УДК 681.516.35:681.78

Трунов О. М.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИХ ВІДЕОСЕНСОРІВ ДЛЯ АСУТП

Розглянуто особливості побудови критеріїв, які забезпечують адекватний опис зображень. Досліджено закономірності поведінки ротора в особливих точках, встановлено наявність інваріантних властивостей, отримані співвідношення для визначення напрямку вектора кроку.

Ключові слова: *Інваріантні критерії, адекватний опис, ротор в особливих точках, інваріантні властивості вирази вектора кроку.*

Рассмотрены особенности построения критериев, обеспечивающих адекватное описание изображений. Исследованы закономерности поведения ротора, установлено наличие инвариантных свойств, получены соотношения для определения направления вектора шагу.

Ключевые слова: *Инвариантные критерии, адекватное описание, ротор в особых точках, инвариантные свойства, выражение вектора шагу.*

The features of the construction criteria to ensure an adequate description of the image. The regularities of the behavior of the rotor in specific locations are found, established the existence of invariant properties, the expressions of the vector of step are obtained.

Key words: *Invariant criteria, an adequate description, rotor at the specific points, invariant properties, the expressions of the vector of step.*

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасний стан проектування та впровадження автоматизованих виробництв та технологічних процесів характеризується широким застосуванням систем технічного зору, що використовуються, як структурний елемент системи – сенсорного відчуття, яке переважає в природі, і є також суттєво корисним і практичним додатковим інструментом аналізу та управління поведінкою роботів. Сенсорне відчуття забезпечує багату і своєчасну інформацію щодо середовища і дозволяє проводити розпізнавання у реальному масштабі часу без зволікань у динамічних ситуаціях, що передують аварійним. Ситуаційно-залежне якісне сприйняття і вибір поведінки, що ґрунтується на ньому, а не вимірювання і контроль, складність та трудомісткість реалізації алгоритмів прийняття рішень відповідно до результатів вимірювань у яких заснована на кількісних моделях, є додатковим ключовим чинником побудови поведінкових правил для інтелектуалізованих роботів. Побудова систем які формують команди моторного контролю безпосередньо за сенсорними даними, без використання незалежних систем координат або параметро-залежних обчислень, як наприклад зворотна перспектива, або кінематичні перетворення є актуальною задачею [1-4]. Не менш важливою є проблема збору та обробки візуальної інформації в автоматизованих системах управління технологічними процесами (АСУТП) у тому числі і ранньої діагностики, профілактики та лікування, що характеризується широким застосуванням 3D, відео- та вебтехнологій [1-3, 7]. Одним з перспективних напрямків подальшого удосконалення цих систем у цілому є інтелектуалізація мікрочіпів – CMOS фотодіодних масивів за рахунок удосконалення структури перетворювача (конвектора) кожного пікселя та комплексного використання нейронних мереж, які базуються на технології вбудованого тестування та тренінгу, що переналаштовується, у основу функціонування яких закладено принцип використання метрики нечіткої логіки, змінної точності оцінки, а також зборки їх у єдиному корпусі [9-12]. При цьому, завдяки таким конвекторам, пристрої в цілому вбудовуються в існуючі відео и сенсорні системи, а їх сигнали придатні до паралельної обробки в алгоритмах прийняття рішень. Останні розширюють свої функції до паралельної обробки і стиснення інформації на основі аналізу з використанням критеріїв, що є за своїм змістом інваріантами [8]. Ефективність побудови алгоритмів обробки такої інформації визначається рівнем розвитку математичного апарату. Існуючи підходи з метою зменшення об’єму обчислень використовують трансформовані поняття похідних, градієнтів, операторів Робертса, моментів [6, 8], що у свою чергу вимагає додаткових досліджень їх властивостей та формування апарату операцій над ними та обґрунтувань застосовності загально уживаних в теорії прийняття рішень підходів до таких систем інтелектуалізованих фотодіодних масивів (мікрочіпів) [12].

