

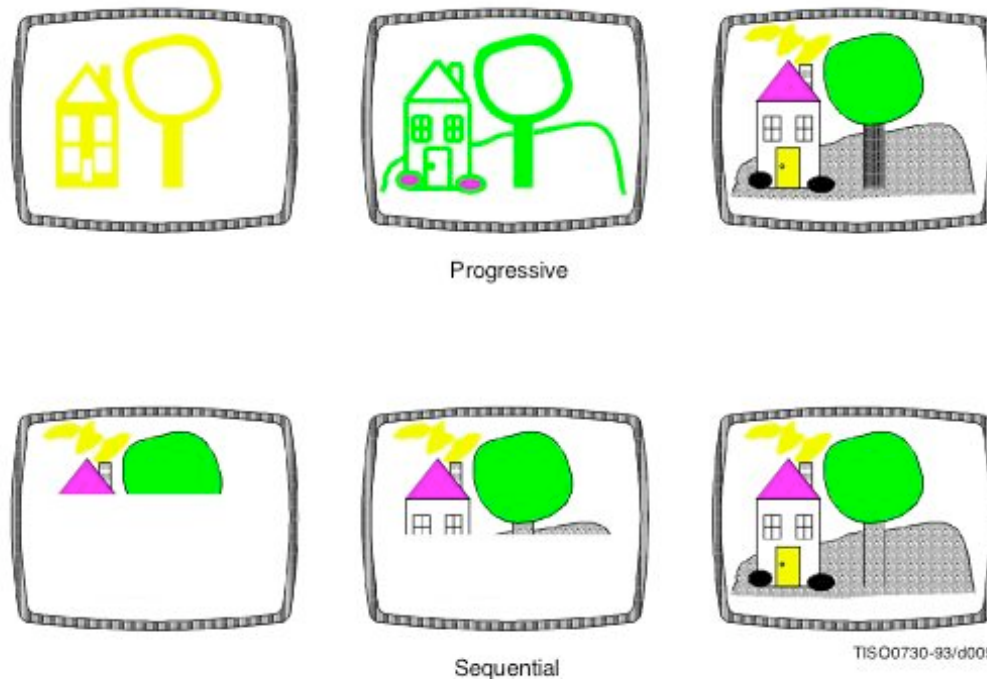
6. Licht, Farbe und Bilder

- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression
 - Progressives und hierarchisches JPEG
 - Wavelet-basierte Verfahren (verlustbehaftet)
 - Prädiktionsbasierte Verfahren (verlustfrei)
 - JPEG-basierte Bewegtbilder



Progressives JPEG

- Ein Durchlauf (*scan*) durch die JPEG-Daten kann Verschiedenes bewirken:
 - Ausgabe einer Komponente des Bildes
 - Ausgabe einer unscharfen Vorversion des Bildes
- *Progressive Coding* verbessert die Bildqualität in aufeinander folgenden *scans*.



Progressive Kodierung durch Spektralselektion

- 8x8-Block von DCT-Koeffizienten
 - Zick-Zack-Reihenfolge geht von niedrigen Frequenzen (wenig Detail) zu hohen Frequenzen (viel Detail).
- *Band*: Teilintervall der Bildfrequenzen
 - als Intervall der DCT-Koeffizienten
- Je Band ein separater *scan*
 - Bandgrenzen im *scan header* angegeben

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 5 | 6 | 14 | 15 | 27 | 28 |
| 2 | 4 | 7 | 13 | 16 | 26 | 29 | 42 |
| 3 | 8 | 12 | 17 | 25 | 30 | 41 | 43 |
| 9 | 11 | 18 | 24 | 31 | 40 | 44 | 53 |
| 10 | 19 | 23 | 32 | 39 | 45 | 52 | 54 |
| 20 | 22 | 33 | 38 | 46 | 51 | 55 | 60 |
| 21 | 34 | 37 | 47 | 50 | 56 | 59 | 61 |
| 35 | 36 | 48 | 49 | 57 | 58 | 62 | 63 |

