

Andrzej KORDECKI, Artur BAL
POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Wpływ wyboru pól wzorca na wierność odwzorowania barw w procesie kalibracji kolorymetrycznej

mgr inż. Andrzej KORDECKI

Ukończył kierunek Automatyka i Robotyka z tytułem magistra inżyniera na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Uczestniczył w studiach doktoranckich na Politechnice Śląskiej w zakładzie Inżynierii systemów. Jego zainteresowania naukowe skupiają się wokół zagadnienia wpływu przekształceń barw w procesie akwizycji obrazu na wierność kolorymetrycznej odwzorowania rzeczywistości.

e-mail: andrzej.kordecki@polsl.pl



dr inż. Artur BAL

Autor jest absolwentem Politechniki Śląskiej, gdzie obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Automatyki. Jego zainteresowania badawcze obejmują m.in. zagadnienia związane z przetwarzaniem i analizą obrazów a w szczególności: analizę obrazów biomedycznych, obszarową segmentację obrazów, wizualną archiwizację obiektów, odwzorowanie barw. Jest kierownikiem Laboratorium Wizualnej Archiwizacji Cyfrowej utworzonego w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej.

e-mail: artur.bal@polsl.pl



Streszczenie

Wierna reprodukcja barw wymaga przetworzenia informacji zawartych w obrazach cyfrowych. W tym celu stosowane są metody zarządzania barwą, a w szczególności kalibracja kolorymetryczna. Wykorzystuje ona transformację barw z przestrzeni barw urządzenia do przestrzeni barw niezależnej od urządzeń. Stosowanie kalibracji kolorymetrycznej wymaga zastosowania wzorników barw, a istotny wpływ na wynik kalibracji ma dobór pól wzornika, na podstawie których prowadzona jest kalibracja. Zagadnienie to zostało przebadane w niniejszej pracy. Ponadto dokonano analizy wpływu zastosowanej metody aproksymacji (testowano regresję liniową i wielomianową) oraz interpolacji (zastosowano interpolację Sheparda) na wierność reprodukcji barw.

Słowa kluczowe: barwa, transformacja barw, otwarty system zarządzania barwą, wzornik barw

The influence of color pattern selection on the faithfulness of color reproduction*

Abstract

The faithful color reproduction require digital images processing. The way to achieve this goal is to apply methods of color management, particularly the colorimetric calibration. We use it as the mechanism for converting color from device color space to device independent color space. This is a basis for the open color management system (Fig 1). Methods for converting colors between these two color spaces are based on training data. Procedure to obtain training samples use image acquisition of color chart like X-Rite ColorChecker (Fig. 2). We test the influence of the choice of color squares on mapping methods: linear regression (Tab. 1), polynomial regression (Tab. 2) and Shepard interpolation (Tab. 3). The accuracy of color reproduction was based on the color difference indexes: ΔE_{76} and ΔE_{94} . Our results confirm that selection of appropriate group of training data influence faithfulness of color reproduction. In spite of the fact that linear regression is relatively easy to calculate it gave us good results for all groups. The best result in converting colors was estimated for the G3 group and 1th order polynomial regression. Group G3 consisted of six

chromatic and six achromatic squares. On the results have also influence an applied method of color mapping (Tab. 4).

Keywords: color, color transformation, open color management system, color chart

1. Wstęp

Rosnąca liczba urządzeń (takich jak np. skanery, aparaty fotograficzne, kamery) służących pozyskiwaniu obrazów oraz łatwy do nich dostęp powoduje wzrost liczby pozyskiwanych i przechowywanych obrazów o różnej jakości. Coraz częściej jednak stawiane jest wymagane aby pozyskane obrazy wiernie odwzorowywały barwy występujące w oryginale. Sposobem na osiągnięcie tego celu jest stosowanie metod zarządzania barwą, a w szczególności stosowanie kalibracji kolorymetrycznej.

