

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОНТУРУ НАТУРАЛЬНОЇ ШКІРИ

М.М. ШКОДЕНКО, В.П. КОНОВАЛ, В.І. ЧУПРИНКА

Київський національний університет технологій та дизайну

У роботі запропоновано методику автоматизованої підготовки вхідної інформації про контур натуральної шкіри. Розглянуто такі питання, як вибір технічної бази, процес отримання зображення, підготовка зображення до перетворення на цифрову форму, алгоритм оцифрування та математична модель представлення контуру. Алгоритм реалізовано у програмний додаток в інтегрованому середовищі програмування Delphi для операційної системи Windows

З появою автоматизованих розкрійних комплексів виникла потреба організації автоматизації розкрою за допомогою машин. У взуттєвій промисловості широко представлено програмні та апаратні засоби для автоматизованої генерації розкрійних схем. Очевидно, що використання згаданих систем потребує попередньої підготовки вхідної інформації про геометричні властивості деталей та матеріалу. Для спеціалізованих програмних продуктів це питання залишається невирішеним. Апаратні комплекси, які мають функцію підготовки вхідної інформації, дуже дорогі і є вузько орієнтованими системами.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами дослідження є зовнішні контури натуральної шкіри. Методами дослідження є методи обчислювальної математики, аналітичної геометрії та алгоритми обробки цифрових зображень.

Постановка завдання

Мета роботи – забезпечити автоматизовану підготовку вхідної інформації для створення розкрійних схем натуральних шкір і подальшого їх розкрою за допомогою автоматичних розкрійних комплексів. Для цього необхідно вирішити такі завдання:

- реалізувати максимально точне графічне представлення контурів натуральної шкіри;
- отримати із заданою точністю дані про геометричні розміри шкіри і розміщення на ній різного роду дефектів [1];
- представити отриману інформацію у форматі, зручному для використання алгоритмами оптимальної укладки, що використовуються у програмах генерації розкрійних схем.

Найважливіший етап завдання – вибір апаратної частини для отримання інформації про шкіру, тому що спосіб і якість отримання графічної інформації про контур і дефекти на матеріалі є визначальною умовою вибору та реалізації алгоритмів. При цьому необхідно врахувати такі вимоги:

- зображення має великі розміри (натуральні шкіри в середньому мають розмір 2000*1500 мм);
- необхідна точність апроксимації деталей має становити 0,5 мм;
- потрібно отримати реалістичне кольорове зображення високої якості, оскільки для правильного визначення дефектів потрібно мати максимум інформації;
- ергономічність та економічність обладнання.

Результати та їх обговорення

Розвиток техніки відкрив практичну можливість використання дзеркальних цифрових фотоапаратів початкового рівня для вирішення поставлених у роботі завдань. Дзеркальні цифрові фотоапарати вирізняються порівняно невисокою ціною, за наявності достатніх технічних характеристик,

таких як роздільна здатність (від 4000*3000 пікселів), низький рівень шумів, можливість підбору оптичної системи, яка максимально відповідає наявним умовам. Додатково слід зауважити, що нові моделі підтримують програмний інтерфейс, який дозволяє керувати процесом зйомки безпосередньо з прикладного програмного додатку. Зображення можна отримати за такою схемою. Для виділення контурів слід отримати чорно-білу фотографію при мінімальній чутливості матриці. Дефекти шкіри слід позначити в інтерактивному режимі на максимально чітких кольорових фото лицьового та зворотного боків . Такий підхід дозволить отримати зображення, яке максимально підходить для розв'язання окремих підзавдань і значно спрощує реалізацію алгоритмів автоматизованої підготовки вхідної інформації про контур натуральної шкіри. Для визначення контуру шкіри інформація про колір не потрібна, достатньо лише мати значення яскравості точок, до того ж алгоритми фільтрації шумів теж розраховані на одноколірне зображення [2] (фактично кольорове зображення обробляється по кожному основному кольору окремо). Окрім того, такий режим фотозйомки дозволить суттєво зменшити інтенсивність шумів, що підвищить базову ефективність фільтрації.

