DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

ITTEN, OSVALD VA DA VINCHI RANG DOIRALARINING KONTRAST VA AKKORD RANGLARI ASOSIDA ISSIQLIK XARITALARINI VIZUALLASHTIRISH USULINI TAKOMILLASHTIRISH

Nuraliyev F.M., *professor,*
Qudratova M.Sh., *tayanch doktorant,*
EMU, «Mutaxassislik fanlari» kafedrasi o‘qituvchisi,
E-mail: malohatqudratova@gmail.com,
Salimov S.S., *tayanch doktorant,*
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Annotatsiya. *Maqolada issiqlik xaritalari (heatmap) uchun rang tanlashning ikki talabi – qiymatni to‘g‘ri o‘qish va ranglar uyg‘unligi birga hal qilinadi. Maqsad – Itten, Osvald va Da Vinchi rang doiralarining kontrast va akkord ranglari asosida o‘qilishi kafolatlangan rang shkalasini qurish usulini ishlab chiqish. Usulda rang doirasi tonlarning siklik ro‘yxati, akkord esa burchaklar to‘plami sifatida ifodalanadi, ranglar tozaligi Osvald ulushi bilan boshqariladi, yorqinlik esa maxsus operator yordamida CIELAB och-to‘qligi bo‘yicha L* = 20 + 75t qoidaga keltiriladi. Shkalalar jet, viridis va yorqinligi nazorat qilinmagan “faqat akkord” shkalasi bilan solishtirildi. Taklif qilingan 10 ta variantning barchasida och-to‘qlik teskari burilishlarsiz o‘sadi, jet shkalasida esa 3 ta teskari burilish bor. Tetrada akkordida qo‘shni ranglar farqining yig‘indisi viridisdagidan 48 % ko‘p. Usul rang nazariyasi qoidalarini saqlagan holda qiymatni o‘qishni ta’minlaydi.*

Аннотация. *В статье совместно решаются два требования к цветам тепловой карты: правильное считывание значений и гармония цветов. Цель – разработать метод построения цветовой шкалы с гарантированной читаемостью на основе контрастных и аккордовых цветов цветовых кругов Иттена, Оствальда и да Винчи. Цветовой круг задаётся циклическим списком тонов, аккорд – множеством углов, чистота цвета – долей по Оствальду, а яркость специальным оператором приводится к правилу светлоты CIELAB L* = 20 + 75t. Шкалы сравнены с jet, viridis и шкалой «только аккорд». Во всех 10 вариантах предложенной шкалы светлота растёт без обратных поворотов, у jet их 3. Для тетрады сумма различий соседних цветов на 48 % больше, чем у viridis. Вывод: метод обеспечивает считывание значений при сохранении правил теории цвета.*

Abstract. *The paper addresses two requirements for heatmap colours at once: correct reading of values and colour harmony. The aim is to develop a method for building a colour scale with guaranteed readability based on the contrast and accord colours of the Itten, Ostwald and da Vinci colour wheels. A colour wheel is defined as a cyclic list of hues and an accord as a set of angles; colour purity is controlled by the Ostwald share, and a special operator sets the luminance so that the CIELAB lightness follows L* = 20 + 75t. The scales were compared with jet, viridis and an “accord only” scale. In all 10 proposed variants the lightness grows with no reversals, while jet has 3 reversals. For the tetrad accord the sum of neighbouring colour differences is 48 % higher than for viridis. Conclusion: the method ensures value reading while keeping the rules of colour theory.*

Kalit so‘zlar: *issiqlik xaritasi, rang shkalasi, Itten rang doirasi, Osvald rang sistemasi, rang akkordi, CIELAB, och-to‘qlik, ilmiy vizuallashtirish.*

Ключевые слова: *тепловая карта, цветовая шкала, цветовой круг Иттена, цветовая система Оствальда, цветовой аккорд, CIELAB, светлота, научная визуализация.*

Keywords: *heatmap, colour scale, Itten colour wheel, Ostwald colour system, colour accord, CIELAB, lightness, scientific visualization.*

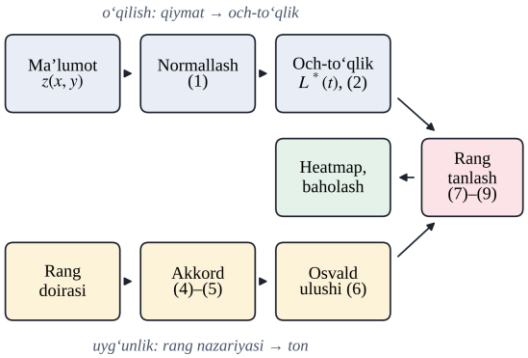
DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

