

ИЗПОЛЗВАНЕ НА АЛГОРИТМИ ЗА СЕГМЕНТИРАНЕ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ В СИСТЕМИТЕ ЗА МАШИННО ЗРЕНИЕ

Георги Михалев*, Христина Стойчева, Станимир Йорданов

Технически университет – Габрово, Габрово, България

**Кореспондиращ автор: gimihalev@mail.bg*

USE OF IMAGE SEGMENTATION ALGORITHMS IN MACHINE VISION SYSTEMS

Georgi Mihalev*, Hristina Stoycheva, Stanimir Yordanov

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

**Corresponding author: gimihalev@mail.bg*

Abstract

The paper addresses the problem of implementing and using image segmentation algorithms prior to the recognition process in machine vision systems. Several segmentation algorithms are presented and implemented, representing typical examples from the groups of edge and boundary detection, transformation, threshold processing, region-based operations, and others. All algorithms are implemented in the MATLAB environment, with graphical results also presented. Through profiling in MATLAB, results for execution time, memory usage, and the number of pixels in the segmented region are shown in order to enable comparison and analysis.

Keywords: machine vision system, image filtering algorithms, image recognition.

ВЪВЕДЕНИЕ

Програмното осигуряване на една системата за машинно зрение се базира на различни методи и алгоритми за приемане, съхраняване и обработка на изображения, включително анализ на изображението и формиране на решения или управляващи сигнали. Тези методи и алгоритми имат за цел да реализират функционални възможности като: получаване на изображение[1], обработка на изображения[2], разпознаване и класификация на обекти[3], измерване и контрол[4], визуализация и съхраняване на резултатите[5] и др.

За да се осигурят тези потребителски функции разработената система за машинно зрение трябва да притежава набор от алгоритми за обработка на изо-

бражения, с цел решаване на определените задачи.

Несъмнено сегментацията е тази операция която включва в себе си най-много процедури по манипулиране на изображението. Това е и една от най-трудните операции при обработката на изображения[6,7,8]. Същността на сегментацията се състои в разделянето на изображение то на съставните му части или обекти, като под разделяне не се има предвид генериране на нови изображения, а разделяне на това кои пиксели принадлежат на обектите. Сегментацията е особено полезна в случаите, когато решението на даден проблем зависи от това обектите от изображението да бъдат идентифицирани по отделно[9] и е незаменима процедура в много индустриални приложе-

ния[10,11,12]. Сегментацията е във функционална зависимост със разпознаването, като колкото по-акуратна е сегментацията, толкова по-успешно е разпознаването[13].

В настоящата статия се разглеждат и представят някои от основните алгоритми за сегментиране на изображения, реализирани в среда на Matlab.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Сегментацията представлява разделяне на изображението на неговите съставни региони или обекти. Нивото на сегментиране зависи от проблема, който се решава, като тя трябва да спре тогава, когато обектите от зоната на интерес са изолирани (открити).

В системите за машинно зрение под сегментация може да се обобщи, че се разбира не фактическо разделяне на изображението на части, а намиране на това, кои пиксели принадлежат на обекта в изображението и кои на фона. При тази обработка се формират два вида пиксели съобразно тяхната принадлежност, съответно: едните са фонове, а другите се наричат обектни пиксели.

Избора на метод за реализация на сегментацията влияе пряко на правилното функциониране на системата за машинно зрение. Алгоритмите за сегментация се разделят на две групи на база двете основни свойства на стойността на интензитета на изображението: разлики и сходства. При първата категория, подходът е в разделяне на изображението на региони на базата на резки промени в интензитета, като точки, линии, ръбове и др. Принципния подход при втората група алгоритми се базира на разделяне на изображението на региони, които са сходни според предварително зададена група от критерии.

В системите за машинно зрение, сегментацията е сложен за реализация процес. Явявайки се процес при вторичната обработка, реализирането на сегментиращ алгоритъм може драстично да подобри работата и функционалните въз-

можности на системата. От намаляване на времето на обработка, чрез откриване на обектните пиксели, през реализиране на процеси на възстановяване и репрезентиране на изображения, до получаване на краен резултат реализиращ измерване, процеса на сегментация има място при софтуерната реализация на една система за машинно зрение.

