

Számítógépes CRT monitoron megvalósított világosság-érzéket egyeztető módszerek összehasonlítása

Samu K., Wenzel K.

BME, Mechatronika, Optika és Műszertechnika Tanszék

ÖSSZEFOGLALÓ

Ismert, hogy a szintévesztők színérzéklete mellett világosság-érzéketük is megbomlik. A szintévesztés diagnosztizálására alkalmazott pseudoizokromatikus tesztek alkotó színingereket célszerű ezért minden szintévesztőre specifikusan világosság-érzéketben azonos szintre hozni. A számítógépes megjelenítés-technika lehetővé teszi, hogy a szintévesztők egyéni világosság-érzéketének megfelelően egyedi pseudoizokromatikus tesztek hozunk létre.

Az egyedi tesztek létrehozásához és a kis hibával rendelkező diagnosztizáláshoz szükséges a CRT monitorok primerei által okozott világosság-érzéket viszonyainak pontos ismerete. Az irodalomban fellelhető világosság-érzéket mérési módszerek mellett új módszereket fejlesztettünk ki és alkalmaztuk őket számítógéppel vezérelt CRT monitorra. Ezek közül normál színlátáson végzett mérésekkel választottuk ki a pseudoizokromatikus tesztek világosság-érzéket kompenzálására alkalmas leghatékonyabb világosság-érzéket egyeztető módszert.

1. BEVEZETÉS

Az emberi szem a különböző hullámhosszúságú de azonos radiometriai intenzitású monokromatikus fényingereket különböző világosságúnak érzékeli. Ezt a törvényszerűséget a láthatósági függvény ($V_{(\lambda)}$) írja le, amely minden fotometriai fény mennyiség kiszámításának az alapját képezi [8]. A $V_{(\lambda)}$ függvény segítségével mért azonos fotometriai fény mennyiségeket (pl. a fény sűrűséget) azonban intenzitástól és spektrális összetételtől függően is eltérően érzékelhetjük. A szem ugyanis nem műszerként, hanem neurális hálózatként érzékeli a világosságot a csatornaelmélet és az agyi feldolgozás által. Ennek következtében három fényerősség-fogalom is definiálható:

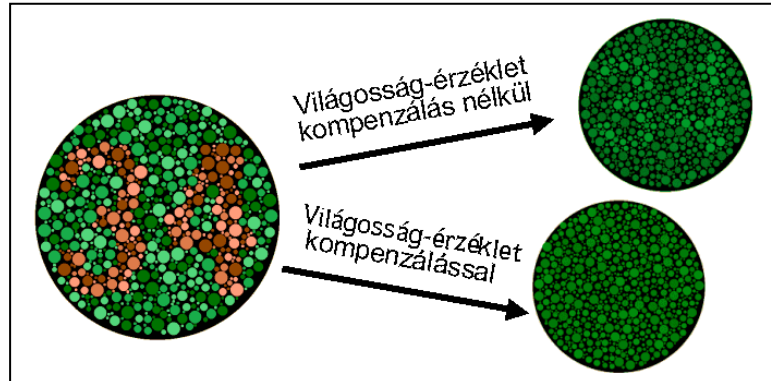
- műszerrel mérhető radiometriai spektrális intenzitáseloszlás (intensity)
- műszerrel mérhető integrált fotometriai fény mennyiség (luminance)
- emberi szem által érzékelt világosság-érzéket (brightness) [7]

Ha világosság-érzéketről van szó tudni kell, hogy azt a fény hullámhosszán kívül még számos körülmény befolyásolni tudja: a pupillaméret, az adaptációs állapot, a megjelenítés sebessége és természetesen maga az inger erőssége.