Kirish. Issiqlik xaritasi (heatmap) – tekislikdagi qiymatlarni rang bilan ko‘rsatish usuli, shuning uchun natijani to‘g‘ri o‘qish ko‘p jihatdan rang shkalasiga bog‘liq. Keng tarqalgan kamalak (jet) shkalasida rangning och-to‘qligi bir tekis o‘zgarmaydi: u avval oshadi, so‘ng kamayadi. Natijada tasvirda ma’lumotda yo‘q chegaralar paydo bo‘ladi [1, 2], foydalanuvchilarning qiymatni baholash xatoligi ham kattalashadi [3]. Bu muammo idrok bo‘yicha bir tekis shkalalar bilan hal qilingan: ularda och-to‘qlik shkala bo‘ylab bir tekis o‘sadi [4, 5]. Uzluksiz shkalalarni baholash qoidalari matematik ko‘rinishda berilgan [6], dizaynerlar shkalalari asosida shkalalarni avtomatik qurish usuli ham taklif qilingan [7]. Biroq bu shkalalarning tonlari qat’iy belgilangan va rang nazariyasi bilan bog‘lanmagan.

Rang uyg‘unligi tasviriy san’atda uzoq o‘rganilgan. Y. Itten 12 tonli rang doirasini, yettita rang kontrastini va uyg‘un rang birikmalari – akkordlarni ta’riflagan [8]. V. Osvald har bir rangni sof rang, oq va qora ulushlaridan iborat deb qaragan [9]. Leonardo da Vinchi to‘rtta xromatik oddiy rangni ajratgan: sariq, yashil, ko‘k va qizil [10]. L. Vang va K. Myuller hajmiy vizuallashtirishda ranglarni Itten doirasi bo‘yicha uyg‘unlashtirgan, lekin yorqinlikni faqat saqlagan, uning shkala bo‘ylab bir tekis o‘sishini ta’minlamagan [11]. Zamonaviy kuzatuvchilarning uyg‘unlik haqidagi bahosi klassik qoidalardan farq qilishi ham ko‘rsatilgan [12].

Demak, rang doiralarining akkord va kontrast ranglaridan foydalanib, och-to‘qlikning bir tekis o‘sishini ham kafolatlaydigan usul yetishmaydi. Maqolaning maqsadi – shunday usulni ishlab chiqish va sonli ko‘rsatkichlar bilan tekshirish.

Usullar. Taklif qilingan model ikki tarmoqdan iborat (1-rasm). Yuqori tarmoq qiymatni och-to‘qlikka o‘tkazadi va o‘qilishga javob beradi. Quyi tarmoq rang doirasidan tonlarni tanlaydi va uyg‘unlikka javob beradi. Ikkala tarmoq rang tanlash operatorida birlashadi.



1-rasm. Taklif qilingan rang modelining tuzilishi (rang doirasi – Itten yoki Da Vinchi)

Normallash. Sohadagi z qiymatlar [0; 1] oraliqqa chiziqli o‘tkaziladi:

$$t = \frac{z - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}}, \tag{1}$$

bunda z_{min} va z_{max} faqat soha ichidagi tugunlar bo‘yicha olinadi. Aks holda soha tashqarisidagi ma’nosiz qiymatlar shkalani siqib yuboradi.

O‘qilish sharti. Qiymatni rangdan to‘g‘ri o‘qish uchun rangning och-to‘qligi t bilan birga monoton va bir tekis o‘sishi kerak [4, 6]. Bu shart CIELAB fazosining L* och-to‘qligi orqali qo‘yiladi:

$$L^*(t) = 20 + 75\,t, \quad 0 \le t \le 1. \tag{2}$$

L* = 0 va L* = 100 da rang qora yoki oqqa aylanib, ton ko‘rinmay qoladi, shuning uchun 20...95 oralig‘i olinadi. L* dan nisbiy yorqinlik Y ga CIE formulasi bilan o‘tiladi [13]:

$$Y = \left(\frac{L^* + 16}{116}\right)^3, \quad L^* > 8. \tag{3}$$

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

sRGB rangning yorqinligi standart bo‘yicha chiziqli komponentalardan Y = 0,2126R + 0,7152G + 0,0722B ko‘rinishda hisoblanadi [14]; barcha amallar chiziqli RGB fazosida bajariladi.