Головною не розв’язаною проблемою є відсутність методів алгебраїчних перетворень при обробці та стисненні і подальшому відтворенні візуальної інформації. Як показано у роботі [12], застосування технології сегментації кольорових зображень, що базується на комбінованих мікрочіпах з нейронно-мережевими перетворювачами відкриває можливості

прискорення обробки як за умов наявності функцій трансформації, ефективних алгоритмів обчислення інваріантів так і апарату, що дозволяє проводити алгебраїчні операції над ними.

Таким чином, задача вивчення властивостей та формування математичних засад використання ротора у пошукових алгоритмах і алгоритмах оптимізації та розпізнавання є актуальною. Слід зауважити, що успіх у її рішенні пов'язаний із загальним станом теорії адекватності. Успіхи зведення задачі про адекватний опис об'єкту до споріднених задач про синтез параметрів регуляторів у тому числі із фільтрами [6], або формування закону перелаштування адаптивного регулятора для АСУТП [4, 6], або багатокритеріальної апроксимації [5], ґрунтуються на апараті функціонального аналізу у тому числі квазілінеаризації та рекурентній апроксимації.

Метою статті є вивчення властивостей ротору як одного з головних інструментів подальшої інтелектуалізації мікрочіпів кольорової сегментації зображень, побудова теоретичних засад та пошук ланок, що недостають, для їх використання у пошукових алгоритмах і алгоритмах оптимізації.

Постановка задачі. Припустимо, що у просторі відбитими поліхроматичними, або природними промінням сформовано зображення об'єктів дослідження, яке відбито на плоску поверхню мікрочіпу прямокутної області – матриці $N \times M$ збірок фотодіодів. Введемо безрозмірні координати: вертикальна – i; горизонтальна – j. Далі покладемо, що для довільної точки $p(i, j)$ в декартовій системі координат матриці задано для кожного пікселя значення деякої фізичної величини F_{ij} у вигляді матриці, кожен елемент, якої містить наприклад вісім розрядів і є три компонентним вектором у випадку RGB розкладу, або m – компонентним вектором у випадку розкладу за m значеннями наперед заданих величин довжин хвиль. Введемо позначку значення, що визначає величину порогу чутливості F_0 та середньо зважену величину фону F_f. Введемо також необхідні позначення відхилень та похідних.

Відхилення від заданого значення:

$\Delta_{ij} = F_{ij} - \|F\|$, де F_{ij} – значення функції в точці, а $\|F\|$ – її норма обчислена за одним з методів, наприклад максимуму модуля фізичної величини, або кореня квадратного з суми квадратів поділених на кількість пікселів у матриці. .

Відхилення значення між двома точками:

– по вісі абсцис: $\Delta_{xij} = F_{ij} - F_{ij-1}$;

– по вісі ординат: $\Delta_{yij} = F_{ij} - F_{i-1j}$.

Середнє значення похідної за напрямом:

– $x: \nabla_{xij} = \dfrac{F_{ij} - F_{ij-1}}{x_{ij} - x_{ij-1}}$;

– $y: \nabla_{yij} = \dfrac{F_{ij} - F_{i-1j}}{y_{ij} - y_{i-1j}}$;

– $\bar{l}: \nabla_{ij} = \dfrac{F_{ij} - F_{ij-1}}{x_{ij} - x_{ij-1}} \dfrac{\bar{x}_{ij}}{|\bar{x}_{ij}|} + \dfrac{F_{ij} - F_{i-1j}}{y_{ij} - y_{i-1j}} \dfrac{\bar{y}_{ij}}{|\bar{y}_{ij}|}$.

