

# CHARAKTERYSTYKA GRADACYJNA MONITORA

*Konrad Blachowski*

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
INSTYTUT POLIGRAFII  
2007/2008

## Wprowadzenie

Wartości opisujące sposób reprodukcji barwnej najmniejszych jednorodnych elementów (pikseli) formowanego obrazu zapisanych w pliku cyfrowym podlegają wielokrotnym zmianom zanim zostaną przetworzone na bodźce świetlne emitowane przez monitory. Zmiany te zachodzą na różnych etapach - począwszy od interpretacji danych w pliku, a skończywszy na przetwornikach analogowo-cyfrowych (ADC lub A/D), zamieniających dane cyfrowe na, uzależnione od nich, impulsy elektryczne bezpośrednio sterujące mocą promieniowania składowego (czerwonego, zielonego i niebieskiego) emitowanego z danego miejsca ekranu monitora.

Na etapie interpretacji danych zapisanych w pliku, podczas otwierania bądź importowania danych do programu graficznego, dane opisujące reprodukcję barwną w pliku graficznym zostają przetłumaczone na dane opisujące reprodukcję barwną wewnątrz programu graficznego (format wewnętrzny). Najczęściej w plikach graficznych, w których *technologiczny opis barwy* (dane opisujące reprodukcję barwną lub sterujące reprodukcją barwną w danej technologii) odbywa się za pomocą trójek liczb  $R$ ,  $G$ ,  $B$  (kanały:  $R$  – czerwony;  $G$  – zielony;  $B$  – niebieski) liczby te zapisane są za pomocą jedno- lub dwubajtowych słów (interpretowanych jako liczby naturalne od 0 do 255 albo od 0 do 65535). Liczby te, opisujące technologicznie barwę reprodukcji nazywać będziemy **tonem reprodukcji** i oznaczać przez  $T$ . Dla wygody zapisu oraz w celu uniezależnienia opisu technologicznego barwy od ilości bitów używanych do tego w pliku graficznym, wprowadzimy pojęcie tonu względnego. Tonem względnym  $S$  nazywamy liczbę  $\frac{T}{T_{\max}}$ , gdzie

$T_{\max}$  wynosi 255 albo 65535. Dzięki takiemu określeniu tonu względnego, opis technologiczny barwy jest zawsze liczbą pomiędzy 0 a 1. W plikach graficznych w przestrzeni technologicznego opisu barwy RGB, barwa każdego piksela (bądź innego elementu w przypadku tzw. plików wektorowych) da się opisać za pomocą trójek liczb  $(r, g, b)$ , które wyrażają ton względny dla każdego kanału reprodukcji.

Oprócz interpretacji dane źródłowe podlegają również innym zmianom wynikającym głównie ze stosowania systemu sterowania reprodukcją barwą na bazie profili ICC (ang. Color Management System, ICC profiles). W pierwszej kolejności dane technologicznego opisu barwy zamieniane są na dane wewnętrzne aplikacji graficznej w oparciu o *profil źródłowy* pliku graficznego i profil opisujący tzw. *przestrzeń roboczą*. Oprogramowanie, wykorzystując informacje z pliku i informacje z tylko jednego albo z obydwu wymienionych wyżej profili (co zależy w głównej mierze od użytkownika), zamienia sposób opisu barwy na swój wewnętrzny. Następnie wykorzystywany jest jeszcze jeden profil ICC – *profil monitora* – w celu wygenerowania odpowiednich danych wysyłanych do karty graficznej komputera. Wszystkie przekształcenia opisu barwy odbywają się poprzez tłumaczenie opisu technologicznego na kolorymetryczny i dalej na wewnętrzny oprogramowania oraz w przeciwnym kierunku. Systemy sterowania barwą reprodukcji są potężnym narzędziem, gdyż są w stanie polepszyć jakość reprodukcji albo, gdy są używane nieświadomie, znacząco ją pogorszyć.

