Analyse und Korrektur der Abbildungsfehler einer Gammakamera mit Hilfe einer Feinnadelstrahl-Quelle

Posterpräsentation beim Workshop *Bildverarbeitung für die Medizin 1998 · Algorithmen, Systeme, Anwendungen*

U.Engeland, T.Striker und H.Luig

Forschungsgruppe Medizinische Physik, Zentrum Radiologie
Abteilung Nuklearmedizin Universitätsklinikum Göttingen
Email: uengela@gwdg.de

Zusammenfassung. Die Abbildung mit einer Gammakamera zeigt Inhomogenitäten und Nichtlinearitäten. Diese in vielfältigen Ursachen zu suchenden Fehler werden in der Elektronik der Kamera mit Hilfe von Korrekturalgorithmen teilweise behoben. Die für die Korrekturalgorithmen notwendigen Daten werden durch die Abbildung ausgedehnter Phantome gewonnen.
Ziel der Entwicklung einer hochkollimierten Nadelstrahlquelle war es, eine genau definierte Quellsituation zu besitzen. Anhand der Bilddaten, gwonnen mit einer solchen parallel zur Kamera-Oberfläche verfahrbaren Feinnadelstrahlquelle, entwickeln wir einen neuen Korrekturalgorithmus, der eine genauere differentielle Analyse der Abbildungseigenschaften der Kamera und eine entsprechende Korrektur ermöglicht.
Die Ergebnisse der Studie zeigen sowohl in der experimentellen Situation als auch mit Hilfe von Monte-Carlo Simulationen sehr gute Erfolge bei der Korrektur der Abbildungsfehler.

Schlüsselwörter: Gammakamera, Phantom, Homogenität, Nichtlinearität

1 Einleitung

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden Bilder der räumlichen Verteilung mit Gammastrahlern markierter Substanzen (Radiopharmaka) im Patienten aufgenommen. In der Regel werden diese Bilder mit Hilfe einer Gammakamera erstellt (siehe z.B [1]). Allein aufgrund der Funktionsweise einer Gammakamera kommt es zu inhärenten Abbildungsfehlern [2]. In jedem modernen Kamera-System werden diese Fehler microprozessorgestüzt korrigiert [2, 3].

Ziel unserer Arbeit war es, diese Abbildungsfehler mit hoher räumlicher Auflösung zu analysieren und neue Korrekturverfahren zu entwickeln.

Zunächst beschreiben wir die Abbildungsfehler einer Gammakamera. Danach gehen wir auf eine Quellanordnung ein, die es uns ermöglicht, gezielt sehr kleine Areale der Detektionsfläche anzusprechen. So ist es möglich, den Zusammenhang zwischen dem Ort des Auftreffens eines γ-Quants auf den Detektor und dem ihm durch die Gammakamera zugewiesenen Ort genau zu bestimmen.

Mit Hilfe dieser Information definieren wir ein verzerrungsfreies Pixelraster. Aufgrund der Kenntnis der lokalen Abbildungseigenschaft der Kamera haben wir ein iteratives Korrekturverfahren entwickelt, das insbesondere lokale Asymmetrien der Systemfunktion berücksichtigt. Wir haben die Korrekturverfahren anhand einer Monte-Carlo-Simulation einer Gammakamera untersucht.

Für unsere Experimente wurde eine Gammakamera vom Typ Picker CX-250 compakt eingesetzt.

2 Abbildungseigenschaften der Gammakamera

Gammakameras besitzen eine inhärente Unschärfe, d.h. die auf den Detektor aufgetroffenen Quanten werden von der Kamera mit einer Verteilung, die eine Halbwertsbreite von 3-4 mm besitzt, lokalisiert. Da dieser Effekt in der stochastischen Natur der beteiligten physikalischen Prozesse im Detektorsystem liegt und somit nicht vermieden werden kann, betrachten wir ihn im folgenden nicht als Abbildungsfehler.

