

- [13] Lord Rayleigh: On the manufacture and theory of diffraction gratings, Philosophical Magazine 47 (1874), pp. 81-93.
- [14] Foucault L.: Mémoire sur la construction des télescopes en verre argenté, Annls Obs. Paris, Vol. 5., 1859., pp. 197-237.
- [15] Righi A.: Sui fenomeni che si producono colla sovrapposizione die due reticoli esopra alcune alora applicazioni: I Nouvo Cin 21, 1887. pp. 203-227.
- [16] Ronchi V.: La Prova dei Sistemi Ottici, Attualita Scientifiche No. 37., 1925. Nicola Zanichelli, Bologna,
- [17] Raman C. V., Datta S. K.: Brewster's bands. Part I., Transaction of Optical Society, Vol. 27. 1925., pp. 51-55.
- [18] Theocaris P. S.: Moiré Fringe in Strain Analysis, Pergamon Press 1969.
- [19] Paturski K., Kujawinska M.: Handbook of the Moire Fringe Technique, Elsevier, Amsterdam 1993.
- [20] Durelli A. J., Parks V. J.: Moiré Analysis of Strain, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- [21] Parks V. J.: Geometric Moiré, SEM Handbook of Experimental Mechanics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- [22] Parks V. J.: Strain measurement using grids, Optical Engineering, Vol. 21., 1982. pp., 633-639.
- [23] Takasaki H.: Moiré Topgraphy, Applied Optics, June 1970., Vol. 9., No. 6., pp., 1467-1472.
- [24] Takasaki H.: Moiré Topgraphy, Applied Optics, June 1973., Vol. 12., No. 4., pp., 845-850.
- [25] Lohmann A.: Das Moiré-Gitter als vielseitiges Testobjekt: Photoelektrische Aberrations-messung, Optica Acta, Vol. 6., 1959., pp. 37-41.
- [26] Lohmann A.: Zur Messung des optischen Übertragungsfaktors, Optik, Vol. 14., 1957., pp. 510-518.
- [27] Murata K.: Instruments for the measuring of optical transfer function, Progress in Optics, Vol. 7., North Holland, Amstredam, 1966.
- [28] Wenzel K.: Colour moiré patterns, Sound and Image Technology, Vol. 38., 1992., pp. 52-53.
- [29] Antal A., Paveleva D.: Projection method of resolving ambiguities by determining the order of colors in moiré fringes, Applied Optics, Vol. 44., 2005., pp. 7709-7713.

akos@mom.bme.hu

Számítógépes monitorok automatizált mérése

Gamma-görbe és színhőmérséklet-mérő műszer fejlesztése

Dr. Samu Krisztián

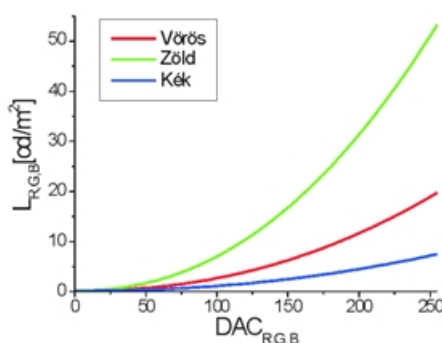
A számítógépes tervezés (CAD), az elektronikus kiadványszerkesztés (DTP) és a vizuális látásvizsgálat területén elengedhetetlen a számítógépes képernyők kalibrációja. A monitorok kalibrációját két üzemi jellemző – a gamma-görbe és a színhőmérséklet – egyszerű, gyors és pontos mérésével hajthatjuk végre. Ezek a követelmények azonban csak automatizált méréssel teljesíthetők, mivel a gamma-görbe mérés és kiértékelése idő- és számításiigényes feladat, a színhőmérséklet mérés pedig több detektort tartalmazó mérőműszert vagy spektrométert igényel. Célszerű ezért egy egyszerű felépítésű és automata gamma-görbe- és színhőmérséklet-mérő berendezés megvalósítása.

Előzmények

A számítógéppel vezérelt CRT (katód-sugárcsőes képcső) vagy LCD (folyadékkristályos kijelző) monitoron megjelenített képek kolorimetriai és fotometriai jellemzőit erősen befolyásolják a monitorok hardveresen és szoftveresen vezérelhető paraméterei, amelyek közül a legfontosabbak a monitor által sugárzott fénysűrűség, a színmélység, a kontraszt, a színhőmérséklet és a gammakarakterisztikák.