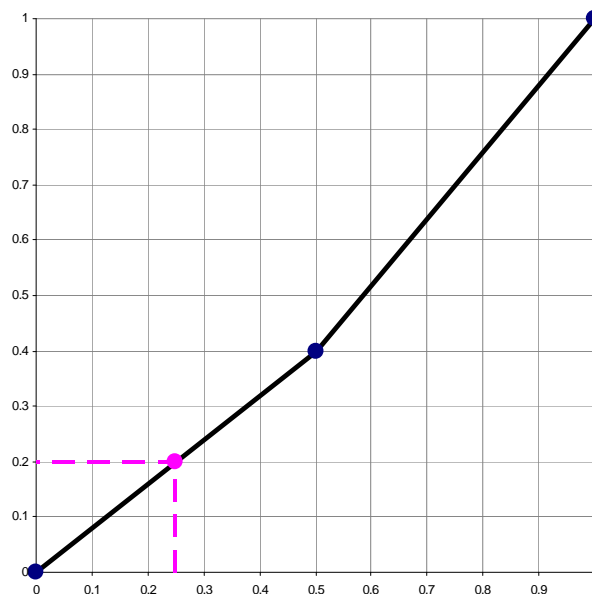
Po wysłaniu przez oprogramowanie danych do karty graficznej za pośrednictwem systemu operacyjnego są one poddawane następnym zmianom. Zmiany te można określić jako działanie jednowymiarowych funkcji transferowych (tj. rzeczywistych funkcji zmiennej rzeczywistej). Do opisu przebiegu tych zmian użyjemy modelu *jednowymiarowej tablicy interpolacyjnej* (ang. one dimensional Look-up Table (LUT)). Mogą zachodzić one na różnych etapach: w systemie operacyjnym podczas pośredniczenia w przekazywaniu informacji od programów do karty graficznej – tzw. *Gamma Ramp*; w karcie graficznej podczas przekazywania informacji od systemu operacyjnego do przetwornika analogowo-cyfrowego bądź bezpośrednio do złącza cyfrowego monitora – tzw. *Video Look-up Tables (vlut)*; bądź bezpośrednio w monitorze podczas przekazywania informacji od karty graficznej

do dalszych elementów monitora sterujących wyświetlaniem poszczególnych elementów emitujących promieniowanie. Niezależnie od tego, czy tylko w jednym miejscu następuje zmiana, czy też we wszystkich, całkowitą zmianę (wynikającą ze złożenia przekształceń na każdym z wymienionych wyżej etapów) można opisać trzema przekształceniami transferowymi – po jednym dla każdego kanału reprodukcji.

Pojedyncza (dla jednego kanału reprodukcji) jednowymiarowa tablica interpolacyjna (LUT) jest  $N$  elementowym ciągiem danych, gdzie  $N$  jest liczbą naturalną większą od 1 (w zastosowaniach do korygowania gradacji monitorów zazwyczaj przyjmuje się  $N=256$ ). Dane w tablicy LUT są zapisane w postaci ciągu  $T = [T_0, \dots, T_{N-1}]$  16-to bitowych nieujemnych liczb całkowitych. Są one interpretowane jako wartości funkcji interpolacyjnej dla argumentów  $A_n$  równomiernie ułożonych w dziedzinie funkcji, tj.  $A_n = \left\lfloor \frac{n \cdot R}{N-1} \right\rfloor$ , gdzie

