

Skiriamosios gebos įtaka televizinio vaizdo parametrų vertinimui

M. Vaitkūnas, A. Dosinas, V. Bartkevičius

Taikomosios elektronikos katedra, Kauno technologijos universitetas,
Studentų g. 50, LT-51368 Kaunas, Lietuva, tel. 300270, el. p. kat0102@ktu.lt

Įvadas

Derinant spalvotojo vaizdo televizorius ar monitorius bei jų mazgus, tenka matuoti kineskopo spalvų suvestį, geometrinius iškraipymus ar kitas panašaus pobūdžio charakteristikas. Todėl ekrane generuotą testinį spalvotą vaizdą reikia pakankamai tiksliai ir pakankamai greitai išskaidyti į pirminių raudonos, žalios ir mėlynos (R, G ir B) spalvų dedamąsias, analizuoti jų geometrines charakteristikas bei tarpusavio išsidėstymą [1, 2].

Skaidant tokį vaizdą į spalvų dedamąsias, apibūdinančias skirtingų spalvų švytalo aikštelių švytėjimų intensyvumus, susiduriama su *spektrų* ir *rastrų* efektais.

Spektrų efektai yra sąlygoti kineskopo švytalo ir kameros jautrių elementų spektrinių charakteristikų sanklotos [3, 4].

Rastrų efektai susiję su tuo, kad vaizdas kaukinio kineskopo ekrane atvaizduojamas periodinėje švytalo aikštelių ir jų triadų struktūroje. Nuskaitant (registruojant) tokį vaizdą vaizdo kamera, gautas jo atvaizdas išreiškiamas periodinėje kameros jautrių elementų struktūroje. Abiejų šių periodinių struktūrų, ypač jei jų žingsniai artimi, atsitiktinio tarpusavio išsidėstymo sukelti reiškiniai sąlygoja papildomas vaizdo skaidymo ir jo parametrų matavimo paklaidas.

Optinis sistemos didinimas lemia vaizdo kameros jautrių elementų ir į juos projektuojamų švytalo aikštelių žingsnių santykį, nusakantį bendrą sistemos skiriamąją gebą. Priklausomai nuo skiriamosios gebos tiek spektrų, tiek rastrų efektai reiškiasi skirtingai.

Esant dideliame didinimui, viena kineskopo švytalo aikštelė projektuojama bent į keletą ar į keliolika kameros jutiklio jautrių elementų. Šis atvejis detaliau buvo išnagrinėtas [3] darbe.

Esant mažam didinimui, į vieną imtuvo kameros jautrių elementą projektuojama ne mažiau kaip visa kineskopo švytalo aikštelių triada. Šiuo atveju jau nebegalima atskirti detalios švytalo aikštelių struktūros, o nustatoma tik bendra vaizdo elemento spalva.

Praktikoje didinimas dažniausiai būna vidutinis, kai visas kineskopo ekranas registruojamas viena vaizdo kamera, kurios rastras yra artimas tiriamojo kineskopo rastrui. Tuomet priklausomai nuo švytalo aikštelių ir jautrių elementų tarpusavio išsidėstymo vienas jautrus jutiklio elementas registruoja spinduliavimą iš daugiau nei vienos švytalo aikštelių.

Analizuodami bei modeliuodami nuskaitytą ekrano vaizdą tarsime, kad vaizdas registruojamas trijų lustų vaizdo kamera su vaizdo skaidymo į spalvų dedamąsias prizme, kai visų trijų kameros išėjimų signalai atspindi tą patį ekrano vaizdo (originalo) elementą.

