

МІСЦЕВА КОРЕКЦІЯ КОЛЬОРІВ КОНТЕНТУ ДЛЯ ГАРМОНІЗАЦІЇ ВЕБСТОРИНОК

Кулішова Н.Є.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0003-1142-4100

Білець Д.Ю.

к.т.н., старший викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0002-1521-826X

Гарбузова Д.С.

магістрантка, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** Сучасні веб-інтерфейси активно використовують динамічний візуальний контент, що ускладнює підтримання узгодженої кольорової гами. Невідповідність між палітрою інтерфейсу та кольорами зображень може порушувати візуальну гармонію. У роботі запропоновано семантично орієнтований підхід до гармонізації кольорів на основі простору CIELAB. Метод враховує структуру зображення, зберігає важливі елементи та вибірково коригує другорядні області, забезпечуючи природний вигляд і підвищення візуальної цілісності веб-інтерфейсів.*

***Ключові слова:** корекція кольору, гармонізація кольору, семантична сегментація, колірний простір cielab, веб-інтерфейси.*

Вступ

Більшість людей вже постійно використовує інтернет в повсякденні [1]. Більшість таких взаємодій зводиться до відвідування вебсайтів із різними цілями: розваги, пошук інформації, здійснення покупок, отримання послуг тощо. У середовищі мільйонів сторінок складно привернути увагу користувачів і виділитися серед конкурентів. Важливу роль у підвищенні відвідуваності відіграє зовнішній вигляд ресурсу, зокрема його естетика та вдало підібрана кольорова гама.

Сучасні веб-інтерфейси дедалі частіше формуються навколо динамічного контенту, такого як зображення, банери, картки товарів і матеріали, створені користувачами. На відміну від статичних інтерфейсів, де візуальна структура задається наперед, подібні системи повинні зберігати узгоджений вигляд навіть за умов постійного оновлення та зміни вмісту.

Численні дослідження демонструють стійкий зв'язок між гармонійністю веб-сайту, використаною кольоровою палітрою та загальним враженням і рівнем задоволеності користувачів [2-7]. Під час створення дизайну значна увага

приділяється добору кольорів для елементів інтерфейсу, які становлять незмінну частину візуального оформлення сторінок. Оскільки ці компоненти розробляються в графічних редакторах із застосуванням різноманітних інструментів і плагінів, дизайнери мають широкі можливості для узгодження кольорів відповідно до очікувань і вподобань аудиторії.

Водночас суттєва проблема виникає через розбіжність між кольоровими характеристиками інтерфейсних елементів і вбудованих зображень. Існує багато тематичних веб-ресурсів, де основний контент становлять часто оновлювані фотографії реальних людей, архітектурних об'єктів, визначних місць, природних сцен, подій або різних видів діяльності. До таких належать новинні портали, сайти компаній, установ та інші інформаційні ресурси та схожі платформи. На подібних сторінках доволі часто трапляються ситуації, коли кольорова гама зображень не узгоджується з оформленням інтерфейсу. Користувачі зазвичай реагують на таку дисгармонію підсвідомо: це може проявлятися у скороченні часу перебування на сторінці, зниженні зацікавленості або зміні рішення щодо подальшої взаємодії з ресурсом.

Хоча палітра інтерфейсу зазвичай визначається в межах дизайн-системи та залишається відносно стабільною, зображення можуть містити випадкові й інколи конфліктні поєднання кольорів. Унаслідок цього окремі елементи виглядають візуально неузгодженими, що порушує цілісність композиції та створює візуальний шум, який негативно впливає на сприйняття користувачем.

Отже, суть проблеми полягає не стільки в самих зображеннях, скільки у відсутності ефективних механізмів їх узгодження із загальною кольоровою схемою інтерфейсу. Використання традиційних методів кольорокорекції у цьому випадку виявляється малоефективним, адже вони зазвичай мають глобальний характер і змінюють кольорову гаму всього зображення. Водночас суттєве втручання часто є неприйнятним через змістову обумовленість візуального матеріалу. Наприклад, неможливо радикально змінювати відтінки людських облич, природної рослинності чи архітектурних об'єктів, оскільки це викликає негативну реакцію користувачів і знижує довіру до зображення. Разом із тим існують елементи на фотографіях, зміна кольору яких не порушує їхньої реалістичності, але може сприяти досягненню більшої візуальної гармонії. Такі локальні коригування дозволяють покращити загальне сприйняття сторінки без втрати змістовної достовірності зображень. Однак ручна обробка великої кількості зображень є трудомісткою, потребує участі кваліфікованих спеціалістів і значних часових ресурсів. Частково оптимізувати цей процес допомагає застосування автоматизованих методів, зокрема алгоритмів сегментації зображень за кольором, а також семантичної сегментації, що дає змогу розділяти зображення на області відповідно до їхнього змісту. У зв'язку з цим виникає потреба у підходах, здатних адаптувати динамічний візуальний контент до заздалегідь визначеної кольорової палітри інтерфейсу, не порушуючи його семантичної цінності [8]. Це зумовлює необхідність розробки методів корекції зображень на етапі їх підготовки до публікації на веб-ресурсах. Такий

підхід має забезпечувати збереження важливих і впізнаваних кольорів у ключових фрагментах, які можуть бути автоматично визначені за допомогою алгоритмів сегментації, водночас сприяючи досягненню гармонійного кольорового оформлення всієї веб-сторінки.

Мета дослідження

Метою цієї роботи є розробка та дослідження підходу до гармонізації кольорів динамічного візуального контенту у веб-інтерфейсах. Основна увага приділяється адаптації кольорового розподілу зображень відповідно до заданої палітри інтерфейсу. Важливим завданням є збереження візуально значущих елементів і недопущення їх спотворення під час корекції. Особливий акцент зроблено на напівавтоматичних методах, які забезпечують керовану зміну кольорів і зменшують потребу в ручному редагуванні.

Основна частина

Пов'язані роботи

Вплив кольорових схем на користувацький досвід і поведінку відвідувачів сайтів уже тривалий час є предметом наукових досліджень. Зокрема, чимало робіт присвячено кількісному аналізу залежності між вибором кольорової палітри та реакціями користувачів. Існують різноманітні підходи до автоматичної гармонізації кольорів зображень, проте більшість із них спрямовані або на узгодження одного зображення з іншим, або на підвищення внутрішньої цілісності кольорів у межах одного зображення. Водночас значення кольорового оформлення інтерфейсу не варто недооцінювати, адже схильність людини до певних кольорів і форм має біологічне підґрунтя [6]. Експериментальні дослідження показали, що кольорові веб-сторінки викликають вищий рівень задоволення та емоційного залучення, а також знижують рівень недовіри порівняно з чорно-білими варіантами. Зокрема, сторінки з переважанням синіх відтінків сприймаються користувачами більш позитивно, що пояснюється спрощенням когнітивної обробки інформації. Це свідчить про те, що реакції людей на елементи веб-дизайну мають не лише культурні, а й еволюційні передумови та часто відбуваються на підсвідомому рівні.

Алгоритми перенесення кольорів дозволяють узгоджувати палітру одного зображення з палітрою іншого. Науковці в роботі [9] досліджують один із класичних підходів, який базується на використанні декорельованого простору CIE LAB і передбачає вирівнювання середніх значень і дисперсій кольорових компонентів між цільовим і еталонним зображеннями. Такий метод є відносно простим у реалізації та здатний забезпечувати правдоподібні результати без складного налаштування. Однак подібні підходи не враховують контекст використання зображень: вони орієнтовані на відповідність одному еталону, а не на інтеграцію в межах заздалегідь визначеної кольорової системи інтерфейсу.

