# Wavelet basiertes Verfahren zur selektiven Kompression medizinischer Bilddaten

J. E. Santos Conde, J. Niederholz und B. J. Hosticka

Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme
Finkenstr. 61, D-47057 Duisburg
Email: santos@ims.fhg.de

**Zusammenfassung** Im vorliegenden Beitrag wird ein auf der diskreten Wavelet-Transformation basierendes Verfahren zur selektiven Kompression medizinischer Bilddaten vorgestellt. Die Signifikanz einzelner Bildbereiche wird apriori interaktiv durch einen Mediziner selektiert oder durch entsprechende Bildklassifizierung ermittelt. Relevante Bildbereiche werden hierdurch mit geringen Verlusten komprimiert, wohingegen der unwichtigere Hintergrund verlustbehaftet verarbeitet wird.

**Schlüsselwörter:** Bildkompression, Wavelet-Transformation, differentielle Entropie, Peano-Hilbert-Scan, Entropie-Quantisierer

## 1 Einleitung

Im Zuge des rasanten Fortschritts der Halbleitertechnologie in den letzten Jahrzehnten, welcher im wesentlichen durch eine stetige Reduktion der Strukturgrößen und eine Verringerung der benötigten Leistungsaufnahme bei fallendem Preis pro Chipfläche begründet ist, ist die immer kostengünstigere Herstellung mikroelektronischer Schaltungen möglich, deren Integrationsdichte, Komplexität und Leistungsfähigkeit qualitativ exponentiell im Laufe der Zeit ansteigen. Kommunikationstechnische Systeme, insbesondere der Telemedizin, die die Zukunft der medizinischen Versorgung wesentlich prägen wird, profitieren außerordentlich von diesem Fortschritt. Der Anstieg der zu übertragenden Datenmenge und die Zunahme der Anwendungsbereiche durch Einbindung multimedialer Fähigkeiten zur Sprach-, Bild- sowie Videodatenverarbeitung ergeben als zwangsläufige Konsequenz aus diesem Entwicklungsprozeß ein in erster Linie erhöhten Bedarf an Kanalkapazität, die ein maßgeblicher Kostenfaktor bei der Signalübertragung darstellt. Der Einsatz ressourcensparender Algorithmen erhält daher eine immer größere Berechtigung.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Verfahren zur selektiven Signalkompression vorgestellt, welches auf einer Analyse des verbunden örtlich-spektralen Signalverhaltens basiert. Die Grundlage bildet die Wavelet-Transformation, die eine orthonormale Signalzerlegung in örtlich- und spektral lokalisierbare überlappende elementare Bestandteile erlaubt. Das Wavelet basierte Verfahren zur selektiven Bildkompression wird in Kapitel 2 vorgestellt. Die Kompressionsergebnisse in Kapitel 3 zeigen, daß das Verfahren gegenüber konventionellen Kompressionsverfahren deutlich bessere Ergebnisse liefert. Der Beitrag endet mit einem kurzen Ausblick.

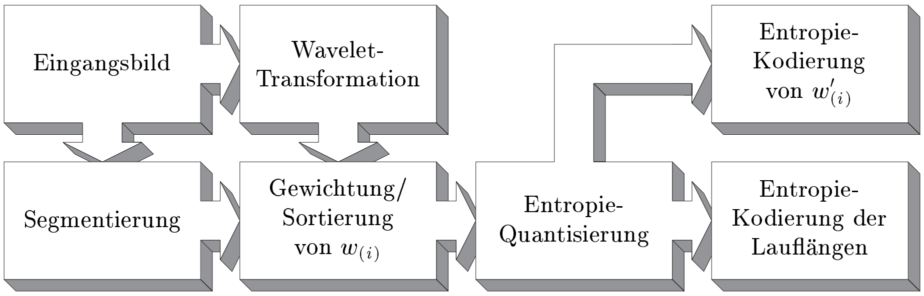


**Abbildung1.** Wavelet basiertes Verfahren zur selektiven Bildkompression.

## 2 Verfahren zur selektiven Bildkompression

Das Verfahren zur selektiven Bildkompression ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die Reduktion örtlicher und spektraler Redundanz erfolgt durch Anwendung der diskreten Wavelet-Transformation, die als Konstant-Q-Analyse bezeichnet werden kann, da das zugrundeliegende Funktionensystem über eine logarithmische spektrale Struktur verfügt. Das Analyseverfahren zerlegt das Originalsignal durch Projektion in dyadisch verschachtelte Funktionenräume in eine Approximation des analysierten Signals bezüglich einer vorgegebenen Auflösung und mehreren Detailanteilen bezüglich mehrerer Auflösungsstufen. Die effektive Entwicklungskoeffizientenberechnung der diskreten Wavelet-Transformation erfolgt iterativ unter Verwendung einer dyadischen Filterbankanordnung, die sich aus kaskadierten Tief- und Hochpaß Filterpaaren gefolgt von dyadischen Dezimatoren zusammensetzt [1–3]. Die Konstant-Q-Charakteristik der Wavelet-Transformation beinhaltet eine gute Frequenzselektivität bei tiefen Frequenzen und eine gute Ortsselektivität bei hohen Frequenzen. Diese qualitativ logarithmische Unterteilung des Frequenzbereichs korreliert mit der visuellen Wahrnehmung des Menschen.