Vaizdo skaidymas į spalvų dedamąsias, esant mažam didinimui

Kai didinimas mažas ir ekrano švytėjimas yra tolygus, galima tarti, kad imtuvo kameros registruojama spalva nebeprisklaido nuo nedidelių kineskopo švytalo aikštelių ir kameros jautrių elementų tarpusavio išsidėstymo atsitiktinių pokyčių. Tuomet imtuvo „matomas“ ekrano vaizdo elementas apibūdinamas suminiu spektru $S_E(\lambda)$:

$$S_E(\lambda) = A_R S'_R(\lambda) + A_G S'_G(\lambda) + A_B S'_B(\lambda); \quad (1)$$

čia $S'_j(\lambda)$, $j \in \{R, G, B\}$ – raudonos (R), žalios (G) ir mėlynos (B) spalvos kineskopo švytalo spektrinės charakteristikos, o A_j – koeficientai, proporcingi šviesos srautui iš R, G ir B spalvų švytalo aikštelių, projektuojamų į vaizdo kameros jautrių elementą.

Kineskopų švytalo spektrinės charakteristikos išreiškiamos $S'_j(\lambda) = k_j \cdot S_j(\lambda)$. Čia k_j – integrinis švytalo švytėjimo intensyvumas; $S_j(\lambda)$ – atitinkamo švytalo normalizuota spektrinė charakteristika [3].

Spalvotojo vaizdo kameros, kuria nuskaitomas vaizdas, spalvų r, g ir b kanalų spektrai yra $s'_r(\lambda)$, $s'_g(\lambda)$, $s'_b(\lambda)$. Apibendrintai šiuos spektrus galima aprašyti $s'_i(\lambda) = l_i \cdot s_i(\lambda)$, kai $i \in \{r, g, b\}$, l_i – integrinis kameros i-ojo kanalo jautrumas, o $s_i(\lambda)$ – normalizuota kanalo spektrinė charakteristika.

Kameros i-ajame išėjime gaunamas signalas:

$$B_i = \int_{-\infty}^{\infty} S_E(\lambda) s'_i(\lambda) d\lambda, \quad i \in \{r, g, b\}. \quad (2)$$

Įvertinus (1) išraišką, šį išėjimo signalą galima išreikšti taip:

$$B_i = \sum_j A_j \int_{-\infty}^{\infty} S'_j(\lambda) s'_i(\lambda) d\lambda = \sum_j A_j K_{ij}; \quad (3)$$

čia

$$K_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} S'_j(\lambda) s'_i(\lambda) d\lambda = l_i k_j \int_{-\infty}^{\infty} S_j(\lambda) s_i(\lambda) d\lambda = l_i k_j S_{ij} \quad (4)$$

yra spektrų sanklotos koeficientai, o

$$S_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} S_j(\lambda) s_i(\lambda) d\lambda - \text{normalizuotų spektrų sanklotos}$$

koeficientai, įvertinantys normalizuotus švytalo spinduliavimo ir kameros jautrumo spektrus.

Koeficientai K_{ij} priklauso tik nuo švytalo ir kameros spektrinių savybių, švytalo žadinimo intensyvumo bei kameros kanalų jautrumo. Todėl konkrečiai kineskopo ir kameros porai jie yra pastovūs. Juos galima apskaičiuoti naudojantis (4) išraiška arba išmatuoti eksperimentiškai [5].

Vaizdą registruojančios kameros spalvų kanalų išėjimo signalai B_i , $i \in \{r, g, b\}$ gali būti išreiškiami matricine forma:

$$\mathbf{B} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{A} ; \quad (5)$$

čia $\mathbf{B} = [B_r \quad B_g \quad B_b]^T$ – išėjimo signalų trimatis

vektorius stulpelis; $\mathbf{A} = [A_R \quad A_G \quad A_B]^T$ – švytalo intensyvumų vektorius stulpelis; \mathbf{K} – 3×3 dydžio spektrų sanklotos koeficientų matrica; T – transponavimo ženklas.

Žinodami kameros išėjimo kanalų verčių vektorių \mathbf{B} ir spektrų sanklotos koeficientų matricą \mathbf{K} , švytalo intensyvumus rasime išsprendami (5) lygtį:

$$\mathbf{A} = \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{B} ; \quad (6)$$

čia \mathbf{K}^{-1} – atvirkštinė matrica.