Інші підходи до роботи з кольором базуються на ітеративному коригуванні гістограм або оптимізаційних процедурах, спрямованих на зменшення відмінностей між розподілами кольорів. Методи перефарбовування, що використовують палітру, дають змогу змінювати вигляд зображення через модифікацію його домінуючих відтінків. Так, авторами дослідження [10] представлено інтерактивний інструмент, у якому палітра автоматично виділяється з початкового зображення, після чого користувач може її редагувати (наприклад, замінити зелений на червоний), а алгоритм виконує відповідне перефарбовування пікселів, зіставляючи початкові та нові кольори. Такий підхід забезпечує контрольовану зміну кольорової гами через маніпуляції з палітрою.

Інші дослідники в статті [11] запропонували інтерактивний засіб вилучення кольорових палітр, що ґрунтується на ієрархічній моделі кольору. Результати експериментів за участю користувачів засвідчили його перевагу над наявними рішеннями, що підкреслює ефективність візуальних інтерфейсів для роботи з кольірними даними. В роботі [12] було розроблено підхід до проектування кольорових схем веб-сторінок на основі даних, який враховує такі чинники, як контрастність, сумісність кольорів і їхні семантичні асоціації. Отримані результати показали, що автоматично сформовані палітри можуть перевершувати варіанти, створені непрофесійними дизайнерами, за показниками сприйняття. Загалом численні дослідження [13 – 17] демонструють широкий спектр підходів до зміни кольорів зображень – від використання вручну заданих палітр до застосування автоматично згенерованих тем, сформованих різними алгоритмічними способами.

Окрім цього, у композиції зображень широко застосовуються методи гармонізації, коли кольори об'єктів переднього плану узгоджуються з фоном. Сучасні підходи, засновані на нейронних мережах (наприклад, в статті [18]) навчаються автоматично коригувати вибрані елементи зображення таким чином, щоб вони природно інтегрувалися в оточення. Зокрема, автори роботи [19] запропонували метод АІСТ, який формує індивідуальну 3D LUT (таблицю відповідності) для кожного пікселя з урахуванням його просторового положення, що дає змогу моделювати складні локальні перетворення кольору.

Подібні методи кольорокорекції та градації базуються на різних підходах, включаючи використання глибоких нейронних мереж, і зазвичай спрямовані на досягнення візуальної узгодженості. Активний розвиток глибокого навчання та технологій штучного інтелекту значно розширив можливості дослідження цієї проблематики, відкривши нові підходи, такі як перенесення знань між моделями та умовна генерація зображень. В роботі [20] запропоновано адаптивні методи вирівнювання гістограм із використанням глибокого навчання, що дозволило підвищити контрастність і точність відтворення кольорів. Дослідження [21] поєднує семантичну сегментацію на основі нейронних мереж із методами перенесення кольору від еталонного зображення до вихідного, що сприяє покращенню кольорової гами без втрати змістовної узгодженості. Представлений в роботі [22] підхід пропонує комплексне рішення гармонізації зображень із

використанням архітектури на кшталт U-Net. У такій системі обробка виконується як у просторі RGB, так і в Lab, причому кольорові канали аналізуються незалежно. Спеціальні модулі керування дозволяють коригувати ознаки декодера мережі, забезпечуючи узгодження вигляду переднього плану з фоном.

Загалом існуючі методи демонструють високу ефективність у налаштуванні візуальних характеристик окремих зображень або їх узгодженні з певним еталонним стилем. Водночас більшість із них орієнтовані на глобальні перетворення, що може призводити до спотворення семантично важливих об'єктів і втрати природності сприйняття. Крім того, такі підходи не вирішують завдання адаптації зображень до наперед визначеної кольорової палітри інтерфейсу із збереженням їх змістового значення. Саме тому актуальною є розробка методів, які поєднують гармонізацію кольорів із урахуванням семантичних обмежень.

Колірна гармонія

Колірна гармонія є одним із фундаментальних понять у сфері візуального сприйняття та дизайну, що описує поєднання кольорів, які виглядають узгодженими, збалансованими й привабливими для ока. Хоча сприйняття кольору має певну суб'єктивність, численні дослідження в галузі психології та дизайну підтверджують, що окремі колірні комбінації стабільно викликають позитивні емоції та покращують загальне враження від зображення. Гармонійно підібрані кольори сприяють зменшенню зорового навантаження, підвищують читабельність і допомагають підтримувати цілісність візуального стилю інтерфейсу [23].

Ідея гармонії кольорів бере початок у класичних теоріях мистецтва, зокрема у працях Й. Іттена, Й.В. Гете та М.Е. Шевреля, які намагалися систематизувати принципи кольорового сприйняття. Однією з найвідоміших моделей є колірне коло Іттена – система з 12 секторів, що охоплює первинні, вторинні та третинні кольори. Така структура відображає безперервні переходи між відтінками та наочно демонструє взаємозв'язки між ними [24]. RGB-версію колірного кола наведено на рис. 1.

Колірну гармонію можна розглядати не лише як інтуїтивне явище, а й як впорядковану систему взаємозв'язків, яку можна описати геометрично. У цьому підході співвідношення між кольорами визначаються через їхнє розташування на колірному колі та кутові відстані між ними. Наприклад, комплементарні кольори розташовані навпроти один одного та формують контрастні, але збалансовані поєднання з різницею приблизно 180° (рис. 2). Аналогічні схеми включають сусідні відтінки, розташовані в межах невеликого кутового інтервалу (близько $\pm 30^\circ$), що створює м'які й стабільні композиції.

Триадні поєднання формуються трьома кольорами, рівновіддаленими на колі (приблизно на 120°), забезпечуючи баланс між різноманітністю та цілісністю. Існують також складніші варіанти, наприклад тетрадні схеми, однак вони рідше застосовуються в обчислювальних задачах.



Рисунок 1 – Колірне коло RGB від RMIT, ліцензоване за ліцензією CC BY-NC 4.0. [25]

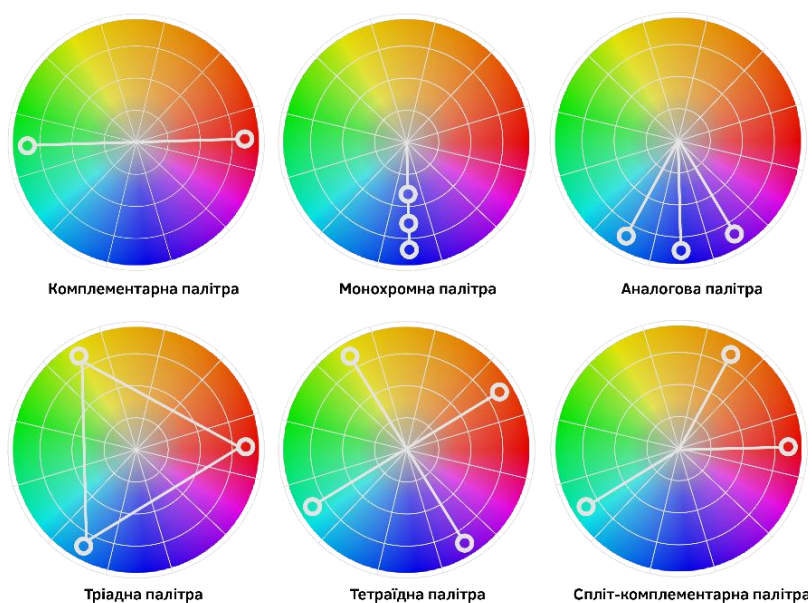


Рисунок 2 – Типи кольорових палітр [25]

Такі геометрично визначені взаємозв'язки лежать в основі багатьох практичних підходів до створення гармонійних кольорових рішень у дизайні та візуалізації.

