

О. Ф. Дубина, С. О. Соболенко, О. В. Андрєєв, В. Г. Парфєнюк, О. В. Гераймович

ВИЗНАЧЕННЯ РЕАЛЬНОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Предметом дослідження є система відеоспостереження інтегрованої системи захисту об'єктів.

У статті розглянуто підхід до оцінювання ефективності системи захисту об'єктів, а також обґрунтовано важливість визначення такого цифрового параметра, як роздільна здатність. Проаналізовано вимоги європейського стандарту EN 50 132-7 для класифікації, розпізнавання та ідентифікації об'єктів на цифрових зображеннях. Зроблено висновок, що проєктувальник та замовник повинні визначитися з метою встановлення кожної камери (розпізнавання людей, ідентифікація, виявлення, спостереження). Проєктувальник повинен знайти золоту середину між вищою щільністю пікселів, що дозволяє бачити більше деталей під меншим кутом огляду, та більшою шириною огляду камери під більшим кутом перегляду, що дозволяє зменшити кількість камер у проєкті.

Проаналізовано фактори, що впливають на якість цифрового зображення. Зроблено висновок, що для визначення реальної роздільної здатності зображення і, відповідно, імовірності належної класифікації об'єктів систем відеоспостереження необхідно враховувати багато факторів, які знаходяться в певній суперечності один з одним, і цей процес не підлягає аналітичному моделюванню. Основні фактори включають: розрізнення, освітлення під час знімання, відстань до об'єкта, глибину різкості.

Використання вимог європейського стандарту EN 50 132-7 можливе лише в ідеальних умовах знімання та технічних характеристик відеокамер. Для систем відеоспостереження характерні зміни умов знімання (час доби, року, різні кліматичні та погодні умови, значні відстані за глибиною та шириною розміщення об'єкта, що знімається). У цьому разі пропонується алгоритм для визначення реальної роздільної здатності зображення IP -відеокамери за допомогою теорії нечіткої логіки (Fuzzy Logic) або нечіткого виведення. Цей алгоритм оцінює ступінь відповідності умов знімання до ідеальних умов, у яких можна застосувати стандарт EN 50 132-7 для класифікації об'єктів на цифрових зображеннях.

Ключові слова: відеоспостереження; відеокамера; роздільна здатність; нечітка логіка; цифрове зображення.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Дослідження методів класифікації об'єктів на зображеннях є недостатньо вивченою сферою технічних знань. Це пов'язано з неможливістю передбачення всіх факторів для формування зображення об'єкта на знімку через певну невизначеність.

© О. Ф. Дубина, С. О. Соболенко, О. В. Андрєєв, В. Г. Парфєнюк, О. В. Гераймович, 2025

Для визначення реальної роздільної здатності зображення і, відповідно, імовірності правильної класифікації об'єктів системами відеоспостереження необхідно враховувати певну кількість чинників, що знаходяться в деякій суперечності один з одним. До основних таких чинників належать: розрізнення, освітленість під час знімання, дальність до об'єкта, глибина різкості.

Застосування вимог європейського стандарту EN 50 132-7 для виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єктів на цифрових зображеннях можливе лише за ідеальних умов знімання і технічних характеристик відеокамер.

Для систем відеоспостереження характерне виконання завдань під час мінливих умов знімання (пори доби, року, різних кліматичних і погодних умов, значних відстаней за глибиною і шириною об'єкта, що охороняється).

У статті запропоновано використовувати теорію нечіткої логіки (Fuzzy Logic), що визначає сучасний підхід до опису розпізнавання та ідентифікації об'єктів на зображеннях за знімками, отриманими за допомогою IP-відеокамер в умовах певної невизначеності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання використання теорії нечіткої логіки висвітлили у своїх наукових працях такі українські та закордонні вчені, як: Асаї К., Борисов А. Н., Гордієнко І. В., Семененко М. В., Мітюшкін Ю. І., Мокін Б. І. та інші.

Аналіз публікацій закордонних [1–4] та вітчизняних [5–8] фахівців свідчить, що класичні методи розпізнавання об'єктів на знімках досить ефективно працюють у разі повністю детермінованих і постійних умов знімання.

