

# SZÍNTÉVESZTÉS VIZSGÁLATA PSZEUDOIZOKROMATIKUS TESZTEKKEL CRT MONITORON

**Samu Krisztián<sup>\*</sup>, Wenzel Klára<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup> M.sc., *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Finommechanikai Optikai Tanszék,*

<sup>\*\*</sup> *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 rácisos 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.

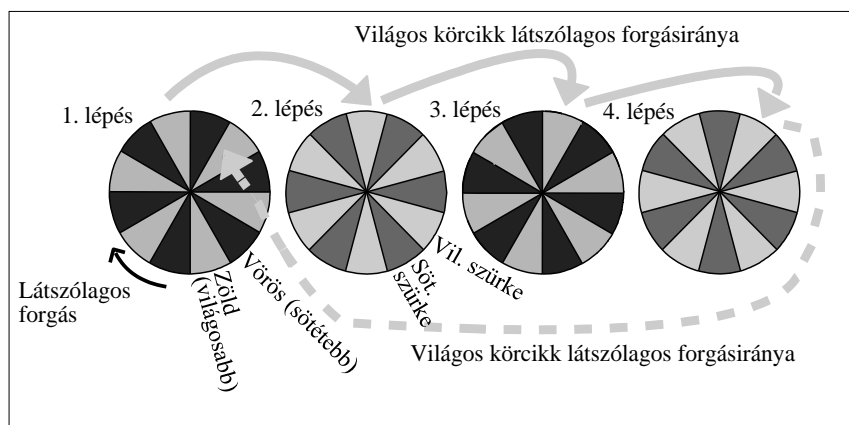
## 2. A MÓDISÍTOTT MAM MÓDSZER (MMAM)

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 felvillantatunk. 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) körcikkekre 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 tesztábra 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.

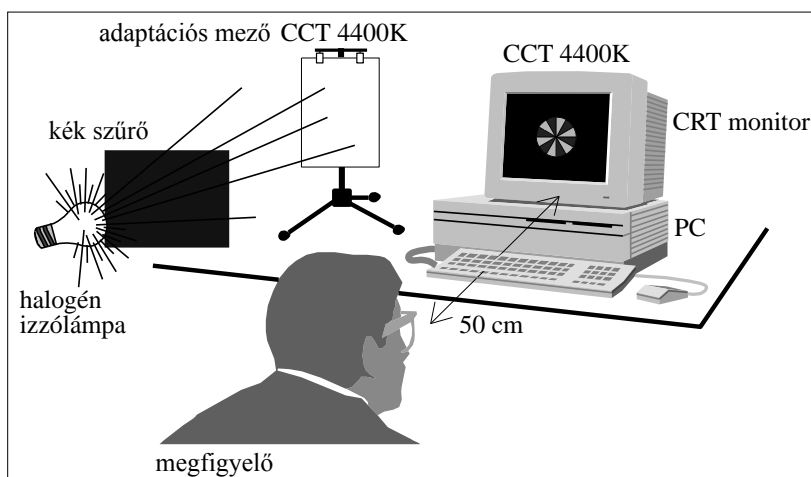
A felvett  $I_{Red}=f(I_{Green})$  és  $I_{Green}=f(I_{Red})$  függvények pseudoizokromatikus tesztekben kerültek alkalmazásra. Két tesztet készítettünk: az egyik vörös háttéren jelenít meg különböző zöld számokat, a másik fordított színekkel teszi ugyanezt. A 0%-os teszt fokozat ábrája az adott világosságú 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  $80 \text{ cd/m}^2$ , színhőmérséklete  $4400 \text{ K}$  (CCT). A kalibrált monitor színhőmérsékletét az RGB primerek maximális DAC értékén szintén  $4400 \text{ K}$  (CCT)-re állítottuk be, és a monitor fénysűrűsége szintén  $80 \text{ cd/m}^2$  volt. A megfigyelési távolság  $50 \text{ cm}$  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  $I_{\text{Red}}$  és  $I_{\text{Green}}$  függvények meghatározásához. Minden mérési sorozat után háromszor elvégeztettük a mért személlyel a nehezedő pseudoizokromatikus tesztet (a vörös referenciaalapú VEM után a zöld háttérset, a zöld referenciaalapú VEM után a vörös háttérset). 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,  $800 \times 600$  felbontással 75Hz függőleges frissítéssel és 24 bit színmélységgel működött. Mindkét tesztábrát  $3^\circ$ -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 előtesztek 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  $I_{\text{Green}}$ ,  $I_{\text{Red}}$  adatsorának korrelációs együtthatói mind  $0,95$  feletti, így a vizsgált  $I_{\text{Red}}$  tartományokon az  $I_{\text{Green}}$  értékek lineárisan viselkednek. Tehát

