

SZÍNTÉVESZTÉS VIZSGÁLATA PSZEUDOIZOKROMATIKUS TESZTEKKEL CRT MONITORON

Samu Krisztián^{*}, Wenzel Klára^{}**

^{*} M.sc., *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Finommechanikai Optikai Tanszék,*

^{**} *Prof. Dr. Ing. Habil., Coloryte Hungary Kft.*

1. BEVEZETŐ

Világosságérzet egyeztető méréseket (VEM) először a láthatósági függvény ($V(\lambda)$) meghatározásához használtak. Azóta a színek világosságának összehasonlítására és egyeztetésére négy eljárás terjedt el: a közvetlen egyeztetés módszere, az eltűnő él technika, a flicker fotometria és a minimális látszólagos mozgás módszere (minimal apparent motion - MAM).

Viszonylag új területnek számít a VEM számítógéppel vezérelt CRT monitoron. Korábbi monitoros kutatásainkban a közvetlen egyeztetés és az eltűnő él technika módszereket ültettük át monitoros alkalmazásra [7,8]. A PC-k grafikus paramétereinek fejlődésével azonban megpróbáltuk megvalósítani a flicker fotometriás és a MAM eljárásokat is.

A VEM vizsgálataink célja az, hogy azon kutatásainkban, ahol CRT monitoros színlátásvizsgálati tesztekkel foglalkozunk, olyan színes, de világosságban egyező teszteket hozzunk létre melyeket a vizsgált személyek valóban a szín és ne a világosságérzet különbség alapján oldjanak meg.

A vizsgálatainkhoz létrehoztunk egy a MAM vizsgálatokban megszokott rácscs tesztábrától eltérő korong alakú tesztábrát, így tesztünk az eddiginél egyszerűbben megoldhatóvá vált. Emellett ellenőrzött mérési feltételek mellett 11 normál és 7 anomál színlátón végzett mérés alapján igyekeztünk meghatározni az R és G monitor primerek teljes megjeleníthető világosság skáláján mérhető azonos világosságérzethez tartozó $I_G=f(I_R)$ összefüggést. A kapott $I_G=f(I_R)$ függvények alapján pedig nehezedő típusú világosságkompenzált pseudoizokromatikus teszteket készítettünk, melyekkel mindkét tesztcsoporton méréseket végeztünk.

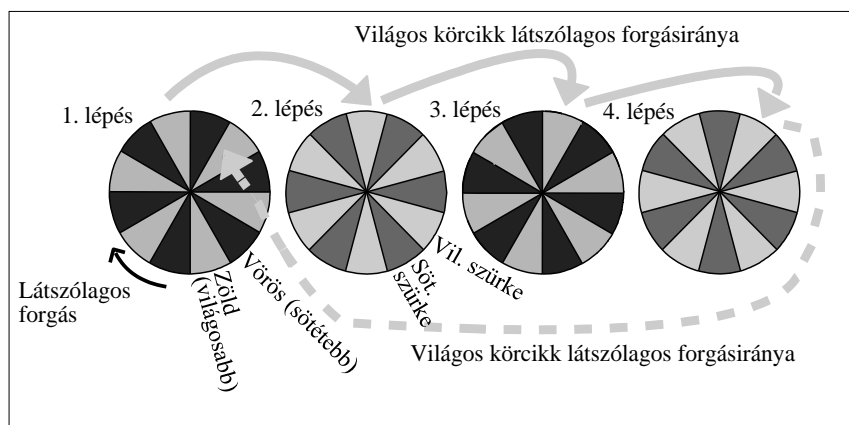
2. A MÓDISÍTOTT MAM MÓDSZER (MMAM)

A MAM vizsgálatokban a látszólagos mozgás egymás után megjelenített színes rácsozatok megjelenítésével hozható létre [2]. Ha zöld és vörös színek világosságérzetét szeretnénk egyeztetni MAM módszer szerint, akkor négy rácsozatot kell egymás után felvillantanunk. Az első rácsozat vörös-zöld, a második világos és sötét sárga, a harmadik és negyedik is az első kettő rácsozat színpárjaiból áll csak fordított sorrendben. A rácsozatok emellett lépésenként 1/4-ed periódussal eltoltak. A fenti módon leírt rácsozatokat egymás után felvillantva egyik irányba haladó mozgást észlelhetünk. Ha az egyik rácsvonal világosságát változtathatóvá tesszük, akkor el tudjuk érni, hogy a rácsozat látszólagos mozgása megszűnjön. Az ebben az esetben mért I_{Red} és I_{Green} intenzitás értékek a szemlélő számára azonos világosságérzetűnek tekinthetők.

