

Висновки

В роботі наведено існуючі механізми забезпечення відмовостійкості, вибрано РМВ за критерієм мінімальних додаткових часових затрат, вдосконалено алгоритм функціонування обраного механізму. Також розроблено узагальнений підхід до побудови відмовостійких систем опрацювання даних із використанням даного механізму та проведено порівняльний аналіз ймовірності одержання достовірного результату. Проведені дослідження показали, що ефективність РМВ порівняно з двома базовими механізмами забезпечення відмовостійкості на 50–80% є вищою.

1. Ваврук Є., Грицик І. Організація відмовостійкості обчислень в системах опрацювання сигналів // *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції "Комп'ютерні технології: наука та основи"*. – Луцьк: ЛІРоЛ, 2009. – С. 85–88. 2. Ваврук Є. Організація відмовостійкості в системах опрацювання сигналів // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології"*. – 2006. – № 565. – С. 36–43. 3. Laura L. Pullum, *Software Fault Tolerance Techniques and Implementation*, Artech House, 2001. 4. J.C. Laprie, J. Arlat, C. Beounes and K. Kanoun, "Definition and Analysis of Hardware-and-Software Fault-Tolerant Architectures," *IEEE Computer*, vol. 23, no. 7, pp. 39–51, 1990. 5. Koren I., Krishna C.M. *Fault-tolerant systems*. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco-USA, 2007. – P. 399. 6. <http://www.reliability-theory.ru/topics/t3r1part1.html>.

УДК 007;519.7

Г. Дмитрів, *Р. Камінський

Львівський коледж ДУІКТ,

*ПВНЗ Буковинський університет,
кафедра комп'ютерних систем і технологій

ГРАДУЮВАННЯ РОЗПІЗНАВАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕСТОВИХ ОБ'ЄКТІВ УВАГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

© Дмитрів Г., Камінський Р., 2010

Наведено технологію побудови шкали розпізнавальної складності зображень об'єктів уваги, які локалізують на зображеннях-тестах. Технологія ґрунтується на перетвореннях Фур'є, є експериментально підтверджена і може використовуватися для тестового контролю систем розпізнавання візуальної інформації.

Ключові слова: градуювання, зображення, складність, перетворення Фур'є.

The article presents the technology of the scale construction of complexity recognition images of target objects that on Localizing Image-tests. This technology is based on Fourier transform, is experimentally verified and can be used to test control systems of recognition of visual information.

Keywords: calibration, image complexity, Fourier transformation.

Вступ

Розпізнавання образів як один із пріоритетних напрямків розвитку систем штучного інтелекту найбільшою мірою проявляється під час розроблення різноманітних засобів і пристроїв розпізнавання зорових образів. Задачі, які підлягають розпізнаванню, охоплюють майже всю гаму предметних областей, а отримана в результаті розпізнавання інформація переважно є основою для прийняття рішень. Цілком природним є те, що системи та засоби розпізнавання мають значний попит, який значно підвищується в результаті рекламування.

Робочі характеристики систем розпізнавання та їхня вартість є дуже різноманітними, а тому дати відповідь на запитання: чи відповідає ця система конкретній задачі, є дуже складно. Найреальнішим та оптимальним в сенсі розв'язуваної задачі варіантом системи розпізнавання є використання спеціальних тестових зображень, що дає змогу встановити ступінь відповідності цієї системи розпізнавання конкретній задачі чи класу задач. У цьому плані власне ступінь відповідності результатів тестування градаціям розпізнавальної складності зображень-тестів, відображеної відповідною шкалою, відіграє найважливішу роль в оцінюванні можливостей даної системи розпізнавання та порівнювання її з іншими.

Переважно системи розпізнавання розробляють за аналогією зорового сприйняття людиною навколишнього середовища, причому насамперед виділяються регулярності за яскравістю, кольором та формою контуру. Відомо [1, 2], що в головному мозку існують нейрони, які відповідають за сприйняття та виділення контуру. Виділенню контурів об'єктів присвячена величезна кількість публікацій, існує дуже багато алгоритмів та їхніх різноманітних модифікацій. Це свідчить про те, що форма конфігурації контуру об'єкта та її виділення є чи не первинним моментом у процедурі розпізнавання об'єктів уваги заданого класу. В природному середовищі об'єкти уваги є переважно об'ємними і асиметричними. Їхні зображення, надані для розпізнавання, є вже плоскими – двовимірними, причому їхня форма фактично є якоюсь проекцією і може лише віддалено нагадувати цей об'єкт уваги. Очевидно що розпізнавання в цьому випадку є вельми складним і вимагатиме великої бази зображень проекцій цього об'єкта, а у випадку використання нейронних мереж – значного матеріалу та тривалого часу для їхнього навчання. Якщо розглядати такий об'єкт як літак у трьох ортогональних проекціях, то в результаті ми маємо три плоскі зображення, проте навіть незначні зміни кута зору відносно перпендикуляра до положення площин в яких вони знаходяться, значно змінюватимуть пропорції форми контуру цих проекцій, а це може призвести до помилок в розпізнаванні і значних втрат і витрат в дійсності. Тому системи розпізнавання, які мають бути використані навіть для призначених для них задач, а тим більше, для близьких або подібних задач повинні так чи інакше перевірятись на спеціалізованих тестових зображеннях.

Метою роботи є розроблення підходу для створення спеціалізованих тестових зображень з об'єктами уваги, для яких визначено шкалу їхньої розпізнавальної складності, побудована за допомогою градування зміни конфігурації їхніх контурів шляхом перетворення Фур'є.

Особливості тестових зображень

Тестування є однією з найбільш технологічних форм діагностування та проведення контролю функціональних характеристик і якості тестованого об'єкта. Особливістю зображень, які використовують для систем опрацювання зорової інформації як тестових є те, що вони повинні дати дані, за якими можна оцінити: можливості конкретної системи розпізнавання, ефективність алгоритму її роботи, виявити слабкі місця та отримати загальне об'єктивне уявлення про цю систему. Переважно такі зображення є стилізованими (спрощеними) моделями реальних ситуацій, представлених операторові в його робочому середовищі на моніторі. Залежно від задачі вони представляють картини – відображений в сенсорному просторі реальний світ або навколишнє середовище, сцени – окремі фрагменти картин, які підлягають поверхневому або докладному аналізу та об'єкти заданого класу.