Як було позначено для кожної довільної точки з координатами (i, j) можливі відхилення від норми, а також можливі відхилення від значення у оточуючих її по периметру точках. Слід зауважити, що крім крайніх рядків та крайніх стовбців для усіх пикселів таких точок завжди буде вісім. Візьмемо на площині, за виключенням крайніх, точку та введемо поняття моменту відхилення, що заміряно у даній точці, який може визначатися відносно будь якої прилеглої точки (рис. 1). Загальна формула визначення моменту відхилення фізичної величини точки ij відносно точки $i+1, j+1$ має вигляд:

$$M_{ij}^{i+1,j+1} = (F_{i+1,j+1} - F_{ij})\sqrt{(x_{i+1,j+1} - x_{ij})^2 + (y_{i+1,j+1} - y_{ij})^2} \quad (1)$$

де $F_{i+1,j+1}$ и F_{ij} – значення фізичної величини у відповідних точках, а $y_{i+1,j+1}$ та $x_{i+1,j+1}$ – координати точки $i+1, j+1$, а y_{ij} та x_{ij} – координати точки ij.

i-1 j-1	i-1 j	i-1 j+1
i j-1	i j	i j+1
i+1 j-1	i+1 j	i+1 j+1

Рис. 1. Точка та сусідні до неї по периметру вісім точок

Запишемо проекції моментів сусідніх по периметру точок :

$M_{ij}^{ij+1} = (F_{ij+1} - F_{ij})(x_{ij+1} - x_{ij})$ – для сусідньої точки справа;

$M_{ij}^{ij-1} = (F_{ij-1} - F_{ij})(x_{ij-1} - x_{ij})$ – для сусідньої точки зліва;

$M_{ij}^{i-1j} = (F_{i-1j} - F_{ij})(y_{i-1j} - y_{ij})$ – для сусідньої точки згори;

$M_{ij}^{i+1j} = (F_{i+1j} - F_{ij})(y_{i+1j} - y_{ij})$ – для сусідньої точки знизу.

Візьмемо на площині довільну точку та здійснимо обхід по усім восьми точках, що є прилеглими до неї по периметру проти годинникової стрілки (рис. 2). Для центральної точки обчислимо момент відхилення фізичної величини усіх точок прилеглих до неї.

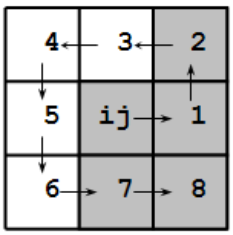

Рис. 2. Схема обходу сусідніх точок.

У результаті обходу отримаємо вісім значень моментів та подамо ротор точки

$$rot(i,j) = \frac{1}{F_{ij}} \; M_{ij}^{1} + M_{ij}^{2} + M_{ij}^{3} + M_{ij}^{4} + M_{ij}^{5} + M_{ij}^{6} + M_{ij}^{7} + M_{ij}^{8} \;, \qquad (2)$$

де F_{ij} – значення функції у точці, а $M_{ij}^{1} \ldots M_{ij}^{8}$ – позначено відповідні значення моментів центральної точки відносно до точок 1-8. При використанні методу ротора доцільно зберігати значення, а також результати порівняння у байті: результат порівняння фізичної величини у точці №1 із її значенням у прилеглій точці *ij* – занесемо до розряду 1, а результат порівняння фізичної величини у точці № 2 із її значенням у прилеглій точці *ij* – занесемо до розряду 2 т.д., (див. рис. 3), де для зручності викладу нумерацію розрядів у байті обрано від 1 до 8.

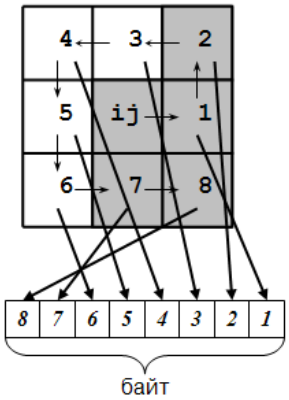

Рис. 3. Схема занесення результату порівняння до байту.

Аналіз виразів для моменту відхилення свідчить, що для таких правильно упорядкованих піксельних структур, із точністю до постійного множника результати порівняння моментів ідентичні із результатами порівняння значень самої фізичної величини, тому введемо альтернативні співвідношення для порівняння фізичної величини у точці та у її околі. Припустимо , що

$$F_0 \le F_f, \qquad F_0 \ne 0, \qquad F_f \ne 0,$$

а зображення бінарне, тоді, наприклад, правило порівняння запишемо псевдо мовою:

будемо порівнювати за наступним правилом: ЯКЩО $F_{i+k,j+l} \ge F_{ij}$, та $F_{ij} > F_0$, нерівності виконуються, то результат порівняння логічна одиниця 1, ІНАКШЕ – 0. Псевдо мовою порівняння виглядає таким чином:

ЯКЩО $F_{i,j+1} \ge F_{ij}$ та $F_{ij} > F_0$, ТО $\varphi(1) = 1$
ІНАКШЕ $\varphi(1) = 0$,

ЯКЩО $F_{i-1,j+1} \ge F_{ij}$ та $F_{ij} > F_0$, ТО $\varphi(2) = 1$
ІНАКШЕ $\varphi(2) = 0$,

ЯКЩО $F_{i-1,j} \ge F_{ij}$ та $F_{ij} > F_0$, ТО $\varphi(3) = 1$
ІНАКШЕ $\varphi(3) = 0$,

ЯКЩО $F_{i+1,j+1} \ge F_{ij}$ та $F_{ij} > F_0$, ТО $\varphi(4) = 1$
ІНАКШЕ $\varphi(4) = 0$,

де $\varphi(k)$ – *k*-тий розряд результуючого байту, або *k*-тий компонент вектора ротору. Для загальності збережемо позначення вектора ротора незалежно від правила його утворення.

Введемо поняття орту *k*-того компоненту вектора ротору.

Визначення 1. Ортом *k*-того компоненту вектора ротору у точці $p(i,j)$, є одиничний вектор, початок якого співпадає із точкою $p(i,j)$, а напрям якого визначається прямою, що з'єднує точки $p(i,j)$ та k.

Таким чином, ми отримали алгоритм, що дозволяє подати одним числом результати аналізу зображення не тільки у точці, а у її околі. Останнє зменшує по – перше обсяги опису , по – друге відкриває шлях для проведення порівняння не тільки поточково, а й по характерних точках, які визначено на основі навчання та ґрунтується на властивостях самого оператора ротора та особливостях самих зображень

Властивості ротора.

Властивість 1. Якщо у довільній точці бінарного зображення $p(i,j)$, ротор є нуль вектором, то вона не належить зображенню об'єкту.

Властивість 2. Якщо у довільній точці бінарного зображення $p(i, j)$, ротор є одиничним вектором, то вона належить зображенню об'єкту.

Властивість 3. Якщо у довільній точці бінарного зображення $p(i, j)$, ротор має хоча б один компонент вектору, значення якого відмінне від нуля, то вона належить контуру зображення об'єкту.

Властивість 4. Якщо у довільній точці бінарного зображення $p(i, j)$, відомо значення ротору, то мінімальний координатний зсув точки до положення точки наступного визначення величини ротору, компоненти вектору якого не містили б інформацію ні про жодну точку першого ротору крім дотичних, дорівнює трьом.

Властивість 5. Якщо у довільній точці бінарного зображення $p(i, j)$, ротор має хоча б один компонент вектору, значення якого відмінне від нуля, то напрям переміщення точки для подальшого аналізу зображення об'єкту визначається напрямом орту цього компоненту.

Проведемо дослідження поведінки ротора в деяких випадках. Розглянемо плоске зображення однотонного тіла, обмежуючий контур якого є прямокутником. До особливих точок у цьому випадку слід віднести чотири кутові точки и чотири точки у центрах сторін, коли зображення знаходиться справа і зліва знизу та згори від ліній контуру.

Визначення напряму вектора кроку. Більшість чисельних методів першого порядку при реалізації алгоритмів ґрунтується на рекурентній послідовності знаходження наступної точки. Для її пошуку використовують вектори кроку – градієнту скалярної функції, що утворює головну перешкоду при їх застосуванні, оскільки поняття градієнту при розпізнаванні зображень модифіковано. Припустимо, що точка з координатами j_k, i_k є точкою контуру. Продемонструємо, що наступне значення координати для обчислення і аналізу вектора ротору буде:

$$j_{k+1} = j_k - \bar{x}_1^T rot(j_k, i_k) + \bar{x}_2^T rot(j_k, i_k);$$
$$i_{k+1} = i_k - \bar{y}_1^T rot(j_k, i_k) + \bar{y}_2^T rot(j_k, i_k), \quad (3)$$

де позначено восьми компонентні вектори

$\bar{x}_1^T = 0,0,1,1,1,0,0,0$, $\bar{x}_2^T = 1,0,0,0,0,0,1,1$,

$\bar{y}_1^T = 0,0,0,0,1,1,1,0$, $\bar{y}_2^T = 1,1,1,0,0,0,0,0$.