Обов'язковим першим етапом є попередня обробка фотографії перед розпізнаванням контуру. Для цього розроблено алгоритми, які на основі аналізу групи пікселів встановлюють значення поточного пікселя, таким чином зменшуючи вплив випадкових значень. Практично набули поширення усереднений, пороговий та медіанний фільтри для позбавлення зображення від небажаних шумів.

Одновимірний медіанний фільтр представляє собою рухоме вікно, що охоплює непарне число елементів зображення [3]. Центральний елемент замінюється медіаною елементів зображення у вікні.

Слід ввести такі визначення. Медіаною дискретної послідовності з кількістю елементів M при непарній кількості елементів називається елемент, для якого існує $(M-1)/2$ елементів менших або рівних йому за величиною і $(M-1)/2$ елементів більших або рівних йому. Медіанний фільтр в одних випадках забезпечує придушення шуму, а в інших – викликає небажане придушення сигналу. Як правило, медіанний фільтр застосовують кілька разів, послідовно збільшуючи розмір вікна до тих пір, поки медіанна фільтрація почне завдавати більше шкоди, ніж користі. Інша можливість полягає в каскадній медіанній фільтрації сигналу з використанням фіксованої або змінної ширини вікна.

Було виявлено, що ті ділянки, які залишаються без зміни після одноразової обробки, не змінюються і після повторної. А ділянки, в яких тривалість імпульсних сигналів становить менше половини ширини вікна, зазнаватимуть змін після кожного циклу обробки. Концепцію медіанного фільтра можна легко узагальнити для двомірної матриці, застосовуючи вікно прямокутної форми або форми, близької до кола. Основною перевагою медіанного фільтра, що зумовила його використання в цій роботі, є особливість не пошкоджувати контур, тобто межа, що утворена групами пікселів, які відрізняються яскравістю, лишається незмінною. Результат роботи медіанного фільтра показано на рис. 1.

Встановлено, що кращі результати можна отримати при доповненні процедури медіанної фільтрації застосуванням порогового фільтра. Ідея порогового фільтра полягає у заміні кольору елементів зображення, значення яскравості яких не потрапляє у певний діапазон яскравостей. Оскільки виконується обробка монохромного зображення, то необхідно визначити межу для відділення «чорної» шкіри від «білого» фону. Для визначення діапазону «чорного» можна проаналізувати співвідношення пікселів різного кольору і вибрати межу «чорного» діапазону, базуючись на попередньо заданій його

допустимій ширині. У такому разі ширина діапазону показує допустиму кількість варіантів значення яскравостей. Якщо значення яскравості поточного пікселя не потрапляє у «чорний» діапазон, то встановлюється максимальне значення, що визначає «білий» фон.