Beispiel: 5 Bänder (d.h. 5 *scans*)

Band 1: DCT-Koeffizient 0 (DC)

Band 2: DCT-Koeffizienten 1 – 2

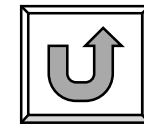
Band 3: DCT-Koeffizienten 3 – 14

Band 4: DCT-Koeffizienten 15 – 42

Band 5: DCT-Koeffizienten 43 – 63

Progressive Kodierung durch Bit Plane Approximation

- Koeffizienten werden zunächst mit geringerer Präzision übertragen
 - Division mit Zweierpotenz bzw. Rechts-Shift (*point transform*)
 - Definition der verwendeten Transformation im *scan header*
- Fehlende Bits werden in weiteren *scans* nachgeliefert



| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 5 | 6 | 14 | 15 | 27 | 28 |
| 2 | 4 | 7 | 13 | 16 | 26 | 29 | 42 |
| 3 | 8 | 12 | 17 | 25 | 30 | 41 | 43 |
| 9 | 11 | 18 | 24 | 31 | 40 | 44 | 53 |
| 10 | 19 | 23 | 32 | 39 | 45 | 52 | 54 |
| 20 | 22 | 33 | 38 | 46 | 51 | 55 | 60 |
| 21 | 34 | 37 | 47 | 50 | 56 | 59 | 61 |
| 35 | 36 | 48 | 49 | 57 | 58 | 62 | 63 |

Beispiel: 6 *scans*

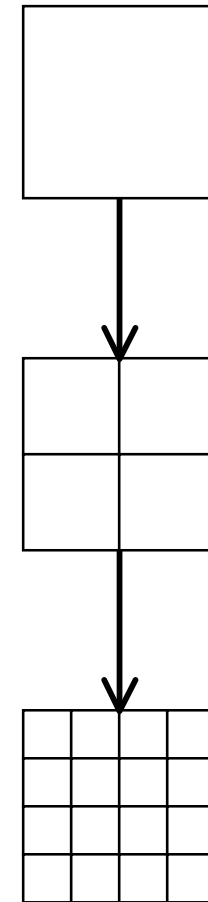
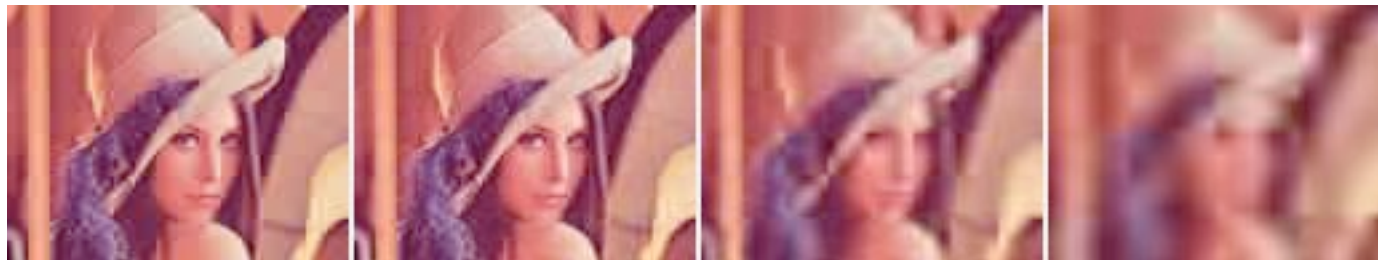
- Scan 1: DCT-Koeffizient 0 (DC)
- Scan 2: Bits 4 – 7 der DCT-Koeffizienten 1 – 63 (d.h. der AC-Koeffizienten)
- Scan 3: Bit 3 der AC-Koeffizienten
- Scan 4: Bit 2 der AC-Koeffizienten
- Scan 5: Bit 1 der AC-Koeffizienten
- Scan 6: Bit 0 der AC-Koeffizienten

