

ПОХИБКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИПУ “КОНТУР–КОНТУР” В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

© Березький О., 2013

Проаналізовано характерні ознаки гістологічних і цитологічних зображень і автоматизованих систем опрацювання біомедичних зображень. Досліджено складові похибки перетворення типу “контур – контур” і здійснено їх оцінку. Проведено комп’ютерні експерименти визначення похибки перетворення контурів на прикладі цитологічних зображень.

Ключові слова: перетворення, цитологічні зображення, похибка, контур.

The analysis of the histological and cytological images characteristics and automated biomedical images processing systems is provided. The structure of “contour-contour” transformation error and its evaluation is explored. A computer experiments of contours transformation error evaluation is done based on cytological images example.

Key words: transformation, cytological images, error, contour.

Вступ

Растрові зображення, отримані за допомогою будь-якої біомедичної техніки, що використовуються для візуального та автоматизованого аналізу у медицині та біології, назвемо біомедичними зображеннями (БМЗ).

Джерелами породження БМЗ є: цифрова рентгенографія [1], томографія, рентгенівська комп’ютерна томографія. Попереднє оброблення таких зображень [2, 3] завжди передбачає функції усунення шумів, глобальне і локальне вирівнювання гістограми, підвищення різкості. Методи, алгоритми, інформаційні технології та системи опрацювання БМЗ відображено у роботах [4–10].

Світлова мікроскопія є одним із методів дослідження цитології та гістології.

Гістологічні та цитологічні зображення мають такі особливості: мала чіткість; містять мікрооб’єкти, оточені складним за геометричними і оптичними характеристиками фоном; перепади рівнів яскравості об’єктів такі самі, як і у фоні, що їх оточує; залежно від міри оптичного збільшення зображень одні мікрооб’єкти виділяються краще, а інші втрачаються; містять області з повторюваною структурою; стабільність кольорової палітри для зображень зразків, які виготовлені із відомих фарбників.

Мікрооб’єктами на гістологічних зображеннях є зрізи тканин певних органів [11]. Тканина складається із клітин округлої форми, розміщених шарами, розміри яких становлять декілька мікрометрів; найменші з них – від 0,5 до 1,2 мкм. Об’єктами на цитологічних зображеннях є окремі випадково розміщені клітини.

Сукупність прийомів для кількісної оцінки параметрів клітинних і тканинних структур на гістологічних або цитологічних препаратах (або їх зображеннях) називають морфометричними методами. Завдяки їх використанню визначають такі параметри: діаметр, висоту, товщину, площу перетину, кількість мікрооб’єктів на одиниці площі, їх форму тощо. При морфометрії мікрооб’єктів на гістологічних препаратах необхідно враховувати, що параметри оцінювання відносяться не до тканинних компонентів, а до їх перетинів на зрізах.

Для кількісного опису мікрооб’єктів на цитологічних зображеннях використовують такі ознаки [12]: – площа клітини, площа ядра клітини, оптична щільність ядра клітини за шкалою градацій “сірого”, площа цитоплазми клітини тощо.

Для якісного опису мікрооб'єктів на цитологічних зображеннях використовують такі ознаки [12]: границі цитоплазми (чіткі, нечіткі), локалізація вакуолей (по периферії, біля ядра), форма ядра (округла, овальна), контур ядра (рівний, нерівний), поліморфізм ядер (слабко виражений, значний), нашарування ядер клітин, наявність “голих” ядер (ядра клітин, що повністю втратили цитоплазму), структура хроматину (рівномірна, нерівномірна, дрібнозерниста, грубозерниста), наявність внутрішньоядерних включень, вакуолей в ядрі, кількість ядерців (одиночні, множинні), їх положення (центральне, ексцентричне).

Об'єктами на гістологічних зображеннях є зрізи тканин певних органів [11]. Тканина складається із клітин округлої форми, розміщених шарами, розміри яких становлять від 0,5 до 3 мкм.