Világosság-érzéket egyeztető módszert mérési cézzal először a $V_{(\lambda)}$ láthatósági függvény meghatározására alkalmaztak. A láthatósági függvény hullámhosszonkénti fölvétele két monokromatikus fényforrás flicker fotometriás világosság-érzéket egyeztetésével lehetséges. A világosság-érzéket egyeztetés azonban más területeken is alkalmazást nyerhet, többek között színes kontrasztátviteli függvények kimérésénél, és olyan színlátás-vizsgálati módszereknél, ahol a szintévesztő egyedi világosság-érzéketének megfelelő tesztábrák létrehozására van szükség. Előfordulhat ugyanis, hogy a szintévesztők megváltozott világosságérzetük miatt a pseudoizokromatikus ábrákat a világosság-érzéket alapján oldják

meg. (1. ábra) Ezen esetek korrekciójára eredményesen alkalmazható a tesztábrákat alkotó színingerek előzetes világosság-érzékellet egyeztetése.

Világosság-érzékellet egyeztetéskor két különböző színinger világosság-érzékelletét hozza a vizsgált személy azonos szintre. Ez persze nem jelenti azt, hogy két egyeztetett színinger fotometriai világossága is azonos, hiszen érzetazonosságot mérnek, ami nem azonos a műszeres vizsgálatok eredményével. [3, 4, 5, 9]



1. ábra: Ilyennek látja a pseudoizokromatikus ábrát egy protan szintévesztő

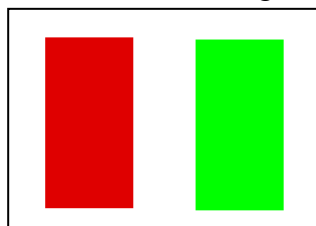
A világosság-érzékellet fotometriai mennyiségből történő számítására léteznek matematikai módszerek [Sagava, 6] [Nakano, 10], azonban ezek a szintévesztők világosság-érzékelletének megváltozása miatt nem alkalmazhatók. További ellenérv a számított világosság-érzékellet egyezés ellen az, hogy az átszámítási módszerek sokfélék, érzékenyek a környezeti beállításokra és a mért személyekre, így a legjobb eredményt gyakorlati világosság-érzékellet egyeztetéssel érhetem el. Méréseink során az irodalomban fellelhető négy világosság-érzékellet egyeztető módszert számítógéppel vezérelt CRT monitorra alkalmaztuk, és mivel az egyes módszerek között alkalmazhatóságban és mérési pontosságban eltéréseket tapasztaltunk, célunk az volt, hogy közülük kiválasszuk a leghatékonyabbat.

2. MÓDSZEREK

A világosság-érzékellet egyeztető módszerek közül a következőket alkalmaztuk CRT monitorra: Direct Matching Method, Minimal Distinct Border Method, Minimum Flicker Method, minimal Apparent Motion Method.

a) A közvetlen összehasonlítás módszere (Direct Matching Method, DM)

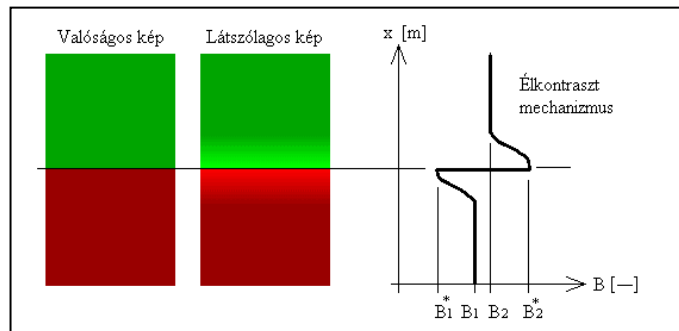
A DM módszer mindegyik módszer közül a legegyszerűbb és legcélszerűbb felépítésű. Két színes felület világosságát kell a vizsgált személynek azonos világosságúra állítani. Az egyik felület statikus világosságú, míg a másik szabályozható (2. ábra). A színes felületek létrehozása általában optikai úton történik fényforrással és szűrőkkel (esetünkben CRT monitoron). A színes tesztábrák lehetnek fényforrások és vetítettek is. A tesztábrák alakja is eltérő lehet. A tesztszemély a változtatható világosságú tesztábra világosságának megfelelő kiválasztásával produkálja az eredményt, azaz a két színinger azon fotometriai világosság arányát, amikor a két tesztalakzat számára azonos világosság-érzékelletű.