Większość wśród stosowanych obecnie systemów zarządzania barwą stanowią tzw. systemy otwarte [1, 2]. W tego typu systemach niezależna od urządzeń przestrzeń barw tzw. pośrednia przestrzeń profili (ang. *profile connection space*, PCS) służy jako przestrzeń odniesienia dla wszystkich transformacji barw między urządzeniami (rys. 1). Taka pośrednia przestrzeń barw musi pozwolić na zapisanie wszystkich barw jakie może zobaczyć człowiek będąc przy tym przestrzenią percepcyjnie równomierną — warunki te spełnia m.in. przestrzeń CIELAB. W celu wykonania przekształcenia barw z przestrzeni barw urządzenia do przestrzeni pośredniej tak by oryginalne barwy obrazowanego obiektu lub sceny zostały możliwie wiernie w niej odwzorowane wymagane jest pozyskanie danym urządzeniem obrazu wzornika barw jakim jest np. X-Rite ColorChecker (rys. 2). Na podstawie porównania znanych wartości barw pól wzorca z odpowiadającymi im barwami w pozyskanym obrazie wyznaczane są reguły przekształcenia wszystkich barw odwzorowywanych przez to urządzenie. Ze względu na to, że każdy wzornik zawiera wzorce ograniczonej liczby barw do określenia zasad przekształcenia barw w nim nieobecnych konieczne jest stosowanie metod przybliżonych wykorzystujących np. aproksymację krzywych odwzorowania barw wzorcowych.



Rys. 1. Schemat ideowy otwartego systemu zarządzania barwą
Fig. 1. Open color management system

W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem wyboru pól wzornika barw stosowanego w procesie kalibracji na odwzorowanie barw. Do transformacji barw z przestrzeni urządzenia do przestrzeni pośredniej wykorzystano metody aproksymacji regresją liniową i wielomianową oraz interpolację Sheparda. Do oceny dokładności odwzorowania barw zastosowano miary różnicy barw ΔE_{76} i ΔE_{94} .

W rozdziale 2 opisano warunki prowadzonych badań. Rozdział 3 zawiera informacje o zastosowanych metodach aproksymacji

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2009 jako projekt badawczy rozwojowy MNiSW nr R02 018 01. Praca została zrealizowana w Laboratorium Wizualnej Archiwizacji Cyfrowej Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej.

macji i interpolacji. W rozdziale 4 opisano stosowane metody oceny różnicy barw. Uzyskane wyniki przedstawione zostały w rozdziale 5. Ostatni, 6 rozdział stanowi podsumowanie.

2. Cel i opis przeprowadzonych badań

Rosnące wymagania jakościowe osób amatorsko zajmujących się fotografią powodują, że metody zarządzania barwą coraz częściej stosowane są w fotografii amatorskiej. Tak jak to zaznaczono we wstępie kalibracja kolorymetryczna wymaga stosowania wzorników barw, jednak ich stosowanie w fotografii amatorskiej jest poważanie ograniczone przez koszt ich zakupu, który w znacznym stopniu zależy od liczby pól jakie posiada wzornik. Celowe zatem wydaje się określenie wpływ stosowania mniejszej liczby pól wzornika na wyniki kalibracji kolorymetrycznej.

Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu wzornika barw X-Rite ColorChecker (rys. 2), który w środowisku jest uznawany za standard. Wzornik ten zawiera łącznie 24 pola, które są reprezentatywną próbką barw istotnych z punktu widzenia praktyki fotograficznej. Ze względu na rodzaj odwzorowywanych barw pola wzornika można podzielić na trzy zestawy:

- zestaw 1 (pola 1–12) — pola te reprezentują barwy obiektów rzeczywistych, których prawidłowe odwzorowanie sprawia duże problemy oraz barwy często występujące w praktyce fotograficznej takie jak np. barwa skóry ludzkiej o ciemnej (pole 1) i jasnej (pole 2) karnacji, błękit nieba (pole 3), zieleni liści (pole 4),
- zestaw 2 (pola 13–18) — pola prezentujące poszczególne składowe przestrzeni RGB (pola 13–15) i CMY (pola 16–18),
- zestaw 3 (pola 19–24) — składa się z pól achromatycznych o różnej jasności.