Тестові зображення для задач пошуку заданого класу об'єктів на складних тлах можна класифікувати стосовно тла і об'єкта уваги. Основними атрибутами таких тестів є різні види спотворень характеристик елементів цього зображення і можуть відноситися: до об'єктів уваги, до тла або до обох з них одночасно. До них можна віднести такі:

- шуми – присутність на зображенні картини або сцени об'єктів за розмірами, близькими до структурних елементів зображення: зернами емульсії фото- та кіноматеріалів, розмірами елементів стрічки розгортки в телевізійних системах, величиною пікселів цифрового зображення, які за значної інтенсивності значно перешкоджають візуальному сприйняттю;

- завади – присутність суцільних або напівпрозорих об'єктів за розмірами, близькими до великих фрагментів зображень об'єктів уваги або і більших за них, які так чи інакше повністю або частково їх закривають;

- різноманітні спотворення форми об'єкта уваги або елементів тла;
- локальні та загальні спотворення цілої картини або сцени зумовлені слабким або дуже сильним контрастом, низькою чіткістю, розмитістю, змазаністю тощо.

Оскільки тестові зображення є штучними зображеннями – моделями реальних ситуацій, з погляду користувача їх можна класифікувати стосовно спотворень так:

1. Об'єкт і тло є неспотвореними, чіткими, відсутні шуми і завади, а також аберації, змазування, вони мають нормальний контраст, яскравість тощо.

2. Спотворення стосуються лише об'єкта уваги. Це деформація контуру форми, локальні зміни зовнішнього або внутрішнього контурів, локальні масштабні зміни форми порівняно з присутніми іншими об'єктами.

3. Спотворення стосуються тільки тла і полягають в розмитості його елементів, текстурних спотвореннях (в сенсі порушення регулярності чи закономірності в текстурі), локальних контрастах, закритих ділянках (наприклад хмарами, іншими об'єктами) тощо.

4. Об'єкт і тло є спотвореними, тобто на зображенні тесту присутні шум завади, елементи тла і форми об'єкта є дещо видозмінені, масштаби, орієнтація та місцезосташування елементів тла і об'єкта є неприродними.

У загальному випадку, на зображенні локально можуть існувати різного типу спотворення, проте для тестових зображень дуже важливо мати інформацію, де і які типи спотворень присутні і яка їхня інтенсивність – ступінь впливу на результат розпізнавання, існування або знання градацій їхньої інтенсивності. В основу структури тестових зображень для систем розпізнавання покладено той обсяг інформації, який в реальних ситуаціях забезпечує оптимальність прийнятих рішень. Як вказано в [4], інформація, надана тестами, представляє зображення на різних рівнях:

– синтаксичному – пов'язаному з кількісними співвідношеннями пошуку та виявлення заданого об'єкта, а точніше, з фізичною структурою самого зображення;

– семантичному – який стосується впізнання цього об'єкта та створення відповідного до цієї задачі перцептивного образу цього об'єкта для прийняття рішення;

– прагматичному – що відповідає створенню оперативного образу цього об'єкта та його ідентифікації з об'єктами заданого класу і пов'язаному з практичною цінністю вибору рішення.

До структурних належать також фізичні характеристики побудови тесту, а саме: текстура, зображена за допомогою пікселів, зерна фотоемульсії, елементів телевізійного кадру. Це локалізація, масштаб, орієнтація та ступінь спотворення об'єкта уваги, його виразність та ступінь камуфльованості. Окремими структурними характеристиками є шум, який визначається розміром і розподілом елементів шуму та їхньою інтенсивністю, та завади, що тією чи іншою мірою закривають об'єкт уваги. Завадами можуть бути й інші об'єкти уваги.

Важливе значення для розпізнавання об'єктів уваги має структура тла. Практично тло може відігравати і позитивну, і негативну роль в процесі пошуку, впізнання і розпізнавання цього об'єкта системою. Очевидно, що тло повинно максимально відображати реальне середовище, проте в багатьох випадках воно має певним чином відрізнитися для кожного тесту, особливо при їхньому використанні в навчальних людино-машинних розпізнавальних системах та тенажерах, щоб виключити запам'ятовування зображення людиною-оператором. У цьому випадку використовують рандомізацію текстур та стилізовані моделі реального тла, які на всіх тестах цього конкретно орієнтованого набору є статистично однорідними, проте не дуже сильно і випадково різняться між собою і виключають можливість їхнього запам'ятовування спостерігачем.

Враховуючи, що і об'єкт, і тло можуть відрізнитися від свого істинного вигляду, тестові зображення можна класифікувати так:

- тло і об'єкт є неспотвореними, контраст, передача кольору відповідають реальним, у реальному середовищі відсутні: пил, сніг, дощ – відповідники імпульсного шуму, а також інші об'єкти, які перешкоджають впізнанню або частково закривають об'єкт уваги;

- тло покрите повністю або локально імпульсним шумом та різної величини, типу і конфігурації завадами, проте об'єкт уваги є «чистим» і може бути розпізнаним;

- тло є неспотвореним шумом і завадами, але об'єкт має спотворену форму, наприклад, шляхом усунення певних гармонічних складових при його перетворенні Фур'є або в будь-який інший спосіб, об'єкт також може бути спотворений локальним шумом в невеликому околі тла;
- тло і об'єкт є спотворені шумом, завадами, можливо, і втратами гармонічних складових за рахунок проходження каналами зв'язку.

У роботі розглядаються тестові зображення в бінарному представленні, проте сказане вище стосується і півтонових та кольорових зображень. Згадану вище класифікацію ситуацій тестових зображень, залежно від локалізації спотворень, демонструють фрагменти, подані на рис. 1.