$n = 0, \dots, N-1$  jest numerem kolejnego argumentu, a  $R$  jest równe  $255 = (2^8 - 1)$  przy ośmiobitowym lub  $65535 = (2^{16} - 1)$  przy szesnastobitowym typie danych wejściowych. Dla pozostałych argumentów, tzn. nie leżących w węzłach, wartość funkcji wyznaczana jest na drodze kawałkami liniowej interpolacji, czyli dla argumentu  $a$  leżącego pomiędzy węzłem  $n$  a węzłem  $n+1$  przyjmuje się wartość funkcji równą  $T_n + \frac{(a - A_n) \cdot (T_{n+1} - T_n)}{A_{n+1} - A_n}$ . W każdym

przypadku, po zastosowaniu wartości względnych, możemy traktować jednowymiarowe przekształcenie interpolacyjne jako funkcję z przedziału  $\langle 0,1 \rangle$  w przedział  $\langle 0,1 \rangle$ . Przykład wykresu tak traktowanej jednowymiarowej krzywej transferowej LUT, o trzech węzłach  $[0, 0.5, 1]$  i trzech wartościach zapisanych w tablicy LUT  $[0, 0.4, 1]$ , oraz graficznej interpretacji wyznaczania wartości 0.2 dla argumentu 0.25 przedstawiony jest na poniższym rysunku.



Krzywe transferowe są niezbędne, aby sterować procesem wyświetlania na monitorach jak najbardziej zgodnie z psychofizycznymi aspektami rozróżniania barw przez człowieka. Zasadniczym powodem takiego stanu rzeczy jest to, że podstawowe elementy monitorów nie działają zgodnie z ludzkimi odczuciami. Powiązaniem ludzkich odczuć lub wrażeń z fizycznymi aspektami bodźców je wywołujących zajmuje się *psychofizyka*.

Narzędzia psychofizyki są używane w celu otrzymania ilościowych miar fenomenu wrażeń (często uznawanych za subiektywne). Należy zauważyć, że wyniki odpowiednio przygotowanych i przeprowadzonych eksperymentów percepcyjnych są tak obiektywne i wartościowe, jak pomiary długości linijką. Jedną z zasadniczych różnic pomiędzy nimi jest zdecydowanie wyższa niepewność wyników eksperymentów percepcyjnych niż

eksperymentów fizycznych. Jednakże wyniki obydwu rodzajów eksperymentów są w równej mierze użyteczne i ważne. Psychofizyka jest stosowana do poznawania wszystkich rodzajów wrażeń ludzkich. Na potrzeby teorii barwy rozpatrujemy jedynie psychofizykę wizualną.

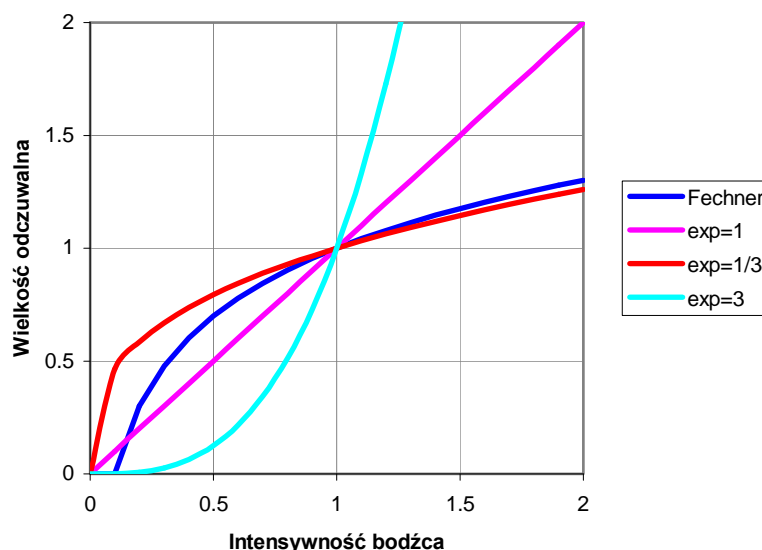
Eksperymenty wizualne można podzielić na dwie grupy:

1. *Eksperymenty progowe* (gradacyjne – ang. threshold) i *zrównywania* (równoważenia – ang. matching), które są przeprowadzane w celu pomiaru czułości wizualnej na małe zmiany bodźców (bądź percepcyjnej równoważności).
2. *Eksperymenty skalujące*, które mają za zadanie wykrycie zależności pomiędzy fizycznymi a percepcyjnymi wielkościami związanymi z bodźcem (niezależnie od wielkości zmian)

