View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Electronic Archive of Kyiv Polytechnic Institute

4. www.ref.net.ua. Анализ современных оптических ТСО.
5. www.bez.net.ru. Охранные извещатели.
6. www.guarda.ru. Средства охраны и сигнализации.
7. Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. – М: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
8. Біленко І.І. Фізичний словник. – Київ: Вища школа, 1979. – 336 с.
9. Гончар В.К., Золотар А.В. Использование ультразвуковой техники в деятельности правоохранительных органов // Бизнес и безопасность – 2006, № 2. – С. 42–43.
10. Наи-Вен Ву. Ультразвуковой детектор "близости" на микроконтроллере фирмы Holtek: перевод и подготовка Раковича Н. // Компоненты и технологии. – 2004, № 8. – С. 172–174.
11. Жданкин В. Ультразвуковые датчики для систем управления // Современные технологии автоматизации. – 2003, №1. – С. 68–79.

Погребенник В.Д., Політило Р.В. **Ультразвукові сенсори системи охоронної сигналізації**
Рассмотрены ультразвуковые сенсоры системы охранной сигнализации, в основу работыкоторых положено принципы интерференции звуковых колебаний и эффект Доплера; выделены их преимущества и недостатки; предложено усовершенствовать ультразвуковой сенсор путем повышения его помехоустойчивости и быстродействия.

Pohrebennyk V.D., Politylo R.V. **Ultrasonic sensors of protective signaling system**
Ultrasonic sensors of protective signaling system based on acoustic vibrations interference and Dopler's effect, are examined; advantages and disadvantages of these sensors are found out; improvement of ultrasonic sensor parameters by increasing its noise immunity and detection rate is offered.

Надійшло до редакції
28 січня 2008 року

УДК 681.786:532.61

МЕТОДИКА ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ РІДИН

Біліщук В. Б., Кісіль І. С., Боднар Р. Т., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Запропоновано методику цифрового оброблення зображення обертової краплі для отримання координат точок контуру обертової краплі, що використовуються для подальшого визначення міжфазного натягу рідин. Проаналізовано вплив різних факторів на результат оброблення зображення

Вступ. Постановка задачі

Для вимірювання низьких значень міжфазного натягу (0,01–1 мН/м) на границі розділу фаз двох рідин використовується метод обертової краплі. Однією з методик, що дозволяє вимірювати міжфазний натяг (МН), є методика Воннегута [1], яка передбачає вимірювання діаметру краплі. Ця методика вимагає забезпечення умови, щоб довжина краплі була в 4 рази більша за її діаметр. Інша методика [2] вимагає вимірювання радіусу та половини довжини краплі.

При довготривалих спостереженнях за зміною міжфазного натягу в часі крапля в трубці може переміщуватись через дію різних чинників – градієнт температур в трубці, виникнення осцилюючих течій в рідинах, відхилення осі

обертання трубки від горизонтального положення. Для запобігання переміщення краплі в трубці її закріпляють на металевій дротині, що закріплена в трубці вздовж осі обертання. При цьому міжфазний натяг вимірюють за відомими методиками [3]. Так як дротина впливає на форму краплі, вимірювання особливо низьких значень міжфазного натягу проводиться з значною похибкою. Для запобігання переміщення краплі в трубці в процесі її обертання, краплю рекомендується фіксувати одним кінцем до стінки пробки всередині трубки. Перелічені вище методики не дозволяють визначати МН в такому випадку. Тому необхідно здійснювати аналіз форми краплі в процесі вимірювання МН. Для цього використовується телевізійна система з комп'ютером, яка дозволяє отримати зображення обертової краплі і по отриманому зображенні виміряти всі необхідні параметри краплі. При цьому постає задача оброблення зображення з метою виділення контуру краплі.