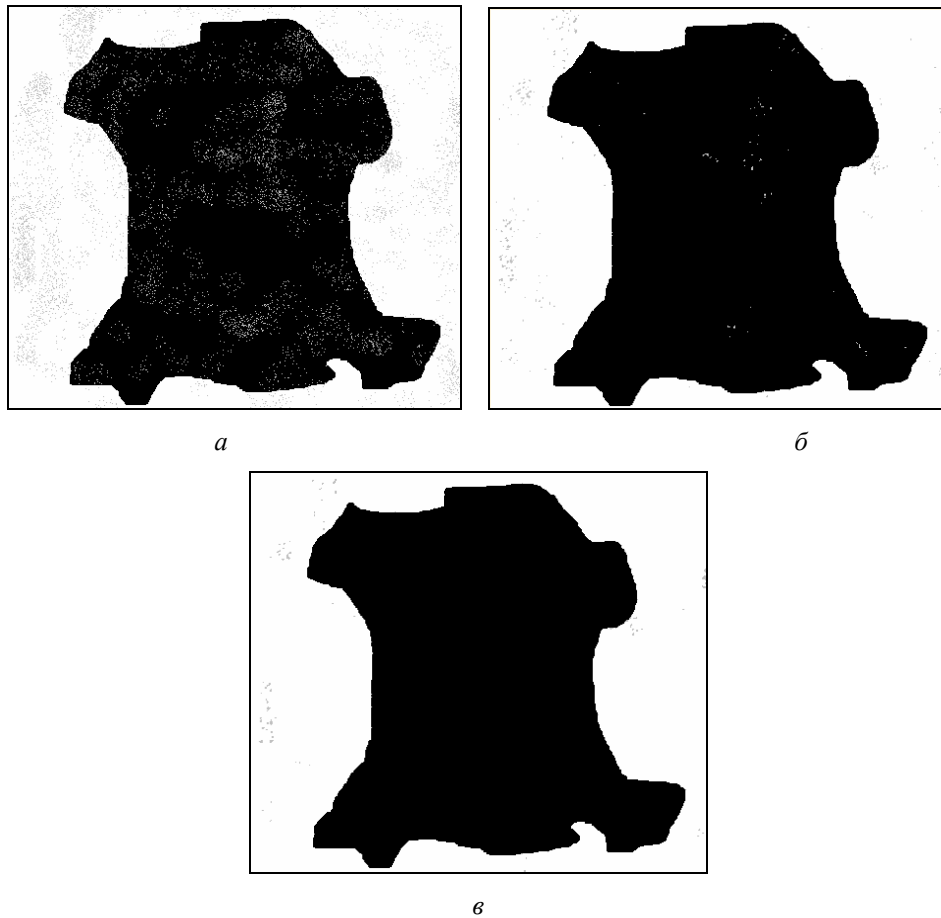


Рис. 1. Приклад використання медіанного фільтра:

а–вихідне зображення, **б**–перший прохід циклу обробки, **в**– другий прохід

Описані фільтри, особливо медіанний, мають параметри, які приймають різні значення для різних зображень. Для порогового фільтра – це допустима ширина діапазону, її приблизно можна визначити автоматично на основі статистичного аналізу. Для медіанного фільтра – це розмір вікна і його форма. Розмір вікна впливає на інтенсивність фільтрації. Чим воно більше, тим ефективніше видаляється шум, проте зворотним ефектом виявляється пошкодження межі між двома ділянками з різною яскравістю. Отже, необхідно або визначити компромісний розмір вікна, або автоматично його змінювати при наближенні до такої межі. Тут спрацьовує принцип, подібний до того, який використовується у пороговому фільтрі: якщо різниця яскравості двох груп пікселів більша або дорівнює заданій величині, то вважається, що вікно міститься на межі, тому слід зменшити його розмір. Такий параметр, як форма вікна, встановлюється тільки евристично.

З наведених міркувань можна зробити висновок, що в будь-якому разі реалізація згаданих алгоритмів вимагає можливості гнучкого їх налаштування і бажано мати можливість збереження налаштувань у групах для їх швидкого вибору.

На очищеному від шумів монохромному зображенні досить просто може бути виділено контур (у растровому форматі). Оскільки попередня обробка виключає можливість випадкової зміни яскравості,

можна вважати, що кожна така зміна є межею контуру. В такому випадку алгоритм розпізнавання контуру виявляється дуже простим. Він полягає у такому: виконується послідовне сканування рядів пікселів, якщо поточний піксель чорний, то він позначається як такий, що належить контуру. У такому разі сканування припиняється. За умови, що піксель належить контуру, виконується перехід до наступного ряду.

Таких послідовних сканувань рядків потрібно виконати чотири – два по горизонталі і два по вертикалі у протилежних напрямках. Останній етап алгоритму – видалення всіх пікселів, які не належать контуру. В результаті буде отримано матрицю пікселів, що має таку властивість – кожен «чорний» піксель належить контуру і має тільки двох сусідів в оточенні із 8 пікселів. Тому нескладно виділити із усього зображення контур у вигляді одновимірної послідовності точок, тобто одновимірного масиву (див. рис. 2).

