

Ein neuer adaptiver Prädiktor für die DPCM-Codierung von Fernsehsignalen

A New Adaptive Predictor for DPCM Coding of TV Signals

Von Chun-tian Zhang

Mitteilung aus dem Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der UNIVERSITÄT HANNOVER

Übersicht:

Nichtadaptive zweidimensionale Prädiktoren für die DPCM-Codierung von Fernsehsignalen führen bei Kanten in Bildern meistens zu großen Prädiktionsfehlern und sind deshalb ungünstig für konturreiche Bilder. Ein neuer adaptiver Prädiktor wird vorgeschlagen, bei dem Bildbereiche mit geringen Signaländerungen und solche mit Konturen getrennt mit zugehörigen Prädiktoren verarbeitet werden. Die Güte des neuen Prädiktors wird mit bekannten nichtadaptiven und adaptiven Prädiktoren anhand von Computersimulationen verglichen. Die Vergleiche basieren sowohl auf quantitativen Kriterien als auch auf subjektiven Tests. Durch den vorgeschlagenen Prädiktionsalgorithmus wird speziell die Häufigkeit großer Prädiktionsfehler bei konturreichen Bildern erheblich reduziert. Verglichen mit anderen Prädiktionsalgorithmen führt dies zu einer geringeren Übertragungsbitrate bei gleicher Bildqualität.

Abstract:

Nonadaptive two-dimensional predictors for DPCM coding of TV signals exhibit large prediction errors at edges in pictures. Therefore they are unfavorable for high detailed pictures with many edges. A new adaptive predictor is proposed, whereby flat areas and edges of a picture are processed with different predictors. The gain of the new predictor is compared with known nonadaptive and adaptive predictors by means of computer simulations. The comparisons base on quantitative criteria as well as subjective tests. An advantage of the presented prediction algorithm is the considerable reduction of the frequency of large prediction errors in pictures with many edges. Compared to other prediction algorithms, this allows a reduction of the transmission rate.

Für die Dokumentation:

Adaptive DPCM / Adaptiver Prädiktor / Bildcodierung / Digitale Fernsehsignalcodierung

1. Einführung

Die Differenzpulsmodulation (DPCM) ist ein einfach zu realisierendes Codierungsverfahren für die Reduktion der Übertragungsbitrate von digitalen Bildsignalen. Bild 1 zeigt das Blockscharbild eines DPCM-Systems. Hierbei wird von jedem Abtastwert s ein Prädiktionswert \hat{s} abgezogen. Die Differenz (Prädiktionsfehler)

$$e = s - \hat{s}$$

wird quantisiert, codiert und übertragen. Beim Empfänger wird nach der Decodierung der quantisierte Prädiktionsfehler e' zu dem Prädiktionswert \hat{s} addiert, und man erhält dann den rekonstruierten Abtastwert

$$s' = e' + \hat{s}.$$

Da nur vorher übertragene rekonstruierte Abtastwerte beim Sender und beim Empfänger zur Ermittlung des Prädiktionswertes benutzt werden, wird bei beiden Seiten der gleiche Prädiktionswert \hat{s} bestimmt, sofern der Übertragungskanal ungestört ist. Es ist leicht zu zeigen, daß der Quantisierungsfehler des Prädiktionsfehlers gleich dem Fehler des rekonstruierten Signals ist:

$$q = e' - e = s' - s.$$

Ein Prädiktor ist so zu wählen, daß möglichst nur kleine Prädiktionsfehler auftreten. Die Entropie des zu übertragenden Prädiktionsfehlers e ist in diesem Fall wesentlich kleiner als die Entropie des Eingangssignales s . Dies führt auf eine geringere Übertragungsbitrate. Als Kriterium für die Optimierung von Prädiktoren wird vielfach die minimale Varianz des Prädiktionsfehlers wegen der Beziehung zur Leistung und der günstigen

mathematischen Handhabung benutzt [1-3]. Die rekursive Struktur der DPCM führt auf eine gegenseitige Beeinflussung von Prädiktor und Quantisierer. Unter Berücksichtigung dieses Effektes hat Pirsch [4] einen Prädiktor mit nur positiven Koeffizienten vorgeschlagen, welcher den Einfluß der Quantisierungsfehlerückkopplung reduziert. Ein solcher Prädiktor führt auf vergleichsweise weniger wahrnehmbare Quantisierungsfehler.

Dem nichtadaptiven Prädiktor liegt das Modell einer stationären Signalquelle zugrunde, jedoch sind die tatsächlichen Fernsehsignale im allgemeinen als räumlich nichtstationär zu betrachten. Ein nichtadaptiver Prädiktor