Rys. 2. Wzornik X-rite ColorChecker z zaznaczonymi numerami pól
Fig. 2. X-rite ColorChecker with marked number on each color square

Pola wzornika wykonane są z zapewnieniem wysokiej dokładności i powtarzalności odwzorowania barw, a światło odbite od każdego pola ma taki sam rozkład widmowy w całym zakresie widma widzialnego jak reprezentowana przez to pole rzeczywista barwa. Dokładny opis wykorzystanego do badań wzornika można pobrać z strony producenta [3].

W pracy zbadany został wpływ liczby pól wzornika jak i ich składu (udział pól chromatycznych i achromatycznych) oraz wyboru metody aproksymacji na dokładność odwzorowania barw. Badania przeprowadzono dla następujących sześciu grup pól wzornika służących jako dane wzorcowe:

- grupa G1 — pola 19–24 (6 pól),
- grupa G2 — pola 13–18 (6 pól),
- grupa G3 — pola 13–24 (12 pól),
- grupa G4 — pola 1–12 (12 pól),
- grupa G5 — pola 1–12 i 19–24 (18 pól),
- grupa G6 — pola 1–18 (18 pól).

Punktem wyjścia do takiego doboru grup był opisany powyżej podział pól wzornika ze względu na genezę ich barwy. Pola, które dla danej grupy nie były polami wzorcowymi traktowano jako pola testowe i wykorzystano je do oceny uzyskanych wyników kalibracji. Kryterium oceny była różnica między barwą pól testowych po kalibracji a ich wzorcową wartością określoną przez producenta wzornika. Kalibracja dla każdej grup została przeprowadzona z wykorzystaniem przynajmniej dwóch metod przybliżenia barw pól testowych.

Do badań wykorzystano aparat Canon EOS 400D z wyłączonymi funkcjami automatycznymi wpływającymi na rejestrowane barwy; do oświetlenia sceny zastosowano dwa źródła światła o temperaturze barwowej 5000K.

3. Zastosowane metody aproksymacji

3.1. Aproksymacja regresją liniową i wielomianową

Na potrzeby pracy przyjęto, że każdy z kanałów wyjściowej przestrzeni barw aproksymowany jest tą samą metodą aproksymacji jednak z parametrami indywidualnie dobieganymi do poszczególnych składowych przestrzeni RGB. Celem aproksymacji jest dobór parametrów b funkcji aproksymującej, zwanej dalej modelem. Wartości parametrów b_{opt} będące rozwiązaniem zadania aproksymacji powinny minimalizować różnicę między wartościami barw wyliczonymi z modelu, a wartościami barw pól wzorcowych podanymi przez producenta wzornika.

W przypadku regresji liniowej i wielomianowej do wyznaczenia b_{opt} wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów. Parametry będące rozwiązaniem minimalizują zatem następującą funkcję

$$b_{opt} = \min_b (y - \hat{y})^T (y - \hat{y}), \quad (1)$$

gdzie y to wartość rzeczywista, a $\hat{y}$ to wartość otrzymana w wyniku aproksymacji.

W metodzie regresji liniowej zależność między zmienną zależną $\hat{y}$, a jedną lub wieloma zmiennymi niezależnymi x , jest równa

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n; \quad (2)$$

w przypadku regresji wielomianowej pierwszego stopnia ($s=1$) zależność ta przyjmuje następującą postać (x_1, x_2, x_3 zmienne niezależne)

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s \sum_{k=0}^s b_i x_1^i x_2^j x_3^k. \quad (3)$$

Nie przeprowadzono obliczeń metodą regresji wielomianowej dla grup barw wzorcowych zawierających mniej elementów niż liczba parametrów aproksymacji tzn. dla grup G1 i G2.

3.2. Interpolacja Sheparda

Metoda interpolacji Sheparda wykorzystuje odpowiednio dobrane wagi. Bazują one głównie na wyznaczaniu odległości pomiędzy punktem interpolowanym, a danymi treningowymi.

