

ОСНОВНІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ПРИ РОЗВ’ЯЗУВАННІ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ОБРАЗІВ

© Грицик В. В., Грицик В. В., 2014

Розглянуто основні методи оцінки якості зображень. У роботі вибрано основні інформаційні параметри на основі яких створюються міри оцінки якості зображень.

Ключові слова: сучасні методи опрацювання оцінки зображень.

This paper discusses the basic methods of evaluating image quality. The basic information parameters for establishing measures in evaluation of the quality of images have been outlined.

Key words: modern methods of image quality evaluation.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Якість інформації (*Information/Data quality*) описують сукупністю властивостей, що відображають ступінь придатності конкретної інформації/даних про об’єкти та їхній взаємозв’язок для досягнення поставлених цілей. Існує два ключових аспекти якості зображення.

- **Фактори, які постраждали від пост-опрацювання** контрастності, колірного балансу, насиченості кольорів тощо. Наприклад, більш висока контрастність зображення отримує більш високі оцінки в тестах візуального оцінювання якості. Із-за їх великого значення для опрацювання образів ці фактори більше описані в літературі про якість зображення.

- **Фактори апаратних засобів, наприклад, камер, об’єктивів і принтерів:** різкість, шум, динамічний діапазон, точність передачі кольору та колірної гами тощо.

Відомі методи об’єктивного оцінювання якості зображень поділяють на методи еталонні (FR) та нееталонні (NR). Для найкращого вибору методу оцінювання відеопотоків розглянемо чинники/параметри, що впливають на формування якості зображення і класифікуємо їх.

Різкість визначає ступінь деталізації зображення. Система різкості залежить від об’єктива (дизайн і якість виготовлення, фокусна відстань, діафрагма і відстань від центру зображення) і давача (кількість пікселів і фільтр згладжування). Різкість залежить від тремтіння камери, точності фокусування і атмосферного обурення (теплові ефекти і аерозолі). Втрачену різкість відновлюють шляхом загострення в певних межах. Over sharpening, може призвести до зниження якості зображення. Зображення з багатьох компактних цифрових камер іноді є over sharpened, щоб компенсувати низьку якість зображення.

Шум є випадковою зміною щільності зображення, видимою як зерно в відеопотоці і на рівні пікселів зміни цифрових зображень. Він виникає внаслідок впливу основних характеристик фізико-фотонної природи світла і теплової енергії тепла всередині датчика зображення. Типові шумо-заглушення (NR) – це програмне забезпечення, яке зменшує видимість шуму шляхом згладжування зображення, за винятком районів поблизу границь зображення. Але воно заглушує низько контрастні деталі, що при автоматичному розпізнаванні може бути фатальним [11].

Динамічний діапазон (англ. Dynamic range, DR or DNR) – це співвідношення між найбільшим і найменшим можливими значеннями якості, що може бути змінена, такої як в сигнал на кшталт звуку і світла. Він вимірюється як співвідношення або за базою 10 (децибел) або 2 (дублювання, біти чи стопи) логарифмічне значення. Зйомка із широким динамічним діапазоном (HDR) дає можливість отримувати зображення з розширеним діапазоном тонів, чого не можна досягти за допомогою лише одного значення експозиції.

Тон відтворення – це відношення між яскравістю сцени і яскравістю відтворення зображення сцени.

Контраст – це градаційна характеристика зображення (різниця яскравості і/або кольору), яка є мірою виявлення об'єкта на довільному фоні і характеризує зображення за відмінністю в яскравості і насиченості кольору між його яскравими та темними областями, що дозволяє вирізнити об'єкти (в межах одного поля зору [4]).

Колір точності є важливим, але неоднозначним фактором для якості зображення. Багато дослідників віддають перевагу розширенню колірної насиченості.

Спотворення – це аберация, тобто нечіткість або викривленість зображення, що його дають оптичні прилади. Хроматична аберация – це вид аберации оптичних систем, спотворення зображень, отриманих в монохроматичному (наприклад, білому) світлі. Спотворення, як правило, помітне в зображеннях з низькою вартістю лінз DSLR. Це, як правило, дуже легко побачити в ширококутних фотографіях. Це спотворення може бути виправлене в програмному забезпеченні.

