

Digitale Bildverarbeitung

Einheit 4

Bildkompression und Bildformate

Lehrauftrag WS 05/06

Fachbereich M+I der FH-Offenburg



Dipl.-Math. Bernard Haasdonk

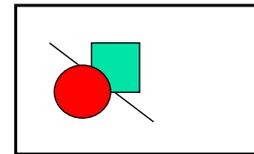
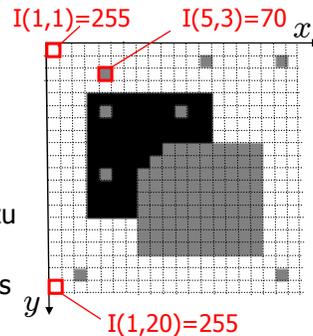
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Ziele der Einheit

- Wie können digitale Bilder **repräsentiert** werden?
- Weshalb ist **Bildkompression** wichtig?
- Was sind die **wichtigsten Prinzipien**, die bei der Bildkompression ausgenutzt werden?
- Wie funktionieren die wichtigsten **Kompressionsverfahren**?
- Was sind die am häufigsten auftretenden **Bilddatei-Formate**, und worin unterscheiden sie sich?

Bildrepräsentationen

- Digitale Bilder: **Rastergrafiken**
 - Bild aus rechteckigen Bildelementen „Picture Elements“ = „Pixels“
 - **Koordinatensystem**: Eindeutige Lokalisation der Pixel durch x- und y-Koordinate beginnend in oberer linker Ecke, y-Koordinate nimmt nach unten zu
 - Pixelwerte $I(x,y)$ kodieren Farben, z.B. 8-Bit Graubild: 0=Schwarz, 255 = Weiss
 - 4-er oder 8-er Nachbarschaft
- Gegenteil dazu: **Vektorgrafiken**
 - Bilder aus geometrischen „Primitiven“, z.B. Kreise, Rechtecke, Linien, Kurven
 - Beliebig Skalierbar
 - Ungeeignet für Fotografien



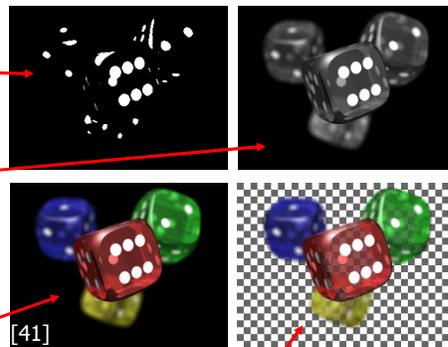
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

3

Pixelarten

- **Binärbild**
 - nur Pixelwerte 0,1
- **Graubild**
 - Pixelwerte von 0 bis zu einem Maximum (z.B. 15, 255, 65535)
- **Farbbild**
 - Jedes Pixel besteht aus drei Werten für rot, grün und blau (RGB), [41] üblicherweise von 0-255 pro Farbe
- **Transparente Farbbilder**
 - Zu den RGB-Komponenten kommt noch eine vierte Zahl, der „Alpha“-Kanal, die die Transparenz der Pixels anzeigt, 0=transparent, 255 = opak (RGBA Pixel), dies ermöglicht „Überlagern“ von verschiedenen Bildern



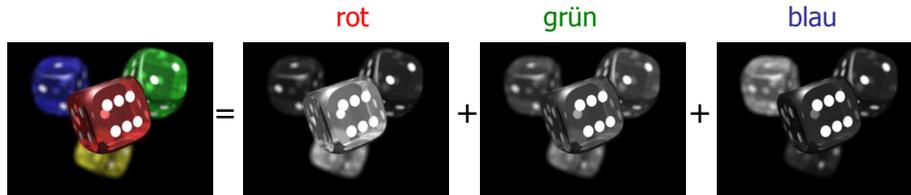
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