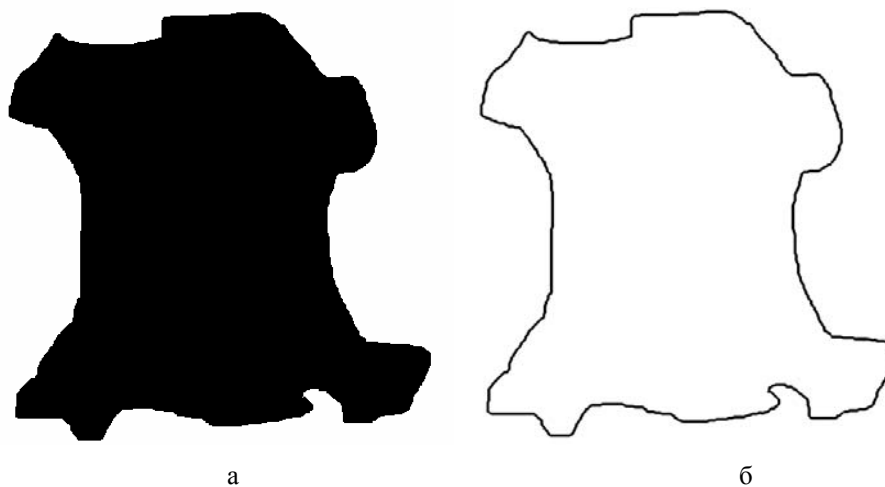


Рис. 2 Приклад растрового контуру:

а – вихідне зображення, б – контур, отриманий скануванням

Наступний етап роботи – представлення межі шкіри (деталі) у векторному вигляді [4]. Робиться це шляхом послідовного пошуку сусідніх точок. Алгоритм можна описати таким чином: визначається перша точка. Першою вибирається точка, яка є крайньою зліва і має найбільше значення ординати. Встановлюється напрямок пошуку праворуч від поточної точки і визначається суміжний піксель. Якщо він не позначений – слід позначити його як вершину; якщо такого пікселя немає, то встановлюється напрям пошуку ліворуч від поточної точки, і процедура повторюється (суміжний піксель завжди існує і він тільки один, ця умова виконується як результат попереднього алгоритму). Знайдений суміжний піксель додається до множини-результату (одновимірний масив) і позначається як поточний. Процедура повторюється доти, доки координати поточної вершини не збігаються з координатами першої. Якщо координати $A_i(X_i, Y_i)$ попередньої вершини і $A_{i+1}(X_{i+1}, Y_{i+1})$ наступної вершини збігаються, то поточна вершина видаляється із результату.

Контур, вершинами якого є окремі пікселі, можна ущільнити, тобто видалити із заданою точністю проміжні точки. Це уможливить скорочення обсягу пам'яті, який використовується для опису контуру, а зменшення кількості його вершин підвищить швидкодію при виконанні над ним перетворень.

Розглянемо алгоритм ущільнення контуру. Нехай контур представлено вершинами A_i, A_{i+1}, \dots, A_k з координатами $A_i(X_i, Y_i)$, $A_{i+j}(X_{i+j}, Y_{i+j})$, $A_k(X_k, Y_k)$, де $j = 1..k - i - 1$.

Тоді рівняння прямої A_iA_k представлено формулою (1):

$$\frac{x - X_i}{X_k - X_i} = \frac{y - Y_i}{Y_k - Y_i} \quad (1)$$

або формулою $Ax + By + C = 0$, де коефіцієнти прямої $A = Y_k - Y_i$, $B = X_i - X_k$, $C = X_k Y_i - X_i Y_k$.

Проведемо перпендикуляри з точок A_{i+1}, \dots, A_{k-1} до прямої A_iA_k (див. рис. 3).

