

УДК 004.04

Ю.А. СКОБЦОВ, д-р техн. наук, зав. каф., ДонНТУ, Донецк,
С.А. ЭЛЬ-ХАТИБ, асп., ДонНТУ, Донецк

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА СЕГМЕНТАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ

Представлена программная система сегментации медицинских изображений на основе алгоритма роя частиц и алгоритма k -средних. Реализована программная система для визуализации и апробации разработанного алгоритма. Проведено тестирование алгоритма, получены выходные результирующие изображения, выполнено сравнение результатов с другими алгоритмами сегментации. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: сегментация медицинских изображений, алгоритм роя частиц, алгоритм k -средних.

Постановка проблемы. Сегментацией называется процесс разделения изображения на различные по некоторому признаку или признакам области. Данные области соответствуют настоящим объектам или их частям, а границы разбиения – границам объектов. Результат обработки изображения во многом зависит от точности алгоритма сегментации. Алгоритмы сегментации разделяют изображение на отдельные области, число которых зависит от характера задачи.

Широкий спектр методов сегментации изображений описан в различной литературе, например, хороший обзор таких методов можно найти в [1].

На данный момент существует достаточно большое количество алгоритмов сегментации, которые имеют свои преимущества и недостатки. Но не существует одного универсального метода, поэтому для каждой задачи в общем случае необходимо подбирать вручную метод, способный выдавать наилучший результат.

Анализ литературы. В литературе представлен обширный перечень методов сегментации изображений, например в [1]. Среди них метод с использованием нейронной сети Кохонена (Kohonen Map), являющийся одним из наиболее часто используемых [2]. Сеть Кохонена является двухслойной сетью. Каждый нейрон первого (распределительного) слоя соединен со всеми нейронами второго (выходного) слоя, которые расположены в виде двумерной решетки.

При сегментации достаточно часто используется алгоритм k -средних, который основан на минимизации квадратичной ошибки. Данный алгоритм, как правило, неплохо выполняет кластеризацию точек (пикселей) на изображении, но в процессе обработки изображения он не

может исключить лишнюю информацию, такую, как например, шумы различного рода. Алгоритм k -средних выполняет построение k различных кластеров [1]. Выбор числа кластеров k , как правило, базируется на результатах предыдущих исследований либо на основании экспертной оценки.

В основе разработанного метода лежит алгоритм роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) в сочетании с алгоритмом k -средних, который показал свою конкурентоспособность при решении NP-полных комбинаторных задач по сравнению с генетическими алгоритмами [3] (genetic algorithms) или алгоритмами имитации отжига (simulated annealing algorithms).

В 1995 году Джеймс Кеннеди (James Kennedy) и Рассел Эберхарт (Russel Eberhart) предложили метод для оптимизации непрерывных нелинейных функций, названный ими алгоритмом роя частиц [4]. Вдохновением для них послужила имитационная модель Рейнольдса, а также работа Хеппнера (Hepner) и Гренадера (Grenader) на схожую тему [5]. Кеннеди и Эберхарт отметили, что обе модели основаны на управлении дистанциями между птицами – а, следовательно, синхронность стаи является в них функцией от усилий, которые птицы прилагают для сохранения оптимальной дистанции.

Текущее состояние частицы характеризуется координатами в пространстве решений (то есть, собственно, связанным с ними решением), а также вектором скорости перемещения. Оба этих параметра выбираются случайным образом на этапе инициализации. Кроме того, каждая частица хранит координаты лучшего из найденных ею решений, а также лучшее из пройденных всеми частицами решений – этим имитируется мгновенный обмен информацией между птицами.

Было предложено несколько моделей PSO. Среди них три наиболее успешные: LBEST [4], Inertia Weighted PSO [5], Time-Varying Inertia Weighted PSO [6] и Canonical PSO [7].

Цель статьи – разработка метода сегментации медицинских изображений с помощью одного из алгоритмов роевого интеллекта – алгоритма роя частиц, разработка программной системы для исследования алгоритма, а также получение выходных результатов работы алгоритма.

Объектом исследования является процесс сегментации медицинских изображений.

Предметом исследования является метод сегментации изображений на основе смешанного алгоритма k -средних и роя частиц.