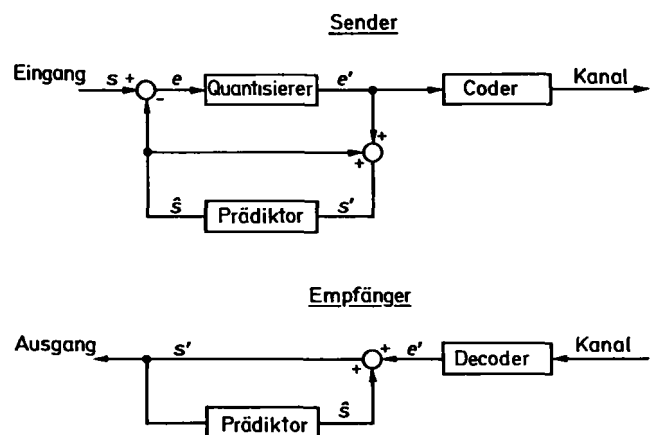


Bild 1. Blockscharbild eines DPCM-Systems

führt meistens zu großen Prädiktionsfehlern bei Konturen und Kanten in Bildern. Die an Konturen und Kanten erzeugten großen Prädiktionsfehler verursachen spezielle Quantisierungseffekte, die als „edge busyness“ und „slope overload“ bezeichnet werden. Dies kann insbesondere bei Testbildern mit konturreicher Auflösung beobachtet werden. Slope overload führt bei diesen Bildern nicht nur zu Unschärfe der rekonstruierten Kanten, sondern auch zu Moiré-Mustern. Um Moiré-Störungen zu verhindern, benötigt man für Auflösungstestbilder mehr Quantisierungsstufen als für natürliche Bilder [4].

Eine Verbesserung dieses Problems kann durch umschaltbare Prädiktoren erreicht werden, welche sich adaptiv den lokalen Eigenschaften von Bildern anpassen. Auf der Basis der Konturprädiktion wurde von Zschunke [5, 6] ein adaptiver Prädiktor vorgeschlagen. Im Vergleich zu den festen Prädiktoren führt ein solcher Prädiktor nur bei Auflösungstestbildern zu einer verbesserten Vorhersage. Bei natürlichen Bildern wird aber eine Verschlechterung festgestellt. Musmann [7] hat darauf hingewiesen, daß bei zukünftigen Untersuchungen die durch Prädiktorumschaltungen verursachten Quantisierungseffekte zu berücksichtigen sind.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von [4, 5, 7] wird hier ein neuer adaptiver Prädiktor für die DPCM-Intraframe-Codierung von Schwarz-Weiß-Fernsehsignalen mit einer Bandbreite von 5 MHz vorgeschlagen. Gebiete mit geringen Signaländerungen und Konturen eines Bildes werden voneinander getrennt mit zugehörigen Prädiktoren verarbeitet. Die Vorzüge der Prädiktoren von Pirsch [4] und Zschunke [5] werden hierbei berücksichtigt. Die Zielsetzung für den neuen adaptiven Prädiktor kann wie folgt beschrieben werden:

- Verbesserung der Prädiktion für Auflösungstestbilder, ohne die Prädiktion bei natürlichen Bildern zu verschlechtern;
- Verringerung der Häufigkeit großer Prädiktionsfehler, um edge busyness und slope overload möglichst zu vermeiden.

Im folgenden Kapitel wird der Algorithmus des neuen Prädiktors beschrieben. Basierend auf Computersimulationen werden Vergleiche mit bekannten Prädiktoren durchgeführt.

2. Prädiktionsalgorithmus

2.1 Symbole und Definitionen

Nachfolgend werden die Signale sowohl durch Bildkoordinaten (z. B.: $s(i, j)$) als auch durch die relative Lage zum aktuellen Bildpunkt beschrieben (z. B.: s_i). Bild 2 zeigt die hier benutzte relative Indizierung. Es gelten folgende Symbole und Definitionen:

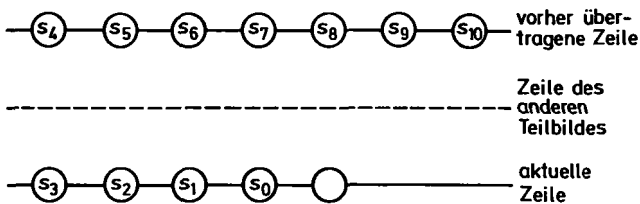


Bild 2: Abtastraster und Bezeichnung der Abtastwerte

- s_0 Luminanzwert des aktuellen Bildpunkts
- s_i $i = 1, \dots, N$; Luminanzwerte vorangegangener Bildpunkte
- s'_i $i = 1, \dots, N$; rekonstruierte Luminanzwerte
- \hat{s} Prädiktionswert von s_0
- D_{ij} Differenz zwischen s'_i und s'_j , $D_{ij} = s'_i - s'_j$
- $|D_{ij}|$ Betrag von D_{ij}
- a Schwellwert ($a = 0 \dots 255$)
- VD_{ij} Vorzeichenfunktion von D_{ij} mit

$$VD_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{für } D_{ij} \geq a \\ 0 & \text{für } -a < D_{ij} < a \\ -1 & \text{für } D_{ij} \leq -a \end{cases}$$

$$V_{12,ij} = \begin{cases} VD_{12} VD_{ij} & \text{für } VD_{12} \neq 0 \\ VD_{23} VD_{ij} & \text{für } VD_{12} = 0 \end{cases}$$

2.2 Konturdetektion

a) Ein Konturprädiktor basierend auf Konturextrapolation ist nur für lange und steile Konturen günstig [5]. Ein solcher Prädiktor bringt für natürliche Bilder keinen Gewinn. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, Gebiete mit geringen Signaländerungen und Konturen eines Bildes getrennt mit verschiedenen Prädiktoren zu verarbeiten. Hierzu wird das Kriterium

$$FLKR = \text{Max} (|D_{12}|, |D_{15}|, |D_{16}|, |D_{17}|)$$

vorgeschlagen. Ist $FLKR < 20$, wird die Umgebung des aktuellen Bildpunktes als flach betrachtet und ein zweidimensionaler Prädiktor mit nur positiven Koeffizienten verwendet.

