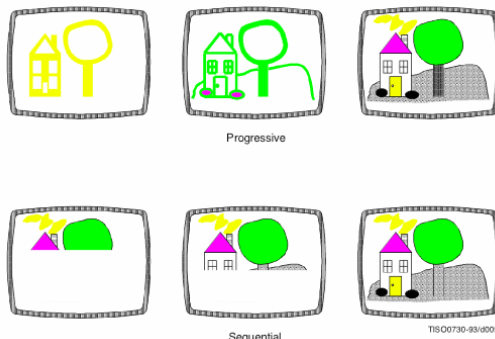


5. Licht, Farbe und Bilder

- 5.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Farbmodelle
- 5.3 Raster-Bilddatenformate
- 5.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
 - JPEG
 - Progressives und hierarchisches JPEG ←
- 5.5 Weiterentwicklungen bei verlustbehafteter Bildkompression:
 - Wavelets
 - JPEG-basierte Bewegtbilder
- 5.6 Verlustfreie Bildkompression mit Prädiktion

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 aufeinanderfolgenden *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 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*

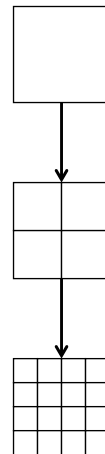
Scan 1: DCT-Koeffizient 0 (DC)
Scan 2: Bits 4 – 7 der DCT-Koeffizienten 1 – 63 (d.h. der AC-Koeffizienten)
Scan 3: Bit 3 der AC-Koeffizienten
Scan 4: Bit 2 der AC-Koeffizienten
Scan 5: Bit 1 der AC-Koeffizienten
Scan 6: Bit 0 der AC-Koeffizienten

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 ist noch wenig verbreitet
 - Beginnt an Bedeutung zuzunehmen (Unterstützung in Software)

Hierarchisches JPEG

- Bild wird in zunächst grober und dann schrittweise 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*: Differenziell codiert
 - Differenz zu vorhergehendem Bild
- Möglichkeit eines Abschlussframes mit verlustfrei codiertem Bild
- Praktische Bedeutung: Nahezu keine (wegen der hohen Zusatzkomplexität)



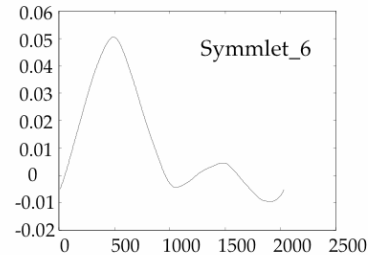
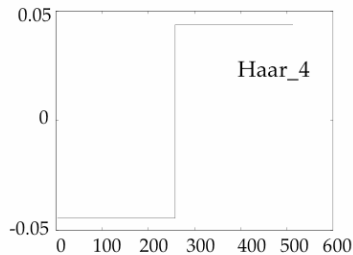
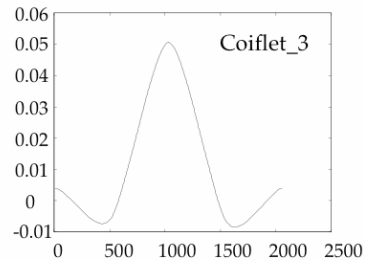
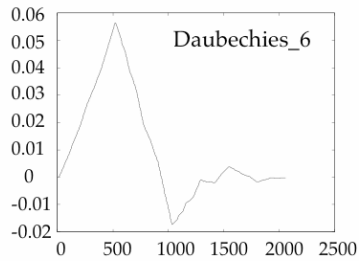
5. Licht, Farbe und Bilder

- 5.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Farbmodelle
- 5.3 Raster-Bilddatenformate
- 5.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
 - JPEG
 - Progressives und hierarchisches JPEG
- 5.5 Weiterentwicklungen bei verlustbehafteter Bildkompression:
 - Wavelets 
 - JPEG-basierte Bewegtbilder
- 5.6 Verlustfreie Bildkompression mit Prädiktion

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 verschiedensten Disziplinen:
Beispiele: Fingerabdruckerkennung, Analyse von Turbulenzen, Erdbebenvorhersage ... und Bildkompression