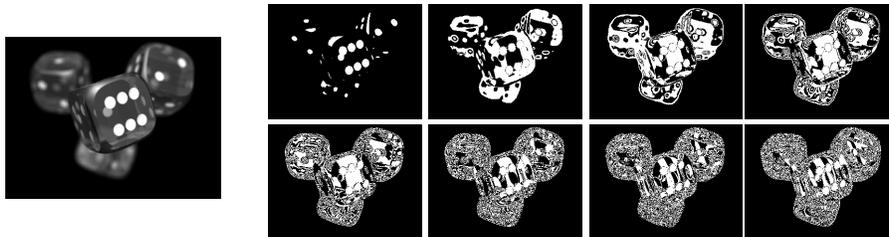
4

Bilderlegungen

- Farbebenen eines Farbbildes:



- Bitebenen eines Grauwertbildes:



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

5

Motivation der Bildkompression

- Speicheranforderung für ein Bild:
 - Höhe x Breite x Bits pro Pixel
 - Z.B. Farbbild 2000 x 2000 x 24 Bits = 12 MB !
- Dies ist Problematisch bei
 - **Speicherkritischen** Anwendungen, z.B. Digitalkamera, die nur beschränkten Speicherplatz für möglichst viele Bilder bietet
 - **Zeitkritischen** Anwendungen: Je größer die Dateien, desto länger dauert die Übertragung, z.B. Download.
- Ziel der Bildkompression
 - Bildinformation möglichst kompakt zu repräsentieren,
 - redundante Information zu eliminieren
 - Möglichst keinen oder nur geringen Informationsverlust zu erzeugen
- Kompressionsrate K:
 - Zahlen-Verhältnis von unkomprimiertem zu komprimiertem Speicherbedarf
- Unterscheidung Daten und Information
 - **Daten** sind alle Bildinhalte, auch unwichtige
 - **Information** sind die für den Mensch relevante Bildinhalte

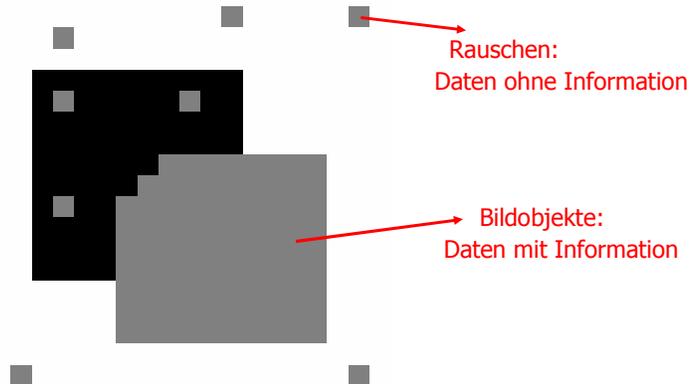
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

6

Motivation der Bildkompression

- Wie kann folgendes Bild beschrieben werden?



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

7

Motivation der Bildkompression

- Beispiel „Sprachliche“ Bild-Kompression:
 - Unkomprimiert: 400 Worte

weiss, weiss, weiss, weiss, weiss, weiss, weiss, weiss, weiss,
weiss, weiss, dunkelgrau, weiss, ..., schwarz, schwarz,
schwarz, schwarz, schwarz..., schwarz, grau, schwarz, ...,
grau, grau, grau, ... weiss.

- Komprimiert (kein Datenverlust):

Hintergrund weiss, Schwarzes Quadrat, graues Quadrat mit
abgeschnittener linker oberer Ecke, acht graue Punkte

- Noch Kompakter (Daten-, kein Informationsverlust):

Hintergrund weiss, Schwarzes Quadrat, graues Quadrat

- Noch kürzer (Daten- und Informationsverlust):

Hintergrund weiss, zwei schwarze Quadrate



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

8

Bildkompressionstechniken

Unterscheidungsmerkmal Informations-Verlust/-Erhalt

- 1. **Verlustfreie** Algorithmen (lossless coding/compression):
 - Das ursprüngliche Bild kann aus dem komprimierten vollständig wiederhergestellt werden: Kein Daten- oder Informationsverlust
 - Realistische Kompressionsraten 2-4
 - Anwendung bei maschinell weiterzuverarbeitende Bildern, wo kleine Ungenauigkeiten später große Fehler ergeben würden
 - Anwendung in präzisen Aufgaben, bei denen Speicherbeschränkungen zweitrangig sind und die Pixel ortsgenaue Größen darstellen, z.B. Messwerte
- 2. **Verlustbehaftete** Algorithmen (lossy coding/compression):
 - Das ursprüngliche Bild kann lediglich approximativ wiederhergestellt werden
 - Realistische Kompressionsraten 10-30
 - Anwendung, wenn eine „Endstufe“ erreicht ist, also keine weitere Verarbeitung mehr notwendig ist, z.B. Bilddarstellung für einen Benutzer
 - Anwendungen, bei denen großen Bilddatenmengen mit Speicher- oder Übertragungsbegrenzung vorliegen, z.B. Webanwendungen/Bildsuchsysteme