A kutatásunk során létrehozott új tesztben (módosított MAM-MMAM) korong alakú tesztábrát hoztunk létre (1. ábra), mely szintén a fentihez hasonló módon hozza létre a látszólagos mozgást. Az MMAM mérés során az egyik szín (vörös vagy zöld) világosságát változtatva a korong látszólag az óramutatóval egyező illetve eltérő irányba fordul el, attól függően melyik primer a világosabb.

A teszt hatékonyságának növelésére a közbülső sárga rácsozatokat semleges színű (világos és sötét szürke) körkikkre cseréltük. Ennek oka, hogy a látszólagos mozgás létrehozásában csak a világosság inger vesz részt, tehát a színingert mellőztük.

A látszólagos mozgás megjelenésének minősége a szürke lépések átlagos világosságától is függ. A teszt során a tesztábrára átlagos világossága a világosságérzet beállítás során változik, ezért ha a szürke lépés átlagos világosságát nem illesztjük az épp aktuálisan beállított vörös-zöld világossághoz, akkor a nagy világosságkülönbségek miatt csak nehezen felismerhető és vibráló mozgást sikerül létrehozunk. Ennek kompenzálására a két szürke lépés világosságának beállítását a teszt során dinamikusan, a vörös-zöld átlagos világosságnak megfelelően generáltuk a CRT monitor gamma függvényéből származtatva.



1. ábra: A látszólagos mozgás mechanizmusa

3. MÉRÉSI MÓDSZEREK

A vizsgálatban különböző világosságú (vörös és zöld) primer színre vonatkoztatott azonos világossághoz tartozó I_{Red} és I_{Green} értékeket állítatunk be a megfigyelő személyekkel. Ez két sorozatot jelent, hisz a vörös és a zöld primerre egyaránt fel lehet venni $I_{Red}=f(I_{Green})$ és $I_{Green}=f(I_{Red})$ két inverz függvényt. Az I_{Red} és I_{Green} radiometriai relatív értékek a DAC értékekből kerülnek átszámításra a kalibrált CRT monitor gamma görbéi ($I_{RGB}=f(DAC_{RGB})$) alapján.

A két sorozatban azon vörös és zöld DAC intervallumon vizsgáltuk a világosságérzet egyezést, ahol a látszólagos mozgási effektus már elég erős volt (15 DAC felett), és a vörös-zöld azonos világosságérzet még létrehozható volt.