Rang doirasi va akkord. Rang doirasi M ta tonning siklik ro‘yxati $H_0, H_1, \ldots, H_{M-1}$ sifatida beriladi, i-tonning burchagi 360°·i/M ga teng. Itten doirasida M = 12, tonlarning sRGB qiymatlari (i = 0, ..., 11): sariq #FFE800, sariq-zarg‘aldoq #FFB300, zarg‘aldoq #FF7A00, qizil-zarg‘aldoq #F0450B, qizil #E3001B, qizil-binafsha #A6006B, binafsha #6A0F8E, ko‘k-binafsha #3A2E9B, ko‘k #0057A8, ko‘k-yashil #009B8F, yashil #00A13A, sariq-yashil #8DC000. Da Vinchi doirasi Leonardoning to‘rtta xromatik rangidan shartli ravishda tuziladi: sariq (#FFD400), yashil (#12893F), ko‘k (#0B4FA0), qizil (#D0021B), M = 4. Tonlarning sRGB qiymatlari bo‘yoq ranglarining ekrandagi yaqinlashuvi sifatida tanlangan, ular o‘lchangan qiymat emas.

Itten akkordlari doiradagi burchaklar to‘plami $A = \{\alpha_1, \ldots, \alpha_m\}$ sifatida yoziladi: komplementar – {0°, 180°}, triada – {0°, 120°, 240°}, tetrada – {0°, 90°, 180°, 270°}. Analog akkord qo‘shni tonlardan iborat: {b − 1, b, b + 1}. Foydalanuvchi asosiy ton b ni tanlaydi, akkordning tayanch tonlari esa quyidagicha topiladi:

$$i_k = \left(b + \operatorname{round}\left(\frac{\alpha_k M}{360^\circ}\right)\right) \bmod M, \quad k = 1, \ldots, m. \tag{4}$$

Masalan, b = 8 (ko‘k) va triada uchun tayanch tonlar 8, 0, 4, ya’ni ko‘k, sariq va qizil bo‘ladi (2a-rasm). Qo‘shni tayanch tonlar i va j orasi doira yoyi bo‘ylab qisqa yo‘l bilan to‘ldiriladi:

$$Z(i,j) = \{(i + s\,q) \bmod M\colon\ q = 1, \ldots, \ell - 1\}, \tag{5}$$

bunda $\ell - \delta^+ = (j - i) \bmod M$ va $\delta^- = (i - j) \bmod M$ sonlarining kichigi, ya’ni qisqa yoydagi qadamlar soni; $s = +1$, agar $\delta^+ \le \delta^-$, aks holda $s = -1$. Natijada ranglar doirada qo‘shni tonlar orqali o‘tadi va keskin sakrash bo‘lmaydi.

Ittenning yettita kontrastidan beshtasi model orqali boshqariladi: ton kontrasti – akkord tonlari (4); och-to‘q kontrasti – (2) qoida; issiq-sovuq kontrasti – asosiy ton va akkord tanlovi; komplementar kontrast – komplementar akkord; sifat kontrasti – Osvald ulushi (6). Simultan va miqdor kontrastlari fon va ma’lumotga bog‘liq, ular modelda boshqarilmaydi.

Osvald ulushi. Osvald sistemasida c + w + b′ = 1, bunda c – sof rang, w – oq, b′ – qora ulushi [9]. Bu g‘oya ekran ranglari uchun soddalashtirilgan ko‘rinishda qo‘llanadi:

$$C = (c\,H + w)(1 - b'), \quad w = b' = \frac{1 - c}{2}. \tag{6}$$

Yakuniy och-to‘qlikni (2) qoida belgilagani uchun oq va qora ulushlari teng olinadi, c esa faqat tozalikni boshqaradi: toza (c = 0,94), yumshoq (0,70) va pastel (0,50).