Pierwszym krokiem algorytmu interpolacji jest przybliżone przekształcenie barw wejściowych x do przestrzeni docelowej za pomocą funkcji aproksymującej

$$\hat{y} = f_{approx}(x). \quad (4)$$

W tym celu wykorzystano transformację barw z przestrzeni RGB do CIELAB z wykorzystaniem profilu sRGB dostępnego w systemie Microsoft Windows XP.

Wzór ogólny na aproksymację Sheparda jest następujący

$$y = \hat{y} + K_w \sum_{i=0}^T w(x - x_i) e_i. \quad (5)$$

W obliczeniach wykorzystujemy błąd

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

oraz współczynnik normalizujący K_w , zapewniający że suma wag będzie wynosić 1, w rezultacie otrzymujemy

$$K_w = \left(\sum_{i=0}^T w(x - x_i) \right)^{-1}. \quad (6)$$

W niniejszej pracy zastosowano metodę doboru wag przedstawioną w [4]; metoda ta opisana jest wzorem

$$w(x - x_i) = \left(\|x - x_i\|^p + \varepsilon \right)^{-1}, \quad (7)$$

gdzie: p , ε są parametrami określającymi istotność wpływu odległości na interpolację, ze względu na ich niewielki wpływ przyjęto $p=2$, $\varepsilon=0,001$.

4. Pomiar różnicy barw

Liczbowa miarą różnicy barw stosowaną w zarządzaniu barwą, zgodną z różnicą barw postrzeganą przez człowieka, jest wskaźnik ΔE . Wskaźnik ten wyznaczany jest tylko w równomiernych przestrzeniach barw. Przyjmuje się, że wartość ΔE ma następujący związek z percepcją barw przez człowieka [5]:

- $\Delta E \leq 1$ — różnica barw niezauważalna dla człowieka,
- $1 < \Delta E \leq 2$ — bardzo mała różnica barw zauważalna tylko przez doświadczanego obserwatora,
- $2 < \Delta E \leq 3,5$ — średnia różnica barw zauważalna także przez niedoświadczanego obserwatora,
- $3,5 < \Delta E \leq 5$ — wyraźna różnica barw,
- $\Delta E > 5$ — znacząca różnica barw.

Ze względu na techniczne trudności z osiągnięciem i utrzymaniem odpowiednio małych wartości różnic barw w zastosowaniach związanych z poligrafia i grafiką komputerową różnice $\Delta E < 2$ uważa się za praktycznie niemożliwe do osiągnięcia [1, 6], a wartości różnic $\Delta E \in \langle 3,6 \rangle$ [6], a nawet $\Delta E \in \langle 4,8 \rangle$ [1], uważa się za akceptowalne.

W literaturze spotykanych jest wiele metod wyznaczania wartości ΔE — przykładem są stosowane w pracy, przyjęte przez CIE, wersje ΔE_{76} i ΔE_{94} . Definicja ΔE jest wciąż udoskonalana ponieważ, jak na razie, miara ta nie oddaje różnic między wszystkimi parami barw zgodnie z ludzką percepcją.

Odległość między dwiema barwami w przestrzeni CIELAB może zostać wyznaczona zgodnie z opracowanym w 1976 wzorem

$$\Delta E_{76} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}, \quad (8)$$

gdzie $\Delta L, \Delta a, \Delta b$ określają różnice pomiędzy dwiema barwami odpowiednio dla kanałów L, a i b przestrzeni CIELAB [4, 7].

Nowszym i bardziej zgodnym z percepcją człowieka sposobem wyznaczania różnic barw jest miara

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{k_H S_H} \right)^2}. \quad (9)$$

Główną różnicą między ΔE_{76} a ΔE_{94} jest odejście w nowszej miarze ΔE_{94} od równomiernego wpływu każdej ze składowych przestrzeni CIELAB, stosowanego w ΔE_{76} , poprzez wprowadzenie różnego wpływu składowych barwy: odcienia H , nasycenia C i jasności L . Poszczególne składowe elementy równania (9) zostały szczegółowo opisane w pracach [4] i [7].

