Strukturadaptierte Prädiktion in der verlustfreien Kompression medizinischer Bilddaten

Herbert Baierl, Andreas Klappenecker*

Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme (Professor Beth)
Universität Karlsruhe, D-76128 Karlsruhe, Deutschland
baierl@ira.uka.de
*Department of Mathematics, Texas A&M University
College Station, TX 77843-3368, USA
Andreas.Klappenecker@math.tamu.edu

Zusammenfassung Wir schlagen ein neues verlustfreies Kompressionsverfahren vor, das unterschiedliche Prädiktoren verwendet, welche für die lokale Struktur der jeweiligen Bildregion besonders geeignet sind. Zwischen diesen Prädiktoren wird blockweise umgeschaltet. Damit auch in der Umgebung einer Kante eine gute Prädiktion erzielt werden kann, lassen wir auch nicht-lineare Prädiktoren zu, die Gradienteninformation ausnutzen. Das Verfahren wurde in C implementiert und das Programm LBC (lossless block compression) ist im Quellcode frei verfügbar.

Schlüsselwörter: Verlustfreie Kompression, Prädiktion, blockbasierte Prädiktion, Entropiecodierung.

1 Einleitung

Schichtbilder von Computer- und Kernspintomographien weisen eine hohe Korrelation von benachbarten Bildpixeln auf, da in großen Bereichen dieser Bilddaten relativ glatte Grauwertübergänge vorherrschen. Diese Eigenschaft läßt sich gewinnbringend bei der Kompression von medizinischen Bilddaten ausnutzen. So kann der Wert eines Bildpixels aus bereits codierten Bildpixeln vohergesagt werden, beispielsweise durch Mittelwert-Bildung des linken und oberen Nachbarpixels. Codiert wird dann die Differenz zwischen dem vorhergesagten und dem tatsächlichen Grauwert. Die Entropiecodierung des Fehlerbildes kann etwa mit einem arithmetischen Codierer geschehen. Der verlustfreie Modus des JPEG Kompressionsstandards beruht auf solch einer prädiktiven Codierung. In diesem Artikel wird ein neues Kompressionsverfahren vorgeschlagen, das auf einem ähnlichen Prinzip beruht, jedoch den Charakteristika von lokalen Strukturen in medizinischen Bilddaten Rechnung trägt.

2 Prädiktion

Ein Bild läßt sich mit einem universellen Kompressionsverfahren (wie etwa dem Lempel-Ziv Algorithmus) direkt komprimieren. Diese Vorgehensweise besitzt jedoch den praktischen Nachteil, daß vorhandenes Wissen über die vorliegenden Bilddaten ungenutzt bleibt oder erst eingelernt werden muß. So ist beispielsweise schon durch den Aufnahmeprozeß bei CT- oder MRT-Daten klar, daß die Bilddaten in großen Bereichen relativ glatt sind, also Variationen im Grauwertverlauf innerhalb einer kleinen Umgebung in der Regel gering sind.

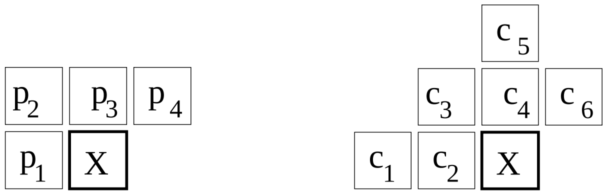

Abbildung1. Im Programm LBC werden nur direkt benachbarte Werte $p_1, \ldots, p_4$ zur Prädiktion des Wertes X verwendet. Auf der rechten Seite ist die zur Codierung benutzte Umgebung abgebildet.

Bei einer prädiktiven Codierung wird diese Eigenschaft der Bilddaten ausgenutzt. Wird das Bild etwa zeilenweise durchlaufen, so können etwa die Werte der benachbarten westlichen, nordwestlichen, nördlichen und nordöstlichen Nachbarpixel (siehe Abbildung 1) für eine Prädiktion des aktuellen Pixelwertes herangezogen werden. Dieser Prädiktionswert wird bei der prädiktiven Codierung vom aktuellen Pixelwert subtrahiert und die Differenz codiert.

Durch die Prädiktion mit Hilfe einer Linearkombination der Pixelwerte aus einer kausalen Umgebung ergeben sich in glatten Bildbereichen sehr kleine Fehlerwerte. Tatsächlich läßt sich durch eine geeignete Wahl der verwendeten Linearkombination die Kompressionsrate verbessern. Beim lossless JPEG Standard kann üblicherweise zwischen acht verschiedenen Prädiktoren gewählt werden.