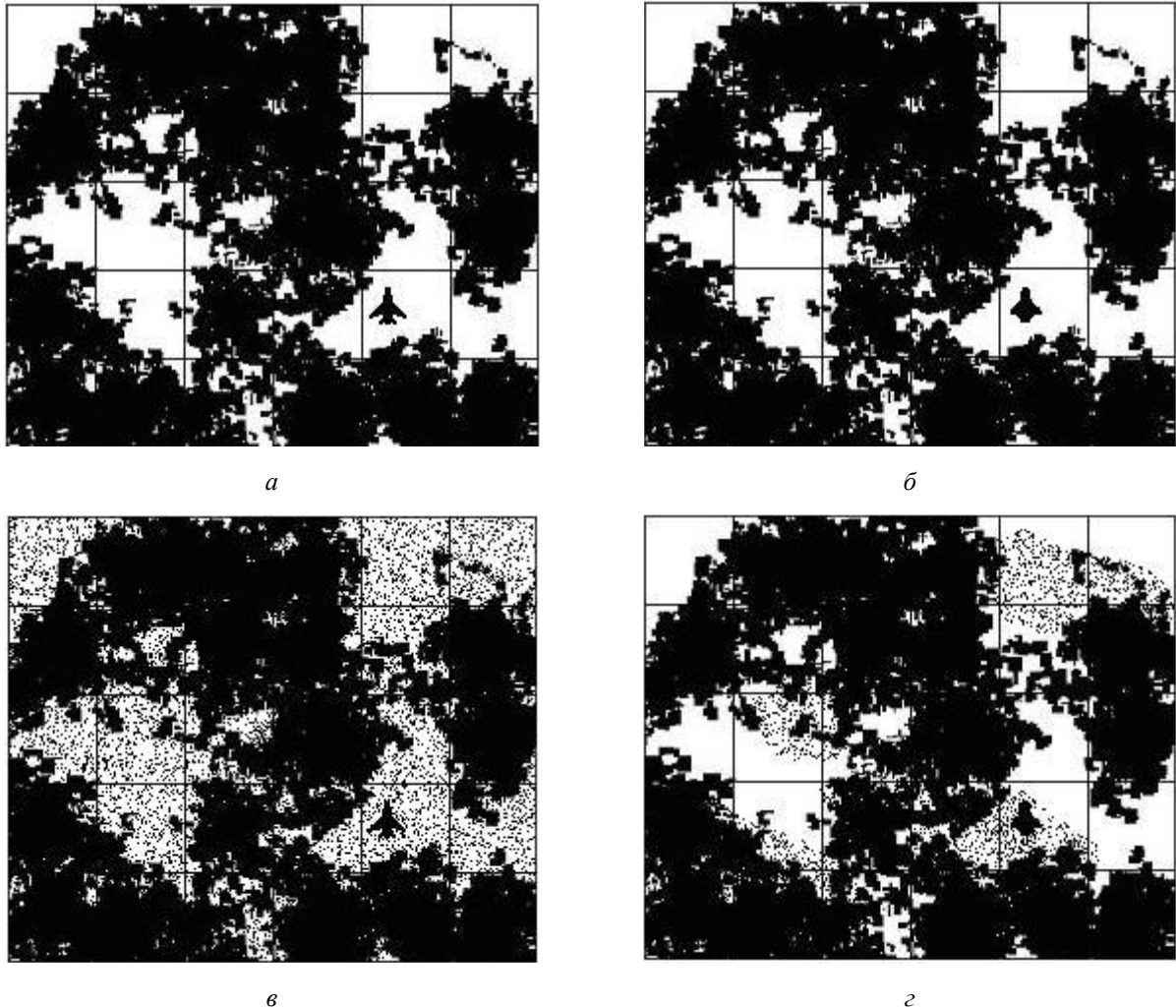


Рис. 1. Зразки зображень тестів для деякого гіпотетичного завдання

Вимоги до тестових зображень

Основною задачею інтелектуалізації систем обробки та опрацювання інформації, зокрема представленої на моніторах у вигляді зображень, є пошук та розпізнавання на них зображень об'єктів заданого класу, які переважно є локалізовані на складному тлі. Адекватність розв'язку поставленої задачі, отриманого системою розпізнавання, можна перевірити лише відповідним тестуванням. Для цього необхідно мати стосовно принаймні основних розв'язуваних задач ефективну систему тестового оцінювання. Іншими словами, необхідно перевіряти роботу системи розпізнавання на відповідних тестових зображеннях [3].

Тестове зображення в сенсі отримання потрібних даних фактично є метрологічним засобом і в цьому плані повинне відповідати певним вимогам. До першої групи належать загальні вимоги, а саме якість і валідність змісту в межах поставленої перед системою задачі, надійність результатів

тестування, до другої – забезпечення використання ефективних методів обробки та аналізу даних тестування з врахуванням різних похибок тестування.

Тестові зображення для оцінювання операторського персоналу в людино-машинних системах розпізнавання зорових образів, крім реалізації технології автоматизованого контролю, одночасно є і засобом діагностики його підготовленості. Діагностичний аспект тестових зображень можна вважати засобом для точного визначення результатів підготовки персоналу або його кваліфікаційного рівня. В цьому плані під задачами діагностування розуміють визначення стану діагностованого об'єкта з погляду покладених на нього функцій. Тому система тестового діагностування в сенсі автоматичного і автоматизованого розпізнавання візуальної інформації – зображень реальних робочих ситуацій, наданих на моніторі, повинна забезпечити:

- фіксацію відмінностей в отриманих індивідуальних результатах спостереження зображення картини, сцени, фрагмента в процесі пошуку, виявлення та ідентифікації заданого об'єкта;
- максимальну точність реєстрації показників тестування;
- оперативність та ймовірність прийняття правильного рішення.

Тому основними проблемами використання технологій тестування вважають: дотримання якості і валідності семантики тестового зображення, забезпечення високої надійності тестового контролю та усунення недоліків в обробці результатів тестування методами класичної теорії тестів.

Використовуване тестове забезпечення вважається валідним лише в тому випадку, якщо між результатами тестування і реальним станом справ у цій ситуації виникає додатний зв'язок, і до того ж достатньо тісний. Не менш важливим аспектом оцінки якості тестування є його надійність, тобто точність і повторюваність здійснених вимірювань. Фактично надійність визначає, чи можна цей засіб тестування використовувати як вимірювальний засіб. Важливою характеристикою для методики тестування є також об'єктивність, яка характеризує ступінь незалежності результатів вимірювання від того, хто проводить тестування. Результати тестування вважають об'єктивними, якщо вони не залежать від того, хто тестує, а методи обробки та інтерпретація є строго обґрунтованими і аргументованими [4].