CIELAB Space

Хоча колірне коло є зручним інструментом для інтуїтивного опису взаємозв'язків між кольорами, воно не може напряму застосовуватися для формального обчислювального аналізу. Класичні колірні простори, такі як RGB або HSL, не є перцептивно рівномірними, тобто однакові числові зміни в них не відповідають однаковим змінам, які сприймає людське око. Саме тому в задачах цифрової обробки зображень зазвичай використовують моделі, наближені до перцептивної однорідності, серед яких одним із найпоширеніших є простір CIELAB.

У моделі CIELAB колір задається трьома координатами: L , a та b . Компонента L відповідає рівню яскравості, що змінюється від чорного до білого,

тоді як вісь a описує перехід між зеленими та червоними відтінками, а вісь b – між синіми та жовтими. Така структура дає змогу розділити яскравісну та хроматичну складові, що значно спрощує незалежне керування кольором у процесі аналізу та обробки зображень.

Особливе значення для дослідження колірної гармонії має площина $a-b$, оскільки саме вона відображає хроматичні характеристики без впливу яскравості. У цій площині кожен колір можна розглядати як точку з певними координатами, а його відтінок інтерпретується як кут положення вектора відносно початку координат. Зміна відтінку відповідає обертанню вектора (a,b) навколо центру системи, тоді як насиченість визначається його віддаленістю від початку координат.

Таке геометричне подання дозволяє формалізувати принципи колірної гармонії та перевести їх у обчислювальну площину. В результаті правила, які традиційно описуються через колірне коло, можуть бути представлені як кутові співвідношення в площині $a-b$. Це відкриває можливість застосовувати геометричні перетворення для керованої модифікації кольорів у задачах обробки зображень. Таким чином, гармонійні залежності між кольорами набувають формального вигляду кутових операцій у площині $a-b$, що створює основу для їх подальшого використання в алгоритмах кольорової корекції та гармонізації.

Методологія та обладнання

Запропонований підхід забезпечує семантично усвідомлену гармонізацію кольорів шляхом узгодження колірного розподілу зображення з наперед заданою палітрою інтерфейсу, при цьому зберігаючи візуально та змістовно важливі елементи.

На початковому етапі виконується аналіз кольорової палітри інтерфейсу. Визначаються основні та додаткові кольори, закладені в дизайн-системі. Серед них обирається базовий колір, зазвичай пов'язаний із фірмовим стилем або брендом, який надалі використовується як опорна точка для всіх подальших перетворень.

Після цього здійснюється аналіз вхідного зображення. Визначаються домінуючі кольори, а саме зображення розділяється на семантично значущі та допоміжні області. Таке розділення може бути реалізоване за допомогою методів семантичної сегментації або правил, заснованих на виявленні об'єктів. До семантично важливих зон відносять ділянки, де колір має змістове навантаження (наприклад, шкіра людини, продукти, характерні матеріали), тоді як другорядні області включають тло та менш значущі елементи. Поділ необхідний для контролю ступеня допустимих кольорових змін.

На основі обраного базового кольору формується цільова гармонійна схема. Базовий колір переводиться у простір CIELAB і проєктується на хроматичну площину $a-b$. Гармонійні співвідношення задаються через кутові зсуви відносно цієї точки. Наприклад, у тріадній гармонії додаткові кольори

визначаються як напрямки, зміщені приблизно на $\pm 120^\circ$ від початкового відтинку.

Кут відтинку в площині $a - b$ може бути обчислений за формулою (рис. 3):

$$h = \arctan(b / a). \quad (1)$$

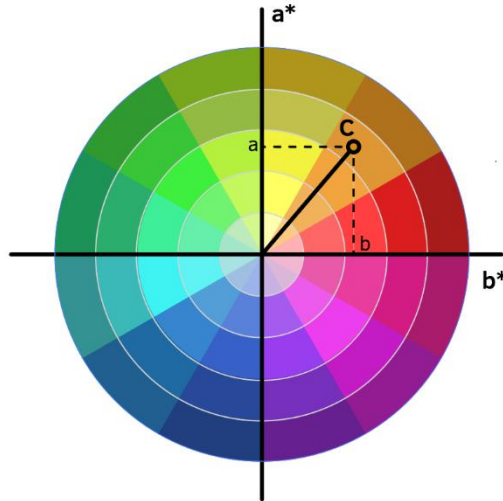


Рисунок 3 – Представлення кольору як вектору на площині $a - b$

Перетворення кольору реалізується шляхом обертання вектора (a, b) на кут α навколо початку координат:

$$a' = a \cos(\alpha) - b \sin(\alpha), \quad (2)$$

$$b' = a \sin(\alpha) + b \cos(\alpha). \quad (3)$$

На етапі трансформації виконується корекція кольорів з урахуванням семантичної структури зображення. Спочатку застосовуються глобальні зміни яскравості (компонента L) та контрастності для узгодження загального тонального вигляду з інтерфейсом. Після цього виконуються обмежені модифікації семантично важливих областей, щоб уникнути спотворення змісту. Основні кольорові зміни спрямовані на другорядні області, де корекція дозволяє наблизити зображення до цільової гармонії без втрати його семантичної цілісності.

Узагальнено умову належності кольорів до гармонійної палітри можна сформулювати як обмеження на кутові відстані між векторами проєкцій кольорів у площині $a - b$ [26, 27]:

$$\cos(C_1, C_2) = \frac{a_1^* a_2^* + b_1^* b_2^*}{\sqrt{(a_1^*)^2 + (a_2^*)^2} \sqrt{(b_1^*)^2 + (b_2^*)^2}} \leq tol. \quad (4)$$

У роботі [28] були визначені співвідношення, що описують гармонійні колірні палітри через допустимі кутові відстані між векторами на колірному колі.

Умова аналогової палітри:

$$\varphi(C_1, C_2) = \frac{\pi}{6} + \delta. \quad (5)$$

Умова монохроматичної палітри:

$$\varphi(C_1, C_2) = 0 + \delta. \quad (6)$$

Умова комплементарної палітри:

$$\varphi(C_1, C_2) = \pi + \delta. \quad (7)$$

Умова розщепленої комплементарної палітри:

$$\varphi(C_1, C_2) = \pm \frac{5\pi}{6} + \delta. \quad (8)$$

Умова тріадної палітри:

$$\varphi(C_1, C_2) = \frac{2\pi}{3} + \delta. \quad (9)$$

Умова тетрадної палітри:

$$\varphi(C_1, C_2) = \frac{\pi}{4} + \delta. \quad (10)$$

де C_1 – позначає вектор від центра колірної кола до точки з координатами $a_1^* b_1^*$;

C_2 – вектор від центра до точки з координатами $a_2^* b_2^*$.

Параметр δ визначає допустиме кутове відхилення, яке в межах цього дослідження прийнято рівним половині одного колірної сектора, тобто $\pi/12=15^\circ$, що відповідає $\cos(15^\circ) = 0.9659$.

Щоб врахувати природні варіації кольорів і уникнути надмірно жорстких обмежень, гармонійні співвідношення трактуються не як фіксовані значення, а як інтервали допустимих відхилень. Для цього застосовується перцептивна метрика ΔE (CIE76) [28], яка дозволяє кількісно оцінювати різницю між двома кольорами в просторі CIELAB. Різниця кольорів між двома точками визначається наступним чином (11):

$$\Delta E = \sqrt{\left((L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 \right)}. \quad (11)$$

На практиці колір вважається таким, що входить до гармонійної області, якщо його відхилення від заданого цільового напрямку не перевищує встановленого порогового значення. Зазвичай використовується діапазон $\Delta E \approx 4-7$, який відповідає мінімально помітним для людського ока відмінностям у кольорі. Такий підхід забезпечує більшу гнучкість налаштувань

і краще відповідає особливостям реальних зображень, у яких рідко зберігаються ідеально строгі геометричні співвідношення між кольорами.