Для аналізу БМЗ використовують автоматизовані системи опрацювання біомедичних зображень (АСОБМЗ) [13]. До складу програмного забезпечення сучасних АСОБМЗ входять такі процедури опрацювання БМЗ: попереднє оброблення вхідного зображення, обчислення характерних ознак, обчислення статистичних ознак, виведення інформації у візуальному форматі. Воно забезпечує взаємодію з іншим програмними засобами, наприклад MS Word, MS Excel, MS Access, FoxPro тощо.

Важливою проблемою під час аналізу БМЗ є виявлення та дослідження діагностичних ознак, які використовують для постановки діагнозу. Інформативною ознакою у цьому процесі є контурна функція БМЗ, яка містить інформацію про зміну стану мікрооб'єктів та перебіг патологічних процесів у них. У роботах досліджено перетворення контурів у афінному та топологічному просторах [14, 15]. Проте залишились не вивченими похибки перетворення контурів і їх складові.

Тому актуальною задачею є дослідження похибок перетворення типу “контур – контур” з метою здійснення перетворень зображень із заданою похибкою під час аналізу цитологічних зображень.

Постановка задачі

Нехай задано два зображення Im_1 та Im_2 . Подамо їх у вигляді $Im_1 = C_1 \cup O_1$, $Im_2 = C_2 \cup O_2$, де C_1, C_2 – контури, а O_1, O_2 – внутрішні області зображень. Контури C_1, C_2 є зв'язними та замкненими, тобто:

$$C_1 = \{C_1(x_i, y_j) \mid (x_i, y_j) \rightarrow (x_m, y_n); m \in \{i-1, i, i+1\}, n \in \{j-1, j, j+1\}, i, j = \overline{1, l}, x_1 = x_l, y_1 = y_l\}; \quad (1)$$

$$C_2 = \{C_2(x_i, y_j) \mid (x_i, y_j) \rightarrow (x_m, y_n); m \in \{i-1, i, i+1\}, n \in \{j-1, j, j+1\}, i, j = \overline{1, k}, x_1 = x_k, y_1 = y_k\}. \quad (2)$$

Згідно з теоремою Жордана [16] для замкнених областей існує перетворення T , тобто $C_2 = T(C_1)$. Задаємо похибку перетворення e_T , з якою необхідно здійснити перехід від C_1 до C_2 , тобто $C_2 = T(C_1)$, де T – ідеальне перетворення. Оскільки ідеальне перетворення невідоме між контурами C_1 і C_2 , то відшукуватимемо перетворення між апроксимованими контурами C'_1 і C'_2 . Тоді $C'_2 \approx T^r(C'_1)$, де T^r – реальне перетворення між C'_1 і C'_2 . Тоді похибка перетворення дорівнює $e_T = C_2 - T^r(C_1)$. У метриці L_∞ похибка $e_T = \max\{x_i - x'_i; y_i - y'_i\}$, $i = \overline{1, N}$.

Необхідно знайти похибку перетворення e_T та її складові.

Похибки перетворення типу “контур – контур”

Апроксимуємо контури C_1 і C_2 за допомогою неперервних параметричних кривих $C_{\alpha 1}$ і $C_{\alpha 2}$, де $C_{\alpha i} = \{C_j(\theta, \alpha), \theta \in [0, T]\}$, $i = \overline{1, 2}$, $j = \overline{1, s}$, де s – кількість кусково-знайдених кривих.

Параметр θ задає положення точки на кривій $C(\theta, \alpha)$, а $\alpha \in A$ задає конкретну криву в деякому класі.

Неперервна параметрична крива апроксимована відрізками кривих $C_j(\theta, \alpha)$, тобто

$$C_{\alpha 1} = \bigcup_{j=1}^u C_j(\theta, \alpha), \quad C_{\alpha 2} = \bigcup_{j=1}^w C_j(\theta, \alpha), \quad \text{де } u \text{ і } w \text{ – кількість апроксимованих відрізків першого і}$$

другого контурів відповідно.

Для кожної кривої C_α вводимо величину : $\eta(C_{\alpha 1}, C'_1) - \inf_{\alpha \in A} \eta(C_{\alpha 1}, C'_1) \leq \varepsilon_1$ та $\eta(C_{\alpha 2}, C'_2) - \inf_{\alpha \in A} \eta(C_{\alpha 2}, C'_2) \leq \varepsilon_2$, де ε_1 і ε_2 похибки апроксимації першої та другої кривих.