В [4] пропонується визначати контур обертової краплі як перепад яскравості в групі послідовних точок методом радіальної розгортки за допомогою спеціального маркера. При застосуванні цього методу для знаходження контуру зафіксованої краплі виникає затруднення – в частині контуру напрям градієнта є перпендикулярним до напряму сканування, що призводить до втрати частини контуру. Таким чином виникає необхідність розробити принципово нову методику, що дозволить отримати координати точок контуру краплі на основі її зображення.

Реальне зображення обертової краплі може містити ряд об'єктів всередині трубки, що утруднюють пошук контуру краплі простими методами: прилиплих крапель на стінках трубки, пухирці повітря, тощо. Нерівномірне освітлення та наявність шумів на зображенні також впливають на кінцевий результат.

Відома методика оброблення зображення з метою виділення контурів об'єктів на ньому [5], яка включає наступні дії:

1) фільтрація зображення оператором Гауса;
2) визначення градієнтів яскравості оператором Собела;
3) "усунення" немаксимумів.

При обробленні зображення обертової краплі за допомогою цієї методики на зображенні залишаються крім контуру краплі контури інших об'єктів: стінок трубки, пухирців повітря, крапель на стінках трубки. Тому вказану методику необхідно доопрацювати, що забезпечать краще виділення контурів зображення краплі. Модифікована методика включає наступні дії:

1) фільтрація зображення оператором Гауса;
2) визначення градієнтів яскравості оператором Собела;
3) бітонування зображення градієнтів;
4) "усунення" немаксимумів;
5) подавлення ізольованих точок, що не належать жодному контуру;
6) знаходження максимального значення градієнту в рядку зображення;
7) зменшення розривів контуру краплі.

Фізико-математична модель

Зображення фіксованої обертової краплі (рис. 1) можна представити як матрицю P розміром $H \times W$ елементів, кожний з яких містить інформацію про яскравість точки зображення (яскравість точки задається числом від 0 до 255). Шуми, що присутні на зображенні, мають значний вплив на результат визначення градієнта яскравості оператором Собела. Причиною появи шумів є теплові шуми в CCD-матриці телекамери. З цією метою здійснюється фільтрація зображення оператором Гауса, що за характером дії є фільтром низьких частот. Найпростішим є оператор, в якому яскравість точки у відфільтрованому зображенні рівна середньомуарифметичному значенню яскравостей сусідніх точок. Такому операторові властивий недолік — спотворення контурів об'єктів на зображенні. Цей недолік суттєво зменшений в операторові Гауса. Фільтрування зображення оператором Гауса здійснюється у вікні розміром $M \times M$ точок, де $M = 3, 5, 7, \ldots,$. При обробці матриці P отримаємо матрицю F, в якій значення елемента буде обчислюватись за виразом:

$$F_{i,j} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{k=i-N}^{i+N} \sum_{l=j-N}^{j+N} \left(P_{k,l} \cdot e^{-\frac{(i-k)^2+(j-l)^2}{\sigma^2}} \right), \qquad (1)$$

де i, j – індекси елементів матриць; k, l – індекси елементів матриць всередині вікна; N – половина розміру вікна: N=(M–1)/2; σ – середнєквадратичне відхилення розсіювання функції Гауса. Як правило σ вибирається рівним M.

Для отримання необхідного результату фільтрації треба оптимально вибрати розмір вікна M. При збільшенні розміру вікна покращується шумоподавлення, але при занадто великому значенні M суттєво зменшується чіткість контурів об'єктів на зображенні, що має вплив на результат визначення градієнтів яскравості.

