

УДК 004.932

В.П. Богдан

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІДЕОДАНИХ. КОНТУРНИЙ АНАЛІЗ – ВИД КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

*Визначено ряд можливостей інтелектуальних систем відеоспостереження щодо застосування їх для виконання поставлених завдань у сфері діяльності ОВС України; описано теоретичні основи контурного аналізу як виду комп'ютерної обробки зображень та аспекти його практичного застосування для розпізнавання зображень.*

**Ключові слова:** відеоспостереження, розпізнавання, контурний аналіз

*Определён ряд возможностей интеллектуальных систем видеонаблюдения в части применения их для выполнения поставленных задач в сфере деятельности ОВД Украины; описаны теоретические основы контурного анализа как вида компьютерной обработки изображений и аспекты его практического применения для распознавания изображений.*

**Ключевые слова:** видеонаблюдение, распознавание, контурный анализ.

*A number of possibilities of intelligent video surveillance systems regarding their application for the performance of tasks in the field of the law-enforcement activities in Ukraine is defined; theoretical bases of the planimetric analysis as a kind of computer processing of images as well as the aspects of its practical application for the recognition of images are described.*

**Keywords:** video surveillance, recognition, planimetric analysis.

Автори сучасних досліджень пропонують застосовувати функцію **розпізнавання облич** у ноутбуках і мобільних апаратах. “Упізнавати” користувача пристрій буде за допомогою **камери** на передній панелі; при цьому ідентифікаторами можуть слугувати очі, кінчик носа і рота, а також тон шкіри.

Одна з особливостей проекту полягає в тому, що апарат буде готовий до “впізнавання” постійно – навіть у тому випадку, якщо екран погашений, – тому особливе значення в патенті надається мінімізації навантаження на ресурси пристрою.

Передбачається, що апарат може зберігати в пам'яті обличчя **кількох користувачів** – наприклад, членів однієї сім'ї або співробітників одного відділу. Кожна людина має індивідуальний набір програм і налаштувань, що завантажуються після того, як пристрій його “впізнав”.

Технологія розпізнавання **облич** вже застосовується в деяких апаратах, позбавляючи користувача від необхідності вводити пароль. Одним з таких апаратів став представлений в жовтні минулого року **Galaxy Nexus**. Судячи з відгуків, функція працює не без помилок – пристрій може переплутати користувачів або пустити всередину чужу людину, яка має зображення справжнього господаря пристрою.

1 хв. 30 сек. – стільки часу знадобиться громадянам в недалекому майбутньому для проходження паспортного контролю в аеропортах, або 40 осіб на годину на кожну кабінку прикордонника. Це майбутнє настане після того, як у приміщеннях повітряних воріт країн запрацює новітня автоматизована система паспортного контролю.

## ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ В ОВС УКРАЇНИ

### Загальні відомості

Протягом 2010–2011 років співробітниками ДНДІ МВС України була виконана науково-дослідна робота “Загально-технічні вимоги до цифрового апаратно-програмного комплексу чергової частини ОВС України”. Ці вимоги є актуальними при створенні цифрового апаратно-програмного комплексу (надалі ЦАПК) чергової частини щодо забезпечення дієвого контролю за своєчасністю реагування працівників ОВС на повідомлення громадян про вчинені злочини та події, розкриття злочинів по “гарячих слідах”, підняття іміджу міліції, недопущення фактів приховання злочинів із боку посадових осіб чергових частин.

ЦАПК чергової частини ОВС запроваджується з метою створення сучасного робочого місця оперативного чергового, злагоджених та чітких його дій, забезпечення ефективного, оперативного та дієвого керування підрозділами ОВС.

Для ефективного функціонування ОВС України взагалі ЦАПК запроваджується в чергових частинах ГУ-УМВС та міськрайліноорганах. ЦАПК являє собою набір окремих систем, які можуть працювати незалежно одна від одної. До складу кожної із систем входять окремі складові частини.