Тоді отримуємо функції $C_1 \rightarrow r_1 = f_1(\theta)$, $C_2 \rightarrow r_2 = f_2(\theta)$.

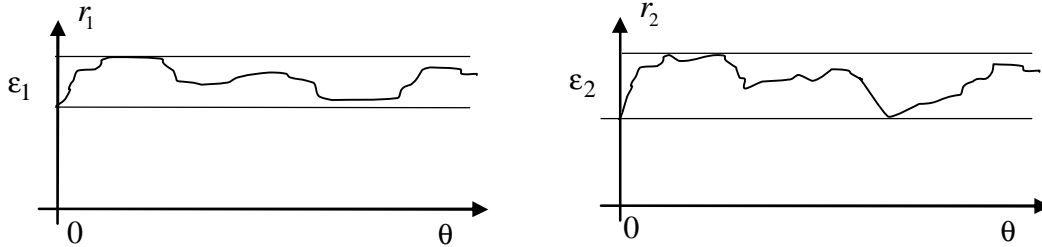


Рис. 1. Функції першого та другого контурів

Твердження. Верхня границя похибки перетворення між двома контурами C_1 та C_2 дорівнює

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{C_2} + T^r \varepsilon_{C_1}. \quad (3)$$

Доведення.

За означенням похибка перетворення становить $e_T = C_2 - T^r(C_1)$. Перетворення T^r [14] можна визначити так:

$$T^r(x, y) = \left(\frac{b_2 - a_2}{b_1 - a_1} (x - a_1) + a_2; j_{21}^k(x') \right), \quad (4)$$

де $x' = \frac{b_2 - a_2}{b_1 - a_1} (x - a_1) + a_2$ – абсциса, $j_{21}^k(x')$ – ордината. На рис. 2, 3 зображено сегмент першого контура, який апроксимований функцією $j_{11}^k(x)$, і сегмент другого контура, апроксимований функцією $j_{21}^k(x')$.

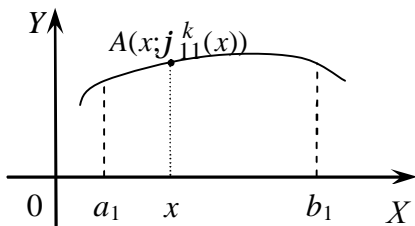


Рис. 2. Сегмент першого контура

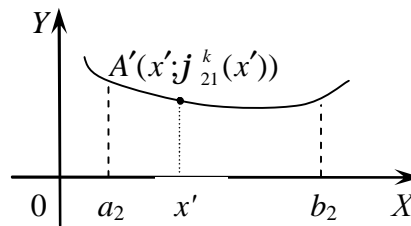


Рис. 3. Сегмент другого контура

Визначимо похибку e_T через похибки складових. Вона дорівнює $e_T = e_{C_2} + e_{T^r C_1} + T^r e_{C_1} + e_{T^r} e_{C_1}$. Оскільки $e_{T^r} \ll e_{C_2}$ і $e_{T^r} \ll e_{C_1}$ то вираз для e_T матиме вигляд $e_T = e_{C_2} + T^r e_{C_1}$, що й треба було довести.

Наведемо алгоритм визначення похибки перетворення контурів.

Алгоритм визначення похибки перетворення типу “контур – контур”

1. Для двох заданих зображень Im_1 і Im_2 , використавши алгоритм проходження контуром “Backwand contour tracing” [17], отримуємо контури, тобто множини точок C_1 і C_2 , які без розривів товщиною в один піксел представляють зовнішні границі зображень.

2. В отриманих зв'язних контурах C_1 і C_2 ($C_1 \rightarrow r_1(\theta)$, $C_2 \rightarrow r_2(\theta)$) виділимо характерні точки на основі таких критеріїв: а) зміни знака кутових коефіцієнтів сусідніх елементарних відрізків; б) максимального значення коефіцієнта середньої кривизни на проміжку випуклості або увігнутості; в) границі зміни кута між елементарними відрізками, тобто отримуємо незв'язні контури C'_1 , C'_2 , для яких не виконуються умови (1) і (2).