b) Die Konturrichtung des Bildpunktes s_0 kann aus der Konturrichtung des vorhergehenden benachbarten Bildpunktes s_1 entnommen werden. Bei der Feststellung der Konturrichtung wird zuerst die horizontale Richtung überprüft. Dies erfolgt durch einen Vergleich der beiden nachfolgenden Parameter:

$$DV = \text{Min} (|D_{15}|, |D_{16}|, |D_{17}|, |D_{18}|)$$

$$DH = \text{Max} (|D_{12}|, |D_{23}|)$$

Ist $DH < DV$, so nehmen wir an, daß eine horizontale Kontur vorliegt, weil die Amplitudenänderung des Abtastwertes in dieser Richtung minimal ist. Es wird nicht nur $|D_{12}|$, sondern auch $|D_{23}|$ überprüft, weil das Abtastintervall in der horizontalen Richtung kleiner als in vertikaler Richtung ist.

c) Die in nichthorizontaler Richtung durch den Bildpunkt s_1 gehende Kontur kann durch die Position eines Nachbarbildpunktes von s_1 festgestellt werden, welcher die kleinste Amplitudendifferenz zu s_1 hat und mit s_1 auf der gleichen Kantenseite liegt. Auf welcher Kantenseite ein Bildpunkt liegt, wird durch die Vorzeichenfunktion VD_{ij} der Amplitudendifferenz zwischen diesem Punkt und einem in der gleichen Zeile benachbarten Bezugspunkt ermittelt. Gemäß der Position des betrachteten Bildpunktes wird der linke oder der rechte von beiden Nachbarbildpunkten als solcher Bezugspunkt ausgewählt (s. Abschnitt 2.3d). Ungewöhnlich ist, daß das Vorzeichen VD_{ij} als 0 definiert wird, wenn der Betrag von $|D_{ij}|$ unter einer Schwelle von z. B. $a = 7$ liegt. In diesem Fall ist der Zustand undefiniert, und der betrachtete Bildpunkt darf nicht zur Bestimmung der Konturrichtung benutzt werden, womit eine durch Quantisierungsfehler oder Signalquellenrauschen verursachte falsche Konturprädiktion verhindert werden soll. Sofern $|D_{12}|$ kleiner als a ist, wird VD_{12} in der

Definition von V_{12ij} durch VD_{23} ersetzt. Dadurch erhält man auch für $VD_{12}=0$ noch eine Chance für die Konturprädiktion. Wie Untersuchungen bestätigen, kann ein adaptiver Konturprädiktor zu vielen kleinen Prädiktionsfehlern führen, allerdings auch viele große Fehler verursachen, sofern sich die aktuelle Konturrichtung zu stark ändert und nicht vorhergesagt werden kann. Deswegen sollen die Prädiktorumschaltungen zwischen Nachbar-konturrichtungen abgeschwächt werden. Statt eines einzelnen Bildpunkts wird deshalb in unserem Algorithmus jeweils eine Kombination von zwei oder noch mehr Bildpunkten zur Ermittlung des Prädiktionswertes benutzt.

d) Schwankt die Signalamplitude in der Umgebung des aktuellen Bildpunkts sehr stark, so nehmen wir an, daß solche Bildteile zu Texturen gehören. Es wird beobachtet, daß wegen Störungen durch Quantisierungsfehler und Kamerarauschen ein Konturprädiktor bei Texturen oft zu Unruhe in der rekonstruierten Bildsequenz führt. Aus diesem Grund unterbrechen wir bei solchen Bildgebieten die Konturprädiktion und verwenden als Prädiktionswert den Mittelwert von fünf Nachbarbildpunkten (s. Abschnitt 2.3c).

e) Befindet sich überhaupt kein Bildpunkt mit dem Bildpunkt s_1 auf der gleichen Kantenseite und überschreitet die bei der Konturfindung erhaltene minimale Amplitudendifferenz zwischen s_1 und dessen Nachbarbildpunkten eine Schwelle, z. B. 50, so nehmen wir an, daß eine starke Änderung oder Beugung der Konturrichtung auftritt. In diesem Fall wird der in a) erwähnte zweidimensionale Prädiktor mit nur positiven Koeffizienten benutzt.

2.3 Algorithmus

Der Algorithmus ist durch die nachfolgend beschriebenen Schritte definiert, wobei der jeweils folgende Schritt nur ausgeführt wird, wenn alle vorhergehenden Bedingungen nicht erfüllt sind.

a) Ist $FLKR < 20$, gilt

$$\hat{s} = \frac{5}{8} s'_1 + \frac{1}{8} (s'_6 + s'_7 + s'_8).$$

b) Ist $DH < DV$, gilt

$$\hat{s} = \frac{3}{4} s'_1 + \frac{1}{4} s'_7.$$

c) Ist eine der vier folgenden Bedingungen erfüllt, gilt

$$\hat{s} = \frac{1}{5} (s'_5 + s'_6 + s'_7 + s'_8 + s'_9).$$

Die Bedingungen sind:

c1) $V_{1254} \neq -1$ und $V_{1265} = -1$ und $V_{1276} \neq -1$;

c2) $V_{1254} \neq -1$ und $V_{1265} = -1$ und $V_{1287} \neq -1$;

c3) $V_{1254} \neq -1$ und $V_{1276} = -1$ und $V_{1287} \neq -1$;

c4) $V_{1265} \neq -1$ und $V_{1276} = -1$ und $V_{1287} \neq -1$.