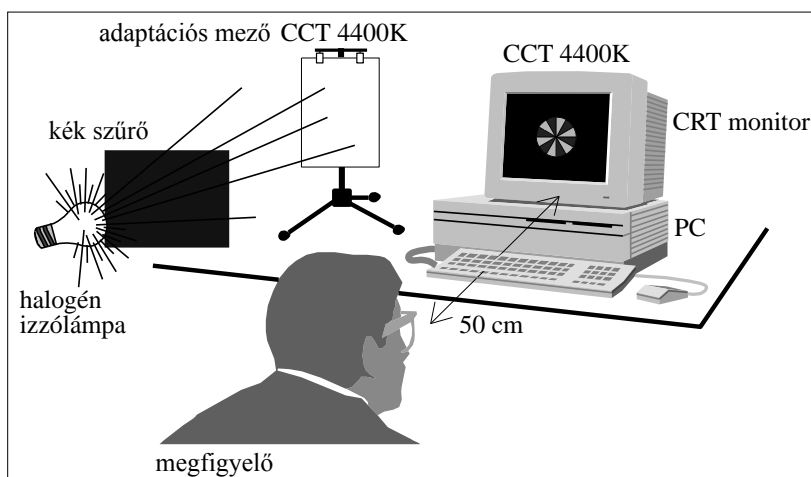
A felvett $I_{Red}=f(I_{Green})$ és $I_{Green}=f(I_{Red})$ függvények pseudoizokromatikus tesztekben kerültek alkalmazásra. Két tesztet készítettünk: az egyik vörös háttéren jelenít meg különböző zöld számokat, a másik fordított színekkel teszi ugyanezt. A 0%-os teszt fokozat ábrája az adott világosságú háttérből (zöld esetén 120 DAC, vörös esetén 200 DAC) és a hozzá generált azonos világosságérzetű másik színű (szám) szimbólumból áll. A 100%-os teszt fokozatnál a szimbólum és a háttér azonos színűvé válik. A közbülső fokozatok számítása az I_{Red} és I_{Green} relatív skálák alapján történik, így a tesztek végeredménye eltérő $I_{Red}=f(I_{Green})$ és $I_{Green}=f(I_{Red})$ függvények esetén is összehasonlíthatóvá válik.

Mivel a vizsgálatokat szintévesztőkön is elvégeztük, ezért a CRT vonalas vörös színeképe miatt mellőztük a monitoron megjelenített adaptációs mezőt. Az adott színhőmérsékletre adaptálás megvilágított fehér papírral történt.

4. MÉRÉSEK

A méréseket sötét szobában végeztük. A mérési elrendezés a 2. ábrán látható. Az adaptációs mezőt, mely fehér műszaki papír, halogén izzólámpa világítja meg. A papír fénysűrűsége 80 cd/m^2 , színhőmérséklete 4400 K (CCT). A kalibrált monitor színhőmérsékletét az RGB primerek maximális DAC értékén szintén 4400 K (CCT)-re állítottuk be, és a monitor fénysűrűsége szintén 80 cd/m^2 volt. A megfigyelési távolság 50 cm volt mind a monitor mind az adaptációs mező esetében.

A 11 normál és 7 anomál színlátót Velhagen pseudoizokromatikus táblákkal, majd Heidelbergi anomaloszkóppal szűrtük ki a 22-37 éves (átlag: 25,7 szórás: 4,3) tesztszemélyek közül. A mérések során, vörös és zöld referenciaalappal, rácsos és korong alakú ábrákkal is vizsgálatokat végeztünk, ez 4 mérési sorozatot jelentett személyenként. A vörös primer esetében 15-195 DAC értékek között, 20-as lépésközönként 10 mérési pontot, a zöld primer esetén pedig 15-105 DAC között 7 mérési pontot vettünk fel az I_{Red} és I_{Green} függvények meghatározásához. Minden mérési sorozat után háromszor elvégeztettük a mért személlyel a nehezedő pseudoizokromatikus tesztet (a vörös referenciaalapú VEM után a zöld háttérrel, a zöld referenciaalapú VEM után a vörös háttérrel). A megfigyelő minden mérési pont között a megvilágított papíron adaptálódott.



2. ábra: A mérési elrendezés

A célszoftver Intel Celeron 633 számítógépen (256 Mb memória), Intel810 grafikus hardverrel, LG 15" monitoron, 800×600 felbontással 75Hz függőleges frissítéssel és 24 bit színmélységgel működött. Mindkét tesztábrát 3° -os látószögben jelenítettük meg. Az animáció sebessége $7,5 \text{ Hz}$, a térfrekvencia pedig $16 \text{ pixel/vonalpár}$ volt a rácsoknál és $30^\circ/\text{cikkpár}$ volt a korongoknál. A felvett paramétereket előtesztelés során a legjobb látszólagos mozgási effektus elérésére optimalizáltuk.

A négy sorozatnak mértük az elvégzési időtartamát, és a vizsgálat végén nyilatkozni kellett a mért személynek arról, hogy a korong vagy a rácsos vizsgálat végezhető-e el könnyebben. Egy mért személyen (6-os) ismétlőképességi vizsgálatot végeztünk a vizsgálat megbízhatóságának kiderítésére.