Вибір величини цих векторів пояснюється властивостями ротору на контурних горизонталях та вертикалях, що обмежують зображення згори та знизу, зліва та справа. З рекурентних співвідношень (3) на підставі властивості 2 видно, якщо точка від лінії контуру перемістилась до внутрішніх шарів зображення, то наступна величина кроку дорівнює нулю, що також отримаємо безпосереднім обчисленням :

$$j_{k+1} = j_k - 3 + 3 = j_k;$$
$$i_{k+1} = i_k - 3 + 3 = i_k,.$$

Останнє еквівалентно припиненню переміщення для пошуку наступної точки. Однак, якщо продовжувати рух за напрямом горизонталі, або вертикалі в середину зображення до першого стрибка ротору, то відстань між горизонтальними та вертикальними координатами дасть величину горизонтальної та вертикальної протяжності зображення. Використання величин яких дозволить перевизначити, при наявності значень масштабу, кути повороту зображень.

Особливості застосування ротора для обробки кольорових зображень. У форматі BMP є різні режими збереження зображення. Оберемо для аналізу теоретичних засад один з них, наприклад, формат № 5 – Truecolor, який використовує для опису кольору одного пікселя 3 байти. Таким чином, кожний з базових кольорів (червоний, синій та зелений) займає по 8 бітів і має 256 відтінків (від 0 до 255). Піксель може мати один з 4,294,967,296 доступних кольорів. Він є більш зручним у використанні і дозволяє представити широку гамму відтінків, зменшити кількість перетворень при розпаковці значення інтенсивності кожного з базових кольорів. Серед основних недоліків порівняно з іншими BMP форматами, наприклад, форматом № 4, слід зазначити, що розмір графічного файлу збільшується на третину. Розглянемо кольорове зображення та подамо ротор точки

$$rot^{col}(i, j) = \frac{1}{\|F_{ij}\|} M_{ij}^1 + M_{ij}^2 + M_{ij}^3 + M_{ij}^4 + M_{ij}^5 + M_{ij}^6 + M_{ij}^7 + M_{ij}^8 , \quad (4)$$

де F_{ij} – значення функції у точці $p(i, j)$, RGB розкладу для кольорового вектору, що подано у вигляді матриці рядка, а $\|F_{ij}\|$ – її норма, яку обрано рівною 255, також позначено $M_{ij}^1 ... M_{ij}^8$ – відповідні значення моментів центральної точки відносно до точок 1-8.

Таким чином, ротор кольорових зображень, на відміну від бінарних, є матриця 8×3, тобто

$$rot^{col}(i, j) = \begin{Vmatrix} R_1, G_1, B_1 \\ \dots\dots\dots\dots \\ R_i, G_i, B_i \\ \dots\dots\dots\dots \\ R_8, G_8, B_8 \end{Vmatrix}.$$

Продемонструємо, що наступне значення координати для обчислення і аналізу вектора ротору буде:

$$j_{k+1} = j_k + 3sign\left[rot(j_k, i_k)\right]^T \bar{x}_2 - \bar{x}_1 ;$$
$$i_{k+1} = i_k + 3sign\left[rot(j_k, i_k)\right]^T \bar{y}_2 - \bar{y}_1 , \quad (5)$$

де позначено восьми компонентні вектори введені раніше.

Моделювання та обговорення результатів .