Da die Wavelet-Transformation isometrisch ist und ein hoher Anteil der Signalenergie sich in wenigen Transformationskoeffizienten konzentriert, welches bereits eine Kompression des Originalsignals impliziert, können Transformationskoeffizienten mit niedriger Energie ohne signifikante Qualitätseinbußen bei der Rekonstruktion eliminiert werden. Die Transformationskoeffizienten $w_{(i)}$ mit $i = 1, \ldots, N_g$ sind dabei nach ihrem Absolutwert sortiert. Um bei fest vorgegebenen Bitbudget $R$ eine minimale Verzerrung des Senkensignals gegenüber dem zu übertragenden Signal zu gewährleisten, wird die Stufenweite $\Delta$ des Entropie-Quantisierers durch Minimierung der Gesamtverzerrung $D_g(N)$, die sich aus der Quantisierung der beibehaltenen Transformationskoeffizienten $D_q(N)$ und dem Weglassen der übrigen Koeffizienten $D_t(N)$ ergibt, ermittelt. Für die Gesamtverzerrung ergibt sich in Abhängigkeit der beibehaltenen Transformationskoeffizienten $N$ folgende Gleichung

$$D_g(N) = \underbrace{\frac{N}{12} 2^{2\overline{H_d}(N)} 2^{-2(\frac{R}{N} - r_0)}}_{D_q(N)} + \underbrace{\sum_{n=N+1}^{N_g} w_{(n)}^2}_{D_t(N)} \tag{1}$$

mit der mittleren differentiellen Entropie

$$\overline{H_d}(N) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_c} C_i(N) \int_{-\infty}^{+\infty} p_{i,N}(x) \log p_{i,N}(x) dx, \tag{2}$$

wobei $r_0$ die mittlere Länge des Lauflängencodes pro Transformationskoeffizient, $N_c$ die Anzahl der Transformationskanäle, $C_i(N)$ und $p_{i,N}(x)$ die mittlere Anzahl und die Verteilungsdichtefunktion der Transformationskoeffizienten im Kanal $i$ bei $N$ beibehaltenen Koeffizienten darstellen. Bei einer $l$-stufigen Wavelet-Transformation erhält man $l+1$ Kanäle, nämlich die Approximation des analysierten Signals und $l$ Detailanteile, wobei die drei Bandpaßkanäle unterschiedlicher Orientierung innerhalb einer Auflösungsstufe zusammengefaßt werden. Ein Transformationskanal zeichnet sich dabei dadurch aus, daß die Transformationskoeffizienten innerhalb dieses Kanals statistisch ähnlich sind. Für die Stufenweite des Entropie-Quantisierers ergibt sich schließlich [4]

$$\Delta = \sqrt{\frac{12 D_q(N_m)}{N_m}}, \tag{3}$$

wobei $N_m$ die Anzahl der beibehaltenen Transformationskoeffizienten bei minimaler mittlerer Gesamtverzerrung bezeichnet (Abb. 2).

Die lokale Signifikanz der Transformationskoeffizienten wird durch entsprechende Gewichtung, die apriori durch interaktive Selektion einzelner Bildbereiche oder entsprechender Bildsegmentierung ermittelt wird, bewertet. Die Gewichtung der Transformationskoeffizienten ist gleichbedeutend mit der Veränderung ihrer Rangordnung innerhalb des Koeffizientenvektors $\mathbf{w}_{()}$, der die nach Absolutwert sortierten Transformationskoeffizienten beinhaltet. Hierdurch wird sichergestellt, daß trotz hoher Kompressionsraten die selektierten Bildbereiche nahezu verlustfrei verarbeitet werden, wobei weniger interessierende Bereiche verlustbehaftet komprimiert werden. Anschließend erfolgt eine Huffman-Kodierung der quantisierten *ungewichteten* Transformationskoeffizienten $w'_{(i)}$. Die Position relevanter quantisierter Transformationskoeffizienten ergibt sich durch eine Huffman-Kodierung der Lauflängen, wobei die Suchreihenfolge durch den Peano-Hilbert-Scan festgelegt ist, da er die dichtest gepackte Suchreihenfolge an Abtastwerten in einem mehrdimensionalen Feld darstellt und somit sinnvoll bei annähernd gleicher Korrelation der Transformationskoeffizienten in beiden örtlichen Dimensionen ist [5].

