

Streszczenie

W niniejszej rozprawie przedstawiono metody modelowania i symulacji układu obrazowania rentgenowskiego z kontrastem fazowym i modulacją natężenia promieniowania przy oświetleniu krawędziowym. Zastosowano reprezentacje obiektów różnego typu, w postaci siatek, wokseli oraz powierzchni złożonych z krzywych B-sklejanych, dla uzyskania realistycznych map rozkładu kontrastu fazowego promieniowania rentgenowskiego w układzie o rozmiarach odpowiednich do obrazowania anatomii człowieka. Cel pracy został osiągnięty dzięki użyciu antropomorficznych fantomów numerycznych oraz poprzez zaprojektowanie oraz implementację struktur symulacji, które uwzględniają całkowite prawdopodobieństwa oddziaływań promieniowania X na jego drodze w obrazowanym obiekcie. Zbadano matematyczne oraz algorytmiczne własności powierzchni B-sklejanych oraz opisano metody reprezentacji fantomów w ludzkiej skali w modelu obrazowania z kontrastem fazowym przy oświetleniu krawędziowym. Prezentowane metody modelowania doprowadziły do uzyskania wysokiego stopnia dokładności obrazowania przy zachowaniu wysokiej wydajności obliczeniowej, dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod przetwarzania obrazów w postaci transformacji krzywkowych z wykorzystaniem procesorów graficznych GPU. Przedstawiona implementacja pozwala na modelowanie oddziaływań fizycznych promieniowania rentgenowskiego z różnymi obiektami wraz z rejestracją parametrów i wielkości, takich jak np.: całkowita droga przebyta przez promień, miejsca oddziaływań, czy zdeponowana energia. Zaproponowany model obrazowania w układzie z oświetleniem krawędziowym może być wykorzystany w projektowaniu dedykowanych algorytmów rekonstrukcji iteracyjnych dla tomografii bazującej na wieloprocessorowych układach heterogenicznych w tej metodzie obrazowania. Zaprezentowane wyniki pokazują dobrą wydajność modelu opartego o ray-tracing i metody Monte Carlo dla medycznego obrazowania rentgenowskiego różnego typu ludzkich tkanek miękkich. Ponadto przedstawione wyniki modelowania układu potwierdzają, że budowa rzeczywistego systemu obrazowania z kontrastem fazowym przy oświetleniu krawędziowym w ludzkiej skali powinna być możliwa a zaprezentowane symulacje mają na celu jego dalszy rozwój dla zastosowań w diagnostyce medycznej.

Słowa kluczowe: x-ray imaging, phase-contrast, x-ray image restoration, biomedical x-ray imaging, edge illumination at a human scale

Abstract

In this thesis we introduce modelling frameworks feasible for simulating of intensity modulated edge illumination X-ray phase contrast imaging modality at a human scale. We have examined objects of different type represented by mesh grids, voxels, and non-uniform rational B-spline surfaces (NURBS) to reproduce realistic maps of X-ray phase-contrast in the imaging system capable of imaging of human anatomy. We achieved this ultimate goal by implementing structures of simulations that take into account total probability of X-ray interactions on its path length in the object (i.e. numerical anthropomorphic phantoms). We investigated algorithmic and mathematical properties of B-spline surfaces and detailed the methods of representing human scale phantoms in the model of edge illumination X-ray phase-contrast imaging. Results confirmed high imaging accuracy with rapid and efficient computing using advanced image processing based on curvelet transforms on GPU. Implementation presented here enables modelling of X-ray physical effects during the interaction with the object including registration of specific parameters, e.g. total x-ray path length, interaction sites, deposited energy. Presented model may serve as a basis for the development of a tailored iterative reconstruction algorithms for computed tomography with multithreading graphic processors and heterogeneous systems. We show fine efficiency of the ray-tracing and Monte Carlo model on medical X-ray phase-contrast imaging cases of human soft tissues. Furthermore, presented results confirm, that the human scale hardware imaging system dedicated for described modality should be possible and simulation framework proposed here aims to support future development of X-ray phase-contrast methods for medical diagnostics.

Keywords: x-ray imaging, phase-contrast, x-ray image restoration, biomedical x-ray imaging, edge illumination at a human scale