Beispiele von Wavelets



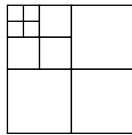
Frequenz- und Zeit/Ortanalyse

- 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: Einteilung in kleine Blöcke
 - Probleme bei Blockgrenzen und bei Diskontinuitäten
- Wavelets:
 - erlauben eine Mischung aus langen Wavelet-Funktionen für Frequenzanalyse und kurzen, hochfrequenten Wavelet-Funktionen für Zeit/Ortanalyse

Algorithmus zur Wavelet-Kompression

Grundidee:

- Wähle ein *mother wavelet* für das ganze Bild
- Teile das Bild auf in zwei Teile
 - Teil 1 wird vom Wavelet korrekt beschrieben
 - Teil 2 enthält zusätzliche Details
- Analysiere Teil 2 mit kleineren Wavelets
 - Vier *baby wavelets* mit jeweils halber Länge des *mother wavelet*
- Setze den Prozess mit den vier Quadranten des Bildes fort
- Abbruch, wenn Detail-Anteil in einem Teilbereich gleich Null oder kleiner als ein Pixel



JPEG2000

- März 1997
 - Start der Entwicklung eines verbesserten Standards für Bildkompression „JPEG 2000“ („j2k“)
 - Bessere verlustbehaftete Kompression als JPEG (mit Wavelets)
 - Leistungsfähige verlustfreie Kompression, vergleichbar JPEG-LS
 - 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
- Grundarchitektur wie bei JPEG:
 - Forwardtransformation (Discrete Wavelet Transform DWT)
 - Quantisierung (oder verlustfrei)
 - Entropiecodierung (hier mit arithmetischer Codierung)

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




5. Licht, Farbe und Bilder

- 5.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Farbmodelle
- 5.3 Raster-Bilddatenformate
- 5.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
 - JPEG
 - Progressives und hierarchisches JPEG
- 5.5 Weiterentwicklungen bei verlustbehafteter Bildkompression:
 - Wavelets
 - JPEG-basierte Bewegtbilder ←
- 5.6 Verlustfreie Bildkompression mit Prädiktion

Motion JPEG

- M-JPEG oder „Motion JPEG“
- Einfacher „Standard“ für Bewegtbilder
 - Folge von JPEG-Bildern
 - Sehr einfach für Filmschnitt
- Aber:
 - *nicht* standardisiert
 - Begriff wird von Herstellern verwendet, Format aber proprietär
- JPEG2000 soll eine „offizielle“ Motion-Erweiterung erhalten

5. Licht, Farbe und Bilder

- 5.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 5.2 Farbmodelle
- 5.3 Raster-Bilddatenformate
- 5.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
 - JPEG
 - Progressives und hierarchisches JPEG
- 5.5 Weiterentwicklungen bei verlustbehafteter Bildkompression:
 - Wavelets
 - JPEG-basierte Bewegtbilder
- 5.6 Verlustfreie Bildkompression mit Prädiktion 

„Lossless Mode of Operation“ in JPEG

- JPEG-Standard enthält (in Annex H)
 - Definition einer verlustfreien Codierung
 - Im Dateiformat kompatibel zu verlustbehaftetem JPEG
 - Keine Verwendung von DCT
 - Keine Quantisierung
 - Keine Verwendung von 8×8 - 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)

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:
 - $P_x = R_a + R_b - R_c$
 - $P_x = R_a + (R_b - R_c)/2$
 - $P_x = R_b + (R_a - R_c)/2$
 - $P_x = (R_a + R_b)/2$

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 von Kontext in Prädiktion
 - Einfache Version von Kantenentdeckung
 - Adaptive Variante der Golomb-Rice-Kodierung
 - Spezieller „Run Mode“
- Frühere Algorithmen: entweder wesentlich komplexer oder benutzten arithmetische Entropie-Kompression.
- Derzeit noch kaum im praktischen Einsatz

Prädiktionsmodell von JPEG-LS

c	a	d
b	x	

- $P_x = \min(R_a, R_b)$ 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
- 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
 - $g1 = Rd - Rb$, $g2 = Rb - Rc$, $g3 = Rc - Ra$
 - 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

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.