

SZÍNTÉVESZTŐK CSÖKKENT SZÍNKONTRASZT ÉRZÉKENYSÉGE

Samu Krisztián, Ladunga Károly, Wenzel Klára
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Finommechanikai, Optikai Tanszék

ÖSSZEFOGLALÓ

A színtévesztők nemcsak a színek felismerése, hanem a színek megkülönböztetése szempontjából is hátrányos helyzetben vannak a jó színlátókkal szemben, azaz a színes feloldásuk (részlet-megkülönböztető képességük) is gyenge. Világosság- és színkontraszt érzékenységi méréseket végeztünk jó színlátókon és színtévesztőkön, hogy meghatározzuk a színtévesztésnek a látásminőségre gyakorolt hatását.

10 jó színlátású és 10 színtévesztő mérőszemély látását vizsgáltuk meg. A színtévesztők színlátási problémáját színkontraszt fokozó szemüvegekkel korrigáltuk, és a méréseket elvégeztük a korrekció előtt és után egyaránt. A kísérleti személyek színlátását Ishiara táblákkal és anomalozkóppal határoztuk meg.

A világosságkontraszt érzékenység szempontjából nem volt szignifikáns különbség a jó színlátók és a színtévesztők között. A színtévesztők vörös-zöld kontrasztérzékenysége azonban minden esetben szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a jó színlátóké. A kontrasztfokozó szemüvegek hatására a színtévesztők színkontraszt-érzékenysége szignifikánsan javult.

1. Bevezetés

A színes kép élménye a szem retinájára vetített változatos színű és formájú foltok sokaságából alakul ki. Minél több foltot tudunk megkülönböztetni, annál részletgazdagabban látunk, annál több információt tudunk a környezetünkben felvenni. Megfigyelhető, hogy a színtévesztők nemcsak a színek helyes felismerésében vannak hátrányos helyzetben, de kevésbé részletgazdagon is látnak, mint a normál színlátók.

A látás útján kialakult színes képek részletgazdagságának mérése szinte lehetetlen. Ezért egyszerű geometriával és korlátozott színtartományokban kialakított tesztábrák alkalmazásával kísérleteztünk. Az egyik legegyszerűbb tesztábra a rácsozat, a színkészletet pedig két-két színre, illetve azok additív keverékére korlátoztuk.

Színes rácsozatokat jelenítettünk meg színes monitoron, és segítségével sikerült megmérnünk, hogy a színtévesztők mennyivel kevesebb részletet tudnak megkülönböztetni egy színes képen, mint a normál színlátók. Emellett kimutathatóvá és mérhetővé vált az új magyar találmány, a színlátásjavító szemüveg javító hatása is.

Két színnel létrehozott rácsozatok és azok különböző paramétereinek változtatásával több vizsgálat is elvégezhető. Mi a térfrekvencia és a kontraszt változtatásával jutottunk kiértékelhető adatokhoz. A látásvizsgálatokban már ismert kontraszt-érzékenységi függvény (angolul contrast sensitivity function, CSF) fogalmát kiterjesztettük színes rácsozatokra is. Definiáltuk a színes kontraszt-érzékenységi függvény (angolul color contrast sensitivity function, CCSF) fogalmát, és kidolgoztunk egy mérési módszert a szem színes kontraszt-érzékenységi függvényének mérésére. Ezzel a módszerrel szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni normál színlátók és színtévesztők illetve korrigálatlan és korrigált színtévesztők között.

2. A világosság- és a szíkontraszt

Legyen vizsgálatunk tárgya első lépésben a kontraszt érzékenységi függvény. A kontraszt érzékenységi függvény görbét akromatikus rácsozatokkal vehetjük fel. Megfigyelhető, hogy egy rácsozat adott térfrekvencián egy bizonyos kontrasztküszöb alatt már egybefüggő szürkének látszik. Mutassunk különböző sűrű (különböző térfrekvenciájú) rácsozatokat a vizsgált személynek, majd fokozatosan csökkentjük egy-egy adott térfrekvenciájú rács kontrasztját mindaddig, amíg a rácsozat eltűnni nem látszik. Ábrázoljuk a térfrekvencia függvényében azokat a kontrasztértékeket, amelyen a vizsgált személy még éppen észlelni tudta a rácsozatot, és ily módon hozzá jutunk a kontraszt érzékenységi függvényhez. Az akromatikus kontrasztérzékenység görbéi U alakúak.