22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

9

Bildkompressionstechniken

Unterscheidungsmerkmal Redundanz-Art:

- 1. **Signalkompression**
 - i.a. verlustfrei
 - Redundanz in einzelnen Pixelwerten wird eliminiert, z.B. kann ein Farbbild, welches 3 identische Farb-Ebenen enthält, äquivalent als einzelnes Graubild gespeichert werden
 - Beispiel Huffman-Kodierung
- 2. **Nachbarschaftsbasierte Kompression:**
 - i.a. verlustfrei
 - Ähnlichkeit der Werte in Nachbarschaften wird ausgenutzt
 - Beispiel Lauflängen-Kodierung
- 3. **Wahrnehmungsorientierte Kompression:**
 - i.a. verlustbehaftet
 - Unempfindlichkeit des menschlichen Sehsystems gegenüber bestimmter Informationsreduktion wird ausgenutzt
 - Beispiel Quantisierung

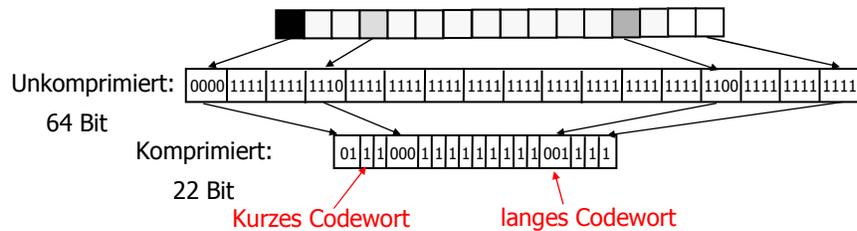
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

10

Huffman-Kodierung

- Bestandteil in vielen Bild- und Videoformaten
 - z.B. JPEG, MPEG, H.261 und H.263
- Idee: Statt den tatsächlichen Pixelwerten wird ein „Bit-Code“ pro Pixel übertragen
- Statt identischer Bitlänge pro Codewort werden **unterschiedlich lange Codes** verwendet
- Häufige Werte** werden durch **kurze Codes**, seltene Werte durch **lange Codes** kodiert.
- Beispiel: Pixelreihe mit 4 Bit pro Pixel, binär dargestellt



22.11.2005

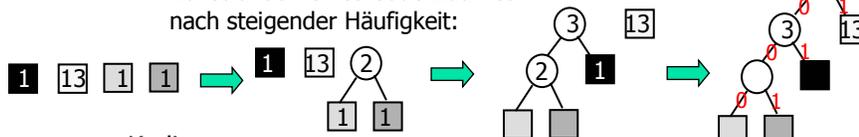
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

11

Huffman-Kodierung

- Ermittlung eines **optimalen Codebooks**

- Konstruktion eines Code-Baumes nach steigender Häufigkeit:



- Kodieren:
 - Code für ein Pixel ist der Pfad von der Wurzel zu dem Blatt, dabei wird links/rechts mit 0/1 codiert, z.B. \blacksquare = 001
- Dekodieren:
 - Bitweise entlanglaufen im Baum bis in einem Blatt angekommen
- Zusätzlich zum Datenstrom ist eine Übertragung des Codebooks notwendig
- Funktioniert, wenn sehr **unterschiedliche Häufigkeiten** vorliegen, ist ein sogenanntes „Entropiebasiertes“ Verfahren
- Funktioniert **unabhängig von der Reihenfolge** der Werte
- Funktioniert nicht, wenn alle Werte gleich häufig auftreten
- Unabhängig von Bilddaten: Genausogut **Audio, Text, Video**, etc.

