

Matematikai statisztikai módszerek alkalmazása pszichofizikai mérések kiértékelésében Applying Mathematical Statistical Methods in Evaluating Psychophysical Measures

Dr. WENZEL Klára, egyetemi magántanár; Dr. SAMU Krisztián, egyetemi adjunktus
LANGER Ingrid, főiskolai adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék
Hungary, Budapest, 1111. Egrý J. u. 1-3 E épület, 305. Tel: 463-3792 Fax: 463-3787, Web: www.mom.bme.hu
wenzel@mom.bme.hu; samuk@mom.bme.hu

Department of Mechatronics, Optics and Instrumentation Technology, Budapest University of Technology and
Economics Hungary, Budapest, 1111. Egrý J. u. 1-3 E . 305.

Tel: 463-3792 Fax: 463-3787, Web: www.mom.bme.hu; wenzel@mogi.bme.hu; samuk@mogi.bme.hu;
langer.ingrid@bmk.bmf.hu

Abstract: Colour-matching functions (cmf's) were measured experimentally on three colour deficient and one colour normal people in the optical laboratory of the National Physical Laboratory (NPL) in London to specify their colour sensitivity functions $l(\lambda)$ and $m(\lambda)$. The psychophysical measures have big random errors because of the individual errors of the observers. We show a new mathematical statistical method enabling the evaluation of discrepancies caused by the variability of measuring data.

Összefoglaló: A londoni National Physical Laboratory optikai laboratóriumában három színtévesztő és egy ép színlátó személyen mértük meg a színmegfeleltető függvényeket (cmf) annak érdekében, hogy meghatározhassuk az $l(\lambda)$ és $m(\lambda)$ spektrális érzékenységi függvényeiket. A pszichofizikai méréseknek igen nagy a véletlen hibája. Cikkünkben egy olyan új matematikai statisztikai módszert mutatunk be, amely lehetővé tette, hogy a nagy bizonytalanságú mérési adatokat kiértékeljük.

Kulcsszavak: Kalman filtering, colour deficiency, colour matching functions, colour sensitivity functions

1. Bevezetés

Munkánk célja olyan módszer kidolgozása, amelynek segítségével meghatározhatók az egyes színtévesztő személyek színes látását jellemző $l(\lambda)$, $m(\lambda)$ és $s(\lambda)$ egyéni spektrális színérzékenységi függvények.

A fizikai jelenségek (színes fények, hangok, stb) érzékelését és azok megjelenését a tudatban pszichofizikai jelenségnek nevezzük. Pszichofizikai jelenség például a látás, a hallás, a szaglás, a tapintás és az ízlelés. Ezen jelenségek számszerűsítése és mérése a mérés technika legösszetettebb feladatai közé tartozik. Galileo Galilei (1564-1642) tanácsát kell megfogadnunk, ha pszichofizikai mennyiségeket akarunk mérni: "Ami számítható, azt számítsd ki; ami mérhető, azt mérd meg; és ami nem mérhető, azt tedd mérhetővé!"

Az ép színlátók spektrális érzékenységi függvényeit a CIE (Nemzetközi Világítástechnikai Társaság) által 1931-ben, majd 1962-ben végzett mérésekkel meghatározott colour matching függvények (cmf) alapján, azok lineáris transzformációjával próbálták meghatározni [1]. Ezek a függvények azonban nem írják le kellő pontossággal a keresett színérzékenységi függvényeket. A kapott eredményeket újabb mérési adatokkal összehasonlítva és tovább finomítva ma már ismertek az átlagos ép színlátókra jellemző színérzékenységi függvények [2]. A színtévesztőkre vonatkozóan azonban csak kevés és nagyon általános adat áll rendelkezésre. Ezért elhatároztuk, hogy színtévesztő személyeken is elvégezzük a cmf-méréseket, és azok alapján meghatározzuk az egyéni színérzékenységi függvényeiket. A cmf-mérések kiértékelésére az ép színlátók cmf-méréseinek kiértékelésére korábban kidolgozott matematikai közelítő módszerünket kívántuk alkalmazni [3, 4, 5, 6].