Водночас для систем з апріорною невизначеністю оптимальними є нечіткі методи аналізу, які слід адаптувати до сучасної системи оброблення зображень.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є дослідження чинників, що впливають на якість цифрового зображення, та розроблення алгоритму визначення реальної роздільної здатності зображення IP-відеокамери з використанням теорії нечіткої логіки.

Виклад основного матеріалу. Безпека об'єкта – це стан його захищеності від загроз, заподіяння шкоди життю чи здоров'ю людей, майну фізичних або юридичних осіб, державному чи муніципальному майну, технічним станам, інфраструктурі життєзабезпечення, інтер'єру ландшафтної архітектури, навколишньому природному середовищу [9].

У загальному випадку для побудови систем охорони з використанням імовірнісного підходу показник ефективності та надійності інтегрованої системи охорони можна записати в аналітичному вигляді, як

$$W_e = P_O, P_{KL}, P_{CB}, P_H^D, P_{CB}^{K3}, \quad (1)$$

де P_O – імовірність виявлення об'єкта датчиками;

P_{KL} – імовірність правильної класифікації об'єктів датчиками;

P_{CB} – імовірність своєчасності обробки інформації;

P_H^D – імовірність безвідмовної роботи датчика;

P_{CB}^{K3} – своєчасність передачі інформації каналом передачі даних [9, 13].

Найкраща ефективність функціонування сучасних інтегрованих систем охорони забезпечується шляхом використання систем відеоспостереження, які здійснюють візуальний контроль за об'єктом охорони [10].

Розглянемо основні параметри, що впливають на ймовірності виявлення і правильної класифікації об'єктів за допомогою систем відеоспостереження.

Необхідне розрізнення. Сучасні мережеві IP-камери здатні забезпечувати високий рівень деталізації, вимоги до роздільної здатності задаються в пікселях, а також доповнюються альтернативним параметром – кількістю міліметрів об'єкта, що припадають на один піксель отриманого зображення (див. табл. 1). У спеціалізованій літературі про системи відеоспостереження поширеним є використання зворотного показника – щільності пікселів, тобто кількості пікселів на метр заданої дистанції від об'єкта спостереження.

Таблиця 1

Вимоги європейського стандарту EN 50 132-7 для виявлення, розпізнавання та ідентифікації

Вид активності	Завдання і можливості	Старий параметр, % висоти	Альтернативний параметр, мм/піксель	Кількість пікселів на 1 м по горизонталі
Моніторинг	Моніторинг і контроль	5% від висоти кадра	80	12
Детектування	Гарантоване виявлення людей у кадрі	10% від висоти кадра	40	25
Спостереження	Виявлення характерних ознак людини (наприклад, одягу)	25% від висоти кадра	16	62
Розпізнавання	Розпізнавання відомих оператору людей	50% від висоти кадра	8	125
Ідентифікація	Якість, достатня для ідентифікації людини	100% від висоти екрана	4	250
Інспектування	Можливість 100% ідентифікації	400% від висоти екрана	1	1000

Для різних типів об'єктів застосовують специфічні критерії. Наприклад, для коректного читання номерних знаків висота символів має становити близько 15 пікселів, що еквівалентно близько 200 пікселям на метр. Це означає, що як проєктувальник, так і замовник повинні чітко визначити цільове завдання кожної встановлюваної камери: розпізнавання осіб, ідентифікація, детектування чи загальне спостереження. Вибір зони огляду камери має базуватися на розрахунках щільності пікселів у межах цієї зони за заданих параметрів камери та об'єктива, щоб забезпечити виконання поставлених завдань.

Проєктувальник повинен знаходити баланс між високою щільністю пікселів, яка дозволяє розгледіти більше деталей за меншого кута огляду, і широкою зоною охоплення камери за більшого кута огляду, що скорочує потребу у великій кількості обладнання в проєкті.

Наприклад, для камер виробника Hikvision вимоги до ступеня розрізняювальності об'єктів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вимоги, рекомендовані Hikvision для виявлення, розпізнавання та ідентифікації

Експлуатаційні вимоги	Кількість пікселів по горизонталі для обличчя	Пікселів на дюйм
Ідентифікація (за несприятливих умов)	80	12,5
Ідентифікація (за несприятливих умов)	40	6,3
Розпізнавання	20	3,2
Виявлення	4	0,6

На рис. 1 показано вигляд трьох варіантів експлуатаційних критеріїв виявлення, розпізнавання та ідентифікації практично.