3. Для знайдених двох масивів контурів C'_1 , C'_2 , де $C'_1 = \{C'_{10}, C'_{11}, \dots, C'_{1n}\}$, $C'_2 = \{C'_{20}, C'_{21}, \dots, C'_{2m}\}$, проводимо апроксимацію з використанням сплайнового наближення кривими $r_a = r(q, a)$, $q \in [0, T]$, де $T = 2p$ – період обходу функції. Параметр q задає положення точки $r(q, a)$ на кривій, а вектор параметрів $a \in A$ визначає конкретну криву в класі поліноміальних функцій.

Наближення відшукується у вигляді $P(q) = \sum_{i=0}^n a_i q^i$, $i \leq 3$, тобто обмежуємося поліномами не більше ніж третього степеня. Для всіх точок $q \in [0, T]$ повинна виконуватися умова $|r(q) - P(q)| \leq e$.

Для кожного контура r'_1 , r'_2 необхідно знайти кількість сегментів за заданої похибки апроксимації

$$r'_1 = \bigcup_{j=1}^l \left\{ \left(q, \sum_{i=1}^n a_{ij} q_j^i \mid q_j \in [0, 2p] \right) \right\}, \text{ де } a_{ij}, q_j \in R, n \leq 3.$$

$$r'_2 = \bigcup_{j=1}^m \left\{ \left(q, \sum_{i=1}^n a_{ij} q_j^i \mid q_j \in [0, 2p] \right) \right\}, \text{ де } a_{ij}, q_j \in R, n \leq 3.$$

Для кожного контура r'_1 , r'_2 похибка апроксимації дорівнює: $|r'_1(q) - P(q)| \leq e_1$ та $|r'_2(q) - P(q)| \leq e_2$ і відповідно отримують різну кількість сегментів l і m .

Для проведення перетворення контурів необхідно, щоб $l = m$. Кількість сегментів на контурі зростає, і похибка апроксимації більша.

4. У випадку, коли $e_1 + e_2 \geq e_T$, необхідно зменшити похибки апроксимації контурів.

Якщо $e_1 > e_2$, збільшуємо кількість апроксимуючих кривих контура C'_1 , і коли $e_1 < e_2$, аналогічні дії виконуємо для C'_2 .

5. Здійснюємо перетворення сегментів контура C'_1 на відповідні сегменти контура C'_2 на основі формули (4).

6. Похибку перетворення знаходимо, використовуючи вираз (3).

Експериментальні дослідження

Для тестування запропонованих алгоритмів розроблено програмне забезпечення в середовищі Borland Delphi 7.0. Як тестову вибірку вибрано більше ніж 100 цитологічних зображень з мікрооб'єктами різної форми. Для проведення процесу перетворення двох мікрооб'єктів необхідно виконати ряд операцій попередньої обробки. На першому етапі здійснюємо сегментацію вхідного зображення за допомогою алгоритму на основі попередніх розміток. На другому етапі, використавши алгоритм проходження контуром “Backwand contour tracing” [17], отримуємо контури виділених мікрооб'єктів. Приклад вхідного зображення після попереднього оброблення та виділених мікрооб'єктів наведено на рис. 4.

Для проведення апроксимації знаходять масив характерних точок, на основі якого виконують наближення контурної функції кривими першого, другого та третього порядків з врахуванням максимально допустимої похибки апроксимації. Якщо похибка окремого апроксимуючого відрізка більша за допустиму, то цю частину контура ділять на дві однакові частини і роблять повторну спробу апроксимації. Якщо похибка окремих апроксимуючих відрізків менша за задане експертом

значення, то треба порівняти кількість апроксимуючих відрізків для двох мікрооб'єктів. На останньому етапі, на основі отриманих апроксимуючих відрізків, знаходять коефіцієнти перетворення типу “контур–контур”.

На рис. 5 відображено приклад апроксимації функції двох контурів мікрооб'єктів, а також приклад порівняння результатів проведеного перетворення.