Віньстування, або легкий спад, затемнює зображення по кутах. Це може бути значним з ширококутними об'єктивами.

Експонування (опромінювання, засвічення) – це процес опромінювання світлом фоточутливого матеріалу. Застосовується при використуванні світла від рентгенівського діапазону до інфрачервоного. При експонуванні змінюються фізико-хімічні властивості матеріалу. Наприклад, у фотоемulsії (використовується в основному в чорно-білій і кольоровій аналоговій фотографії) відбувається розкладання з'єднань срібла на складові, атоми срібла осідають на підкладці. Оскільки срібло непрозоре для світла у видимому діапазоні, ми отримуємо картину, в якій темнота ділянок відповідає часу експонування і інтенсивності світла, що падає на дану ділянку. Точність експонування є проблемою для повністю автоматичних камер і відеокамер, де немає або майже немає можливості для постконтактного тонального коригування. У деяких є експозиція пам'яті: вплив змінюється після появи на сцені дуже яскравих або темних об'єктів.

Бічні хроматичні аберации (LCA), або кольорова окантовка, в тому числі фіолетові ореоли, є аберации об'єктива, який створює зони неоднорідності, які залежать від відстані від центру зображення. Це є найбільш помітним поблизу кутів зображення. ДМС є гіршим з асиметричною лінзою, в тому числі при масштабуванні з телеоб'єктивами Ultra Wide. Це сильно залежить від використання технології demosaicing.

Ефект Lens Flare (спалах лінзи), в тому числі "вуаль відблисків", утворюється в результаті розсіяного світла в лінзах і оптичних систем шляхом відбиття від лінз і всередині стовбура об'єктива. Це може привести до запітніння зображення (втрата деталей в тінях і колір), а також створення «привидів» зображення, які можуть відбуватися в присутності яскравих джерел світла в межах або поблизу поля зору.

Колір муар – це штучний колір смуг, які можуть з'явитися в зображення з повторюваними моделями у високих просторових частотах як тканини або пікет паркани. Це залежить від об'єктива, різкості, згладжування (нижніх), фільтру (який пом'якшує зображення), demosaicing програмного забезпечення. Це, як правило, гірше з використанням гострих лінз.

Артефакти – це програмне забезпечення (операції, які виконуються в процесі перетворення RAW) може викликати значні візуальні артефакти, включаючи стиснення даних і передача помилок (наприклад, низька якість процедури кодування-декодування JPEG), oversharpening і втрати дрібних, низько контрастних деталей.

Формулювання мети

Метою роботи є аналіз методів оцінки зображення для підбору оптимального критерію оцінювання якості зображення для автоматизованих систем візуального розпізнавання. Для цього у статті розглянуто вимоги до апаратних і математичних засобів та їх вплив на метрики та оцінку.

Вплив і критерії роздільної здатності і чутливості на боці апаратних рішень

Під час 2D знімання зображення формується на площині. Процес формування такого зображення – це процес відображення сцени променями світла, які проходять через діафрагму камери і падають на площину відображення. І ця утворена 2D модель є лише наближенням до ідеального зображення, і тому зображення можна описати в термінах того, наскільки добре образ з камери наближається до ідеальної моделі. Отже, ідеальну модель якості зображення можна визначити як опис сцени через сприйняття усіх можливих/відомих властивостей світла. А оціню-

вана модель у практиці – це ідеальна модель плюс певна кількість спотворень або артефактів у сигналі, що утворюються системою введення зображень. Відповідно, **якість зображення** є характеристикою образу, який вимірює сприйманий образ деградації (як правило, порівняно з ідеальною моделлю або ідеальним образом). Іншим прикладом показника якості є критерії Джонсона. Зокрема, мінімально необхідна роздільна здатність (відповідно до критеріїв Джонсона [2, 8]) вимірюється у відстанях між парами ліній (кількісно: наскільки близько вони розташовані).

Мінімально необхідна роздільна здатність відповідно до критеріїв Джонсона виражається через лінії роздільної здатності зображення щодо цілі, відповідно до кількох завдань [2]:

- Виявлення присутності об'єкта (1,0 + / – 0,25 пар ліній);
- Розпізнавання типу об'єкта можна реалізувати, наприклад, для порівняння людини з авто (4 + / – 0,8 пар ліній).
- Ідентифікація: конкретний об'єкт можна виділити, порівняно з іншими об'єктами цього ж класу в (6,4 + / – 1,5 пар ліній).