Yorqinlikni o‘rnatish operatori. Akkord va Osvald qoidasi bo‘yicha olingan C rangning yorqinligi (2) qoida talab qilgan Y* qiymatga keltiriladi. Agar $Y^* \le Y_{\max}(C)$ bo‘lsa, rang komponentalari bir xil koeffitsiyentga ko‘paytiriladi, aks holda rangga oq rang qo‘shiladi:

$$S(C, Y^*) = C\,\frac{Y^*}{Y(C)} \quad \text{yoki} \quad S(C, Y^*) = \hat{C} + (\mathbf{1} - \hat{C})\,\frac{Y^* - Y_{\max}(C)}{1 - Y_{\max}(C)}, \tag{7}$$

bunda $\hat{C} = C / \max(R, G, B)$ – komponentalaridan biri 1 ga teng bo‘lguncha kuchaytirilgan rang; $Y_{\max}(C) = Y(\hat{C})$ – shu tondagi eng katta yorqinlik; **1** – oq rang. Birinchi holatda ton va to‘yinganlik o‘zgarmaydi. Yorqinlik chiziqli funksiya bo‘lgani uchun ikkala holatda ham Y(S(C, Y*)) = Y* bo‘ladi.

Rang shkalasi. Ton zanjiri bo‘yicha olingan n ta rang $C_0, \ldots, C_{n-1}$ tayanch ranglarga aylantiriladi:

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

$$A_k = S\left(C_k, Y\left(L^*\left(\frac{k}{n-1}\right)\right)\right), \quad k = 0, \dots, n-1. \tag{8}$$

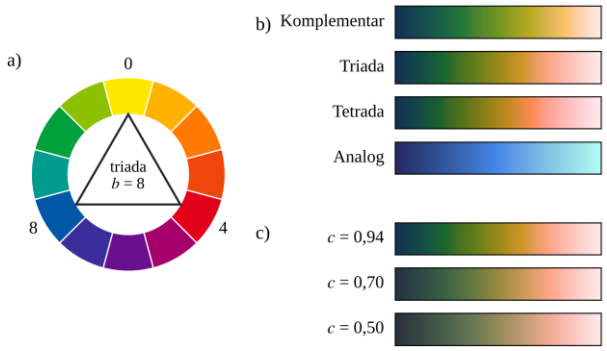
Ixtiyoriy t uchun rang qo‘shni tayanch ranglar orasida chiziqli interpolyatsiya qilinadi va yorqinligi yana aniq qiymatga keltiriladi:

$$\Phi(t) = S\Big((1-\varphi)A_q + \varphi A_{q+1},\, Y\big(L^*(t)\big)\Big), \quad q = [t(n-1)], \quad \varphi = t(n-1) - q, \tag{9}$$

bunda $[\cdot]$ – sonning butun qismi. (7) operatorning xossasidan har qanday doira, akkord, asosiy ton va Osvald ulushi uchun

$$L^*\big(\Phi(t)\big) = 20 + 75\,t \tag{10}$$

tenglik kelib chiqadi. Bu xossa tajribadagi kashfiyot emas, balki qurilishdan kelib chiqadigan maqsad; shkalaning haqiqiy sifati boshqa ko‘rsatkichlar bilan tekshiriladi. Akkordlar bo‘yicha shkalalar va Osvald ulushining ta’siri 2-rasmda ko‘rsatilgan.



2-rasm. Itten doirasi va akkordlar (asosiy ton – ko‘k): a – triada; b – akkordlar bo‘yicha shkalalar; c – Osvald ulushi c ning ta’siri

Algoritm. Heatmap quyidagi qadamlarda quriladi: 1) (4) bo‘yicha akkord tonlarini topish; 2) (5) bo‘yicha ton zanjirini hosil qilish; 3) (6) Osvald aralashmasini qo‘llash; 4) (8) bo‘yicha tayanch ranglarni qurish; 5) (9) bo‘yicha Φ(t) jadvalini (256–512 nuqta) hisoblash; 6) har bir tugunda (1) bo‘yicha t ni topib, rangni jadvaldan olish; 7) chiziqli RGB ni sRGB ga qaytarish. 1–5-qadamlar to‘r o‘lchamiga bog‘liq emas, 6–7-qadamlarda har bir tugunda o‘zgarmas sondagi amal bajariladi, shuning uchun $N_x \times N_y$ to‘rda hisoblash vaqti $O(N_xN_y)$.