Pavyzdžiui, spektrinės sanklotos koeficientai, apskaičiuoti konkrečiam švytalui ir kamerai, pateiktiems [4], yra

$$\mathbf{K} = \begin{vmatrix} 1 & 0,57 & 0,1 \\ 0,13 & 1 & 0,23 \\ 0,21 & 0,33 & 1 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Tuomet, žinodami kameros išėjimo signalus \mathbf{B} ir apskaičiavę atvirkštinę matricą \mathbf{K}^{-1} , gauname koeficientus A_j , apibūdinančius bendrą šviesos srautą iš atitinkamų spalvų švytalo aikštelių:

$$\begin{aligned} A_R &= 1,07 B_R - 0,62 B_G + 0,04 B_B, \\ A_G &= -0,09 B_R + 1,14 B_G - 0,25 B_B, \\ A_B &= -0,19 B_R - 0,24 B_G + 1,07 B_B. \end{aligned} \quad (8)$$

Šie koeficientai A_j ir yra ekrano vaizdo skaidymo į spalvines dedamąsias rezultatas.

Vaizdo skaidymas į spalvų dedamąsias, esant vidutiniam didinimui

Siekiant įvertinti didinimo įtaką nuskaityto vaizdo savybėms ir kartu nustatyti ribas, kada didinimas laikytinas

dideliu, o kada jau mažu, buvo modeliuoti vaizdo kameros r , g ir b kanalų išėjimo signalai, esant įvairiems nuskaitymo apertūros (vieno kameros jautraus elemento ploto) santykiams su švytalo aikštelės plotu.

Modeliuojant buvo naudojamas spalvinio kineskopo ekrano vaizdo modelis (1 pav.), laikant, kad ekranas švyti tolygiai balta šviesa [6].

Jutiklio jautrus elementas buvo parinktas skritulio formos, o jo jautrumo svorinė funkcija buvo modeliuojama cilindrine funkcija ir Gauso funkcija.

Cilindrinė funkcija

$$\omega(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{kai } x^2 + y^2 \leq r_c^2, \\ 0 - \text{kitais atvejais,} \end{cases} \quad (9)$$

modeliuoja atvejį, kai jautrus elementas yra spindulio r_c skritulys, o ekrano vaizdas į jautrųjį elementą projektuojamas idealiai sufokusuotas.

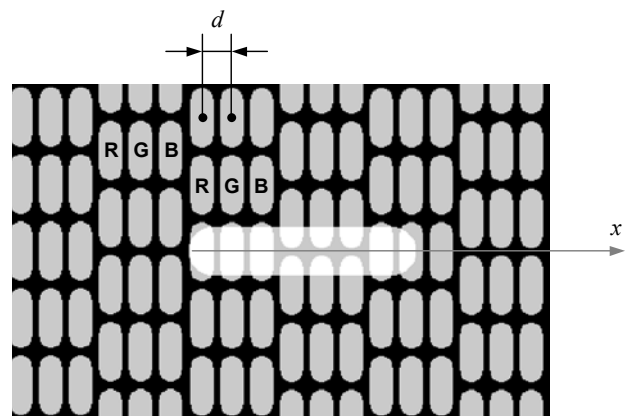
Gauso funkcija

$$\omega(x, y) = \begin{cases} C \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{2r_G^2}}, & \text{kai } x^2 + y^2 \leq R_G^2, \\ 0 - \text{kitais atvejais,} \end{cases} \quad (10)$$