A rácsozat kontrasztjának számítása a világosság-kontraszt definíciója alapján történik:

$$K = \frac{|I_1 - I_2|}{I_1 + I_2} \quad 1.$$

,ahol: - K a kontraszt
- I_1 és I_2 két szomszédos 1 és 2 jelű felület-elem (rács esetén csík) eltérő világossága

A színes rácsozatok kontrasztjának definiálásakor egy nehézségbe ütköztünk. Az 1. képlet szerinti definíció alkalmazását ugyanis megnehezíti az, hogy különböző, de azonos világosságú rács-színeket a retina még felold, viszont a definíció szerinti kontraszt ilyenkor 0. Tehát ha ki szeretnénk terjeszteni a kontraszt fogalmát színes rácsozatokra is, akkor keresnünk kell egy definíciót, amely a színes kontrasztot mérhetővé teszi. Méréseink során a színes rácsozatokat színes monitoron jelenítettük meg. A szintévesztés leggyakoribb formája a vörös-zöld szintévesztés, ezért vörös-zöld rácsozatokkal dolgoztunk. A színes rácsozatok kontrasztját az adott rácson alkalmazott legintenzívebb vörös illetve legintenzívebb zöld színek CIE $L^*a^*b^*$ színelkülönbségével jellemeztük.

	K=0 kontraszthoz aktuálisan tartozó 1. és 2. rácsszín színkoordinátái	K=1 kontraszthoz tartozó 1. és 2. rácsszín maximális színkoordinátái	K=0..1 kontraszthoz aktuálisan tartozó 1. és 2. Rácsszín színkoordinátái
színes kontraszt moduláció I	R_1, G_1, B_1 R_2, G_2, B_2	$M_R = \max(R_1, R_2)$ $M_G = \max(G_1, G_2)$ $M_B = \max(B_1, B_2)$	$R_{1,2} = R_{1,2} + (M_R - R_{1,2})(1-K)$ $G_{1,2} = G_{1,2} + (M_G - G_{1,2})(1-K)$ $B_{1,2} = B_{1,2} + (M_B - B_{1,2})(1-K)$
színes kontraszt moduláció II	R_1, G_1, B_1 R_2, G_2, B_2	$M_R = (R_2 + R_1)/2$ $M_G = (G_2 + G_1)/2$ $M_B = (B_2 + B_1)/2$	$R_{1,2} = R_{1,2} + (1-K)M_R$ $G_{1,2} = G_{1,2} + (1-K)M_G$ $B_{1,2} = B_{1,2} + (1-K)M_B$
színes kontraszt moduláció III	R_1, G_1, B_1 R_2, G_2, B_2	$M_R = 0$ $M_G = 0$ $M_B = 0$	$R_{1,2} = K R_{1,2}$ $G_{1,2} = K G_{1,2}$ $B_{1,2} = K B_{1,2}$

1. táblázat: Színes kontrasztmodulációs módszerek

Ahhoz, hogy CSF függvényt mérhessünk, szükséges, hogy a színes rácsozatok kontrasztját változtatni tudjuk különböző térfrekvenciákon. A színes rácsozatok kontraszt modulálását két rácsozatotó szín segítségével három módon lehet

megvalósítani. Ha a számítógéppel vezérelt CRT monitor színterében az egyik rácsszín színkoordinátái (R1, G1, B1), a másik rácscsoporté pedig (R2, G2, B2) akkor az 1. táblázatban megadott módokon modulálhatunk szíkontrasztot.