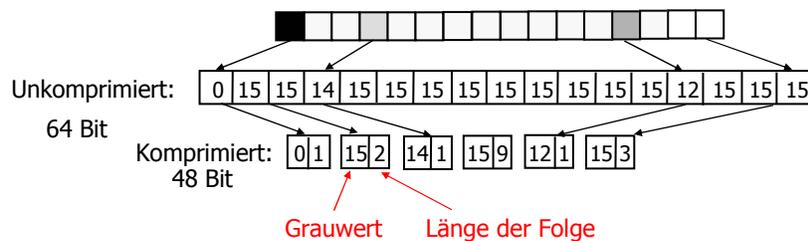
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

12

Laufängen-Kodierung

- Abkürzung **RLE** (Run Length Encoding)
- Auch in vielen Bild/Video-Formaten realisiert
 - z.B. JPEG, MPEG, H.261 und H.263 und Telefax-Protokoll
- Idee:
 - Aufeinanderfolgende identische Pixel werden durch 2 Zahlen beschrieben: **Pixelwert und Länge**
- Wieder Beispiel der Pixelzeile, diesmal dezimal



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

13

Laufängen-Kodierung

- Erweiterung: Bit-Plane Coding:
 - Ein Bild wird z.B. durch Gray Codes so verändert, dass die Bit-Ebenen homogener sind
 - Die Bit-Ebenen des Bildes werden einzeln komprimiert
- Erweiterung: Hybrides Verfahren
 - Problem bei RLE: Einzelne Pixel erfordern doppelten Speicherplatz durch die triviale Angabe der Länge 1
 - Lösung: Einzelne Pixel werden nicht als Wert/Länge kodiert, sondern lediglich ihr Wert übertragen
 - Zur Unterscheidung, ob ein Wert/Länge-Paar oder ein einzelnes Pixel folgt, wird ein zusätzliches Bit pro Informationseinheit vorausgeschickt.
- Funktioniert gut bei **langen identischen Pixelfolgen**, z.B. computergenerierten Bildern, Telefax
- Funktioniert schlecht bei variierenden Pixelwerten, z.B. verrauschten realen Bildern
- Ist **abhängig von der Pixelreihenfolge**
- Ist nicht direkt für reale Bilder, Audio oder Video geeignet, sondern ist meist Teil einer mehr-stufigen Kompressionskette

22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

14

Wahrnehmungsbasierte Kompression

- Umfasst irreversible Operationen
 - Ändern den Bildinhalt, so dass nur ein approximatives Bild entsteht
- Datenverlust heißt nicht unbedingt Informationsverlust!
- Verringerung der **Bildauflösung**: Downsampling
 - Sehr sinnvoll, z.B. Thumbnails bei bildbasierten Web-Anwendungen
- Verringerung der **Intensitätsstufen (Quantisierung)**
 - Motiviert dadurch dass der Mensch viel weniger als die 256 Graustufen in einem Bild unterscheiden kann
 - Motivation liegt ebenfalls in der Rauschentfernung
 - Problem: künstliche Konturen, Machband-Effekt. Eine Lösung: Einfügen von künstlichem Rauschen oder „Dithering“
 - Beispiel: „Lenna“ mit Graustufen: 256, 50, 5, 5+Dithering



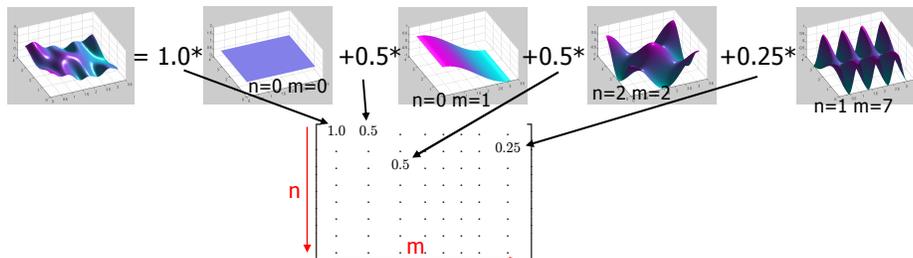
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

