

OPPONENSI VÉLEMÉNY

Szabó Ferenc

Modern fényforrások színminőségének jellemzése új fejlesztésű színilleszkedési modellek segítségével című doktori (Ph.D.) értekezéséről.

Az értekezés a veszprémi Pannon Egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskolájában készült 2011-ben. (Témavezető Dr. Schanda János)

Az értekezés a mellékletekkel együtt, A4 formátumban, 160 oldal terjedelmű. A következő részekből áll: 1. Tartalmi kivonat, 2. Bevezetés, 3. Irodalmi áttekintés, 4. Célkitűzések, 5. Számítási módszerek ismertetése, 6. Kísérleti munka leírása, 7. Vizuális eredmények értékelése, 8. A vizuális illeszkedési index bevezetésének lehetőségei, 9. Összefoglalás, 10. Tézisek, Publikációs lista, 8 db. melléklet és irodalomjegyzék.

A **Bevezetés** azzal a mindenki által ismert tapasztalattal indul, hogy a különböző színképi teljesítmény eloszlású fényforrásokkal való megvilágítás a tárgyaknak különböző színmegjelenést ad. Megállapítja, hogy a fényforrások színminőségének értékelésére jelenleg hivatalosan használt CIE színvisszaadási index (CIE 13.3 publikáció) nem fejezi ki megfelelően az utóbbi években piacra került fényforrásokkal való megvilágítások esetén a tárgyak vizuális megjelenésének színi torzulásait. Szükségesnek tartja ezért egy kiegészítő metrika bevezetését.

- A dolgozat aktuális témával foglalkozik, a műszaki fejlődést segítő tudományos jelentősége van.

Az **Irodalmi áttekintés** című fejezet két részből áll. Az első részben sorra veszi a színminőség leírásának eddigi módszereit, majd megállapítja, hogy szükség van új színminőségi metrikára, de azt vizuális kísérletek eredményei alapján kell megalkotni. Ugyancsak megállapítja, nagyon helyesen, hogy a kísérleteknek arra kell választ adnia, hogy egy, sok elemből álló, véletlenszerűen, vagy tudatos tervezés eredményeként létező építészeti tér vagy akár egy sík kompozíció vizuális megjelenése mennyire változik meg az új fényforrással való megvilágításakor a referencia fényforrással való megvilágításához viszonyítva. A második részben, a színharmonia és a színilleszkedés fogalmát hasonlítja össze. Az összehasonlítást részletesen a Melléklet 2. fejezete tartalmazza.

- A jelölt a témát érintő szakirodalmat magas színvonalon ismerteti. Az ismertetés kritikus hozzáállással tartalmazza a témával összefüggő fontosabb tudományos eredményeket.

A **Célkitűzések** című fejezetben a szerző 5 pontban ismerteti a dolgozat által elérendő célt. Megállapítja, hogy az általa kidolgozott színilleszkedési index bevezetése esetén színképi optimalizálással olyan fényforrás színkép állítható elő, amely az eddig nem vizsgált tulajdonság – a vizuális illeszkedés- tekintetében a felhasználó számára a jelenlegi fényforrásoknál optimálisabb vizuális eredményeket szolgáltatathat.

- A jelölt a tudományos célok megfogalmazásakor egyrészt támaszkodik a már ismert tudományos eredményekre, másrészt figyelembe veszi a műszaki fejlődés adta követelményeket.

Számítási módszerek ismertetése című, mellékletben közölt, fejezetben a jelölt ismerteti Li-Chen Ou és M. Ronnier Luo matematikai előrejelző modelljét, valamint a CIECAM02 színmegjelenési modellt.

- Mind a két modell a témával kapcsolatos legújabb matematikai módszereket tartalmazza.

