

Referenzlose Qualitätsbestimmung von CT-Bildern

Christian Kaethner, Bärbel Kratz, Svitlana Ens, Thorsten M. Buzug

Institut für Medizintechnik, Universität zu Lübeck
kratz@imt.uni-luebeck.de

Kurzfassung. In der Computertomographie können metallische Objekte oder Bewegungen durch Patienten zu Inkonsistenzen innerhalb der Projektionswerte führen. Bei der anschließenden Rekonstruktion der tomographischen Schnittbilder kommt es durch diese inkonsistenten Daten zu Artefakten, welche die diagnostische Aussagekraft des Bildes beeinflussen können. In diesem Beitrag wird die Anwendbarkeit zweier referenzloser Metriken für die Beurteilung der Bildqualität in der Computertomographie überprüft. Die beiden Metriken basieren auf der Verwendung des Just-Noticeable-Blur (JNB)-Prinzips und wurden als wahrnehmungsbasierte Schärfemetriken entwickelt, um die Unschärfe in Bildern unterschiedlichen Inhaltes zu beurteilen. Es wird gezeigt, dass eine der Varianten für die Beurteilung von Bewegungsartefakten und die andere für Metallartefakte verwendet werden kann.

1 Einleitung

In der Computertomographie (CT) führen inkonsistente Projektionswerte zu Artefakten in den rekonstruierten CT-Bildern. Wenn die Verbesserung der Bildqualität durch eine Artefaktreduktion vorgenommen wird, erfolgt die Wahl des besten Verfahrens durch eine Qualitätsbestimmung der Ergebnisse als Vergleichsbasis. Häufig werden Bilder von Testpersonen (idealerweise erfahrenen Radiologen) beurteilt, was zu subjektiven Ergebnissen führt. Wenn eine Referenz (ein rekonstruiertes Bild ohne Artefakte) vorhanden ist, können verschiedene Distanzmetriken verwendet werden. Beispiele für Metriken zur automatischen Beurteilung von Artefakten in tomographischen Bilddaten sind der relative Fehler (REL), die normalisierten absoluten Abstände (NAD) oder auch die Summe quadrierter Differenzen (SSD) [1].

Im Allgemeinen ist eine Referenz in der klinischen Praxis jedoch nicht verfügbar, wodurch eine referenzlose Qualitätsbestimmung erforderlich wird. In [2] wurden referenzlose Maße für eine Bewegungskorrektur von Magnetresonanztomographischen Bildern getestet. Die Metrikanwendungen für die Beurteilung von Bewegungs- und Metallartefakten in CT-Bildern sind in [1] beschrieben.

Eine weitere referenzlose Möglichkeit ist die Assoziation von Bildqualität mit der Bildschärfe. Einen Überblick über existierende referenzlose Metriken zur Beurteilung der Bildschärfe kann [3] entnommen werden. In [3, 4] wurden außerdem zwei Metriken vorgeschlagen, die die vom Menschen wahrgenommene Bildschärfe

unabhängig vom Bildinhalt automatisch beurteilen. Beide Metriken verwenden die Breite der Bildkanten als ein Merkmal der Bildschärfe. Da die Unschärfe einer Bildkante bei hohem Kontrast des Bildes früher wahrgenommen wird als bei niedrigem Kontrast, werden zwei unterschiedliche kontrastabhängige Gewichtungen der Kantenbreiten jeweils unter Verwendung des sog. Just-Noticable-Blur (JNB)-Konzeptes vorgenommen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Ansätzen besteht darin, dass eine der Metriken eine gewichtete mittlere Kantenbreite ermittelt, während bei der anderen das Modell der Aufsummierung der Wahrscheinlichkeiten, Unschärfen im Bild zu erkennen, verwendet wird. Im Folgenden wird der Ansatz aus [3] als JNB-Metrik (JNBM) und die Methode aus [4] als normierte JNB-Metrik (nJNBM) bezeichnet.

In diesem Beitrag wird die die Verwendbarkeit von nJNBM und JNBM für die Qualitätseinschätzung von Metall- sowie Bewegungsartefakten in CT-Bildern untersucht und diskutiert.