Загальну структуру запропонованого методу можна подати у вигляді послідовності етапів:

- аналіз кольорової палітри інтерфейсу та визначення базового кольору;
- виділення домінуючих кольорів у вхідному зображенні;
- поділ зображення на семантично значущі та другорядні області;
- формування цільової гармонійної схеми на основі базового кольору;
- узгодження кольорів зображення з гармонійними зонами в площині $a - b$;
- застосування обмеженої корекції кольорів із урахуванням порогів ΔE .

Таким чином, процес гармонізації можна розглядати як відображення колірного розподілу зображення у множину допустимих областей у площині $a - b$, які визначаються обраною гармонійною схемою та відповідними порогом відхилення.

Презентація результатів дослідження

Для оцінювання запропонованого підходу було виконано серію експериментів із використанням реальних елементів веб-інтерфейсів, що містять динамічний візуальний контент (рис. 4). Як тестовий приклад було обрано інтерфейс веб-сайту університету, який має заздалегідь визначену кольорову систему, де основним є насичений бірюзовий відтінок. Саме цей колір виконує роль ключового візуального орієнтира в дизайні, тому він був використаний як базовий для подальшої гармонізації.

Studying at ETH



Рисунок 4 – Оригінальний веб-інтерфейс із вбудованими зображеннями до гармонізації кольорів

Вхідний набір даних складався з фотографічних зображень, інтегрованих у веб-інтерфейс. Ці зображення здебільшого відображають людей у навчальному середовищі, зокрема під час лекцій, групових занять або активностей на території кампусу. У таких зображеннях присутні як семантично важливі елементи – обличчя людей і відтінки шкіри, так і другорядні компоненти, до яких належать фон, одяг та деталі навколишнього середовища.

Відповідно до запропонованого підходу, області, що мають високе семантичне значення, зберігалися з мінімальними змінами кольору, щоб не порушувати природність і змістову достовірність зображення. Натомість другорядні області розглядалися як такі, що допускають більш суттєву корекцію кольорових характеристик з метою кращого узгодження із загальною палітрою інтерфейсу.

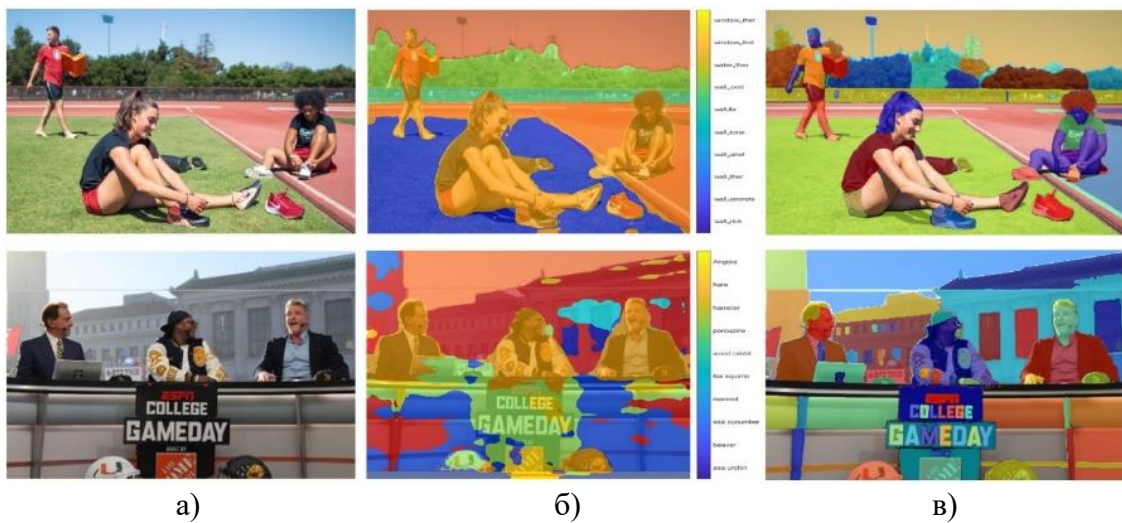
Висунута гіпотеза полягала в тому, що сучасні методи семантичного аналізу, засновані на глибоких нейронних мережах, здатні ефективно та однозначно розділяти фотографії на області відповідно до їх змісту, позначати ці області та пов'язувати їх із відповідними текстовими описами. Далі, використовуючи автоматично отримані словесні позначення об'єктів, передбачалося виконувати кольорокорекцію шляхом підбору допустимих відтінків для фрагментів зображення з урахуванням їх семантики.

У межах дослідження було розглянуто кілька попередньо навчених моделей, зокрема білатеральну мережу BiSeNetV2 [29], згорткові залишкові мережі ResNet50 та ResNet 101 [30], а також модель Segment Anything Model (SAM) [31]. Мережа BiSeNetV2 є архітектурою, що складається з двох паралельних гілок: одна з них відповідає за детальну локальну інформацію, тоді як інша – за глобальний контекст зображення. Поєднання цих гілок дозволяє отримати більш повне представлення ознак, підвищити точність і забезпечити стійке прийняття рішень у задачах семантичної сегментації. ResNet-50 – це згорткова нейронна мережа з 50 шарами, доступна у вигляді попередньо навченої моделі, яка була натренована на понад мільйоні зображень з бази ImageNet [32]. Вона здатна розпізнавати близько 1000 класів об'єктів, формуючи при цьому узагальнені та інформативні ознаки для різних типів зображень. ResNet-101 є більш глибокою версією цієї архітектури, що містить 101 шар і також навчається на великому наборі ImageNet, охоплюючи понад тисячу категорій. Завдяки цьому вона забезпечує ще більш детальне вилучення ознак, придатних для широкого спектра задач. Модель Segment Anything [31] розглядається як перспективне рішення для семантичної сегментації у задачах веб-дизайну. Вона працює за принципом підказок і здатна виділяти об'єкти на основі одного або кількох прикладів. Її архітектура включає енкодер зображення, модуль підказок і компактний декодер, що забезпечує швидку, інтерактивну та стійку обробку навіть неоднозначних випадків у реальних сценаріях використання.

Зображення, що входили до складу контенту вибраних веб-сторінок, були оброблені за допомогою моделей глибокого навчання для виконання семантичної сегментації. Однак отримані результати виявилися суттєво гіршими за очікувані. Хоча автоматичний поділ зображень на області загалом виконувався коректно, відповідність між виділеними сегментами та їх семантичним змістом була недостатньо точною і викликала сумніви. Приклади результатів наведено на рис. 5, а класи, визначені глибокими мережами, подано в табл. 1.

Виділені моделями колірні області також погано відповідають задачі подальшої корекції кольорів: на одному зображенні до однієї області віднесено

одяг і тіло людини, хоча вони мають різні кольори і різний зміст, на іншому зображенні всі обличчя людей всі літери написи віднесені до різних областей, хоча вони за змістом повинні бути об'єднані, і так далі.



