



УДК 004.93

КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ КУБІЧНОГО ПЕЛЬМЕНЯ

Голубков П.¹, Путников Д.², Егоров В.³^{1,2,3}Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, УкраїнаORCID: ¹0000-000207663-6772; ²0000-0003-2577-8858, ³0000-0003-4699-834XE-mail: ¹pavelsergeevichgolubkov@gmail.com; ²ulkiorrira@gmail.com; ³mechatronics.robotlab@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI:

Анотація. В статті вирішується задача розпізнавання форми продукції випускаємої новим комплексом обладнання з виробництва пельменної продукції особливої, кубічної форми. Випуск продукції складної важкорезалізовуваної форми використовується для збільшення економічної складової і виключення підробок. При виготовленні товарів виникає ряд труднощів, які необхідно подолати. Однією з них є облягання фаршу з мінусовою температурою в тісто яке має кімнатну температуру. Провівши ряд активних експериментів з замороженим фаршем і теплим тістом, отримавши і обробивши отримані результати, ми прийшли до висновку, що створюване обладнання повинно мати не тільки систему автоматичного керування, що включає в себе можливість керувати комплексом, а й містити алгоритми, які дадуть можливість розраховувати за математичними моделями необхідну для підтримання властивостей тісту температуру. А також включити в можливості комплексу комп'ютерну обробку отриманої продукції і використовуючи сучасні технології комунікацій, забезпечити передачу інформації, яка буде доступна для віддаленої роботи як самого комплексу, так і інформації про вироблену ним продукцію. Використовуючи нову, важкорезалізовану форму і сучасні технології, створений комплекс в майбутньому дасть можливість не тільки виробляти нову продукцію з формою захищеної від підробки, а й скоротити витрати виробництва. Ефективність буде обумовлена ще й в тому, що на продукцію такої форми, може бути підвищена ціна з міркування змісту в собі краєвих інгредієнтів і можливість використання більш компактною упаковки. Так як в пачках маючих в собі напівфабрикати кубічної форми фактично буде відсутній вільне місце на відміну від сучасних пачок з пельменній продукцією, що містить до 20% повітря. Це, так само дасть приріст ефективності при зберіганні і переміщенні продукції. Варто звернути увагу ще і на те, що дане обладнання зможе виробляти нові види продукції напівфабрикатів, що включають в себе не тільки використовуються в даній час поширені інгредієнти, такі як свинина і яловичина, а й м'ясо птиці, риби і містити безліч різних рецептів фаршу і тіста. Що в свою чергу розширить асортимент виробляємої продукції напівфабрикатів. Кінцевою стадією приготування пельменя є його перевірка та відбракування. Якщо форма пельменя відповідає регламенту, його відправляють на подальшу заморозку, в протилежному випадку, його відправляють на переробку, при цьому вноситься коригування у систему керування температурою нагріву. Сучасні комп'ютерні методи дозволяють отримувати ці дані з фото. Існує 3 методи обробки фото для виявлення необхідних властивостей: статичні методи, методи порівняння із зразком, нейронні мережі. У роботі розглядається розпізнавання пельменя з використанням бібліотеки відкритого доступу OpenCV, яка вже має безліч функцій розпізнавання та постійно дописується новими.

Abstract. The article solves the problem of recognizing the shape of products produced by a new complex of equipment for the production of dumplings of special, cubic shape. The production of complex difficult-to-sell products is used to increase the economic component and eliminate counterfeiting. When manufacturing goods, there are a number of difficulties that need to be overcome. One of them is a minced-temperature fork in the dough that has room temperature. Having conducted a series of active experiments with frozen minced meat and warm dough, having received and processed the obtained results, we came to the conclusion that the created equipment should have not only an automatic control system, which includes the ability to control the complex, but also contain algorithms that will allow to calculate mathematical models necessary to maintain the properties of the test temperature. And also to include in the complex capabilities of computer processing of received products and using modern communication technologies, to ensure the transfer of information that will be available for remote work of the complex itself, as well as information about its products. Using a new, hard-to-realize shape and modern technologies, the complex will in the future not only produce new products with a form of tamper-proof, but also reduce production costs. Efficiency will also be conditioned by the fact that for the products of this form, the price may be increased considering the