Ці суми роздільних здатностей дають 50 відсотків ймовірності розрізнення спостерігачем об'єкта до заданого рівня.

Крім того, пари ліній належать до ліній, що відображаються через рядок на ЕПТ-моніторі (монітор з електронно-променевою трубкою). Кожен рядок відповідає парі двох пікселів зображення на плівці або зображенні, яке відображається на РК-екрані [9].

Ще одним важливим поняттям є роздільна здатність пікселя – це здатність давача спостерігати чи виміряти найменший об'єкт ясно, з чіткими межами. Звернемо увагу на відмінність між роздільною здатністю і пікселем. Піксель є одиницею цифрового зображення. Роздільна здатність залежить від розміру пікселя. Що менший розмір пікселя, то вищою буде роздільна здатність і якісніше/чіткіше відобразатиметься об'єкт на зображенні. Зображення з меншим розміром пікселя мають більший розмір на диску.

Міра того, наскільки тісно лінії можуть бути розміщені в зображенні, називається просторовою роздільною здатністю. Цей показник залежить від чутливості системи введення образів, а не тільки від кількості пікселів на дюйм (PPI). Визначається яскравість одиничних елементів на зображенні чутливістю системи введення зображень (просторова роздільною здатністю), а не кількістю пікселів у зображенні. Для практичних цілей просторова роздільна здатність відповідає кількості незалежних значень пікселів на одиницю довжини. Під час сканування оптичну роздільну здатність [10] використовують, щоб відрізнити просторову роздільну здатність від кількості пікселів на дюйм. У дистанційному зондуванні просторова роздільна здатність, як правило, обмежується дифракцією, а також аберацією, недосконалим фокусом і атмосферними спотвореннями. Відстань подрібненої проби (GSD) зображення, піксель інтервалу на віддалених поверхнях, як правило, значно менший, ніж розмір плями.

Формат IMAX, зокрема HD і OMNIMAX: роздільна здатність приблизно 10000×7000 (7000 ліній). Йдеться про 70 Мріх, що у наш час є найвищою роздільною здатністю популярного формату одного давача цифрового (кінокамери) (станом на січень 2012 р.) [3]. Міра роздільної здатності негативного відеопотоку коливається від 25-200 lp/mm, що еквівалентно 325 ліній 2-perf, до (теоретично) понад 2300 ліній для 4-perf в T-Max 100 [4–6]. У разі архівування, загалом, для 4к сканування 35 мм більш ніж достатньо для цілей архівування [7].

Основні оцінки на боці програмної постобробки

Співвідношення сигнал/шум свідчить про якість вихідного відеосигналу камери спостереження, вимірюється в децибелах (дБ). А числово – це десятковий логарифм відношення амплітуди напруги відеосигналу до середньоквадратичного значення напруги фону, помноженого на 20. Візуально шум ми бачимо у вигляді “снігу” на зображенні з камери. За відношення сигнал/шум 45 дБ шум практично не помітний. Високе співвідношення сигнал-шум, і, відповідно, якісна відеокартинка досягаються передусім апаратною складовою роздільною здатністю, чутливістю та методами обробки зображення. Сьогодні в аналоговій системі якісною вважається камера з частотою зчитування променя від 700 ТВ ліній та світлочутливістю 0,01 люкс; застосувавши аналогові системи зчитування типу дисектор [12] за допомогою комбінації роботи апаратного та програмного забезпечення теоретично можна «витягнути» роздільну здатність та чутливість

1 фотон. Зауважимо, для порівняння: 0,4 ~ 0,01 люкс – сутінки, 0,00015 люкс – темна ніч. У разі використання матриці ПЗС – оптимальною є роздільна здатність у 1920x1080 (2,1 Мп.), маркується як Full HD [41].

