



PR/B10ÁGY0310GO0015FO001

Dilemmák és megoldások a színlátás kutatásban Dilemmas and solutions in colour vision research

Dr.Ábrahám György egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Finommechanikai Optikai Tanszék 1521 Budapest, Pf.91.
Telefon: 463-1935, Fax: 463-4167 Email: abra@fot.bme.hu

Abstract

We determined the relative height differences between the eye's three color sensitive receptors' sensitivity functions and from the results we have realized that the area under the blue receptor's sensitivity curve should be twice as large as the areas for the red and green. We give a brief summary about the development in correcting color deficiency and about the model of neural color perception.

Meghatároztuk a szem három színérzékelő receptora érzékenységeinek egymáshoz képesti nagyságát. Felismertük, hogy a kék érzékelő receptor görbéje alatti terület kétszer akkora kell legyen, mint a vörös vagy a zöld. Bemutatjuk a szintévesztés korrigálásának fejlődési szintjeit és az agyi színfelismerés modelljét.

1. A háromszín elmélet és az ellentét-szín elmélet dilemmája

A szemben az éjszakai látásra alkalmas pálcikák és a nappali látásra alkalmas csap receptorok vannak. A színlátás csak a csapokkal lehetséges, mivel azok három félek spektrális érzékenység szempontjából: vörös, zöld, illetve kék érzékenységűeknek mondjuk őket. A színek érzékelése azáltal jön létre, hogy eltérő mértékben ingerlődnek a különböző csap receptorok. Jelöljük a receptorok érzékenységi függvényeit $l(\lambda)$, $m(\lambda)$, $s(\lambda)$ -val

A $\Phi(\lambda)$ spektrális eloszlású fény inger egy L, M, S számhármassal jellemezhető ingerületet (érzékletet) hoz létre az emberi szemben.

$$L = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) l(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$M = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) m(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$S = \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) s(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

Ezen megfigyelésen alapszik a színlátás Young-Helmholtz féle 1802-ben megalkotott elmélete az ún. tristimulusos, vagy háromszín elmélet. (Young, 1802; Helmholtz, 1852)

Hering (1905) 4 színre, a vörösre, a zöldre, a sárgára és a kékre alapozta színelméletét és ezeket unikális színeknek nevezte, minthogy nem létezik a nyelvben vöröses-zöld, vagy sárgás-kék színnevezés.

Ez a leírás mód 3 számot eredményez, megadva azt, hogy az ellentét (opponens) színekből milyen arány szükséges az illető színérzet létrehozásához. Szokás a Hering-féle színelméletet opponens-color színelméletnek is nevezni.

Legyenek az opponens csatorna függvények a következők

$$C_{RG} = L - M \tag{4}$$

$$C_{BY} = S - (L + M) \tag{5}$$

$$C_V = 1,7L + M \tag{6}$$

Vizsgáljuk meg, hogy milyen matematikai kapcsolat állítható fel a trichromatikus és az opponens color elmélet kimeneti jellemzői között.

Mátrixosan írva:

$$\begin{bmatrix} C_{RG} \\ C_{BY} \\ C_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1,7 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \tag{8}$$

A (7) és a (8) mutatja a kapcsolatot a trikromatikus és az opponens color elmélet között.

2. A csatorna-függvények értelmezésével kapcsolatos dilemmák

2.1. Az érzékenységi függvények magassága

A szem színérzékelő receptorainak érzékenységi függvényeit általában egységnyi csúcser-
tékre normalva találhatjuk meg az irodalomban (Stockman, A., Sharpe, L.T.1999;
www.cvision.ucsd.edu) Ugyanakkor a színlátás folyamán keletkező érzéketek
értelmezéséhez szükség van arra, hogy eldöntsük, egymáshoz képest milyen magasak
látószervünk receptorainak érzékenységi függvényei.

Tegyük fel, hogy a Földön élő ember szeme a Nap fehér fényére ($\Phi_{D65}(\lambda)$) alkalmazkodva
fejlődött ki az evolúció során, tehát a semleges fehér fény jelenti a ganglion sejtek
kimeneteinek alapértékeit – a zérust.

