

WYZNACZANIE SKŁADOWYCH TRÓJCHROMATYCZNYCH CIEXYZ

Konrad Blachowski

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
INSTYTUT POLIGRAFII
2007/2008

Wprowadzenie

W roku 1931 Międzynarodowa Komisja Oświetlenia (fr. CIE) wprowadziła do stosowania **układ bodźców fikcyjnych** (CIEXYZ). Należy on do układów addytywnych, czyli takich, w których każdy bodziec psychofizyczny można zastąpić odpowiednią mieszaniną addytywną trzech bodźców podstawowych. Jest to jeden z pierwszych obiektywnych systemów opisu barwy. Wszystkie systemy kolorymetryczne opisu barwy korzystają ze składowych i współrzędnych trójkromatycznych w układzie CIEXYZ.

Istnieją dwie podstawowe metody wyznaczania wkładowych trójkromatycznych: ogólna i rzędnych wybranych. W dzisiejszych czasach, dzięki dużej mocy obliczeniowej komputerów, metoda rzędnych wybranych jest już praktycznie niewykorzystywana.

Opis metody ogólnej wyznaczania składowych trójkromatycznych

Metoda ogólna wyznaczania składowych trójkromatycznych polega na obliczeniu składowych trójkromatycznych w oparciu o widmowe składowe trójkromatyczne $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ (są to składowe trójkromatyczne promieniowania monochromatycznego o długości fali λ pochodzące z monochromatyzacji promieniowania równoenergetycznego wyznaczone na drodze empirycznej) oraz charakterystykę widmową bodźca świetlnego.

Przyjmuje się, że:

$$\begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \\ Y &= k \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z &= k \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad [1]$$

gdzie: $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ są widmowymi składowymi trójkromatycznymi określającymi obserwatora kolorymetrycznego normalnego CIE 1931,

$\Phi(\lambda)$ – charakterystyka widmowa bodźca świetlnego.

k – stała normalizująca wynosząca dla **bodźców przedmiotowych** (pochodzących z interakcji światła i przedmiotów nieświejących samoistnie):

$$k = 100 \cdot \left(\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \right)^{-1} \quad [2]$$

$S(\lambda)$ – względny widmowy rozkład energii użytego podczas obserwacji źródła światła tzw. **iluminant** (nie mylić z fizycznym źródłem światła używanym w urządzeniu pomiarowym).

Dla przedmiotu nieświejącego samoistnie charakterystyka widmowa bodźca świetlnego zależy zarówno od charakterystyki promieniowania emitowanego przez źródło światła, jak i charakterystyki zmian tego promieniowania poprzez odbicie lub przepuszczenie światła. Dokładniej mówiąc, przyjmuje się, że

$$\Phi(\lambda) = S(\lambda) \cdot R(\lambda) \text{ albo } \Phi(\lambda) = S(\lambda) \cdot T(\lambda),$$

gdzie: $R(\lambda)$ jest wartością widmowego współczynnika odbicia światła od badanej próbki dla długości fali λ ,

$T(\lambda)$ jest wartością widmowego współczynnika przepuszczenia światła przez badaną próbkę przeświecalną dla długości fali λ .

W przypadku określania składowych trójkromatycznych promieniowania emitowanego przez źródło światła $\Phi(\lambda)=S(\lambda)$.

Układ CIEXYZ został tak opracowany, aby widmowa składowa trójkromatyczna \bar{y} była równa **względnej skuteczności świetlnej obserwatora normalnego** V wykorzystywanej przy wielu obliczeniach fotometrycznych. Otrzymujemy zatem

$$\bar{y}(\lambda) = V(\lambda).$$

Dzięki temu w przypadku, gdy rozkład widmowy Φ promieniowania emitowanego przez źródło światła wyrażony jest **względną gęstością widmową luminancji energetycznej** w jednostkach $[\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}]$, czyli gdy $\Phi(\lambda) = L_e(\lambda)$, składowa trójkromatyczna Y bodźca o rozkładzie Φ staje się **luminancją świetlną** L_v tego bodźca wyrażoną w jednostkach $[\text{lm}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}]$. Wówczas stała k występująca w równaniach [1] przyjmuje wartość $K_m = 680 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ maksymalnej skuteczności świetlnej obserwatora normalnego. Otrzymujemy zatem:

$$Y = L_v = K_m \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda.$$

W zastosowaniu do bodźców pochodzących z interakcji światła i przedmiotów nieświejących samoistnie (**bodźców przedmiotowych**) wartość stałej normalizacyjnej k (patrz równanie [2]) przyjęto tak, aby wartość składowej trójkromatycznej Y promieniowania odbitego od **rozpraszacza doskonałego** ($R(\lambda)=1$ dla wszystkich długości fali λ) albo promieniowania przepuszczonego przez **materiał doskonale przepuszczający i rozpraszający** ($T(\lambda)=1$ dla wszystkich długości fali λ) wynosiła 100. Wartość składowej trójkromatycznej Y dla bodźców przedmiotowych nazywamy **współczynnikiem luminancji**.