A **kísérleti munka leírása** című fejezet első és második része az előkísérletekkel foglalkozik. E kísérletek célja az volt, hogy pszicho-fizikai kísérletek igazolják a feltevést, miszerint a megfigyelőkben egy referencia világítási szituációban kialakult észlelet a megvilágítás spektrális összetételének megváltozása esetén változhat, torzulhat. A kísérlet első részében 8 egyetemi hallgató sötét szobában, adaptált szemmel, kísérleti dobozokba helyezett 6-6 tagú skálát alkotó Munsell színmintát ítélt meg. A második részben ugyancsak 8 egyetemi hallgató, sötét kamrában, adaptált szemmel, monitoron mesterségesen előállított színi eltolódások következményeit vizsgálta. A mesterségesen előállított színminták egy része skálát alkotva, másik része véletlenszerű egymásutánban követte egymást. A kísérletek a kísérleti személyeket előzetes tréning segítségével tette alkalmasabbá a szakszerű ítélet alkotásra. A kísérletek eredményei alapján a szerző megállapította, McCann kísérleti eredményeivel egyezően, hogy szisztematikus eltolódások esetén az észlelet csak kis mértékben változik, míg nem szisztematikus eltolódások esetén jelentős, kimutatható mértékű torzulásokat szenved. Megállapította továbbá, hogy az észlelet szignifikáns mértékű torzulását szisztematikus színi eltolódáskor csak nagymértékű króma torzítás esetén figyelhetjük meg. Ugyancsak megállapította, hogy a nem szisztematikus színi eltolódás esetén a relatív világosság, valamint a színezeti szög kismértékű ($dE=7$ CIELAB egység) eltolódásakor az *észlelet* torzulása nem szignifikáns, de az összes többi esetben igen.

A fejezet harmadik része a vizuális illeszkedés modellezésére vonatkozó új kísérlet sorozatot írja le. Bemutatja a kísérlet helyszínét, annak elrendezését, a teszt minták kiválasztását. Ismerteti a kísérleti személyek feladatait. A kísérlethez 2346 db kettő, és 52394 db három színíngerből álló szín együttes stimulusait a CIECAM02 színmegjelenési modellből választotta ki. A kísérlet során a monitoron szimulált, egymásmellé helyezett 2 és úgy egymás mellé helyezett 3 színmintát, hogy azok mindegyike legalább fél oldalhosszal egymással érintkezett, 9 kísérleti személy sötét kamrában, adaptált szemmel figyelt meg, és alkotott róluk ítéletet.

- A jelölt céljai számára legmegfelelőbb, legkorszerűbb kísérleti módszert választotta ki. A kísérletek lebonyolítása maximálisan szakszerű volt.

A **vizuális eredmények értékelése** fejezet három egymásra épülő részből áll. Az első részben a szerző a kísérletek során végzett vizuális megfigyelések függetlenségét vizsgálja. A vizsgálat eredményeként megállapítja, hogy mind a három kísérlet mintahalmaza esetén a megfigyelések függetlenek voltak egymástól. Közli, hogy a vizsgálatot az SPSS statisztikai programcsomag segítségével végezte. A fejezet második részében az észleleti tényezők vizuális illeszkedésre gyakorolt hatását varianciaanalízis segítségével vizsgálja. Az analízis elvégezhetőségének megállapítás érdekében két próbát is végez. A vizuális eredmények eloszlásának vizsgálatára végzett Kolmogorov-Szmirnov próba alapján megállapítja, hogy a kísérleti eredmények mindhárom kísérlet sorozat esetében normális eloszlásúak. A Levene alkalmazott statisztikai próba eredménye a varianciák homogenitásának a megállapítása, tehát közli, hogy a varianciaanalízis további transzformációk nélkül elvégezhető volt. A varianciaanalízis eredményeként ilyen és ehhez hasonló megállapításokat tesz: „A három színíngerből álló trikróm színekombinációk vizuális illeszkedésének észleletét a három szín ínger közötti relatív világosság különbség, króma különbség, színezeti szög különbség, valamint a relatív világosság összege szignifikáns mértékben befolyásolja. Ezen észleleti

tényezők kevert hatása közül a relatív világosság különbség és króma különbség, valamint a színminta párok közötti színezeti szög különbségek együttes hatása szignifikáns” Közli, hogy az elvégzett varianciaanalízis eredményeit a vizuális illeszkedés modellezése kiindulási alapjának tekintette.