5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A háromszor mért 6.-os személyen korong alakú ábrán felvett azonos világosságérzethez tartozó I_{Green} , I_{Red} adatsorának korrelációs együtthatói mind $0,95$ feletti, így a vizsgált I_{Red} tartományokon az I_{Green} értékek lineárisan viselkednek. Tehát

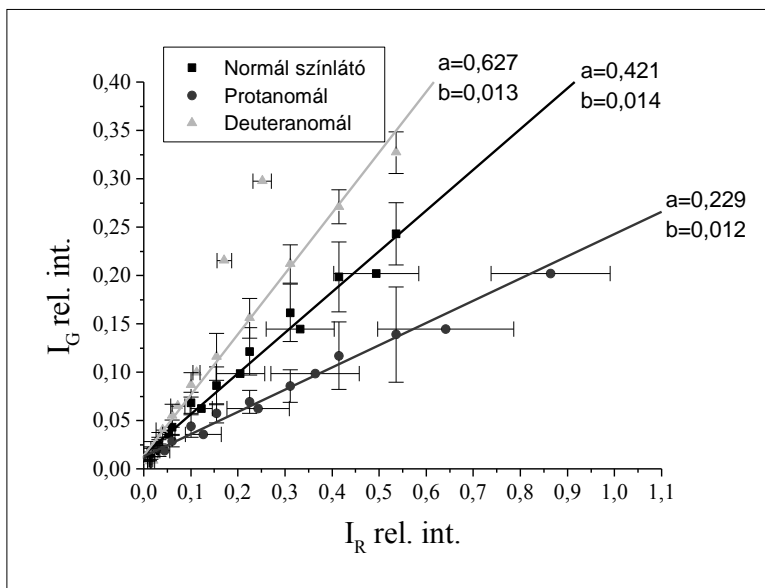
az $I_{Green}=f(I_{Red})$ és $I_{Red}=f(I_{Red})$ függvények reciprok függvények, egymásba lineárisan átszámíthatók és felírhatóak a következő formában:

$$I_{Green} = +a_{RG} \cdot I_{Red} + b_{RG} \quad 1.$$

,ahol a_{RG} , b_{RG} : lineáris együtthatók, a $15 \leq DAC_{Red} \leq 195$ és $15 \leq DAC_{Green} \leq 105$ DAC intervallumokon, a mérés során kalibrált monitoron értelmezve

MÉRÉS	Regr. koeff.	a_{RG}				b_{RG}			
		Vörös → Zöld		Zöld → Vörös		Vörös → Zöld		Zöld → Vörös	
		Rács	Korong	Rács	Korong	Rács	Korong	Rács	Korong
1		0,395	0,462	0,462	0,442	0,021	0,016	0,010	0,012
2		0,468	0,478	0,469	0,499	0,013	0,019	0,010	0,011
3		0,391	0,572	0,391	0,469	0,019	0,015	0,017	0,011
4		0,422	0,426	0,349	0,474	0,014	0,017	0,020	0,013
5		0,466	0,467	0,350	0,350	0,010	0,011	0,350	0,350
6		0,370	0,378	0,316	0,317	0,015	0,017	0,014	0,016
7		0,367	0,343	0,333	0,363	0,019	0,016	0,022	0,008
8		0,444	0,445	0,450	0,490	0,015	0,016	0,012	0,015
9		0,543	0,608	0,435	0,469	0,023	0,030	0,013	0,012
10		0,371	0,361	0,287	0,303	0,015	0,011	0,012	0,010
11		0,455	0,460	0,345	0,357	0,009	0,016	0,012	0,009
Átlag		0,427	0,455	0,381	0,412	0,016	0,017	0,045	0,043
Szórás		0,057	0,081	0,064	0,074	0,005	0,005	0,102	0,102