Progressive JPEG-Varianten


- Einfachste Variante:
 - Ausschließlich Spektralselektion
 - Relativ schlechte Bildqualität in den Zwischenstufen
 - Endqualität und Kompression gleichwertig zu sequentieller Codierung
- Flexiblere Variante:
 - Spektralselektion und sukzessive Approximation
 - Je Band der Spektralselektion:
 - » mehrere Scans mit bitweiser Verfeinerung der Auflösung
 - Bessere Bildqualität in Zwischenstufen
 - Endqualität und Kompression gleichwertig zu sequentieller Codierung
- Praktische Bedeutung:
 - Progressive JPEG nimmt an Bedeutung zu
 - Unterstützung in Software derzeit nur in neuesten Versionen:
 - » Import/Anzeige z.B. in Programmen zur Fotoarchivierung
 - » Export von Progressive JPEG in Bildbearbeitungsprogrammen

Hierarchisches JPEG

- Bild wird zunächst in grober und dann schrittweise in verbesserter räumlicher Auflösung übertragen
 - Darstellung durch *upsampling* (Bildfrequenzverdopplung) mit Interpolation von Zwischenwerten
 - Anwendbar auf Bilddaten oder DCT-Koeffizienten
- Bild besteht aus *frames* (kompletten Teilbildern, jeweils u.U. mehrere *scans*)
- Erster *frame*: Normal sequentiell codiert
- Weitere *frames*: Differentiell codiert
 - Differenz zu vorhergehendem Bild
- Evtl. Abschlussframe mit verlustfrei codiertem Bild



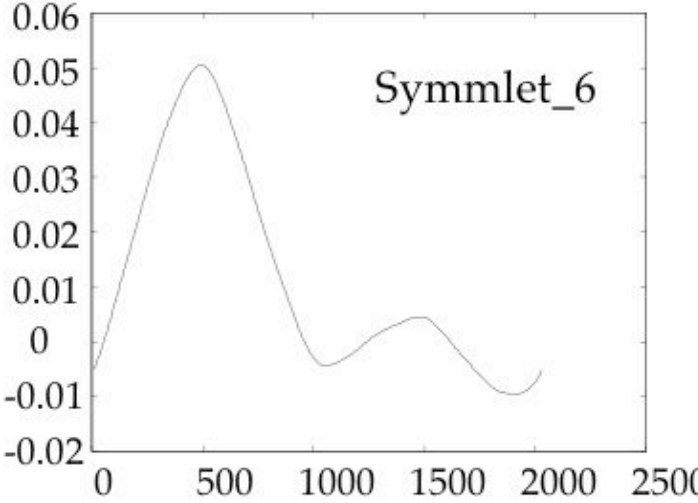
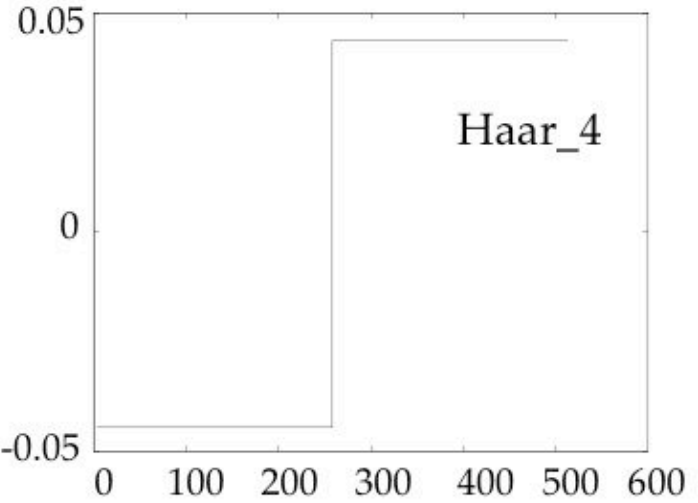
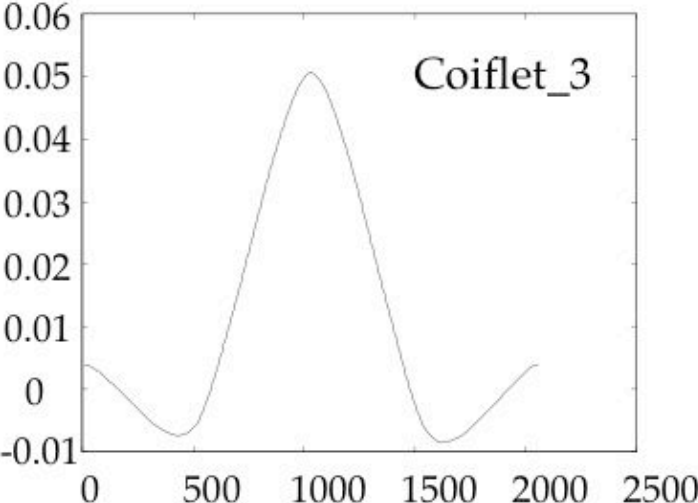
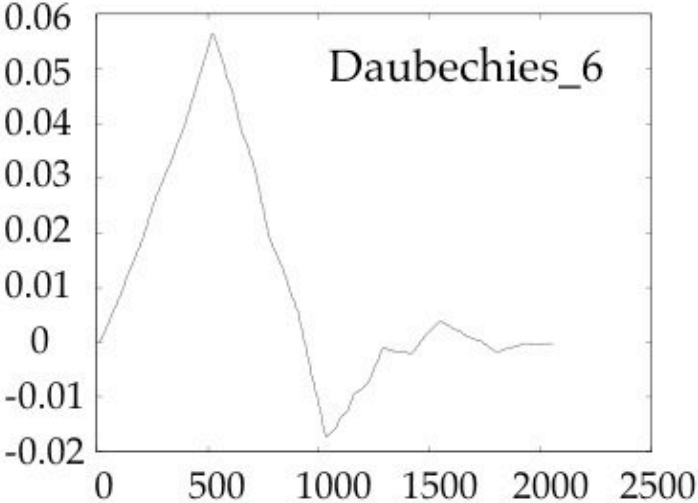
6. Licht, Farbe und Bilder

- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression
 - Progressives und hierarchisches JPEG
 - Wavelet-basierte Verfahren (verlustbehaftet) 
 - Prädiktionsbasierte Verfahren (verlustfrei)
 - JPEG-basierte Bewegtbilder

Wavelets

- Wavelets sind spezielle mathematische Funktionen, die sich als „Basis“ zur Erzeugung beliebiger Wellenformen besonders gut eignen.
 - „kompakte Unterstützung“, d.h. null außerhalb eines endlichen Intervalls
 - unendlich oft differenzierbar
 - orthonormale Basis
- Ermöglichen Zeit- bzw. Ortsanalyse *und* Frequenzanalyse
- Historische Perspektive:
 - Erste Ideen ca. um 1900 (Haar)
 - Grosse Entwicklungssprünge ab 1960, insbesondere in den 80ern (Mallat, Daubechies)
 - Anwendungen in verschiedenen Disziplinen:
Beispiele: Fingerabdruckerkennung, Analyse von Turbulenzen, Erdbebenvorhersage ... und Bildkompression

Beispiele von Wavelets



Frequenz- und Zeit/Ortanalyse

- Klassische Transformation in den Frequenzraum (Fourier, DCT):
 - Sinus- und Cosinus-Funktionen wiederholen sich periodisch
 - Fourier-Transformation arbeitet sogar mit periodischer Fortsetzung nicht-periodischer Funktionen
 - Analyse bezieht sich immer auf die gesamte Zeitachse (z.B. bei Ton) bzw. gesamte Ortsachse (bei Bild)
- Gleichzeitige präzise Auflösung in der Zeit/Ortachse und in der Frequenz nicht erreichbar
 - Abhilfe z.B. bei JPEG und MP3: Einteilung in kleine Blöcke/Zeitfenster
 - Probleme bei Blockgrenzen und bei Diskontinuitäten
- Wavelets:
 - erlauben eine Mischung aus langen Wavelet-Funktionen für Frequenzanalyse und kurzen, hochfrequenten Wavelet-Funktionen für Zeit/Ortanalyse