Przy wyznaczaniu składowych trójkromatycznych bodźców przedmiotowych jako względnych rozkładów mocy promieniowania źródła światła zaleca się używanie **iluminantów normalnych**, tj. takich, których względne rozkłady widmowe promieniowania są znane i opublikowane przez CIE, a odnoszą się do najczęściej występujących w otoczeniu człowieka źródeł światła np. iluminant normalny A odpowiada światłu żarówki gazowej ze skrętką wolframową. Iluminanty w kolorymetrii mają za zadanie opisać spektralnie warunki oświetleniowe panujące w rzeczywistej scenie.

W praktyce pomiarowej nie ma możliwości wyznaczyć dokładnych wartości całek opisanych równaniami [1] i [2]. Zamiast tego stosuje się wyznaczanie ich przybliżonych wartości poprzez zastosowanie sum częściowych.

W przypadku bodźców przedmiotowych pochodzących od odbicia światła od przedmiotów nieświejących przybliżone składowe trójkromatyczne będą wynosiły:

$$\begin{aligned} X &= 100 \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}(\lambda_i) S(\lambda_i) R(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^n \bar{y}(\lambda_i) S(\lambda_i)} \\ Y &= 100 \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}(\lambda_i) S(\lambda_i) R(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^n \bar{y}(\lambda_i) S(\lambda_i)} \\ Z &= 100 \frac{\sum_{i=1}^n \bar{z}(\lambda_i) S(\lambda_i) R(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^n \bar{y}(\lambda_i) S(\lambda_i)} \end{aligned} \quad [3]$$

Na potrzeby niniejszego ćwiczenia wartości iloczynów $S(\lambda_i)\bar{x}(\lambda_i)$, $S(\lambda_i)\bar{y}(\lambda_i)$, $S(\lambda_i)\bar{z}(\lambda_i)$ dla iluminantów normalnych C i D65 (dla $\lambda_i=380, 390, \dots, 730$ nm) oraz wartość $\sum_{i=1}^n \bar{y}(\lambda_i)S(\lambda_i)$ podano w tabeli dołączonej do materiałów ćwiczenia (plik: „Iluminanty_C_D65.xls”).

Mając wyznaczone składowe trójkromatyczne X, Y, Z badanego bodźca można wyliczyć odpowiadające im **współrzędne trójkromatyczne** x, y opisujące **chromatyczność** bodźca. Przyjmują one następujące wartości:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

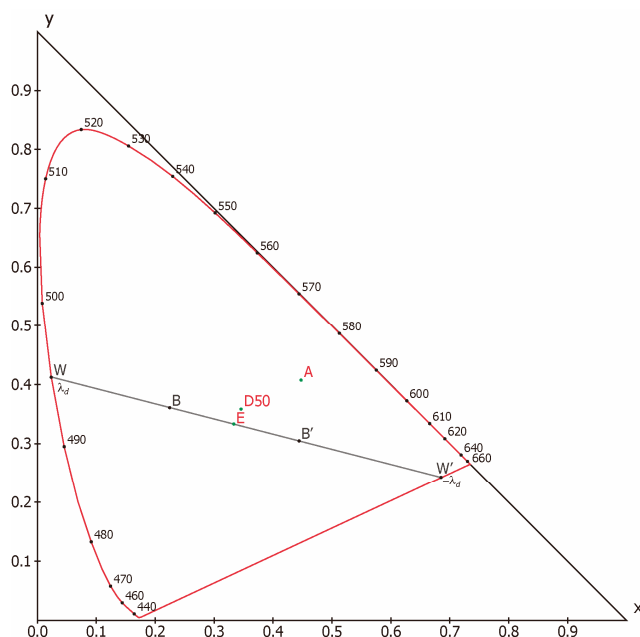
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$
[4]

Chromatyczność ma za zadanie wyrazić w sposób liczbowy **barwność bodźca**.