d) Es sei

$$A_5 = \begin{cases} |D_{15}| & \text{wenn } V_{1265} = 1, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

$$A_6 = \begin{cases} |D_{16}| & \text{wenn } V_{1265} \text{ oder } V_{1276} = 1, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

$$A_7 = \begin{cases} |D_{17}| & \text{wenn } V_{1276} \text{ oder } V_{1287} = 1, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

$$A_8 = \begin{cases} |D_{18}| & \text{wenn } V_{1287} = 1, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

und

$$DK = \text{Min}(A_5, A_6, A_7, A_8).$$

d1) Ist $DK > 50$, gilt

$$\hat{s} = \frac{5}{8} s'_1 + \frac{1}{8} (s'_6 + s'_7 + s'_8).$$

d2) Ist $DK = A_i$, gilt

$$\hat{s} = \frac{1}{4} s'_i + \frac{1}{2} s'_{i+1} + \frac{1}{4} s'_{i+2} \quad \text{mit } i = 5, 6, 7, 8.$$

3. Vergleiche mit anderen Prädiktoren

3.1 Prädiktoren

Die folgenden drei Prädiktoren wurden zu Vergleichen herangezogen.

Prädiktor 1: Vorschlag von Pirsch [4]

$$\hat{s} = \frac{1}{2} s'_1 + \frac{1}{8} s'_6 + \frac{1}{4} s'_7 + \frac{1}{8} s'_8.$$

Prädiktor 2: ein nach dem Kriterium minimale Varianz bestimmter Prädiktor

$$\hat{s} = \frac{7}{8} s'_1 - \frac{5}{8} s'_6 + \frac{6}{8} s'_7.$$

Prädiktor 3: ein von Zschunke [5] vorgeschlagener Konturprädiktor. Der Algorithmus wird nachfolgend mit den Symbolen des Abschnitts 2.1 beschrieben.

a) Ist $D_{12} < 26$, gilt

$$\hat{s} = s'_1.$$

b) Es sei

$$A_5 = \begin{cases} |D_{15}| & \text{wenn } VD_{12} = VD_{34}, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

$$A_6 = \begin{cases} |D_{16}| & \text{wenn } VD_{12} = VD_{65}, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

$$A_7 = \begin{cases} |D_{17}| & \text{wenn } VD_{12} = VD_{76}, \\ 255 & \text{sonst;} \end{cases}$$

Schwelle $a = 4$ für VD_{ij}

und

$$DK = \text{Min}(A_5, A_6, A_7).$$

b1) Ist $DK > 64$, gilt

$$\hat{s} = s'_1.$$

b2) Ist $DK = A_i$, gilt

$$\hat{s} = s'_{i+1} \quad \text{mit } i = 5, 6, 7.$$

Der neu vorgeschlagene adaptive Prädiktor wird als Prädiktor 4 bezeichnet.

3.2 Objektive Vergleichskriterien

Insgesamt wurden vier objektive Kriterien für den Vergleich der Prädiktoren benutzt.

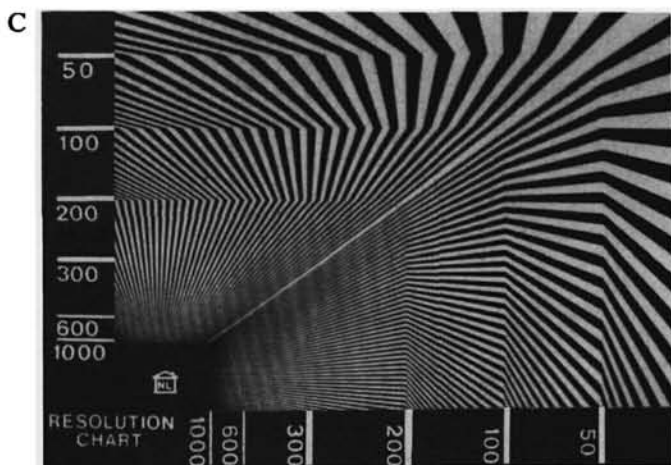


Bild 3: Testbilder
A Strohhutdame
B Spielzeugjunge
C Auflösungsstestbild

-65,	-50,	-39,	-30,	-21,	-14,	-7,	-2,
3,	8,	15,	22,	31,	40,	51,	66

Tabelle 1: Repräsentativwerte der 16-Stufen-Quantisierungskarakteristik

a) Spitzenwert e_p des Prädiktionsfehlers: Der Prädiktionsfehler $e(i, j)$ ist definiert als

$$e(i, j) = s(i, j) - \hat{s}(i, j)$$

mit $s(i, j)$ als dem j -ten Abtastwert von der i -ten Zeile und $\hat{s}(i, j)$ als der Prädiktionswert von $s(i, j)$.

Da das Eingangssignal entsprechend 8-bit-PCM quantisiert wurde, liegen alle Prädiktionsfehler im Bereich $(-255, 255)$. Der Spitzenwert des Prädiktionsfehlers ist so definiert, daß 99 % der Prädiktionsfehler innerhalb des Bereichs $(-e_p, e_p)$ liegen.

b) Standardabweichung σ_f der Prädiktionsfehler:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i \sum_j [s(i, j) - \hat{s}(i, j)]^2}$$

wobei N die Anzahl der Abtastwerte des verarbeiteten Bildes ist.

c) Entropie H_f der Prädiktionsfehler:

$$H_f = - \sum_{e=-255}^{+255} \frac{M(e)}{N} \log_2 \left[\frac{M(e)}{N} \right]$$

mit $M(e)/N$ als relative Häufigkeit des Prädiktionsfehlers e .

d) Standardabweichung σ_q der Quantisierungsfehler:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i \sum_j [s(i, j) - s'(i, j)]^2}$$

wobei $s'(i, j)$ der rekonstruierte Wert von $s(i, j)$ beim Empfänger ist.