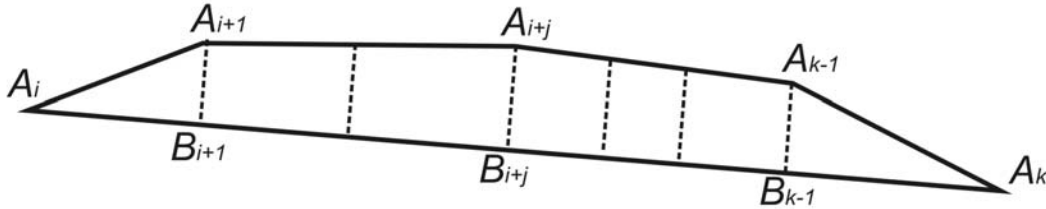


Рис. 3. Приклад визначення зайвих вершин

Знайдемо довжини відрізків $A_{i+1}B_{i+1}, \dots, A_{i+j}B_{i+j}, A_{k-1}B_{k-1}$ за формулою (2):

$$|A_{i+j}B_{i+j}| = \frac{AX_{i+j} + BY_{i+j} + C}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \quad (2)$$

де $j = 1..k - i - 1$.

Якщо довжина відрізка $|A_{i+j}B_{i+j}| \leq \varepsilon$, де ε – допустима точність апроксимації зовнішнього контуру деталі, то контур деталі при вилученні цих вершин буде відображено із заданою точністю (див. рис. 4).

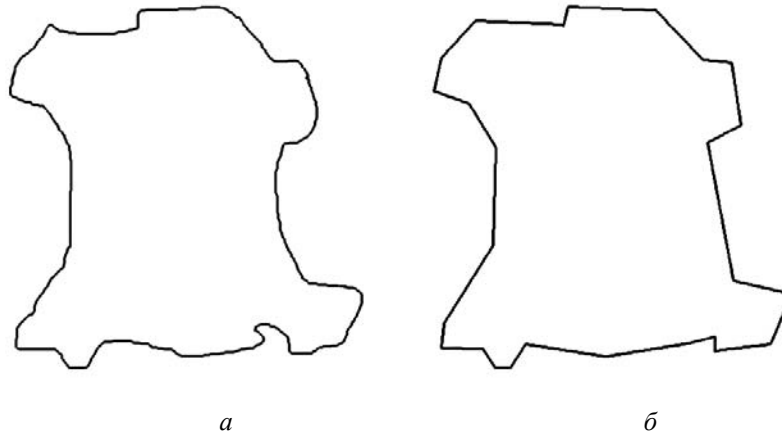


Рис. 4. Приклад ущільнення інформації про зовнішній контур деталі:
a – вихідний контур, **б** – ущільнений з заданою точністю контур

Таким чином можна отримати математичне зображення, яке найповніше відповідає наявним технічним можливостям і практичним завданням (інколи деталізація може бути невиправдано високою).

Аналітично можуть бути описані тільки деякі контури, оскільки, як правило, вони мають дуже складну конфігурацію. Тому їх необхідно апроксимувати більш простими графічними примітивами. Найбільше поширення отримав спосіб кусково-лінійної апроксимації, тобто зображення контуру кривими першого порядку. Застосування цього способу у взуттєвій промисловості описано у роботі [5]. Використання апроксимації контуру пов'язане із необхідністю спрощення процесу розв'язання багатьох задач автоматизованого проектування. Крім того, спосіб кусково-лінійної апроксимації не накладає обмежень на геометричні властивості плоских геометричних об'єктів. Для описаного способу існує детально розроблений математичний апарат, який дозволяє ефективно маніпулювати отриманим контуром.