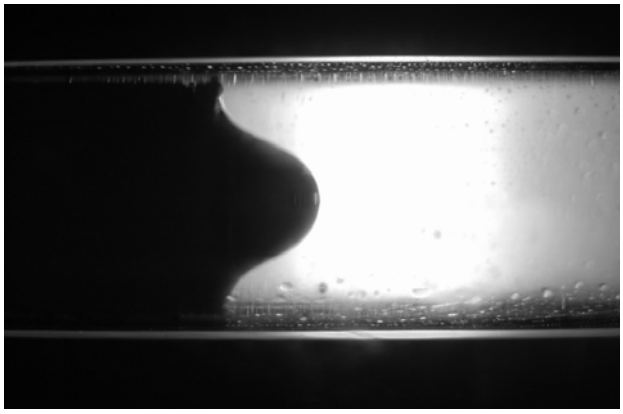


Рис. 1. Фотографія фіксованої обертової краплі в трубці

Для визначення градієнтів яскравості в точці зображення використовується оператор Собела. Градієнт розраховується по рядках (горизонтальний градієнт) та стовпцях (вертикальний градієнт) матриці F. Результатом розрахунку є матриці U та V, значення елементів яких розраховується за виразами:

$$U_{i,j} = \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} \left(F_{k,l} \cdot u_{k-i+1,l-j+1} \right);$$
$$V_{i,j} = \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} \left(F_{k,l} \cdot v_{k-i+1,l-j+1} \right), \quad (2)$$

де u, v – матриці операторів Собела:

$$u = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \; v = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}.$$

Модуль градієнта $G_{i,j}$ в визначається наступним чином:

$$G_{i,j} = \sqrt{U_{i,j}^2 + V_{i,j}^2} \; . \quad (3)$$

Обговорення результатів

В наслідок обчислення за формулою (3) отримуємо зображення контурів. Але отримані контури є нечіткими, товщиною в декілька точок. Щоб отримати зображення контурів товщиною в одну точку необхідно здійснити пошук максимального значення градієнта на певному відрізку (ця дія називається "усуненням" немаксимумів). Довжина відрізка може мати фіксовану величину. Але кращі результати можна отримати, якщо довжина відрізка буде залежати від елемента зображення. Щоб визначити довжину відрізку, на якому буде здійснюватись пошук максимуму градієнта, виконується бітонування матриці G нелінійним оператором. В результаті отримаємо матрицю B, значення елементів якої розраховується наступним чином:

$$B_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{якщо } G_{i,j} > L; \\ 0, \text{інакше}, \end{cases} \quad (4)$$

де L – деякий пороговий рівень, при якому вважається, що елемент матриці G може належати контуру.

Значенням порогового рівня можна задаватись. Для автоматизації роботи програми, для комп'ютера пропонується рівень L визначати як середнє арифметичне значення елементів матриці G, тобто:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{W} \sum_{j=1}^{H} G_{i,j}}{H \cdot W}, \quad (5)$$

де H, W – розміри матриці G.

"Усунення" немаксимумів здійснюється на основі інформації, яка є в матрицях G та B. Суть операції полягає в тому, що здійснюється пошук елемента по рядках та стовпцях матриці G з індексами i, j, який має максимальне значення на відрізку, на якому значення елементів матриці B рівні 255. Створюється матриця GM, в якій елемент з відповідними індексами i, j рівний 255. Значення інших елементів прирівнюється до нуля. Отже матриця GM буде містити зображення контурів об'єктів. Матриця GM містить деяку кількість елементів, що рівні 255, але не на-

лежать жодному контуру — сусідні до них елементи дорівнюють нулю. "Усунення" ізольованих елементів полягає у фільтруванні матриці *GM* нелінійним оператором у вікні із стороною *M* = 3, 5, 7,…,. Значення елементів матриці *R* відфільтрованого зображення розраховуються за виразом:

$$R_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{якщо} \sum_{k=i-N}^{i+N} \sum_{l=j-N}^{j+N} GM_{k,l} > 255 \cdot N; \\ 0, \text{інакше}, \end{cases} \quad (6)$$

де $N=(M-1)/2$.

В результаті отримаємо в матриці *R* зображення контурів об'єктів (рис. 2). Як видно з цього рисунка отримати координати контуру краплі шляхом сканування площини зображення по рядках та стовпцях неможливо, так як на ньому присутня велика кількість контурів інших об'єктів.