15

Wahrnehmungsbasierte Kompression

- Quantisierung im **Frequenzraum**
 - Motivation: Rauschen ist oft sehr hochfrequent, dieses kann entfernt werden, ohne wesentliche Bildinformation zu entfernen.
 - Beispiel Diskrete Kosinus Transformation (DCT)
 - Das Bild wird in Überlagerung von Kosinusschwingungen zerlegt
 - Die „Gewichte“ (Koeffizienten) der einzelnen Kosinusschwingungen ermittelt man durch die DCT und werden in ein Quadratraster eingetragen mit anwachsenden Schwingungszahlen n und m
 - Es wird unterschieden zwischen dem Gleich-Koeffizienten DC und den übrigen Wechselkoeffizienten AC
 - Durch Weglassen der hochfrequenten Anteile erfolgt eine Kompression



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

16

Digitale Bilddateiformate

Es existiert eine Vielzahl von **Bilddateiformaten**:

- Unkomprimiert und (dadurch) verlustfrei
 - BMP, PNM, PGM, PBM, PPM,...
- Komprimiert und verlustfrei:
 - GIF, PNG, JPEG-LS, TIFF, IFF,...
- Komprimiert und (meist) verlustbehaftet:
 - JPEG, JPEG2000,...
- Ausführliche Liste
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_file_formats
- Allgemeine **Dateieigenschaften**:

Bild.JPG2



[51]

22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

17

PPM+PGM+PBM = PNM

- PNM (**portable anymap**) ist ein gemeinsamer Nenner für
 - PPM: portable pixmap, Farbbilder
 - PGM: portable greymap, Graubild
 - PBM: portable bitmap, Binärbild
- Ist besonders einfach und damit gemeinsame Schnittstelle zwischen vielerlei Bildformaten
- Ist **verlustfrei** und **unkomprimiert**
- Das PNM-Dateiformat besteht aus
 - Einer Endung PNM, PPM, PBM, PGM, pnm, ppm, etc.
 - Intern besteht dieses aus
 - einer „Magic Number“
 - einem Header mit allgemeinen Informationen
 - Den Pixeldaten
- Vor allem bei freien Betriebssystemen durch Paket Netpbm unterstützt
 - <http://netpbm.sourceforge.net/>

```
P1 # dies ist ein Binaerbild
10 10 # Die X- und Y-Ausdehnung
# und jetzt kommen die Bilddaten
0 0 0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 0 0 0 0 1 1 0
0 1 0 1 0 0 1 0 1 0
1 1 0 1 0 0 1 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
0 1 1 0 1 1 0 1 1 1
0 1 1 0 0 0 0 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 1 1 0 0 0 0
```



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

18

GIF

- Abkürzung für **Graphics Interchange Format**
- ist ein **verlustfreies komprimiertes** Farbbildformat
- Dateiendungen meist GIF, gif
- Geeignet für
 - Linienzeichnungen, Text in Bildern, scharfe Kanten
 - Bildern mit wenigen Farben
- Schlecht für Photographien
- Sehr weit verbreitet, besonders im Web wegen
 - kleinen Dateigrößen
 - Animationen
 - Transparenz
- Nachteile
 - War seit 1995 problematisch für kommerzielle Produkte durch Lizenzgebühren, Patente laufen jedoch aus
 - Im Prinzip nur 256 Farben



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

19

PNG

- Abkürzung für **Portable Network Graphics**
- Dateiendungen meist PNG, png
- ist ein **verlustfreies komprimiertes** Farbbildformat
 - Verwendet DEFLATE (= LZ77 + Huffman-Kompression)
- PNG wurde als Ersatz für GIF geschaffen
 - mehr als 256 Farben möglich: bis zu 16 Millionen Farben
 - keine Lizenzgebühren notwendig
 - i.a. kleinere Dateien (eventuell erst nach Entfernen von unnötigen Informationsblöcken, sogenannten „Chunks“)
 - Mehr Optionen bezüglich Transparenz verfügbar
- Nachteile
 - Keine Animationen möglich, hierfür kann MNG gewählt werden
 - Unterstützung bei alten Browsern wird nicht garantiert