Jedne z pierwszych wyników eksperymentów gradacyjnych podał we wczesnej fazie dziewiętnastego wieku E.H.Weber. Badał on odczuwalność zwiększenia masy podnoszonego przedmiotu. Weber prosił uczestników eksperymentu o podniesienie przedmiotu o określonej masie, a następnie zwiększał masę przedmiotu do momentu, gdy podnoszący ciężar odczuł zmianę masy. Doprowadziło to do określenia progu zmiany masy podnoszonego przedmiotu. Weber zauważył, że wraz ze wzrostem początkowej masy przedmiotu, masa o jaką należy zwiększyć masę przedmiotu aby zmiana była odczuwalna rośnie proporcjonalnie do masy początkowej przedmiotu. Oznaczając początkową wielkość bodźca (w tym przypadku masy) przez  $I$ , oraz zmianę bodźca (w tym przypadku przyrost masy), przy której ta zmiana jest odczuwalna, przez  $\Delta I$ , prawo Weber'a może być wyrażone tym, że stosunek  $\frac{\Delta I}{I}$  jest stały.

W rzeczywistości, ten ogólny związek pomiędzy odczuwalnością zmian bodźca początkowego jest w przybliżeniu prawdziwy dla wielu ludzkich zmysłów i jest znany jako *prawo Weber'a*. Prawo to jest całkiem intuicyjne. Dzięki niemu można wyjaśnić wiele zjawisk (niezauważalność gwiazd podczas dnia, niesłyszalność upadku monety w hałaśliwym otoczeniu itp.). Ojcem psychofizyki został jednak okrzyknięty G.Fechner, który w 1860 roku w publikacji „Elemente der Psychophysik” przełożył prawo Weber'a na język matematyczny. Założył on, że prawo Weber'a jest prawdziwe oraz ledwie zauważalna różnica (ang. just-noticeable difference (JND)) może być uznana jako jednostka skali percepcji (wrażenia). Fechner dążył do wyznaczenia przekształcenia pomiędzy fizyczną skalą intensywności bodźca a skalą wielkości percepcyjnych, w której ledwie zauważalne zmiany byłyby sobie równe dla wszystkich wielkości percepcyjnych. Problem ten sprowadza się do rozwiązania prostego równania różniczkowego  $\frac{dI}{I} = \text{const} = c \cdot JND(I)$ , skąd otrzymujemy

$c \cdot JND(I) = \ln(I \cdot C)$ , gdzie  $c$  i  $C$  są stałymi. Odtąd prawo głoszące, że bodźce, których miary tworzą ciąg geometryczny na skali fizycznej, wywołują wrażenia różniące się o tyle samo w skali JND nosi nazwę *prawa Fechner'a*. Niestety prawo Fechner'a nie jest prawdziwe we wszystkich warunkach obserwacji. Pokazał to S.S.Stevens w 1961 roku w artykule „To honor Fechner and repeal his law”. Stevens, badając ponad 30 różnych typów percepcji, odkrył, że logarytm wielkości wrażenia jest wprost proporcjonalny do logarytmu intensywności bodźca w skali fizycznej. Oczywiście proporcjonalność w skalach logarytmicznych oznacza, że pomiędzy tymi skalami istnieje zależność potęgowa. Hipoteza Stevensa mówi, że zależność pomiędzy wielkością percepcyjną a intensywnością fizyczną bodźca ma charakter potęgowy o różnych wartościach wykładników przy różnych typach wrażeń. Hipoteza ta znana jest jako *prawo potęgowe Stevens'a*. Poniższy rysunek ilustruje zależności opisane prawem Fechner'a i prawem Stevens'a. W przypadku, gdy wykładnik jest mniejszy od 1, prawo potęgowe opisuje nieliniowość wrażeń występującą w większości doświadczeń percepcyjnych. Gdy wykładnik jest równy 1 zależność jest liniowa. Prawo potęgowe z wykładnikiem większym od 1 opisuje przypadki, gdy intensywność bodźca może być groźna dla obserwatora i skutkuje odczuciem bólu. W takim przypadku zwiększenie intensywności bodźca prowadzi do coraz mniejszej czułości obserwatora i staje się dla niego coraz bardziej niebezpieczne.