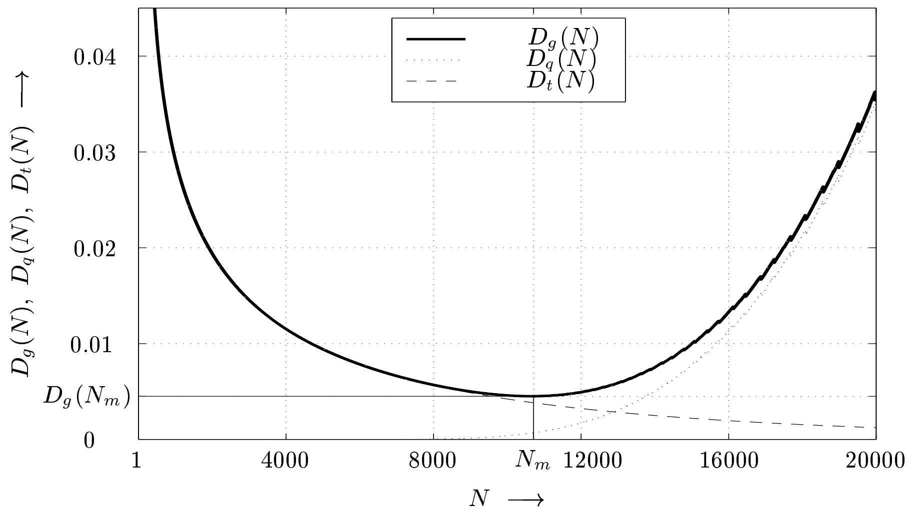


**Abbildung2.** Mittlere Verzerrungen in Abhängigkeit der Anzahl von beibehaltenen Transformationskoeffizienten bei 1 bpp.

## 3 Simulationsergebnisse und Ausblick

In diesem Beitrag wird eine vierstufige Wavelet-Transformation vorgenommen, wobei sogenannte *Daubechies Real Orthogonal Least Disjoint* Wavelets mit vier verschwindenden Wavelet-Momenten verwendet werden [1]. Die Anzahl der verschwindenden Wavelet-Momente ist dabei maßgeblich bestimmend für das Approximations- und Kompressionsverhalten der Transformation. Die Kompressionsergebnisse in Abb. 3 zeigen, daß das vorgestellte Verfahren gegenüber konventionellen Kompressionsverfahren, wie zum Beispiel das JPEG-Verfahren, bessere Ergebnisse in Bezug auf das erzielte PSNR liefert, wobei die selektierten Bereiche nahezu verlustfrei komprimiert werden. Die insbesonders bei hohen Kompressionsraten auftretenden Blockartefakte im JPEG-Verfahren treten bei Anwendung des Wavelet basierten Verfahrens nicht auf.

Ziel weiterer Arbeiten ist die Untersuchung inwieweit spezifische Eigenschaften der Wavelets, wie zum Beispiel der Wavelet-Typ, die Anzahl der verschwindenden Momente, die Regularität oder die Filterlänge, die Leistungsfähigkeit des vorgestellten Kompressionsverfahrens beeinflussen [6].

## Literatur

1. I. Daubechies. *Ten Lectures on Wavelets.* No. 61 in CBMS-NSF Series in Applied Mathematics. SIAM, 1992.


**Abbildung3.** Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der Bildkompression: a) Original, b) JPEG-Verfahren (0,25 bpp, PSNR = 25,25 dB), c) vorgestelltes Verfahren mit selektiver Bildkompression (0,25 bpp, PSNR = 25,84 dB), d) Position beibehaltener Transformationskoeffizienten. In der Umgebung des selektierten Bereichs (Gesicht) wird ein PSNR von 28,83 dB erzielt.

2. G. Strang und T. Nguyen. *Wavelets and Filter Banks.* Wellesley-Cambridge Press, 1996.
3. S. Mallat. *A Wavelet Tour of Signal Processing.* Academic Press, 1998.
4. N. S. Jayant und P. Noll. *Digital Coding of Waveforms.* Prentice-Hall, Inc., 1984.
5. S. Kamata, R. O. Eason und Y. Bandou. A new algorithm for n-dimensional Hilbert scanning. *IEEE Transactions on Image Processing*, 8(7):964–973, July 1999.
6. E. A. B. da Silva und M. Ghanbari. On the performance of linear phase wavelet transforms in low bit-rate image coding. *IEEE Transactions on Image Processing*, 5(5):689–704, May 1996.