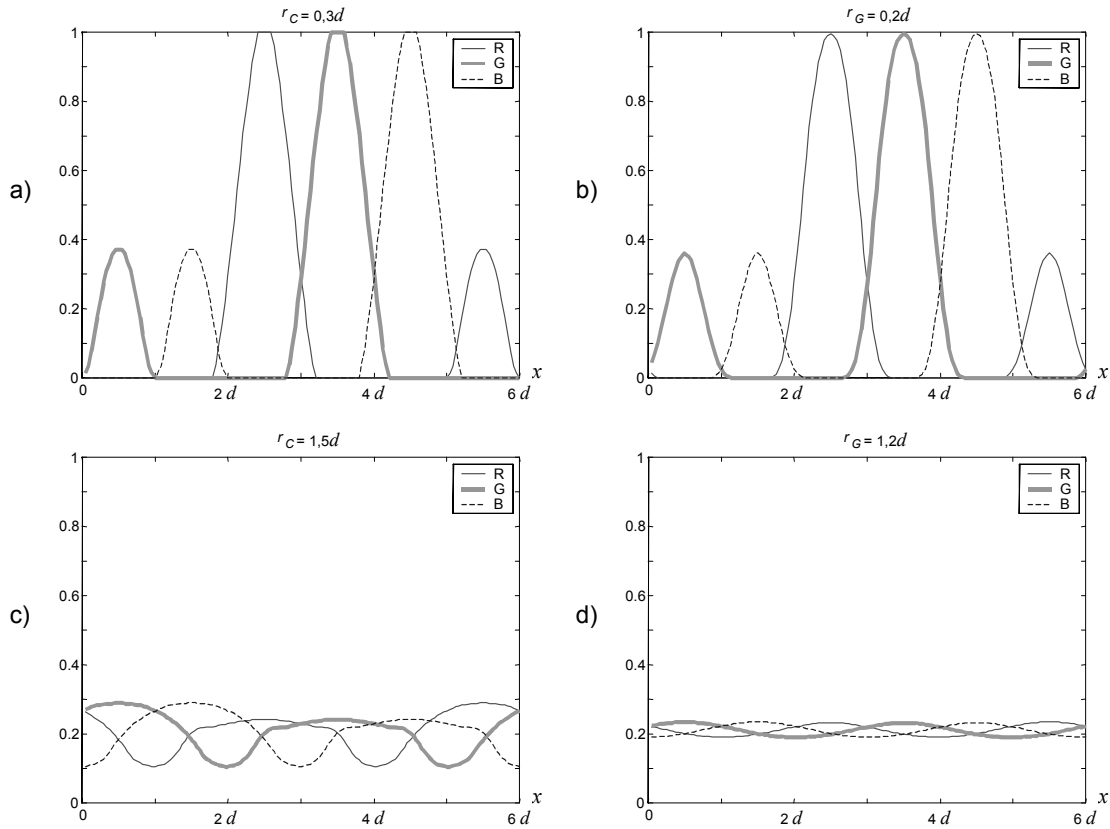
taip pat modeliuoja atvejį, kai elementas yra skritulio formos, tačiau yra nevienodo jautrumo centre ir kraštuose, arba ekrano vaizdas į jautrųjį elementą projektuojamas išfokusuotas įvairiose optinės sistemos grandyse. Šis išfokusavimo laipsnis nusakomas Gauso funkcijos parametru r_G , o regos laukas – Gauso funkcijos ribojimo parametru R_G . Šis parametras buvo parinktas taip, kad ribotų funkciją 10 % lygiu. Tokiu atveju $R_G = 2,15 \cdot r_G$.

Sistemos didinimas modeliuojant vertintas kameros regos lauko (apertūros) objekto plokštumoje skersmenų r_c ir r_G santykiais su švytalo aikštelių žingsniu d (1 pav.). Kai r_c (arba r_G) mažesnis už d , didinimas yra didelis, o kai gerokai didesnis, – jau mažas. Čia nagrinėsime tuos tarpinius, tačiau praktikoje neretai pasitaikančius atvejus, kai didinimas yra vidutinis, t. y. kai $r > d$, tačiau didesnis ne daugiau kaip keletą kartų.

Kameros spalvinių kanalų išėjimo signalai buvo modeliuojami, skenuojant pasirinkto tipo ir skersmens apertūra balta švytintį ekraną x ašies kryptimi (1 pav.).