2. ábra: A Direct Matching módszer tesztábrája

b) Az eltűnő él módszere (Minimal Distinct Border Method, MDB)

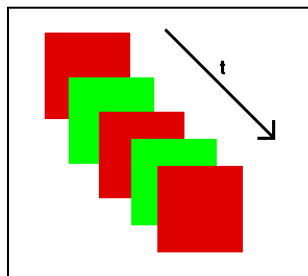
Az MDB módszer teljesen hasonló a DM módszerhez [Boynton, 2]. A különbség abban rejlik, hogy a két tesztalakzat szögletes formájú és egy (vagy több) éllel érintkezik egymással. A módszer alapját a látszólagos élkontraszt (szimultán kontraszt) jelenség (3. ábra) képezi. A nagy világosságkülönbségű homogén felületek határolóélén az agyi látásfeldolgozás a valódinál még szélsőségesebbé teszi a felületek világosság-érzékeltségét (így segítve többek közt a látásélességet). A tesztelés eljárása azonos a DM-el, azzal az eltéréssel, hogy a MDB módszernél akkor van világosság-érzékeltség egyezés, amikor a két felület közötti határolóél eltűnik.



3. ábra: A Minimal Distinct Border módszer valóságos tesztábrája és a szemben létrejövő látszólagos kép karakterisztikája (B - relatív világosság-érzékeltség)

c) Minimális villogás módszere (Minimum Flicker Method, MF)

Ennél a módszernél állandó frekvencián, egy azonos látómezőben váltakozva jelennek meg a két egyeztetni kívánt felület (4. ábra). Az egyik felület szintén statikus a másik pedig változtatható világosságú. A világosság-érzékeltség egyezés abban az esetben áll fenn, ha a villogási érzet megszűnik és a két színínger additív keveréke látható. Ellenkező esetben, ha a két felület között nagy a világosság-érzékeltség különbség, csak a szem számára zavaró villogás tapasztalható.



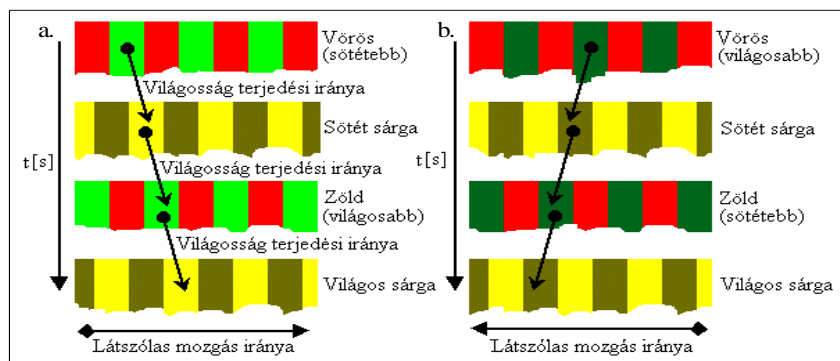
4. ábra: Minimum Flicker módszer működése

d) Látszólagos mozgás minimalizálásának módszere (Minimal Apparent Motion Method, MAM) és a módosított MAM módszer (MMAM)

A látszólagos mozgás minimalizálásának módszere abban különbözik az összes többi módszertől, hogy nem a világosság összehasonlítása és világossággal kapcsolatos feladatok képezik a tesztek megoldásának menetét. Az MAM módszer egy animációs módszer, amely a világosság-érzékeltség különbözőségeit látszólagos mozgássá transzformálja. A tesztszemélyek feladata mindössze az, hogy a látszólagos mozgást a két egyeztetendő színínger világosságának változtatásával minimalizálja, létrehozva a két színínger világosság-érzékeltség azonosságát [Anstis, 1].