A monitorok kalibrációja az említett paraméterek méréséből és szükség szerinti korrekciójából áll. A képi megjelenítéssel szemben elvárt nagyfokú minőségbeli követelmények elsősorban a nyomdászati előkészítés, az építészeti és gépészeti tervezés területén merülnek fel, de egyre szélesebb körben mutatkozik igény a számítógépes monitorok kalibrációjára egyéb területeken is. Viszonylag új felhasználási terület a pszichofizikai és vizuális kutatásokban (pl. a színlátásvizsgálatban) történő alkalmazás.

A tanszékünkön kifejlesztett szintévesztést korrigáló módszer [1] számára az elmúlt években számos számítógép monitoron megjelenített színlátás-vizsgálati módszer került kifejlesztésre [2], [3], [4]. A számítógépen megjelenített színlátásvizsgálatoknál (ahol a monitor mérőműszerként szolgál) feltétlenül



1. ábra CRT-monitor gamma-görbéi

szükséges a gamma-görbék és a színhőmérséklet gyors és pontos kalibrálása, mivel a monitorok RGB-primereinek kalibrálásához legalább ez a két mérendő paraméter elengedhetetlen.

A monitorok általában vett gammakarakterisztikája (gamma-görbéje) alatt a szoftveresen vezérelt RGB-intenzitás (DAC-érték) és a képernyőn mért fénysűrűség közel négyzetes összefüggését értjük (1. ábra).

A gamma-görbék automatizálatlan módon történő méréséhez fénysűrűségmérő műszerre és megfelelő szoftverre van szükség. A szoftver feladata tetszőleges DAC (digitális monitor intenzitás) értékű zöld (G), vörös (R) vagy kék (B) homogén felületek létrehozása a CRT-monitoron.

A mérés során azonos léptékkel primer színningermérési pontokat veszünk fel a DAC-skála mentén. Ezeket a DAC-intenzitásokat a monitoron egyenként megjelenítve, lemérjük a fénysűrűségeket, és megkapjuk az $L_{DAC}=f(L)$ adatpárokat. A mért adatpárookra regressziós módszerrel illesztve megkapjuk a gamma-karakterisztikát. Az alkalmazott regressziós módszer lehet polinomiális, összetett vagy exponenciális. Az irodalomban általánosan alkalmazott exponenciális közelítés szerint a gamma-görbe egyenlete a következő [5], [6]:

$$L_{R,G,B} = O_{R,G,B} + G_{R,G,B} \times DAC_{R,G,B} \gamma_{R,G,B} \quad (1)$$

ahol L [cd/m²] a fénysűrűség; O az offset-fénysűrűség; G az erő-sítés; DAC a szoftveres intenzitás; g a gamma kitevő; az R, G, B indexek pedig a vörös, zöld és kék gamma-görbét jelölik.

A monitor színhőmérsékletének meghatározása általában spektrométeres, fénydetektoros-szűrős vagy tristimulusos elven működő műszerrel történik. Ezek a műszerek általában költségesek, ezért célszerű egy olyan új megoldás kidolgozása, ahol a színhőmérsékletet a fenti módszereknél egyszerűbb módon mérhető.

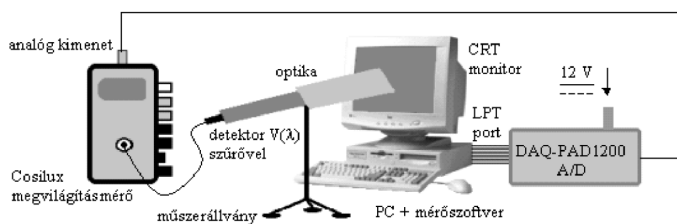
Az automatizált mérőberendezés és működése

A kifejlesztett automata gamma-görbe- és színhőmérséklet-mérő berendezés négy fő egységből áll:

- Fénysűrűségmérő műszer
- Párhuzamos porton csatlakozó A/D-konverter
- Számítógép
- PC-kompatibilis CRT- vagy LCD-monitor mint mért és mérő eszköz

Fénysűrűségmérő egységként egy Cosilux LM2 típusú megvilágításmérő szolgált. Mivel az eredeti eszköz csak megvilágítás (lux) mérésére volt alkalmas, ezért a detektor elé megfelelő optikai rendszer került (2. ábra), amellyel közös tubusban van a szilíciumalapú detektor is. A tubus állványra helyezhető és pozicionálható, ennek köszönhetően a monitor bármely pontjának megmérhető a karakterisztikája. A Cosilux által szolgáltatott megvilágításérték az optikai rész paramétereinek ismeretében az ismert fénytechnikai összefüggések segítségével számítható át fénysűrűsége [7].