Baholash ko‘rsatkichlari. Har bir shkala $t_j = j/32$ (j = 0, ..., 32) nuqtalarda tekshirildi. Och-to‘qlik oralig‘i $\Delta L^* = L^*_{max} - L^*_{min}$, teskari burilishlar soni (qo‘shni L* farqlari ishorasining almashinishlari soni) va bir tekislik ko‘rsatkichi hisoblandi:

$$U = \frac{\min_j \Delta L_j^*}{\max_j \Delta L_j^*}, \quad \Delta L_j^* = L^*(t_j) - L^*(t_{j-1}). \tag{11}$$

U = 1 – to‘liq bir tekis o‘sish, U < 0 – teskari burilish. Farqlash kuchi qo‘shni ranglar orasidagi CIEDE2000 rang farqlarining yig‘indisi $\Sigma\Delta E_{00}$ bilan [15], rang farqining shkala bo‘ylab bir tekisligi esa shu farqlarning variatsiya koeffitsiyenti CV = σ/μ bilan baholandi (CV qancha kichik bo‘lsa, shkala shuncha bir tekis).

Taklif qilingan shkala jet, viridis [5], L* bo‘yicha bir tekis kulrang shkala va “faqat akkord” shkalasi bilan solishtirildi; oxirgisida tonlar va Osvald ulushi taklifdagidek, lekin (7) operator qo‘llanmagan. Heatmap namunasi sifatida R-funksiyalar [16–18] yordamida qurilgan “paxta guli”

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

murakkab sohasida f(x, y) = sin 3x · cos 3y funksiya olindi. Hisoblashlar Python tilida NumPy [19], scikit-image [20] va Matplotlib [21] kutubxonalari yordamida bajarildi.

Natijalar.

1-jadval

Rang shkalalarining ko‘rsatkichlari

Shkala	ΔL*	Teskari burilishlar	U	$\Sigma\Delta E_{00}$	CV
Kamalak (jet)	82,3	3	−0,87	233,8	0,47
viridis	75,9	0	0,74	120,4	0,15
Kulrang (L* bir tekis)	75,0	0	1,00	59,7	0,14
Faqat akkord: triada, asos qizil	56,1	1	−0,49	155,6	0,39
Faqat akkord: triada, asos ko‘k	48,6	1	−0,63	151,7	0,39
Taklif: triada, asos qizil	75,0	0	1,00	160,4	0,41
Taklif: triada, asos ko‘k	75,0	0	1,00	137,4	0,30

2-jadval

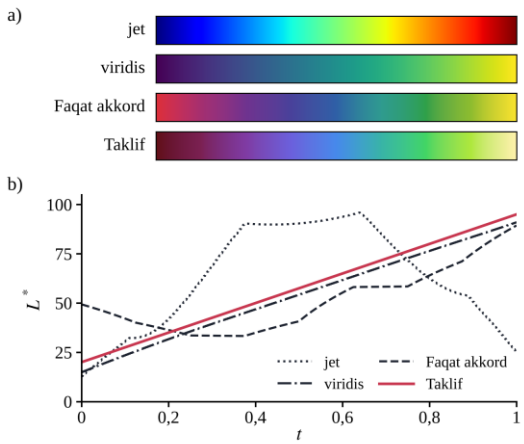
Taklif qilingan shkalaning variantlari (barchasida ΔL* = 75,0; teskari burilish yo‘q; U = 1,00)

Doira	Akkord, asosiy ton	c	$\Sigma\Delta E_{00}$	CV
Itten	komplementar, ko‘k	0,94	124,3	0,23
Itten	tetrada, ko‘k	0,94	142,1	0,32
Itten	tetrada, qizil	0,94	178,5	0,39
Itten	analog, ko‘k	0,94	77,4	0,09
Itten	triada, ko‘k	0,70	116,4	0,22
Itten	triada, ko‘k	0,50	98,9	0,17
Da Vinchi	komplementar, ko‘k	0,94	107,9	0,62
Da Vinchi	tetrada, ko‘k	0,94	130,8	0,48

Dasturda (10) tenglik ham tekshirildi: 1001 ta nuqtada L* ning (2) qoidadan eng katta chetlanishi $2\cdot10^{-14}$, ya’ni sonlarni ifodalash aniqligi darajasida. Ko‘rsatkichlar 1–2-jadvallarda, shkalalar profili 3-rasmda, heatmaplar 4-rasmda berilgan.