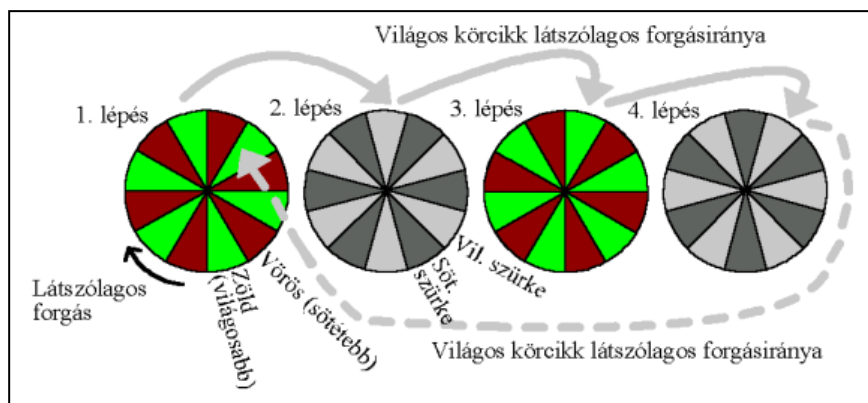
A módszer legkönnyebben a fényreklámokból ismert ún. futófény effektussal írható le. A futófény legegyszerűbb esetben egy lámpafüzérből áll, amelyben egymás után a páros majd a

páratlan izzókat villantják fel. A jelenséget az emberi látás látszólagos mozgásként értelmezi és a világosságíngert mozgásban lévőnek látja. Persze a „fény nem fut”, a szemünk csak a világosságíngert terjedési irányát észleli és ezt rakja össze az agyunk mozgássá.



5. ábra: A MAM módszer látszólagos mozgásának mechanizmusa

Az MAM módszer is egyfajta futófény, amely az erősebb világosság-érzékletet okozó színíngert geometriai helyének változtatásával a tesztábra mozgásának érzetét váltja ki. Mindaddig, míg a futófény (páros és páratlan) komponensei között van világosság-érzéklet különbség, addig az effektus működik, azaz a futófény (tehát az MAM módszer is) látszólag mozog és „fut”. Amint a komponensek között megszűnik a világosság-érzéklet különbség (vagyis a futófény minden izzója azonos világosság-érzékletű), a látszólagos mozgás is megszűnik és létrejön a világosság-érzéklet egyezés állapota, ami a mérés célja.



6. ábra: A módosított MAM világosság-érzéklet egyeztető módszer animációs lépései

A világosság mozgásának létrehozása az MAM módszernél, nem a futófénynél említett két-, hanem négy lépésből áll, amelyek ciklikusan követik egymást. Az 1. és 3. lépés két ellentétes fázisú rácsozatból áll, amelyek egyik komponense statikus világosságú a másik komponens pedig változtatható világosságú (4. ábra). A 2. és 4. lépéseket a világosságterjedés észlelését segítő szintén ellentétes, de az alapfázishoz képest fél fázissal eltolt rácsozatok alkotják. Ezek a rácsozatok az alapkomponek additív keverékének sötétebb és világosabb változatát tartalmazzák.

A 5. a. ábrán látszólag jobbra mozgó rácsozat világosság viszonyait láthatjuk. Ha a zöld komponens érzetben világosabb a vörösnél, akkor a világosságterjedés jól felismerhetően jobbra fog történni, és a tesztszemély a rácsozatot látszólag jobbra mozgónak fogja látni. A b. ábrán a tesztszemély a zöld világosság erősségét a vörös világosság-érzéklet alá állította be. Ez esetben a világosság-érzéklet terjedés és látszólagos mozgás is balra fog történni. A világosság-érzéklet egyezés ezek után a zöld világosság fokozásával, ezzel együtt a mozgás minimalizálásával érhető el.