Grundprinzip der Wavelet-Analyse

- Bild wird zerlegt in
 - Tiefe Frequenzanteile (Tiefpass)
 - Hohe Frequenzanteile (Hochpass) = Details
- Zeilen- und spaltenweise Analyse mit Filtern
 - Vier Bilder:
(TP-hor + TP-vert, HP-hor + TP-vert, TP-hor + HP-vert, HP-hor + HP vert)
- Subsampling: Jeder zweite Koeffizient verworfen in Zeilen und Spalten
- Rekursive Fortsetzung mit dem Teilbild “TP-hor + TP-vert”
(= Tiefpass-gefiltertes Bild)
- Verlustfreie Transformation!



Kompression bei Wavelet-Transformation

- Die hohen Frequenz-Koeffizienten können quantisiert (gerundet) werden
 - Basis der Darstellung ist das niederfrequent gefilterte Bild
- Flexibler Kompressionsgrad
 - Mehr hohe Frequenzen quantisiert: Bild beruht auf stärkerer Tiefpass-Filterung, also schlechtere Qualität
 - Verschiedene Kompressionsraten aus einer Basisinformation
- Kompression führt kaum zu Block-Artefakten



Beispiel für Tiefpass und Hochpass

- (Nach Heyna/Briede/Schmidt)
- Haar-Transformation:
 - $TP(n) = 0.5 (x(n) + x(n+1))$
 - $HP(n) = 0.5 (x(n) - x(n+1))$

| | x(0) | x(1) | x(2) | x(3) | x(4) |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Original-Pixelwerte | 26 | 8 | 17 | 3 | 5 |
| TP-Koeffizienten | 17 | 12.5 | 10 | 8 | |
| HP-Koeffizienten | 9 | -4.5 | 7 | -1 | |
| Subsampling TP-Koeff. | 17 | | 10 | | |
| Subsampling HP-Koeff. | 9 | | 7 | | |

Rekonstruktion:

$$x(0) = TP(0) + HP(0) = 17 + 9 = 26$$

$$x(1) = TP(0) - HP(0) = 17 - 9 = 8 \text{ usw.}$$

JPEG2000

- März 1997
 - Start der Entwicklung eines verbesserten Standards für Bildkompression „JPEG 2000“ („j2k“)
 - Bessere verlustbehaftete Kompression als JPEG (mit Wavelets)
 - Leistungsfähige verlustfreie Kompression als Option
 - In Auflösung und Präzision lokal skalierbare Bilder
 - Wahlfreier Zugriff auf Bildteile in höherer Auflösung
 - Einbeziehung von Schwarz/weiss-Bildern
- Final Draft International Standard August 2000
 - Draft ISO 15444-1 und ITU Rec. T.800
 - Entwicklung seit 2000 nur noch sehr langsam
 - Praktischer Einsatz z.B. im medizinischen Bereich, im neuen Reisepass
- Grundarchitektur wie bei JPEG:
 - Forwärtstransformation (Discrete Wavelet Transform DWT)
 - Quantisierung (oder verlustfrei)
 - Entropiecodierung (hier mit arithmetischer Codierung)

Qualitätsunterschied JPEG – JPEG2000

AWARE's JPEG2000 SDK DEMO
JPEG vs JPEG 2000 Comparison

JPEG
PSNR =
24.9



JPEG 2000
PSNR =
28.7



20:1 40:1 60:1 80:1 100:1
Compression Ratio (click to select)

Quelle: www.aware.com

Größenskalierung



11 kB (100%) of compressed file used.
Compression Ratio: 20:1

- 1/16
- 1/8
- 1/4
- 1/2
- full

Resolution Level (click to select)



1.2 kB (11%) of compressed file used.
Compression Ratio: 178:1

- 1/16
- 1/8
- 1/4
- 1/2
- full

Resolution Level

Qualitätsskalierung



7.1 kB (2.5 %) of compressed file used.
Compression Ratio: 100:1



Quality Level



276 kB (100%) of compressed file used.
Compression Ratio: 2.6:1
LOSSLESS



Quality Level (click to select)



Farbtiefenskalierung



9.6 kB (58%) of compressed file used.