При една реализация на система за машинно зрение, за разлика от филтрацията например, изискването към процеса на сегментация е само едно – да се открие и определи обекта в изображението. Резултатът от изпълнението на алгоритмите може да се оцени много по-лесно, както обективно, така и субективно.

За оценка на скоростта на изпълнение, подобряването на изображението и други свойства на алгоритмите се използва изображение на реален детайл, заснет от камерата на разработена система за машинно зрение. Изображението е показано на фиг. 1 и е във същия формат (16 битово) и размер (60x60), който ще се обработва от системата за машинно зрение.



Фиг. 1. Тестово изображение

АЛГОРИТМИ ЗА СЕГМЕНТИРАНЕ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ

За да се прецени кой алгоритъм да се реализира с цел обезпечаване на процеса на сегментация на изображението ще се изследват няколко алгоритми за обработка: чрез откриване на ръбове и граници – Метод на Собел, на базата на Хаф трансформация, прагова обработка, на базата на операции с региони, метод на повратната точка, метод на К най-близки съседи и цветна сегментация с използване на RGB цветно пространство.

Особености на тестовото изображение се явяват:

- Променлива яркост на изображението с инверсен характер (най-висока в долния край - за обекта и най-висока в горния край за фона);

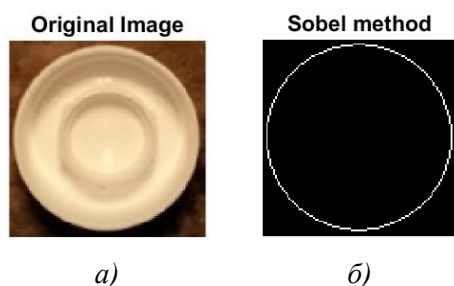
- Непълен динамически диапазон на изображението (от 255 градации на яркостта, изображението лежи в диапазона от 32 до 230);

- На изображението има само един обект, което прави оценката за качеството на изображението по-лесна и позволява прилагането на метода на кривите на предпочитанията.

Реализацията и изпълнението на разглежданите алгоритми се извършва в среда на Matlab.

1. Алгоритъм за сегментиране на изображение на базата на откриване на линии, ръбове и граници

Един от най-често използваните похвати за откриване на различия е чрез обхождане на изображението с маска. Маската е масив с размер 2x2, 3x3 или по-голям, който съдържа тегловни коефициенти. Обработката на изображението се изразява в изчисление на сумата от произведенията на теглата от маската със стойностите на пикселите. Маската винаги е дефинирана с афинитет към центъра ѝ, т.е. теглото в центъра е с най-голяма стойност. Методите за сегментация използващи този подход се различават основно по броя на използваните маски, размерите и начина на обхождане на изображението. От тях като метод за сегментиране на изображението се е наложил метод на Собел. Резултатът от изпълнението на алгоритъма с оператор на Собел е показан на фиг. 2.

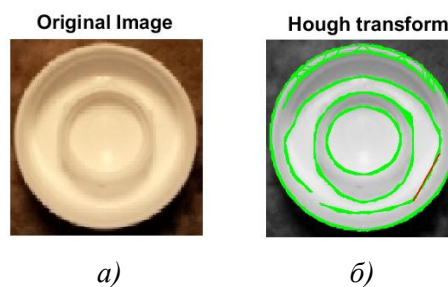


Фиг. 2. Сегментирано изображение с алгоритъм по метод на Собел

2. Алгоритъм за сегментиране на изображение на базата на Хаф трансформация

Друг подход при който се откриват и свързват сегменти в изображението е чрез Хаф трансформация. Подходът при използването на Хаф трансформация е да се намерят линии в изображението, които са съставени от подгрупи от пиксели, които лежат на тези линии. Същността на метода се състои в намирането на всички линии, които минават през даден пиксел.

На фиг. 3б) е показан резултатът от изпълнението на алгоритъма. Откритите линии са нанесени със зелен цвят върху изображението, а с червен е показана най-дългата линия.



