

# Világosságkompenzált pseudoizokromatikus tesztek 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 különböző 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. A PC-k grafikus paramétereinek fejlődésével azonban megpróbáltuk megvalósítani a flicker fotometriás és a MAM eljárásokat is.

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

A vizsgálatainkhoz létrehoztunk egy a MAM vizsgálatokban megszokott rácsozós 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 világosság érzetéhez tartozó  $I_G=f(I_R)$  összefüggést.

Az eredményül kapott  $I_G=f(I_R)$  függvények alapján világosságkompenzált nehezedő pseudoizokromatikus tesztek készítettünk, melyekkel mindkét tesztcsoporton méréseket végeztünk.

## 2. A MÓDISÍTOTT MAM MÓDSZER (MMAM)

A hagyományos MAM vizsgálatban létrehozott látszólagos mozgás egymás után megjelenített színes rácsozatok megjelenítésével hozható létre. Ha a zöld és vörös színek világosság érzetét szeretnénk egyeztetni MAM módszerrel, 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 az egyik irányba haladó mozgást észlelhető. Ha az egyik rácsvonal világosságát változtathatóvá tesszük, akkor el tudjuk érni, hogy a rácsozat látszólagos mozgása megszűnjön. Ebben az esetben a mért  $I_{Red}$  és  $I_{Green}$  intenzitás értékek a szemlélő számára azonos világosság érzetűnek tekinthetők.

A kutatásunk során létrehozott új tesztben (módosított MAM-MMAM) korong alakú tesztábrát hoztunk létre (1. ábra), mely szintén a fenti 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) körcikkre cseréltük. Ennek oka, hogy a látszólagos mozgás létrehozásában csak a világosság inger vesz részt. Tehát a színingert így mellőztük.

A látszólagos mozgás megjelenésének minősége a szürke lépések átlagos világosságától is függ. A teszt során a tesztra 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 gamma függvényből származtatva.

### 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 értékből 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 pszeudoizokromatikus tesztekben kerültek alkalmazásra. Két tesztet készítettünk: az egyik vörös háttéren jelenít meg különböző zöld számokat, a másik fordított színekkel teszi ugyanezt. A 0%-os tesztfokozat 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 tesztfokozatnál 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, amely fehér műszaki papír, halogén izzólámpa világítja meg. A papír fénysűrűsége 80 cd/m<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup> volt. A megfigyelési távolság 50 cm volt mind a monitor mind az adaptációs mező esetében.

A 11 normál és 6 anomál színlátót Velhagen pszeudoizokromatikus 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, rácisos 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 személyrel a nehezedő pszeudoizokromatikus 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.

A célszoftver Intel Celeron 633 számítógépen (256 Mb memória), Intel810 grafikus hardverrel, LG 15" monitoron, 800x600 felbontással 75Hz függőleges frissítéssel és 24 bit színmélységgel működött. Mindkét tesztábrát 3°-os látószögben jelenítettük meg. Az animáció sebessége 7,5 Hz, a térfrekvencia pedig 16 pixel/vonalpár volt a rácson és 30 °/cikkpár volt a korongokon. 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 rácson vizsgálat végezhető-e el könnyebben. Egy mért személyen (6-os) ismétlődő képességi vizsgálatot végeztünk a vizsgálat megbízhatóságának kiderítésére.

## 5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A 3. ábrán a háromszor mért 6.-os személy által korong alakú ábrán felvett azonos világosságérzethez tartozó  $I_{Green}=f(I_{Red})$  diagramja látható az  $I_{Red}$  világosság függvényében. A három minta korrelációs együtthatói mind 0,95 felettiék így a vizsgált  $I_{Red}$  tartományokon az  $I_{Green}$  értékek lineárisan viselkednek (1. táblázat). Ennek alapján az  $I_{Green}=f(I_{Red})$  és  $I_{Red}=f(I_{Green})$  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

A 2. 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 rácson tesztelnél, sem a vörös, sem a zöld referenciaszínű MAM-nál. A 2. táblázat alapján alkotott 4. ábrán ez az egyezés látható. Az 5. ábrán a normál színlátók két különböző referenciaszínen alapuló mérési eredményeit ábrázoltuk a szórásokkal. A szórások átlapolása jelzi, hogy a referenciaszín megválasztása ugyanúgy nincs befolyással a hagyományos MAM mérések végeredményére mint az újonnan kifejlesztett korongos teszt használata.

A 7 mért szintévesztőből 5 protanomálnak és 2 deuteranomálnak bizonyult. A Velhagen tesztben a szerző szerint 5-5 db ábra tévesztése kiemelten jellemzi a protanomáliát és a deuteranomáliát. A megbízhatóbb anomaloszkópos méréssel összevetve a 2x5 ábrából álló Velhagen tesztet, az derül ki, hogy a Velhagen teszt valóban nem a legalkalmasabb, még elhamarkodott diagnózis felállítására sem (3. táblázat).

A négy MAM mérés összesített diagramja és lineáris közelítése a három teszt csoportra (6. 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 analóg.

A mérések során, a zöld és vörös referenciaszínekkel meghatározott egyenesek segítségével, a zöld és vörös nehezedő pszeudoizokromatikus tesztek végeredményeit a 4.-es táblázat és a 7.-es ábra mutatja.

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 (9. ábra).

Az MMAM hatékonyságát azonban mindennél jobban mutatja a korábbi kutatásaink során a közvetlen egyeztetés módszerével végzett VEM mérési sorozatokból és a mostani mérésekből kiragadott minták szórásainak összehasonlítása a 6.-os táblázatban. A két átlagosnak tekinthető minta várható értéke azonos, azonban a szórások közt jóval több, mint kétszeres eltérés tapasztalható.

## 6. KONKLÚZIÓK

A 11 normál színlátó személyből álló minta MAM 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 válaszai alapján könnyebben elvégezhető, mint a rácsos teszt, emellett rövidebb időt vesz igénybe és megbízhatóbb, mint a közvetlen egyeztetés módszerével végzett.

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 hasznosíthatók olyan színlátás vizsgáló CRT monitoros tesztekben, ahol ki szeretnénk küszöbölni a színek világosságérzet alapján történő megkülönböztetését.

A vizsgálatok során elvégzett MAM és MMAM által kompenzált vörös és zöld szimbólumos nehezedő pszeudoizokromatikus tesztek jól elkülönülően megmutatják a szintévesztés anomaloszkópon már bemért típusát. A nehezedő tesztek tehát gyors diagnosztikára alkalmasak. A VEM és az azonos világosságtartományokon elvégzett pszeudoizokromatikus 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.