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

20

JPEG

- JPEG = Joint Photographic Experts Group
 - Zusammengesetzt aus mehreren internationalen Gremien: CCITT und ISO
- Der von dem Konsortium 1992 erlassene Standard für Bilder:
 - A) verlustbehaftetes „sequential baseline system“ basierend auf der DCT
 - B) erweitertes Kodierungssystem: Höhere Kompression, mehrstufiger Bildaufbau
 - C) verlustfreies unabhängiges Kodierungssystem
 Ein System oder Produkt, welches sich „JPEG-Kompatibel“ nennt, muss A) unterstützen.
- Dateiformat:
 - JFIF (JPEG File Interchange Format) der „Independent JPEG Group“
 - Spezifiziert, wie JPEG-Bilddaten-Ströme in Dateien gepackt werden können
 - Endung der Dateien sind .jpeg, .jfif, .jpg, .JPG, oder .JPE

22.11.2005

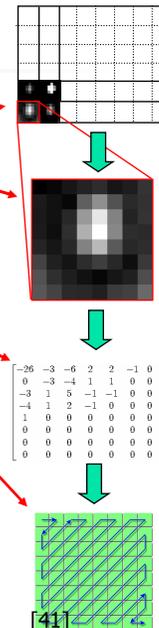
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

21

JPEG

Stufen der JPG-Kodierung mit A):

- Bild wird in 8x8 Pixel Blöcke zerlegt
- Grauwertbereich wird verschoben z.B. von -128 bis 127
- Diskrete Kosinus-Transformation pro Block wird durchgeführt (Verlust durch Quantisierung im Frequenzraum!)
- Die Werte werden nach bestimmten Normalisierungstabellen skaliert und gerundet (Verlust durch Runden!)
- Die AC-Koeffizienten eines Blocks werden im Zickzack-Muster aneinandergereiht, hierdurch entstehen lange Folgen von 0.
- Die AC-Sequenzen werden mit einem Ersetzungscode beschrieben: Jeder nicht-Null Koeffizient mit der Länge der vorangehenden Nullen hat einen eigenen Code.
- Die DC-Koeffizienten aller Blöcke werden durch Differenzen zu ihrem Vorgänger gespeichert



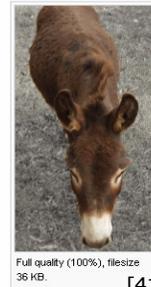
22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

22

JPEG

- Erweiterung für Farbbilder
 - Farbraumtransformation
 - + „sequential baseline system“ pro Farbkanal
- Vorteil:
 - Hohe Kompressionsraten, weite Verbreitung, gute Eignung für Fotos
- Nachteil:
 - Verlustbehaftet durch Quantisierung der DCT-Koeffizienten und dem Runden
 - Artefakte bei hohen Kompressionsraten, die Block-Struktur wird deutlich sichtbar



[41]

22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

23

JPEG2000

- Sowohl **verlustbehaftete** als auch **verlustfreie** Kompression
- Datei-Endungen JP2, J2C
- Erweiterung gegenüber JPEG:
 - Statt DCT wird die Wavelet-Transformation eingesetzt
 - Es findet keine Blockzerlegung statt, daher auch keine Blockartefakte, stattdessen weichere Bildverläufe
 - "Regions of Interest" können mit höherer Präzision gespeichert werden
 - Es sind höhere Kompressionsraten möglich
- Nachteile:
 - Stärkere Hardware-Voraussetzungen
 - Viele Patente und Lizenzgebühren auf Algorithmen
- Beispiel:
 - Blockstruktur bei JPEG (rechts) hingegen weiche Übergänge bei JPEG2000 (links)
 - Vergleich: <http://www.imagepower.com/technology/jpeg2000/compare/>



22.11.2005

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 05/06

24

Zusammenfassung

- **Bildkompression:**
 - Es existieren Kompressionsverfahren mit Daten-Erhalt oder Daten-Verlust
 - Verfahren unterscheiden sich in der Redundanz-Art, die sie ausnutzen: Signalredundanz, Umgebungsredundanz, Wahrnehmungsbasierte Redundanz
 - Beispiele für Kompressionsverfahren sind die Huffman-Codierung, die Lauflängen-Codierung oder Quantisierung
- **Bildformate:**
 - Es gibt unkomprimierte und komprimierte verlustfreie und verlustbehaftete Bilddateiformate, die u.a. die genannten Kompressionsmethoden anwenden
 - Für technische Zeichnungen, computergenerierten Bildern mit scharfen Kanten sind das verlustfreie GIF und die neuere Alternative PNG geeignet.
 - Für Photographien mit weichen Kanten und hohen Kompressionsraten sind die (meist) verlustbehafteten Formate JPEG und das aufkommende JPEG2000 geeignet.