A Cosilux mérőműszert is átalakítottuk: analóg kimeneti



2. ábra A monitorkalibráló berendezés felépítése

csatlakozással egészítettük ki a mérési adatok elektronikus kiolvasásához. Az ebből kivezetett jel kerül a feldolgozó rész második egységébe, az A/D-konverterbe, amely párhuzamos portra csatlakoztatható a műszer hordozhatósága érdekében.

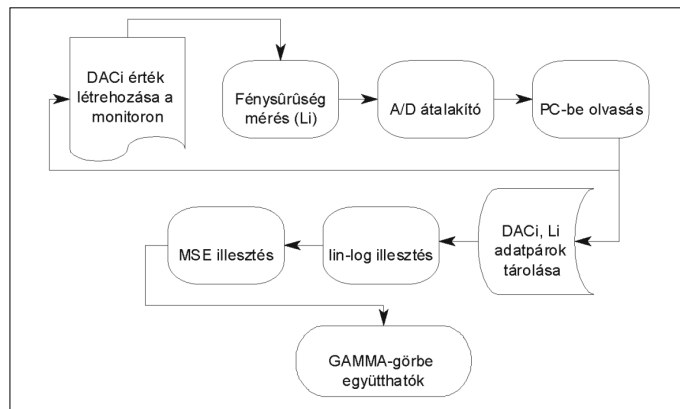
A számítógépbe érkezett jelet a célra fejlesztett LabVIEW-program kezeli. A monitor méréskor mérőeszközként és mért eszközként is üzemel, ugyanis a műszerek vezérlése és az eredmények leolvasása is ezen történik, de itt történik a mérőábrák megjelenítése is. A szoftver rendelkezik betöltési, mentési, nyomtatási és az Excelbe történő exportálási lehetőségekkel is. Egy mérés három lépést tartalmaz:

1. A mérés jellemzőinek megadása

- A gamma-görbe független változójaként szereplő DAC-sorozat előállítás különböző pontsűrűséggel.
- Választás a vörös, zöld vagy kék gamma-görbe mérése között.
- A mérés gyorsaságát és pontosságát befolyásoló mintavétel beállítása.

2. A mérési algoritmus indítása

- A szoftver vezérlőpanel eltűnik, és megjelenik az első, 0 DAC-intenzitású, majd a beállításoknak megfelelő többi, teljes képernyőt betöltő mérőábra.
- Ezzel párhuzamosan a megvilágításmérő rendszeren mért analóg jel a D/A-átalakítón keresztül a számítógépbe kerül és a $(DAC_i; L_i)$ adatpárok tárolódnak.
- A leírt algoritmus (3. ábra) többször megismétlődik, és a monitor teljes DAC-tartományán felvételre kerül a mért fénysűrűség.