1 pav. Baltai švytinčio ekrano modelis ir jo skenavimo trasa



2 pav. Kameros išėjimo signalai esant skirtingoms kameros jutiklių svorinėms funkcijoms, kai r_C ir r_G nedideli (a ir b) ir kai r_C ir r_G dideli (c ir d). Čia a ir c – cilindrinė funkcija, b ir d – Gauso funkcija

Pradžioje buvo modeliuojamas idealizuotas atvejis, kai kameros spalvų kanalai jautrūs tik „savos“ spalvos švytalo signalams. Keletas tokių išėjimo signalų pavyzdžių, gautų skenuojant dvi švytalo aikštelių triadas, pateikta 2 paveiksle.

Iš modeliavimo rezultatų matyti, kad apertūrai neapimant visos triados, dar galima identifikuoti, kurios spalvos švytalo aikštelė vyrauja ir pagal tai atkurti smulkia vaizdo struktūrą. Didėjant apertūrai, signaluose atsiranda nuolatinės dedamosios, apibūdinančios bendrą nagrinėjamos vaizdo dalies spalvą, ir kintamosios dedamosios, priklausančios nuo apertūros padėties skirtingų spalvų švytalo aikštelių atžvilgiu. Didinant apertūros skersmenį, kintamoji signalo dedamoji mažėja, o nuolatinė santykiškai didėja. Kai apertūra, ypač cilindrinė, yra didesnė už vieną triadą ir šis dydis nėra kartotinis triados pločiui, tai atkuriant nuskaitomo vaizdo struktūrą gaunamas švytalo aikštelių „paslinkimo“ efektas. Tai susiję su tuo, kad į jautraus elemento apertūrą patenka nevienodas skirtingų spalvų švytalo aikštelių skaičius ir dėl to pakinta atitinkamos spalvos dedamosios signalo maksimumo padėtis.

Modeliuojant kameros išėjimo signalus, kai įvertinama spektrinių charakteristikų sanklota, buvo naudota (7) išraiškoje pateikta sanklotos koeficientų matrica \mathbf{K} , o spalvų dedamųjų signalai buvo surasti remiantis išraiškomis (3).

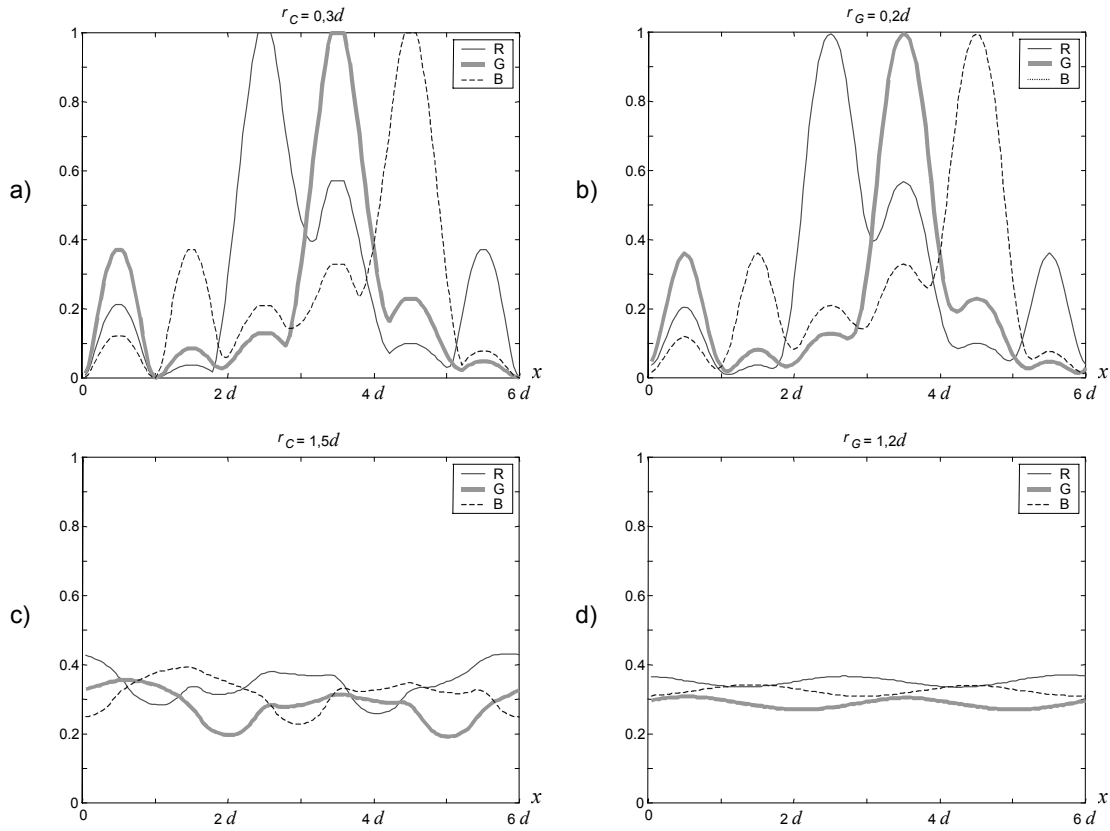
Keletas gautų signalų pavyzdžių skirtingo skersmens cilindrinėms ir Gauso funkcijoms pateikta 3 paveiksle.