2 Material und Methoden

Zur Evaluierung der Qualitätsmetriken werden zwei Testdatensmengen verwendet. Dabei handelt es sich zum einen um eine Aufnahmereihe eines anthropomorphen Torsophantoms (Quality Assurance in Radiology and Medicine, www.qrm.de), welches vor der jeweiligen Aufnahme mit unterschiedlich positionierten Metallobjekten versehen wurde. Es handelt sich um Aufnahmen mit einem Siemens Somatom Definition AS+ bei 120 kV und 100 mAs (Abb. 1).

Als weiteres Anwendungsbeispiel wurde eine Aufnahmereihe eines Kopfphantoms (The Phantom Laboratory, www.phantomlab.com) mit einem Sirona Galileos Dental-CT (21 mAs, 85 kV) verwendet. Dabei wurden verschiedene Bewegungsgrade in den Rohdaten mit einem Roboterarm simuliert (Abb. 2).

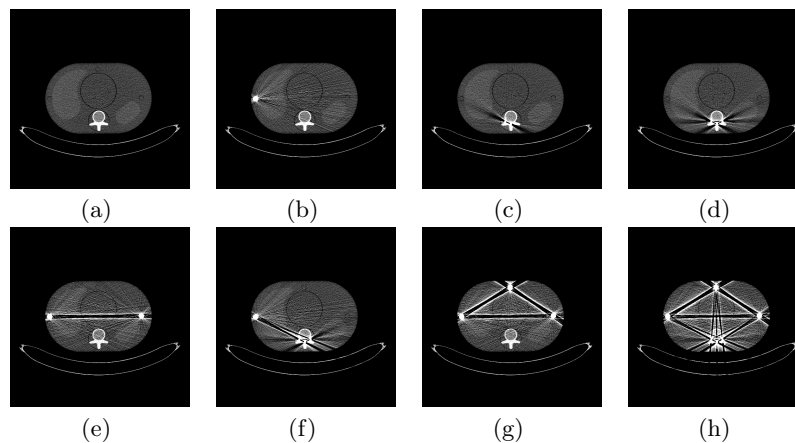


Abb. 1. Torso-Testdaten ohne Metalle (a) sowie mit variierender Metallanzahl (b-h).

Für die Berechnung der Bildschärfe wird das Bild für beide Verfahren im ersten Schritt in Blöcke R unterteilt und anschließend für jeden Block eine Sobel-Kantendetektion, gefolgt von einer Bestimmung der Anzahl an Kantenpixel durchgeführt. Eine Qualitätsbestimmung ist nun für die JNBM auf allen Blöcken möglich, die eine Mindestanzahl von Kantenpixeln beinhalten (im Folgenden als Kantenblöcke R_b bezeichnet), denn andernfalls haben die Blöcke keinen signifikanten Einfluss auf den Gesamtschärfeeindruck. Alternativ dazu wird bei der nJNBM zusätzlich die Blocknachbarschaft überprüft. Eine Kante sollte demnach dominant in einer Region sein. Sind alle Nachbarblöcke ebenfalls Kantenblöcke, wird von einem zu stark strukturierten Bildbereich, wie z.B. Hintergrundrauschen, ausgegangen. Diese Blöcke werden somit im Weiteren ausgeschlossen.

Für alle verbleibenden Kantenblöcke wird für die nJNBM eine Gewichtung

$$p_b^1(C_b) = \begin{cases} -0.0042 \cdot C_b + 1, & \text{für } C_b \leq 50 \\ 0.8092 \cdot e^{-0.024(C_b-50)}, & \text{für } C_b > 50 \end{cases} \quad (1)$$

bestimmt, welche den Erkennungsgrad von Unschärfe in Abhängigkeit des Kontrastes C_b von Kantenblock b widerspiegelt (perceptual weight). Für jeden Kantenpixel $e_j, j = 1, \dots, E$ wird anschließend die Kantenbreite $w(e_j)$ bestimmt und eine Mittlung über alle Breiten des Blockes durchgeführt. E entspricht dabei der Gesamtanzahl an Kantenpixel im aktuellen Block b . Die resultierende mittlere Kantenbreite \bar{w}_b wird daraufhin mit p_b multipliziert, was zu einer gewichteten Kantenbreite für alle b führt. Abschließend werden alle Blockergebnisse erneut gemittelt (K entspricht dabei der Gesamtzahl an Kantenblöcken) was zum endgültigen Bildschärfe-Wert der nJNBM führt