З цього погляду, система тестового оцінювання повинна відповідати кваліметричному забезпеченню і порівняно з традиційними методами діагностики вона має відповідати таким вимогам: об'єктивності, оперативності, а також її результати повинні зіставлятись з конкретними вимірювальними шкалами. Основою кваліметричного підходу є наявність відповідних стандартів, сучасних підходів та ефективних методів обробки та інтерпретації отриманих результатів.

Перетворення Фур'є в контексті певної задачі

Змінити форму об'єкта, зокрема бінарного можна в різний спосіб, проте для тестового зображення ця зміна повинна бути строго контрольованою або регульованою якимсь певним параметром. Очевидно, що його значення мають визначати характер цієї зміни і водночас бути для неї певною оцінкою.

Внутрішню структуру будь-якого зображення можна подати спектральними складовими, які на практиці найчастіше визначають за допомогою перетворення Фур'є. Його зміст, властивості, область застосування відображені в численних публікаціях математичного та технічного напрямків, проте в сенсі цієї постановки задачі його можливості найповніше представлені в [5]. У [6] за допомогою перетворення Фур'є, досліджують зміни просторово-частотного спектра тестового зображення щодо збереження елементів цих зображень у короткочасній пам'яті зорової системи людини. Тут використали традиційне для психологічних експериментів тестове зображення натурної сцени – інтер'єру кімнати з розмірами 11×11 см (в електронному вигляді 512×512 пікселів), які мали градації 45, 65, 85, 125, 145 цикл/град, вибір і обґрунтування яких не наведено. У [7] для оцінювання складності зорових зображень використано перетворення Фур'є 15 китайських ієрогліфів, які дуже відрізнялися між собою кількістю елементів і спектральним складом. Розмір вікна перевищував розмір ієрогліфів в 1,5 раза. Показано, що складність таких графічних зображень визначається і кількістю ліній, і спектральним складом.

У цій роботі для зміни конфігурації форми контуру зображення об'єкта уваги для вилучення високочастотних складових також використано перетворення Фур'є. Для отримання градацій

поступової зміни конфігурації форми контуру як характеристику цієї зміни використано параметр s . Зміст цього параметра полягає в тому, що для дискретного двовимірного перетворення Фур'є матриця відліків для перетвореного зображення має вигляд

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} F(j, k) \exp\left\{-\frac{2\pi i}{N}(uj + vk)\right\},$$

а для відновленого (після застосування оберненого перетворення) є такою

$$f(j, k) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp\left\{\frac{2\pi i}{N}(uj + vk)\right\},$$

де $j, k = 0, 1, \dots, N-1$ – визначають масив відліків зображення оригіналу, $u, v = 0, 1, \dots, N-1$ – відповідно масив відліків перетвореного зображення, а $i = \sqrt{-1}$.

Якщо переписати останнє співвідношення у формі [5], приведений для інтерпретації спотворення форми зображення в результаті втрати спектральних складових

$$f(j, k) = \lim_{\substack{U_T \rightarrow (N+1)/2 \\ V_T \rightarrow (N+1)/2}} \left[\frac{1}{N} \sum_u \sum_v F(u, v) \exp\left\{\frac{2\pi i}{N}(uj + vk)\right\} \right]_{u, v \in S(U_T, V_T)},$$

приймавши, що $u, v \in S(U_T, V_T)$, де $S(U_T, V_T)$ є низькочастотною областю частотної площини, яка на рис. 2 затінена, для невеликих за розмірами зображень об'єктів і порівняно невеликих розмірів N величина в квадратних дужках буде доволі сильно відрізнятися від $f(j, k)$, якщо U_T і V_T є значно меншими від своїх верхніх границь. Іншими словами, зменшення площі затінених областей призводить до зміни форми за рахунок втрати високочастотних гармонічних складових, які власне і визначають конфігурацію контуру об'єкта уваги.

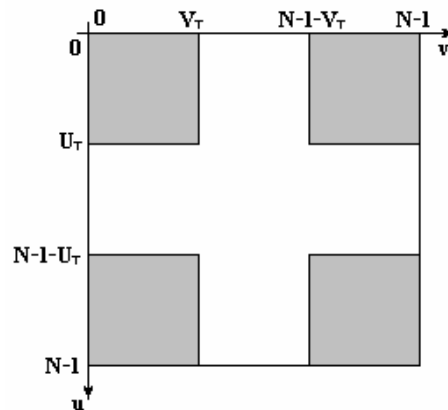


Рис. 2. До інтерпретації параметра s

Загалом суть алгоритму зміни конфігурації форми тестового зображення та визначення відстані між оригінальним зображенням об'єкта уваги і його перетвореннями Фур'є можна викласти так:

- пряме перетворення Фур'є в межах вікна;
- вилучення високочастотних гармонічних складових відповідно до параметра s ;
- обернене перетворення Фур'є у межах цього самого вікна для гармонічних складових, що залишились;
 - виведення зображення в новому вікні, тобто у вікні того самого розміру, але зміщеному в полі екрана;
 - визначення відстані між оригінальним і перетвореним зображеннями шляхом сканування обох зображень.

Параметр s є фактично низькочастотною областю частотної площини. За великих значень s ця область є значною і містить також і високочастотні складові. Зменшення величини s фактично

означає вилучення зі спектра високочастотних гармонік і для побудови зображення використовуються лише низькочастотні, що в результаті дає дуже грубу апроксимацію форми. Для малих значень існує певне порогове значення s , за якого форма перетвореного об'єкта вироджується, і об'єкт практично вже не можна ідентифікувати. Якщо $s=1$, то в області відсутні гармонічні складові, для $s=2$ маємо лише дві гармонічні складові: горизонтальну і вертикальну, які утворюють коло для об'єкта з прямокутною областю покриття, близькою до квадрата і еліпс – для видовженого об'єкта.

