Bilder lesen/schreiben, Kamerazugriff)



Demo-Programm

```
#include "opencv/cv.h"
#include "opencv/highgui.h"
#include <stdio.h>

int main()
{
    IplImage *cvImg;
    CvSize imgSize;
    int i= 0, j= 0;

    imgSize.width= 640;
    imgSize.height= 480;

    cvImg= cvCreateImage(imgSize,8,1);

    for (i= 0; i<imgSize.width; ++i)
        for (j= 0; j<imgSize.height; ++j)
            ((uchar*)(cvImg->imageData + cvImg->widthStep*j))[i] = (char)((i*j));

    cvNamedWindow("Testing OpenCV...",1);
    cvShowImage("Testing OpenCV...",cvImg);

    cvWaitKey(0);
    cvDestroyWindow("image");
    cvReleaseImage(&cvImg);
    return(0);
}
```



Intel OpenCV - Bildzugriffe, Funktionsaufrufe I

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

```
// convert both images to OpenCV format
IplImage *firstImg, *secondImg;
CvSize imgSize;

imgSize.width= 640;
imgSize.height= 480;

firstImg= cvCreateImage(imgSize,8,1);
secondImg= cvCreateImage(imgSize,8,1);
resultImgX= cvCreateImage(imgSize,32,1);
resultImgY= cvCreateImage(imgSize,32,1);

for (unsigned long i= xMin; i<xMax; ++i) {
    for (unsigned long j= yMin; j<yMax; ++j) {
        ((uchar*)(firstImg->imageData + firstImg->widthStep*j))[i] =
            (char) (image1->getPixelInLayer(i, j,0));
        ((uchar*)(secondImg->imageData + secondImg->widthStep*j))[i] =
            (char) (image2->getPixelInLayer(i, j,0));
    }
}
```



Intel OpenCV - Bildzugriffe, Funktionsaufrufe II

```
// calculate optical flow
maskSize.width= 13;
maskSize.height= 13;

CvTermCriteria termCrit;
termCrit.type= CV_TERMCRIT_ITER;
termCrit.max_iter= 1000;
termCrit.epsilon= 0.0001;
cvCalcOpticalFlowHS (firstImg, secondImg, 0, resultImgX, resultImgY, 0.75, termCrit);

CvPoint punkt1;
CvPoint punkt2;

for (unsigned long i= xMin; i<xMax; i=i+3) {
    for (unsigned long j= yMin; j<yMax; j=j+3) {
        punkt1.x= i; punkt1.y= j;
        float diffX= ((float*)(resultImgX->imageData+resultImgX->widthStep*j))[i];
        float diffY= ((float*)(resultImgY->imageData+resultImgY->widthStep*j))[i];
        punkt2.x= (float)i+diffX;
        punkt2.y= (float)j+diffY;
        cvLine (firstImg, punkt1, punkt2, CV_RGB(255,0,0), 1);
    }
}

cvSaveImage ("flowImage.pgm", firstImg);

cvReleaseImage (&firstImg);
cvReleaseImage (&secondImg);
```




- Installation - in Kürze - unter

`/vol/software/include`

`/vol/software/lib`

- Dokumentation:

`/vol/software/doc`

- Demo-Programm:

`/vol/export/angewandteBV_SS07/misc/openCV`



- oftmals benötigt: numerische Algorithmen für...
 - ... Matrix- und Vektor-Operationen
 - ... numerische Optimierung
 - ... lineare Gleichungssysteme, SVD, Eigenvektoren
 - ... Fourier-/Wavelet-Transformationen
 - ... Interpolationen, Regression
 - ... statistische Analysen und Simulationen (Monte-Carlo)

- Software:
 - GSL: freie Bibliothek in C, <http://www.gnu.org/software/gsl/>
 - Numerical Recipes in C und Fortran, <http://www.nr.com/>
 (kein Code verfügbar, darf aber "nachprogrammiert" werden)



GNU Scientific Library

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

1. Introduction
2. Using the library
3. Error Handling
4. Mathematical Functions
5. Complex Numbers
6. Polynomials
7. Special Functions
8. Vectors and Matrices
9. Permutations
10. Combinations
11. Sorting
12. BLAS Support
13. Linear Algebra
14. Eigensystems
15. Fast Fourier Transforms (FFTs)
16. Numerical Integration
17. Random Number Generation
18. Quasi-Random Sequences
19. Random Number Distributions
20. Statistics
21. Histograms
22. N-tuples
23. Monte Carlo Integration
24. Simulated Annealing
25. Ordinary Differential Equations
26. Interpolation
27. Numerical Differentiation
28. Chebyshev Approximations
29. Series Acceleration
30. Wavelet Transforms
31. Discrete Hankel Transforms
32. One dimensional Root-Finding
33. One dimensional Minimization
34. Multidimensional Root-Finding
35. Multidimensional Minimization
36. Least-Squares Fitting
37. Nonlinear Least-Squares Fitting
38. Physical Constants
39. IEEE floating-point arithmetic