Compression Ratio: 50:1



Color Components



16.5 kB (100%) of compressed file used.

Compression Ratio: 30:1



Color Components

Region-of-Interest (ROI) Coding in JPEG2000

- Bestimmte (beliebig geformte) Regionen des Bildes oft „interessanter“ als der Hintergrund (*region of interest ROI*)
- ROI kann mit besserer Qualität codiert werden als der Hintergrund
- Sogenannter „MAXSHIFT“-Algorithmus platziert die ROI an einer Stelle (höhere *bitplane*), wo sie zeitlich *vor* dem Hintergrund decodiert wird

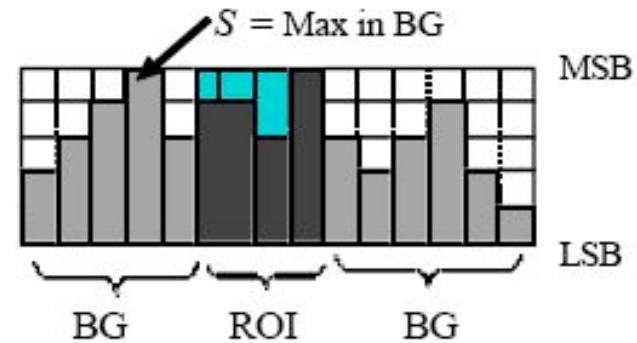


MAXSHIFT-Algorithmus

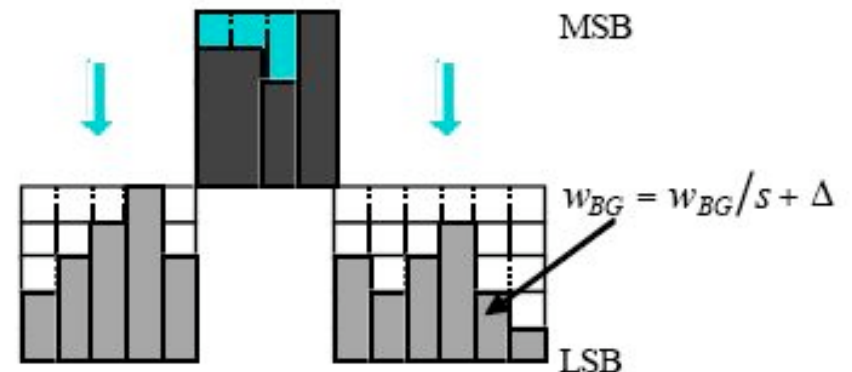
- Beim Codieren wird die Region of Interest (ROI) definiert
 - Ausserhalb der ROI = Hintergrund (BG)
- Maximale Bittiefe s der Koeffizienten im Hintergrund wird bestimmt
- Werte im Hintergrund werden durch $s+\Delta$ geteilt (werden kleiner als 1)
- Decoder erkennt ROI-Grenze einfach (< 1 ?)
- Bitplane-Approximation decodiert ROI automatisch zuerst

Bitplane Appr.

No Scaling




Maxshift Scaling



Quelle: [Bradley/Stentiford](#)

6. Licht, Farbe und Bilder

- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression
 - Progressives und hierarchisches JPEG
 - Wavelet-basierte Verfahren (verlustbehaftet)
 - Prädiktionsbasierte Verfahren (verlustfrei) 
 - JPEG-basierte Bewegtbilder

„Lossless Mode of Operation“ in JPEG

- JPEG-Standard enthält Definition einer verlustfreien Codierung
 - (in Annex H)
 - Im Dateiformat kompatibel zu verlustbehaftetem JPEG
 - Keine Verwendung von DCT
 - Keine Quantisierung
 - Keine Verwendung von 8 x 8 - Blöcken (*data unit = 1 sample*)
 - Basiert auf prädiktiver Kodierung + Huffman-Kompression
 - „Prädiktoren“ wählbar (siehe nächste Folie)
- Praktische Bedeutung: nahezu keine
 - da bessere verlustfrei komprimierende Verfahren existieren, z.B. PNG, LOCO-I, JPEG-LS
- Aber: gut zum Verständnis der neueren Verfahren