4. Simulationsergebnisse

Computersimulationen mit drei Testbildern wurden auf einem CYBER 76 Computer des Regionalen Rechenzentrums Niedersachsen und am Bildverarbeitungssystem des Instituts für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Universität Hannover durchgeführt. Der zentrale Prozeßrechner dieses Bildverarbeitungssystems ist eine PDP 11/45. Die folgenden drei Testbilder standen für die Computersimulationen zur Verfügung (Bild 3):

Testbild A: Strohhutdame,
Testbild B: Spielzeugjunge,
Testbild C: Auflösungsstestbild.

Als Eingangssignal wurde die Luminanz-Komponente des 5-MHz-Fernsehsignals mit 10 MHz abgetastet und mit 8 bit pulscodemoduliert. Für die Untersuchungen wurden die Daten eines Bildausschnittes von 540 Zeilen und 480 Bildpunkten pro Zeile für jedes Testbild benutzt. Die subjektiven Tests wurden mit einer Sequenz von 16 aufeinanderfolgenden Teilbildern durchgeführt, um die typischen Rauscheffekte der DPCM sichtbar zu machen. Wegen der Beschränkung der Speicherkapazität des Bildverarbeitungssystems wurde in diesem Fall ein Bildausschnitt von 128×128 Bildpunkten pro Teilbild verwendet. Der Bildausschnitt wurde so gewählt, daß das kritischste Gebiet im Ausschnitt liegt.

Bei den Computersimulationen wurde bei allen Prädiktoren ein 4-bit-Quantisierer mit 16 Stufen (Tabelle 1) verwendet. Dieser Quantisierer hat eine Quantisierungsfehlerkarakteristik, die etwa dem von Pirsch [4] vorgeschla-

	Bild	H_0
A	Strohhutdame	7,33685
B	Spielzeugjunge	7,49038
C	Auflösungstestbild	7,25794

genen 13-Stufen-Quantisierer für natürliche Bilder entspricht. Es ist klar, daß der Quantisierer an sich für jeden Prädiktor separat zu bestimmen ist. Aber wenn man daran denkt, daß ein fester Quantisierer nicht für alle Bildarten optimal sein kann, soll zur Vereinfachung des Vergleiches für alle Prädiktoren der gleiche Quantisierer verwendet werden. Dies wird auch durch Simulationen bestätigt, die zeigen, daß der Quantisierer keinen bedeutenden Einfluß auf die Rangfolge der Prädiktoren hat.

Tabelle 2: Entropie H_0 der PCM-Abtastwerte in bit/Abtastwert

Prädiktor	Bild					
	Strohhutdame		Spielzeugjunge		Auflösungstestbild	
	16-Stufen-Quantisierer	ohne Quantisierer	16-Stufen-Quantisierer	ohne Quantisierer	16-Stufen-Quantisierer	ohne Quantisierer
1	2,28831	4,61630	2,62882	5,03772	3,70054	6,62172
2	2,42690	4,76078	2,57830	4,94027	3,74188	6,66530
3	2,49578	4,86058	2,62986	5,03293	3,32976	6,04427
4	2,24292	4,55677	2,49395	4,86735	3,52690	6,21502

Tabelle 3: Entropie H_f der Prädiktionsfehler in bit/Abtastwert

Bild	Prädiktor	Betragsbereich der Prädiktionsfehler										
		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-
Auflösungstestbild	1	0,473	0,114	0,092	0,080	0,071	0,065	0,052	0,036	0,014	$2,98 \times 10^{-3}$	$5,07 \times 10^{-4}$
	2	0,478	0,145	0,107	0,079	0,065	0,048	0,032	0,021	0,013	$7,03 \times 10^{-3}$	$7,19 \times 10^{-3}$
	3	0,643	0,121	0,060	0,043	0,036	0,032	0,026	0,018	0,012	$6,11 \times 10^{-3}$	$2,96 \times 10^{-3}$
	4	0,540	0,152	0,119	0,089	0,052	0,027	0,012	$5,71 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-3}$	$7,89 \times 10^{-4}$	$6,81 \times 10^{-4}$
Strohhutdame	1	0,880	0,090	0,020	$6,42 \times 10^{-3}$	$2,54 \times 10^{-3}$	$9,47 \times 10^{-4}$	$4,49 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-4}$	$4,98 \times 10^{-5}$	0	$8,31 \times 10^{-6}$
	2	0,856	0,119	0,018	$4,71 \times 10^{-3}$	$1,42 \times 10^{-3}$	$6,15 \times 10^{-4}$	$2,58 \times 10^{-4}$	$9,13 \times 10^{-5}$	0	$8,31 \times 10^{-6}$	$2,49 \times 10^{-5}$
	3	0,845	0,113	0,028	$8,03 \times 10^{-3}$	$3,47 \times 10^{-3}$	$1,79 \times 10^{-3}$	$7,14 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-4}$	$1,66 \times 10^{-4}$	$6,65 \times 10^{-5}$	$3,32 \times 10^{-5}$
	4	0,887	0,087	0,016	$4,63 \times 10^{-3}$	$1,99 \times 10^{-3}$	$7,48 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-4}$	$1,74 \times 10^{-4}$	$6,65 \times 10^{-5}$	$3,32 \times 10^{-5}$	0