3. ábra A mérési eljárás algoritmus

3. A gamma feldolgozási szakasz

- A mért adatpárokból a gamma-görbe paraméterek (O, G, γ) két típusú regressziós módszer, a lineáris-logaritmikus (lin-log) és az MSE egymás utáni alkalmazásával számolódnak. A lin-log-módszer a $DAC_i; L_i$ mért értékpárok segítségével matematikai úton határozza meg az O, G és γ paramétereket. A lin-log-módszer [8] a gamma-karakterisztika logaritmikus jellege miatt nagy bizonytalanságú, ezért a kapott γ és G paraméterek további finomítása az MSE- (Mean Squared Error) módszerrel történik. Az eljárás első lépésében kiszámítódik a lin-log-módszerrel számított O, G és γ paraméterek $\pm 20\%$ -os sávbán elhelyezkedő sorozata 1% -os sűrűséggel. Ezekkel az O_i, G_i és g_i együtthatókkal 100^3 számú gamma-görbe hozható létre. Az így létrehozott és a műszerrel mért görbék közötti minimalizáló MSE-számítással megtalálható azon O_i, G_i és g_i kombináció, amely a legközelebb áll a mért gamma-karakterisztika pontjaihoz. A két módszer jól kiegészíti egymást, ugyanis a lin-log-módszer gyors, az MSE pedig pontos. Számítógéptől függően $2 \dots 10$ s-ot vesz igénybe egy kombinált iterálás. Ha az MSE-módszer nem támaszkodhatna a lin-log-számításra, több millió számítási ciklusra lenne szükség az ismeretlen O_i, G_i és γ_i paraméterek miatt, és ez jóval több számítási kapacitást és időt igényelne. Ha viszont csak a lin-log-módszert alkalmaznánk, pontatlan eredményre jutnánk.
- Színhőmérséklet-mérés: A színhőmérsékletet a szoftver a maximális 255-ös DAC-értékeken mért primer fénysűrűségekből ($L_{R,max}, L_{G,max}, L_{B,max}$) számítja. Az aktuálisan mérni kívánt (CRT vagy LCD) monitor ismert spektrális teljesítményeloszlásából és a V_λ görbéből létrehozott egységnyi területű primer görbék a megfelelő $L_{R,max}, L_{G,max}, L_{B,max}$ értékekkel szorozva, majd a V_λ függvényvel elosztva, a 255-ös DAC-értékű fehérhez tartozó spektrális primer eloszlásokat fogják adni. A primer sugárzás-eloszlásokat összeadva végül létrehozható a csúcs fehér intenzitáshoz tartozó spektrális teljesítmény-eloszlás, amelyből a színhőmérséklet számítható. A bemutatott számítási módszer alapja az, hogy a primerek különböző DAC-értékeken mért spektrális eloszlásainak intenzitás pontjai a gamma összefüggés szerint változnak. Tehát ha ismertek a $\varphi(\lambda)_{R,DAC 255}, \varphi(\lambda)_{G,DAC 255}, \varphi(\lambda)_{B,DAC 255}$ eloszlások, akkor a tetszőleges színínges spektrális teljesítményeloszlása is számítható [9]. A 255-ös DAC-értékű fehér spektrális eloszlásból közelítő módszer [10] segítségével számítható korrelált színhőmérséklet: A CIE xy színességi koordinátákat CIE uv rendszerbe átszámítva minimalizálható a feketesugárzó vonal, illetve a mért színességi koordináták közötti távolság. A minimalizálás után a legkisebb távolsághoz tartozó feketesugárzó színhőmérséklet fogadható el színhőmérsékletként (illetve rosszul beállított fehérpont esetében egyes esetekben korrelált színhőmérsékletként).

A monitor adott paraméterekre történő kalibrálása természetesen nem egyetlen (a fentiekben bemutatott) algoritmus végrehajtásával, hanem ismételt mérésekkel és azzal párhuzamosan a monitor és az operációs rendszer megjelenítési paramétereinek változtatásával valósul meg.

Összefoglaló

Az automata gamma-görbe- és színhőmérséklet-mérő műszer-összeállítás fejlesztésével párhuzamosan mérések folytak a műszer pontosságával és gyorsaságával kapcsolatban. A kifejlesztett műszerrel mért gamma-görbe és színhőmérséklet relatív hibája, illetve mérési bizonytalansága a kereskedelemben kapható műszerekével [11], [12] azonos nagyságrendű volt. A színhőmérséklet 95%-os biztonsággal felvett mérési bizonytalansága 20 K, gamma kivevőjének bizonytalansága pedig 0,02.

A gamma- és színhőmérséklet-mérő műszerösszeállítás tehát egy alacsony költségű, könnyen és gyorsan alkalmazható, pontos eszköz a gamma-együtthatók és a színhőmérséklet meghatározására. A műszerben található egyedi újítások a gamma-görbe illesztésre alkalmazott lin-log + MSE-módszer, valamint a mindössze egy detektorral működő színhőmérséklet-mérési módszer. A jól kezelhető szoftver gyors mérést tesz lehetővé. 20 db DAC mérési ponttal egy mérés 30 s-ot vesz igénybe. A mérőberendezés könnyen telepíthető bármely minimális rendszerkövetelményt teljesítő számítógépre. A mérési adatok számítógépen tárolódnak, további feldolgozásuk könnyű. A kifejlesztett eszköz bemutatott képességeivel alkalmas CRT- és LCD-monitorok kalibráló műszereként történő felhasználására. Kompakt kialakításban pedig akár sorozatgyártásra is alkalmas.