Pavyzdžiai pateikti tokioms pat apertūroms kaip ir 2 paveiksle.

Analizuojant signalus, sumodeliuotus įvertinus spalvų sanklotą ir lyginant juos su signalais, gautais spektrus laikant idealizuotais, pastebima, kad atsiradus signalo dedamajai, proporcingai kitų spalvų švytalo ryškumui, atskirų spalvų dedamųjų signalai tarpusavyje dar mažiau skiriasi, juose dar daugiau išauga jų nuolatinė ir nusilpsta kintamoji dedamoji. Dėl nevienodos švytalo įtakos kitų spalvų dedamųjų signalams, didėjant apertūrai, vienos spalvos kanalo signalas gali vyrauti kitų signalų atžvilgiu. Norint susilpninti šį efektą, turi būti paderinti kameros kanalų jautrumai l_i ir atitinkamai pakoreguoti koeficientai (7).

Spalvų dedamųjų išskyrimo įvertinimas

Siekiant įvertinti didinimo įtaką švytalo spalvos atpažinimo efektyvumui, buvo pasiūlyti trys daliniai ir apibendrintas kriterijai. Daliniai kriterijai χ_r , χ_g ir χ_b apibūdina atskirų spalvų dedamųjų atpažinimo teisingumą. Skaičiuojant šiuos kriterijus, kiekviename skenavimo trasos žingsnyje tikrinama, ar atitinkamos (r , g , b) spalvos dedamosios kanalo išėjimo signalas yra didžiausias ties atitinkamos (R , G , B) spalvos švytalo aikštele. Kriterijaus vertę nusako triadų periodo dalis, kurioje spalvos dedamoji atpažįstama teisingai. Idealiu atveju $\chi_r = \chi_g = \chi_b = 1/3$.



3 pav. Kameros išėjimo signalai įvertinant spektrų sanklotą

Blogėjant spalvų atpažinimui, šie kriterijai mažėja. Apibendrintu kriterijumi laikysime dalinių kriterijų sumą:

$$X = \chi_r + \chi_g + \chi_b . \quad (11)$$

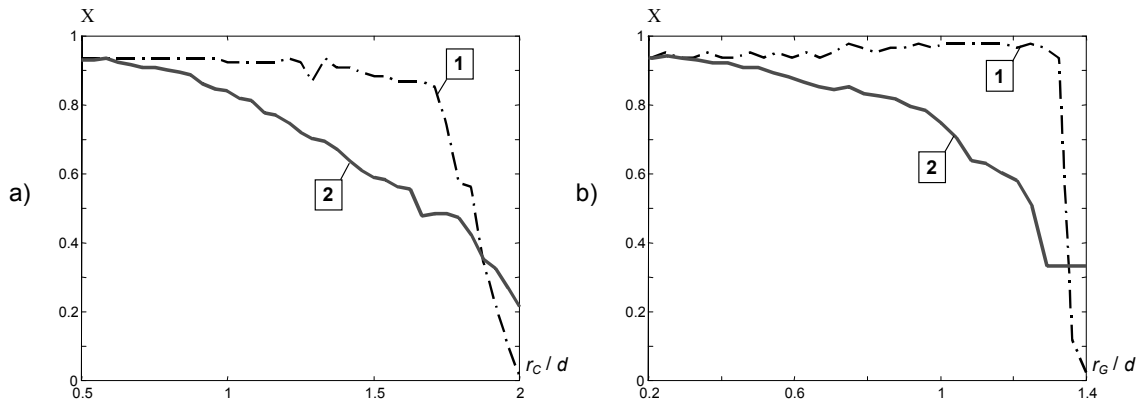
Nesunku pastebėti, kad kriterijaus kitimo sritis yra $0 \leq X \leq 1$.

Šis kriterijus netiesiogiai įvertina švytalo aikštelių spalvų teisingo atpažinimo tikimybę. Gauta kriterijaus X priklausomybė nuo nuskaitymo apertūros dydžio parodyta 4 paveiksle.

Dėl jau anksčiau aptartų priežasčių kriterijaus X vertė, o kartu ir spalvos atpažinimo patikimumas, didėjant apertūros spinduliui, mažėja. Kai švytalo ir kameros kanalų

spektrų sanklotos nėra, šis mažėjimas turi ryškų slenkstinį pobūdį. Įvertinus realią spektrų sanklotą, šis mažėjimas yra lėkštesnis. Nesunku pastebėti, kad šio kriterijaus atžvilgiu tiek cilindro, tiek Gauso formos nuskaitymo apertūros yra beveik ekvivalentiškos, jei $r_c \approx 1,3 r_g$.

Kriterijaus sumažėjimas reiškia, kad atskirų spalvų švytalo aikštelių patikimai atpažinti nebegalima ir jau reikia vertinti bendrą vaizdo spalvą, jei apertūros skersmuo viršija vienos švytalo triados plotį ($r_c/d > 1,3$), kai spektrų sanklotos nėra ir kai apertūros skersmuo priartėja prie $2/3$ triados pločio, esant pastebimai spektrų sanklotai.



4 pav. Kriterijaus X priklausomybė nuo apertūros dydžio cilindrinei (a) ir Gauso (b) funkcijoms, kai spektrų sanklotos nėra (1) ir kai spektrų sanklota yra (2)

Rezultatai ir išvados

Pagal kameros išėjimo signalų vertes galima surasti švytalo aikštelių švytėjimo intensyvumus, t.y. išskaidyti vaizdą į spalvines dedamąsias, jei žinomos kineskopo švytalo ir kameros spalvų kanalų spektrinės charakteristikos.

Kai vaizdas kineskopo ekrane registruojamas spalvotojo vaizdo kamera esant dideliame didinimui, galima atkurti detalią vaizdo struktūrą iki kiekvienos jį sudarančios švytalo aikštelės švytėjimo. Esant ribotam didinimui, tenustatoma bendra stebimos ekrano vietos spalva ir jos intensyvumas.

Įvertinant švytalo ir kameros kanalų spektrinių charakteristikų sanklotą, didinimą galima laikyti pakankamu atskiroms švytalo aikštelėms išskirti, kai kameros jutiklio apertūra apima ne daugiau kaip dvi švytalo aikšteles. Jei spektrinių charakteristikų sanklota panaikinama optiniais filtrais ar kitomis priemonėmis, kameros jutiklio apertūra gali būti padidinta iki triados pločio.

Literatūra

1. **Asano T., Kawame K., Mochizuki J., Fukuhara N.** Automated Color Inspection System for Color CRT

Pateikta spaudai 2004 03 01

M. Vaitkūnas, A. Dosinas, V. Bartkevičius. Skiriamosios gebos įtaka televizinio vaizdo parametrų vertinimui // *Elektronika ir elektrotechnika*. - Kaunas: *Technologija*, 2004. – Nr. 4(53). – P. 28-32.