Означення. Співвідношення сигнал/шум (ССШ або ВСШ, англ. SNR або S/N, Signal-to-noise ratio) – міра відмінності, що застосовується для визначення того, наскільки сильно сигнал спотворений шумом. Визначається як відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму, тобто «співвідношення сигнал/шум визначається як відношення потужності сигналу (значущої інформації) до потужності фоновому шуму (небажаного сигналу)»[13]:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}},$$

де P – середня потужність. Сигнал і шум обидва повинні бути виміряні в тій самій або еквівалентній точці в системі, в межах тієї самої смуги пропускання системи.

SNR також можна обчислити як квадрат відношення амплітуд:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2,$$

де A – середньоквадратичне значення амплітуди (англ. *RMS* – *root mean square*). Зазвичай беруть середньоквадратичне значення напруги.

Альтернативне визначення значення сигнал/шум. Альтернативно SNR можна визначити як значення, протилежне (обернене) до коефіцієнта варіації, тобто як співвідношення середнього арифметичного до стандартного відхилення сигналу (середньоквадратичного відхилення)[23] або вимірювання [4,5]:

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma},$$

де μ – це середнє арифметичне сигналу або математичне сподівання і σ стандартне відхилення шуму (середнє квадратичне відхилення). Конкретний метод застосовують залежно від сфери застосування. Наприклад, якщо параметри сигналу є відомими сталими, тоді σ можна обчислити, використовуючи стандартне відхилення сигналу. Якщо параметри сигналу не є сталими, тоді σ можна обчислити з даних, у яких сигнал є нульовим або порівняно постійним. Зауважимо, що таке альтернативне визначення корисне лише для змінних, що є завжди позитивними (наприклад, кількість фотонів і яскравість). Тому переважно застосовується в обробці зображень [6–9], де SNR зображення зазвичай розраховується як відношення середнього значення пікселя до стандартного відхилення значень сусідніх пікселів.

Критерій Роуза (на честь Альберта Роуза, англ. Albert Rose) твердить, що SNR повинно дорівнювати щонайменше 5, для розпізнавання особливостей зображення зі 100 % впевненістю. SNR, менше за 5, означає меншу за 100 % точність ідентифікації деталей зображення [20]. Подібно також вимірюється співвідношення контрастність/шум — "contrast-to-noise ratio".

Практичне покращення значення SNR полягає у тому, що якщо характеристики шуму відомі й відрізняються від сигналу, тоді цей шум можливо відфільтрувати або опрацювати сигнал. Якщо сигнал є постійним або періодичним, а шум випадковим, можливо збільшити SNR, усереднивши вимірювання, найпростішим прикладом є медіанна фільтрація. Найчастіше покращення шумових характеристик системи можна добитися правильним узгодженням входів і виходів її складових частин. Тоді «паразитна електрорушійна сила (кількісна міра роботи сторонніх сил із переміщення заряду)» [21, 22] завади, увімкнена послідовно з високим внутрішнім опором джерела шуму, буде придушена. Якщо ж спектр корисного сигналу відрізняється від спектра шуму, покращити відношення сигнал/шум можна, обмеживши смуги пропускання системи.

Шум квантування виникає у разі перетворення аналогового сигналу на цифровий, оскільки аналоговий сигнал – безперервний і в ідеалі може мати нескінченну точність, що ж до цифрового сигналу, то він залежить від частоти квантування та бітової розрядності аналогово-цифрового перетворювача. Отже, різниця між вихідним аналоговим сигналом та оцифрованим зумовлена

“заокругленнями”, які позначають терміном “похибки квантування” (*quantization error*). Шум квантування усувається підвищенням розрядності АЦП. Для покращення шумових характеристик складних комплексів застосовують методи електромагнітної сумісності.

Основні математичні методи оцінки якості образу. PSNR – це інженерний термін, який відображає співвідношення між максимумом можливого значення сигналу (на полі уваги) і потужністю шуму, що спотворює значення сигналу [27]. Найпростіше знайти PSNR через середньоквадратичну похибку *MSE* (англ. *mean square error*) [27,28]:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (1)$$

де *MSE* для двох монохромних зображень *I* і *K* розміру $m \times n$, одне з яких вважається зашумленим наближенням іншого, обчислюється так:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2, \quad (2)$$

де $I(i, j)$ – значення яскравості пікселя у точці (i, j) , а MAX_i – це максимальне значення, якого може набувати піксель зображення. Коли пікселі мають розрядність 8 біт, $MAX_i = 255$ [11, 26].