Irodalom

- [1] Wenzel K., Ábrahám Gy., Szappanos J.: Eljárás és eszköz színlátás javítására vagy módosítására. Szabadalmi okirat OTH/208453, 1988.
- [2] K. Wenzel, K. Ladunga, Gy. Abraham, G. Kovacs, I. Kucsera, K. Samu: Measuring Colour Resolution of the Eye by Using Colour Monitor. Colour 2000, Derby, UK, 2000.
- [3] Samu K., Wenzel K.: Felületszínek átvitele CRT monitorra és alkalmazása színtévesztés diagnosztizálására, XXIX. Kolorisztikai Szimpózium, Eger, 2003.
- [4] Samu K., Wenzel K.: Színtévesztés vizsgálata pszeudoizokromatikus tesztekkel CRT monitoron. XXIX. Kolorisztikai Szimpózium, Eger, 2003.
- [5] Bodrogi p., Kranicz B., Murray K., Schanda J.: Accurate Colorimetric Calibration Of CRT Monitors. SID Conference, Orlando, 1995.
- [6] Poynton C.: The rehabilitation of Gamma". SPIE/IS&T Conf., San Jose CA, 1998.
- [7] Hefelle J.: Megvilágításmérés – szenzitometria, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [8] Vincze István: Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [9] Samu K.: Világosság-észlelet kompenzált színlátás-vizsgáló tesztek megvalósítása számítógéppel vezérelt CRT képernyőn. PhD Disszertáció, Budapest, 2005.
- [10] Ohno Y., Jergens M.: Results of the Intercomparison of Correlated Color Temperature Calculation. CORM Subcommittee CR3 Photometry, 1999.
- [11] Avantes: Spectrocam spectrophotometer. <http://www.avantes.com/SpectroCam/SC20home.htm>, 2002.
- [12] Color Vision Inc.: Spider – CRT Calibrating System. <http://www.arrowcamera.com/html/PhotoCal.htm>. 2001.

samuk@mom.bme.hu

Robotlátás az űrkutatásban

Dr. Wenzel Klára egyetemi m. tanár

Az űrkutatásban az űrszondák egyik legfontosabb érzékelője a digitális fényképezőgép. Az űrszondák fényképezőgépei a spektrum közeli UV látható és közeli infravörös tartományában is készíthetnek felvételeket, általában 6, 8 vagy még több keskeny sávú interferenciaszűrőn keresztül, fekete-fehér kivételben. Ezek a felvételeken és a belőlük készült kompozitokon kiemelhetők az ábrázolt kép eddig rejtve maradt spektrális jellemzői. Azonban ezek a keskeny sávú szűrők nem alkalmasak arra, hogy segítségükkel az emberi szem számára színhelyes képeket hozzunk létre. A cikk új eljárást mutat be, amely ezt a hibát jelentősen csökkenti.

A sávszűrőzött felvételek 6-8 különböző hullámhosszúságú, keskeny sávú színszűrővel készült fényképfelvételek, amelyeket színkivonatoknak neveznek. A színkivonatok spektrális információt tartalmaznak a kép minden képpontjáról.

Ha a színkivonatok közül hármat kiválasztunk, és egy színes monitor egy-egy alapszínével jelenítjük meg, hamis-színes felvételt kapunk. A hamis-színes felvételen kiemelhetjük az ábrázolt kép számunkra fontos spektrális tulajdonságait [1,2].

A sávszűrőzött felvételi technikát a távérzékelésben és az űrkutatásban szokás alkalmazni [3, 4]. A távérzékelésben pl. a hamis-színes képeken kiemelhetők a búzatáblák növényi kártevői, a tengerek szennyezettsége, felismerhetők a föld alatti létesítmények a hőtermelésük alapján, és megkülönböztethetők az élő növények az álcázó színre festett katonai objektumoktól. Az űrkutatásban a hamis-színes képekből megtudhatjuk pl., hogy milyen anyagok találhatóak egy idegen bolygó felszínén, esetleg van-e valamilyen élet rajta.

Felmerülhet az igény aziránt is, hogy a színkivonatok alap-

ján élethű színekben jelenjen meg a felvétel tárgya. A továbbiakban bemutatunk egy új képfeldolgozási eljárást, amellyel az eddiginél jobb színvisszaadás érhető el űrfelvételek színkivonatai alapján. Példaképpen a 2004-ben Marsra érkezett Mars Global Surveyor PanCam kamerájából indulunk ki.

A Mars Global Surveyor PanCam-kamerája

A PanCam [5] két kamerával dolgozik; ez lehetőséget ad sztereoszkópikus felvételek készítésére is. Mindkét kamera elé 8-8 cserélhető színszűrő helyezhető el. Ezek részben keskeny sávú interferenciaszűrők, részben alul áteresztő (SP), illetve felül áteresztő (LP) szűrők. Egy-egy igen sötét, D=5 denzitású, neutrális szürke szűrőt (Solar ND5) is elhelyeztek a kamerák elé, amelyek lehetővé teszik a közvetlen Napba fényképezést két hullámhosszon. A szűrők optikai paraméterei a táblázatban láthatók.

Az L4 (vörös), az L5 (zöld) és az L6 (kék) szűrő a terv szerint természetes színű képek (kompozitok) létrehozására is alkalmas. Ezekkel a szűrőkkel hozzák létre jelenleg a „true color”