Prädiktoren für JPEG (Lossless Operation Mode)

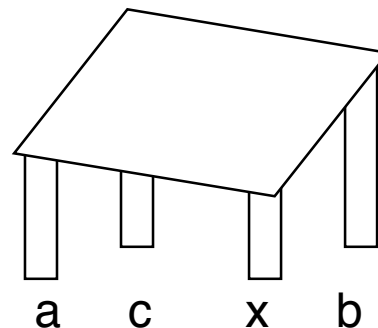
| | | | |
|--|---|---|--|
| | | | |
| | c | b | |
| | a | x | |
| | | | |

- Prädiktor = Formel zur Berechnung des x-Wertes aus dem Kontext (hier Werte für a, b, c)
 - Prädizierter Wert P_x und tatsächlicher Wert R_x
 - Übertragen werden: Prädiktor-Regel und Differenzen $P_x - R_x$
 - Je besser P_x mit R_x übereinstimmt, desto häufiger treten Null und sehr niedrige Differenzen auf: Gute Kompression mit Entropiecodierung möglich
- Eindimensionale Prädiktoren:
 - $P_x = R_a$, $P_x = R_b$, $P_x = R_c$
- Zweidimensionale Prädiktoren:
 - $P_x = (R_a + R_b)/2$
 - $P_x = R_a + (R_b - R_c)/2$
 - $P_x = R_b + (R_a - R_c)/2$
 - $P_x = R_a + R_b - R_c$ ("Paeth-Prädiktor")

Paeth-Prediktor

- Den Prädiktor $a+b-c$ kann man sich am einfachsten algebraisch erklären:
- Seien $R_a = f(x_1, y_1)$, $R_b = f(x_2, y_2)$, $R_c = f(x_1, y_2)$, $R_x = f(x_2, y_1)$.
- Sei f linear in x und y , d.h. $f(x, y) = Ax + By$.
- $R_a + R_b - R_c = Ax_1 + By_1 + Ax_2 + By_2 - Ax_1 - By_2 = Ax_2 + By_1 = R_x$

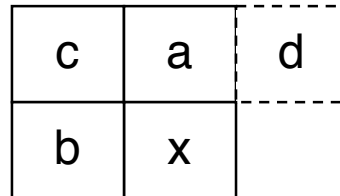
| | | | |
|--|---|---|--|
| | | | |
| | c | b | |
| | a | x | |
| | | | |



JPEG-LS

- 1998:
 - Final *Draft* International Standard ISO 14495-1 / ITU Rec. T.87
- Verlustfreie und fast verlustfreie Kompression von Standbildern
 - Hohe Kompressionsrate, geringe Komplexität
 - Unabhängig vom JPEG-Standard
- Basiert auf „LOCO-I“ (Low Complexity Image Compression)
 - HP Labs: M. Weinberger, G. Seroussi, G. Sapiro
 - Bessere Einbeziehung des Kontextes in Prädiktion
 - Einfache Kantenentdeckung möglich
 - Entropie-Codierung: Adaptive Variante der Golomb-Rice-Kodierung
- Frühere Algorithmen: entweder wesentlich komplexer oder benutzten arithmetische Entropie-Kompression.
- Derzeit noch kaum im praktischen Einsatz

Prädiktionsmodell von JPEG-LS

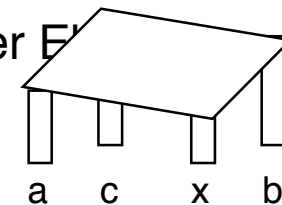


| | | | |
|---|---|---|---------|
| 5 | 1 | 1 | |
| 4 | 4 | x | (x = 1) |
| 2 | 2 | 1 | |
| 5 | 6 | x | (x = 6) |
| 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 2 | x | (x = 3) |

