Waveletbasierte Bildkompressionsverfahren

Vorteile bei der Archivierung und Übertragung hochaufgelöster Bilddaten

Michael Thierschmann, Uwe-Erik Martin

LuRaTech, Gesellschaft für Luft- und Raumfahrttechnologie & Multimedia mbH
Rudower Chaussee 5, 12489 Berlin
Email: thierschmann@luratech.de, martin@luratech.de

Zusammenfassung. Die elektronische Verarbeitung von Daten eröffnet neue Möglichkeiten auch im Bereich der Bildverarbeitung. Ihr Einsatz vereinfacht die Archivierung, Verwaltung und Übertragung von Bildern. Aufgrund der hohen Datenmenge, die bei der Arbeit mit digitalisierten Bildern entstehen, stoßen jedoch die Archivierungs- und Datenübertragungssysteme dabei an ihre Leistungsgrenzen. Obwohl die Leistungsfähigkeit der digitalen Bildaufnahmesysteme und der Rechentechnik ständig zunimmt, steigt die Datenmenge der digital zu verarbeitenden Bilder in höherem Maße, so daß derzeit die Speicher- und Übertragungsmedien den Engpaß bei der digitalen Bildverarbeitung darstellen. Eine Lösungsmöglichkeit besteht in einer effizienten Datenkompression. Der folgende Beitrag zeigt die Vorteile des Einsatzes moderner Bilddatenkompressionsverfahren am Beispiel des waveletbasierten LuraWave-Verfahrens.

Schlüsselwörter: Bildverarbeitung, Datenkompression, Wavelet-Verfahren, Bildarchivierung, Bildübertragung

1 Einleitung

Die heute verwendeten Bildkompressionsverfahren lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen einteilen: *verlustfreie* und *verlustbehaftete* Kompressionsverfahren.

Die mit *verlustfreien* Verfahren erreichbaren Kompressionsraten für natürliche Bilder sind gering. Es sind bestenfalls Kompressionsraten bis 1:3 erreichbar, ein typischer Wert ist 1:1,5 (Bsp. TIF-LZW-Kodierung). Diese Verfahren erlauben die identische Rekonstruktion des Originalbildes aus den komprimierten Daten.

Verlustbehaftete Verfahren lassen höhere Kompressionsraten zu. Die dabei immer größer werdende Abweichung zwischen Originalbild und dem rekonstruierten Bild führt bei hohen Anforderungen an die Originaltreue des Bildes zu einer Beschränkung der möglichen Kompressionsrate. So sind Raten von 1:5 bis 1:30 mit dem Standardverfahren JPEG, Kompressionsraten bis 1:300 mit neueren Verfahren (Wavelet, Fraktale) erreichbar.

Für künstliche Bilder existieren spezielle, angepaßte Verfahren, die hohe Kompressionsraten erreichen. Dazu zählen beispielsweise die Fax-Kodierung und die Bildformate PCX und RLE.

2 Beschreibung der Wavelet-Kompression

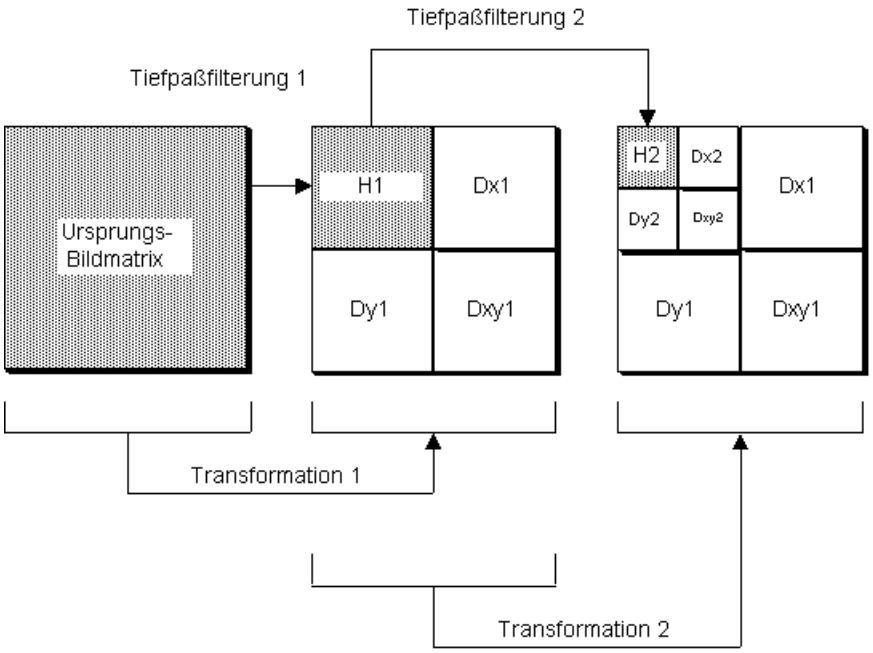
Wavelet-Kompressionsverfahren benutzen zweidimensionale Transformationen, um die Bildinformationen zu dekorrelieren. Die Kompression mit Wavelet-Kompressionsverfahren läuft in mehreren Schritten ab (siehe auch [1,2])