5. Wyniki badań

Badanie metody regresji liniowej wykazało, że najlepsze odwzorowanie osiągnięto dla modelu zbudowanego w oparciu o grupę G3. Charakteryzowała się ona nie tylko najmniejszą średnią różnicą barw, ale także najmniejszą maksymalną i minimalną wartością ΔE_{94} . Należy zwrócić uwagę na fakt występowania

dla grupy G3 znacznej różnicy a pomiędzy wartościami różnicy barw ΔE_{76} i ΔE_{94} . Główną przyczyną tej różnicy jest zmiana przestrzeni barw w oparciu o którą obliczona ΔE , z CIELAB dla ΔE_{76} na CIELCH dla ΔE_{94} . W wyniku tego zabiegu w różnicy barw ΔE_{94} zmniejszył się wpływ różnicy składowych nasycenia i odcienia dla barw o wysokiej wartości nasycenia [1].

Tab. 1. Dokładność odwzorowania barw w metodzie regresji liniowej (najlepsze wartości zostały wyróżnione).

Tab. 1. Accuracy of color reproduction with use of linear regression (the best values are distinguished).

Metoda regresji liniowej						
Błąd	maks. ΔE_{76}	maks. ΔE_{94}	śred. ΔE_{76}	śred. ΔE_{94}	min. ΔE_{76}	min. ΔE_{94}
G1	76,27	72,38	51,43	45,1	22,28	18
G2	13,87	10,42	7,71	4,79	2,11	1,44
G3	14,22	7,57	6,6	3,65	1,23	0,67
G4	14,96	9,66	8,6	5,28	2,25	1,67
G5	15,15	10,04	10,36	5,17	3,09	1,77
G6	8,88	8,13	5,18	4,62	1,94	1,94

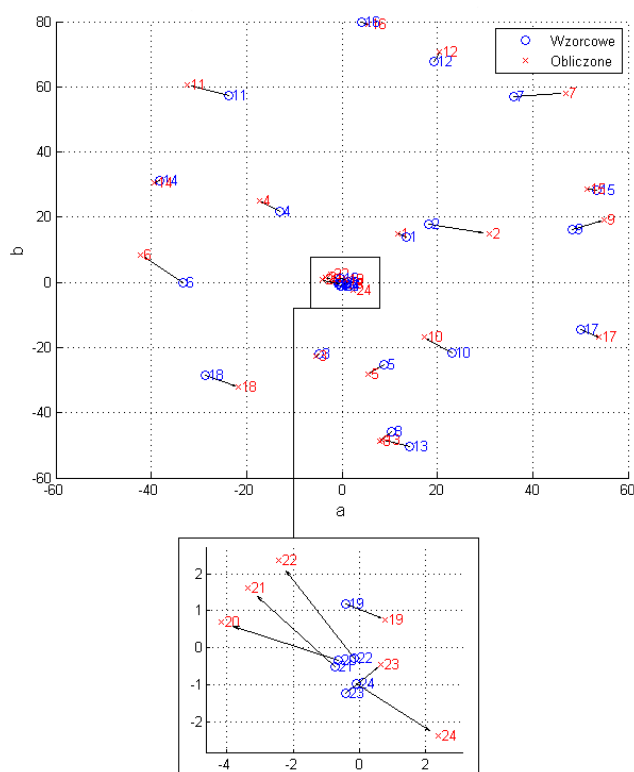
Duże różnice między wartościami ΔE_{76} i ΔE_{94} nie występują jednak w przypadku wszystkich grup — przykładem takiej grupy jest grupa G6. Taka sytuacja wynika ze stosowania jako danych sprawdzających jakość dopasowania tylko pól achromatycznych, czyli pól charakteryzujących się w przypadku ich prawidłowego odwzorowania zerowym nasyceniem (w praktyce, ze względu na błędy odwzorowania barw pola te mają małe nasycenie). Najgorszym odwzorowaniem barw charakteryzuje się odwzorowanie powstałe na bazie grupy G1, czyli grupy zawierającej tylko pola achromatyczne. Ze względu na bardzo duże wartości ΔE tylko ta grupa nie nadaje się nawet do wstępnej transformacji danych. Mając tyle samo pól wzorcowych grupa G2, ale składająca się tylko z pól chromatycznych, dała znacznie lepsze wyniki.