Одна із систем, суть якої розглядається, – система розпізнавання.

Сучасний рівень розвитку технологій, які використовують засоби штучного інтелекту для розпізнавання образів, робить можливим їх застосування органами МВС України для вирішення завдань, що покладаються на систему відеоспостереження. До числа таких завдань належать:

- автоматична ідентифікація особи за біометричними параметрами особи;
- ідентифікація транспортного засобу за його зображенням та державним реєстраційним знаком;
- розпізнавання підозрілих ситуацій (маневрування автомобіля, що не відповідає встановленим правилам в даному місці, бійка і т. ін.);
- поява сторонніх предметів та осіб в заборонених місцях;
- розпізнавання задимлення і загоряння за відеозображенням.

Ключовим фактором, що обумовлює високу ефективність системи відеоспостереження, у якій застосовуються засоби інтелектуального аналізу відеоданих, є попередня обробка інформації, що надходить на екран оператора системи. Оператор отримує повідомлення про появу підозрілих ситуацій або об'єктів, що дозволяє йому негайно переключити увагу на зображення, отримане від телекамери, у полі зору якої система зареєструвала тривожну ситуацію. Таким чином, зменшується вплив людського фактора на виявлення тривожної ситуації, зменшується стомлюваність персоналу, забезпечується можливість контролю одним співробітником значної кількості об'єктів, зменшується час реакції служб безпеки на інциденти.

Найбільш перспективними для застосування в системах відеоспостереження є технології інтелектуального аналізу відеоданих. В більшості випадків система

розпізнавання є інтелектуальною системою, яка гнучко налагоджується для виконання цілого ряду завдань та має широкі функціональні можливості. Після монтажу системи та в процесі її експлуатації проводиться “навчання” системи щодо виконуваних дій при настанні тих чи інших ситуацій.

Розглянемо ряд найважливіших функціональних можливостей інтелектуальних систем відеоспостереження, що можуть бути застосовані для роботи ОВС України.

#### **Функціональні можливості інтелектуальних систем відеоспостереження**

1. Функції безпеки встановленого обладнання:
  - виявлення повністю чорного кадру;
  - виявлення розмитого зображення;
  - виявлення переміщення камери.
2. Функції аналізу руху:
  - виявлення руху в кадрі;
  - визначення швидкості, напрямку руху об’єкта, побудова маршруту руху;
  - “керування юрбою” (неадекватне поведження юрби, бійка й ін.);
  - підрахунок людей;
  - поділ юрби на групи, контроль перевищення кількості людей у групі;
  - визначення кількості людей у черзі;
  - виявлення руху в забороненому напрямку;
  - виявлення вторгнення або порушення периметра;
  - виявлення підозрілого поведження (людина “тиняється”, не виконуючи конкретних дій);
  - контроль за виконанням правил дорожнього руху.
3. Охоронні й антитерористичні функції:
  - спостереження за зникненням предметів;
  - виявлення в місцях скупчення людей залишених або потенційно небезпечних предметів для запобігання терактам;
  - виявлення завад у потенційно небезпечних зонах (виробничі приміщення, автомагістралі, злітне поле тощо).
4. Протипожежні функції, засновані на інтелектуальній обробці відеоданих:
  - інтелектуальний детектор диму;
  - інтелектуальний детектор полум’я.
5. Функції розпізнавання осіб:
  - розпізнавання осіб, пошук у базі (чорний, білий список);
  - подача сигналу “Тривога” при ідентифікації людини з чорного списку;
  - відеореєстрація обличчя людини, формування бази даних.
6. Функції розпізнавання автомобільних номерів:
  - розпізнавання автомобільних номерів, у тому числі й закордонних, пошук у базі;
  - автоматична реєстрація транспортних засобів, формування баз даних;
  - ідентифікація автомобілів, що перебувають у розшуку;
  - контроль швидкісного режиму на магістралях, автоматична фіксація порушників у базі (з розпізнаванням номера);
  - детектування аварійних ситуацій на автомагістралях;
  - контроль стану світлофора, автоматична фіксація порушників у базі (з розпізнаванням номера).