content of the best ingredients and the possibility of using a more compact packaging. Since packs of cubic semi-finished products will actually have no free space, unlike modern packs of ravioli products containing up to 20% air. This will also increase efficiency when storing and moving products. It is also worth noting that this equipment will be able to produce new products of semi-finished products, which include not only currently used common ingredients such as pork and beef, but also poultry, fish and many different recipes minced meat and dough. Which, in turn, will expand the range of products manufactured semi-finished products. The final stage of dumpling preparation is to check and reject it. If the dumpling shape meets the regulations, it is sent for further freezing; otherwise, it is sent for processing, with adjustment to the heating temperature control system. Modern computer methods allow you to retrieve this data from a photo. There are 3 photo processing methods to identify the required properties: static methods, sample comparison methods, neural networks. The paper examines ravioli recognition using the OpenCV open access library, which already has many recognition features and is constantly being updated with new ones.

Ключові слова: харчова промисловість, напівфабрикати, пельмені, виробництво, робототехніка, OpenCV, комп'ютерний зір, відкритий код, розпізнавання зображення, алгоритм розпізнавання.

Keywords: food industry, semi-finished products, dumplings, production, robotics, OpenCV, computer vision, open source, image recognition, recognition algorithm.

Вступ.

Python – це високорівнева мова програмування загального призначення, орієнтована на підвищення продуктивності розробника і читання коду. Синтаксис ядра Python мінімалістичний. У той же час стандартна бібліотека включає великий обсяг корисних функцій.

OpenCV – бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом. Реалізована на C / C ++, також розробляється для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та інших мов. Може вільно використовуватися в академічних і комерційних цілях — поширюється в умовах ліцензії BSD.

На даний момент існує багато задач у яких треба прийняти якесь рішення, яке буде залежить від наявності об'єкта на зображенні чи просто класифікувати його. Можливість розпізнавати до недавнього вважалась привілеєм людей, проте зараз все змінюється.

Розділяють 3 групи методів розпізнавання образів:

- Порівняння із зразком. У цю групу входить класифікація по найближчому середньому, класифікація по відстані до найближчого сусіда. Також в групу порівняння зі зразком можна віднести структурні методи розпізнавання.

- Статистичні методи. Як видно з назви, статистичні методи використовують деяку статистичну інформацію при вирішенні задачі розпізнавання. Метод визначає приналежність об'єкта до конкретного класу на основі ймовірності. В ряді випадків це зводиться до визначення апостеріорної ймовірності приналежності об'єкта до певного класу, за умови, що ознаки цього об'єкта взяли відповідні значення. Прикладом служить метод на основі байєсівського вирішального правила.

- Нейронні мережі. Окремий клас методів розпізнавання. Відмінною особливістю від інших є здатність навчатися.

Розглянемо загальний алгоритм розпізнавання. Загальна послідовність дій при розпізнаванні виглядає так:

- Попередня обробка зображення — згладжування, фільтрація перешкод, підвищення контрасту;

- Бінаризація зображення і виділення контурів об'єктів;

- Початкова фільтрація контурів по периметру, площі, коефіцієнту форми;

- Приведення контурів до єдиної довжини, згладжування;

- Перебір всіх знайдених контурів, пошук шаблону, максимально схожого на даний контур.

Бібліотека OpenCV надає можливість розробникам легко детектувати контури зображення і маніпулювати ними. Для пошуку контурів пропонується використовувати функцію `cvFindContours()`. Функція `cvFindContours` відшукує контури від монохромного зображення і повертає число знайдених контурів. Після того, як контури виявлені — їх можна вивести в зображення за допомогою функції `cvDrawContours()`.

Для згладжування і отримання більш акуратних контурів використовуємо функцію `cvApproxPoly()`. Коли камера рухається на якомусь об'єкті, то важливо визначити напрямок руху.