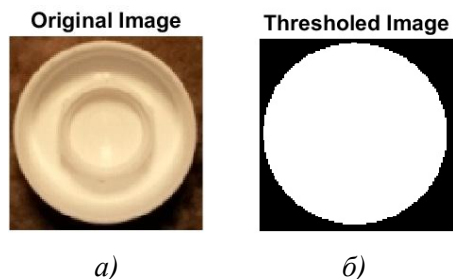
Фиг. 3. Сегментирано изображение посредством Хаф трансформация

3. Алгоритъм за сегментиране на изображение чрез прагова обработка

Праговата обработка е една от най-често срещаните процедури при обработката на изображения. Тя намира място в почти всяка операция до достигане на процеса на разпознаване. Централната позиция която заема тази процедура в обработката на изображения се дължи на елементарен принцип състоящ се в определяне на прагова стойност в по-различна презентация на изображението, наричана хистограма. Именно определянето на праговата стойност се явява и тясно място в алгоритмите за обработка.

Същността на обработката първо се състои в получаването на хистограмата на изображението. Хистограмата корелира с контролното изображение

$f(x,y)$ показано на фиг. 4 а), което се състои от светъл обект и тъмен фон. Така обектните и фоновите пиксели имат стойности на интензитета групирани в две доминантни групи в хистограмата на изображението, които могат да се разделят от една стойност наричана праг T .



Фиг. 4. Сегментирано изображение посредством прагова обработка

Сегментираното изображение показано на фиг. 4 б) е получено посредством глобална прагова обработка с намиране на праговата стойност по метода на Отсу.

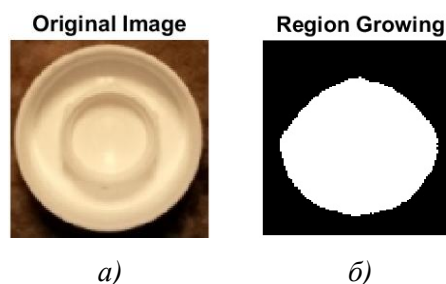
4. Алгоритъм за сегментиране на изображение базиран на операции с региони

Освен алгоритми за сегментация на базата на откриване на различия в изображенията, съществуват и друг тип техники, базирани на директно откриване на региони. Именно такъв тип алгоритми са тези базирани на операции с региони на изображението. При този тип алгоритми, изображението се представя като цял регион R . Сегментацията се представя като процес, който разделя R на n на брой подрегиони $R_1, R_2, \dots, R_i$, като се спазват следните условия:

- 1) Условие определя това, че сегментацията трябва да е завършена, т.е. да няма пиксел които да не принадлежи към някои регион.
- 2) Условие изисква точките от регионите да бъдат свързани по някакъв предварително определен смисъл.
- 3) Условие определя това, че регионите трябва да бъдат разделени.

- 4) Условие цели да се задоволи определено свойство от всички пиксели на даден сегментиран регион.
- 5) Условие индикира това, че съседните региони R_i и R_j са различни по смисъла на дадено логическо твърдение дефинирано за точките от R_i .

След определяне на регионите, сегментирането продължава с различни по вид операции със намерените региони. Едни от най-често използваните са разрастване на региони и съединяване на региони показано на фиг. 5.



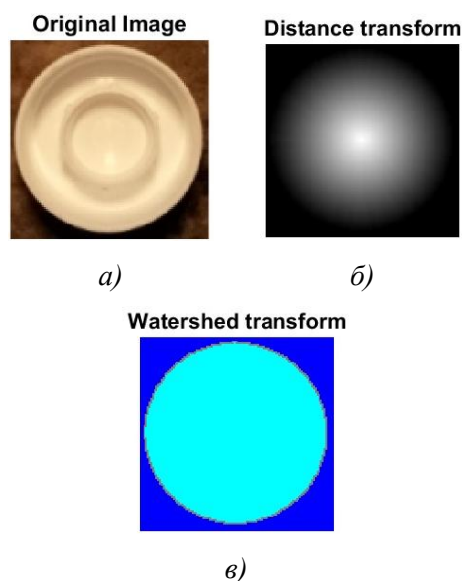
Фиг. 5. Сегментирано изображение чрез нарастване на региони

5. Алгоритъм за сегментиране на изображение чрез метод на повратната точка

Методът на повратната точка заимства концепция от географията при която два водни басейна са разделени от височина. При обработката на изображения и в частност при сегментацията отделните региони имат ролята на водни басейни, а височината е разделителния контур между тях. Трансформацията по методът на повратната точка изисква да се работи с изображение в гама на сивото.