Die beiden wichtigsten Abbildungsfehler der Gammakamera sind Nichtlinearitäten in der Ortsbestimmung und eine örtlichen Variation in der Energiebestimmung. Außerdem kann es es räumliche Unterschiede der Sensitivität des Detektors geben, die zu Inhomogenitäten führen.

Die für die üblichen Korrekturverfahren notwendigen Daten werden anhand von Aufnahmen spezieller Quellverteilungen ermittelt, bei denen ausgedehnte Bereiche des Detektors gleichzeitig bestrahlt werden. Eine sichere Zuordnung zwischen dem Ort des Auftreffens eines Quants auf den Detektor und der durch die Kamera registrierten Position ist dabei nicht möglich.

3 Die Feinnadelstrahlquelle (FNSQ)

Um die Abbildungseigenschaften der Gammakamera differentiell analysieren zu können, haben wir eine Quelle entwickelt, die einen gut definierten, möglichst nadelförmigen Strahl liefert.

Die Quelle besteht aus einem System dreier, aus Blei gefertigter Blenden (siehe Abbildung 1). Sie wird mit einer wäßrigen Lösung von ^{99m}Tc befüllt.

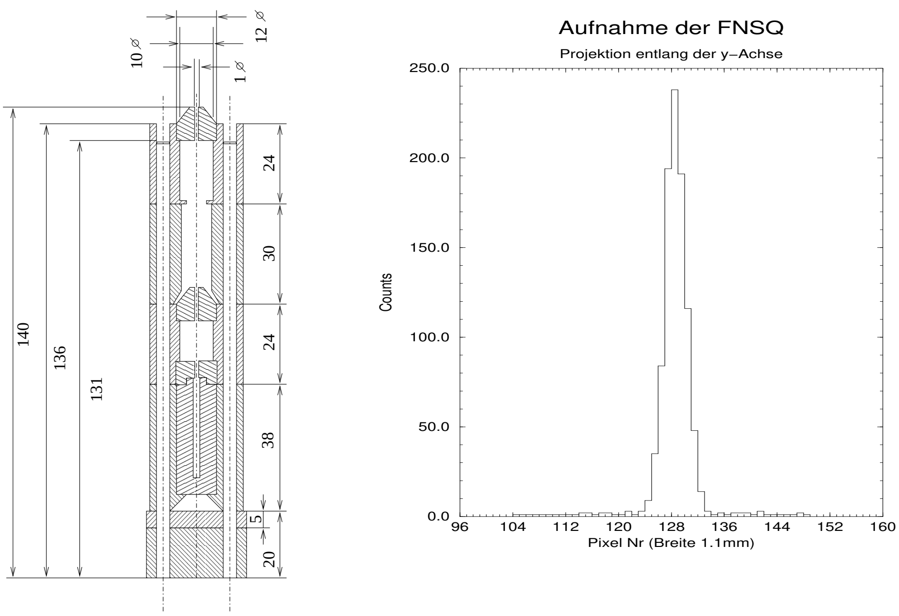
Die Quelle kann mit Hilfe einer Mechanik punktgenau unter der Gammakamera positioniert werden.

4 Bestimmung der Pixel

Der Grundgedanke unseres Korrekturverfahrens ist es, mit Hilfe der Quelle ein verzerrungsfreies Pixelraster zu definieren. Eine Position der Quelle entspricht dabei genau dem Zentrum eines Pixels des Bildes. Mit einer Kamera des uns

Abb. 1. **a** Schnitt durch die FNSQ, alle Maße in mm.**b** Projektion des Histogramms einer Aufnahme der FNSQ parallel zur y-Richtung. Die Einheiten an der Abzisse entsprechen 1.1 mm, an der Ordinate sind Counts aufgetragen.