Tabelle 4: Relative Häufigkeit des Prädiktionsfehlerbetrages bei 16-Stufen-Quantisierung nach Tabelle 1

Prädiktor	Bild		
	Strohhutdame	Spielzeugjunge	Auflösungstestbild
1	30	46	84
2	32	39	95
3	33	46	88
4	27	39	68

Tabelle 5: Spitzenwert e_p des Prädiktionsfehlers bei 16-Stufen-Quantisierung nach Tabelle 1

4.1 Vergleiche mit objektiven Kriterien

Die Entropie H_0 der drei Bilder ist in Tabelle 2 angegeben. Tabelle 3 zeigt die Entropie H_f der Prädiktionsfehler. Die Prädiktoren werden mit und ohne Quantisierer miteinander verglichen. Prädiktor 3 liefert für das Auflösungstestbild die größte Reduktion der Entropie. Das ist verständlich, wenn man die Prädiktionsfehlerverteilungen (Tabelle 4) betrachtet. Prädiktor 3 macht mehr kleine Prädiktionsfehler als die anderen. Aber für natürliche Bilder ist er eindeutig schlechter als feste Prädiktoren. Prädiktor 4 ist am günstigsten bei natürlichen Bildern und steht an der zweiten Stelle beim Auflösungstestbild. Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Prädiktionsfehler beim kontrastreichen Auf-

Prädiktor	Bild					
	Strohhutdame		Spielzeugjunge		Auflösungstestbild	
	16-Stufen-Quantisierer	ohne Quantisierer	16-Stufen-Quantisierer	ohne Quantisierer	16-Stufen-Quantisierer	ohne Quantisierer
1	7,64	7,57	11,16	11,03	32,56	31,85
2	7,65	7,39	9,52	9,27	30,87	30,35
3	8,87	8,73	10,88	10,76	25,81	25,76
4	7,18	7,07	9,54	9,34	22,55	22,17

Tabelle 6: Standardabweichung σ_f der Prädiktionsfehler

Prädiktor	Bild		
	Strohhutdame	Spielzeugjunge	Auflösungstestbild
1	1,56	1,77	3,96
2	1,58	1,66	5,73
3	1,65	1,86	4,46
4	1,55	1,73	2,75

lösungstestbild und beim konturarmen Bild Strohhutdame. Der Vorteil von Prädiktor 4 ist deutlich zu erkennen. Im Vergleich mit den anderen Prädiktoren führt Prädiktor 4 auf wesentlich weniger große Prädiktionsfehler. Beim Auflösungstestbild liefert Prädiktor 4 etwa $\frac{1}{3}$ weniger Prädiktionsfehler mit einem Betrag über 40 als Prädiktor 3. Gegenüber nichtadaptiven Prädiktoren beträgt der Unterschied etwa $\frac{2}{3}$. Dieser Vorzug von Prädiktor 4 bleibt auch bei konturarmen natürlichen Bildern für Prädiktionsfehler größer als 20 bestehen. Tabelle 5 zeigt den Spitzenwert des Prädiktionsfehlers. Bei Prädiktor 4 ist die-