$$\bar{w}_b = \frac{\sum_{j=1}^E w(e_j)}{E}, b = 1, \dots, K, \quad \text{bzw.} \quad \text{nJNBM} = \frac{\sum_{b=1}^K \bar{w}_b \cdot p_b^1(C_b)}{K} \quad (2)$$

Je höher nJNBM also ist, desto unschärfer ist das jeweilige Bild. Diese Information ist dabei durch die beiden Mittlungen in (1) unabhängig von der Gesamtzahl an Kanten sowie Kantenblöcken.

Alternativ dazu wird bei der JNBM eine Gewichtung für die Kantenbreiten basierend auf der Kenntnis ermittelt, dass bei hohen Kontrasten bereits kleinere Kantenbreiten als Unschärfe erkannt werden, die bei niedrigeren Kontrasten

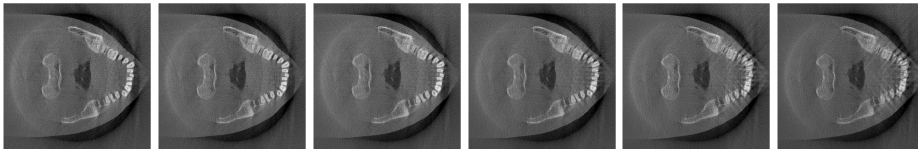


Abb. 2. Dental-Testdaten mit ansteigender Anzahl von Bewegungsartefakten.

nicht auffallen. Als Gewichtung ergibt sich damit

$$p_b^2(C_b) = \begin{cases} 5, & C_b \leq 50 \\ 3, & C_b > 50 \end{cases} \quad (3)$$

wobei die entsprechenden Größen in [3] durch Tests ermittelt wurden. Folgend werden statt der Mittlungen aus (2) zunächst die Schärfe eines Blocks $D_{(R_b)}$, bzw. die Gesamtschärfe D des Bildes durch

$$D_{(R_b)} = \left(\sum_{i=1}^E \left| \frac{w(e_i)}{p_b^2(C_b)} \right|^\beta \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{und} \quad D = \left(\sum_{b=1}^K |D_{R_b}|^\beta \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4)$$

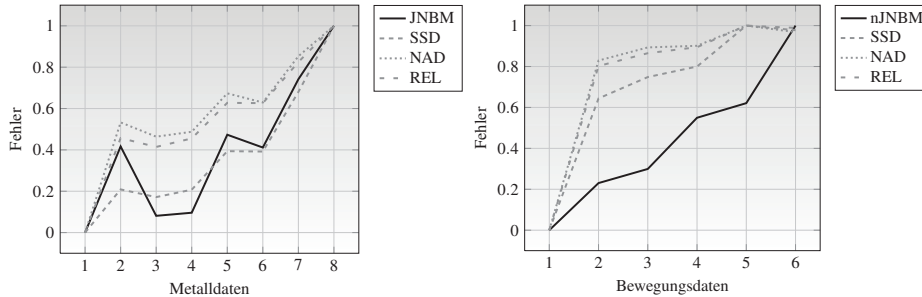
bestimmt. Für den Wert β wurde, wie in [3] empfohlen, eine Größe von 3.6 verwendet. Daraufhin wird eine Normierung von D mit der Anzahl der Kantenblöcke K , gefolgt von einer Kehrwertbildung (um niedrige Metrikwerte für unscharfe Bilder zu erhalten und umgekehrt) durchgeführt, also gilt abschließend $\text{JNBM} = K/D$. Je höher JNBM nun ist, desto höher ist der Anteil an scharfen Kanten im Bild, wobei hier der Einfluss der Kantenpixelanzahl weiterhin erhalten bleibt.