Експериментальне обґрунтування можливості побудови шкали зміни форми

Задачею експериментального дослідження є знаходження аналітичної залежності між показником форми перетвореного зображення об'єкта і параметром перетворення s . Як такий об'єкт використано малорозмірне в сенсі [8] бінарне зображення стилізованого літака, розміри якого в пікселях становлять: мінімальна область покриття 48×48 , площа 702, периметр, визначений за сторонами крайніх пікселів, – 264.

За рекомендацією, наведеною в [7], для розміру $N \times N$ вікна Фур'є-перетворення випробувано такі значення $N = 64, 80, 128$ пікселів. Оскільки час перетворення в цьому випадку є нелімітованим, а область зображення об'єкта, над яким здійснюють перетворення, є невеликою, в експериментальних дослідженнях дискретне перетворення Фур'є можна реалізувати безпосередньо, не застосовуючи алгоритмів швидкого перетворення Фур'є.

Практичне використання перетворення Фур'є цього об'єкта, з розміром вікна $N=80$, за поступової зміни параметра s дало градації зміни конфігурації форми зображення, відображені на рис. 2. Числа під зображеннями відповідають величині параметра s .

Відсутні на рис. 3. результати для значень 29, 28, 27, 25, 23 і 21 параметра s пов'язані з дуже незначною відмінністю, оскільки у зв'язку з дискретністю і малим розміром вікна числові значення заокруглюються, а це означає, що спектральні складові, які не дуже відрізняються між собою, відображаються на екрані однаково.

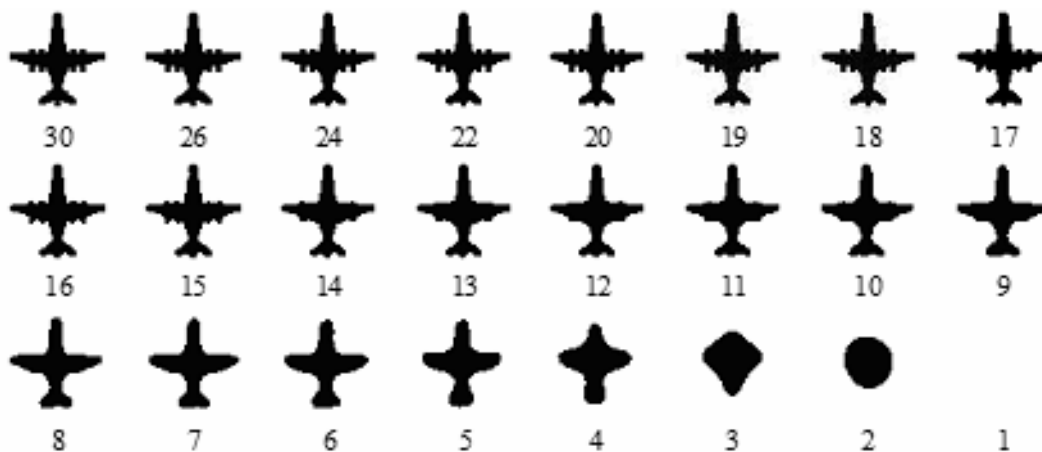


Рис. 3. Зміна форми об'єкта залежно від значення параметра s

Кількісне представлення відмінності між зображеннями об'єкта-оригіналу і об'єкта-перетвореного можна отримати за допомогою визначення відстані між ними. У цьому випадку, оскільки перетворене зображення будується в тому самому вікні з тих спектральних складових, що залишились, геометричні центри обох зображень збігатимуться. При зіставленні цих зображень, наприклад, накладаючи одне на друге, сумістивши їхні центри, визначення кількості пікселів, що не збігаються для обох зображень об'єктів, відповідає визначенню відстані Геммінга між ними, тобто існує конкретна метрика.

Відстань Геммінга відповідає основним метрологічним вимогам, а саме аксіомам метрології і використовується для виявлення відмінностей між об'єктами однакової розмірності, які представлені бінарними векторами, тобто оперує бінарними змінними 0 і 1.

Для двох об'єктів X_i і X_j відстань Геммінга задається функцією

$$d_H(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^p |x_i^{(k)} - x_j^{(k)}|,$$

значення якої вказує на число незбігів відповідних елементів, у цьому випадку пікселів у розглядуваних об'єктах.

Для практичного визначення відстані між цими двома зображеннями об'єктів після прямого перетворення Фур'є зображення-оригіналу, представленого в одному вікні, відновлене в результаті оберненого перетворення зображення об'єкта формується у другому вікні того ж самого розміру, що й для прямого, але зміщеному в межах екрана, наприклад, вздовж однієї з координат. Положення центрів обох зображень відносно вікон залишається однаковим, оскільки збігаються за однією координатою і пропорційно рознесені за іншою. Скануючи обидва вікна і перевіряючи істинність предикату

$$\text{IF POINT}(x, y) = \text{POINT}(x, y + d) \text{ THEN } n = n + 0 \text{ ELSE } n = n + 1,$$

отримуємо кількісне значення відстані – відмінності між зображеннями об'єктів, виражене числом n . Величина d визначає відстань між вікнами, а отже, і центрами зображень об'єктів.

У результаті експериментальних досліджень над об'єктами з різною конфігурацією форми отримано залежності виду $n = f(s)$, причому практично всі вони мали характер, зображений на рис. 4.