Індекс структурної схожості (*SSIM – structure similarity*) *SSIM* оснований на ідеї, що людська зорова система пристосована для обробки структурної інформації. Тому алгоритм розроблено для вимірювання зміни в цій інформації між еталонним і спотвореним зображенням [29]. Особливістю є те, що результат завжди лежить в проміжку від -1 до 1 , причому якщо його значення дорівнює 1 , це означає, що ми маємо дві однакові картинки. Значення 0 означає відсутність кореляції. Загальна формула має вигляд

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)},$$

де $\mu(x)$ – середнє значення для першої картинки; $\mu(y)$ – середнє значення для другої; $\sigma(x)$ – середньоквадратичне відхилення для першої картинки; $\sigma(y)$ – середньоквадратичне відхилення для другої картинки; $\sigma(x, y)$ – це вже коваріація.

$$\sigma(x, y) = \mu(x, y) - \mu(x)\mu(y);$$

c_1 і c_2 – поправкові коефіцієнти, які потрібні нам внаслідок малості знаменника, причому вони дорівнюють квадрату кількості кольорів, відповідної цій бітності зображення, помноженому на 1 0.01 і 0.03 відповідно. Метрика розрахована на вікно 8×8 і зміщення через піксель або групи вікон. Характерною рисою методу є врахування «сприйняття помилки», завдяки врахуванню структурної зміни інформації. Ідея полягає у сильному взаємозв'язку пікселів, які близькі просторово. Ці залежності дають важливу інформацію про структуру об'єктів і про усю сцену.

Алгоритм *SSIM* вимірює яскравість $l(x, y)$, контраст $c(x, y)$, структуру $s(x, y)$ тестового у зображення відповідно до еталонного зображення x , використовуючи такі вирази [30]:

Три скомбіновані компоненти на виході (yield) дають визначення загальної міри подібності

$$x, y = f(l(x, y), c(x, y), s(x, y)),$$

де

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1},$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2},$$

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}.$$

Акцент на ці три компоненти можна трактувати як сигнал залежних функцій. Загалом міра подібності визначена з рівняння

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma,$$

де α, β, γ – параметри для визначення зв'язку трьох компонент. У найпростішому випадку $\alpha = \beta = \gamma = 1$ і результуюче значення SSIM таке

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}.$$

Важливою є незалежність усіх трьох компонентів, наприклад, зміна яскравості і/або контрасту не впливає на структуру зображення.

Математична залежність. Для встановлення залежності між метриками спочатку отримаємо зв'язок між SSIM і MSE, а після цього зв'яжемо SSIM і PSNR [25]. Для цього перепишемо метрику MSE у вигляді:

$$MSE = \sigma_f^2 + \sigma_g^2 - 2\sigma_{fg} + (\mu_f - \mu_g)^2,$$

де σ_f^2 і σ_g^2 – дисперсії зображень F і G , а σ_{xy} – коваріація між F і G :

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - \mu_f)^2,$$

$$\sigma_{fg}^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - \mu_f)(g_{ij} - \mu_g).$$

SSIM можна переписати у вигляді

$$\frac{1}{SSIM} = \frac{255^2 \cdot \alpha(f, g) \cdot e^{\frac{psnr \cdot \ln(10)}{10}} + \beta(f, g)}{l(f, g) \cdot s(f, g)},$$

де

$$\alpha(x, y) = \frac{1}{2\sigma_f\sigma_g + c_2},$$

$$\beta(f, g) = \frac{2\sigma_{fg} - (\mu_f - \mu_g)^2 + c_2}{2\sigma_f\sigma_g + c_2},$$

$$s(f, g) = \frac{\sigma_{fg} + c_3}{\sigma_f\sigma_g + c_3}.$$

Ще однією поширеною мірою оцінки зображення є контраст. Вивчення контрастної чутливості домінує серед досліджень трьох останніх десятиліть [11–12, 32–35]. Контраст визначають для кожної окремої пари зображень, найчастіше порівнюються сусідні пікселі зображення у вертикальному, горизонтальному напрямку або по діагоналі.