Tab. 2. Dokładność odwzorowania barw w metodzie regresji wielomianowej (najlepsze wartości zostały wyróżnione).

Tab. 2. Accuracy of color reproduction with use of polynomial regression (the best values are distinguished).

Metoda regresji wielomianowej						
Błąd	maks. ΔE_{76}	maks. ΔE_{94}	śred. ΔE_{76}	śred. ΔE_{94}	min. ΔE_{76}	min. ΔE_{94}
G1	—	—	—	—	—	—
G2	—	—	—	—	—	—
G3	13	7,22	6,81	3,28	0,83	0
G4	128,18	19,9	22,55	7,19	2,56	1,74
G5	17,46	11,18	8,74	4,17	3,10	1,79
G6	56,64	17,53	17,27	8	1,50	1,30

Podobnie jak w regresji liniowej, tak i w regresji wielomianowej, najlepszy wynik został uzyskany w oparciu o odwzorowanie bazujące na grupie G3. Nieznacznie gorsze odwzorowanie barw bazuje na grupie G5. Obie te grupy charakteryzują się podobną budową — składają się z pól chromatycznych i achromatycznych. Znaczenie gorsze odwzorowania powstały na bazie grup G4 i G6, czyli grup składających się tylko z pól chromatycznych. Analizując dokładniej grupę G3 i metodę regresji wielomianowej możemy zauważyć, że największe wartości błędów przypadły polom: 2, 6, 7 i 11 (co przedstawia rysunek 3). Pola te charakteryzowały się dużymi wartościami wybranych kanałów RGB , a przez to większymi odległościami od większości pól wzornika.



Rys. 3. Ilustracja różnicy barw na płaszczyźnie ab przestrzeni barw CIELAB dla transformacji barw metodą regresji wielomianowej dla grupy G3.

Fig. 3. Illustration of the color difference on the ab plane of the CIELAB color space for 1th-order polynomial regression and G3 group.

Metoda interpolacji Sheparda w porównaniu z poprzednimi różni się przede wszystkim stosowaniem interpolacji, a nie aproksymacji oraz kryterium dopasowania bazującym na odległości pomiędzy punktami w przestrzeni barw. Dla tej metody najlepsze dopasowanie otrzymano dla odwzorowania bazującego na grupie G6. Przewaga w wierności odwzorowania grupy G6 nad innymi grupami była duża (z reguły $\Delta E > 5$). Grupa G6 charakteryzuje się wykorzystaniem wszystkich pól wzornika prezentujących barwy chromatyczne i zawiera (tak jak grupa G5) największą wśród wszystkich grup liczbę pól wzorcowych. W efekcie stosowania interpolacji Sheparda wartość miar ΔE (tab. 3) była zdecydowanie większa niż w metodach wykorzystujących regresję. W rezultacie, przy zastosowaniu tej metody, jedynie grupa G6 może zostać użyta do wstępnego przetworzenia danych.

Tab. 3. Dokładność odwzorowania barw w metodzie Sheparda (najlepsze wartości zostały wyróżnione).

Tab. 3. Accuracy of color reproduction with use of Shepard interpolation (the best values are distinguished).

Metoda Sheparda						
Błąd	maks. ΔE_{76}	maks. ΔE_{94}	śred. ΔE_{76}	śred. ΔE_{94}	min. ΔE_{76}	min. ΔE_{94}
G1	80,09	78,24	45,43	44,12	20,59	19,78
G2	42,67	28,53	18,95	11,73	7,98	5,83
G3	51,42	33,72	27,91	18,87	12,95	9,53
G4	48,16	38,59	24,99	15,8	6,44	5,43
G5	48,54	41,58	41,77	26,46	33,17	17,71
G6	18,78	13,05	10,95	7,8	2,04	1,86

6. Wnioski

Celem badań było sprawdzenie jaki wpływ na wyniki kalibracji kolorymetrycznej aparatu fotograficznego ma wykorzystanie tylko

niektórych pól wzornika barw. Jako kryterium oceny jakości dopasowania danych interpolowanych do danych wzorcowych przyjęto średnią i maksymalną wartość ΔE_{94} .