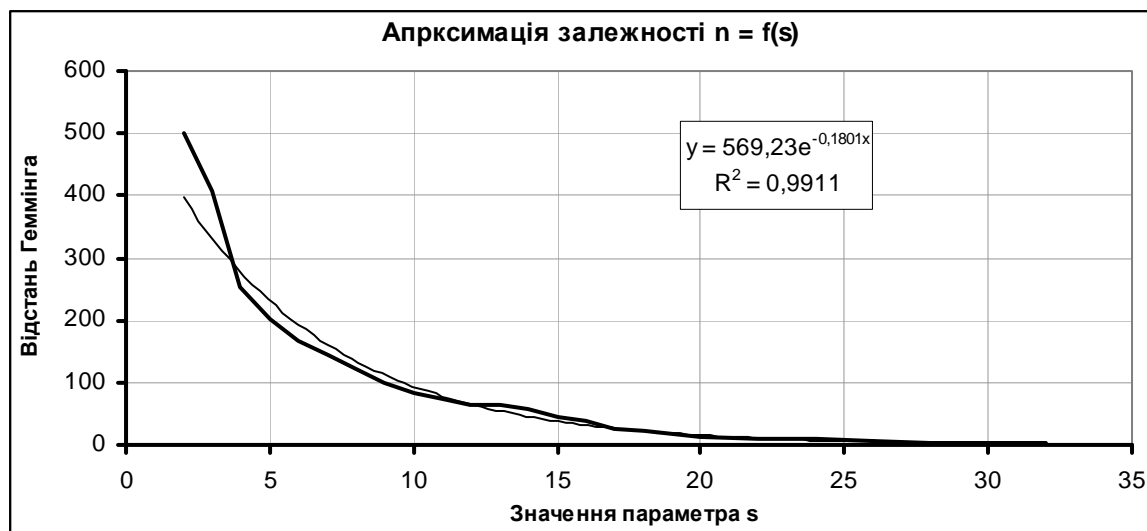


Рис. 4. Результат апроксимації залежності $n = f(s)$: товста ламана лінія – емпіричні дані, тонка гладка лінія – апроксимуюча функція

Відмінність між ними полягала лише в значеннях відстані Геммінга, що насамперед пов'язано з розмірами самих зображень та конфігурацією їхньої форми. Приведена для об'єкта, зображеного на рис. 3, крива є вельми нелінійною і має дуже сильно виражений гіперболічний характер.

Апроксимація отриманої залежності

Можна вказати на два загальні підходи щодо вибору аналітичного виразу для апроксимуючої функції. Перший з них полягає в дослідженні і аналізі динаміки розглядуваного явища і прийнятті як апроксимуючої функції, що є розв'язком диференціального рівняння, яким описують цю динаміку. Така функція фактично представляє закон зміни показника і найбільше відповідає цьому явищу.

У другому – емпіричному – випадку апроксимуючу функцію вибирають на підставі її графічного представлення, порівнюючи її графік з відомими аналітичними залежностями. В графічному вигляді задача підбору апроксимуючої функції $y = f(x)$ означає побудову такої кривої, яка проходить через експериментально визначені точки відповідно до визначеного критерію апроксимації. Очевидно, що в цьому плані задача підбору функції має безліч розв'язків і тим самим

є невизначеною. Як критерій апроксимації використовують: значення коефіцієнта кореляції та його квадрата, суми квадратів відхилень або значення максимального відхилення між експериментальними точками і відповідними їм точками, визначеними з апроксимуючої функції.

Точність підбору апроксимуючої функції, як правило, оцінюють за максимальним відхиленням, коефіцієнтом кореляції чи його квадратом.

До аналітичних виразів апроксимуючих функцій висувають такі вимоги:

- вони мають забезпечити точний опис змін в характері поведінки вимірюваного показника;
- бути неперервними, щоб надати можливість визначення значення показника для будь-якого значення аргументу;
- не допустити від'ємних значень показника за рахунок властивості апроксимуючої функції, тобто за будь-яких допустимих значень аргументу значення функції мають бути додатні.

Отриману залежність для цього зображення об'єкта апроксимовано засобами табличного процесора MS Excel 2003. Результати апроксимації наведено в таблиці.

	Апроксимація залежності	Аналітична форма	Якість апроксимації
1	Логарифмічна	$n = -161.77 \ln(s) + 499.01$	$R^2 = 0.8799$
2	Експоненціальна	$n = 569.23 \exp(-0.1801s)$	$R^2 = 0.9911$
3	Поліноміальна	$n = 0.0053s^4 - 0.4192s^3 + 11.974s^2 - 148.83s + 729.4$	$R^2 = 0.9789$

Використані три аналітичних вирази дають найбільші значення показника якості апроксимації, суть якого квадрат коефіцієнта кореляції між оригінальними даними та апроксимованими. На рис.4 зображено графік апроксимації експоненціальною залежністю.

Використання цієї залежності безпосередньо для градування зміни форми зображення об'єкта є некоректним, оскільки неможливо вказати тип шкали.

Вибір шкали розпізнавальної складності форми об'єкта

Практично будь-яка шкала, яка використовується як вимірювальний засіб, має мати відповідне обґрунтування.

Поняття шкали. Процес або процедура вимірювання є прикладом емпіричного пізнання, в якому переважають органи відчуття і який передбачає наявність об'єкта вимірювання і деяку шкалу, за допомогою якої і відбувається вимірювання. Загалом під вимірюванням розуміють конструювання будь-якої функції, яка ізоморфно відображає емпіричну структуру – числову або символічну.

Присутність у тестувальній методиці певної шкали забезпечує їй статус вимірювального засобу. Сама дія вимірювання деякої фіксованої якості певного об'єкта є процедурою, яка вказує для кожної градації якості, властивій вимірюваному об'єкту, відповідну позначку вимірювальної шкали [9]. Поняття вимірювальної шкали, наведене в [10] щодо її означення, виділяє найістотніші моменти, які покладено в основу процедури вимірювання. Припускають, що на множині емпіричних об'єктів, які підлягають вимірюванню, завжди існує певна структура, а тому природно вважати, що основною задачею вимірювання є пошук ізоморфної до неї числової структури. Отже, множина різноманітних вимірювальних процедур фактично є множиною відповідних процедур побудов шкал, тобто процедур шкалювання, а знайдена відповідна до існуючої емпіричної структури числова структура називається шкалою. Отже, шкала є результатом числового представлення емпіричної структури, причому емпірична структура та її шкала є ізоморфними. У загальному розумінні шкалювання – це сукупність експериментальних і математичних прийомів і методів для вимірювання особливостей і характеристик об'єктів, процесів, станів, в основу яких покладено зіставлення об'єкта вимірювання з тим або іншим елементом (позначкою) відповідної шкали.