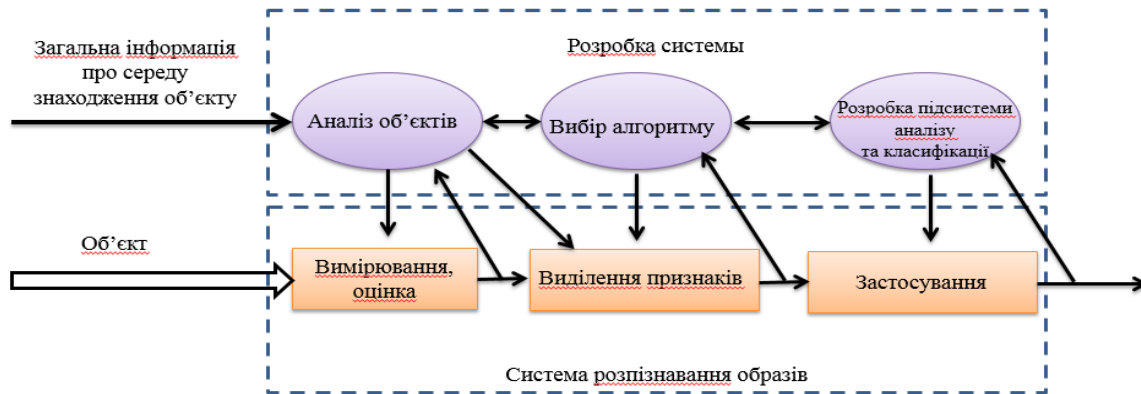
В цьому випадку можна використовувати наступну функцію в OpenCV — `phaseCorrelate`. Функція використовується для визначення зрушень між двома зображеннями (масивами).

Проте треба розуміти аби чітко виділяти контур та ідентифікувати пельмені, перш за все необхідно знати як працює камера і як вона сприймає кольори, які фактори можуть вплинути на результати. Основними факторами що заважають можна назвати освітлення та нечіткість знімку. Використання кольору в обробці зображень обумовлено двома основними причинами. По-перше, колір є тим важливим ознакою, який часто полегшує розпізнавання і виділення об'єкта на зображенні. Будь-яке зображення складається із пікселів, а піксель в свою чергу має колір. Колір пікселя записують у форматі RGB.

RGB – це адитивна кольорова модель, як правило, що описує спосіб кодування кольору для відтворення кольору за допомогою трьох кольорів, які прийнято називати основними.

**Основна частина.**

Алгоритм системи розпізнавання працює таким чином: система повинна отримати загальну інформацію про середу знаходження об'єкту, далі основною метою є аналіз та оцінка того що зображено. Для того аби ідентифікувати зображення потрібно виділити основні признаки, тобто унікальну інформацію. Після чого ПЗ забезпечення зможе проаналізувати та виділити необхідні об'єкти. Нижче приведений алгоритм загальної роботи системи (рис. 1).

**Рис. 1 – Алгоритм роботи**

Open CV – бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробка зображення та чисельних алгоритмів загального призначення. Реалізована на C/C++, також розробляється для Python, Java, Ruby, Matlab, Lula та інших мов.

Опис функцій та позначень:

1) CV — модуль обробки зображень і комп'ютерного зору

- базові операції над зображеннями (фільтрація, геометричні перетворення, перетворення кольорних просторів);
- аналіз зображень (вибір відмінних ознак, морфологія, пошук контурів, гістограми);
- аналіз руху, спостереження за об'єктами;
- виявлення об'єктів, зокрема осіб;
- калібрування камер, елементи відновлення просторової структури

2) Highgui — модуль для введення / виведення зображень і відео, створення призначеного для користувача інтерфейсу

- захоплення відео з камер і з відео файлів, читання / запис статичних зображень.

При роботі алгоритму зображення проходить декілька етапів, перш за все зображення перетворюється із кольорового у сірі відтінки та робиться декілька розмитим для того аби зменшити шуми і підвищити точність (рис.3.6.3.6).