Одним з видів комп’ютерної обробки зображень є **контурний аналіз**.

### Навіщо потрібен контурний аналіз (КА)

КА дозволяє описувати, зберігати, порівнювати і здійснювати пошук об'єктів, представлених у вигляді своїх зовнішніх обрисів – контурів. Передбачається, що контур містить усю необхідну інформацію про форму об'єкта. Внутрішні точки об'єкта до уваги не беруться. Це обмежує сферу застосовуваності алгоритмів КА, але розгляд самих лише контурів дозволяє перейти від двовимірного простору зображення до простору контурів і тим самим знизити обчислювальну та алгоритмічну складність. КА дозволяє ефективно вирішувати основні проблеми розпізнавання образів – перенесення, повороту і зміни масштабу зображення об'єкта. Методи КА є інваріантними щодо цих перетворень.

### Основні поняття

Що ж таке контур об'єкта? Контур – це межа об'єкта, сукупність точок (пікселів), що відокремлюють об'єкт від фону. У системах комп'ютерного зору використовується кілька способів кодування контуру. Найбільш відомими є код Фрімена, двовимірне кодування, полігональне кодування. Проте всі ці способи кодування не використовуються в КА. Натомість у КА контур кодується послідовністю, що складається з комплексних чисел. На контурі фіксується точка, яка називається початковою точкою. Потім контур обходиться (за годинниковою стрілкою), і кожен вектор зміщення записується комплексним числом  $a + ib$ , де  $a$  – зміщення точки по осі  $X$ , а  $b$  – зсув по осі  $Y$ . Зсув вираховується щодо попередньої точки.

Через фізичну природу тривимірних об'єктів їх контури завжди замкнені і не можуть мати самоперетину. Це дозволяє однозначно визначити шлях обходу контуру (з точністю до напрямку – за або проти годинникової стрілки). Останній вектор контуру завжди приводить до початкової точки.

Кожен вектор контуру називається елементарним вектором (ЕВ). А сама послідовність комплекснозначних чисел – вектор-контуром (ВК). Вектор-контури позначаються великими грецькими літерами ( $N$ ), а їх елементарні вектори – малими грецькими буквами ( $v$ )

Чому в КА використовується саме комплекснозначне кодування? Тому що операції над контуром саме як над вектором комплексних чисел характеризуються чудовими математичними властивостями, порівняно з іншими способами кодування.

В принципі, комплексне кодування є близьким до двовимірного, де контур визначається як сукупність ЕВ, представлених своїми двовимірними координатами. Різниця ж полягає в тому, що операції скалярного добутку для векторів і для комплексних чисел є різними. Саме ця обставина й надає перевагу методам КА.

### Властивості контурів

1. Сума ЕВ замкнутого контуру дорівнює нулю. Це тривіально: позаяк елементарні вектори приводять до початкової точки, значить, їх сума дорівнює нуль-вектору.

2. Контур-вектор не залежить від паралельного перенесення вихідного зображення. Оскільки контур кодується щодо початкової точки, то цей спосіб кодування інваріантний щодо зрушення вихідного контуру.

3. Поворот зображення на певний кут рівносильний повороту кожного ЕВ контуру на той самий кут.

4. Зміна початкової точки призводить до циклічного зсуву ВК. Оскільки ЕВ кодуються щодо попередньої точки, стає зрозумілим, що при зміні початкової

точки послідовність ЕВ буде та ж сама, але першим ЕВ буде той, який починається в початковій точці.

5. Зміну масштабу вихідного зображення можна розглядати як множення кожного ЕВ контуру на масштабний коефіцієнт.

