



prof. dr hab. n. farm. Łukasz Komsta
Uniwersytet Medyczny w Lublinie
Wydział Farmaceutyczny
Katedra i Zakład Chemii Leków
ul. Jaczewskiego 4, 20-090 Lublin, tel. 81 4487387

Recenzja pracy doktorskiej mgr Pawła Dzikiego

„Badanie jakości produktów poligraficznych przy użyciu kamer hiperspektralnych ze szczególnym uwzględnieniem barwy”

TRADYCYJNA fotografia cyfrowa w połączeniu z algorytmami obróbki obrazu i uczeniem maszynowym jest stosowana z powodzeniem w wielu dziedzinach nauki. Każdy zarejestrowany w ten sposób punkt obrazu jest charakteryzowany jedynie przez trzy składowe (RGB) obejmujące szerokie zakresy widma widzialnego. Stwarza to liczne ograniczenia i nawet dodanie kanału bliskiej podczerwieni (NIR) wciąż uniemożliwia zarejestrowanie wielu detali spektralnych, które mogą być kluczowe dla detekcji określonych cech obrazowanej próbki.

Rozwój obrazowania hiperspektralnego pozwolił na możliwość rejestracji wielu bardzo wąskich pasm spektralnych, co w przeciwieństwie do RGB oznacza zarejestrowanie dość dokładnego widma światła z każdego punktu analizowanego materiału. Dostarcza to nieporównywalnie więcej informacji, zaś nadal pozostaje metodą szybką i nieinwazyjną. Technika ta rozwija swoje skrzydła dopiero w połączeniu z właściwą obróbką danych, włączając w to zaawansowane metody uczenia maszynowego. W ostatnim czasie obserwuje się coraz szersze stosowanie analizy hiperspektralnej do oceny jakości, potwierdzania tożsamości, czy też klasyfikacji próbek i produktów.

W ten właśnie trend wpisuje się przedłożona do recenzji rozprawa doktorska, wykonana w Instytucie Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach pod promotorstwem prof. dr hab. MICHAŁA DASZYKOWSKIEGO i bezpośrednią opieką mgr KATARZYNRY RYBICKIEJ. Tematyka oscyluje wokół wykorzystania technik obrazowania hiperspektralnego, połączonych z podejściem chemometrycznym w nieinwazyjnej kontroli jakości powierzchni materiałów poligraficznych, opartej na wieloaspektowej analizie uzyskanych w obrazowaniu widm. Badania skupiły się głównie na zakresie światła widzialnego w związku z charakterem tych próbek (są to materiały barwne, dla których kolor jest jedną z najbardziej istotnych cech z punktu widzenia konsumenta).

Doktorant postanowił wypracować nową metodykę takiej analizy i klasyfikacji, dobrać zastosowaną strategię pod kątem wykorzystania wszystkich możliwości, jakie daje ta technika, ocenić powtarzalność tego sposobu kontroli próbek, a następnie wdrożyć opracowaną przez siebie metodykę

w praktyce. Wszystkie te cele zostały w pracy osiągnięte.

Potwierdzono w badaniach wszystkie sformułowane na początku hipotezy badawcze: kamera hiperspektralna może całkowicie zastąpić powszechnie używane urządzenia do pomiarów punktowych barw, obrazy hiperspektralne są dodatkowo wydajniejsze i umożliwiają bardziej złożone testy, a dodatkowo cała analiza jest możliwa w czasie rzeczywistym lub zbliżonym do rzeczywistego na współczesnym sprzęcie komputerowym.

W części teoretycznej Doktorant omówił istotność percepcji barw w rozwoju cywilizacji ludzkiej, podkreślił wagę oceny wizualnej produktów dla oceny ich jakości i wartości, nawiązał również do wizualnej oceny autentyczności papierów wartościowych oraz wzrokowej oceny koloru w diagnostyce medycznej, zarówno w dawnych czasach jak i współcześnie. Opisał także matematyczne miary podobieństwa, które mogą zostać zastosowane do porównawczej oceny próbek na podstawie ich sygnałów spektralnych.

Przedstawione zostały aktualne modele używane do wyrażania barw, sposoby ich konstrukcji oraz techniki pomiarowe. Jest to szybko zmieniająca się dziedzina, ponieważ liczba kolorów, jakie może dostrzec ludzkie oko, wykracza w praktyce znacznie poza trójwymiarowy model RGB, zarówno pod względem ilości obserwowalnych odcieni, jak również w kontekście możliwego zakresu dynamiki (intensywności kolorów).

Omówiono możliwości typowych kamer hiperspektralnych, problem odpowiednich źródeł światła, właściwego oświetlenia obrazowanych materiałów oraz wpływ wielkości i kształtu analizowanego obszaru (apertury) na wynik obrazowania. Informacje te zostały porównane z zasadą działania spektrofotometrów poligraficznych oraz skonfrontowane z ludzką percepcją koloru, która w wielu zastosowaniach pozostanie decydująca. Doktorant odniósł się również do aktualnych metod kontroli postrzegania barw przez człowieka, które są kluczowe przy sprawdzaniu, na ile dana osoba jest w stanie oceniać dostarczane próbki pod względem kolorów. Istotna część tekstu poświęcona jest opisowi kontroli jakości w poligrafii.

Część teoretyczna w pełni udowadnia ogólną wiedzę Doktoranta w dziedzinie prowadzonych przez siebie badań, stosownie do aktualnych przepisów.