3 Ergebnisse

Für die Bewegungsdaten wurde die nJNBM verwendet, da eine Kantenverschmierung unabhängig von der Kantenanzahl im Bild detektiert werden soll. Für die Metallbilder ist im Gegensatz dazu primär die Anzahl an Bildkanten von Interesse, die in Form von streifenförmigen Metallartefakten das gesamte Bild überlagern. Aus diesem Grunde ist die JNBM hier eine sinnvollere Wahl, da die Informationen über die Kantenanzahl bei dieser Metrik im Ergebnis erhalten bleiben. Beide Testdatenmengen wurden vor der Evaluierung durch einen Experten nach ansteigender Artefaktanzahl sortiert. Als weitere Vergleichsmöglichkeit wurden die zuvor bereits erwähnten referenzbasierten Verfahren SSD, NAD und REL verwendet. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden außerdem alle Ergebnisse auf den jeweiligen maximalen und minimalen Wert normiert. Abschließend ist anzumerken, dass für die Schärferechnungen im Rahmen dieser Arbeit o.B.d.A. ausschließlich die horizontalen Kanten aller Bilder berücksichtigt wurden.

In Abb. 3 sind die Ergebnisse aller Verfahren angewendet auf die jeweiligen Datensätze zu sehen. Für die Metallartefaktbilder (Abb. 3a) verlaufen die Ergebniswerte nicht monoton steigend, wie durch die expertenbasierte Sortierung angenommen. Die Ergebnisse der Testbilder (c) und (d) sind für alle betrachteten Metriken niedriger als für das Testbild (b). Gleiches gilt für Bild (f) und das vorangehende Bild (e). Die Werte für die Qualitätsbestimmung der Bewegungsdaten (Abb. 3b) steigen mit wachsender Artefaktanzahl, wobei alle referenzbasierten Metriken (im Gegensatz zur Experteneinstufung und der nJNBM) Testbild (e) als artefaktbehafteter einstufen als Bild (f).

Abb. 3. Ergebnisse der Qualitätsbestimmung von metall- und bewegungsartefaktbehafteten CT-Bildern mit SSD, NAD, REL sowie JNBM bzw. nJNBM. Die Sortierung der X-Achse entspricht Abb. 1 (links) bzw. 2 (rechts).



4 Diskussion

Bei den Metallartefaktergebnissen weicht die JNBM vom Expertenwissen ab. Allerdings gilt dies auch für alle betrachteten Vergleichsmetriken. Insgesamt weisen alle Metriken einen exakt gleichen Verlauf auf. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass die visuelle Artefakteinstufung bei einigen Testbildern problematisch ist, da nicht eindeutig zwischen den Artefaktstärken unterschieden werden kann.

Die Expertensortierung der Bewegungsdaten hingegen stimmt mit dem Ergebnis der nJNBM überein. Dies gilt jedoch nicht für die referenzbasierten Verfahren, die Bild (e) mit der niedrigsten Bildqualität einstufen. Hier kann die Aussage des Experten und der nJNBM jedoch validiert werden, da die Bewegungsparameter der Testdaten bekannt sind und in Bild (e) tatsächlich eine kleinere Bewegung während der Aufnahme stattfand als in (f).

Die Verfahren JNBM sowie nJNBM bilden somit eine gute Möglichkeit zur referenzlosen Qualitätsbestimmung von metall- bzw. bewegungsartefaktbehafteten CT-Bildern. Für nachfolgende Arbeiten wäre eine Erweiterung denkbar, die unabhängiger vom Bildrauschen ist.

Literaturverzeichnis

1. Ens S, Kratz B, Buzug TM. Automatische Beurteilung von Artefakten in tomographischen Bilddaten. *Biomed Tech.* 2010;55(Suppl. 1):BMT.2010.550.
2. McGee KP, Manduca A, Felmlee JP, et al. image metric-based correction (auto-correction) of motion effects: analysis of image metrics. *J Magn Reson Imaging.* 2000;11.
3. Ferzli R, Karam LJ. A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB). In: *IEEE Trans Image Proc.* vol. 18; 2009. p. 717 – 28.
4. Ferzli R, Karam LJ. Human visual system based on no-reference objective image sharpness metric. In: *Proc IEEE ICIP;* 2006. p. 2949–52.