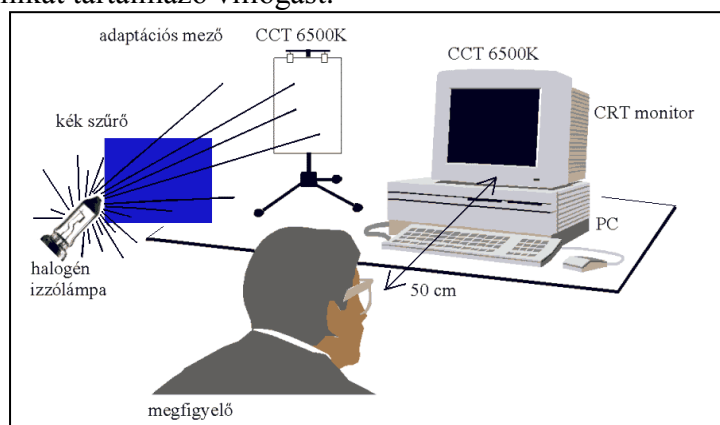
Az MAM módszer mérései alapján történt számítógépes megvalósítása több nehézségbe ütközött. Az eredeti rácsos szerkezetű vörös, zöld és sárga színekkel működő MAM módszerrel, a számítógépre történő alkalmazást követően próbaméréseket végeztünk. Ezek a mérések a következő tapasztalatokat eredményezték:

- A rácsmozgás egy irányba „húzza” a tekintetet ezért folyton vissza kell tekinteni a rácszat ellenkező oldalára és ez a kizökkenés nehezíti és lassítja a mérést.
- A rácsmozgás a primerek egyezőségének környezetében nagyon bizonytalan (hol jobbra, hol balra történő mozgás látható).
- Nehezen azonosítható látszólagos rácsmozgás.

A problémák megoldására két olyan újítást végeztünk az MAM módszeren, amelyek javították mind a látszólagos mozgás érzékelésének minőségét mind a mérések pontosságának javulását. Az első nemkívánatos jelenség megszüntetésére a rácsalkotó téglalapokat körkikké alakítottuk, majd egy kört formáltunk belőlük (6. ábra). Az így módosított MAM (MMAM) tesztábra nem jobbra-balra mozog, hanem az egyvonalú mozgásnál sokkal jobban azonosíthatóan forog (az óramutatóval egyező vagy ellentétes irányba). A látszólagos mozgás effektusát, vagyis a másik két hiányosságát is sokban segítette ez a lépés.

A látszólagos mozgás minőségét viszont a következő módosítások befolyásolták döntő mértékben: Az MAM módszer 2. és 4. lépésének a sötét és világos sárga komponensét lecseréltük sötét és világos szürke körkikkre. A változtatás azzal indokolható, hogy a látszólagos mozgás a világosságinger térbeli mozgásával indukálódik ezért szükségtelen a közbelső lépésekbe kromatikus ingert (sárgát) helyezni. Ehelyett célszerűbb akromatikus szürkét használni, amely a világosság-identifikációt egyszerűbbé és a szem számára követhetőbbé teszi.

Az eredeti MAM teszt 2. és 4. lépésekben található sötét és világos sárga szegmensek állandó fénysűrűséggel rendelkeznek. A mérések során azonban a tesztszemély, az egyik primer színinger világosságát folyamatosan szabályozza és gyakran előfordul, hogy az egyeztetni kívánt primerek közt nagy világosságkülönbség alakul ki. Az is gyakori, hogy kis fénysűrűségű primerek kerülnek egyeztetésre. Ilyen esetekben az egymást követő lépések olyan nagy dinamikát okoznak az animációban, amely az MAM teszt megoldhatóságát rontja. A jelenség a neutrális szegmensekre történő csere után is megmaradt, ezért a világos és sötétszürke körkikkék megjelenítését dinamikussá tettem. A sötét és világosszürke körkikkék a pillanatnyilag beállított zöld és vörös primer átlag fénysűrűsége alapján generálódnak a következő módszerrel: $L_{\text{világos szürke}}=1,2 \cdot [(L_R+L_G)/2]$; $L_{\text{sötét szürke}}=0,8 \cdot [(L_R+L_G)/2]$. Az átlag fénysűrűségtől 20%-al eltérő dinamikusan változó szürke színíngerek megszüntetik a nagy világosságdinamikát tartalmazó villogást.



7. ábra: A mérési elrendezés

A négy típusú világosság-érzékelés azonosság számítógépes adaptálását követően a humán méréseket 6500 K-es adaptációs mező mellett az 7. ábrának megfelelő elrendezésben 10

normál színlátón végeztük el. A világosság-érzékelés azonosság kiértékelésére megalkottuk a világosság-érzékelés azonosság függvényét (1).