У [11] дано класичне визначення шкали: якщо A – емпірична система з відношеннями, R – повна числова система з відношеннями, f – функція, що гомоморфно відображає A в підсистему

R , тоді шкалою є впорядкована трійка $\langle A; R; f \rangle$ за умови, що в них немає двох різних об'єктів з однаковою мірою. Тут множина A є сукупністю властивостей вимірюваних об'єктів із системою відношень, визначеною на цій множині. Відображення f – це правило приписування кожному об'єкту певного числа.

Сьогодні це визначення шкали уточнене [12] за рахунок введення групи допустимих перетворень G , у зв'язку з чим шкалу представляє четвірка $\langle A; R; f; G \rangle$. Крім того, приймають, що множина A є не тільки числовою системою, а будь-якою формальною знаковою системою, яку можна поставити у відношення гомоморфізму з емпіричною системою. Вважають, що група G представляє внутрішню характеристику, а функція f вказує лише на конкретну ситуацію вимірювання.

Існують різні типи шкал, серед яких найпоширенішими є такі: номінальна або найменувань, порядку, інтервалів та відношень. З питанням стосовно типу шкали безпосередньо пов'язана проблема адекватності або коректності вибору методів математичної обробки результатів вимірювань.

Отримані експериментальні дані мають значний діапазон і нелінійну залежність, а тому найвідповіднішою для них мала б бути шкала відношень.

Особливості шкали відношень. Шкала відношень (пропорційна шкала), володіючи усіма властивостями інших шкал, допускає множення шкальних значень на константу, тобто перетворення подібності. Шкала відношень має нульову точку, яка вказує на повну відсутність вимірюваної якості.

У шкалі відношень можна реалізувати операції множення і ділення, які дадуть змогу подолати пороги, властиві шкалі інтервалів (пороги – це фіксовані межі інтервалів, зокрема нижнього порогу, тобто мінімального значення між поділками – ціни поділки, що визначають точність шкали; з точністю, меншою за ціну поділки, вимірювання є некоректним).

Як новий елемент шкали тут можна зазначити будь-яку як завгодно малу частину або як завгодно велике ціле будь-якого елемента шкали. Елементи такої шкали вже не можуть бути реалізовані фізично – у вигляді деякої лінійки чи лімбу, оскільки шкали відношень вже не мають нижнього і верхнього порогу, а лише вказують на відношення. Цей тип шкали визначається абстрактними математичними структурами, які більш-менш адекватно проявляють себе у відношеннях матеріальних об'єктів.

Шкала відношень належить до класу кількісних шкал. Вона має природний початок відліку – нуль, що означає відсутність величини, але не має природної одиниці вимірювання. Вона допускає лише перетворення подібності у вигляді зміни масштабу, тобто лінійні зростаючі перетворення без вільного члена.

Крім процедур безпосереднього вимірювання, активно використовуються різні непрямі вимірювання, суть яких полягає в тому, що спочатку визначають вид взаємозв'язку між величинами x і y , а потім, знайшовши функціональну залежність $y = f(x)$, між ними знаходять значення x за допомогою значення функції $f(x)$.

Логарифмічна шкала. Одним з підходів щодо представлення даних з великим діапазоном значень є їхнє логарифмування з тією чи іншою основою. Логарифмування перетворює «скошені» (асиметричні) дані на більш симетричні, оскільки відбувається «розтягування» шкали біля нуля, малі значення, згруповані разом, розподіляються вздовж шкали. Водночас логарифмування збирає разом більші значення на правому кінці шкали. Найчастіше застосовують десяткові та натуральні алгоритми. Однаковим відстаням на логарифмічній шкалі відповідають на вихідній шкалі однакові процентні збільшення, а неоднаковим збільшенням значень, тобто таким, що протягом всієї шкали дорівнюють графічним інтервалам, відповідають різні числові інтервали, але однакові відношення числових значень.

Для шкали з логарифмічним масштабом довжина відрізка шкали пропорційна логарифму відношення величин, зазначених на його кінцях, тоді як для шкали з лінійним масштабом довжина відрізка пропорційна різниці величин на його кінцях.

Логарифмічну шкалу використовують для відображення дуже великих діапазонів і нерівномірних розкидів значень величин. Крім того, для органів відчуття величина відчуття пропорційна логарифму дії.

Побудова графіка з логарифмічною шкалою означає, що на обох осях однаковим відрізкам відповідають однакові відносні прирости показника, тобто рух вздовж шкали на рівні відстані змінює величину в однакове число разів.

Доволі часто використовують напівлогарифмічні шкали (semi-logarithmic scaling), коли одну вісь графіка представлено лінійною шкалою, а другу – логарифмічною.

Логарифмування отриманих даних і представлення такої залежності у напівлогарифмічній шкалі призвело до лінеаризації залежності $n = f(s)$, як це зображено на рис. 5, де наведено графік даних, отриманих саме в такій шкалі.

У результаті лінеаризації отримані дані представлені функцією

$$\ln(n) = kx + b.$$

Для зображення цього об'єкта параметри лінії мають такі значення: $k = -0.1801$, $b = 6.3443$.

Величини y і x відповідно дорівнюють $y = \ln(n)$, а $x = s$. Тобто, маємо таку модель

$$\ln(n) = k \cdot s + b \quad (1)$$

Якість апроксимації, визначена тут квадратом коефіцієнта кореляції, становить 0.9902, тобто сам коефіцієнт кореляції між моделлю і даними дорівнює $r = 0.995$, що свідчить про вельми тісний між ними зв'язок.

Отже, за рівнянням шляхом потенціювання співвідношення (1) отримуємо залежність $n = f(s)$ у такій формі

$$n = \exp(k \cdot s + b), \quad (2)$$

з такими значеннями параметрів: $k = -0.26153$ і $b = 6.774332$, визначеними числовим методом.