A mérések során azonban kiderült, hogy szintévesztő személyekkel sokkal nehezebb a cmf-méréseket elvégezni, mint ép színlátó személyekkel. Ennek oka a bizonytalan és pontatlan színlátáson kívül a szín fogalmak bizonytalanságában kereshető. A szintévesztők mérési adatai a normál színlátók mérési adatainál lényegesen nagyobb véletlen hibával rendelkeznek. Ezért új kiértékelési eljárást dolgoztunk ki, melynek során sikerrel alkalmaztuk a Charles Stark Draper-díjas magyar matematikus, Kálmán Richárd által kidolgozott Kalman-szűrést [7].

2. A mérő berendezés

Az NPL optikai laboratóriumában található az a mérési összeállítás, amely a CIE által 1962-ben elvégzett, a színérés alapját képező cmf-mérések mérő berendezésének korszerűsített változata. [8,9] Ezt a berendezést béreltük ki 4 hétre méréseink céljára. A méréseket a Coloryte Rt. finanszírozta. A berendezés alkalmas a cmf-méréseken kívül a fotometriai mérések alapját képező $V(\lambda)$ függvény kísérleti meghatározására is. Felépítését tekintve a műszer laboratóriumi kutató-műszernek tekinthető. Egy optikai asztalon építették fel optikai padok, standard lovasok, állványok, lencse-befogók és egyéb optikai építőelemek felhasználásával. Ezáltal egy nagyon variábilis, áttekinthető, de nagy és nehézkes műszer jött létre. Alapterülete csaknem 2 négyzetméter. A 6-csatornás optikai elrendezés 2-2-csatornáját összesen 3 független fényforrás (150 Wattos halogén izzó) világítja meg. Az optikai csatornák úthossza közel 2200 mm. Ilyen hosszú optikai csatornák egytengelyű beszabályozása szinte lehetetlen, ezért a kísérleti személy fejének elmozdulása esetén a látómező egyenletes megvilágítása nem biztosítható. Ennek elkerülésére nemcsak homlok-támaszt és áll-támaszt kellett alkalmazni, de harapó támaszt is. Mindez a kísérleti személy számára roppant kellemetlen és fárasztó.

3. A mérő személyek

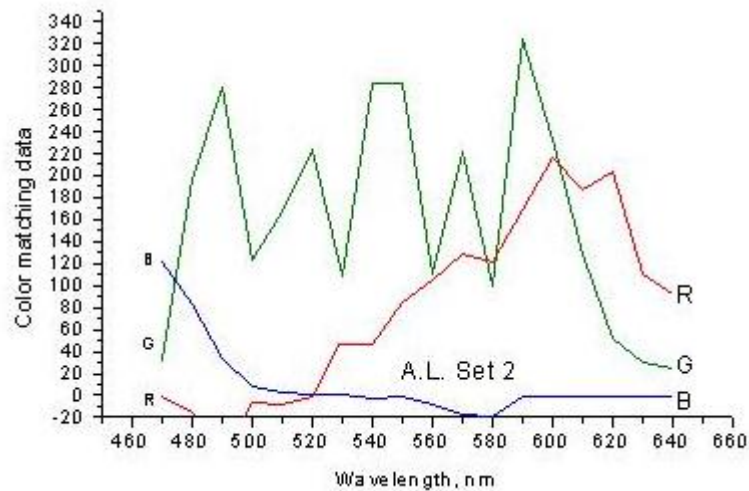
Tekintettel a mérések nagy idő- és költségigényére, mindössze négy személy részletes bemérését végeztük el. A négy személyt azonban úgy választottuk meg, hogy lehetőleg minél több kérdésre választ kaphassunk. A mérésekhez három közepesen súlyos szintévesztőt választottunk ki, akik közül kettő deuteranomál, egy pedig protanomál volt. A mérések kontrollja céljából egy ép színlátó személyen is elvégeztük a mérést. A jó színlátású személyre azért volt szükség, mert a műszeren eddig csak normál színlátókat mértek. Minthogy azok mérési adatai ismertek, azok alapján kontrollálni tudtuk, hogy a műszer, amelyet évek óta nem használtak, megfelelően működik-e. A kísérleti személyek színlátását Ishihara teszttel, anomaloszkóppal és Farnsworth-Munsell 100 Hue teszttel ellenőriztük.