A II moduláció típusnál a maximálisan 1 kontrasztú rácscsozatban a két szomszédos rácsszín tisztán az egyik kiinduló színt tartalmazza, a 0 kontraszthoz tartozó két szín pedig a kiinduló színek intenzitásában azonos keverékből áll. Az így létrehozott szíkontraszt modulálás jól illeszthető a CIE $L^*a^*b^*$ színelkülönbség mérő módszerhez, mivel a két rácsszín közötti számított színelkülönbség definiálja a színes kontrasztérzékenységet. Az I és III moduláció típus 1-es kontraszthoz tartozó rácscsoport színei a fehér illetve a fekete. Ezeknél a modulációknál nem áll fenn a kontrasztváltoztatás során a rácscsoport világosságazonossága és a színelkülönbségmérő módszerekkel számított értékek sem korrelálnak a csökkenő kontrasztértékkel, ezért ezeket a moduláció típusokat elvetettük.

A színes kontraszt II. módon leírt modulálásával megmértük a színes kontrasztérzékenységi függvényt (CCSF), amely CIE $L^*a^*b^*$ rendszerben kifejezett színes kontrasztérzékenységi küszöböt mutatja a térfrekvencia függvényében.

3. Mérési módszer

A vörös és zöld színes rácscsoport kontraszt és térfrekvencia modulálását számítógéppel vezérelt CRT monitoron az erre a célra készített szoftverrel készítettük el. A vezérlő számítógép PI MMX-200, a kalibrált monitor LG Studioworks 57i, a grafikus vezérlő pedig Matrox Millennium típusú volt.

A vizsgálatokat 10 normál színlátóból és 10 protanomál típusú színtévesztőből álló csoporttal végeztük el, így módon három 10-10 elemű mintát létrehozva. Az első mintához a normál színlátók, a második és harmadik mintához pedig a korrigálatlan színtévesztők illetve a színszűrővel korrigált színtévesztők tartoztak. A színtévesztők elsődleges kiválasztására Ishihara tesztet alkalmaztunk, a protanomál színtévesztők kiszűrésére pedig Heidelberg anomaloszkópot.

A színtévesztők és a normál színlátók világosságérzete az eltolódott l, m, s receptorai miatt nem azonos. Az adott kontrasztú rácscsoportot ezért a színtévesztő mérőszemély akár színelkülönbség érzékelése nélkül, csupán világosságkülönbség alapján is felismerheti. Mivel nem ez a célunk, ezért a CSF függvények felvétele előtt heterokromatikus világosságérzet egyeztetést is végeztetünk a monitor R és G alapszínei között. A méréseket végző szoftver ezek után a megfelelő R, G, B alapszín arányoknak megfelelően generálta a rácscsoportokat.

A rácscsoportokat vörös és zöld csíkok alkották, mivel a kiválasztott protanomál és a normál csoport CSF eltérései várhatóan ezzel a színpárral voltak a legjobban kimutathatóak. A rácscsoport háttéréként a 0 kontraszthoz tartozó (tehát a csíkokat alkotó színek átlagaként nyert) szintet alkalmaztunk, amelynek világossága megegyezik a rácscsoportokkal. A rácscsoportok szinuszosan moduláltak, emellett a széleken jelentkező élkontraszt megjelenésének elkerülése érdekében a háttérbe belemosottak voltak.

4. Mérések

A mérések sötét szobában zajlottak. A heterokromatikus világosságérzet bemérés útján kapott primer vörös és zöld (gamma korrigált) világosság-arányt a CCSF mérő szoftver használja fel, azonos világosságú, de különböző kontrasztú rácscsoportok létrehozására.