Tabelle 7: Standardabweichung σ_q der Quantisierungsfehler

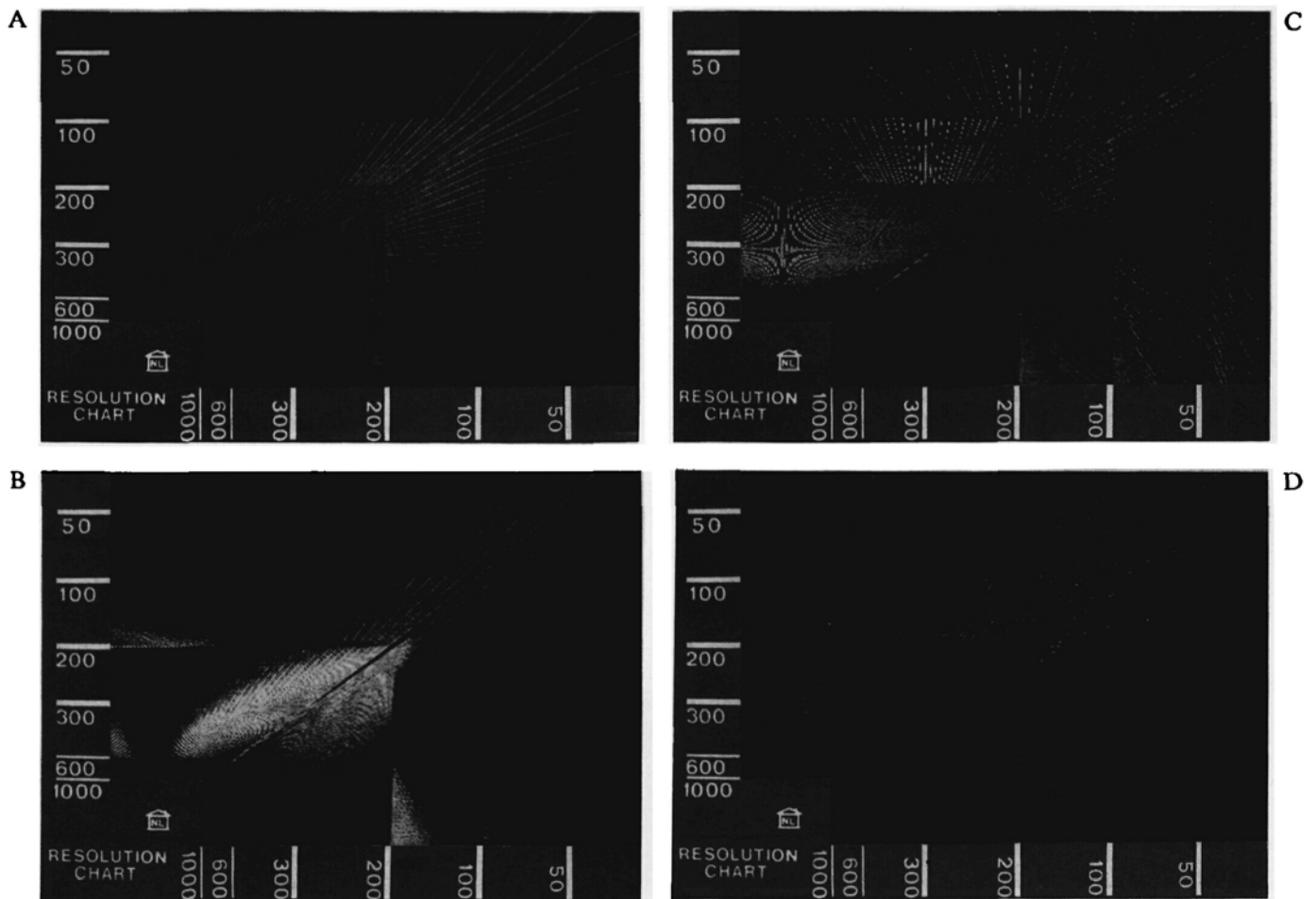


Bild 4: Betrag des Quantisierungsfehlers (multipliziert mit 8) in Bild 3C bei einer Codierung mit 4 bit/Abtastwert für die Prädiktoren 1 bis 4

- A Prädiktor 1
- B Prädiktor 2
- C Prädiktor 3
- D Prädiktor 4

ser Spitzenwert bedeutend geringer. Dies gilt besonders bei konturreichen Bildern. Bei Prädiktor 4 ist für das Auflösungsstestbild dieser Spitzenwert um etwa 20 kleiner als bei den anderen Prädiktoren. Diese Verkleinerung hat große Bedeutung für die Verhinderung des slope overload und edge busyness, und demgemäß auch für die Reduzierung der erforderlichen Anzahl von Quantisierungsstufen. **Tabelle 6** zeigt ferner die Standardabweichung σ_r der Prädiktionsfehler und **Tabelle 7** die Standardabweichung σ_q der Quantisierungsfehler bei der 4-bit-Quantisierung. Bezüglich der Standardabweichungen ist Prädiktor 4 am günstigsten. Prädiktor 3 ist nicht so günstig, da er außer kleinen Prädiktionsfehlern auch viele große Fehler verursacht. Die Bildabhängigkeit der nichtadaptiven Prädiktoren ist eindeutig erkennbar (z. B. Prädiktor 1 und 2 bei Bild 3B und Bild 3C).

Wie die Tabellen zeigen, hat die Quantisierung keinen bedeutenden Einfluß auf die Vergleichsergebnisse. Da die Unterschiede zwischen Originalen und rekonstruierten Bildern auf einer Fotografie schwer zu erkennen sind, stellen wir in **Bild 4** nur die Quantisierungsfehler dar. Weil der Monitor nur positive Signalwerte anzeigen kann, zeigt Bild 4 den achtfachen Betrag des Quantisierungsfehlers q . Die Photographien zeigen eindeutig den Vorteil des neuen adaptiven Prädiktors.

4.2 Subjektive Vergleiche

Die Bildqualität wurde auch durch subjektive Tests verglichen, wie sie von Pirsch [8] vorgeschlagen werden. Nach subjektiven Vergleichen ergibt sich folgende Rangfolge für die vier Prädiktoren beim Auflösungsstestbild:

1. Prädiktor 4,
2. Prädiktor 1,
3. Prädiktor 3,
4. Prädiktor 2.

Der Betrag des höchsten benötigten Quantisierungsrepräsentativwertes für das Auflösungsstestbild, welcher durch Überprüfungen sowohl von Bildschärfe als auch von Moiré-Störungen festgestellt wird, kann von 104 bei Prädiktor 2 bzw. 72 bei Prädiktor 1 auf 62 bei Prädiktor 4 gesenkt werden. Bei gleicher Bildqualität kann daher mit Prädiktor 4 die Anzahl der Quantisierungsstufen verringert werden. Wie bereits berichtet [4], erreicht Prädiktor 2 bei 29-Stufen-Quantisierung bzw. Prädiktor 1 bei 21-Stufen-Quantisierung eine gute Bildqualität für Auflösungsstestbilder. Hierzu spart der neue adaptive Prädiktor 11 bzw. 3 Quantisierungsstufen. Bei einer 16-Stufen-Quantisierung nach Tabelle 1 sind die von slope overload verursachten Moiré-Störungen bei Prädiktor 2 und 3 deutlich sichtbar und bei Prädiktor 1 gerade wahrnehmbar, bei Prädiktor 4 nicht sichtbar. Für natürliche Bilder erhält man mit 4 bit je Abtastwert (16-Stufen-Quantisierung) bei Prädiktor 1, 2 und 4 eine in etwa gleich gute Bildqualität; das Quantisierungsrauschen bei Prädiktor 3 ist größer und gut sichtbar. Mit Prädiktor 4 kann man also bei einer 16-Stufen-Quantisierung eine höhere Bildqualität sowohl für natürliche Bilder als auch für konturreiche Auflösungsstestbilder erreichen.