Рис. 1. Вигляд трьох варіантів експлуатаційних критеріїв практично

Глибина різкості є важливим параметром, оскільки визначає діапазон, у якому об'єкти залишатимуться у фокусі, її збільшення сприяє вищій імовірності їх ідентифікації. Цей показник залежить від ступеня відкриття діафрагми, фокусної відстані об'єктива та дистанції до камери (див. рис. 2).

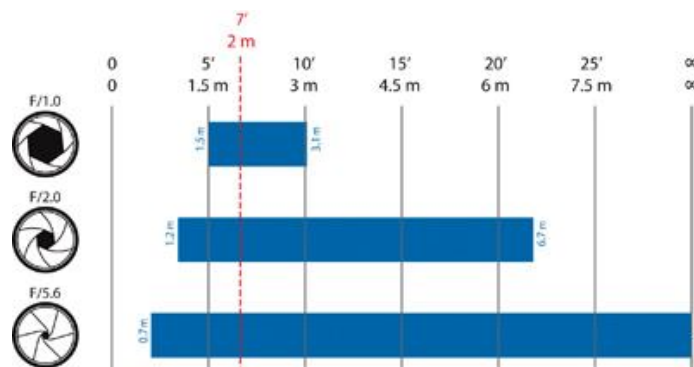


Рис. 2. Залежність глибини різкості від параметрів діафрагми

Глибина різкості збільшується в разі зменшення діафрагми, що потребує достатнього освітлення для досягнення якісного результату. У деяких камерах Hikvision є функція P-Iris, яка дозволяє автоматично налаштовувати діафрагму, забезпечуючи оптимальну глибину різкості залежно від наявних умов освітлення. Розмір відкриття Iris-діафрагми впливає на кількість світла, що проходить через об'єтив і потрапляє на матрицю. Менше значення числа F відповідає максимально відкритій діафрагмі, а більше свідчить про її мінімальне відкриття. Чим нижче F , тим вища якість зображення за умов слабого освітлення, а за більшого числа F легше скоригувати картинку в ситуаціях із заднім засвіченням. У разі мінімального F -числа також забезпечується максимальна глибина різкості (див. рис. 3).

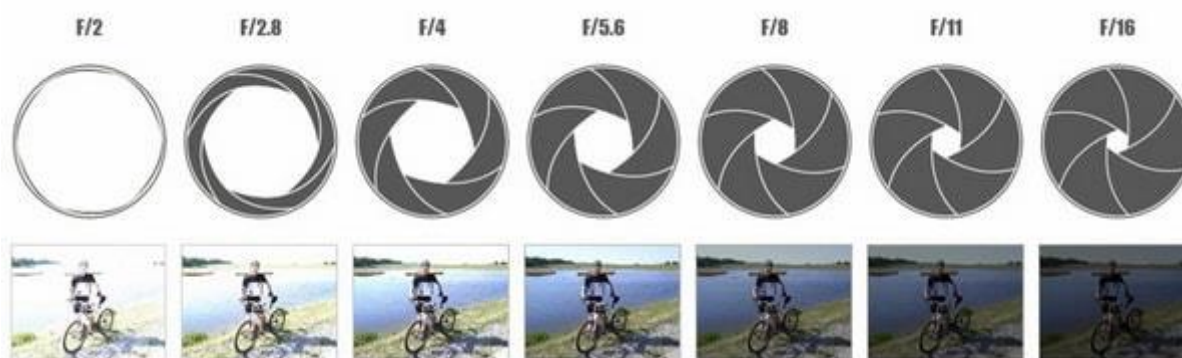


Рис. 3. Залежність яскравості й чіткості зображення від діафрагми

Глибина різкості збільшується за використання коротших фокусних відстаней. Камери з більш високою роздільною здатністю дають змогу знімати, використовуючи короткі фокусні відстані, при цьому дотримуючись вимог до роздільної здатності.