Intensywność bodźca w kolorymetrii wyraża się za pomocą *luminancji świetlnej*, której jednostką jest kandela na metr kwadratowy [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] (lub jej pochodna nit [ $\text{nt}$ ]). W zastosowaniach kolorymetrycznych, aby wyznaczyć luminancję wyznacza się bezwzględne składowe trójkromatyczne ( $X, Y, Z$ ) i jako wartość luminancji przyjmuje się wartość składowej  $Y$  (co wynika z określenia przestrzeni CIE XYZ).

Do wyrażenia charakterystyki gradacyjnej monitorów stosuje się trzy funkcje  $f_R, f_G, f_B$  – odpowiednio dla czerwonego, zielonego i niebieskiego kanału reprodukcji. W celu ich wyznaczenia dokonuje się pomiarów składowych  $Y$  promieniowań emitowanych przez monitor przy założeniu, że pochodzą one ze ściśle określonych tonów reprodukcji ( $R, G, B$ ), przy czym jedna funkcja powstaje z pomiarów światła pochodzącego od tzw. *tonów pierwszorzędowych*, dla których tylko jeden ton jest wartością niezerową (np. dla  $G=0$  i  $B=0$  i zmieniającego się tonu  $R$  otrzymujemy charakterystykę gradacyjną  $f_R$  dla kanału czerwonego).

Zgodnie z prawem potęgowym Stevens’a, aby zmiana pierwszorzędowego tonu prowadziła do porównywalnej zmiany wrażenia wywołanego promieniowaniem generowanym przez ten ton z monitora odpowiednia charakterystyka gradacyjna powinna spełniać warunek:

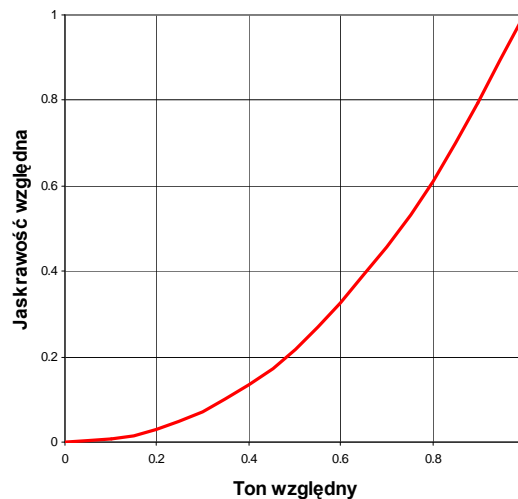
$$\frac{f_C(t^C) - f_C(t_{\min}^C)}{f_C(t_{\max}^C) - f_C(t_{\min}^C)} = \left( \frac{t^C - t_{\min}^C}{t_{\max}^C - t_{\min}^C} \right)^{\gamma_C},$$

gdzie  $C \in \{R, G, B\}$ ,  $t_{\min}^C$  i  $t_{\max}^C$  są odpowiednio maksymalną i minimalną wartością pierwszorzędowego tonu, a  $\gamma_C$  jest wykładnikiem charakteryzującym gradację monitora dla danego kanału reprodukcji  $C$  i jest nazywany *wykładnikiem gamma kanału  $C$* . Z wcześniejszej części tekstu wynika, że iloraz znajdujący się po prawej stronie powyższej równości jest tonem względnym, który będziemy oznaczać  $t_w^C$  lub symbolami  $r, g$  lub  $b$ . Iloraz występujący po lewej stronie powyższej równości nosi nazwę *jaskrawości względnej* i jest oznaczany  $Y_w^C(t_w^C)$ . Przy przyjętych oznaczeniach charakterystyka gradacyjna monitora dla kanału  $C$  reprodukcji ma postać:

$$Y_w^C(t_w^C) = (t_w^C)^{\gamma_C}.$$

Przykład wykresu charakterystyki gradacyjnej dla jednego kanału o wykładniku gamma równym 2.2 znajduje się poniżej.