а) вихідні зображення; б) результат сегментації за допомогою BiSeNetV2;
в) результат сегментації за допомогою SAM

Таблиця 1 – Приклади імен класів, знайдених моделями BiSeNetV2, ResNet50 та ResNet101 для двох зображень

Приклад зображення	Класи BiSeNetV2	Класи ResNet50	Класи ResNet101
	wall_brick	papillon	speedboat
	wall_concrete	eggnog	window screen
	wall_other	jackfruit	isopod
	wall_panel	castle	wooden spoon
	wall_stone	sleeping bag	lipstick
	wall_tile	redshank	drake
	wall_wood	Band Aid	Hyena
	water_other	wok	dumbbell
	window_blind	seat belt	strawberry
	window_other	orange	custard apple
	angora	ping-pong ball	ping-pong ball
	hare	steel drum	amphibian
	hamster	television	bobsled
	porcupine	bobsled	bannister
	wood rabbit	cab	cab
	fox squirrel	bannister	submarine
	marmot	police van	racer
	sea cucumber	amphibian	pickup
	beaver	racer	cinema
	sea urchin	bullet train	steel drum

З урахуванням цих висновків було розглянуто простіший підхід до сегментації – метод k-середніх [33] у колірному просторі CIE L*a*b*. Зокрема, для наведених прикладів зображень автоматично за кольором було виділено

наступні колірні області: області неба, рослинної зелені, трави, кольорів шкіри тіла людей, матеріалу бігової доріжки, матеріалів будівель, області одягу, написів, предметів інтер'єру та ін. (рис. 6). При цьому зони, об'єднані подібними колірними властивостями, виявляються корелюючими і за змістом. І, хоча даний метод не може забезпечити видачу текстового підпису у вигляді імені класу об'єкта на зображенні, глядачеві візуально зрозумілий смисловий зв'язок фрагментів однієї колірної області, і цей зв'язок не піддається сумніву.



Рисунок 6 – Результати сегментації фотографій методом k-середніх у колірному просторі CIE L*a*b*

Серед кольорів перерахованих областей суттєво коригувати такі пам'ятні кольори, як колір неба, шкіри людей чи рослин та газону, неможливо – навіть невеликі їх зміни можуть призводити до негативної реакції глядачів. Однак, редагування кольорів одягу, предметів інтер'єру, другорядних об'єктів на задньому плані може гармонізувати загальний колірний зміст, та не суперечить колірній пам'яті людей. Тому для подальшого дослідження було використано метод автоматичної сегментації k-середніх.

За допомогою методу k-середніх на досліджуваних фотографіях були виділені кольори, які найчастіше зустрічаються, кількість кластерів було обрано рівним 10 (рис. 7). За скріншотами веб-сторінок були визначені координати елементів інтерфейсу L*a*b*.

На основі обраного базового кольору була сформована цільова гармонійна схема, однак із аналізу було встановлено, що 35 поєднань кольорів між фотографіями та елементами інтерфейсу не відповідають певним палітрам згідно з умовами (4-10). Водночас 57 пар «фото-інтерфейс» не були віднесені до гармонійних, тобто не демонстрували належної узгодженості кольорових поєднань.



Рисунок 7 – Приклади зображень та 10 основних кольорів, виділених на фото методом k-середніх

Отримані результати підтвердили наявність значної кількості колірних невідповідностей між динамічним візуальним контентом і елементами інтерфейсу. Це створило підґрунтя для подальшого етапу дослідження, пов'язаного з практичною реалізацією гармонізації кольорів та оцінюванням ефективності різних гармонійних схем у межах вебінтерфейсу.

Подальші експерименти були спрямовані на дослідження впливу різних гармонійних схем на узгодженість кольорів між фотографічним контентом та елементами інтерфейсу.

Емпіричні результати показали, що розщеплено-комплементарна схема кольорів забезпечує найбільш збалансований і візуально виразний ефект у межах заданого інтерфейсного контексту (рис. 8). При цьому відповідні правила слід розглядати як визначення допустимих зон для корекції кольору, а не як жорстко фіксовані цільові значення.

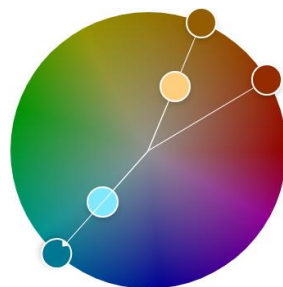


Рисунок 8 – Гармонійна розщеплено-комплементарна колірна схема інтерфейсу, сформована на основі базового кольору

Корекція кольорів виконувалася за допомогою поєднання стандартних інструментів обробки зображень, зокрема налаштувань відтінку та насиченості, корекції колірної балансу, а також вибіркового кольорових перетворень. Застосування змін мало вибіркового характеру: у семантично важливих областях використовувалися мінімальні коригування, щоб уникнути викривлення змісту та природності сприйняття, тоді як у другорядних зонах дозволялися більш інтенсивні зміни з метою узгодження їх кольорових характеристик із заданою гармонійною схемою.

Результати процесу гармонізації наведено на рис. 9, де показано порівняння вихідних і модифікованих зображень у межах інтерфейсного середовища. Візуально скориговані зображення демонструють кращу інтеграцію з загальною палітрою інтерфейсу, зменшення кольорових дисонансів і підвищення композиційної узгодженості.

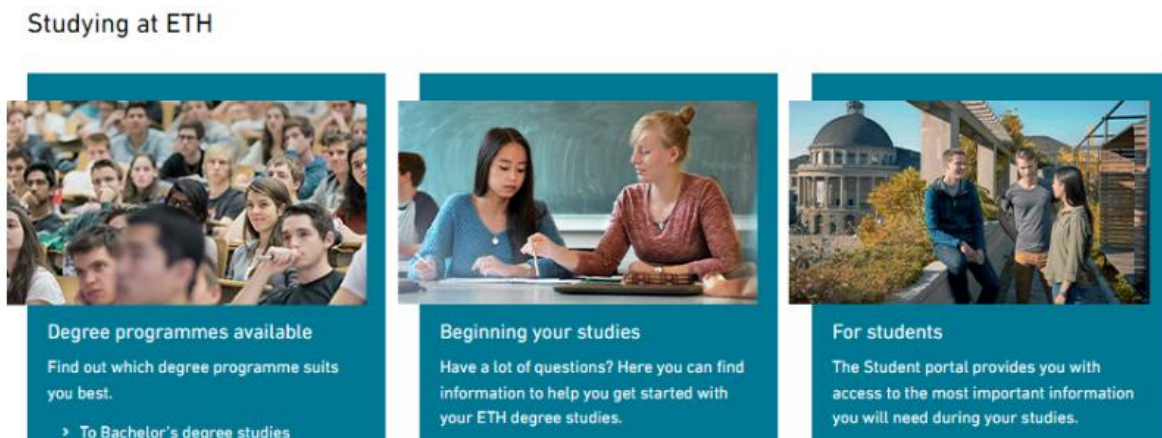


Рисунок 9 – Результат узгодження кольорів зображення в межах інтерфейсного середовища

Для числового оцінювання ефективності запропонованого підходу було застосовано метрику ΔE , яка використовується для вимірювання відхилення кольорів від заданих гармонійних діапазонів. Середні значення ΔE розраховувалися для набору зображень як до, так і після виконання обробки. Отримані результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Середні значення ΔE до та після виконання гармонізації

Metric	ΔE (before)	ΔE (after)
Image 1	10,39	5,58
Image 2	12,13	6,50
Image 3	13,53	6,68
Overall average	12,02	6,25

Крім того, для оцінки збереження семантично важливих ділянок окремо аналізувалися зміни кольорів у зонах шкіри людини. Середні значення ΔE між початковими та гармонізованими зображеннями в цих областях становить 3,36, що свідчить про незначні перцептивні відхилення та збереження природного вигляду.

Загальний аналіз демонструє послідовне зниження значень ΔE після виконання гармонізації, що вказує на наближення колірної розподілу

зображень до заданих гармонійних областей. Водночас введені обмеження для семантично значущих регіонів забезпечили збереження природності критичних візуальних елементів, зокрема зовнішності людини.

Для зображень, кольорова гама яких не узгоджувалася з палітрою інтерфейсу, було застосовано процедуру напівавтоматичного редагування, засновану на результатах сегментації методом k-середніх. На рис. 10 і 11 наведено приклади зображень протягом редагування.