Нехай S – плоский геометричний об'єкт (матеріал, дефект, деталь). Зв'яжемо з плоским геометричним об'єктом S координатну систему XOY , де O – полюс деталі, обраний в довільній точці на деталі. Слід апроксимувати контур плоского геометричного об'єкта S ламаною лінією, яка складається з послідовно вибраних на контурі деталі вершин. Кількість цих вершин повинна забезпечувати потрібну точність апроксимації. Тоді плоский геометричний об'єкт S можна зобразити координатами точок вершин апроксимуючого опуклого-ввігнутого багатокутника, тобто масивом $\{X_k, Y_k\}$, $i=1..n$, де X_i, Y_i – координати i -ї вершини та n – кількість вершин апроксимуючого багатокутника (див. рис. 5). При апроксимації обхід зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкта будемо виконувати проти годинникової стрілки. Таке зображення дає можливість аналітично описати контур плоского геометричного об'єкта у вигляді системи рівнянь відрізків, з яких складаються ці контури. У параметричній формі запису ця система має вигляд виразу (3):

$$\begin{cases} X(t_k) = X_k + (X_{k+1} - X_k)t_k \\ Y(t_k) = Y_k + (Y_{k+1} - Y_k)t_k \end{cases} \quad k = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де $\{X_k, Y_k\}$, $k=1, \dots, n$ – точки на контурі плоского геометричного об'єкта, вибрані при апроксимації, або вершини багатокутника, t_k – параметр, $t_k \in [0; 1)$.

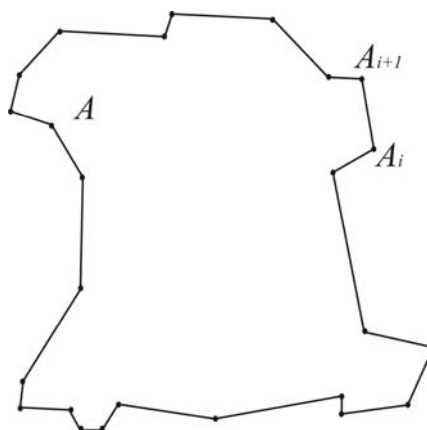


Рис. 5. Контур плоского геометричного об'єкта, отриманий способом кусково-лінійної апроксимації

Встановлено, що для практичних задач при розкрії шкіри достатньо забезпечити точність апроксимації контуру, що дорівнює 0,5 мм, тобто максимальне відхилення контуру деталі від контуру

апроксимуючої лінії не повинно перевищувати 0,5 мм. Тоді контур об'єкта може бути заданий вершинами опукло-ввігнутого багатокутника з координатами $\{X_j^s, Y_j^s\}$, $j = 1..k$, k – кількість вершин апроксимуючого багатокутника для зовнішнього контуру шкіри. Дефекти будуть також задаватися вершинами апроксимуючого багатокутника з координатами $\{Xp_j^l, Yp_j^l\}$, де $j = 1..m^l$, $l = 1..r$, m^l – кількість вершин опукло-ввігнутого апроксимуючого багатокутника для l -го дефекту, r – кількість дефектів.

Описані алгоритми реалізовано у програмний продукт. Програму написано мовою програмування Object Pascal в середовищі Delphi для операційної системи Windows. Програмний продукт має дружній інтерфейс і не потребує спеціальних знань з комп'ютерної техніки при роботі з ним.

Висновки

Розроблено методику, яка дозволяє автоматизувати процес отримання числового зображення контуру натуральної шкіри у форматі, який може бути використано як вхідну інформацію для розкрійних комплексів. Методика базується на використанні та вдосконаленні алгоритмів, які дозволяють застосовувати для аналізу зображення низької якості, отримане за допомогою техніки відносно низької вартості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рибальченко В.В., Коновал В.П., Хом'як М.Є., Шевченко Г.І. – Матеріалознавство виробів легкої промисловості: Підручник. – К.: КНУТД, 2008.–318 с.
2. Форсайт Девид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Вільямс. –2004.– 926 с.
3. Апальков И.В., Хрящев В.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики //Ярославский государственный университет.– 2007.–с.41–45.
4. Омельченко П.В., Коновал В.П., Чупринка В.І. Алгоритм підготовки та коригування про контури деталей шкіргалантерейних виробів// Вісник ТУП. – 2004. – №4.– с. 63–68.
5. Скатерной В.А. Оптимизация раскроя материалов в легкой промышленности.–М.: Легпромбытиздат, 1989.–144с.

Надійшла 12.02.2009