2.1 Transformation

Die Diskrete Wavelet-Transformation benutzt im Gegensatz zur Diskreten Fourier-Transformation (DFT) nicht die örtlich unbegrenzten Sinus- und Kosinusfunktionen zur Analyse des Bildmaterials. Die Basisfunktionen sind die Scaling-Funktionen und die sogenannten Wavelets. Diese Funktionen verbinden die grundlegende Eigenschaft der Orthogonalität, die eine Transformation und eine identische Rekonstruktion erst ermöglicht, mit der Eigenschaft des „compact support“, d.h. sie besitzen eine endliche Ausdehnung. Dies erlaubt die Analyse von Bilddaten ohne Fenstereffekte.

Eine Wavelettransformation ist eine mehrfach durchgeführte zweidimensionale Filteroperation. Teilergebnisse der zuerst durchgeführten Schritte dienen wiederum als Eingangswert der nachfolgenden Stufen, so daß eine hierarchische Transformationsstruktur entsteht. Das transformierte Abbild besteht aus einem Tiefpaßbereich, der die niederfrequenten Anteile des Originalbildes widerspiegelt, und mehreren Hochpaßanteilen, die die feineren Strukturen des Originalbildes repräsentieren.

Darstellung der hierarchischen Zerlegung bei der Wavelettransformation (2 Stufen)



2.2 Quantisierung und Kodierung

Die Quantisierung und Kodierung sorgen für die Auswahl der Information im entstehenden Datenstrom. Dabei verwirft die Quantisierung die bei der geforderten Kompressionsqualität irrelevanten Informationen. Eine Kombination von Kodierung und Quantisierung ermöglicht eine genaue Steuerung der Kompressionsqualität (Bildqualität vs. Kompressionsrate). Die Länge des erzeugten Datenstromes kann exakt vorherbestimmt werden.

Zu Beginn des Quantisierungs- und Kodierungsvorganges werden die Koeffizienten der Wavelettransformation grob quantisiert. Nur die größten und daher für die Qualität des rekonstruierten Bildes wichtigsten Transformationskoeffizienten liefern einen Beitrag zum entstehenden Datenstrom. Anschließend werden die zu Beginn verwendeten Quantisierungsintervalle verfeinert, so daß weitere Koeffizienten übertragen werden. Es entsteht ein *eingebetteter* Datenstrom. Dies ermöglicht bei einer beliebigen Unterbrechung des Kodiervorganges eine vollständige Rekonstruktion des kodierten Bildes in einer entsprechend verminderten Qualität.

Wird der Quantisierungs- und Kodiervorgang nicht unterbrochen, dann werden die entstandenen Transformationskoeffizienten in voller Genauigkeit kodiert. Die Datenkompression ist dann verlustlos.

3 Vorteile der Wavelet-Kompression in der Anwendung

Am Beispiel des Bilddatenkompressionsverfahrens LuRaWave sollen die Möglichkeiten moderner, waveletbasierter Bilddatenkompressionsverfahren erläutert werden. Ein wesentliches Merkmal des Bilddatenkompressionsverfahrens stellt die gegenüber bisherigen verbreiteten Verfahren *deutlich gesteigerte Bildqualität* dar.

Die Qualität des Verfahrens kann statistisch mit Hilfe der PSNR (Peak-Signal-to-Noise-Ratio) ausgedrückt werden. Sie wird folgendermaßen berechnet:

$$PSNR = 10 \cdot \log \frac{peak^2}{noise} \text{ (in dB)} \tag{1}$$

mit

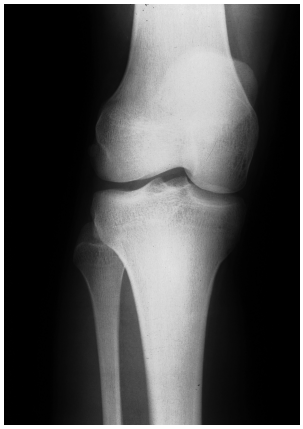
$$peak = \max\left[f(x,y) \right] \tag{2}$$

und

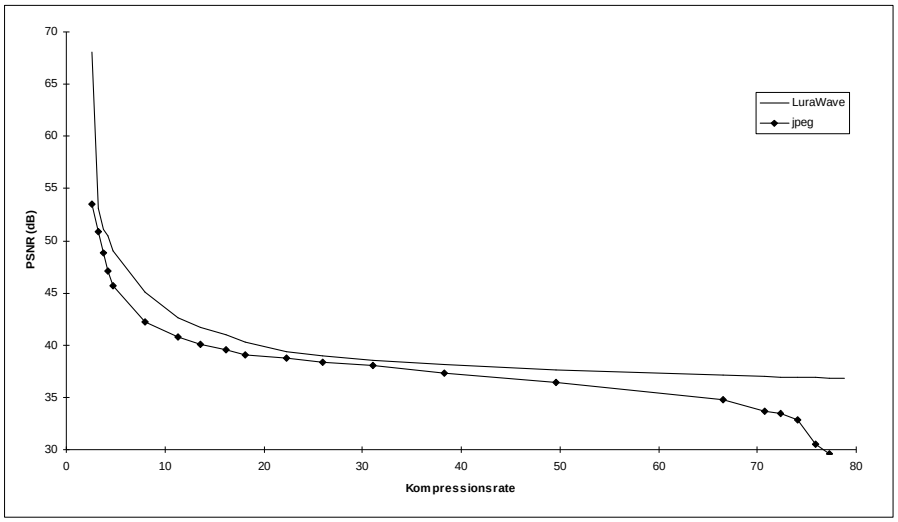
$$noise = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left[f(x_i, y_j) - \tilde{f}(x_i, y_j) \right]^2 \tag{3}$$