GNU Scientific Library

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- für die Bildverarbeitung interessant: Matrizen und Vektoren

```
#include <stdio.h>
#include <gsl/gsl_vector.h>

int main (void) {
    int i;
    gsl_vector * v = gsl_vector_alloc (3);

    for (i = 0; i < 3; i++)
    {
        gsl_vector_set (v, i, 1.23 + i);
    }

    for (i = 0; i < 100; i++)
    {
        printf ("v_%d = %g\n", i, gsl_vector_get (v, i));
    }

    return 0;
}
```



- Ausgabe:

```
v_0 = 1.23
v_1 = 2.23
v_2 = 3.23
```

```
gsl: vector_source.c:12: ERROR: index out of range
IOT trap/Abort (core dumped)
```



● Umgang mit Matrizen:

```
#include <stdio.h>
#include <gsl/gsl_matrix.h>

int main (void)
{
    int i, j;
    gsl_matrix * m = gsl_matrix_alloc (10, 3);

    for (i = 0; i < 10; i++)
        for (j = 0; j < 3; j++)
            gsl_matrix_set (m, i, j, 0.23 + 100*i + j);

    for (i = 0; i < 10; i++)
        for (j = 0; j < 3; j++)
            printf ("m(%d,%d) = %g\n", i, j,
                gsl_matrix_get (m, i, j));

    return 0;
}
```



Exemplarische Funktionen

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

Function: `int gsl_matrix_add (gsl_matrix * a, const gsl_matrix * b)`

... adds the elements of matrix b to the elements of matrix a,
 $a'(i, j) = a(i, j) + b(i, j)$.
 The two matrices must have the same dimensions.

Function: `int gsl_matrix_sub (gsl_matrix * a, const gsl_matrix * b)`

... subtracts the elements of matrix b from the elements of matrix a,
 $a'(i, j) = a(i, j) - b(i, j)$.
 The two matrices must have the same dimensions.

Function: `int gsl_matrix_mul_elements (gsl_matrix * a, const gsl_matrix * b)`

... multiplies the elements of matrix a by the elements of matrix b,
 $a'(i, j) = a(i, j) * b(i, j)$.
 The two matrices must have the same dimensions.

Function: `double gsl_matrix_max (const gsl_matrix * m)`

... returns the maximum value in the matrix m.

Function: `double gsl_matrix_min (const gsl_matrix * m)`

... returns the minimum value in the matrix m.



- Nutzung von GSL-Funktionen:

```
#include <gsl/gsl_NAME.h>,
    z.B. #include <gsl/gsl_math.h>
```

- Compilieren:

```
gcc -Wall -I/usr/local/include -c example.c
```

(Pfad abhängig davon, wo die GSL installiert ist)

- Linken:

```
gcc -L/usr/local/lib example.o -lgsl -lgslcblas -lm
```




- im Internet gibt es...
 - Literatur
 - Code (Demo-Programme, Bibliotheken)
 - Testdaten
 - Support für verbreitete Bibliotheken und Tools
- ... aber wo mit der Suche anfangen?
 - ⇒ spezielle BV-Seiten



Bildverarbeitung im Internet

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

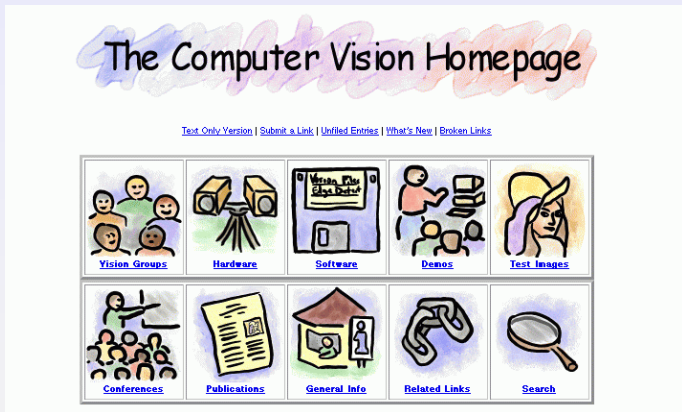
JAI

OpenCV

GSL

Internet

- The Computer Vision Homepage
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/cil/ftp/html/vision.html>





Bildverarbeitung im Internet

Entwicklung
 von
 Bildver-
 arbeitungssoft-
 ware

Matlab

Java/C++

JAI

OpenCV

GSL

Internet

- CVOnline
 - <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/CVentry.htm>
 - Übersicht: Themengebiete der digitalen BV
 - Verweise auf Einführungspaper

- Image Processing Fundamentals
 - <http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip.html>
 - Online-Nachschlagewerk für BV-Grundlagen:
 - Kameras
 - Bildvorverarbeitung
 - morphologische Operationen
 - ...

- ... und "Meta-Seiten": Pattern Recognition on the Web
 - <http://cgm.cs.mcgill.ca/godfried/teaching/pr-web.html.backup>