Після усереднення матриці локальних контрастів отримують сумарний контраст. Результат сумарного контрасту є критерієм для оцінки якості зображення, оскільки під час оброблення зображень локальні зв'язки між пікселями зазнають змін насамперед. Розглянемо два способи обчислення значення контрасту [35]. У цій статті наведено два з них. Перший спосіб ґрунтується на формулі Мічелсона:

$$C_{ij} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (3)$$

де C – значення контрасту; I_{\max} – максимальне значення яскравості пікселів зображення або досліджуваного вікна; I_{\min} – мінімальне значення яскравості або досліджуваного вікна.

Інший спосіб обчислення контрасту відомий як RMS контраст (Root Mean Square contrast):

$$C_{ij} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (I_{ij} - I)^2, \quad (4)$$

де N, M – розміри зображення або досліджуваного вікна; I_{ij} – значення яскравості пікселя у точці із координатами (i, j) ; I – середнє значення яскравості пікселів зображення або досліджуваного вікна.

Використовуючи (3) або (4), можна реалізувати критерій “розмитості”, поставивши у відповідність кожному пікселю значення контрасту вікна деякого розміру з центром у цьому пікселі. На рис. 5, б, в зображено результат роботи згідно з критеріями на основі (3) та (4) у вигляді напівтонових зображень, де яскравість відповідає за значення критерію.

Критерій оцінки насиченості кольору. В [34] описано критерій, котрий використовує значення насиченості кольору пікселів зображення. Насиченість кольору (Saturation) – одна із координат кольору у кольоровій моделі HSB (або HSV). Критерій ґрунтується на тому спостереженні, що розмиті частини зображення мають менше яскравих кольорів, ніж чіткі. Відповідно до цього в [34] пропонується такий метод обчислення критерію “розмитості”:

$$q = \frac{\max(S_p) - \max(S_0)}{\max(S_0)},$$

де S_p – насиченість кольору пікселя, яка обчислюється у такий спосіб:

$$S_p = \frac{1 - 3 \times \min(R, G, B)}{(R + B + G)},$$

де R, G, B – значення відповідних кольорових координат у моделі RGB; $\max(S_p)$ – значення максимальної насиченості пікселів у вікні; $\max(S_0)$ – значення максимальної насиченості пікселів всього зображення.

Висновки і перспективи подальших наукових розвідок

У роботі досліджено сучасні методи оцінювання якості відеопотоків. Під час дослідження враховано різні чинники впливу. У роботі досліджено застосування різних метрик для задачі автоматизації оцінки якості відеопотоку. Досліджено фактори, що впливають на якість зображення (образу), розробки американських вчених. У роботі визначено актуальність напряду, зважаючи на звіти Європейської дослідної програми FP7 [36–39], показано залежність вибору метрики (за шкалою “швидкість–якість”) від поставленої задачі. Для створення досконалого комп’ютерного зору потрібно розробити технологію автоматизованої оцінки того, що бачить робот. Ця задача передбачає оцінку факторів впливу на якість зображення. У роботі розглянуто як індустріальні фактори, так і фактори освітлення, підходи і методи, що розв’язують конкретні задачі, показано їх взаємозв’язок. Застосування автоматизованої оцінки образу, що надходить на аналіз у систему розпізнавання та ідентифікації, дасть змогу реалізувати гнучкий підхід до підбору коефіцієнтів (чинників впливу) під час вибору похибки і допусків у алгоритмі розпізнавання. Це зробить комп’ютерний зір адаптивнішим до зовнішнього впливу. Особливо важливою ця оцінка є для проблеми розпізнавання, бо залежно від розпізнаного системою контуру об’єкта робот отримує різні образи на класифікаторі або в системі верифікації.