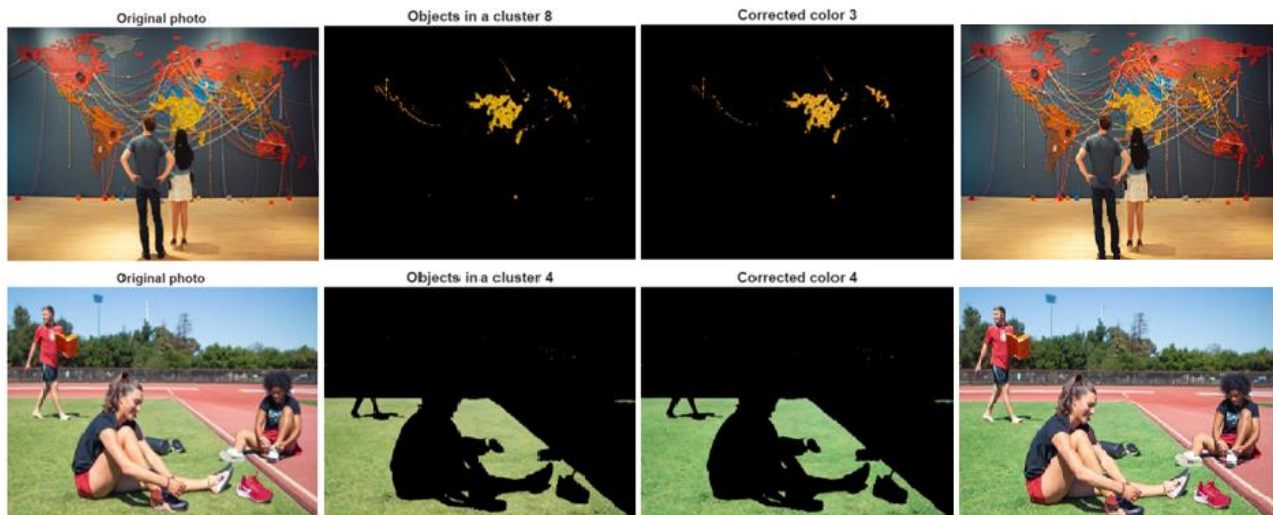


Рисунок 10 – Результати локальної гармонізуючої корекції кольорів фотографій з вебсторінки, зліва направо: вихідні зображення; варіанти кольорів, що забезпечують найближче наближення до однієї з гармонійних палітр інтерфейсу; ті самі зображення після виконаної корекції; остаточний вигляд фотографій після обробки

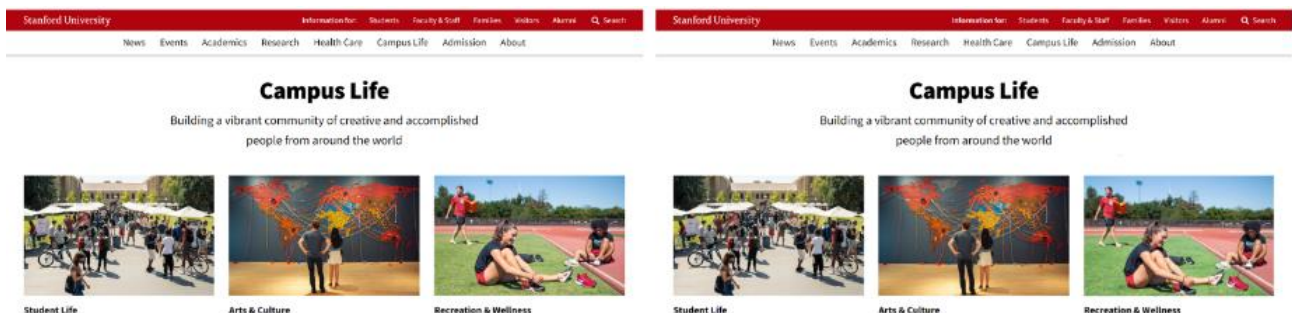


Рисунок 11 – Результати редагування веб-сторінки в цілому, зліва направо: початковий вигляд сторінки; сторінка після застосування локальної гармонізуючої корекції фотографій

Не для всіх зображень вдалося підібрати такі варіанти змін, які б не порушували змістовну логіку «пам'ятних» або сюжетно важливих кольорів.

Веб-сторінки, на яких була виконана локальна гармонізуюча корекція фотографій, були оцінені групою користувачів. До складу вибірки увійшло 18 осіб, серед яких 16 жінок і 2 чоловіки, а середній вік становив 19,8 року. Вікові характеристики учасників відповідають цільовій аудиторії сайтів закладів вищої освіти – абітурієнтам, які перебувають у процесі вибору навчального закладу.

На початковому етапі оцінювання враховувалося, наскільки дизайн уже наявних сторінок із контентом виглядає привабливим і гармонійним. Користувачам було запропоновано три критерії для оцінки якості дизайну сайтів,

а під час їхнього безпосереднього ранжування за 10-бальною шкалою були визначені вагові коефіцієнти кожного критерію (табл. 3).

Таблиця 3 – Відносні ваги критеріїв оцінювання якості дизайну сайтів

Критерій	Відносна вага критерію
Зацікавленість користувачів сайту кольорами сторінки	0,30
Відповідність колірних рішень сучасним тенденціям веб-дизайну	0,32
Гармонічність поєднання кольорів графічних елементів на сторінці сайту	0,38

Відповідно до цих критеріїв, група користувачів оцінила за 10-бальною шкалою 13 варіантів дизайну головних сторінок сайтів університетів, були отримані такі оцінки (табл. 4).

Таблиця 4 – Отримані значення рейтингу варіантів дизайну сайтів перед редагуванням

Номер зображення головної сторінки сайту	Рейтинг дизайну
1	6,03
2	4,14
3	6,69
4	5,98
5	5,31
6	6,50
7	5,98
8	6,91
9	8,28
10	7,44
11	4,60
12	7,42
13	7,60

На другому етапі користувачі вивчали відредаговані на основі запропонованого підходу до гармонізації зображення сторінок сайтів та порівнювали їх з оригінальними. Як було зазначено вище, не для всіх фотографій вдалося підібрати параметри автоматичної корекції кольору так, щоб зберегти їх правдоподібність. Таким чином, користувачі оцінювали 58 варіантів дизайну веб-сторінок з фотографіями за шкалою Сааті [34], результати оцінювання показані в табл. 5.

Як видно з табл. 5, середні оцінки виконаної кольорокорекції фотографій на веб-сторінках свідчать про загалом невисокий рівень гармонізації, однак у всіх випадках фіксується певне покращення візуального сприйняття. Водночас можна простежити певні закономірності у ставленні користувачів до різних типів редагування фото контенту. Зокрема, для сторінок, де корекція фотографій була спрямована на формування аналогової палітри з інтерфейсом, середній показник покращення становив 1,88 бала. Для варіанту з монохроматичною палітрою цей показник склав 2,05 бала, а для випадків із комплементарною розщепленою палітрою – 2,39 бала. Це дозволяє зробити висновок, що саме для комплементарної розщепленої схеми навіть незначні зміни у кольорах фотографій суттєво підвищують їхню візуальну привабливість.