Wykres charakterystyki gradacyjnej dla  
jednego kanału reprodukcji



W przypadku, gdy charakterystyki gradacyjne nie spełniają zależności potęgowej wyznacza się odpowiednie funkcje transferowe omówione wcześniej. Funkcje te (przechowywane zazwyczaj w postaci LUT w pamięci karty graficznej) na odpowiednim etapie reprodukcji barwnej za pomocą monitora komputerowego modyfikują wartości odbierane za pośrednictwem tonów reprodukcji (dla każdego kanału reprodukcji niezależnie) i dalej przesyłane są już wartości zmienione, dzięki czemu w efekcie uzyskiwana jest zależność potęgowa. Opracowanie funkcji transferowych odbywa się podczas procesu kalibracji monitora, którą z powodu zmian właściwości monitora należy przeprowadzać okresowo.

Monitory komputerowe są wstępnie kalibrowane przez ich producentów. Dzięki temu otrzymujemy produkt, który charakteryzuje się tym, że wszystkie wykładniki gamma (dla wszystkich kanałów) są (w przybliżeniu) sobie równe  $\gamma_R = \gamma_G = \gamma_B = \gamma$ . Wykładnik  $\gamma$  jest bardzo przydatny do wyznaczania *charakterystyki gradacyjnej monitora dla barw achromatycznych*. Niestety, na skutek zużywania się monitora lub wprowadzenia nieodpowiednich zmian parametrów domyślnych przyjętych przez producenta, z czasem pojawiają się istotne różnice pomiędzy wartościami poszczególnych wykładników.

Ponieważ potęgowe charakterystyki gradacyjne poszczególnych kanałów reprodukcji mają za zadanie przybliżenie odczuwalności liniowych zmian tonów do charakteru liniowego, więc jest rzeczą oczywistą, że warunkiem sukcesu jest dobór odpowiednich wartości wykładników  $\gamma_R, \gamma_G, \gamma_B$ . Niestety, prawidłowe wartości wykładników gamma zależą od wielu czynników, m.in.: od warunków oświetlenia (głównie od jaskrawości i barwy światła), warunków obserwacji przy stanowisku komputerowym oraz parametrów reprodukcji monitora (jaskrawość i kontrast dla poszczególnych kanałów). Jeżeli monitor zostanie skalibrowany przy przyjęciu błędnych wartości wykładników gamma, to reprodukcja na nim będzie się charakteryzowała utratą szczegółów w reprodukowanych obrazach. Przy zbyt wysokiej wartości wykładników traci się szczegóły w cieniach reprodukowanych obrazów, a przy zbyt niskiej wartości – w światłach.

Celem niniejszego ćwiczenia jest nabycie umiejętności sprawdzenia poprawności doboru wykładników gamma użytych podczas kalibracji monitora komputerowego.

## Przebieg ćwiczenia

Podczas ćwiczenia przeprowadzana będzie ocena liniowości gradacji umownie achromatycznych (tzn. odbieranych jako barwy achromatyczne – szare) bodźców generowanych przez monitor. Zadaniem obserwatora będzie taka zmiana parametrów opisujących tony reprodukcji, aby doprowadzić do jak najbardziej zgodnych charakterystyk gradacji obrazów pochodzących z jednego pliku a reprodukowanych równocześnie na monitorze i odbitce.