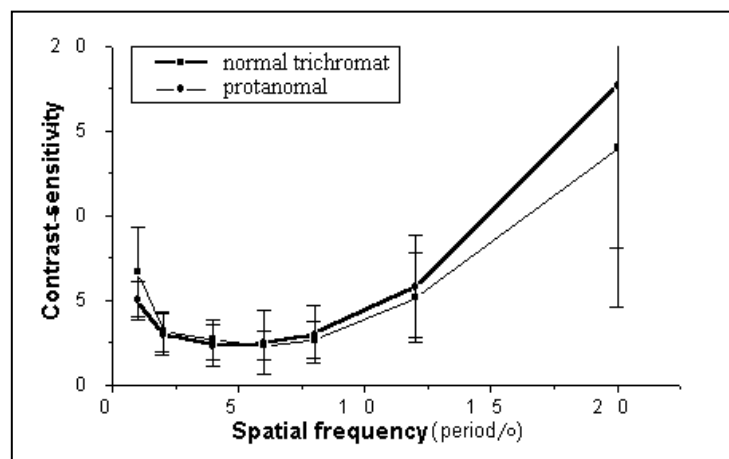
A CCSF méréseket a CSF mérésekben általában használt 1, 2, 4, 6, 8, 12, 20 periódus/° térfrekvenciákon végeztük el. Az ábrák látószöge 1,5° volt, a megfigyelés távolsága pedig 4 m.

A mérési pontok felvétele során az adott térfrekvencián addig növeltük a színekontrasztot, míg a mért személy fel tudta ismerni a rácsozatot. Mivel a rácsozatok a kontrasztváltoztatás során véletlenszerűen vízszintesen illetve függőlegesen jelentek meg, ezért a vizsgált személy feladata az irány meghatározása volt. A kontraszt érzékenységi határon elvégzett 3 alulról és 3 felülről történt közelítés eredményét fogadtuk el és rögzítettük a térfrekvencia függvényében.

A három mintán lemértük a CCSF és CSF függvényeket, emellett 3 sorozatból álló ismétlőképességi mérést is végeztünk egy normál színlátón, a vizsgálat megbízhatóságát erősítve.

5. Eredmények

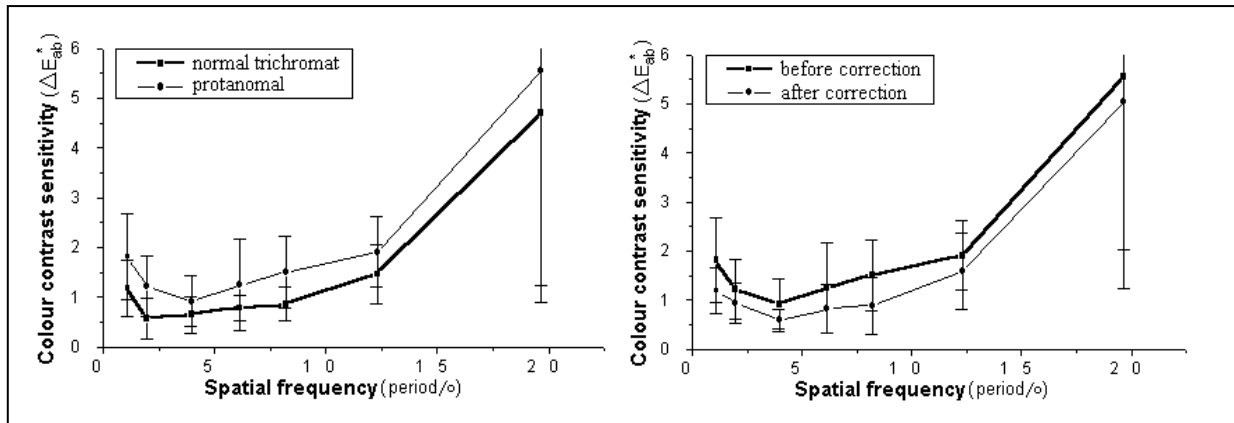
A kiértékelés során a monitoremiszió és a gamma görbék alapján határoztuk meg a világosságkontrasztot (CSF-nél), és CIE L*a*b*-en a $\Delta E^*_{a,b}$ színelkülönbséget (CCSF-nél).