A fejezet harmadik része a vizuális illeszkedés modellezésével foglalkozik a két és három színíngerből álló színekombinációkra vonatkozóan. A modellezést először a kettő, majd a három színíngerből álló kombinációkra végzi el. Külön tárgyalja a monokróm, a dikróm és a trikróm kombinációkat. A 9 megfigyelő összegyűjtött ítéleteit Excell programban megfigyelőnként oszlopokba rendezi. Kiszámítja a megfigyelők eredményeinek stimulusonkénti matematikai átlagát. A véletlenszerű sorrendben megjelenített stimulusokra adott ítéleteket az őket alkotó színíngerek sorszáma szerinti sorrendbe állítja, majd az azonos és nem azonos színezetekből álló színekombinációkat különválasztja.

Az egész adatbázisra vonatkozóan megállapítja, hogy azonos színezetekből álló színekombinációk vizuális illeszkedése jobb mint a nem azonos színezetekből állóké. Megállapítja, hogy a maximális színezeti szög különbségű színekből álló színekombinációk kedvezőtlenebb vizuális illeszkedést hoznak létre mint a 45° színezeti szög különbséggel rendelkező színekből álló színekombinációk. Megállapítja, hogy az azonos krómával rendelkező színíngerek által létrejött vizuális színilleszkedés kedvezőbb, mint a nem azonos krómával rendelkező stimulus párok által létrejött. Megállapítja, hogy az azonos relatív világosságú színíngerekből álló színekombinációk által létrejött vizuális szín illeszkedés értéke szignifikánsan kisebb, mint a nem azonos relatív világosságú színíngereket tartalmazó színekombinációké.

A szerző a monokróm, dikróm és trikróm kombinációk tárgyalásánál a 9 megfigyelő 2 megfigyeléséből számított átlagértékekhez 95%-os konfidencia intervallumokat számít, majd nem lineáris regresszió segítségével a vizuális eredményekre illeszkedő matematikai görbéket határoz meg. A görbék a következő eredményeket mutatják be:

1. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosságkülönbségétől két színíngerből álló monokróm színekombinációk esetén.
2. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosság összegétől két színíngerből álló monokróm színekombinációk esetén
3. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek króma különbségétől két színíngerből álló monokróm színekombinációk esetén
4. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek színezeti szögétől két színíngerből álló monokróm színekombinációk esetén
5. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosságkülönbségétől két színíngerből álló dikróm színekombinációk esetén
6. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosság összegétől két színíngerből álló dikróm színekombinációk esetén
7. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek króma különbségétől két színíngerből álló dikróm színekombinációk esetén
8. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek króma összegétől két színíngerből álló dikróm színekombinációk esetén
9. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színekombinációt alkotó színíngerek önálló színezeti szögétől, két színíngerből álló dikróm színekombinációk esetén
10. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek színezeti szög különbségétől két színíngerből álló dikróm színekombinációk esetén

A három színíngerből álló színekombinációkra adott ítéletek eredményét három csoportban vizsgálja, úgymint az azonos színezetből álló összes színekombináció, a nem azonos színezetből álló azonos világosság mellett változó krómájú és az azonos króma mellett változó világosságú színekombináció. Itt is az eredményeket összehasonlítja a klasszikus

színharmónia elméletek definícióival és megalkotja saját definícióit. A szerző matematikai összefüggést dolgozott ki a két színíngerből álló színekombinációkra definiált modellek segítségével a három színíngerből álló színekombinációk színharmónia érzetének becslésére. Megállapította, hogy a három színíngerből álló színekombinációk vizuális illeszkedésének észlelete az azokat összetevő két színíngerből álló színekombinációk vizuális illeszkedésének észleletéből nem additív módon épül fel. Ezért a három színíngerből álló színekombinációk vizuális illeszkedése észleletének előrejelzésére definiálta a vizuális eredményekre legjobban illeszkedő görbéket. A görbék a következő eredményeket mutatják be:

1. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosságkülönbségétől három színíngerből álló monokróm színekombináció esetén..
 2. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosság összegétől három színíngerből álló monokróm színekombináció esetén..
 3. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek króma különbségétől három színíngerből álló monokróm színekombináció esetén..
 4. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek színezeti szögétől három színíngerből álló monokróm színekombináció esetén..
 5. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosságkülönbségétől három színíngerből álló trikróm színekombináció esetén..
 6. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek relatív világosság összegétől három színíngerből álló trikróm színekombináció esetén..
 7. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek króma különbségétől három színíngerből álló trikróm színekombináció esetén..
 8. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek CIECAM02 színezeti szögétől (h) három színíngerből álló trikróm színekombináció esetén..
 9. A vizuális illeszkedési ítéletek függése a színíngerek színezeti szög különbségétől három színíngerből álló trikróm színekombináció esetén..
- A jelölt kísérleti eredményeiből levont megállapításai és következtetései helyesnek tűnnek, mert jelentősrészt megegyeznek az ugyancsak szimulált tesztekkel, sötétre adaptált szemmel végzett más szerzők kutatási eredményeivel.