Розглянемо значення елементів матриці *G* у певному рядку та стовпці. Для зручності побудуємо графічну залежність значень елементів матриці *G* у вибраному рядку (рис.3,а) та стовпці (рис.3,б). Як видно з рис.3,б є 6 максимумів. Два максимуми зліва та справа відповідають градієнту яскравості на зображенні біля стінок трубки. Два крайні максимуми в середній частині графіка відповідають градієнту яскравості на контурі краплі.

Розглянемо зміну градієнту яскравості у рядку зображення. Як видно із рис.3,а на графіку простежується тільки один максимум, що відповідає градієнту яскравості на контурі краплі. Здійснивши пошук у рядках матриці *G* елемента з максимальним значенням можна однозначно виділити точки, що належать контуру обертової краплі, в яких напрямок градієнта близький до горизонтального.

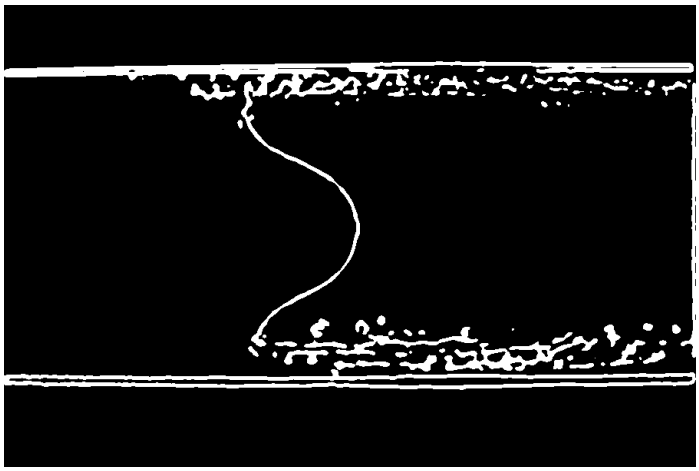
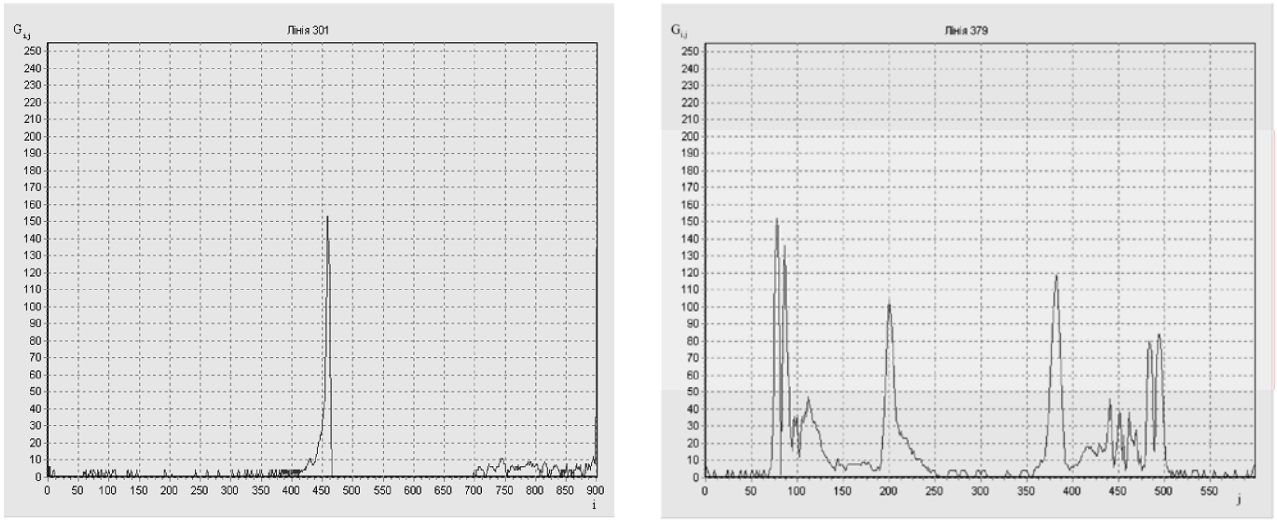


Рис. 2. Зображення обертової краплі після "усунення" не максимумів

Цю дію можна описати виразом:

$$S_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{якщо } G_{i,j} \in Max\left(G_i\right); \\ 0, \text{інакше}, \end{cases} \tag{7}$$

де G_i – i-й рядок матриці G; S– матриця, що містить зображення контуру краплі.