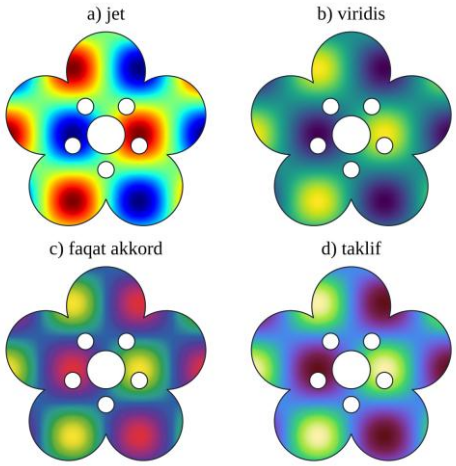
Natijalar tahlili. 1. Jet shkalasida och-to‘qlik uch marta yo‘nalishini o‘zgartiradi (U = −0,87); 4a-rasmdagi yorqin sariq va havorang tasmalar ma’lumotda yo‘q chegaralarga o‘xshaydi.

2. “Faqat akkord” shkalasida ham bitta teskari burilish bor, och-to‘qlik oralig‘i esa 48,6–56,1 birlik bilan cheklangan (3b-rasm). Demak, uyg‘unlik qoidasining o‘zi qiymatni to‘g‘ri o‘qishni ta’minlamaydi. Taklif qilingan barcha 10 ta variantda esa teskari burilish yo‘q, U = 1,00 va ΔL* = 75,0.



3-rasm. Rang shkalalari (a) va ularning och-to‘qlik profili L*(t) (b); “faqat akkord” va taklif qilingan shkala: Itten doirasi, triada, asosiy ton – qizil

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14



4-rasm. “Paxta guli” sohasida f = sin 3x · cos 3y funksiyaning heatmapi: a – jet; b – viridis; c – faqat akkord; d – taklif qilingan shkala

3. Farqlash kuchi akkordga bog‘liq. Tetrada (asos qizil) uchun $\Sigma\Delta E_{00}$ = 178,5, ya’ni viridisdagidan (120,4) 48 % ko‘p; triada (asos qizil) uchun 33 % ko‘p. Ko‘p tonli akkordlar qo‘shni qiymatlarni yaxshiroq ajratadi.

4. Rang farqining bir tekisligi boshqacha: CV viridisda 0,15, analog akkordda 0,09, komplementar akkordda 0,23, triada va tetradada 0,30–0,41, Da Vinchi doirasida 0,48–0,62. Ko‘p tonli shkalalarda ton almashadigan joylarda ranglar tezroq farqlanadi – bu farqlash kuchi va bir tekislik o‘rtasidagi kelishuv.

5. Osvald ulushi c kamaygan sari (0,94 → 0,50) $\Sigma\Delta E_{00}$ 137,4 dan 98,9 gacha (28 % ga) kamayadi, CV esa 0,30 dan 0,17 gacha yaxshilanadi: pastel ranglar bir tekisroq, lekin kamroq farqlanadi.

Muhokama. Eng yaqin ishdan [11] farqli ravishda, taklif qilingan usulda yorqinlik faqat saqlanmaydi, balki (2) qoida bo‘yicha aniq belgilanadi, shuning uchun istalgan akkord uchun qiymatni o‘qish kafolatlanadi. Amaliy tavsiya: silliq maydonlar uchun analog akkord, qiymat sathlarini ajratish uchun triada yoki tetrada, yumshoq tasvir uchun kichikroq Osvald ulushi qulay.

Foydalanuvchilar ishtirokidagi tadqiqotda komplementar ranglar tugun ranglarini farqlashni yaxshilashi ko‘rsatilgan [22]. Bu akkord ranglarining foydasini qo‘llab-quvvatlaydi, lekin natija boshqa vazifada olingan.

Usulning cheklovlari: och-to‘qlikning bir tekisligi qurilishdan kelib chiqadi; ko‘p tonli akkordlarda rang farqi bo‘yicha bir tekislik viridisdagidan past; simultan va miqdor kontrastlari boshqarilmaydi. Eng muhimi, shkala foydalanuvchilar ishtirokida hali tekshirilmagan; kamida 30 ishtirokchi bilan tajriba rejalashtirilgan va uning natijalari tajriba orqali aniqlanadi.

Xulosa. 1. Itten, Osvald va Da Vinchi rang nazariyalari formal modelga keltirildi: doira – tonlarning siklik ro‘yxati, akkord – burchaklar to‘plami (4), ton zanjiri – qisqa yoy (5), Osvald ulushi – (6) aralashma; Ittenning yettita kontrastidan beshtasi model parametrlari orqali boshqariladi.