Для того аби розмити зображення ми використовуємо фільтр Гауса. Оскільки всі результати виявлення краю легко впливають на шум зображення, важливо відфільтрувати шум, щоб запобігти помилковому виявленню шуму. Щоб згладити зображення, застосовується гауссовий фільтр для згортання з зображенням. Цей крок трохи згладить зображення, щоб зменшити наслідки очевидного шуму на детекторі краю. Рівняння для ядра гауссового фільтра розміру $(2k + 1) \times (2k + 1)$ дається:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(i - (k + 1))^2 + (j - (k + 1))^2}{2\sigma^2}\right); 1 \leq i, j \leq (2k + 1)$$

Важливо зрозуміти, що вибір розміру гауссовського ядра вплине на продуктивність детектора. Чим більше розмір, тим нижче чутливість детектора до шуму. Крім того, помилка локалізації для виявлення краю дещо збільшиться із збільшенням розміру ядра гауссовського фільтра.

Наступним кроком ми знаходимо контури кожного об'єкту на зображенні. Визначення градієнта інтенсивності зображення та контуру у зображенні може вказуватись у різних напрямках, тому алгоритм Санпу використовує чотири фільтри для виявлення горизонтальних, вертикальних та діагональних країв у розмитому зображенні. Оператор виявлення краю повертає значення для першої похідної в горизонтальному напрямку (G_x) та вертикальному напрямку (G_y). З цього можна визначити градієнт краю і напрямок:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\Theta = \text{atan2}(G_y, G_x),$$

де G можна обчислити за допомогою функції `hypot`, а `atan2` — арктангенна функція з двома аргументами. Кут напрямку краю округлений до одного з чотирьох кутів, що представляють вертикальну, горизонтальну та дві діагоналі (0° , 45° , 90° та 135°). Регулювання краю в кожній колірній області буде встановлено на певні значення кутів, наприклад, θ в $[0^\circ, 22,5^\circ]$ або $[157,5^\circ, 180^\circ]$ відображається 0° .



Цей крок робиться з метою ідентифікації усіх об'єктів аби потім виділити лише потрібні(рис.3.6.3.7).

Відстеження краю по гістерезису

Виявлення контурів стосовно фотографії

До сих пір пікселі з сильним краєм, безумовно, повинні брати участь в кінцевому крайовому зображенні, оскільки вони витягуються з істинних країв зображення. Проте, будуть деякі суперечки про пікселі зі слабким краєм, так як ці пікселі можуть бути або вилучені з істинного краю, або через зміни шуму / кольору. Щоб отримати точний результат, слабкі краю, викликані останніми причинами, повинні бути видалені. Зазвичай слабкий крайній піксель, викликаний істинними краями, буде пов'язаний з сильним крайовим пікселем, в той час як шумові відгуки не пов'язані. Для відстеження крайового з'єднання застосовується аналіз BLOB-об'єктів, дивлячись на слабкий крайовий піксель і його 8-суміжні сусідні пікселі. Поки в BLOB-об'єкті присутня один піксель з сильним краєм, цю точку слабого краю можна ідентифікувати як точку, яка повинна бути збережена.

Поліпшення визначення Canny Edge

У той час як традиційне виявлення контурів Canny забезпечує відносно просту, але точну методологію для завдання виявлення контурів, з більш жорсткими вимогами до точності і надійності виявлення, традиційний алгоритм не може впоратися з складним завданням виявлення контурів. Основні недоліки традиційного алгоритму можна узагальнити наступним чином:

1. Фільтр Гаусса застосовується для згладжування шуму, але він також згладить кордон, що вважається височастотним ознакою. Це збільшить ймовірність пропуску слабких ребер і появи ізольованих ребер в результаті.

2. Для обчислення амплітуди градієнта старий алгоритм виявлення країв Канні використовує центр в невеликому вікні сусідства 2×2 для обчислення середнього значення кінцевої різниці для подання амплітуди градієнта. Цей метод чутливий до шуму і може легко виявити помилкові краю і втратити реальні краю.