У процесі моделювання генерувались штучні бінарні та кольорові зображення які перетворювались у BMP формат. Обчислення та дослідження властивостей створених штучноутворених зображень проводилось за

допомогою оператора ротора та значень кольорового вектора RGB розкладу для порівняння було збережено як і при проектуванні нейронів величину напруги у п'ять вольт із середньою точкою та величину еталонних опорів, які конвертують напругу у струм у 100 кОм [12]. Таке моделювання для зображень фігур та ліній дозволило констатувати, що існують однозначні закономірності у змінах властивостей ротора як для бінарних так і для кольорових зображень на границях та у особливих точках. Останнє дозволяє вивчати не повне зображення фрейму, а тільки його динамічні зміни у часі. Контроль та обчислення характеристик за умов зміни фону приводить до необхідності встановлення двох норм як таких, що визначені за поверхнею об'єкту та за поверхнею фону сцени. Особливо необхідно відзначити, що використання для аналізу реальних зображень знятих за допомогою цифрової камери встановлює прояви зовнішніх змін на результати прямого піксельного аналізу при зміні спектрального складу освітлення навіть при незмінних інших умовах. Застосування норми, що є модулем різниці максимумів норм фону та об'єкту дозволяє класифікувати такі зображення як нерухомі.

Висновки. 1. Запропонований підхід відкриває можливості відновлювати зображення у дев'яти точках за величиною значення ротора, будувати контурні зображення, встановлювати тип кривих контурів, знаходити особливі точки.

2. Ротор як оператор є придатним для обчислень вектора кроку та координат точок для подальшого аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ватолин Д. Методы сжатия данных / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: «Диалог-МИФИ», 2003. – С. 338-361.
2. Рябенький В. М. Уменьшение объёма потока видеоданных методом выделения динамической составляющей / В. М. Рябенький, В. О. Анзин // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – № 2 (38). – С. 314-318.
3. Рябенький В. М. Модель комплексной объективной оценки качества видеоизображения в Simulink / В. М. Рябенький, В. О. Анзин // Проблемы информационных технологий. – 2009. – № 2 (006). – С. 116-121.
4. Трунов О. М. Застосування методу рекурентної апроксимації до задач підвищення точності та безвідмовності систем керування // Науково-методичний журнал. – т. 35, вип. 22, МДГУ ім. Петра Могили, Миколаїв. – 2004. – С. 93-101.
5. Трунов О. М. Адекватність моделі як задача багатокритеріальної апроксимації. – Зб. наукових праць НУК, Миколаїв. – 2008. – № 1 (418). – С. 38-44.
6. Трунов О. М. Особливості синтезу регуляторів на базі розв'язку задачі адекватного наближення моделі // Наукові праці Миколаївського Державного гуманітарного університету ім. Петра Могили, Науково-методичний журнал, том. 57. – Випуск 44. – 2006. – С. 174-180.
7. Щенников С. Сети передачи видеоданных и перспективы их развития // Телевидение и радиовещание. – 2004. – № 8.
8. Trounov A. N. Mathematical aspects of image recognition. Proc. Of International technology 90, Szezecin, Poland, 1990. – С. 479-493.
9. A. Trunov and M. Polycarpou, «Automated Fault Diagnosis in Nonlinear Multivariable Systems Using a Learning Methodology», IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 11, no. 1, pp. 91-101, January 2000.
10. M. Polycarpou and A. Trunov, «Learning Approach to Nonlinear Fault Diagnosis: Detectability Analysis», IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 45, no. 4, pp. 806-812, April 2000.
11. A. Vemuri, M. Polycarpou and A. Ciric, «Fault Diagnosis in Differential-Algebraic Systems», IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, vol. 31, no. 2, pp. 143-152, March 2001.
12. E. Fiesler, T. Duong, A. Trunov, «Design of neural network-based microchip for color segmentation», IEEE Transactions on Intelligent Optical Systems. Proceedings of SPIE 4055, pp. 228-238, (2000).

© Трунов О. М., 2012

Дата надходження статті до редколегії 21.05.2012 р.

ТРУНОВ О. М. – к.т.н., доцент кафедри медичних приладів та систем, перший проректор Чорноморського державного університету імені Петра Могили.

Коло наукових інтересів: підводна техніка, сенсорна техніка, моделювання нелінійних динамічних процесів, приладобудування.