4. A mérések

A cmf mérések olyan szín-egyeztető mérések, amelyek során a kísérleti személynek három (vörös, zöld és kék) monokromatikus alapszínből (keverő színből) ki kell keverni egy olyan színt, amelyet egyformának lát egy negyedik monokromatikus fényvel (target-szín). A felhasznált keverő színek mennyiségét megmérve jutunk a cmf adatokhoz, amelyek megmutatják, hogy a kísérleti személy mennyi vörös, zöld és kék keverő színt használt fel az egyes target színek kikeveréséhez. A target színt a mérések során 10 nm-enként változtattuk 470 nm-től 640 nm-ig, így összesen 18 hullámhosszon történtek mérések. A szín egyeztetéshez 4⁰-os eltűnő éllel osztott látómezőt alkalmaztunk, körülötte 16⁰-os fehér adaptációs mezővel. Minden színegyeztetést 5-ször kellett ismételni a mérő személynek a véletlen hibák csökkentése érdekében. A teljes mérési sorozatot pedig kétszer végezte el mindegyik mérő személy. Így egy mérő személynek összesen $18 \times 5 \times 2 = 180$ színegyeztetést kellett elvégezni. Mivel a mérések fárasztóak és egyhangúak, 30 perc mérés után mindig 15 perc szünetet tartottunk, és naponta egy mérő személy csak 6 órát mért. Így egy-egy mérőszemély teljes megmérése egy hétig tartott.

5. A mérési eredmények

A továbbiakban példa képpen az egyik deuteranomál szintévesztő mérési eredményeit mutatjuk be. A keverő színek mennyiségét log Trolandban (a retina megvilágítottságának mértékegysége) mértük meg A kapott cmf függvény az alábbi volt (1.ábra):



1.ábra

6. A kiértékelés

A kiértékelésnél az alábbi feltevésekből indultunk ki:

- Fennáll az additivitás (azaz ha egy receptort egyidejűleg több hullámhosszon ingerlünk, az ingerek összegével arányos kimenő jelet kapunk, persze figyelembe véve a receptor spektrális érzékenységi függvényét is).
- Ha a látómező két felét azonos színűnek látjuk, akkor azonos inger kell, hogy érje külön-külön is a látómező két oldalán elhelyezkedő receptorokat.
- A mérési adatok kiértékelését az 5-5 mérési adat átlaga alapján végeztük el (1.ábra).

A kiértékelés lépései:

- Az átlag-értékek átszámítása log Trolandból Trolandra (1.ábra)
- Átszámítás Trolandból Wattrra az MSz 9620/4-72 szabvány 18. Pontja alapján, a nappali $V(\lambda)$ függvény 2° -os látómezőre vonatkozó, 10 nm-enkénti adataival
- Durva hibák kiszűrése. A pszichofizikai méréseknél ugyanis a durva hiba sokkal gyakoribb, mint a méréstechnika más területein. Esetünkben az 520 nm alatti és a 640 nm feletti adatok gyakorlatilag használhatatlanok voltak, feltehetőleg azért, mert a spektrum szélein a szem csökkenő érzékenysége miatt a fény érzékelése romlik, és már nem éri el a fotopikus látáshoz szükséges értékeket. Durva hibának tekintettünk minden olyan értéket, amelynek hibája az illető gyanús érték elhagyása után meghaladja a megmaradt hibák szórásának 4-szeresét. Az ilyen adat ugyanis mindössze 0.006 % valószínűséggel tartozik az adathalmazhoz.
- A továbbiakban a Kalman-szűrés módszerét alkalmaztuk az adott feladathoz adaptálva [7].
 - A modell alkotásnál abból indultunk ki, hogy a szakirodalomból ismert az $L(\lambda)$, $M(\lambda)$ és $S(\lambda)$ spektrális érzékenységi görbék alakja normál színlátású szem esetére [2].
 - A szakirodalom [2] alapján feltételeztük, hogy a szintévesztők spektrális érzékenységi függvényeinek alakja hasonló az épszínlátókéhoz, attól csupán a spektrális érzékenység maximumának helyétől térnek el.
 - A szintévesztők spektrális érzékenységi függvényeinek modelljét kétparaméteres normál-eloszlás alkjában kerestük. Korábban igazoltuk ugyanis, hogy a kétparaméteres normál-eloszlás jól közelíti a szem fényérzékeny elemeinek spektrális érzékenységi görbéit [10]. Ez a függvény lehetőséget ad arra, hogy az optimális megoldást a maximum-pont helyét jelentő m és az esetleges ellaposodásra illetve kihegyesedésre jellemző σ egyidejű optimalizálásával keressük meg. A közelítést oly módon végeztük el, hogy a két paraméter értékét az Euler-Seidler metszési módszer alkalmazásával lépésenként megváltoztattuk, és így különböző

megoldásokat generáltunk, majd a legjobb megoldást a négyzetes eltérések minimalizálásával kerestük meg. A kétparaméteres normál-eloszlást a következő alakban alkalmaztuk.