a **b**

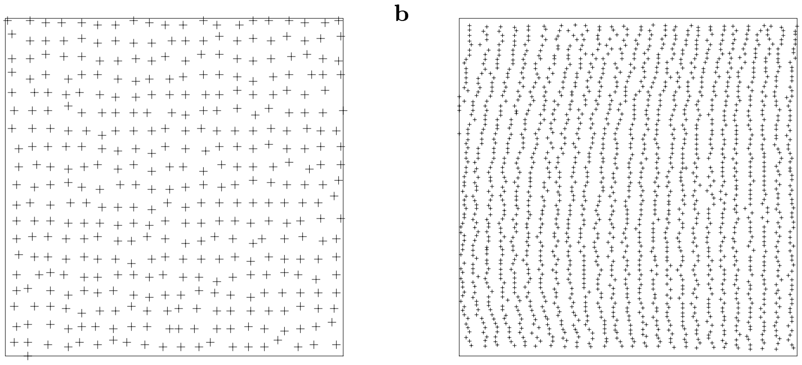


vorliegenden Typs werden Bilder mit maximal 256x256 Pixeln gemacht. Dementsprechend fahren wir mit der Quelle ein gleichmäßiges Raster aus 256x256 Positionen ab, wobei jeweils eine Aufnahme von einigen Sekunden gemacht wird.

Zu jeder Aufnahme wird mit Hilfe eines iterativen Algorithmus aus der Verteilung der "Bildorte" der registrierten Quanten der "repräsentative Bildort" bestimmt. Diese Punkte stellen die Mittelpunkte der zu definierenden Pixel dar. In Abbildung (2) **a** und **b** sind Beispiele gezeigt. Das Bild einer Position der FNSQ soll zunächst als symmetrisch angenommen werden. Die sich dadurch ergebenden Fehler werden im nächsten Abschnitt berücksichtigt. Zur Findung der repräsentativen Bildorte gehen wir folgendermaßen vor: Es wird zunächst ein dreidimensionales 128x128x4 Histogramm in x,y und Energiekoordinate gebildet und das Maximum gesucht. Um den Mittelpunkt der Koordinaten dieses Maximums wird ein Fenster gelegt, dessen Breite bzgl. des Ortes und der Energie so groß zu wählen ist, daß zum einen der überwiegende Anteil von γ-Quanten aus der FNSQ in diesem Bereich zu finden und zum anderen der Einfluß Hintergrundes so gering wie möglich ist. Aus den Quanten, die in diesem Fenster liegen, kann ein neuer Mittelpunkt berechnet werden. Um diesen wird erneut ein Fenster gelegt und die darin enthaltenen Quanten bestimmt aus denen wiederum ein neuer Mittelpunkt berechnet wird. Dies Verfahren wird in dem Moment abgebrochen, wo sich in zwei aufeinanderfolgenden Iterationsschritten keine wesentliche Änderung in den Koordinaten des Mittelpunkts ergeben hat.

Abb. 2. Nach unserem Verfahren bestimmte Mittelpunkte der Aufnahmen der FNSQ. Die FNSQ ist ein gleichmäßiges Raster mit Kantenlänge 1.1 mm abgefahren. **a**: Gleicher Maßstab auf x- und y-Achse. **b**: Zur Verdeutlichung der Abbildungsfehler ist der Maßstab in x-Richtung ein größerer Maßstab gewählt.(**a** stellt einen Ausschnitt aus **b** dar.).

a **b**



Diese Koordinaten werden der Position der FNSQ zugeordnet (Wichtig: Auch ein Mittelpunkt in der Energiekoordinate wird somit festgelegt.).

Die so bestimmten repräsentativen Bildorte haben sich als reproduzierbar erweisen. Die Abweichungen, die sich bei der Bestimmung der repräsentativen Bildorte mehrerer Aufnahmen der gleichen Quellposition ergeben, sind klein gegenüber der Kantenlänge des Rasters.