Zbiór współrzędnych trójkromatycznych wszystkich bodźców psychofizycznych jest ograniczony **krzywą barw widmowych (spectrum locus)** i tzw. **linią purpur**. Prostokątny układ tych współrzędnych wraz z krzywą barw widmowych i linią purpur stanowi tzw. **wykreś chromatyczności (x,y) CIE 1931**.

Większość systemów kolorymetrycznego opisu barwy posiada możliwość wyznaczenia odpowiedników percepcyjnych atrybutów barwności – **odcienia, nasycenia i chromy**. W układzie CIEXYZ należą do nich **długość fali dominującej** i **czystość kolorymetryczna**.

Długość fali dominującej wyznacza się za pomocą wykresu chromatyczności (x,y) CIE 1931 (poniższy rysunek). Zaznaczamy punkt (B) o obliczonych współrzędnych trójkromatycznych dla badanej próbki. Następnie przeprowadzamy przez punkt (B) półprostą o początku w punkcie chromatyczności danego iluminantu (np. E) tak, aby przecięła ona krzywą barw widmowych. Punkt przecięcia (W) znajduje się pomiędzy punktami krzywej barw widmowych oznaczonymi wartościami długości fal. Długość fali dominującej λ_d określa się poprzez znalezienie współrzędnej punktu (W) na drodze interpolacji liniowej w oparciu o współrzędne sąsiednich punktów odpowiadających bodźcom widmowym na spectrum locus. W przykładzie pokazanym na rysunku poniżej $\lambda_d = 495$ nm. W przypadku, gdy badanym bodźcem jest bodziec purpurowy (np. B') długość fali dominującej tego bodźca wyznacza się tak, jak dla bodźca dopełniającego (np. B) i oznacza znakiem minus (na rysunku długość dominująca bodźca B' wynosi $-\lambda_d = -495$ nm).



Czystość pobudzenia p_e określa się jako stosunek długości odcinków EB i EW :

$$p_e = \frac{|EB|}{|EW|} = \frac{x - x_w}{x_b - x_w} = \frac{y - y_w}{y_b - y_w},$$

gdzie: $B(x, y)$, $E(x_w, y_w)$ oraz $W(x_b, y_b)$.

Czystość kolorymetryczna p_c jest inną miarą czystości bodźca i przy powyższych oznaczeniach wyraża się wzorem:

$$p_c = \frac{y_b}{y} \cdot \frac{y - y_w}{y_b - y_w} = \frac{y_b}{y} \cdot \frac{x - x_w}{x_b - x_w}.$$

Przebieg ćwiczenia

Podczas ćwiczenia wyznaczone zostaną cechy kolorymetryczne bodźców przedmiotowych pochodzących od odbicia światła od próbek barwnych wykonanych na papierze.

Pierwszą czynnością jest wyznaczenie wartości widmowych współczynników odbicia dostarczonych próbek za pomocą spektrofotometru. Wśród zmierzonych próbek muszą się znaleźć barwy podstawowe reprodukcji triadowej: niebiesko-zielona (ang. Cyan), purpurowa (ang. Magenta), żółta (ang. Yellow) oraz czarna (ang. Black). Ponadto należy zmierzyć barwy tzw. drugorzędowe pochodzące z nałożenia na siebie chromatycznych farb podstawowych: czerwonej (M+Y), zielonej (C+Y) oraz niebieskiej (C+M).

Dla każdego uzyskanego pomiaru widmowego współczynnika odbicia R należy wyznaczyć: składowe tróchromatyczne X, Y, Z ; współrzędne tróchromatyczne x, y ; długość fali dominującej λ_d ; czystość pobudzenia p_e ; czystość kolorymetryczną p_c . Obliczenia należy przeprowadzić przy dwóch iluminantach wykorzystując dane w dostarczonych tabelach.

Uzyskane wyniki współrzędnych tróchromatycznych należy nanieść w postaci punktów na wykres chromatyczności (x, y) znajdujący się w załączonym pliku „CIExy.pdf”

W sprawozdaniu z niniejszego ćwiczenia powinny się znaleźć:

- skrócony opis przebiegu ćwiczenia,
- wyniki pomiarów i wykonanych obliczeń oraz rysunki,
- odpowiedź na następujące pytanie z uzasadnieniem:
Czy układ kolorymetryczny CIEXYZ jest wrażliwy na zmianę warunków oświetleniowych?
- wnioski z otrzymanych wyników zwłaszcza porównujące wyniki otrzymane przy różnych iluminantach,
- 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