3. У традиційному алгоритмі виявлення фронту Canny буде два фіксованих глобальних порогових значення для фільтрації помилкових фронтів. Однак, оскільки зображення стає складним, для різних локальних областей будуть потрібні дуже різні порогові значення, щоб точно визначити реальні краю. Крім того, глобальні порогові значення визначаються вручну за допомогою експериментів традиційним методом, що призводить до ускладнення розрахунків, коли необхідно мати справу з великою кількістю різних зображень.

4. Результат традиційного виявлення не може досягти задовільно високої точності одиночного відгуку для кожного фронту — з'являться багатоточкові відгуки.

Однак, деякі з контурів не закриті – тобто лінії контурів не замкнені. Щоб це виправити застосуємо операцію «закриття». Після чого виявляємо контури об'єктів на зображенні(рис.3.6.3.8). Для цього використовуємо функцію `cv2.findContours`.

Пельмень являє собою квадрат. У квадраті чотири вершини. Тому, якщо ми розглянемо контур і виявимо, що він має чотири вершини, то ми можемо припустити, що це пельмень, а не інший предмет на зображенні. Для кожного з контурів ми обчислюємо периметр, використовуючи `cv2.arcLength`, а потім апроксимуємо (згладжуємо) контур, використовуючи `cv2.approxPolyDP`.

Причина, по якій ми апроксимуємо контур, полягає в тому, що він може не бути ідеальним прямокутником. Через зашумлення і тіні на фото ймовірність того, що у коробки буде рівно 4 вершини, невелика. Апроксимуючи контур, ми вирішуємо цю проблему.

Для того аби перевірити роботу коду було проведено ряд есперементів із різними видами кольорів, зображень та їх положенням. Для того аби знизити шуми зображення було трансформовано у відтінки сірого та дещо розмито. В результаті чого кольорове зображення стало чорно-білим, проте кожний колір має свій відтінок сірого у палітрі. Для відладки коду та для того аби визначити, які кольори будуть розпізнаватися безпомилково, а які ні, був проведений експеремент із найбільш використовуваними кольорами.

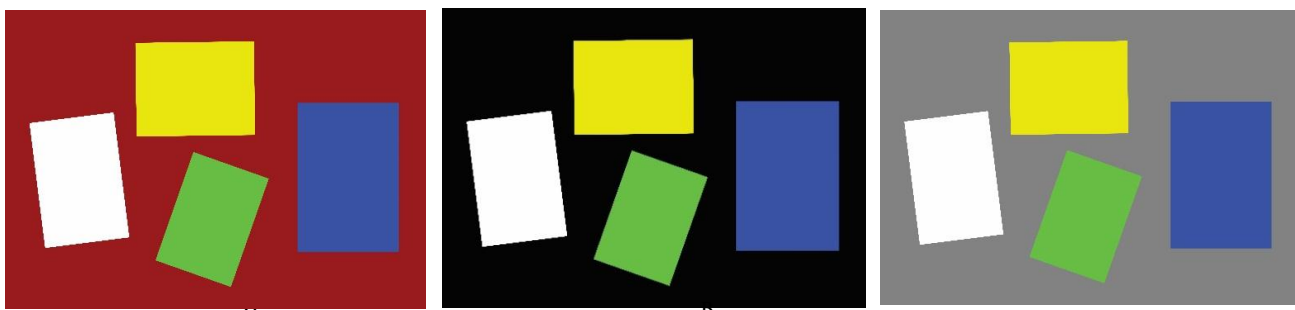


Рис. 2 – Розпізнавання прямокутників різного кольору

В результаті проведення дослідження було виявлено, що на зображенні (рис. 2, а) розроблений код не зміг виявити прямокутних синього кольору, на зображенні (рис. 2, б) – були знайдені всі 4 прямокутники, на зображенні (рис. 2, в) - розроблений код не зміг виявити прямокутних синього та зеленого кольорів.