2. Yorqinlikni o‘rnatish operatori (7) akkord tonlarini saqlagan holda har bir rangning och-to‘qligini L* = 20 + 75t qoidaga aniq keltiradi. Natijada taklif qilingan barcha 10 ta variantda teskari burilish yo‘q, jet shkalasida esa 3 ta, “faqat akkord” shkalasida 1 ta.

3. Akkord va Osvald ulushini tanlash orqali farqlash kuchi (viridisga nisbatan 48 % gacha ko‘p) va bir tekislik o‘rtasidagi muvozanat boshqariladi. Keyingi bosqichda usul foydalanuvchilar ishtirokidagi idrok tajribasi bilan tekshiriladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rogowitz B.E., Treinish L.A. Data visualization: the end of the rainbow // IEEE Spectrum. – 1998. – Vol. 35, No. 12. – P. 52–59.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

2. Borland D., Taylor R.M. Rainbow color map (still) considered harmful // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2007. – Vol. 27, No. 2. – P. 14–17.

3. Liu Y., Heer J. Somewhere over the rainbow: an empirical assessment of quantitative colormaps // Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – Montreal: ACM, 2018. – Paper 598. – DOI: 10.1145/3173574.3174172.

4. Kovesi P. Good colour maps: how to design them // arXiv preprint. – 2015. – arXiv:1509.03700.

5. Smith N., van der Walt S. A better default colormap for Matplotlib: ma'ruza // SciPy 2015: Scientific Computing with Python Conference. – Austin, 2015.

6. Bujack R., Turton T.L., Samsel F., Ware C., Rogers D.H., Ahrens J. The good, the bad, and the ugly: a theoretical framework for the assessment of continuous colormaps // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2018. – Vol. 24, No. 1. – P. 923–933. – DOI: 10.1109/TVCG.2017.2743978.

7. Smart S., Wu K., Szafir D.A. Color crafting: automating the construction of designer quality color ramps // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2020. – Vol. 26, No. 1. – arXiv:1908.00629.

8. Itten J. Kunst der Farbe. – Ravensburg: Otto Maier Verlag, 1961.

9. Ostwald W. Die Farbenfibel. – Leipzig: Unesma, 1916.

10. Leonardo da Vinci. Trattato della pittura. – Parigi: Giacomo Langlois, 1651.

11. Wang L., Mueller K. Harmonic colormaps for volume visualization // IEEE/EG Symposium on Volume and Point-Based Graphics. – Eurographics Association, 2008. – P. 33–39. – DOI: 10.2312/VG/VG-PBG08/033-039.

12. Li H.-C., Wang L.-K., Chang Y.-K., Huang K.-Y. Establishing colour harmony evaluation and recommendation model for clothing colour matching based on machine learning and deep learning // Fashion and Textiles. – 2025. – Vol. 12. – Art. 27. – DOI: 10.1186/s40691-025-00433-y.

13. CIE 15:2004. Colorimetry. – 3rd ed. – Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage, 2004.

14. IEC 61966-2-1:1999. Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-1: Default RGB colour space – sRGB. – Geneva: IEC, 1999.

15. Sharma G., Wu W., Dalal E.N. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations // Color Research & Application. – 2005. – Vol. 30, No. 1. – P. 21–30.

16. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения. – Киев: Наукова думка, 1982. – 552 с.

17. R-funksiyalar nazariyasi va Marching Squares algoritmi asosida AutoCAD muhitida murakkab 2D shakllarni geometrik modellashtirish. "Al-Farg'oniy avlodlari" elektron ilmiy jurnali, 2026, tom 1, №3, 341–347-betlar (ISSN 2181-4252. Nuraliyev F.M ,Inoyatov.M.B, RaximovA.M.

18. R-funksiya va Dual Contouring algoritmi asosida AutoCAD muhitida murakkab 3D obyektlarni geometrik modellashtirish. "Muhandislik, texnologiya va matematika – ITECX 2026" xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to'plami. 952–962 bet, Nuraliyev F.M ,Inoyatov.M.B

19. Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362. – DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.

20. van der Walt S., Schönberger J.L., Nunez-Iglesias J. et al. scikit-image: image processing in Python // PeerJ. – 2014. – Vol. 2. – e453. – DOI: 10.7717/peerj.453.

21. Hunter J.D. Matplotlib: a 2D graphics environment // Computing in Science & Engineering. – 2007. – Vol. 9, No. 3. – P. 90–95. – DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.14

22. Pelchmann L. Human perspectives on the use of color in data visualization: doctoral thesis. – Cologne: University of Cologne, 2026. – 132 p.