3 Blockbasierte Prädiktion

Die komplexe Struktur von CT- und MRT-Bilddaten läßt sich jedoch nicht mit Hilfe eines stationären Prozesses modellieren. Vielmehr unterscheiden sich Textur (Knochen, Gewebe, Luft, etc.) und Kantenstruktur in lokalen Bereichen des Bildes erheblich. Daher ist die globale Auswahl eines Prädiktors für das gesamte Bild (wie beim JPEG Standard) wenig geeignet. Aus diesem Grund schalten wir blockweise zwischen verschiedenen Prädiktoren um, welche für die lokale Struktur der jeweiligen Bildregion besonders geeignet sind. Damit auch in der Umgebung einer Kante eine gute Prädiktion erzielt werden kann, lassen wir auch nicht-lineare Prädiktoren zu, die Gradienteninformation ausnutzen.

Das Grundprinzip unseres Verfahrens beruht auf folgenden elementaren Schritten: Das Bild wird in quadratische Blöcke mit $N \times N$ Pixeln unterteilt. Für jeden Block wird aus einer vorgegebenen endlichen Menge P von Prädiktoren derjenige ausgewählt, welcher zu einem minimalen L^1-Fehler (oder L^2-Fehler) führt.

Damit eine Rekonstruktion möglich ist, wird der verwendete Prädiktor und das Fehlerbild eines Blockes codiert. Im Falle $|P| = 1$ erhalten wir als Spezialfall eine klassische prädiktive Codierung.

In Abbildung 2 wird an einem Bild gezeigt, welcher Prädiktor ausgewählt wurde. Hier wurden vier JPEG-Prädiktoren verwendet. Die Auswahl des Prädiktors ist rechts mit Grauwerten codiert dargestellt.

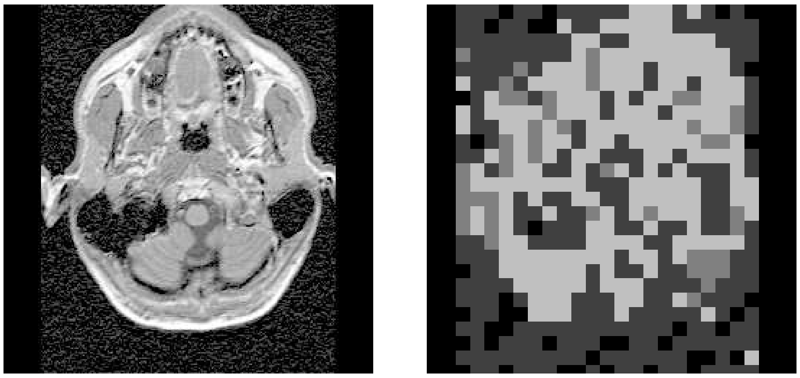

Abbildung2. CT-Aufnahme und Prädiktorenbild (Blockgröße=10).

Für eine Rekonstruktion des Bildes muß bei diesem Verfahren neben dem Fehlerbild auch noch pro Block die Wahl des Prädiktors codiert werden. Es gibt nun zwei gegenläufige Effekte. Einerseits führen kleinere Blockgrößen zu einer Verbesserung der Prädiktion, andererseits müssen bei kleiner Blockgröße mehr Informationen über die Auswahl der Prädiktoren abgespeichert werden. Die Auswirkung der Wahl der Blockgröße wird in Abbildung 3 an einem Beispiel gezeigt. Der hier abgebildete Verlauf ist typisch und bei fast allen Bildern variiert nur die Position des Minimums; geeignete Werte sind üblicherweise $N \in [7..12]$.

Die Prädiktormenge P enthält beim Programm LBC alle JPEG-Prädiktoren, sowie einige weitere lineare Prädiktoren. Zudem ist ein nicht-linearer Prädiktor enthalten, der durch den folgenden Pseudocode beschrieben werden kann:

$\texttt{max} := \max(p_1, p_3)$; $\texttt{min} := \min(p_1, p_3)$;
if $(p_2 > \texttt{max})$ **then** $\texttt{predval} := \texttt{min}$;
else if $(p_2 < \texttt{min})$ **then** $\texttt{predval} := \texttt{max}$;
else $\texttt{predval} := p_1 + p_3 - p_2$;
fi;

Hierbei stellen $p_1, \ldots, p_3$ die Werte der umgebenden Pixel wie in Abbildung 1 dar. Dieser Prädiktor ist im wesentlichen dem Programm LOCO [1] entnommen.