У результаті роботи алгоритму ми отримали такі результати обробки зображення. Наше вхідне зображення має вигляд (рис. 3).



Рис. 3 – Пельменний продукт кубічної форми для ідентифікації

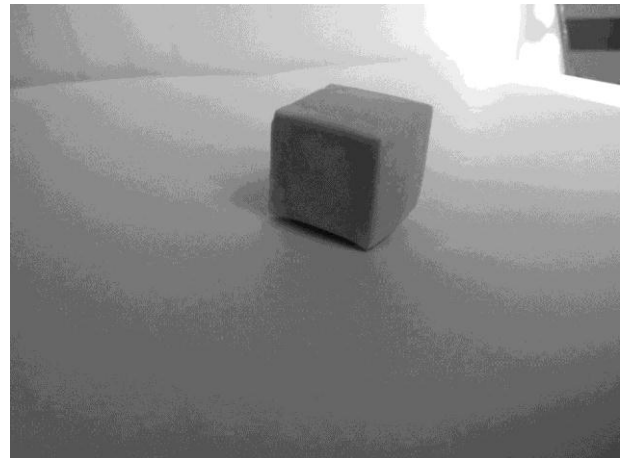


Рис. 4 – Зниження шумів

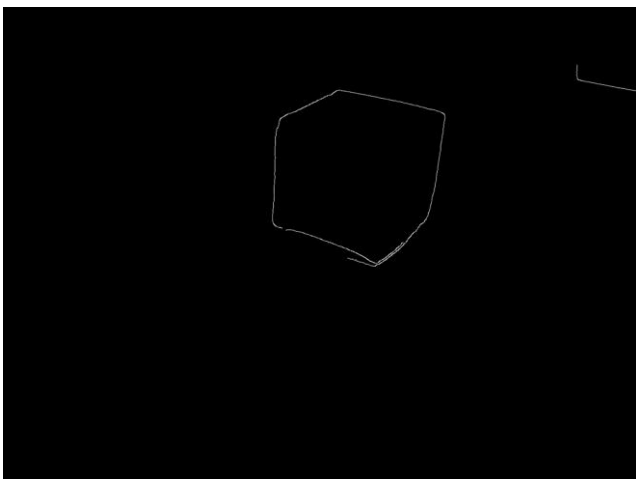


Рис. 5 – Знаходження контуру

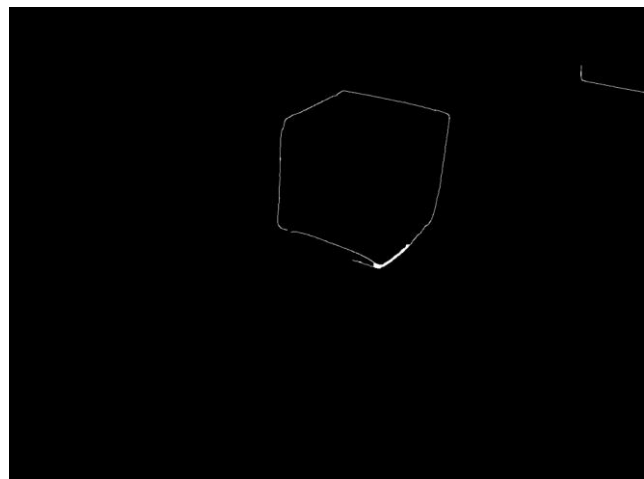


Рис. 6 – Замикання контуру

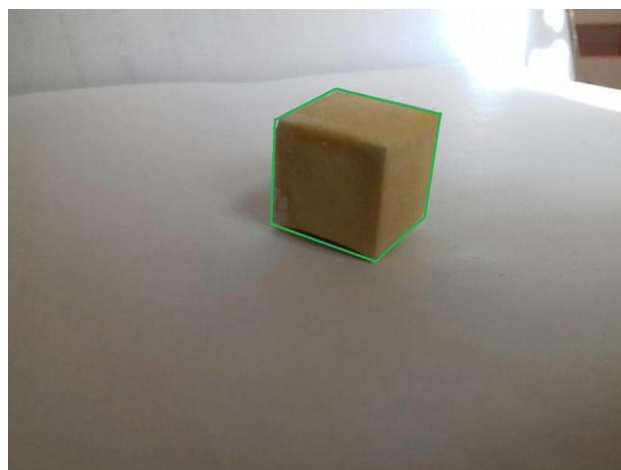


Рис. 7 – Виявлення контуру



Отже, можна сказати, що фон на якому знаходиться зображення також впливає на результат розпізнавання. Також провели досліді щодо знаходження контурів об'єктів, які розташовані по різному. В результаті аналізу, можна сказати, що виявлення контурів залежить від багатьох факторів. Із самих важливих можна виділити:

- освітленість приміщення;
- колір самого об'єкта;
- середа в якому цей об'єкт розташований;
- положення об'єкту.

Нижче представлений код реалізації алгоритму ідентифікації об'єкту та його виділення з поміж інших.

```
import numpy as np //імпортуємо необхідні бібліотеки
import cv2
image = cv2.imread(«example.jpg») //завантажує зображення
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)// змінює колір на відтінки сірого
gray = cv2.GaussianBlur(gray, (3, 3), 0) // зменшує чіткість
cv2.imwrite(«gray.jpg», gray) //формує зображення
edged = cv2.Canny(gray, 10, 250) //визначаємо контури
cv2.imwrite(«edget.jpg», edged)// формуємо зображення
kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_RECT, (7, 7)) //викликаємо ф-цію
закриття контурів
closed = cv2.morphologyEx(edged, cv2.MORPH_CLOSE, kernel) //застосовуємо функцію
cv2.imwrite(«closed.jpg», closed)
cnts = cv2.findContours(closed.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL, //знаходить контури та