#### Скалярний добуток контурів

Скалярним добутком контурів  $\Gamma$  і  $N$  називається таке комплексне число:

$$\eta = (\Gamma, N) = \sum_{n=0}^{k-1} (\gamma_n, \nu_n) \quad (1)$$

Де  $k$  – розмірність ВК,  $\gamma_n$  –  $n$ -й елементарний вектор контуру  $\Gamma$ ,  $\nu_n$  –  $n$ -й ЕВ контуру  $N$ .  $(\gamma_n, \nu_n)$  – скалярний добуток комплексних чисел, що обчислюється як:

$$(a + ib, c + id) = (a + ib)(c - id) = ac + bd + i(bc - ad) \quad (2)$$

Важливо, що в КА допускається скалярний добуток тільки ВК однакової розмірності. Тобто число елементарних векторів в контурах повинно збігатися.

Скалярний добуток звичайних векторів і скалярний добуток комплексних чисел різняться. Якби ЕВ перемножувались як прості вектори, то їх скалярний добуток виглядав би так:

$$((a, b), (c, d)) = ac + bd \quad (3)$$

Порівнюючи цю формулу з формулою (2), доходимо висновку, що:

– результатом скалярного добутку векторів є дійсне число. А результатом добутку комплексних чисел – комплексне число.

– дійсна частина скалярного добутку комплексних чисел збігається зі скалярним добутком відповідних векторів. Тобто комплексний добуток включає в себе скалярний добуток.

Потрібно згадати лінійну алгебру. А точніше – фізичний зміст і властивості скалярного добутку. У лінійній алгебрі скалярний добуток дорівнює добутку довжин векторів на косинус кута між ними. Це означає, що два перпендикулярних вектори завжди будуть мати нульовий скалярний добуток. Колінеарні ж вектори, навпаки, будуть давати максимальне значення скалярного добутку.

Ці властивості добутку дозволяють використовувати його як певну міру близькості векторів. Чим він більший, тим менший кут між векторами, тим “ближчими” вони є одне до одного. Для перпендикулярних векторів він опускається до нуля, і далі стає негативним для векторів, спрямованих у різні боки. Виявляється, скалярний добуток (1) також володіє схожими властивостями.

Потрібно ввести ще одне поняття – нормований скалярний добуток (НСД):

$$\eta = \frac{(\Gamma, N)}{|\Gamma||N|} \quad (4)$$

де  $|\Gamma|$  і  $|N|$  – норми (довжини) контурів, обчислювані як:

$$|\Gamma| = \left( \sum_{n=0}^{k-1} |y_n|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

НСД в просторі комплексних чисел також є комплексним числом. При цьому, одиниця – це максимально можливе значення модуля НСД (впливає з нерівності Коші-Буняковського:  $|ab| \leq |a| |b|$ ), котре досягається тільки, якщо

$$\Gamma = \mu N \quad (6)$$

де  $\mu$  – довільне комплексне число.

Що це означає на практиці? Необхідно згадати фізичний зміст множення комплексних чисел. При множенні комплексних чисел, їх модулі (довжини) перемножуються, а аргументи (кути) – складаються. Значить, контур  $\mu N$  – це той же контур  $N$ , але повернутий і промасштабований. Масштаб і поворот визначається комплексним числом  $\mu$ .

Отже, модуль НСД досягає максимального значення – одиниці, тільки якщо контур  $\Gamma$  є тим же контуром  $N$ , але поверненим на деякий кут і промасштабованим на певний коефіцієнт.

#### **Загальний алгоритм розпізнавання**

1. Попередня обробка зображення – згладжування, фільтрація перешкод, підвищення контрасту.
2. Бінаризація зображення і виділення контурів об'єктів.
3. Початкова фільтрація контурів по периметру, площі, коефіцієнту форми, фрактальності і так далі.
4. Приведення контурів до єдиної довжини, згладжування.
5. Перебір всіх знайдених контурів, пошук шаблону, максимально схожого на даний контур.