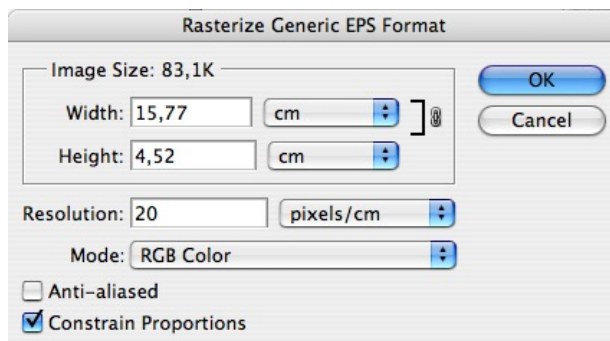
Zadaniem uczestników ćwiczenia jest dobór takich wartości wykładników gamma (przy założeniu, że  $\gamma_R = \gamma_G = \gamma_B = \gamma$ ), aby wszystkie bodźce umownie achromatyczne (od bieli poprzez szarości, aż do czerni) wywoływały wrażenie liniowej zmiany jasności.

W ćwiczeniu wykorzystywany jest plik postscriptowy „GreyStrip\_RGB.ps” (zwany dalej plikiem roboczym), który po zrastrowaniu w programie Adobe Photoshop wyświetlany jest jako poziomy pasek kontrolny z jedenastoma polami pochodzącymi od równych sobie tonów względnych dla poszczególnych kanałów, zmieniających się od 0.0 (dla najmniej jaskrawej barwy reprodukcji – „czerni”) do 1.0 (dla najjaśniejszej barwy reprodukcji – „bieli”). Przykładowy wygląd reprodukcji tego obrazu przedstawiony jest na poniższym rysunku.



W pierwszej kolejności uczestnicy ćwiczenia wyznaczą aktualną charakterystykę gradacyjną monitora. Aby sprawdzić jaka jest w danej chwili obecnej przybliżona charakterystyka gradacyjna monitora należy:

- sprawdzić, jaki profil ICC jest stosowany jako profil domyślny monitora
- uruchomić program Adobe Photoshop
- przydzielić domyślny profil monitora jako profil opisujący przestrzeń roboczą RGB (ang. RGB Working space) (z polecenia „Color Settings” z menu „Edit” albo za pomocą skrótu klawiszowego Ctrl+Shift+K)
- sprawdzić, otwierając plik roboczy w aplikacji „Notatnik” (ang. Notepad), czy wartość parametru „/gamma” wynosi 1.0; jeżeli nie, to zmienić ją na 1.0 i zapisać plik
- otworzyć w programie Adobe Photoshop plik roboczy (albo poprzez polecenie „Otwórz” (ang. Open) z menu „Plik” (ang. File), albo poprzez przeciągnięcie i upuszczenie (ang. drag and drop) ikony pliku na obszar roboczy okna głównego programu Photoshop); ustawienia podczas rastrowania pliku powinny być takie, jak pokazuje następny rysunek.



- dokonać pomiaru wartości składowej  $Y$  dla wszystkich pól kontrolnych (od czerni do bieli) uzyskanych w wyniku reprodukcji obrazu zapisanego w pliku roboczym; pomiaru należy dokonać za pomocą dostarczonego spektrofotometru Eye-One firmy X-Rite po wcześniejszym odpowiednim powiększeniu podglądu obrazu
- na podstawie pomiarów wyliczamy wartości jaskrawości względnych  $Y_w(t_w)$

poszczególnych pól ze wzoru:

$$Y_w(t_w) = \frac{Y(t_w) - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad [1]$$

Jako wartość tonu względnego  $t_w$  dla danego pola należy przyjąć  $(11-n) \cdot 0.1$ , gdzie  $n$  jest numerem pola traktując pole białe jako pole pierwsze.

- na drodze aproksymacji funkcją potęgową zależności  $t_w \mapsto Y_w(t_w)$ , wyznaczyć wartość parametru  $\gamma$ ; najwygodniej przeprowadzić jest aproksymację w oprogramowaniu Microsoft Excel, stosując aproksymację liniową metodą średnich kwadratów (patrz pomoc Excel nt. funkcji REGLINP) zależności  $\ln(t_w) \mapsto \ln(Y_w(t_w))$  nie uwzględniając danych dla  $t_w = 0$ .