1. táblázat: Normál színlátók VEM adatai a négy mért sorozatra

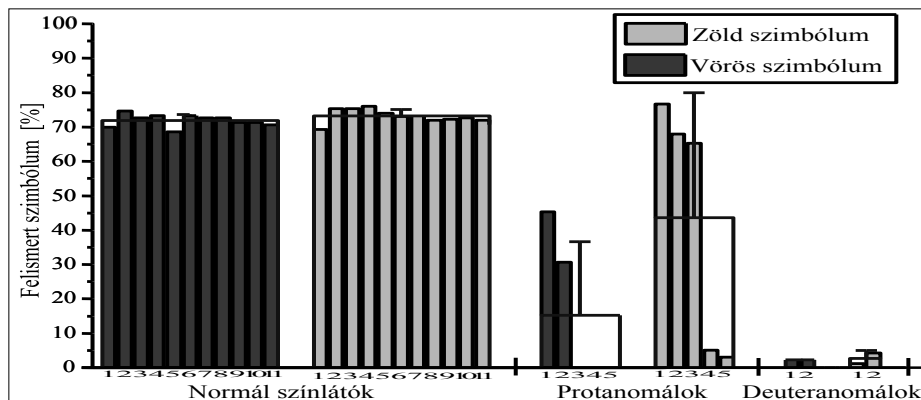


3. ábra: A tesztcsoportok MMAM eredményei

Az 1. táblázatban szerepelnek a normál színlátók által világosságérzetben egyeztetett I_{Red} és I_{Green} eredmények alapján számított lineáris együtthatók szétbontva a négy különböző típusú mérésre. A 11 mért személy alapján végzett egy faktoros szórásanalízis 0,95 biztonsággal jelzi, hogy nincs szignifikáns különbség a lineáris együtthatók tekintetében a korong és a rácsos tesztekénél, sem a vörös, sem a zöld referenciaszínű MMAM-nál. A szórások átlapolása jelzi, hogy a referenciaszín megválasztása ugyanúgy

nincs befolyással a hagyományos MAM mérések végeredményére, mint az újonnan kifejlesztett korongos teszt használata.

A négy MMAM mérés összesített diagramja és lineáris közelítése a három teszt csoportra (3. ábra) szignifikánsan elkülöníti a normál színlátókat a protanomáloktól és a deuteranomáloktól. A középen elhelyezkedő normál színlátók egyenese az anomaloszkópon található deuteranomál és protanomál tartomány között található normál tartománnyal korrelál.



4. ábra: A pszeudoizokromatikus tesztek eredményei

Arra a kérdésre, hogy melyik tesztábrával könnyebb a vizsgálat elvégzése, 18 közül csak 1 személy válaszolt úgy, hogy a tárcsás ábrával haladtak nehezebben. 3 személynek egyformán nehéznek bizonyult mindkét típus (5. táblázat, 8. ábra).

Az MMAM teszt egyszerűbb megoldásának tényét támasztja alá az egyes sorozatokra fordított idők átlaga is (5. ábra). A korong tesztek 18,7 %-os vizsgálati idő csökkenést jelentenek a rácsos VEM-el szemben.

Az MMAM hatékonyságát azonban mindennél jobban mutatja a korábbi kutatásaink során a közvetlen egyeztetés módszerével (Direct Matching) végzett VEM mérési sorozatokból és a mostani mérésekből kiragadott minták szórásainak összehasonlítása a 2.-os táblázatban. A két átlagosnak tekinthető minta várható értéke azonos, azonban a szórások közt jóval több, mint kétszeres eltérés tapasztalható.