а) б)

Рис. 3. Зміна градієнта яскравості у вибраних рядку та стовпці зображення згідно рис.1: а – у рядку 301; б – у стовпці 379.

Щоб зменшити величину розривів в контурі краплі можна скористатись розширюючим оператором. Значення елементів матриці S тоді будуть розраховуватись за виразом:

$$S_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{якщо} \left(\sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} S_{k,l} = 255 \right) \text{а} \left(R_{i,j} = 255 \right); \\ 0, \text{інакше}. \end{cases} \tag{8}$$

Таким чином в матриці S елементи, значення яких дорівнює 255 будуть відповідати контурові краплі. Зображення, побудоване на основі матриці S, приведено на рис. 4. Координати точок контуру краплі із такого зображення можна легко отримати шляхом сканування площини зображення.

Слід зазначити, що для більш точного визначення координат точок можна скористатись алгоритмом визначення максимуму між пікселями [6].

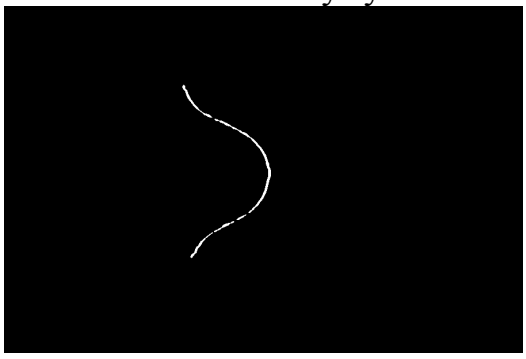


Рис. 4. Контур краплі на обробленому зображенні

Висновки

Отримані координати точок контуру можуть в подальшому бути використані для визначення МН на границі розділу двох фаз шляхом порівняння з координатами теоретично розрахованого контуру. Координати теоретичного контуру отримують числовим розв'язуванням диференційного рівняння, що описує контур обертової краплі для відповідних параметрів рідин і процесу обертання. Запропонована методика може бути використана також для знаходження контуру вільної краплі, що є перспективним напрямком досліджень.

Література

1. Vonnegut B // Rev. Sci. Instr. – 1942, №1. – P. 6–9.
2. Slattery J. C., Chen J. D. // J. Colloid Interface Sci. – 1978. – V. 64. – №2. – P. 371–373.
3. D. D. Joseph, Spinning Rod Interfacial Tensiometer, United States Patent, Patent №4644782, 1987.
4. Порєв В. А., Порєв Г. В., Кісіль Р. І. Виділення контуру обертової краплі методом радіальної розгортки при вимірюванні міжфазного натягу. // Методи та прилади контролю якості. – 2000. – № 6. – С. 32–36.
5. Canny J. A Computation Approach to Edge Detection. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 1986. – Vol. 8, № 6. – P. 679–698.
6. Fisher R. B., Naidu D. K., A Compasion of Algorithms for Subpixel Peak Detection // Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision. – Springer-Verlag. – 1996. – P. 205–229.

Билищук В.Б., Кисиль И.С., Боднар Р.Т. **Методика обработки изображения вращающейся капли при измерении межфазного натяжения жидкостей** Предложено методику цифровой обработки изображения вращающейся капли для получения координат точек контура вращающейся капли, что используются для дальнейшего определения межфазного натяжения жидкостей. Сделан анализ влияния разных факторов на результат обработки изображения.	Bilishchuk V.B., Kisil I.S., Bodnar R.T. **The method spinning drop image processing for interface tension measuring** The method digital image processing of spinning drop is offered for determination coordinates spinning drop shape points. Different factors has been analyzed that impacts to result image processing.

Надійшло до редакції
24 травня 2008 року