Część doświadczalna została zaplanowana kompleksowo. Doktorant wziął pod uwagę różne czynniki mogące mieć wpływ na pomiar. Już na samym początku zaobserwował wyraźny trend w uzyskanych pomiarach, spowodowany nagrzewaniem się urządzenia. Pomiary referencyjne były zaprojektowane tak, aby umożliwić ocenę zmienności zarówno pomiędzy różnymi polami tego samego koloru, jak i wewnątrz danego pola i w ten sposób pozwolić na bardziej złożone spojrzenie na propagację błędów. Tylko dzięki swoistej ostrożności i sceptycyzmowi można było zauważyć niestabilność pomiaru w czasie i odrzucić spektrofotometr poligraficzny jako wiarygodne źródło referencyjnych pomiarów.

Dodatkowo ze względu na złożoność zachowania się kamer hiperspektralnych w niektórych warunkach

konieczne było pionierskie rozwiązanie szeregu problemów, na które nie można odnaleźć odpowiedzi w dokumentacji sprzętu ani też w dotychczasowych publikacjach powstałych z ich zastosowaniem. Jednym z najważniejszych była szybkość pamięci operacyjnej komputera zbierającego dane, ilość pamięci podręcznej procesora oraz liczba jego rdzeni.

Ze względu na obsługę kart graficznych (GPU) przez współczesne algorytmy chemometryczne, możliwe było również sprawdzenie różnic w szybkościach przetwarzania obrazu w czasie rzeczywistym w przypadku dołożenia GPU do konfiguracji komputera. Jak się nietrudno domyślić — różnice w zakresie szybkości okazały się znaczne i bardzo istotne. Również nie bez znaczenia jest rodzaj interfejsu do pamięci masowej, jego przepustowość, a także cały szereg innych sprzętowych detali, mogących tę przepustowość ograniczać.

Mimo konfiguracji stanowiska pomiarowego zgodnej z podstawowymi rekomendacjami producenta, specyfikacja sprzętowa okazała się niewystarczająca do ciągłej akwizycji tak dużej ilości danych, na przykład w skanach pojawiały się zgubione linie.

Istotnym wnioskiem z przeprowadzonych badań jest możliwość kompresji uzyskanych widm hiperspektralnych, gdzie przestrzeń pomiarowa zostaje skutecznie zredukowana z kilkuset do kilku wymiarów. W takiej przestrzeni można na bieżąco obserwować zmiany procesów poligraficznych.

W związku z obciążeniem punktów pomiarowych błędem czysto losowym, ich rozmieszczenie w podprzestrzeni ma charakter wielowymiarowego rozkładu normalnego, dodatkowo o zerowej kowariancji ze względu na zastosowanie metody analizy głównych składowych. Znając można konstruować testy wykrywające wyjście poza obszar typowego widma próbki.

Nowatorskim sposobem analizy jest wizualizacja odległości euklidesowej pomiędzy dwoma kolejnymi etapami druku względem odległości od środka danych w wielowymiarowej przestrzeni. Naniesienie na taki wykres elips zmienności daje możliwość oceny odstępstwa od idealnej sytuacji, kiedy wszystkie elipsy byłyby identyczne pod względem kształtu, orientacji oraz położenia.

Do stworzenia reguł decyzyjnych Doktorant zastosował metodę SIMCA. Sprawdziła się ona w pełni, udowadniając stabilność pomiarów wewnątrz grupy referencyjnej, jak również możliwość wykrycia braku stabilności druku (dla każdego koloru osobno) w wydrukach badanych.

Wyniki badań zostały wykorzystane wdrożeniowo poprzez zorganizowanie kompletnego i działającego stanowiska pomiarowego. Jego istotną częścią jest oprogramowanie w języku Python, napisane specjalnie w ramach realizacji pracy doktorskiej, służące do analizy otrzymanych obrazów.

Jest ono przygotowane w oparciu o interfejs tekstowy, jednak w pełni spełnia swoją funkcję. Myślę, że dobrym tematem do dyskusji na obronie byłyby argumenty za wyborem języka Python do takiego celu, jak również sposób, w jaki można byłoby zaprojektować w przyszłości graficzny interfejs użytkownika.

Brakuje mi również informacji o zastosowanych bibliotekach. Nie ma to żadnego znaczenia z punktu widzenia wdrożenia w konkretnej firmie, jednak w przypadku podjęcia decyzji o dystrybucji oprogramowania, istotne mogą być różnice w licencjach konkretnych bibliotek, z których korzystano do tworzenia oprogramowania.

Interesowałoby mnie też, czy program uruchamiany jest z kodu źródłowego, czy była także podjęta próba stworzenia formy wykonywalnej przy użyciu narzędzi typu PyInstaller. A jeśli była, to czy był obserwowany jakikolwiek spadek wydajności?



Praca doktorska stanowi przykład rozwiązania kompleksowego i interdyscyplinarnego problemu techniczno-chemicznego i wdrożenia otrzymanych rozwiązań w praktyce. Do najważniejszych jej osiągnięć należy wykazanie, że obrazowanie hiperspektralne może być skutecznym narzędziem stałej i rutynowej kontroli jakości powierzchni zadrukowanych.

Wymaga to jednak, co potwierdziły badania pracy i jest cennym wnioskiem, skonstruowania stanowiska w oparciu o niezawodny sprzęt o konkretnej i sprawdzonej wydajności, ponieważ wymagania sprzętowe są znacznie większe niż w przypadku typowych naukowych zastosowań kamer hiperspektralnych.



Podsumowując, praca doktorska mgr Pawła Dzikiego spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz.1789) oraz art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 30 sierpnia 2018 r. poz. 1669). Wnioskuje zatem o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Lublin, 5 grudnia 2025.