



**Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Medizinische Fakultät Mannheim
Dissertations-Kurzfassung**

Digital and Physical Phantoms for Image-guided Interventions

Autor: Dominik Fabian Bauer
Institut / Klinik: Computerunterstützte Klinische Medizin
Doktorvater: Prof. Dr. L. R. Schad

Mit den jüngsten Fortschritten im Bereich Deep Learning ist der Bedarf an annotierten Trainingsdaten in der medizinischen Bildgebung gestiegen. Aufgrund von Datenschutzgesetzen und weil die Annotation durch medizinische Experten zeitaufwändig ist, sind annotierte Trainingsdaten jedoch rar. In dieser Arbeit werden digitale und physische Phantomdaten eingeführt, um diesen Datenmangel zu überwinden. Die Phantome werden zur Entwicklung von Bildverarbeitungsalgorithmen und zur Validierung interventioneller Arbeitsabläufe verwendet, wobei der Schwerpunkt auf Eingriffen an der Leber liegt. Digitale Phantomdaten werden zur Entwicklung von Bildregistrierungsalgorithmen und einer Deep Learning Computertomographie (CT) Rekonstruktion zur Abschwächung von Metallartefakten verwendet. Darüber hinaus werden physische Phantome zur Validierung von robotischen Nadelführungssystemen und zur Optimierung von interventionellen Bildgebungsprotokollen hergestellt. Im ersten Teil dieser Arbeit wird ein Framework für die Synthese von abdominalen Bilddaten vorgestellt. Der generierte CT, Cone Beam CT (CBCT) und Magnetresonanztomographie (MRI) Datensatz ist inhärent registriert und wurde zur Optimierung von Registrierungsalgorithmen verwendet. Im Vergleich zu echten Patientendaten zeigten die synthetischen Daten eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der Intensitätsverteilung der Bildvoxel und der Rauschcharakteristik.

Im zweiten Teil wird eine End-to-End Deep Learning CT-Rekonstruktionstechnik namens iCTU-Net zur Reduzierung von Metallartefakten entwickelt. Das Netzwerk wurde mit simulierten Metallartefaktdaten trainiert, die von einem in dieser Arbeit entwickelten Datenerstellungssystem stammen. Das iCTU-Net war die einzige untersuchte Methode, die in der Lage war, Metallartefakte zu eliminieren. Bei Projektionsdaten mit erheblichen Artefakten erzielte das iCTU-Netz Rekonstruktionen mit SSIM = $0,970 \pm 0,009$ und PSNR = $40,7 \pm 1,6$. Die beste Referenzmethode, ein bildbasiertes Post-Processing-Netzwerk, erreichte nur SSIM = $0,944 \pm 0,024$ und PSNR = $39,8 \pm 1,9$.

Der dritte und vierte Teil befasst sich mit der Herstellung physischer Phantome für die Validierung von interventionellen Arbeitsabläufen. Zur Validierung eines standardisierten Arbeitsablaufs für die Diagnose oligometastatischer Erkrankungen (OMD) wurde ein abdominales Phantom hergestellt, das eine Leber und sechs Leberläsionen mit unterschiedlicher Sichtbarkeit in CT und MRI enthält. Der Arbeitsablauf umfasst eine multimodale Bildaufnahme, Bildsegmentierung und -registrierung sowie eine robotergestützte Leberbiopsie. Unter Verwendung ähnlicher Materialien und eines ähnlichen Herstellungsprozesses wurde ein Beckenphantom mit einer Prostata und vier Prostataläsionen hergestellt. Das Beckenphantom wurde zur Durchführung einer MRI-gestützten Prostatabiopsie unter Verwendung eines MRI-kompatiblen Robotersystems zur Nadelführung verwendet.

Die vorgestellte Arbeit ermöglicht die Erstellung von Phantomdaten für die Entwicklung und Validierung einer Vielzahl von medizinischen Bildgebungsanwendungen. Es wurden erfolgreich Algorithmen für multimodale Bildregistrierung und CT-Bildrekonstruktion entwickelt und physische Abdomen- und Beckenphantome für bildgesteuerte Eingriffe hergestellt. Auch wenn der Schwerpunkt dieser Arbeit auf Eingriffen an der Leber lag, lassen sich die vorgestellten Konzepte problemlos auf andere Körperregionen übertragen.