рахає ix
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE) [1]
total = 0
for c in cnts: //цикл по контурам
    peri = cv2.arcLength(c, True) //обчислюємо периметр
    approx = cv2.approxPolyDP(c, 0.02 * peri, True) //згладжуємо контур
    if len(approx) >= 4: //якщо є 4 вершини, то це коробка
        cv2.drawContours(image, [approx], -1, (0, 255, 0), 4)
        total += 1
print(«I find {0} pelmen on this image».format(total))
cv2.imwrite(«output.jpg», image)
```

Висновки. У роботі було досягнуто, завдяки бібліотеці OpenCV, що використовується розробниками у сфері компютерного зору при обробці фотографій, розпізнавання пельменя кубічної форми. А саме таких його властивостей, як форма. Як видно з рисунків контур пельменя після обробки точно відтворює форму оригіналу, що дозволяє використовувати його у системі автоматичного керування нагрівом пельменного продукту.

Список використаних джерел

- [1] Berry M.R., Bradshaw J.G., Kohnhorst A.L. Heating Characteristics of Ravioli in Brine and in Tomato Sauce Processed in Agitating Retorts // Journal of Food Science. 1985. No 3 (50). С. 815–822;
- [2] Morgan M.T., Haley T.A. Design of Food Process Controls Systems 2007. 485–552 с;
- [3] Martin C.K. [и др.]. Measuring food intake with digital photography // Journal of Human Nutrition and Dietetics. 2014. No SUPPL.1 (27). С. 72–81;
- [4] Yousefi-Darani A. [и др.]. Closed loop control system for dough fermentation based on image processing // Journal of Food Process Engineering. 2018. No 5 (41);
- [5] Lima J., Moreira J.F.P., Sousa R.M. Remote supervision of production processes in the food industry 2016. 1123–1127 с;
- [6] Kolberg D., Zühlke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies 2015. 1870–1875 с.