Освітлення суттєво впливає на можливості розпізнавання людей та об'єктів. Тіні, підвищений контраст і контрове підсвічування значно ускладнюють ідентифікацію порівняно з більш сприятливими умовами освітлення. Наприклад, хороші освітлювальні умови поза приміщеннями значно поліпшують результати порівняно зі складнішими обставинами, зокрема в офісних коридорах чи на станції метро. Для знімання на відстані 15–20 м, коли обличчя займає близько 80 пікселів у ширину, потрібен об'єтив із фокусною відстанню 50 мм. Однак навіть за такої роздільної здатності ідентифікація може бути ненадійною за освітлення на рівні 100–150 лк, що є типовим для закритих приміщень. У таких обставинах допоможуть спеціальні функції камери, наприклад, широкий динамічний діапазон або сенсори з високою світлочутливістю. Найкращих результатів можна досягти шляхом поєднання цих функцій із додатковим освітленням та розташуванням камери таким чином, щоб уникати контрового підсвічування. У разі зовнішнього відеоспостереження слід враховувати зміну інтенсивності й напрямку сонячного світла протягом дня.

Освітленість також залежить від погодних умов: сніговий покрив значно збільшує відбивання світла, тоді як дощ або мокрий асфальт поглинають його, знижуючи видимість. Для якісної ідентифікації людини рекомендується використовувати рівномірне

освітлення інтенсивністю 300–500 лк. Для розпізнавання номерних знаків достатньо рівня освітлення в межах 150 лк. За слабого освітлення світлочутлива матриця камери створює значний шум, який негативно позначається на якості зображення (див. рис. 4). Це може ускладнити ідентифікацію. У разі будь-якої освітленості доводиться шукати компроміс між шумом, витримкою та глибиною різкості, але чим кращі умови освітлення, тим сприятливіше поєднання цих параметрів можна вибрати.



Рис. 4. Вплив освітлення на ідентифікацію об'єктів: А) освітленість близько 1600 лк та сприятливий напрям світла; В) освітленість 350 лк, але є фонове засвічення; С) освітленість 7 лк та сприятливий напрямок світла; D) освітленість 1,5 лк

Алгоритм визначення реальної роздільної здатності зображення ІР-відеокамери з використанням теорії нечіткої логіки. Проведений аналіз показав, що для визначення реальної роздільної здатності зображення і, відповідно, імовірності правильної класифікації об'єктів системами відеоспостереження необхідно враховувати багато чинників, які знаходяться в певній суперечності один із одним, і цей процес не піддається аналітичному моделюванню.

Застосування табл. 1, 2 можливе лише за ідеальних умов знімання і технічних характеристик відеокамер.

Під час проектування системи охорони необхідно проводити певні розрахунки для правильного вибору технічних параметрів і характеристик відеокамер, місця їх розміщення, режимів роботи тощо. На сьогоднішній день цей процес, як правило, здійснюється за допомогою спеціалізованих систем автоматизованого проектування (САПР). Вибір обладнання з максимально кращими параметрами не завжди себе виправдує за критерієм витрати – якість.

У цьому разі пропонуємо запроваджувати алгоритм визначення реальної роздільної здатності зображення ІР-відеокамери з використанням теорії нечіткої логіки (Fuzzy Logic) або нечіткого виведення. Він буде оцінювати ступінь відповідності умов знімання ідеальним умовам, за яких можливо застосовувати значення табл. 1, 2 для класифікації об'єктів на зображеннях. Схему алгоритму наведено на рис. 5.

Нечітке виведення займає центральне місце в системах нечіткого моделювання. Процес нечіткого виведення являє собою певну процедуру або алгоритм отримання нечітких виведень на підставі нечітких передумов із використанням основних операцій нечіткої логіки. Основні етапи нечіткого виведення:

визначення структури системи нечіткого виведення;

формування бази правил системи нечіткого виведення;
фазифікація вхідних змінних;
обчислення значень ступенів належності підумови правил нечітких продукцій;
агрегування підумови правил нечітких продукцій;
активізація підумов правил нечітких продукцій;
акумулювання виведень правил нечітких продукцій;
дефазифікація вихідних змінних [11].



Рис. 5. Алгоритм визначення реальної роздільної здатності зображення IP-відеокамери з використанням теорії нечіткої логіки

До теперішнього часу запропоновано кілька алгоритмів нечіткого виведення [12]. Найбільше застосування в системах нечіткого виведення отримав алгоритм Мамдані.

Для побудови нечіткої системи на основі розробленого алгоритму потрібно для початку задати вхідні дані, а також кінцевий результат. На вході було задано такі значення: освітленість, діафрагму, необхідну глибину.

