

Rozwój systemu detekcyjnego do obrazowania przestrzennego rozkładu pierwiastków metodą fluorescencji rentgenowskiej

Streszczenie

Analiza przestrzennego rozkładu pierwiastków z wykorzystaniem nieinwazyjnej i nieniszczącej rentgenowskiej spektroskopii fluorescencyjnej na przestrzeni ostatnich lat stała się bardzo istotnym narzędziem wspierającym pracę konserwatorów oraz historyków sztuki. Mapowanie pierwiastkowe obiektów zabytkowych pozwala na studiowanie dystrybucji przestrzennych zastosowanych nieorganicznych pigmentów malarskich zawartych zarówno w warstwach wierzchnich jak i w niewidocznych warstwach spodnich. Otrzymane w wyniku takiego badania rezultaty dostarczają na przykład informacji o stanie zachowania obiektu, jakości przeprowadzonych w przeszłości procesów konserwacji, rozszerzają i uaktualniają dostępną wiedzę o technice i warsztacie artysty, a także służą pomocą podczas formułowania wniosków dotyczących pochodzenia czy autentyczności rozpatrywanego dzieła.

Najpopularniejszą techniką stosowaną do uzyskiwania map przestrzennych rozkładów pierwiastków jest podejście bazujące na konsekwentnym skanowaniu punkt po punkcie, skolimowaną przy pomocy polikapilary, mikrowiązką promieniowania rentgenowskiego. Opracowane w ten sposób spektrometry charakteryzują się zarówno wysoką rozdzielczością przestrzenną jak i energetyczną. Niestety z uwagi na wykorzystywaną optykę, ich stosowalność ograniczona jest jedynie do obiektów płaskich. Istotny jest również stosunkowo długi czas pomiaru w szczególności dla dzieł wielkogabarytowych. W efekcie niedogodności te spowodowały rozpoczęcie prac nad alternatywną techniką tj. bazującą na obrazowaniu pełnoobszarowym.

Celem niniejszej pracy był rozwój takiego właśnie pełnoobszarowego systemu detekcyjnego do obrazowania przestrzennego rozkładu pierwiastków metodą fluorescencji rentgenowskiej. W rozprawie przedstawiono kompleksowy opis budowy oraz funkcjonowania systemu z podziałem na poszczególne jego składowe. Szczególną uwagę poświęcono projektowi dedykowanego specjalizowanego układu scalonego do odczytu sygnałów z detektora, którego realizacja pomogła znacznie obniżyć szumy elektroniczne. Po wstępnym przedstawieniu budowy spektrometru rozprawa omawia wszelkie czynności związane z optymalizacją jego energetycznej zdolności rozdzielczej. Dyskusja obejmuje przede wszystkim zastosowany detektor oraz związane z nim efekty charakterystyczne. W wyniku przeprowadzonych prac uzyskana energetyczna zdolność rozdzielcza systemu wyniosła około 17% szerokości połówkowej dla linii K_{α} manganu (5,9 keV).

Zasadniczą treść manuskryptu stanowi szczegółowy opis wypracowanej metodyki analizy danych pomiarowych uwzględniający ich specyfikę oraz konieczne do przeprowadzenia zabiegi korekcyjne. W dedykowanym oprogramowaniu do generacji map pierwiastkowych oprócz standardowej metody ROI zastosowano dwa algorytmy uczenia maszynowego: PCA (PCA – ang. Principal Component Analysis) oraz NMF (NMF – ang. Non-negative Matrix Factorization). Ich aplikacja znacząco podniosła możliwości rozwijanego systemu.

W ramach szerokiej diagnostyki wypracowanej procedury analizy oraz demonstracji potencjału badawczego rozwijanego spektrometru przeprowadzono pomiary kilkunastu różnych rzeczywistych obiektów muzealnych. W rozprawie zaprezentowano rezultaty pomiarowe dla kilku wybranych dzieł. Na szczególną uwagę zasługują wyniki uzyskane dla obiektów przestrzennych, które potwierdzają dużą głębię ostrości opracowanego systemu oraz jego zdolność do obrazowania obiektów o nieregularnych, przestrzennych kształtach bez utraty przy tym rozdzielczości przestrzennej. Prezentowane w pracy rezultaty wskazują na przydatność rozwijanego spektrometru w docelowym obszarze jego zastosowań tj. badań dzieł sztuki.