

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)

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

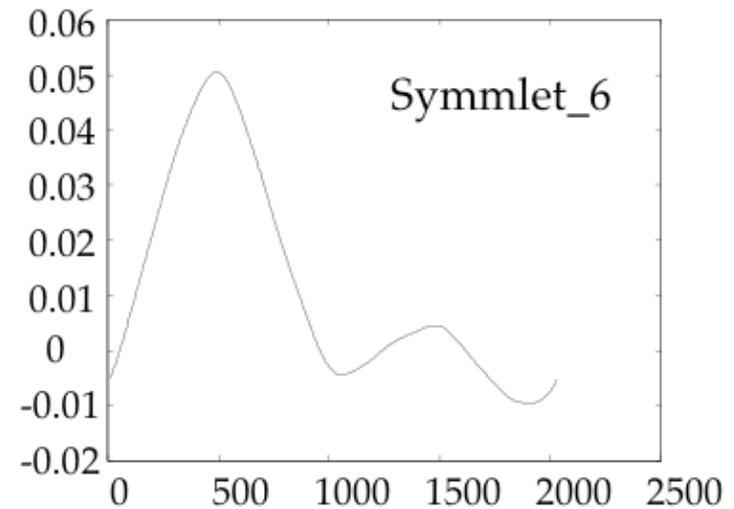
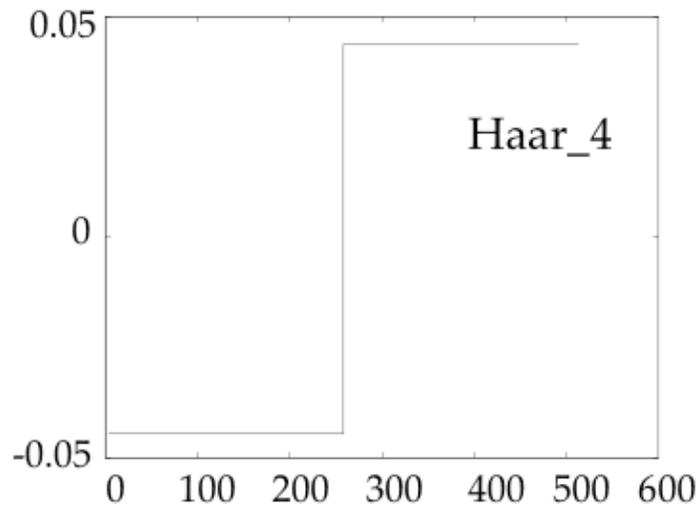
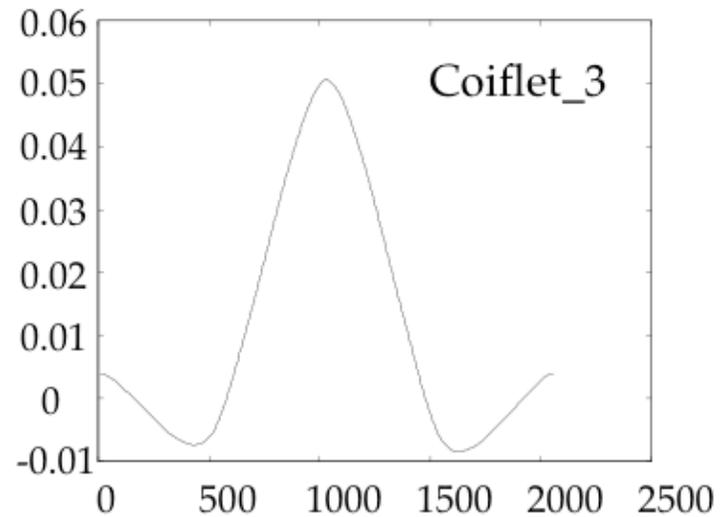
6. Licht, Farbe und Bilder

- 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)

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	4	
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

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



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) 

Prädiktoren für JPEG (Lossless Operation Mode)

	c	b	
	a	x	

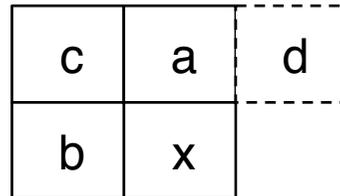
- Prädiktor = Formel zur Berechnung des x-Wertes aus dem Kontext (hier Werte für a, b, c)
 - Prädizierter Wert P_x und tatsächlicher Wert R_x
 - Übertragen werden: Prädiktor-Regel und Differenzen $P_x - R_x$
 - Je besser P_x mit R_x übereinstimmt, desto häufiger treten Null und sehr niedrige Differenzen 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")

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

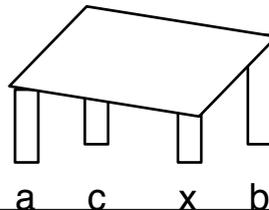


5	1	1	
4	4	x	(x = 1)
2	2	1	
5	6	x	(x = 6)
3	4	5	
1	2	x	(x = 3)

- $P_x = \min(R_a, R_b)$ 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 Ebene 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
 - Prädiktionswert 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**