A mérés útján felvett világosság-érzékelés azonosság függvény, megadja azon primer színinger párok halmazát fényűrűségben kifejezve, amelyek azonos világosság-érzékelésűek, és kölcsönösen helyettesíthetőek lesznek világosságkompenzált tesztekben. A világosság-érzékelés azonosság függvények lineárisak, ugyanis a vörös, zöld és kék fotometriai mennyiségek világosság-érzékelésben arányosak egymással és mindegyik primerre érvényes Weber-Fechner és a Steven törvénye. Ezek alapján a mért vörös-zöld egyeztetésekre:

$$L_G = a_{GR} + b_{GR} \cdot L_R \quad (1)$$

A fenti függvényt mind a négy módszerrel öt vörös DAC értékkel (50,100,150,200,250) vettük föl.

3. EREDMÉNYEK

Az azonos mérési körülmények között felvett világosság-érzékelés azonosság függvények a_{GR} és b_{GR} együtthatóit több lépésben vettük fel. A személyenkénti öt mérési sorozat egyeztetett DAC értékből átszámított fényűrűség adatokra egyenként regressziós egyenest illesztettünk. Az öt darab a_{GR} és b_{GR} együtthatót ezek után 90%-os Grubbs szélsőérték-vizsgálatnak vetettük alá. A kieső értékek nem kerültek bele a személyenként kiszámított átlagos világosság-érzékelés azonosság függvények együtthatóiba, így biztosítva a nagyon szórt eredmények zavaró hatásának kiküszöbölését. Ugyanezen célból itt is alkalmaztuk a 90%-os Grubbs eliminációt a normál színlátók a_{GR} és b_{GR} átlagának kiszámításához.

Az eltérő módszerrel felvett világosság-érzékelés azonosság függvények tanulmányozása szempontjából hasonlóan fontos az a_{GR} és b_{GR} paraméter vizsgálata. Mivel a mérési eredmények a két paraméter együtt mozgását mutatják, továbbá az a_{GR} értéke kevésbé ingadozó tendenciát mutatott, így a továbbiakban az egyeztető mérésekre jellemzőbb világosság-érzékelés azonosság meredekségét vizsgáltuk.

Az 1. táblázatban a normál színlátók által beállított különböző módszerekkel mért meredekség értékek láthatók. A módszerek pontosságának megítéléséhez a következő adatokat számítottuk ki: az egyes személyek b_{GR} paraméteréből számított átlag, ugyanebből a mintából számított 90%-os megbízhatósági intervallum és az egyes személyek konfidencia intervallumából számított átlag.

	DM	MDB	MMAM	MF
Átlag	1,69	1,70	1,68	1,47
Szórás	0,050	0,076	0,033	0,052
Konf. interv. (90)%	0,026	0,040	0,017	0,027
Konf. interv. átlagok (90)%	0,033	0,040	0,012	0,029

1. táblázat: Zöld→vörös világosság-érzékelés egyeztető módszerekkel mért b_{GR} paraméter statisztikai összehasonlítása

Mindhárom statisztikai mutatót figyelve a MMAM módszer közelítőleg háromszor kisebb szórással és konfidencia intervallumokkal rendelkezik, mint pontosságban az utána lévő. A minta megbízhatósági határait (harmadik sor) tovább vizsgálva az DM és MF módszerek következnek. A legnagyobb bizonytalanságot az MDB módszernél tapasztaltuk.

Ha a személyenkénti átlagok konfidencia intervallumát (negyedik sor) vizsgáljuk, akkor is hasonló trendet figyelhetünk meg

Összesítve megállapítható, hogy szignifikánsan a legkisebb hibával dolgozó módszer az MMAM. Az DM, MF, módszerek pedig pontossági és egyéb korlátaikkal használható

eredményeket biztosíthatnak a mért szórás és konfidencia intervallum értékek figyelembevételével.