1. <http://www.nvl.army.mil>. 2. Norman S. Kopeika (1998). *A system engineering approach to imaging*. 3. Норман С. Коніюка системного підходу до інженерної візуалізації // SPIE Press. SPIE Press. – 1998. – Р. 337. 4. http://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=2&hl=uk&langpair=en%7Cuk&rurl=translate.google.com&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Image_resolution&usq=ALkJrh6YkitmlSyN_I1-6GCQgOSCjoaRQ#cite_note-6. 5. Kodak 500t Film spec sheet. 6. *An analysis of film resolution*. 7. *Explanation of MTF* Пояснення MTF. 8. *A white paper by Digital Film Technology, on the choice for 4K scanning for 35 millimeter film*. 9. http://en.wikipedia.org/wiki/Johnson's_criteria. 10. Гарні Роберт. *Бойові Системи. Т. 1. Датчики [Глава 14: Робота з зображеннями та зображення на основі сприйняття]*. – . <http://www.nps.navy.mil/se/harney/cbt1ch14.pdf> 2005. 11. http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_resolution. 12. Грицик В. В. *Розпізнавання текстово-символьної графічної інформації на зображеннях за допомогою нейронної мережі комп’ютерного зору* / Грицик В. В., Влах М. А., Пелих Н. І., Влах В. А. – Львів, 2008. – 43 с. – (Препр. / ДНДІІІ ; № 11). 13. Грицик В. В. *Апаратні засоби системи вводу*

зображень з високою роздільною здатністю / Грицик В. В., Кравець І. І., Опотяк Ю. В., Цмоць І. Г. // Інформаційні технології і системи. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 123–135. 14. How to Calculate the Signal to Noise Ratio // eHow.com. 15. Schroeder D. J. *Astronomical optics* 2nd. – Academic Press, 1999. 16. Bushberg, J. T., et al., *The Essential Physics of Medical Imaging*, (2e). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006. – P. 280. 17. Rafael C. González, Richard Eugene. Woods *Digital image processing*. – Prentice Hall, 2008. 18. Stathaki. Tania *Image fusion: algorithms and applications*. – Academic Press, 2008. 19. Jitendra R. Raol *Multi-Sensor Data Fusion: Theory and Practice*. – CRC Press, 2009. 20. John C. Russ *The image processing handbook*. – CRC Press, 2007. 21. Bushberg, J. T., et al., *The Essential Physics of Medical Imaging*, (2e). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006. – P. 280. 22. <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%A0%D0%A1>. 23. http://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_заряд. 24. http://uk.wikipedia.org/wiki/Стандартне_відхилення. 25. Шеїх Н. Р., Bovik А. Змінний струм, теорії інформації. Підходи до оцінки якості зображення. В: Bovik А. С. Довідник обробки зображень і відео. Elsevier, 2005 рік. 26. Alain Hore and Djemel Zoiu. *Image quality metrics: PSNR us SSIM*. 27. Wikipedia. “Grayscale”. 28. http://en.wikipedia.org/wiki/Peak_signal-to-noise_ratio. 29. http://en.wikipedia.org/wiki/Structural_similarity. 30. Wang Zhou and Alan C. Bovik *Mean Squared Error: Love It or Leave It?*. 31. <http://ru.wikipedia.org/wiki/SSIM>. 32. Zhou Wang, Eero P. Simoncelli, Alan C. Bovik “Multi-Scale Structural Similarity for image quality assessment”. 33. Быков Р. Е. Анализ и обработка цветных и объемных изображений / Р. Е. Быков, С. Б. Гуревич. – М.: Радио и связь. – 1984. – 248 с. 34. Girod В. What’s wrong with mean-squared error? // *Digital images and human vision*, А. В. Watson, Ed. – P. 207–220, 1993. 35. Renting Liu, Zhaorong Li, Jiaya Jia *Image Partial Blur Detection and Classification* // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2008. 36. Eli Peli. *Contrast in complex images* // *Journal of the Optical Society of America A* 7(10): 2032-2040. – 1990. 37. *Complex software systems – heal thyself* // *Reasearch*eu results supplement*. – № 25. – June 2010. – P. 28. 38. *Find a digital partner to trust* // *Reasearch*eu results supplement*. – № 25. – June 2010. – P. 34. 39. *Seeing understands – using artificial intelligence to analyse multimedia content* // *Reasearch*eu results supplement*. – № 25 – June 2010. – P. 36. 40. *Software: running commentary for smarter surveillance?* // *Reasearch*eu results supplement*. – № 24. – May 2010. – P. 29. 41. [http://en.wikipedia.org/wiki/Contrast_\(vision\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Contrast_(vision)). 42. <http://en.wikipedia.org/wiki/1080p>.