1. ábra: Normál színlátók és színtévesztők CSF diagramja

Az 2. ábrán látható és az elvégzett statisztikai próbák bizonyítják, hogy az akromatikus CSF mérések nem mutattak ki szignifikáns különbséget a színtévesztők és a normál színlátók között. Ennek oka, hogy az akromatikus érzet kialakulásában mindhárom (l, m, s) receptor azonos arányban vesz részt, tekintet nélkül arra, hogy egy receptor érzékenysége eltolódott-e vagy sem. Az inger főleg intenzitás (és nem spektrális) információval rendelkezik, ennek köszönhetően megállapítható, hogy a színtévesztők kontrasztérzékenysége nem különbözik a kimutathatóan a normál színlátókétól. A 2.a. ábrán látható a normál és az anomáliás színlátók közti szignifikáns különbség, továbbá az hogy a CCSF görbék jellege hasonló a CSF görbékhez. Az eredmények igazolják azt a tapasztalati tényt, hogy a színtévesztők színlátásának részlet-gazdagsága a vörös-zöld színingerek esetében rosszabb, mint a normál színlátóké. A korrigált és korrigálatlan színtévesztők 2.b. ábra alapján alkotott CCSF-görbéi eltérést mutatnak, tehát sikerült kimutatnunk a szemüveg javító hatását. Sőt, ha összevetjük a korrigált értékeket a normál színlátók eredményeivel, akkor az is megállapítható, hogy a színekontraszt-érzékenységet a szemüveg által sikerült normál értékre hoznunk! Tehát a színtévesztők a szemüveg használatával közelítőleg a normál színlátókkal azonos kontrasztérzékenységet produkáltak. Az

ismétlőképességi méréseknél a tapasztalati szórás a mért átlag értékének 10%-a alatt van, a méréseink megbízhatósága tehát megalapozott.



2. ábra: a) Normál színlátók és protanomálok CCSF diagramja; b) korrigálatlan és korrigált protanomálok CCSF diagramja

6. Köszönet-nyilvánítás

Köszönetünket szeretnénk kifejezni a Coloryte Rt.-nek a műszaki feltételek biztosításáért.

Hivatkozások

- [1] Gy. Abraham, K. Wenzel: Method and Apparatus for Determining Spectral Sensitivity Parameters of Color-Sensitive Receptors in the Eye. PCT/ HU95/00009, 1998.
- [2] R. Jackson, L. MacDonald, K. Freeman: Computer Generated Colour, John Wiley & Sons, Chichester, 1993.
- [2] Bernt Christian Skottun: The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. Vision Research, 40, 111/127, 2000.
- [3] D. Regan, R. Silver, T. Murray: Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis. Brain, 100, 563/579, 1977.
- [4] Jin, Phil Q.; Pokorny, Joel; Smith, Vivianne C.: Effect of spatial frequency on chromatic induction. 3rd Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications (Springfield), 11/14, 1995.
- [5] Ladunga K.: Relative luminosity generated by the colors of CRT. Periodica Politechnica 44. , 2000.
- [6] Lovegrove W., Bowling A., Badcock D., Blackwood M.: Specific reading disability differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. Science, 210, 439/440, 1980.
- [7] Luminance and color contrast sensitivity and VEP latency in subjects with normal and defective binocularity. European Journal of Ophthalmology, 7, 82/91, 1997.
- [8] V.C. Smith, J. Pokorny: Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm. Vision Research, 15, 161/171, 1975.
- [9] K. Wenzel, K. Ladunga, Gy. Abraham, G. Kovacs, I. Kucsera, K. Samu: Measuring Colour Resolution of the Eye by Using Colour Monitor, Colour 2000. 3.-14. April, Derby. 2000.

Levelezési cím:

Wenzel Klára
 BME, Finommechanikai Optikai Tsz.
 E ép. III.1.
 H-1521 Budapest
 wenzel@bme.fot.hu; <http://www.fot.bme/>