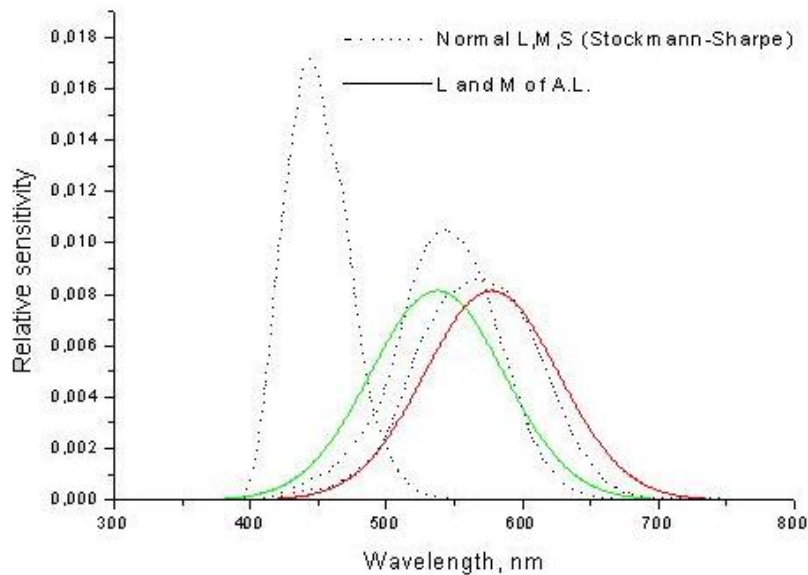
$$M(\lambda) = \left[\frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} \right] \exp - \left(\frac{(\lambda - m_M)}{2\sigma_M} \right)$$

$$S(\lambda) = \left[\frac{1}{\sigma_S \sqrt{2\pi}} \right] \exp - \left(\frac{(\lambda - m_S)}{2\sigma_S} \right)$$

- A $T(\lambda)$ függvény meghatározásával nem foglalkoztunk, mivel az öröklött szintévesztők körében rendkívül ritka a kék-érzékenység hibája.

7. A kiértékelés eredménye

A kiértékelés eredményeként előállítottuk a kísérleti személy $L(\lambda)$ és $M(\lambda)$ spektrális érzékenységi függvényét (2.ábra). Az eredmény jól mutatja a normál színlátótól való eltérést.



2.ábra

8. Hivatkozások

- [1] CIE standard colorimetric observers (19919, ISO 10527)
- [2] K.R.Gegenfurtner, L.T.Sharpe: Color Vision From Genes To Perception, Cambridge University Press, 1999
- [3] K.Wenzel, G.Szász: Numerische Methode zur Ermittlung von Simultanen Funktionen, die mit indirekter Methode gemessen wurden (Periodica Polytechnica Vol. 32. Nos.3-4. 1988. P.213-222)
- [4] K.Wenzel, G.Szász: Examination of Spectral Sensitivity Functions of the Retinal Receptors (Die Farbe vol.39, Heft 1-6, 1994)
- [5] Wenzel Klára, Szász Gábor: A spektrális látásérzékenységi függvények meghatározása (Finommechanika-Mikrotechnika 28 évf.3.szám 1989 március)
- [6] Wenzel klára: A színes látás modellezése; mérés technikai alkalmazásokkal (Kandidátusi értekezés 1991.)
- [7] R.E. Kalman: A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering, 82, Series D: 35-45, 1960
- [8] Handbook for Visual Research Colorimeter, Division of Quantum Metrology National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, 1993
- [9] K.Wenzel: Colour Matching Measures at he National Physical Laboratory, Kutatási jelentés, Coloryte, 2001
- [10] Wenzel K., Ábrahám Gy., Kucsera I., Kovács G.: A colour system for characterisation of anomalous trichromacy, XVth ICVS Symposium, Göttingen, 1999