- $P_x = \min(R_a, R_b)$ falls $R_c \geq \max(R_a, R_b)$
- $P_x = \max(R_a, R_b)$ falls $R_c \leq \min(R_a, R_b)$
- $P_x = R_a + R_b - R_c$ sonst
- Wert von d für „Kontexterkenkung“ benutzt

- Einfache Kantenerkennung (*median edge detector*):

- Vertikale Kante links von x: führt (oft) zur Wahl von $P_x = R_a$
- Horizontale Kante oberhalb von x: führt (oft) zur Wahl von $P_x = R_b$
- Keine Kante erkannt: P_x entsprechend einer Filterfunktion durch R_a, R_b, R_c



Verwendung von Kontextinformation

| | | |
|---|---|---|
| c | a | d |
| b | x | |

- Kontextbestimmung
 - $g1 = R_d - R_b$, $g2 = R_b - R_c$, $g3 = R_c - R_a$
 - Einteilung in 365 verschiedene Kontextsituationen
- Adaptive Korrektur der Prädiktion:
 - Je Kontext:
 - » Zahl der Kontextvorkommen mitrechnen
 - » Bisherige Vorhersagefehler kumulieren
 - Prädiktionwert um bisherigen durchschnittlichen Vorhersagefehler korrigieren
- Kontextinformation auch benutzt zur Wahl des Code-Typs in spezieller Entropiecodierung

Golomb-Rice Codierung


- Grundidee: Entropie-Codierung für (Ganz-)Zahlwerte mit geometrischer Häufigkeitsverteilung
 - Niedrige Werte häufiger und deshalb kürzer codiert
 - Trifft bei den Restwerten (Residuen) von Prädiktion meist zu
- Golomb-Codierung (Solomon Golomb, 60er Jahre):
 - Bestimme Quotient q und Rest r zu einem festen Divisor M
 - Codiere q als Unärzahl, r als abgeschnittene Binärzahl
- Golomb-Rice-Codierung:
 - Divisor M ist Zweierpotenz
- Praktischer Algorithmus (Golomb-Rice-Codierung der Ordnung k):
 - Teile n durch 2^k , Quotient ist q , Rest ist r
 - Bilde Codewort aus: (q -mal **0**), (1-mal **L**), k letzte Bits der Binärform von n
- Beispiel ($k = 2$):
 - $n = 3$: $q = 0$, $r = 3$, Code ist **LLL**
 - $n = 13$: $q = 3$, $r = 1$, Code ist **000L0L**

Kompressionsraten im Vergleich

- Speicherbedarf in bits/pixel (Durchschnitt aller Farbebenen)
- Auf der Basis einer Testmenge von 17 Bildern
 - JPEG-LS: 3.19
 - Original LOCO-I: 3.18
 - Lossless JPEG, Huffman-codiert: 4.08
 - Lossless JPEG, arithmetisch codiert: 3.40
 - Bester bekannter Algorithmus (CALIC): 3.05

 - CALIC ist wesentlich komplexer und verwendet arithmetische Codierung.

6. Licht, Farbe und Bilder

- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression
 - Progressives und hierarchisches JPEG
 - Wavelet-basierte Verfahren (verlustbehaftet)
 - Prädiktionsbasierte Verfahren (verlustfrei)
 - JPEG-basierte Bewegtbilder 

Motion JPEG

- M-JPEG oder „Motion JPEG“
- Einfacher „Standard“ für Bewegtbilder
 - Folge von JPEG-Bildern
 - Sehr einfach für Filmschnitt
 - Z.B. für Filmclips auf Fotokameras
- Aber:
 - *nicht* standardisiert
 - Begriff wird von Herstellern verwendet, Format aber proprietär
- JPEG2000
 - „offizielle“ Motion-Erweiterung „Motion JPEG2000“ (MJ2, MJP2)
 - Teil 3 des JPEG2000-Standards