Badania pokazują, że wybór grupy pól wzorcowych ma istotny wpływ na otrzymane rezultaty kalibracji. Dobrym potwierdzeniem tego faktu jest porównanie wartości ΔE_{94} uzyskanych dla różnych grup przy zastosowaniu metody regresji wielomianowej (tab. 2). Dla tego przypadku różnice błędów pomiędzy najlepszym i najgorszym wynikiem, tzn. odpowiednio dla grupy G3 i grupy G4, są prawie trzykrotne dla maksymalnych wartości błędów i ponad dwukrotne w przypadku błędu średniego.

Najlepszy wynik przekształcenia barw spośród wszystkich przeprowadzonych testów otrzymano dla grupy G3 i metody regresji wielomianowej. Odwzorowanie to charakteryzowało się akceptowalnym poziomem błędów (ΔE_{94} w zakresie 0–7,22) co pozwala na jego realne zastosowanie do kalibracji. Należy podkreślić, że najlepszy wynik nie został osiągnięty dla grupy zawierającej największą liczbę pól lub grupy zawierającej tylko pola chromatyczne albo achromatyczne. Grupa G3 zawiera bowiem tylko połowę pól badanego wzornika i składa się z pól barwnych reprezentujących składowe RGB i CMY oraz pól achromatycznych reprezentujących różne poziomy szarości. Takie zestawienie pól pozwoliło uzyskać dane wzorcowe zarówno odnośnie kontrastu (pola achromatyczne) jak i odnośnie maksymalnego nasycenia kanałów barwnych (pola chromatyczne). Warto zauważyć, że również w przypadku wykorzystania regresji liniowej stosowanie grupy G3 dało najlepszy rezultat (tab. 1).

Oprócz doboru grup na wyniki kalibracji wpływ ma także zastosowana metoda aproksymacji lub interpolacji. W tabeli 4 przedstawiono zagregowane wartości poszczególnych typów błędów uzyskane dla wykorzystywanych w pracy metod wyznaczania barw testowych. W przypadku małej liczby danych wzorcowych najlepsze wyniki dają metody wykorzystujące regresję. Pozytywnie wyróżnia się tutaj metoda regresji liniowej, która przy małej złożoności obliczeniowej dla wszystkich grup dała dobre wyniki co dobrze uwidacznia sumaryczne ujęcie błędów ΔE .

Tab. 4. Sumaryczna dokładność odwzorowania barw (najlepsze wartości zostały wyróżnione).

Tab. 4. Sum of color reproduction accuracy (the best values are distinguished).

Sumaryczna dokładność odwzorowania barw (w oparciu o grupy G3–G6)						
Błąd	maks. ΔE_{76}	maks. ΔE_{94}	śred. ΔE_{76}	śred. ΔE_{94}	min. ΔE_{76}	min. ΔE_{94}
Regresja liniowa	53,21	35,4	30,74	18,72	8,51	6,05
Regresja wielomianowa	215,28	55,83	55,37	22,64	8,00	4,84
Interpolacja Sheparda	166,9	126,94	105,62	68,93	54,6	34,53

7. Literatura

- [1] Abhay Sharma: Zrozumieć Color Management, Ergo BTL, Warszawa, 2006.
- [2] Roy Berns: Principles of color technology: third edition, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [3] Strona WWW firmy X-rite, <http://www.xritephoto.com>.
- [4] Gaurav Sharma: Digital Color Imaging Handbook. CRC Press LLC, Boca Raton FL, 2003.
- [5] Heidelberg Expert Guide Color & Quality. Heidelberg Druckmaschinen AG, Heidelberg 2008, http://www.heidelberg.com/wwwbinaries/bin/files/dotcom/en/princt/expert_guide_color.pdf.
- [6] Bruce Fraser, Chris Murphy, Fred Bunting: Profesjonalne zarządzanie barwą. Wydanie II. Helion, Gliwice 2006.
- [7] Świat druku, Polski Drukarz, 10/2000.