На виході отримано коефіцієнт відповідності $(0...1)$ і реальну роздільну здатність зображення, що отримується цією відеокамерою. Це надає можливість проводити лише відповідні етапи класифікації: моніторинг, детектування, спостереження, розпізнавання, ідентифікацію, інспектування. База правил системи нечіткого виведення призначена для формального подання емпіричних знань або знань експертів у тій чи іншій проблемній сфері. У системах нечіткого виведення використовуються правила нечітких продукцій, у яких умови та твердження сформульовані в термінах нечітких лінгвістичних висловлювань. База правил нечітких продукцій – це кінцева множина правил нечітких продукцій, узгоджених щодо використовуваних у ній лінгвістичних змінних. Найчастіше база правил надається у формі певного структурованого тексту.

Нехай база нечітких правил прийняття рішень містить визначені експертами залежності рівня відповідності роздільної здатності **вимогам європейського стандарту EN 50 132-7 для виявлення, розпізнавання та ідентифікації** (відповідність) від рівня освітленості та значення діафрагми. Діафрагма визначає відстань за глибиною, де зображення буде чітким, тому достатньо ввести лише дві вхідні лінгвістичні змінні: освітленість = (висока, низька); діафрагма = (велика, мала); і одну вихідну – відповідність = (висока, середня, низька).

Наведемо декілька з можливих правил:

R_1 : якщо діафрагма є великою і освітленість є високою, то відповідність є високою;

R_2 : якщо діафрагма є малою і освітленість є високою, то відповідність є середньою;

R_3 : якщо діафрагма є великою і освітленість є низькою, то відповідність є середньою;

Допустимо, що лінгвістичні терми входів описуються такими нечіткими множинами:

велика діафрагма = $\{2/0.2; 4/0.4; 8/0.8; 16/1\}$;

мала діафрагма = $\{2/1; 4/0.8; 8/0.6; 16/0.4\}$;

висока освітленість = $\{2/0.1; 50/0.8; 150/0.9; 400/1\}$;

низька освітленість = $\{2/1; 50/0.3; 150/0.2; 400/0.1\}$.

Терми виходу описуються такими множинами:

висока відповідність = $\{0/0.1; 0.5/0.5; 1/1\}$;

середня відповідність = $\{0/0.5; 0.5/1; 1/0.5\}$.

Необхідно визначити відповідність за невеликої діафрагми та середньої освітленості.

Звернемо увагу на те, що вхідні дані не визначають таких термів: незначна діафрагма та середня освітленість. Вихідну реакцію на ці нечіткі значення необхідно отримати в процесі логічного виведення на основі бази правил.

Нехай на вхід системи надходять нечіткі множини діафрагми $A_1' = \{2/0.4; 4/0.3; 8/0.2; 16/0.1\}$ та освітленості $A_2' = \{2/0.1; 50/0.8; 150/0.8; 400/0.1\}$.

Операції визначення мінімуму та максимуму позначимо у вигляді $\wedge$ та $\vee$ відповідно. Для обчислення виходу виконаємо етапи нечіткого логічного виведення.

1. Обчислення рівнів істинності правил

$a_1 = \min[\max(0.4^0.2, 0.3^0.4, 0.2^0.8, 0.1^1), \max(0.1^0.1, 0.8^0.8, 0.8^0.9, 0.1^1)] = \min[\max(0.2, 0.3, 0.2, 0.1), \max(0.1, 0.8, 0.8, 0.1)] = \min[0.3, 0.8] = 0.3;$

$a_2 = \min[\max(0.4^1, 0.3^0.8, 0.2^0.6, 0.1^0.4), \max(0.1^0.1, 0.8^0.8, 0.8^0.9, 0.1^1)] =$

$\min[\max(0.4, 0.3, 0.2, 0.1), \max(0.1, 0.8, 0.8, 0.1)] = \min[0.4, 0.8] = 0.4;$

$\alpha_3 = \min[\max(0.4^{0.2}, 0.3^{0.4}, 0.2^{0.8}, 0.1^1), \max(0.1^1, 0.8^{0.3}, 0.8^{0.2}, 0.1^{0.1})] = \min[\max(0.2, 0.3, 0.2, 0.1), \max(0.1, 0.3, 0.2, 0.1)] = \min[0.3, 0.3] = 0.3.$