Die mit Prädiktor 3 erreichbare Bildqualität bei 4 bit je Abtastwert ist nicht zufriedenstellend. Hierfür wurden zwei Ursachen gefunden: Erstens ist die Entscheidungsbedingung für horizontale Konturen zu einfach, und damit wird s_1 zu häufig als Prädiktionswert benutzt [9]; zweitens sind die Umschaltungen verschiedener Prädiktoren zu „hart“.

5. Zusammenfassung

Ein neuer adaptiver Prädiktor für die DPCM-Intraframe-Codierung von Fernsehsignalen wurde vorgeschlagen und mit bekannten Prädiktoren verglichen. Es wurde gezeigt, daß der neue Prädiktor bessere Prädiktionsfähigkeit als die bekannten Prädiktoren hat. Dies wurde sowohl durch objektive quantitative Vergleiche als auch durch subjektive Tests bestätigt. Der vorgeschlagene Prädiktor bringt vor allem eine Verbesserung für konturreiche Auflösungsstestbilder. Damit kann eine höhere Bildqualität gleichzeitig für verschiedene Arten von Bildern bei einem festen Quantisierer mit 4 bit je Abtastwert erreicht werden. Der neue Prädiktor führt auf vergleichsweise wesentlich weniger große Prädiktionsfehler und vermeidet deshalb slope overload und edge busyness bei einer niedrigen Übertragungsbitrate. Die subjektiven Tests wurden mit einer Bildsequenz von 16 aufeinanderfolgenden Teilbildern durchgeführt. Eine durch Quantisierungsfehler oder Signalquellenrauschen verursachte falsche Prädiktorumschaltung wird beim neuen Prädiktor durch spezielle Schaltkriterien reduziert. Die durch falsche Prädiktorumschaltung verursachten Quantisierungseffekte werden dadurch verringert. Zukünftige Untersuchungen sollen auf adaptive Intra-Interframe Codierungen gerichtet sein, da dies eine weitere Reduktion der Übertragungsbitrate bei hoher Bildqualität verspricht.

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Universität Hannover. Herrn Prof. Dr.-Ing. Musmann gilt mein besonderer Dank für die wertvollen Anregungen, ebenfalls Herrn Dr.-Ing. P. Pirsch für hilfreiche Diskussionen. Herrn D. Westerkamp und Herrn W. Geuen danke ich für die freundliche Hilfe bei den Computersimulationen.

Literatur

- [1] O'Neal, J. B.: Predictive Quantizing Systems. Bell Syst. Techn. J. 45 (1965) S. 689—721.
- [2] Habibi, A.: Comparison of nth-Order DPCM Encoder with Linear Transformations and Block Quantization Techniques. IEEE Trans. on Comm. COM-19 (1971) 12, 948—956.
- [3] Pirsch, P.; Stenger, L.: Statistical Analysis and Coding of Color Video Signals. Acta Electronica 19 (1976) 4, S. 277—287.
- [4] Pirsch, P.: A New Predictor Design for DPCM Coding of TV Signals. ICC (1980).
- [5] Zschunke, W.: DPCM Picture Coding with Adaptive Prediction. IEEE Trans. on Comm. COM-25 (1977) 11, S. 1295—1302.
- [6] Zschunke, W.: System zu digitaler Übertragung von Bildsignalen mittels Differenz-Pulscode-Modulation (DPCM). Bundesrepublik Deutschland Patent 2432399.
- [7] Musmann, H. G.: Predictive Image Coding in: Image Transmission Techniques. (ed. by Pratt, W. K.) Academic Press, New York (1979).
- [8] Pirsch, P.: Optimierung von Farbfernseh-DPCM-Systemen unter Berücksichtigung der Wahrnehmbarkeit von Quantisierungsfehlern. Dissertation, Universität Hannover (1979).
- [9] Venkat Devarajan; Rao, K. R.: DPCM Coders with Adaptive Prediction for NTSC Composite TV Signals. IEEE Trans. on Comm. COM-28 (1980) 7, S. 1079—1084.

Chun-tian Zhang, Dozent an der Universität Tianjin, VR China, zur Zeit als Gastwissenschaftler an der Universität Hannover, Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, Callinstr. 32, 3000 Hannover 1.

(Eingegangen am 18. 12. 1981)

Berichtigung

In dem Beitrag von U. Barabas „Optische Breitbandübertragung mit Hilfe pulphasenmodulierter Signale“ (Heft 3/82, S. 69) ist der letzte Absatz der Einleitung durch Zeilenvertauschung falsch wiedergegeben worden. Er muß richtig lauten:

Im folgenden sind drei auf Fernsehsignale angewandte Übertragungsverfahren beschrieben. Anschließend werden mögliche Anwendungsbereiche diskutiert und aus realisierten Systemen Meßergebnisse angegeben.