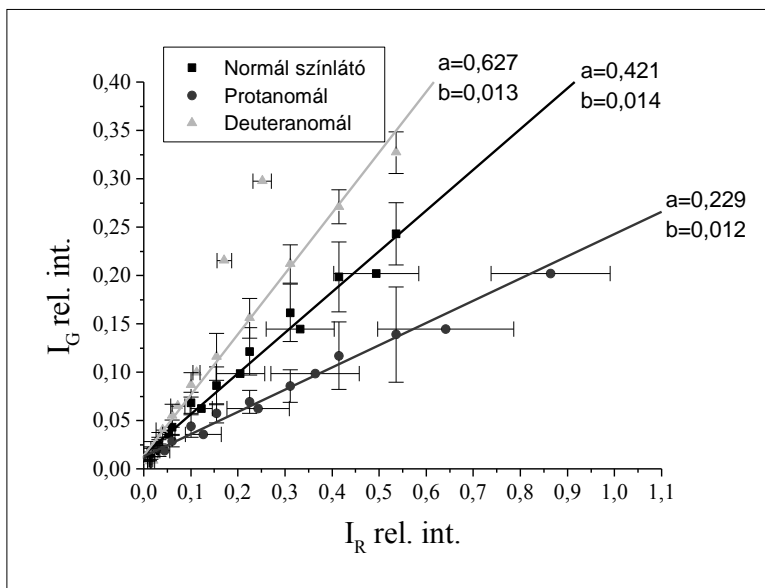
az  $I_{Green}=f(I_{Red})$  és  $I_{Red}=f(I_{Red})$  függvények reciprok függvények, egymásba lineárisan átszámíthatóak és felírhatóak a következő formában:

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

,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
<b>Átlag</b>		<b>0,427</b>	<b>0,455</b>	<b>0,381</b>	<b>0,412</b>	<b>0,016</b>	<b>0,017</b>	<b>0,045</b>	<b>0,043</b>
<b>Szórás</b>		<b>0,057</b>	<b>0,081</b>	<b>0,064</b>	<b>0,074</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,102</b>	<b>0,102</b>

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

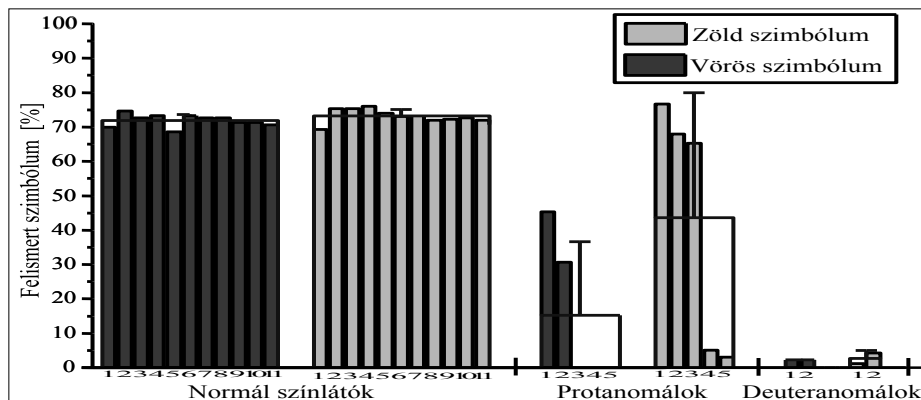


3. ábra: A tesztcsoportok MMAM eredményei

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 teszteknel, 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 egyenes 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 <sub>Red</sub> (ref.)	DAC <sub>Green</sub>	Rel.Int. <sub>Red</sub>	Rel.Int. <sub>Green</sub>	DAC <sub>Red</sub> (ref.)	DAC <sub>Green</sub>	Rel.Int. <sub>Red</sub>	Rel.Int. <sub>Green</sub>
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	<b>0,138</b>			Átlag	<b>0,129</b>
		Szórás	<b>0,0234</b>			Szórás	<b>0,0097</b>

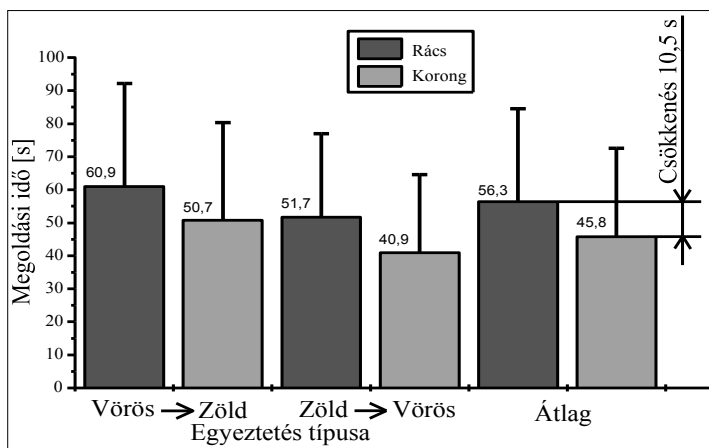
2. táblázat: Direkt Matching és MMAM szórásának összehasonlítása

## 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 anomaloszópon 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, 2<sup>nd</sup> Panchromatic Conference, ISCC, Savannah, 2000
- [8] Ladunga K.: Relative luminosity generated by the colors of CRT, Periodica Politechnica 44.,Budapest, 2000.