2. Обчислення виходів правил

$B_1' = \{0/\min(0.3, 0.1), 0.5/\min(0.3, 0.5), 1/\min(0.3, 1)\} = \{0/0.1, 0.5/0.3, 1/0.3\};$

$B_2' = \{0/\min(0.4, 0.5), 0.5/\min(0.4, 1), 1/\min(0.4, 0.5)\} = \{0/0.4, 0.5/0.4, 1/0.4\};$

$B_3' = \{0/\min(0.3, 0.5), 0.5/\min(0.3, 1), 1/\min(0.3, 0.5)\} = \{0/0.3, 0.5/0.3, 1/0.3\}.$

3. Агрегування виходів

$B' = B_1' \vee B_2' \vee B_3' = \{0/\max(0.1, 0.4, 0.3), 0.5/\max(0.3, 0.4, 0.3), 1/\max(0.3, 0.4, 0.3)\} = \{0/0.4, 0.5/0.4, 1/0.4\}.$

4. Дефазифікація виходу

$$y = \frac{0 * 0.4 + 0.5 * 0.4 + 1 * 0.4}{0.4 + 0.4 + 0.4} = 0.5.$$

Отже, для заданих нечітких множин за невеликої діафрагми та середньої освітленості відповідність роздільної здатності **вимогам європейського стандарту EN 50132-7 для виявлення, розпізнавання та ідентифікації** становить 50%.

Висновки. У цій статті запропоновано алгоритм оцінювання ступеня відповідності умов знімання умовам, за яких можливо застосовувати значення вимог європейського стандарту EN 50 132-7 для виявлення, розпізнавання та ідентифікації на основі нечітко-множинного підходу, який дозволяє враховувати якісні аспекти, які не мають точної числової оцінки. Залучення експертів для формування бази нечітких правил прийняття рішень теоретично повинно бути для кожного зразка, але можна обмежитися певним виробником із врахуванням заявленої роздільної здатності. Цей підхід може бути корисним на етапах проєктування систем відеоспостереження та систем контролю й управління доступом із використанням фотофіксації.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Edge-Detection Method for Image Processing Based on Generalized Type-2 Fuzzy Logic / M. Patricia, I. Claudia, R. Juan et al. // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2014. Vol. 22 (6). P. 1515–1525. <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2013.2297159>
2. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, & J. Sun // In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR–2016). Image Processing and Computer Vision. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>
3. Amza C. G., Nitoi D. F., Enciu G. Automatic Image Processing for Welding Inspection // In Proc. of the 1st International Conference on Industrial and Manufacturing Technologies (INMAT 13). Vouliagmeni, Athens, Greece, May 14–16, 2013. P. 153–158. ISSN 2227-4596.
4. Catalin Gheorghe Amza, Dumitru Titi Cicic. Industrial Image Processing Using Fuzzy-Logic // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation (DAAAM). Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. P. 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.404>