Weiterführende Referenzen

- R.C. Gonzalez, W.E. Woods, „Digital Image Processing“, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- K. D. Tönnies, „Digitale Bildverarbeitung“, Pearson Studium, 2005
- A. Teynor. „Image Retrieval in the Compressed Domain Using JPEG2000“. Diplomarbeit, Fachhochschule Augsburg, Fachbereich Informatik, 2003.
- D. S. Taubmann and M. W. Marcellin. JPEG2000 – Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. Kluwer Academic publishers, 2002.
- JPEG-Consortium Website: <http://www.jpeg.org/>
- JPEG-Tutorial der EPF Lausanne: http://jj2000.epfl.ch/jj_tutorials/index.html
- Independent JPEG Group: <http://www.ijg.org/>
- JPEG File Interchange Format <http://www.digicamsoft.com/jfif3/jfif3-1.html>
- JPEG2000, the official standard, kostenpflichtig: <http://www.iso.ch/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=37674&ICS1=35&ICS2=40&ICS3=&showrevision=y&scopelist=CATALOGUE>

Aufgaben

- 1. RLE Kompression
 - Gegeben ist das Bild von Folie 4 mit 8 Bits pro Pixeln Auflösung.
 - a) Wie groß ist der Speicherbedarf der unkomprimierten Bilddaten?
 - b) Wir fassen das Bild als eine lange Pixelzeile auf, indem aufeinanderfolgende Zeilen aneinander gehängt werden. Komprimieren Sie diese Pixelzeile mit RLE.
 - c) Wie hoch ist die erreichte Kompressionsrate K ?
- 2. ImageJ:
 - a) Bestimmen Sie die Ausgabeformate von ImageJ
 - b) Speichern Sie ein Farbbild in allen verschiedenen Bildformaten ab
 - c) Beurteilen und vergleichen Sie die anschließende Bildqualität und Dateigrößen: lossy, lossless?
- 3. Welche der drei Kompressionsarten ist jeweils für ein 8-Bit Graubild möglich:
 - a) Das Bild ist sehr dunkel, es treten nur Grauwerte von 0-63 auf.
 - b) Alle 256 Grautöne kommen gleich häufig vor, jeweils in rechteckigen Blöcken.
 - c) Alle 256 Graustufen kommen im Bild vor, jedoch unterschiedlich häufig
- 4. PNM mit Texteditor
 - Erzeugen Sie mit einem Texteditor ein PNM-File und öffnen Sie es mit ImageJ.
 - Fügen Sie nach den X-Y-Dimensionen eine Zeile mit der Zahl „1“ ein. Ändern Sie die „Magic Number“ in P2 bzw. P3 und bestimmen Sie die Auswirkung der Darstellung in ImageJ.
 - Ändern Sie die eingefügte Zahl 1 in 5 und wiederholen Sie die P2/P3-Variation. Welche Rolle spielen also diese Zahl und die Kennungen P2 und P3?

Bild-Referenzen

Die Bilder wurden selbst erstellt oder stammen aus den angegebenen bzw. folgenden Quellen (identische bzw. fortgesetzte Nummerierung wie im Skript):

- [41] Wikipedia
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/JPEG>
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/PNG>
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/GIF>
- [50] Aleks Jakulin, Baseline JPEG and JPEG2000 Artifacts Illustrated, <http://ai.fri.uni-lj.si/~aleks/jpeg/artifacts.htm>
- [51] A. Teynor. „Image Retrieval in the Compressed Domain Using JPEG2000“. Diplomarbeit, Fachhochschule Augsburg, Fachbereich Informatik, 2003