Ha a C_{RG} csatorna görbét nézzük, akkor $C_{RG} = L - M = 0$ összefüggésből L és M relatív
értékeire

$$L = M \tag{9}$$

adódik, tehát az $l(\lambda)$ és $m(\lambda)$ egymáshoz képesti értékeit az alábbi egyenletből lehet

$$\int_{380}^{780} \Phi_{D65}(\lambda) \cdot c_l \cdot l_e(\lambda) \cdot d(\lambda) = \int_{380}^{780} \Phi_{D65}(\lambda) \cdot m_e(\lambda) \cdot d(\lambda) \tag{10}$$

ahol $l_e(\lambda)$ és $m_e(\lambda)$ az egységnyi magasságra normált érzékenységi függvények
 c_l és c_m konstansok, amelyeket a (10) egyenletből lehet meghatározni.

A számításokat elvégezve az egységnyire normált $l_e(\lambda)$, $m_e(\lambda)$ érzékenységi függvények c_l és
 c_m konstansai a következők: $c_l = 1$, $c_m = 1,1$

Ahhoz, hogy a C_{BY} csatorna függvény is zérus értékű legyen, az kell hogy $C_{BY} = S - (L+M) = 0$ teljesüljön, vagyis $S = L + M$ kell legyen.

Ez azt jelenti, hogy az $s(\lambda)$ receptor kimenete nagyságrendileg kétszer olyan nagy kell legyen, mint az egymással közel azonos $l(\lambda)$ és $m(\lambda)$ receptorok!

Tehát az egységnyi magasságúra normált $s_e(\lambda)$ -t egy olyan c_s -sel kell megszorozni, ami az alábbi egyenletből kapható. Az egyenletben már ismertek a c_l és a c_m értékei.

$$\int_{380}^{780} \Phi_{D65}(\lambda) c_s s_e(\lambda) d(\lambda) = \int_{380}^{780} \Phi_{D65}(\lambda) c_l l(\lambda) d(\lambda) + \int_{380}^{780} \Phi_{D65}(\lambda) c_m \cdot m(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

A számításokat elvégezve $c_s = 3,4$ adódik.

3. A színtévesztés korrigálása optikai szűrés technikával

1985. végén egy hipotézist állítottunk fel: tekintsük úgy, hogy a színtévesztésnek **nem valamelyik receptor érzékenysége csökkenése, hanem annak más színre való eltolódása az oka.** Ezen hipotézis alapján azután alkalmas szűrőket kerestünk, amelyek visszatolják az érzékenységi függvényeket a helyükre.

A kívánatos színszűrő spektrális transzmissziós függvényét az alábbi összefüggés szerint számítjuk ki

$$\tau(\lambda) = \frac{l(\lambda)}{l^*(\lambda)} \quad (12)$$

ahol $l^*(\lambda)$ az eltolódott érzékenységi függvény.

Felvethető azonban egy kérdés a fenti magyarázattal kapcsolatban:

A retinán elhelyezkedő receptorok érzékenységi függvényei nem tolódhatnak el egy színszűrő hatására, hiszen a szembe nem avatkozunk be, csak a szem felé tartó fény útjába helyezzük a színszűrőt!

$$L = \int_{380}^{780} \Phi_{D65}(\lambda) \tau(\lambda) l^*(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

Az integrandus egy többtényezős szorzat, amelyet tetszőlegesen csoportosítva végezhetünk el, mivel a szorzás disztributív művelet.

$$\left[\Phi(\lambda) \tau(\lambda) \right] \cdot l^*(\lambda) = \Phi(\lambda) \cdot \left[\tau(\lambda) \cdot l^*(\lambda) \right] \quad (14)$$

Értelmezve a (14) összefüggést, a bal oldalon a valóságos fizikai folyamat során a szűrővel módosított spektrumot érzékeli a valóságos $l^*(\lambda)$ hibás receptor, és ez egyenértékű azzal, mintha – a jobb oldalon az eredeti spektrumot nézné a korrigált receptor.