5. Використання даних дистанційного зондування для визначення рівня забур'яненості кукурудзяних полів / Т. П. Федонюк, П. В. Пивовар, П. П. Топольницький та ін. // Agriculture. № 15 (7). С. 711. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.1580.v1>
6. Гангалю І. М., Лісовий Д. О., Жебка В. В. Розпізнавання об'єктів за допомогою технологій комп'ютерного зору // Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2022. Вип. 4 (77). С. 46–52. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2022.044652>
7. Омельченко С. О. Використання комп'ютерного зору для розпізнавання образів // Глобалізація наукових знань: міжнародна співпраця та інтеграція галузей наук : матеріали II Міжнар. студент. наук. конф. (22 жовтня 2021 р.). Т. 1, Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2021. С. 108–110. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/20567> (дата звернення: 28.09.2025).
8. Романча А. П., Борисов Д. В., Подорожняк А. О. Дослідження сучасних систем комп'ютерного зору // Проблеми інформатизації : тези доповідей сьомої міжнар. наук.-техніч. конф. (13–15 листопада 2019 р.). Черкаси : ЧДТУ, 2019. С. 53.
9. Evaluation of the Effectiveness of the Integrated Security System as an Information System / T. Vakaliuk, O. Dubyna, T. Nikitchuk, O. Andreiev // Proceedings of the 11th International Conference "Information Control Systems & Technologies", (September 21–23, 2023). Odesa, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings. 2023. Vol. 3513. P. 16–26. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper02.pdf> (last accessed: 20.09.2025).
10. Електронні елементи та пристрої систем безпеки й охорони : навч. посіб. / Г. І. Барило, М. В. Вісьтак, З. Ю. Готра та ін.; за ред. З. Ю. Готри. Чернівці : Рута, 2017. 216 с.
11. Сахно Є. Ю., Мороз Н. В., Пономаренко С. І. Використання теорії нечіткої логіки при управлінні проектами розвитку // Науковий вісник Полісся. 2021 № 3 (15). С. 119–126. [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-3\(15\)-119-126](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-3(15)-119-126)
12. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень : навч. посіб. / Т. А. Желдак, Л. С. Коряшкіна, С. А. Ус; за ред. С. А. Ус. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 387 с.
13. Підхід до класифікації об'єктів по зображеннях з IP-відеокамер з використанням теорії нечіткої логіки / С. О. Соболенко, О. Ф. Дубина, І. В. Пулеко, І. С. Григор'єв // Тези XV Міжнар. наук.-техн. конф. («Інформаційно-комп'ютерні технології», 28–29 березня 2025 р.). Житомир : ДУ "Житомирська політехніка", 2025. С. 248–249. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/04/248.pdf> (дата звернення: 18.09.2025).

Стаття надійшла до редакції 26.10.2025.

REFERENCES

1. Patricia, M., Claudia, I., & Juan, R. et al. (2014). Edge-Detection Method for Image Processing Based on Generalized Type-2 Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22 (6), 1515–1525. <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2013.2297159>
2. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR–2016)*. Image Processing and Computer Vision. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>
3. Amza, C. G., Nitoi, D. F., & Enciu, G. (2013). Automatic Image Processing for Welding

Inspection. In *Proc. of the 1st International Conference on Industrial and Manufacturing Technologies (INMAT-13)*. Vouliagmeni, Athens, Greece, May 14–16, 2013. (pp. 153–158). ISSN 2227-4596.

4. Catalin Gheorghe Amza, Dumitru Titi Cicic. (2015). Industrial Image Processing Using Fuzzy-Logic. In *25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation (DAAAM)*. *Procedia Engineering*, 100, 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.404>

5. Fedoniuk, T. P., Pyvovar, P. V., & Topolnytskyi, P. P. et al. (2025). Vykorystannia danykh dystantsiinoho zonduvannia dlia vyznachennia rivnia zabur'ianenosti kukurudzianykh poliv [Utilizing Remote Sensing Data to Ascertain Weed Infestation Levels in Maize Fields]. *Agriculture*, 15 (7), 711. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.1580.v1> [in Ukrainian].

6. Hanhalo, I. M., Lisovyi, D. O., & Zhebka, V. V. (2022). Rozpiznavannia ob'ektiv za dopomohoiu tekhnolohii komp'iuternoho zoru [Object Recognition Using Computer Vision Technologies]. *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii [Telecommunications and information technologies]*, 4 (77), 46–52. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2022.044652> [in Ukrainian].

7. Omelchenko, S. O. (2021). Vykorystannia komp'iuternoho zoru dlia rozpiznavannia obraziv [Using Computer Vision for Pattern Recognition]. In *Hlobalizatsiia naukovykh znan: mizhnarodna spivpratsia ta intehratsiia haluzei nauk : materialy II Mizhnar. student. nauk. konf. [Globalization of Scientific Knowledge: International Cooperation and Integration of Branches of Science: Materials of the II International Student. Scientific. Conf.]*. Vinnytsia, October 22, 2021. (pp. 108–110). Retrieved from <https://openarchive.nure.ua/handle/document/20567> [in Ukrainian].

8. Romancha, A. P., Borysov, D. V., & Podorozhniak, A. O. (2019). Doslidzhennia suchasnykh system kompiuternoho zoru [Research of modern computer vision systems]. In *Problemy informatyzatsii: tezy dopovidei 7th Mizhnar. nauk.-tekhnich. konf. [Problems of Informatization: Abstracts of the Reports of the 7th International Scientific and Technical Conf.]*. Cherkasy, November 13–15, 2019. P. 53 [in Ukrainian].