Рис. 4. Виділені мікрооб'єкти

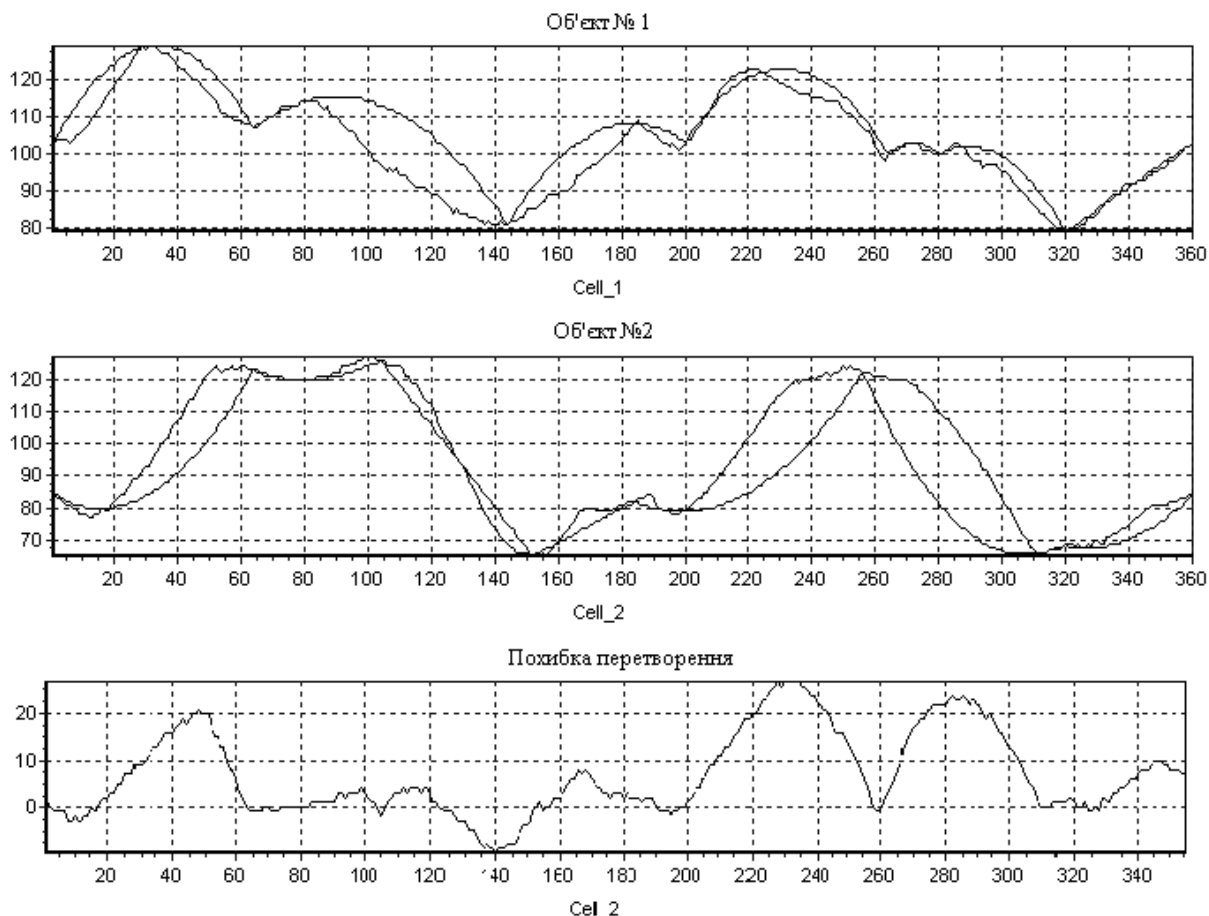


Рис. 5. Апроксимація контурів та похибка перетворення типу “контур–контур”

На рис. 5 показано, що максимальною похибка перетворення буде тоді, коли похибки відповідних апроксимуючих відрізків максимальні.

У таблиці наведено результати експериментальних досліджень вибірки зображень, похибки перетворення в яких були максимальними.