A vizuális illeszkedési index bevezetésének lehetőségeivel foglalkozó fejezet öt részből áll. Az első rész a vizuális illeszkedési index bevezetésére irányuló kísérleteket ismerteti. Bemutatja a kísérleti elrendezést. Ismerteti a teszt és a referencia fényforrásokat. Bemutatja a megvilágítás időbeli és térbeli változásának az ellenőrzését. A teszt fényforrásokat 2700, 4100 és 6500 K korrelált színhőmérsékletű csoportokra osztja. Bemutatja a teszt színminták és a kísérleti személyek kiválasztásának szempontjait. Leírja a kísérleti személyek feladatát. A második rész a vizuális megfigyelések értékelésével foglalkozik. Grafikonokon is ábrázolja a közvetlen és összehasonlító kísérlet eredményeit. A harmadik rész a vizuális illeszkedési index bevezetésének kérdésével foglalkozik. A negyedik részben leírja javaslatát arról, hogy történik a fényforrás színeképi optimalizálása a vizuális illeszkedési indexhez. Az ötödik részben az általa kidolgozott szín illeszkedési index értékét összehasonlítja más színminőséget jellemző mérőszámokkal.

- A jelölt körültekintően, a lehetséges szempontok figyelembevételével saját eredményeit összeveti más, jelenleg használt színminőséget jellemző mérőszámokkal.

Az értekezés bírálatának összefoglalása:

- Az értekezés tartalma korszerű, elismerést érdemel a jelöltnek az a gondolata, hogy a modern, a különböző spektrális energia eloszlású, fényforrások színminőségének

jellemzéséhez nagy mértékben hozzájárulhat kettő vagy három egymásmellé helyezett színminta keltette észlelet torzulását egzaktul leíró tapasztalat.

- Az értekezés új felismerése, hogy az egymás mellé helyezett színminták észleletében, a különböző fényforrások kiváltotta torzulást az egymás melletti színminták egymásra gyakorolt hatása is befolyásolja.
- A szerző szakszerű áttekintését adja a különböző színinger terekre épülő színvisszaadási index számításoknak.
- Kísérletei jó felépítésűek és szakszerű lebonyolításúak. Nagyon alkalmasak különböző szín észleletek egymáshoz való illeszkedésének mértéke pszicho-fizikai skálázására.
- Kísérletei eredményei alapján tett megállapításai, melyek kettő, vagy három szín észlelet egymáshoz való vizuális illeszkedésének, különböző mértékben kedvező vagy kedvezőtlen észleletéről szólnak, hasznos információkat szolgáltatnak a jelenleg használatban lévő színvisszaadási index módosítására, vagy kiegészítésére.
- Kísérleti eredményei alapján modellezi, és ezzel előre jelzését lehetővé teszi színészlelet kapcsolatok vizuális megítélése különböző fényforrások esetén bekövetkező változásainak. Új tudományos eredményeket tartalmaz.
- A jelöltnek az értekezés témájával kapcsolatos jelentős publikációs tevékenysége van.
- A jelölt téziseit, mint a jelölt saját tudományos eredményeit elfogadom.
- Az értekezés szerkezete, felépítése logikus, jól áttekinthető, ábrái, táblázatai egyértelműek, könnyen érthetők, irodalmi hivatkozásai a bibliográfiai követelményeknek megfelelnek, stílusa szakszerű és világos, bár néhány helyen kissé bonyolult. Az értekezés külső megjelenése esztétikus és szakszerű, a Ph.D. értekezések formai követelményeinek megfelel.

Javasolom az értekezést doktori fokozat megadásának alapjául történő elfogadásra.

Budapest, 2011. november 29.



Dr. Nemcsics Antal
ny. egyetemi tanát
MTA Műszaki Tudományok Doktora