9. Vakaliuk, T., Dubyna, O. Nikitchuk, T., & Andreiev, O. (2023). Evaluation of the Effectiveness of the Integrated Security System as an Information System. In *Proceedings of the 11th International Conference ("Information Control Systems & Technologies")*. Odesa, September 21–23, 2023. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 3513. (pp. 16–26). Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper02.pdf>

10. Barylo, H. I., Vistak, M. V., & Hotra, Z. Yu. et al. (2017). *Elektronni elementy ta prystroi system bezpeky y okhorony : navch. posib. [Electronic Elements and Devices of Security and Protection Systems: tutorial]*. Chernivtsi [in Ukrainian].

11. Sakhno, E. Y., Moroz, N. V., & Ponomarenko, S. I. (2021). Vykorystannia teorii nechitkoi lohiky pry upravlinni proiektamy rozvytku [Using the Theory of Fuzzy Logic in Managing Development Projects]. *Naukovyi visnyk Polissia [Scientific Bulletin of Polissya]*, 3 (15), 119–126. [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-3\(15\)-119-126](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2018-3(15)-119-126) [in Ukrainian].

12. Zheldak, T. A., Koriashkina, L. S., & Us, S. A. (2020). Nechitki mnozhyny v systemakh upravlinnia ta pryiniattia rishen : navch. posib. [Fuzzy sets in management and decision-making systems: tutorial]. Dnipro [in Ukrainian].

13. Sobolenko, S. O., Dubyna, O. F., Puleko, I. V., & Hryhoriev, I. S. (2025). Pidkhyd do klasyfikatsii ob'ektiv po zobrazhenniakh z IR-videokamer z vykorystanniam teorii nechitkoi lohiky [Approach to Object Classification From Images with an IR Video Camera Using the Theory of Fuzzy Logic]. In *Tezy XV Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. («Informatsiino-komp'iuterni tekhnolohii»)* [Theses of the XV International Scientific and Technical Conference ("Information and Computer Technologies")]. Zhytomyr, March 28–29, 2025. (pp. 248–249). Retrieved from <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/04/248.pdf> [in Ukrainian].

O. F. Dubyna, S. O. Sobolenko, O. V. Andreiev, V. H. Parfeniuk, O. V. Heraymovych
DETERMINING THE REAL RESOLUTION OF DIGITAL IMAGES USING FUZZY LOGIC THEORY

The subject of the study in the work is the CCTV system of integrated object protection system. The approach to assessing the effectiveness of the object protection system, the importance of determining such a digital parameter as resolution. The requirements of the European standard EN 50 132-7 are analyzed to identify, recognize and identify objects on digital images. It is concluded that the designer and the customer must be determined by the purpose of installing each camera (people recognition, identification, detection, observation). When selecting a camera inspection zone, it is necessary to calculate at what parameters of the camera and lens in the area of inspection of the camera will be sufficient density of pixels to complete the task. The designer needs to find the golden middle between the greater pixel density, which allows you to see more details at a smaller viewing angle and a larger width of the camera inspection at a larger viewing angle, which allows to reduce the number of cameras in the project. In many cases, in order to ensure the recognition or identification of people, the designer will need to choose lenses with a large focal length or camera with greater resolution or change the place and height of the camera installation.

The analysis of the factors that influence the quality of the digital image has been carried out. The analysis showed that in order to determine the real resolution of the image and, accordingly, the likelihood of proper classification of objects of video surveillance systems, it is necessary to consider many factors that are in a certain contradiction with each other and this process is not subject to analytical modeling. The main such factors include: distinction, illumination during removal, range to the object, depth of sharpness.

The use of the requirement of the European standard EN 50 132-7 is possible only under the ideal conditions of removal and technical characteristics of video cameras. For video surveillance systems, tasks are characteristic of changing the conditions of shooting (time of day, year, different climatic and weather conditions, considerable distances at depth and width of the protected object). In this case, it is proposed to introduce an algorithm for determining the real resolution of the image of the IP video camera using the theory of fuzzy logic (Fuzzy logic) or fuzzy withdrawal. This algorithm estimates the degree of compliance with the conditions of removal to ideal conditions in which it is possible to apply the standard EN 50 132-7 to classify objects in images.

Keywords: video surveillance; camcorder; resolution; fuzzy logic; digital image.