На базата на различни обработки се образуват т.н. водни басейни в изображението, при които стойностите на пикселите се възприемат като височини. Чрез получените височини се определя и размера на регионите. Методът е подходящ за сегментиране на изображения в които има повече от два региона, т.е. повече от един обект и фон. На фиг. 6 е показано сегментирането изображение по

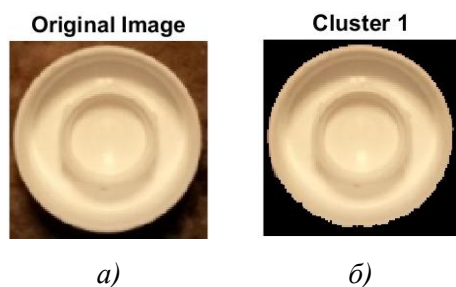
метода на повратната точка чрез трансформация на базата на разстояния.



Фиг. 6. Сегментирано изображение по метода на повратната точка

6. Алгоритъм за сегментиране на изображение по метода на К най-близките съседи

Клъстеризацията е начин да се разделят една от друга отделни групи от обекти. Използването на метода на К най-близките съседи е един от подходите за получаване на клъстери(групи) от обекти. Метода третира всеки обект, като му преписва място в пространството. Намират се разделители, които определят групите от обекти, така че всеки обект да е възможно по-близо до съседния в дадения клъстер и възможно по-далеч от обектите от другите групи. При реализирането на сегментацията, метода се прилага за определяне на принадлежност на всеки пиксел към определена група.

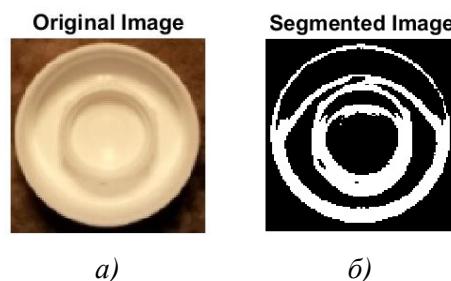


Фиг. 7. Сегментирано изображение по метода К най-близките съседи

На фиг. 7 показан резултатът от изпълнение на алгоритъма, като на фиг. 7б) е получения клъстер 1 включващ пикселите на обекта. Освен този клъстер са обособени още 3 клъстера, които включват фона на изображението.

7. Алгоритъм за сегментиране на изображение на базата на цветовете в RGB цветно пространство

Сегментацията на изображения на базата на цветовете в RGB цветното пространство е един от най-елементарните подходи. Същността на подхода се базира на предположението, че търсения обект е в точно определен цвят или група от цветовете, ясно различими от цветът на фона. За да се определи обекта се задава група от цветни пиксели, които формират цветовия диапазон на интереси, а след осредняване се формира и цветът, който ще се сегментира. Самата сегментация се извършва посредством съпоставяне на цвета на всеки пиксел с изчисления.



Фиг. 8. Сегментирано изображение на базата на цветовете

На фиг. 8) е показано сегментираното изображение от изпълнението на алгоритъма на базата на цветовете на регион от интереси.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗИ

За разлика от филтрирането, процеса на сегментиране е драстично по сложен за реализиране и изпълнение. Повечето алгоритми изискват много време за изпълнение и памет. Положителния аспект при внедряването на алгоритъм за сегментиране в процеса на обработване на изображението е намаляването на коли-

чеството информация с която трябва да работи избрания метод за разпознаване. Именно това определя и изходните параметри за изследване: време за изпълнение, необходима памет и количество

пиксели определяни като обектни(т.е. с колко пиксела се описва обекта в изображението).

Получените резултати от действието на алгоритмите са показани в таблица 1.