Таблиця 5 – Результати оцінювання ступеня покращення дизайну веб сторінки після гармонізації кольорів з фотографіями контенту

Зображення в парі, які підлягали порівнянню		Тип палітри	Середня оцінка ступеня покращення
Номер зображення головної сторінки сайту	Номер фото зі сторінки, що редаговано		
1	3	Analog	1,50
2	3	Analog	1,94
2	3	Analog	2,22
2	1, 3	Analog	1,50
2	1, 2, 3	Analog	1,83
3	3	Analog	2,17
3	2, 3	Analog	2,00
4	2	Analog	1,39
4	2, 3	Analog	1,83
5	3	Analog	2,06
5	1, 3	Analog	2,17
6	3	Analog	2,11
7	7	Analog	1,33
7	9	Analog	2,17
8	1	Complementary split	2,33
8	1, 2	Complementary split	1,94
9	1.	Monochromatic	2,06
10	2	Monochromatic	2,00
10	2, 3	Monochromatic	2,83
11	3	Monochromatic	1,78
7	1	Monochromatic	1,56
12	1, 2	Complementary split	2,33
12	2	Complementary split	2,17
12	1, 2, 3	Complementary split	2,33
12	1, 2, 3, 4	Complementary split	2,00
13	1	Complementary split	2,56
13	1, 2	Complementary split	3,00
13	1, 2, 3	Complementary split	2,61
13	1, 2, 3, 4	Complementary split	2,61

Крім того, веб-сторінки, на яких фотографії були скориговані під аналогову палітру, у середньому отримали оцінку 5,80 бала за 10-бальною шкалою. Сторінки з корекцією під монохроматичну палітру були оцінені дещо вище – у середньому на рівні 6,77 бала. Найвищі оцінки отримали сторінки, де застосовувалася корекція під комплементарну розщеплену палітру – середній показник становив 7,31 бала.

Підсумовуючи, можна запропонувати узагальнену схему процесу підготовки фотографій для часто оновлюваного контенту веб-сторінок.

Робочий процес гармонізації кольорового оформлення веб-сторінок із фотографіями можна подати як послідовність взаємопов'язаних етапів, кожен із яких спрямований на підвищення візуальної цілісності та покращення сприйняття користувачем.

Етап 1: аналіз існуючого дизайну веб-сторінки. На цьому етапі визначається основна кольорова палітра інтерфейсу: виділяються ключові відтінки, що використовуються у фонових елементах, кнопках, текстових блоках та інших складових інтерфейсу. Саме ці кольори надалі виступають орієнтирами для аналізу та корекції зображень.

Етап 2: дослідження нової фотографії, яка планується до розміщення на сторінці. Оскільки такі зображення часто додаються незалежно від загальної кольорової концепції сайту, виникає потреба оцінити їхню сумісність із інтерфейсом. Для цього виконується сегментація зображення за кольорами у просторі CIELAB із виділенням домінантних відтінків. У результаті фотографія розбивається на кілька кольорових кластерів, що описують основні візуальні області.

Етап 3: обчислення показника колірної гармонії між зображенням та інтерфейсом. На основі кутових співвідношень у просторі a-b визначається ступінь відповідності наявного поєднання одній із гармонійних схем.

Етап 4: прийняття рішення, коли перевіряється, чи відповідає отримане значення заданому порогу гармонійності. Якщо умова виконується, зображення може бути використане без змін. Якщо ж гармонія недостатня, визначаються ділянки зображення, які можна коригувати, з урахуванням обмежень щодо збереження природних і «сюжетно важливих» кольорів.

Етап 5: семантично обґрунтована локальна корекція кольорів обраних областей. Зміни спрямовані на узгодження палітри фотографії з інтерфейсною схемою без втрати реалістичності та змістовної достовірності зображення.

Етап 6: завершальний крок у вигляді розміщення обробленої фотографії на веб-сторінці. Це забезпечує більш узгоджене візуальне середовище та позитивно впливає на загальний користувацький досвід.

Отримані результати підтверджують працездатність запропонованого підходу та показують його потенціал як узагальненої методики обробки цифрових зображень на етапі підготовки веб-контенту.

Висновки

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що розглянута проблема стосується візуальної неузгодженості у веб-інтерфейсах, яка виникає через активне використання динамічного контенту з довільними кольоровими характеристиками. Така невідповідність між зображеннями та елементами інтерфейсу негативно впливає на цілісність сприйняття сторінки та загальний користувацький досвід, що робить задачу гармонізації кольорів особливо актуальною в сучасному веб-дизайні.

Запропонований у роботі підхід спрямований на поєднання трьох ключових компонентів: семантичної сегментації зображень, кількісної оцінки колірної гармонії та локальної корекції кольорів. На відміну від класичних методів, які зазвичай змінюють усе зображення цілком або орієнтуються на

глобальне вирівнювання стилю, розроблений метод забезпечує вибіркочну обробку окремих областей. Це дозволяє зберігати природність та змістову достовірність зображень, уникаючи небажаних візуальних спотворень.

Важливим теоретичним внеском є використання колірною простору CIELAB, у якому колірні взаємозв'язки можуть бути представлені у вигляді геометричних відношень. Завдяки цьому гармонійні схеми формалізуються через кутові співвідношення у хроматичній площині, що робить можливим їх застосування в обчислювальних алгоритмах. Такий підхід дозволяє перейти від інтуїтивного розуміння гармонії кольорів до її математичного опису та автоматизації.

Ключову роль у методі відіграє семантична сегментація, яка дозволяє розділяти зображення на змістовно важливі та другорядні області. Це забезпечує різний рівень впливу на колір: критично важливі елементи зберігаються майже без змін, тоді як другорядні можуть бути суттєво адаптовані до палітри інтерфейсу. Таким чином досягається баланс між візуальною узгодженістю та збереженням змісту.

Додаткову гнучкість методу забезпечує використання порогових значень на основі метрики ΔE , що дозволяє трактувати гармонійність не як жорстке правило, а як допустимий діапазон відхилень. Це наближає результати до природного сприйняття кольору людиною і робить систему більш адаптивною до реальних умов використання.

Експериментальні результати показали, що запропонований підхід позитивно впливає на візуальне сприйняття веб-сторінок. Хоча покращення оцінюються як помірні, користувачі відзначають підвищення естетичної узгодженості. Найбільш виражений ефект спостерігається при використанні комплементарних гармонійних схем.

Водночас дослідження виявило певні обмеження, зокрема залежність результатів від параметрів алгоритмів та складність корекції деяких типів зображень без втрати їхньої природності. Це вказує на необхідність подальшого вдосконалення методів сегментації та адаптації кольору.

Запропонований підхід можна розглядати як крок у напрямку розвитку інтелектуальних систем веб-дизайну, які не лише оформлюють контент, але й оптимізують його візуальне сприйняття. Перспективи подальших досліджень включають інтеграцію методу в практичні інструменти, розширення його адаптивності та створення автоматизованих систем гармонізації кольору для динамічного веб-контенту.

Матеріали цього дослідження доцільно використовувати в освітньому процесі дисципліни «Основи теорії кольору та кольоровідтворення» під час вивчення тем, пов'язаних із сучасними колірними моделями, цифровим кольоровідтворенням та гармонізацією кольору у веб-середовищі. Запропонований підхід є практичним прикладом застосування колірною простору CIELAB для аналізу та корекції кольорів у динамічному контенті. На його основі здобувачі зможуть дослідити принципи перцептивної рівномірності,

метрику ΔE та особливості побудови гармонійних колірних схем у цифрових інтерфейсах. Матеріал може бути використаний під час лекцій, лабораторних і практичних занять для формування навичок аналізу колірних палітр, оцінювання візуальної узгодженості та адаптації зображень до вимог дизайн-систем. Дослідження також сприятиме розумінню сучасних тенденцій автоматизації процесів кольорокорекції та ролі семантичного аналізу у веб-дизайні й цифрових мультимедійних технологіях.