References

- [1] M. R. Berry, J. G. Bradshaw, and A. L. Kohnhorst, “Heating Characteristics of Ravioli in Brine and in Tomato Sauce Processed in Agitating Retorts,” *Journal of Food Science*, vol. 50, no. 3, pp. 815–822, 1985; <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13803.x>
- [2] M. T. Morgan and T. A. Haley, “Design of Food Process Controls Systems,” in *Handbook of Farm Dairy and Food Machinery*, 2007, pp. 485–552; <https://doi.org/10.1016/B978-081551538-8.50019-4>



- [3] C. K. Martin, T. Nicklas, B. Gunturk, J. B. Correa, H. R. Allen, and C. Champagne, "Measuring food intake with digital photography," *J. Hum. Nutr. Diet.*, vol. 27, no. SUPPL.1, pp. 72–81, 2014; <https://doi.org/10.1111/jhn.12014>
- [4] A. Yousefi-Darani, O. Paquet-Durand, V. Zettel, and B. Hitzmann, "Closed loop control system for dough fermentation based on image processing," *J. Food Process Eng.*, vol. 41, no. 5, 2018; <https://doi.org/10.1111/jfpe.12801>
- [5] J. Lima, J. F. P. Moreira, and R. M. Sousa, "Remote supervision of production processes in the food industry," in *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, vol. 2016–January, pp. 1123–1127;
- [6] D. Kolberg and D. Zühlke, "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies," in *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 48, no. 3, pp. 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>

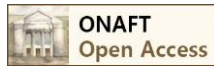
УДК 004.928

CFD-МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ХОЛОДОАГЕНТУ ПО ТРУБОПРОВОДУ МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жуковецька С. Л.¹, Слушна Н. В.²

кафедра Комп'ютерної інженерії ОНАХТ
ORCID: ¹0000-0002-2199-5874, ²0000-0002-0940-5069
E-mail: ¹feirefly@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI:

Анотація. Технології просторової візуалізації і симуляції роботи технологічного обладнання набули особливої актуальності завдяки тому, що забезпечують істотно більш наочний спосіб розгляду проєктованого об'єкта. Віртуальні прототипи, в ролі яких виступають 3D моделі, дозволяють проаналізувати роботу обладнання перед прийняттям проєктних рішень. При вивченні та дослідженні моделей істотну допомогу надає анімація – тобто відтворення і демонстрація моделі в процесі її формування або зміни.

У даній статті описується моделювання потоку рідини в замкнутому контурі на основі твердотільної просторової моделі елементів мультизональної системи кондиціонування. В якості системи просторового моделювання та аналізу використаний продукт компанії SolidWorks Inc. Для моделювання потоку використовується інструмент Flow Simulation, який включений в SolidWorks і реалізує методи обчислювальної гідродинаміки.

При підготовці до дослідження була створена просторова модель і сформована розрахункова область. Суть формування розрахункової області зводиться до виділення на моделі замкнутого контуру, що відповідає умовам наявності стінок зіткнення і обмеженості вхідних і вихідних отворів.

Після чого задача аналізу протікання рідини по замкнутому контуру зводиться до вирішення стаціонарної задачі внутрішнього типу. В цьому випадку замкнута порожнина – це і є рідинний простір, а заглушки на кінцях отворів трубопроводу є тими елементами, які завершують формування системи "рідина-тіло". Для такої системи вже можливе проведення гідрогазодинамічного аналізу за допомогою Flow Simulation.

Використання комплексу сучасних програмних засобів забезпечило візуальну оцінку картини перебігу холодоагенту по трубопроводу мультизональної системи кондиціонування, необхідну для визначення проблемних місць.

Abstract. The technologies of spatial visualization and simulation of the operation of technological equipment have become particularly relevant due to the fact that they provide a significantly more visual way of considering the designed object. Virtual prototypes, such as 3D models, allow you to analyze the operation of equipment before making design decisions. In the study and research of models, animation provides significant assistance, which reproduces and demonstrates the model in the process of its formation or change.

This paper describes the modeling of a fluid flow in a closed loop based on a solid-state spatial model of the elements of a multi-zone air conditioning system. The SolidWorks Inc. product was used as a system for spatial modeling and analysis. To