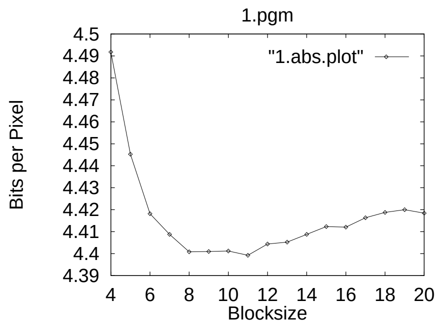

Abbildung3. Kompressionsrate in Abhängigkeit von der Blockgröße.

4 Codierung

Nach der Prädiktion erfolgt die Entfernung der Redundanz mit adaptiver arithmetischer Codierung. Die verwendete Wahrscheinlichkeitstabelle wird durch eine kausale Umgebung von Pixeln bestimmt (siehe Abbildung 1). Hierfür wird aus den umgebenden Pixeln mit den Werten c_i die Summe

$$C_x = \sum_{i=1}^{6} \sum_{j=1, j\neq i}^{6} |c_i - c_j|$$

gebildet. Ein kleiner Wert von C_x weist auf einen „glatten" Bereich im Bild hin, und es ist auch zu erwarten, daß der Prädiktionsfehler an dieser Stelle sehr klein ist. Dieser Wert wird quantisiert und zur Selektion einer Wahrscheinlichkeitstabelle (siehe Abbildung 4) im arithmetischen Codierer verwendet.

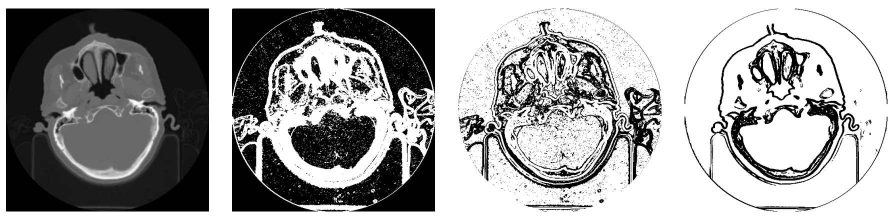

Abbildung4. Hier wurde C_x auf drei Werte q_k quantisiert. Links ist das Originalbild zu sehen. Die folgenden drei Bilder zeigen (in Schwarz) an welcher Stelle des Originalbildes der Wert q_1, q_2, q_3 angenommen wird.

5 Ergebnisse

Die folgende Tabelle zeigt die Kompressionsergebnisse von unserem Programm LBC im Vergleich mit drei weiteren Kompressionsverfahren.

DATEI	ORIGINAL	GZIP	CALIC	LOCO	LBC
brain.2.00.pgm	65551	33399	36924	39017	34863
ct271221.pgm	262159	52871	26557	26342	24649
i01.pgm	1048593	710062	609541	624712	608721
sc270171.pgm	802831	423954	273970	280664	268818
abdom_1.pgm	262159	86820	51089	51119	49309
$\sum$ absolut	2441293	1307106	998081	1021854	986360
$\sum$ in Prozent	100.000	53.542	40.883	41.857	40.403

Das bekannte Kompressionprogramm GZIP basiert auf dem Lempel-Ziv (LZ77) Algorithmus. Die Programme LOCO [1] und CALIC [2] wurden für den kommenden JPEG lossless Standard vorgeschlagen.

Eine genaue Beurteilung eines Kompressionsverfahrens kann nur dann sinnvoll erfolgen, wenn es als Programm zur Verfügung steht. Aus diesem Grund ist LBC frei erhältlich unter

`http://iaks-www.ira.uka.de/home/klappi/lossless.html`

In diesem Artikel wurden lediglich die Grundideen erläutert. Die Details der Realisierung können dem C-Quellcode entnommen werden.

Danksagung. Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung durch den Sonderforschungsbereich SFB 414 „Informationstechnik in der Medizin – Rechner und sensorgestützte Chirurgie“ (Projekte Q1 und Q6).

Literatur

1. M. J. Weinberger, G. Seroussi und G. Sapiro: *LOCO-I: A Low Complexity, Context-Based, Lossless Image Compression Algorithm.* Technischer Bericht Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, CA 94304, 1996.
2. X. Wu, N. Memon und K. Sayood: *A Context-based, Adaptive, Lossless/Nearly-Lossless Coding Scheme for Continous-tone Images.* Technischer Bericht Department of Electrical Engineering, University of Nebraska-Lincoln, 1995.