Ezzel a dilemma feloldást nyert, szabad úgy tekintenünk, mintha a korrekciós színszűrő vissza tolná az eltolódott receptor érzékenységi függvényt a helyére.

4. A csatorna függvények korrigálásának elve

Súlyosabb színtévesztők esetében, az $l(\lambda)$, $m(\lambda)$ receptorok olyan közel kerülnek egymáshoz, hogy a 3. pont szerinti szűrő tervezési elv újabb dilemma elé állítja a tervezőt.

Tűzzük ki célul azt, hogy olyan szűrőt tervezünk, amelyik nem törődik a retinán lévő receptorok érzékenységi függvényeivel, hanem csak az elromlott C_{RG} csatorna függvényt törekszik megjavítani. Ehhez a célhoz az alábbi alakú $\tau(\lambda)$ szűrő függvényben kereshetjük a megoldást

$$\tau(\lambda) = \frac{C_{RG}(\lambda)}{C_{RG}^*(\lambda)} \quad (15)$$

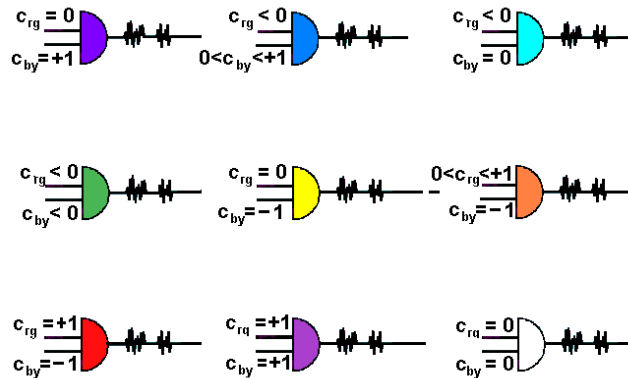
ahol $C_{RG}^*(\lambda)$ a rossz csatornafüggvény

A leírt módszer egy jobb lehetőséget ad az optimális szűrő tervezésére, hiszen az összetelődött esetekben is alkalmazható. (Ábrahám, Gy., Nagy, B.V. 2002. Ábrahám, Gy., Nagy, B.V. 2003.)

5. A színidentifikáció neurohálózati modellje

Felmerül a kérdés: milyen kapcsolat van a színlátás során keletkező, az idegszálakon a látókéregbe jutó jelek és a színidentifikáció között?

Ha feltételezzük, hogy analóg módon a színlátás is kvantált a feldolgozás bizonyos szintjén, akkor az identifikációt modellezhetjük úgynevezett színidentifikációs neuronokkal. (1. ábra)



1. ábra

A színidentifikációs neuronok

Csak a jelölt bemenetek esetén adnak kimenetet

Irodalom

Young, T. (1802) The Bakerian lecture: On the theory of light and colours. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, 92, p. 12-48.

Helmholtz, H.L.F. von (1852) Über die Theorie der zusammengesetzten Farben. *Annales de Physique*, Leipzig, 887, p. 45-66.

Hering, E. (1905) Outline of a Theory of the Light Sense (eds. and trans. Hurvich, L. & Jameson, D., 1964) *Harvard University Press, Cambridge, MA*.

Stockman, A., Sharpe, L.T. (1999) Cone spectral sensitivities and color matching. In *Color Vision: From Genes to Perception* (Gegenfurtner and Sharpe, eds.) p. 53-88. *Cambridge University Press, New York*

www.cvision.ucsd.edu. Color vision database

Ábrahám, Gy., Nagy, B.V. (2002) The dysfunction of the photoreceptor and its correctional possibility with optical filters. *Acta Physiological* 89. 1-3. p. 188-198.

Ábrahám, Gy. Nagy, B.V. (2003) Colour identification based on opponent colour signals. *Publication CIE x025:2003. ISBN 3 901 906 22 3*. p. 123-126.