Таблица 1. Резултати за изследваните изходни параметри на алгоритми за сегментиране на изображения

Алгоритъм \ Свойство	1. Откриване на ръбове и граници	2. Хаф трансформация	3. Прагова обработка	4. Операции с региони	5. Метод на повратната точка	6. К най-близки съседи	7. RGB цветно пространство
Време за изпълнение [s]	0,191	0,315	0,023	0,145	0,089	0,228	0,195
Памет за променливи [byte]	75824	702448	12552	150536	112896	942176	461640
Количество пиксели определяни като обектни [pixels]	8759	3390	8782	5295	8362	8601	3468

От получените резултати се вижда че най-малко време за изпълнение и минимално използвана памет има праговата обработка, което прави алгоритъмът добър вариант за системи с ограничени ресурси и работещи в реално време. Другата група методи показващи добри резултати по отношение на скорост и ефективност са алгоритмите базирани на откриване на граници и ръбове. От друга страна, алгоритмите, свързани с по-сложни операции като Хаф трансформацията и метода на К най-близки съседи, изискват значително повече ресурси и време, но предлагат по-точно откриване на сложни геометрични форми. Междинни резултати са показали другите два алгоритъма – операции с региони и цвѐтова сегментация, което ги прави добър избор при задачи в които е необходимо разграничаване по цвят или форма.

Очевидно изборът на алгоритъм за сегментиране е сложена задача, тъй като в зависимост от обекта е възможно да се получи свръхсегментиране. Въпреки това получените данни дават най-голяма

значимост по отношение на изходните параметри на алгоритъма за прагова сегментация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията са представени някои от основните алгоритми за сегментиране на изображения, прилагани в системите за машинно зрение. Разглежда се вариант за приложимост на един от тези алгоритми в система за разпознаване на ориентация на детайли. Всички алгоритми са реализирани в среда на Matlab и са показани данни за тяхното време на изпълнение, използвана памет и степен на откриване на обекта. Направен е аналитичен анализ и са дадени препоръки при избора на алгоритъм.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tian, C., Fei, L., Zheng, W., Xu, Y., Zuo, W., & Lin, C. W., Deep learning on image denoising: An overview. *Neural Networks*, 131, 251-275, 2020.
- [2] Khan, A. A., Laghari, A. A., & Awan, S. A., Machine learning in computer vision: A review. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 8(32), 2021.

- [3] Yun, H., Kim, E., Kim, D. M., Park, H. W., & Jun, M. B. G., Machine learning for object recognition in manufacturing applications. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 24(4), 683-712, 2023.
- [4] Hashmi, A. W., Mali, H. S., Meena, A., Khilji, I. A., & Hashmi, M. F., Machine vision for the measurement of machining parameters: A review. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1939-1946, 2022.
- [5] Wang, Q., Chen, Z., Wang, Y., & Qu, H., A survey on ML4VIS: Applying machine learning advances to data visualization. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 28(12), 5134-5153, 2021.
- [6] Hou, Y., Li, Q., Zhang, C., Lu, G., Ye, Z., Chen, Y., ... & Cao, D., The state-of-the-art review on applications of intrusive sensing, image processing techniques, and machine learning methods in pavement monitoring and analysis. *Engineering*, 7(6), 845-856, 2021.
- [7] Kirillov, A., Wu, Y., He, K., & Girshick, R., Pointrend: Image segmentation as rendering. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 9799-9808), 2020.
- [8] Xu, G., Zhang, X., He, X., & Wu, X., Levit-unet: Make faster encoders with transformer for medical image segmentation. In *Chinese Conference on Pattern Recognition and Computer Vision (PRCV)* (pp. 42-53). Singapore: Springer Nature Singapore, October 2023.
- [9] Ren, Z., Fang, F., Yan, N., & Wu, Y., State of the art in defect detection based on machine vision. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 9(2), 661-691, 2022.
- [10] Panaiotov, P., Goranov, G., & Rankovska, V. Area Measuring with PC Camera. In *2020 XI National Conference with International Participation (ELECTRONICA)* (pp. 1-4). IEEE, 2020.
- [11] Panaiotov, P., & Goranov, G., Leather Area Measuring System. In *2019 X National Conference with International Participation (ELECTRONICA)* (pp. 1-4). IEEE, 2019.
- [12] Panayotov, P., & Goranov, G., Profile length measurement system using USB camera. In *2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE)* (pp. 1-4). IEEE, 2024.
- [13] Minaee, S., Boykov, Y., Porikli, F., Plaza, A., Kehtarnavaz, N., & Terzopoulos, D., Image segmentation using deep learning: A survey. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 44(7), 3523-3542, 2021.