Analizuojamos testinio vaizdo spalvinio kineskopo ekrane skaidymo į spalvų dedamąsias spektrų ir rastrų efektų problemos, kai vaizdas registruojamas spalvotojo vaizdo kameromis, esant nedideliame didinimui. Šiuo atveju į vieną kameros jutiklio elementą tuo pačiu metu projektuojasi daugiau nei viena kineskopo švytalo aikštelė. Modeliuojant vaizdo kameros išėjimo signalus esant įvairiems nuskaitymo apertūros santykiams su švytalo aikštelės plotu, įvertinti įvairių vaizdo spalvinių dedamųjų išskyrimo metodų ypatumai, pateiktos rekomendacijos, kaip juos taikyti. Il. 4, bibl. 6 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

M. Vaitkūnas, A. Dosinas, V. Bartkevičius. Resolution Influence on CRT Screen Picture Parameters Evaluation // *Electronics and Electrical Engineering*. - Kaunas: *Technologija*, 2004. – No. 4(53). – P. 28-32.

Some problems caused by the certain spectral and raster effects when colour test pattern is acquired from the CRT screen and decomposed into separate colour components are discussed. Acquisition of the test pattern is performed with colour video cameras. In the case of limited optical magnification more than one luminous phosphor spot are projected into one cell of the video camera sensor. Peculiarities of various methods of colour decomposition were estimated, by modelling video camera output signals and using different ratios of camera reading aperture and phosphor spot area. The results and recommendations are given. Ill. 4, bibl. 6 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian.).

М. Вайткунас, А. Досинас, В. Баркявичюс. Влияние разрешающей способности на оценку параметров телевизионного изображения // *Электроника и электротехника*. – Каунас: *Технология*, 2004. - № 4(53). – С. 28-32.

Рассматриваются проблемы спектров и растра, возникающие при разложении тестового изображения кинескопа на цветовые компоненты во время регистрации изображения цветными видеокамерами цветного изображения в условиях малого оптического увеличения. В этом случае в один чувствительный элемент видеокамеры проецируется более чем одна люминофорная площадка цветного кинескопа. При помощи моделирования выходных сигналов в 3-х каналах видеокамеры оценены особенности методов выделения цветовых компонент изображения в условиях различных соотношениях величины считывающей апертуры и люминофорной площадки кинескопа. Приведены рекомендации по применению этих методов. Ил. 4, библи. 6 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

Displays // Proceedings of the 1992 IEEE *IECON International Conference*. – 1992. – Vol. 2. – P. 725 – 730.

2. **Miyazaki H., Kamei K.** Measurement and Analysis of Color CRT Screen Uniformity // Proceedings of the 1988 *International Display Research Conference*. – 1988. – P. 129-132.
3. **Vaitkūnas M., Dosinas A., Bartkevičius V.** Spalvų spektrų įtakos kineskopo testinio vaizdo parametrų vertinimui modeliavimas // *Elektronika ir elektrotechnika*. – Kaunas: *Technologija*, 2003. – Nr. 4(46). – P. 34-38.
4. **Vaitkūnas M., Smolskas P., Dosinas A., Bartkevičius V.** Kineskopo testinio vaizdo spalvinių elementų išskyrimas // 12-osios mokslinės-techninės konferencijos *Lietuviškas spalvinis kineskopas* medžiaga. – Panevėžys: Nevėžio spaustuvė, 2003. – P. 130-135.
5. **Adaškevičius R., Jokužis V.** 3CCD kameros panaudojimas kineskopo kompleksų justavimo įrenginyje // 12-osios mokslinės-techninės konferencijos *Lietuviškas spalvinis kineskopas* medžiaga. – Panevėžys: Nevėžio spaustuvė, 2003. – P. 144-149.
6. **Vaitkūnas M.** Application of the Image Processing Methods for CRT Qualitative Parameters Evaluation. – Summary of Doctoral Dissertation. – Kaunas: *Technologija*, 2003. – 30 p.