Wyznaczona w ten sposób wartość wykładnika  $\gamma$  daje przybliżoną wartość parametrów  $\gamma_R, \gamma_G, \gamma_B$ . Pozostaje pytanie, czy wartość ta jest właściwa dla danego systemu reprodukcyjnego.

Rzadko kiedy mamy do czynienia z sytuacją, w której aktualna charakterystyka gradacyjna monitora jest odpowiednia do parametrów procesu reprodukcyjnego (wykorzystującego dany program graficzny, monitor i urządzenie wyjściowe np. monochromatyczną drukarkę elektrofotograficzną). Aby sprawdzić czy tak jest należy:

- wykonać reprodukcję obrazu zapisanego w pliku roboczym (wydruk) na laserowej drukarce monochromatycznej. Dzięki temu otrzymamy wzorec do oceny zgodności gradacji jasności charakteryzującej monitor. Zazwyczaj w odbiorze percepcyjnym obserwatora oba obrazy różnią się od siebie w wielu aspektach, a jednym z nich jest charakterystyka gradacji jasności.
- poprzez kolejne modyfikacje parametru  $\gamma$  w pliku roboczym (edycja w Notepad i zapis zmienionego pliku) oraz ponowne jego rastrowanie dążymy do *zrównania wrażeń gradacji jasności* na wydruku i na ekranie monitora – czyli do tego aby poszczególne pola różniły się percepcyjnie o taką samą wielkość przyrostu bądź spadku odczuwalnej jasności na wydruku i na monitorze; należy zwrócić szczególną uwagę na odczuwalne różnice jasności w cieniach reprodukcji.
- osiągając cel percepcyjny, o którym mowa powyżej, odnotowujemy wartość parametru  $\gamma$  z pliku roboczego

Aby móc odpowiedzieć na pytanie czy aktualna charakterystyka gradacyjna monitora jest odpowiednia do stosowanego systemu reprodukcji, należy sprawdzić, czy wartość parametru  $\gamma$  z pliku roboczego jest bliska jedności. Jeżeli wartość ta jest większa od 1, to jako cel wykładników gamma dla poszczególnych kanałów przy najbliższej kalibracji monitora należy przyjąć wartość większą od aktualnej, a w przeciwnym przypadku – wartość mniejszą od aktualnej – wyznaczonej w pierwszej fazie ćwiczenia.

#### Wskazówki do sporządzenia sprawozdania

W sprawozdaniu z niniejszego ćwiczenia powinny się znaleźć:

- skrócony opis przebiegu ćwiczenia,
- wyniki pomiarów i wykonanych obliczeń oraz odpowiednie wykresy,
- odpowiedź na następujące pytanie:

Oznaczmy przez  $\Gamma$  wartość parametru  $\gamma$  z pliku roboczego uzyskaną na drodze eksperymentu percepcyjnego w ramach niniejszego ćwiczenia. Wartości tonów względnych dla wszystkich kanałów reprodukcji są podnoszone do potęgi  $\Gamma$  zanim zostaną zinterpretowane dalej przez program Photoshop. Jakie wartości powinno się przyjąć jako wartości docelowe wykładników gamma  $\gamma_R, \gamma_G, \gamma_B$  przy następnej kalibracji monitora, aby osiągnąć porównywalne gradacje jasności na odbitce i monitorze?



- wnioski z otrzymanych wyników,
- słowniczek świeżo poznanych pojęć.

Na początku sprawozdania powinny znajdować się:

- opis rodzaju studiów (Studia dzienne albo Studia zaoczne)
- symbol opisujący grupę (np. 3A, 3B, 3C lub 3D)
- imiona i nazwiska członków zespołu ćwiczeniowego
- data przeprowadzenia ćwiczenia