Похибки перетворення типу “контур–контур”

Номер експерименту	Макс. похибка 1-ї кривої, пікселів	Макс. похибка 2-ї кривої, пікселів	Макс. похибка перетворення, пікселів
1	11	30	27
2	9	10	9
3	3	9	8
4	14	20	18
5	19	15	15
6	13	15	15
7	21	30	27
8	12	10	11
9	8	9	8

Висновки

Для розробленого методу перетворення типу “контур – контур” здійснено оцінку похибки перетворення контурів. Похибка перетворення типу “контур – контур” складається з похибки апроксимації другого контура та похибки апроксимації першого контура, що множиться на функцію перетворення контурів. Розроблено алгоритм оцінки похибки перетворення контурів і проведено комп’ютерний експеримент на прикладі цитологічних зображень, який показав, що похибка перетворення типу “контур–контур” пропорційно залежить від похибок апроксимації функції контурів зображень.

1. Физика визуализации изображений в медицине: в 2 т. Т.1: пер. с англ.; под ред. С.Уэбба. – М.: Мир, 1991. – 408 с. 2. Афанасьев Ю. И. Гистология, цитология и эмбриология / Ю. И. Афанасьев, Н. А. Юрина, Е. Ф. Котовский и др. – М.: Медицина, 2003. – 737 с. 3. Pratt W. Digital image processing: PIKS Scientific inside, 4th ed / William K. Pratt. – USA: John Wiley & Sons, 2007. – 782 p. 4. Абламейко С. В. Медицинские информационные технологии и системы / В. В. Анищенко, В. А. Лапицкий, А. В. Тузигов; ОИПИ НАН Беларуси. – Минск, 2007. – 176 с. 5. Абламейко С. В. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине / Абламейко С. В., Недзьведь А. М.; НАН Беларуси, Объед. ин-т проблем информатики. – Минск, 2005. – 156 с. 6. Ахметшин А. М. Повышение чувствительности ультразвуковой диагностики на основе псевдоэллипсометрических параметров аналитических импульсных характеристик / Ахметшин А. М., Степаненко А. А. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2005. – № 1 (15) – С. 90–95. 7. Кожем’яко В. П. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень / В. П. Кожем’яко, С. В. Павлов, К. І. Станчук. – 2006. – 203 с. 8. Недзьведь А. М. Современные возможности обработки изображений при морфологическом исследовании карцином щитовидной железы / А. М. Недзьведь, М. В. Фридман, В. Е. Папок // Медицинские новости: научно-практ. инф.-аналит. журнал для врачей и руководителей здравоохранения – 2006. – № 12. – С. 115–119. 9. Скобцов Ю. А. Моделирование и визуализация поведения потоков крови при патологических процессах / Ю.А. Скобцов, Ю.В. Родин, В.С. Оверко. – Донецк: ИПММ НАНУ, Изд-во Заславский, 2008. – 212 с. 10. Тузигов А. В. Построение поверхностных и объемных моделей объектов медицинских изображений / Снежко Эдуард Витальевич, Тузигов Александр Васильевич // Таврический вестник информатики и математики. – 2006. – № 1. – С. 91–96. 11. Автандилов Г. Г. Медицинская морфометрия: руководство / Г. Г. Автандилов – М.: Медицина, 1990. – 384 с. 12. Автандилов Г. Г. Основы количественной патологической анатомии / Г. Г. Автандилов – М.: Медицина, 2002. – 238 с. 13. Егорова О. В. Компьютерная микроскопия / О. В. Егорова, Е. И. Клыкова, В. Г. Пантелеев – М.: Техносфера, 2005. – 300 с. 14. Березский О. Н. Топологические методы и алгоритмы преобразования контуров и областей плоских изображений / О. Н. Березский // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 5. – С. 123–131. 15. Березький О. М. Методи та алгоритми перетворення контурів зображень в афінному просторі // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 638. – С. 185–189. 16. Косневски Ч. Начальный курс алгебраической топологии / Ч. Косневски. – М.: Мир, 1983. – 304 с. 17. Березький О. М. Алгоритм проходження контуром об’єкта з використанням зворотного ходу / О. М. Березький, Ю. М. Батько // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 116–122.