Також результати роботи будуть корисними під час вивчення дисципліни «Системний аналіз та підтримка прийняття рішень», оскільки безпосередньо пов'язані з впровадженням аналізу процесу розробки інтерфейсу веб-сторінок як системи складної системи з великою кількістю змінних і взаємозалежностей. Описані методи сегментації зображень демонструють використання моделей для виділення суттєвих компонентів системи. Застосування простору CIELAB і метрики ΔE ілюструє формалізацію критеріїв оцінювання та прийняття рішень. Робота також демонструє, як математичні моделі можуть бути використані для опису візуального сприйняття. Важливим є використання геометричних обмежень і кутових співвідношень для побудови гармонійних схем. Це допомагає зрозуміти принципи побудови формальних моделей у системному аналізі. Порівняння різних підходів до сегментації навчає оцінювати альтернативи та обирати оптимальні рішення. Дослідження містить приклад багатокритеріального прийняття рішень, де враховуються як естетичні, так і семантичні вимоги. Аналіз результатів за допомогою кількісних показників демонструє важливість об'єктивного оцінювання ефективності системи. Опис експериментів із реальними вебінтерфейсами показує практичне застосування методів аналізу даних і машинного навчання. Матеріал також ілюструє інтеграцію алгоритмів штучного інтелекту у процес підтримки прийняття рішень. У цілому текст формує розуміння того, як системний аналіз дозволяє поєднувати математичні методи, інформаційні технології та людське сприйняття для розв'язання прикладних задач.

Список літератури.

1. Statista. (2025). Number of internet and social media users worldwide as of October 2025. <https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/>.
2. Alotaibi, N. (2025). Color as a visual element on website appeal and its impact on user experience (UX) in graphic design. *AWARI*, 6(1), 1-11. <https://doi.org/10.47909/awari.744>.
3. Kuo, L., Chang, T. & Lai C.-C. (2022). Affective psychology and color display of interactive website design. *Displays*, 71, 102134, <https://doi.org/10.1016/j.displa.2021.102134>.
4. Hegemann, L. & Oulasvirta, A. (2024). Palette, Purpose, Prototype: The Three Ps of Color Design and How Designers Navigate Them. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '24)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 147, 1-19. <https://doi.org/10.1145/3613904.3641976>.
5. Seifi, A. & Moshayeri, A. (2024). The Influence of Color Schemes and Aesthetics on User Satisfaction in Web Design: An Empirical Study. *International Journal of Advanced Human Computer Interaction*, 2 (2), 33-43.

6. Nissen, A., Riedl, R. & Schütte, R. (2024). Users' reactions to website designs: A neuroimaging study based on evolutionary psychology with a focus on color and button shape. *Computers in Human Behavior*, 155, 108168, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108168>.
7. Abildayeva, T. & Shamoï, P. (2024). Fuzzy Logic Approach For Visual Analysis Of Websites With K-means Clustering-based Color Extraction. *ArXiv*, abs/2408.00774.
8. Weingerl, P. (2024). Automated Image-Based User Interface Color Theme Generation. *Applied Sciences*, 14(7), 2850. <https://doi.org/10.3390/app14072850>.
9. Reinhard, E., Ashikhmin, M., Gooch, B. & Shirley, P. (2001). Color Transfer between Images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21, 34-41. 10.1109/38.946629.
10. Chang, H., Fried, O., Liu, Y., DiVerdi, S. & Finkelstein, A. (2015). Palette-based photo recoloring. *ACM Transactions on Graphics*, 34, 4, 139:1-139:11. <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/2766978>.
11. Karim, R.M., Jeong, T., Ha, H., Ho, J., Lee, K., Shin, H.J. (2023). Improving user experience of color palette extraction by using interactive visualization based on hierarchical color model. *Int. J. Human-Computer Studies*, 169, 102924.
12. Gu, Z., Lou, J. (2016). Data driven webpage color design. *Computer-Aided Design*, 77, 46-59, <https://doi.org/10.1016/j.cad.2016.03.001>.
13. Iwasa S., Yamaguchi Y. (2018). Color Selection and Editing for Palette-Based Photo Recoloring. 2257-2261. 10.1109/ICIP.2018.8451712.;
14. Zhang, Q., Nie, Y., Zhu, L., Xiao, C. & Zheng, W.-S. (2022). A Blind Color Separation Model for Faithful Palette-Based Image Recoloring. *Trans. Multi.* 24, 1545-1557. <https://doi.org/10.1109/TMM.2021.3067463>.
15. Shugrina, M., Kar, A., Fidler, S. & Singh, K. (2020). Nonlinear color triads for approximation, learning and direct manipulation of color distributions. *ACM Transactions on Graphics*, 39, 4, 97.
16. Tigwell, G. W., Flatla, D.R. & Archibald, N. D. (2017). ACE: A colour palette design tool for balancing aesthetics and accessibility. *ACM Transactions on Accessible Computing* 9, 2, Article 5.
17. Phan, H. Q., Fu, H. & Chan, A. B. (2017). Color orchestra: Ordering color palettes for interpolation and prediction. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24, 6, 1942-1955.
18. Cong, W., Zhang, J., Niu, L., Liu, L., Ling, Z., Li, W., & Zhang, L. (2019). DoveNet: Deep Image Harmonization via Domain Verification. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 8391-8400.
19. Lan, X., Li, Z., Liu, Q., Meng, Q., Nie, L. & Zhang, S. (2024). High-Resolution Image Harmonization with Adaptive-Interval Color Transformation. 13769-13793. 10.52202/079017-0441.
20. Li, C., Jiao, Z. (2024) Deep Learning-Optimized CLAHE for Contrast and Color Enhancement in Suzhou Garden Images. (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15, 12, 805-814.
21. Lv, C., Zhang D. (2024). Palette-based Color Transfer between Images. *arXiv:2405.08263v1 [cs.CV]*.
22. Tan, L., Li, J., Niu, L. & Zhang, L. (2023). Deep Image Harmonization in Dual Color Spaces. In *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Multimedia (MM '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2159-2167. <https://doi.org/10.1145/3581783.3612404>.
23. Wang, S., Liu, J., Jiang, J., Jiang, Y. & Lan, J. (2022). Attribute analysis and modeling of color harmony based on multi-color feature extraction in real-life scenes. *Front. Psychol.* 13:945951. doi: 10.3389/fpsyg.2022.945951.
24. Itten, J. (1961). *The Art of Color: The Subjective Experience and Objective Rationale of Color*. Reinhold.
25. Cianci, L. (2023). *Colour Theory: Understanding and Working With Colour*. RMIT Open Press: Melbourne, Australia.

26. Oliinyk, V., Biziuk, A., Kulishova, N. & Bilets D. (2025). Software Development for Customizing Web Resource Design According to User Preferences. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. V.1. (p. 607-613).
27. Kulishova, N., Sajek, D. (2025). Using Machine Learning and Generative Intelligence in Book Cover Development. *Journal of Imaging*, 11(2), 46. <https://doi.org/10.3390/jimaging11020046>.
28. Fraser, B., Bunting, F. & Murphy, C. (2004). *Real World Color Management* (2nd ed.). Pearson Education.
29. Changqian, Y., Gao, C., Wang, J., Yu, G., Shen, C. & Sang, N. (2021). BiSeNet V2: Bilateral Network with Guided Aggregation for Real-Time Semantic Segmentation. *International Journal of Computer Vision*, 129(11), 3051-68. <https://doi.org/10.1007/s11263-021-01515-2>.
30. He, K., Zhang, X., Ren, S. & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. (p. 770-778). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>.
31. Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T. et al. (2023). Segment Anything, April 5, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.02643>.
32. ImageNet. (n. d.). <http://www.image-net.org>.
33. MacQueen, J. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proc. Fifth Berkeley Sympo-Sium Math. Stat. Probab*, 1, 281-297.
34. *Expert Judgement in Risk and Decision Analysis*. (2021). Ed. By Anca M. Hanea, Gabriela F. Nane, Tim Bedford, Simon French. – Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46474-5>.