A normál színlátók zöld→vörös Abbe és Grubbs kritériumait megvizsgálva újabb információhoz juthatunk. Az 2. táblázat első oszlopa azt mutatja, hogy az a_{GR} és b_{GR} paraméterek átlagának számításakor kellett-e szélsőértéket kizárni. A második oszlop pedig arra ad választ, hogy azonos várható értékűnek tekinthető-e a vizsgált minta. Ezúttal is a MMAM és az MDM módszer felelt meg tökéletesen. Ezeket követi a DB és MF módszer.

Módszer	Grubbs		Abbe	
	a_{GR}	b_{GR}	a_{GR}	b_{GR}
MMAM	✓	✓	✓	✓
MDM	✓	✓	✓	✓
MDB	✓	✓	x	x
MF	✓	✓	x	✓

2. táblázat: A Grubbs és Abbe kritérium szerinti statisztikai eredmények (✓ - megfelel a kritériumnak, x - nem felel meg a kritériumnak)

4. KONKLÚZIÓK

A MAM módszeres mérések negatív tapasztalata szükségessé tette az MMAM teszt kifejlesztését, amely pontosabb és könnyebben megoldható. A hét világosság-érzéket egyeztető módszer normál színlátókon történt vizsgálata az MMAM módszer hatékonyságát a többi elé helyezte.

Statisztikai elemzéseinkkel kimutattuk hogy a vizsgált négy módszer közül az MMAM módszer a többi világosság-érzéket egyeztető módszernél hatékonyabb. Ezáltal biztonságosan alkalmazható szintévesztők mérését követő világosság-érzéket kompenzált pszeudoizokromatikus tesztek létrehozására.

5. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton köszönetet szeretnénk mondani Dr. Ábrahám Györgynek a fejlesztést és a méréseket segítő tanácsaiért, és Antal Ákosnak a mérőműszerek kölcsönzéséért és használatuk betanításáért. Nem utolsósorban köszönetet mondunk a mérésekben részt vevő tesztszemélyeknek.

6. IRODALOM

- [1] Anstis, S. M.: The Perception Of Apparent Movement. Phil. Trans. Roy. Soc. London B209, 153/168, 1980.
- [2] Wagner, R.M. Boynton: Comparision Of Four Methods Of Heterochromatic Photometry. J. Opt. Soc. Am., Vol. 62, p. 1508-1515., 1972.
- [3] D. K. Tiller, D. Phil, J. A. Veitch: Perceived Room Brightness - Pilot Study On The Effect Of Luminance Distribution, Lighting Research & Technology, Vol. 27., No. 2., P. 93–101.,1995.
- [4] H. Yaguchi, A. Kawada, S. Shioiri, Y. Miyake: Individual Differences Of The Contribution Of Chromatic Channels To Brightness. J. Opt. Soc. Am., Vol. 10., No. 6., p. 1373-1379.,1993.
- [5] K. Uchikawa, H. Uchikawa, p.K. Kaiser: Equating Colors For Saturation And Brightness - The Relationship To Luminance. J. Opt. Soc. Am., Vol. 72., No. 9., p. 1219-1231.,1982.
- [6] Ken Sagawa: Supplementary System Of Photometry - Photometric System For Brightness At Any Level. Color And Visual Scales Conf. 2000., 3-5. April, Proceedings, CIE UK, 2000.
- [7] Lukács Gy.: A Színmérésről. Műszerügyi És Méréstechnikai Közlemények, 64.,63/72, 1999.
- [8] P. Lennie, J. Pokorny, V.C. Smith: Luminance. J. Opt. Soc. Am., Vol. 10., No. 6., p. 1283-1289.,1993.
- [9] R.L. Booker: Luminance-Brightness Comparisions Of Separated Circular Stimuli. J. Opt. Soc. Am., Vol. 71., No. 2., p. 139-144.,1981.
- [10] Y. Nakano, K. Yamada, K. Suehara, T. Yano: A Simple Formula To Calculate Brightness Equivalent Luminance. CIE 24th Session, Warsaw, p. 33-37.,1999.