#### **Недоліки КА**

КА має дві групи факторів, які негативно позначаються на результатах розпізнавання.

Перша група факторів пов'язана з проблемою виділення контуру на зображеннях. Контур – це суворо визначена дискретна структура. Проте велике число реальних зображень мають об'єкти, слабко виражені на навколишньому фоні. Об'єкт може не мати чіткої межі, він може бути однаковий за яскравістю й кольором з фоном, може бути зашумлений перешкодами і так далі. Всі ці фактори призводять до того, що контур або неможливо виділити взагалі, або він виділяється неправильно й не відповідає межі об'єктів.

На малюнку показано бінаризоване зображення. Невеликі “містки” між зображенням цифри і навколишнім фоном роблять контур цифри нерозпізнаним методами КА.



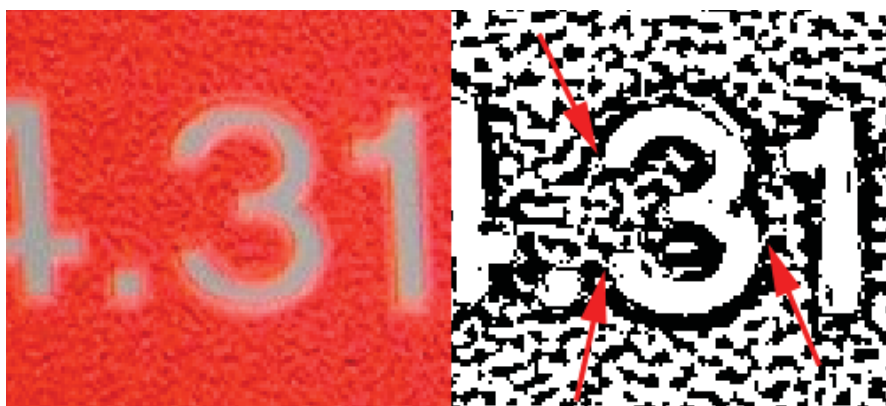


Рис. 1. Зображення контурного аналізу малюнка.

Такі випадки дуже складні для КА. Адже КА має сенс тільки в тому випадку, коли контур об'єкта визначений однозначно правильно у всіх своїх точках.

Друга група факторів, що ускладнюють КА, пов'язана з принципами контурного аналізу. Методи КА допускають те, що контур описує весь об'єкт повністю й не допускає жодних перетинів з іншими об'єктами або неповної видимості об'єкта.

На рис. 2 видно, як бік фотографії, що йде горизонтальною рисою, робить букви нерозрізнюваними для КА.



Рис. 2. Зображення контурного аналізу фотознімку.

Таким чином, КА має слабку стійкість до перешкод, не допускає перетину або часткової видимості об'єкта.

#### **Результати тестування методу**

Незважаючи на недоліки, методи КА привабливі своєю простотою і швидкістю. За наявності чітко вираженого об'єкта на контрастному тлі і відсутності перешкод КА добре справляється з розпізнаванням.

Тестування методів КА на тестах ICDAR дає результат 48% розпізнаних символів. Це непоганий результат, враховуючи те, що цей тест є дуже непростим і містить велику кількість погано прочитуваних зображень літер. При цьому КА обробив 249 зображень різного розміру (від 400x400 до 1280x960) за 30 секунд.

Крім розпізнавання статичних зображень, швидкодія КА дозволяє обробляти відео в режимі реального часу.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Матеріали виконання НДР “Загально-технічні вимоги до цифрового апаратно-програмного комплексу чергової частини ОВС України” (шифр “Орхідея-2010”), 2011.
2. Введення в контурний аналіз / Під ред. Я.А. Фурмана. – Київ, 2003.
3. Learning OpenCV. Gary Bradski, Adrian Kaehle, 2008.

Отримано 16.02.2012