Direct Matching				MMAM Korong			
DAC _{Red} (ref.)	DAC _{Green}	Rel.Int. _{Red}	Rel.Int. _{Green}	DAC _{Red} (ref.)	DAC _{Green}	Rel.Int. _{Red}	Rel.Int. _{Green}
155	95	0,310	0,162	155	82	0,310	0,118
155	88	0,310	0,137	155	86	0,310	0,131
155	81	0,310	0,115	155	88	0,310	0,137
		Átlag	0,138			Átlag	0,129
		Szórás	0,0234			Szórás	0,0097

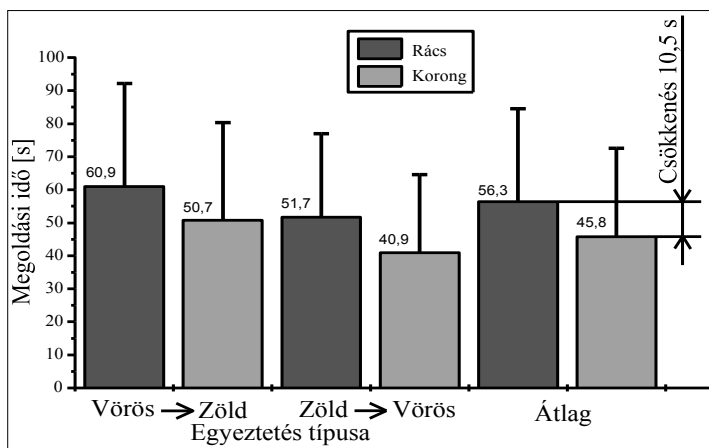
2. táblázat: Direkt Matching és MMAM szórásának összehasonlítása

6. KONKLÚZIÓK

11 normál színlátó személyből álló minta MMAM vizsgálatai alapján, a mért vörös és zöld tartományokon is szorosan lineáris összefüggést találtunk a világosságérzetben egyeztetett monitor primerek világossága között. A felvett zöld és vörös referenciaalapú regressziós egyenesek szignifikánsan azonosnak bizonyultak a különböző tesztábrák ellenére is.

Az új korong alakú tesztábrával és neutrális közbenső fokozattal elvégzett MMAM vizsgálat a tesztelt személyek válasza alapján könnyebben elvégezhető, mint a rácsos

teszt, emellett rövidebb időt vesz igénybe és megbízhatóbb, mint a közvetlen egyeztetés módszerével végzett.



5. ábra: Tesztek teljesítési ideje

A kifejlesztett új MMAM vizsgálati eljárás és szoftver tehát megbízhatóan alkalmas az $I_{\text{Green}}=f(I_{\text{Red}})$ függvény kimérésére, és ezen függvények biztonsággal és eredményesen használhatók olyan színlátás vizsgáló CRT monitoros tesztekben, ahol ki szeretnénk különböztetni a színek világosságérzet alapján történő megkülönböztetését.

A vizsgálatok során elvégzett MMAM által kompenzált vörös és zöld szimbólumos nehezedő pseudoizokromatikus tesztek jól elkülönülően megmutatják a szintévesztés anomaloszkópon már bemért típusát. A nehezedő tesztek tehát gyors diagnosztikára alkalmasak. A VEM és az azonos világosságtartományokon elvégzett pseudoizokromatikus tesztek az esetleges korrekciós eszközök (pl. korrekciós szemüveg) javító hatásának kimutatására is kiválóan alkalmas.

IRODALOM

- [1] Accurate Image Manipulation for Desktop Publishing, <http://www.aim-dtp.net/aim/index.htm>
- [2] Anstis, S. M.: The Perception of Apparent Movement, Phil. Trans. Roy. Soc. London B209, 153/168, 1980.
- [3] Charles Poynton: A Technical Introduction to Digital video New York, John Wiley & Sons, 1996.
- [4] Charles Poynton: The Rehabilitation of Gamma, SPIE/IS&T Conf., San Jose, 1998.
- [5] Hans Irtel: Brightness Equations of Polychromatic Lights, <http://www.uni-mannheim.de/fakul/psicho/irtel/>
- [6] James D. Foley, et al: Computer Graphics Principles and Practice, Addison-Wesley, 1996.3
- [7] K.Wenzel, K.Ladunga, Gy.Abraham, G.Kovacs, I.Kucsera: Measuring Color Adaptation on Monitor Based on Relative Luminance Matching, 2nd Panchromatic Conference, ISCC, Savannah, 2000
- [8] Ladunga K.: Relative luminosity generated by the colors of CRT, Periodica Politechnica 44., Budapest, 2000.