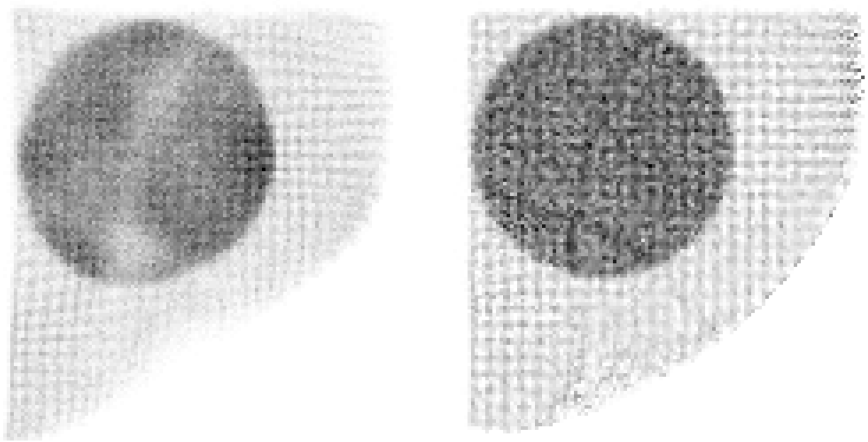
Zur Anwendung des obigen Verfahrens werden die registrierten Quanten einer Aufnahme in das Pixelraster eingeordnet. Die einem Quant zugewiesene Energie wird durch die Differenz des Mittelpunktes der Energie zum Sollwert korrigiert. (Dieses Verfahren läßt sich nur auf Aufnahmen anwenden, die mit dem gleichen Isotop wie in der FNSQ gemacht werden, in unserem Fall ^{99m}Tc.)

5 Berücksichtigung von Asymmetrien

Das Histogramm der Aufnahme in einer bestimmten Position der FNSQ liefert uns die Information, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein γ-Quant einem bestimmten Pixel zugeordnet wird. Mit Hilfe dieser Information können wir das Bild berechenen, welches die Kamera aus einer vorgegebenen Verteilung von Auftrefforten auf den Detektor liefert. Betrachten wir das nach obigem Verfahren gewonnene Bild als erste Näherung für die Verteilung der Auftrefforte, können wir das zugehörige Gammakamera-Bild berechnen. Die Differenz aus beiden Bildern kann entsprechend der Abbildungscharakteristik umverteilt werden. Wir haben einen Algorithmus entwickelt, der diese Differenz iterativ minimiert. In Abbildung 3 ist das Ergebnis nach fünf Iterationsschritten (**b**) im Vergleich mit dem unkorrigierten Bild (**a**) dargestellt.

Abb. 3. Simulation der Aufnahme einer gitterförmigen Quellanordnung überlagert mit einer kreisförmigen, homogenen Quelle. **a** vor, **b** nach iterativer Korrektur.

a **b**



6 Diskussion

Einzelne Positionen der FNSQ liefern Daten über die Abbildungscharakteristik der Gammakamera an unterschiedlichen Orten, die eindeutig voneinander trennbar sind. Dies ist möglich, weil einzelne Positionen nacheinander angefahren werden und die Bilder verschiedener Positionen sich daher nicht überlagern können. So ist eine sehr feine Korrektur der Fehler der Abbildung durchführbar.

Wir nutzen die gewonnene Information in zwei Schritten. Zunächst sind wir in der Lage, ein verzerrungsfreies Pixelraster zu erzeugen und gleichen somit Nichtlinearitäten der Kamera aus. Im zweiten Schritt werden lokale Anisotropien mit Hilfe eines Iterativen Algorithmus berücksichtigt. Es ist möglich die Datenerhebung zu automatisieren. Ziel der Entwicklung ist ein System, das die Parameter der Korrektur ständig aktualisiert.

Literatur

1. Webb S: The Physics of Medical Imaging. Institut of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1988.
2. Sorensen JA and Phelps ME: Physics in Nuclear Medicine. Grune & Stratton, Orlando, 1987.
3. Simmons GH: The Scintillation Camera. The Soc. of Nucl.Med., New York, 1988.