wobei $f(x,y)$ das Originalbild, und $\tilde{f}(x,y)$ das aus den komprimierten Daten rekonstruierte Bild repräsentiert.

Testbild der Kompression



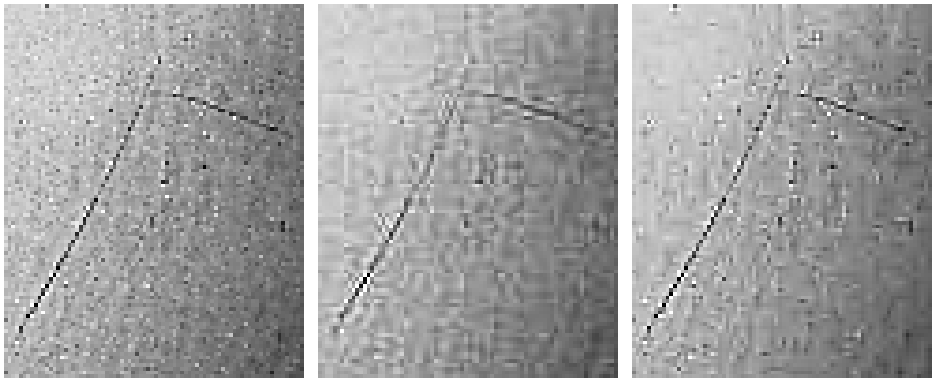
statistische Bildqualität LuRaWave vs. JPEG am Beispiel eines Röntgenbildes



Im visuellen Vergleich ist ein Hauptunterschied der waveletbasierten Kompressionsverfahren im Vergleich zum Standardverfahren JPEG sichtbar. Während das Standardverfahren aufgrund seiner blockorientierten Arbeitsweise bei mittleren bis hohen Kompressionsraten deutliche Kachelartefacte zeigt, führt die hierarchische Zerlegung in Grob- und Feinstrukturen bei LuraWave zu einer angenehmeren Glättung des Bildes, ohne jedoch signifikant Kantenstrukturen des Originalbildes zu unterdrücken.

Desweiteren erlaubt die LuraWave-Datenkompression im Gegensatz zu anderen waveletbasierten Kompressionsverfahren die *verlustlose Datenkompression* als Grenzfall einer verlustbehafteten Kompression, falls kein Unterschied zum Originalbild akzeptiert wird.

Visueller Vergleich JPEG-LuraWave (Ausschnitte, Kompressionsrate 1:22)



Original JPEG LuraWave

Das Beispielbild läßt sich mit LuraWave verlustfrei um den Faktor 2,6 komprimieren. (Zum Vergleich: TIFF LZW erzielt eine Kompressionsrate von 1:1,7).

3.1 Quicklook Generierung und objektbasierte Quantisierung

Die enge Verknüpfung zwischen Kodierung und Quantisierung eröffnet die Möglichkeit einer einfachen Quicklook-Generierung. Da der Datenstrom eines LuraWave komprimierten Bildes jederzeit die Information über das Gesamtbild in zunehmender Bildschärfe repräsentiert, kann durch die Übertragung nur eines Bruchteiles der Datenmenge ein Vorschaubild erzeugt werden. In digitalen Bildarchiven und in Bilddatenbanken entfällt dabei die separate Verwaltung kleiner Vorschaubilder.

Die Quantisierer/Kodierer Kombination erlaubt eine Verschiebung der Bildqualität innerhalb des Bildes. So ist es möglich, besonders relevante Bildanteile in höherer Qualität (auch verlustlos) zu übertragen, während die Umgebung dieser Bildanteile der Orientierung dient und stärker komprimiert übertragen wird. Bei einer progressiven Übertragung, bei der sich die Bildqualität mit zunehmend übertragener Datenmenge ständig verbessert, werden bei objektbasierter Quantisierung die relevanten Bildanteile zuerst übertragen, daher auch zuerst dargestellt, während die weniger relevanten Anteile zu einem späteren Zeitpunkt berücksichtigt werden.

4 Literatur

1. J.M. Shapiro, Embedded Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients, IEEE Trans. Sign. Proc., Vol. 41, No. 12, Dec. 1993
2. A. Said, W.A. Pearlman, A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees, IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Tech., Vol. 6, June 1996