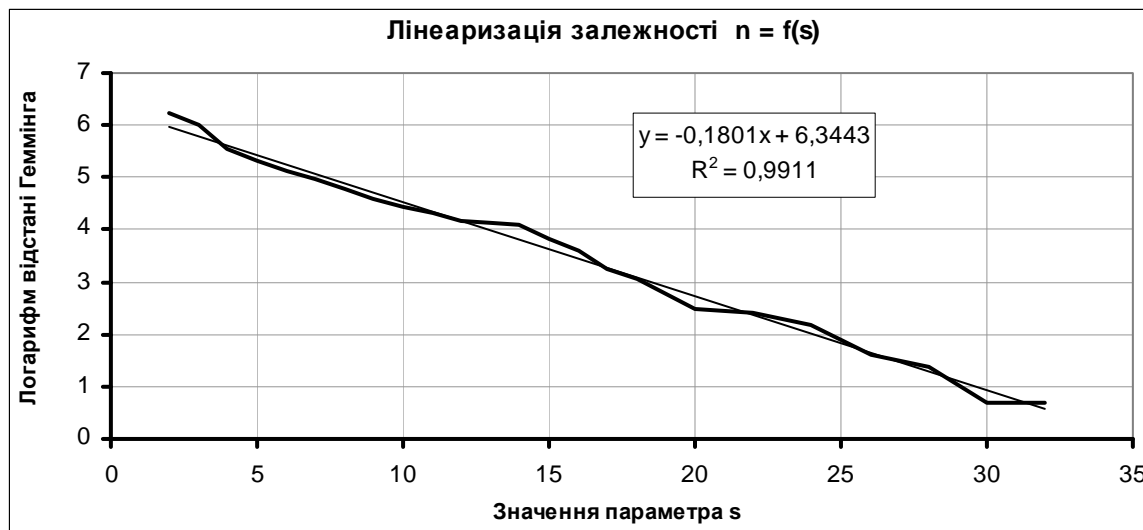


Рис. 5. Представлення даних у напівлогарифмічній шкалі:
 товста лінія – логарифм натуральний значень емпіричних даних,
 тонка лінія – апроксимуюча функція

Ступінь адекватності, як і в першому випадку, визначена за значенням квадрата коефіцієнта кореляції і становить $R^2 = 0.9871$.

Висновки

Розроблено методологію, а точніше – технологію створення тестових зображень для систем розпізнавання та опрацювання візуальної інформації, представленої на моніторі у вигляді зображень реальних ситуацій з метою виявлення малорозмірних зображень об'єктів заданого класу та їхньої ідентифікації. У результаті теоретико-методологічного аналізу існуючих підходів до побудови тестових вимірювачів та експериментального дослідження виділено такі основні моменти та особливості цієї технології.

Тестові зображення необхідно будувати, дотримуючись усіх тих принципів і вимог, які ставлять до тестів, проте, на відміну від традиційного підходу, такі тести-зображення відрізняються тим, що вони повинні використовуватись лише в повному наборі, розмір якого визначається кількістю вибраних для тестування градацій шкали розпізнавальної складності. Другою особливістю використання таких тестів є те, що для автоматизованих систем розпізнавання кожне зображення з такого набору повинно бути випадковим чином локалізоване серед значної за кількістю послідовності нейтральних, а практично звичайних робочих зображень для виключення запам'ятовування тестів-зображень людиною-оператором.

Перетворення Фур'є для малорозмірних зображень об'єктів уваги можна використати без задіяння швидких алгоритмів і в малому, достатньо вдвічі більшому за об'єкт вікні, що спрощує саму процедуру, проте невеликий розмір вікна і його дискретність значно зменшують кількість спектральних складових, а тому за оберненого перетворення можуть мати місце спотворення і артефакти, оскільки близькі за числовими значеннями складові будуть візуально сприйматися однаковими. Крім того, за невеликих значень параметра кількість для відновлення спектральних складових є малою.

Експериментально отримана вельми нелінійна залежність величини відстані Геммінга від значення параметра після логарифмування цих значень стає практично лінійною, і її можна використати для градування зміни конфігурації форми малорозмірного зображення об'єкта уваги. Теоретичний аналіз методів і принципів побудови метрологічних засобів і зокрема шкал дає підстави вважати правомірною побудову шкали градацій зміни конфігурації форми контуру зображення об'єкта, які в принципі можна розглядати як градації його розпізнавальної складності.

У загальному розроблена технологія передбачає максимально реалістичне відтворення в тестових зображеннях робочих ситуацій і може з успіхом бути використана для розроблення сценаріїв у відповідних тренажерних системах підготовки операторського персоналу, проведення заходів атестації та професійного відбору. У випадках конкретно визначених задач, коли система автоматично опрацьовує зображення, для визначення її ефективності достатньо лише відповідного набору тестових зображень.

1. Зінченко Т.П. *Опознавание и кодирование*. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 183 с. 2. Грановская Р.М., Березная И.Я., Григорьева А.Н. *Восприятие и признаки формы*. – М.: Наука, 1981. – 208 с. 3. Magnusson D. *Wprowadzenie do teorii testov*. – PWP, Warszawa, 1981. – 436 s. 4. Вифанский Ю.К., Зорина А.А. *Тесты для характеристики систем передачи и воспроизведения изображений // Оптико-механическая промышленность*, 1992. – № 2. – С. 21–26. 5. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений*. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с. 6. Меркульев А.В., Чихман В.Н., Шелепин Ю.Е. *Исследование кратковременной памяти человека методами цифровой обработки изображений // Оптический журнал*. – 2001. – № 5. – Т. 68.– С. 36–42. 7. Бондарко В.М., Голузина А.Г., Данилова М.В., Чихман В.Н., Шелепин Ю.Е. *Оценка сложности зрительных изображений // Сенсорные системы*. – 2003. – том 17. – № 2. – С. 83–90. 8. Камінський Р.М. *Властивості та характеристики малорозмірних об'єктів у тестових зображеннях систем розпізнавання та обробки зорових образів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології»*. – 2003. – № 496. – С. 153–162. 9. Хованов Н.В. *Математические основы теории шкал измерения качества*. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1982. – 188 с. 10. Логвиненко А.Д. *Измерения в психологии: Математические основы*. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 480 с. 11. Суппес П., Зинес Дж. *Основы теории измерений. Психологические измерения*. – М.: Мир, 1967. – С. 9–110. 12. Клевцова А.А. *Шкалы измерения*. – Интернет-публікація, <http://www.statanalyse.org/articles/15-shkaly>.