Материалы и методы. Для получения эффективного алгоритма сегментации изображений предлагается метод, в котором используется преимущества роевого алгоритма и метода k -средних. На первом этапе необходимо установить значение количества кластеров и случайным образом инициализировать их центры. Далее, согласно алгоритму кластеризации k -средних, определяется принадлежность каждого пикселя изображения определенному кластеру.

Смешанный алгоритм роя частиц и k -средних реализуется по тем же принципам, что и алгоритм муравьиных колоний [8]. Здесь каждая частичка x_i представляет N кластеров таким образом, что $x_i = (m_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{iN})$, где m_{ij} представляет центр кластера j для частицы i . Фитнесс-функция для каждого набора кластеров рассчитывается согласно выражению:

$$f(x_i, Z_i) = \omega_1 \bar{d}_{\max}(Z_i, x_i) + \omega_2 (z_{\max} - d_{\min}(x_i)), \quad (1)$$

где $z_{\max} = 2s - 1$ для s -bit изображения; Z_i – матрица, отображающая связь между пикселем и центром кластера для частицы i . Каждый элемент этой матрицы z_{ip} показывает, принадлежит ли пиксель z_p кластеру C_{ij} , для частицы i . Константы ω_1 и ω_2 определяются пользователем; \bar{d}_{\max} – максимальное среднее евклидово расстояние от частиц до связанных с ними кластеров. Оно вычисляется согласно выражению:

$$\bar{d}_{\max}(Z_i, x_i) = \max_{j=1..N} \{ \sum_{\forall Z_p \in C_{ij}} d(Z_p, m_{ij}) / |C_{ij}| \}. \quad (2)$$

В выражении (1) $d_{\min}(x_i)$ – минимальное евклидово расстояние между парами кластерных центров:

$$d_{\min}(x_i) = \min_{\forall j_1, j_2, j_1 \neq j_2} \{ d(m_{ij_1}, m_{ij_2}) \}. \quad (3)$$

Пошаговое описание смешанного алгоритма роя частиц и k -средних приведено далее:

1. Инициализируется количество кластеров K , количество частиц m .
2. Инициализируется m наборов для K кластеров, которые будут использованы m частицами.
3. Для каждой частицы, пусть каждый пиксель x принадлежит тому кластеру, ближе к центру которого он находится.

4. Рассчитываются новые центры кластеров. Если кластер схож с предыдущим, то идем дальше, иначе – возвращаемся к пункту 3.
5. Сохраняется лучшее решение для каждой частицы (*pbest*).
6. Сохраняется лучшее решение среди всех *m* частиц (*gbest*).
7. Обновляются кластерные центры согласно решениям *pbest* и *gbest*
8. Если выполняется условие останова, то выводится решение, иначе – возврат к пункту 3.

Описание разработанной системы. Разработана система, позволяющая производить визуализацию и индивидуально настраивать процесс сегментации. Имеется возможность сохранения результатов обработки в базе данных для последующего сравнения и визуального определения лучших результатов. Система разработана на платформе Microsoft.NET Framework в среде Microsoft Visual Studio.

На вход системы передается количество кластеров, на которые необходимо разбить изображение и само изображение. Результатом является результирующее изображение. Добавленный модуль роевого алгоритма является дополнением к уже существующей системе [8].

Эксперименты. В качестве базы для проверки алгоритма использовались изображения из набора известной компании в области телемедицины Ossiris [9]. Для сравнения результатов сегментации будем также приводить обработку одним из методов автоматической сегментации (алгоритм C-means [10]), а также одним из методов интерактивной сегментации (алгоритм Grow Cut[1]).

Все представленные изображение имеют глубину цвета 8 бит на пиксел и разрешающая способность 300 dpi.

Оценивание результата выполняется наблюдателем, имеющим представление о верном разбиении областей на снимках.

На рис. 1 представлен МРТ-снимок маленькой менингиомы серпа в межполушарной щели (1, *a*), после сегментации разработанным алгоритмом (1, *b*), после сегментации алгоритмом C-means (1, *в*) и алгоритмом Grow Cut (1, *г*).

Для сегментации изображение сегментировали на 5 кластеров. Как видно, контуры основных объектов были очерчены, но подробная идентификация весьма затруднительна. Данный снимок содержит едва различимую опухоль в центре. Различить ее без использования контрастного вещества практически невозможно. Как видно из результатов, наилучший результат показали автоматический и разработанный алгоритмы. Результирующие контуры более явно выделены в алгоритме роя частиц.

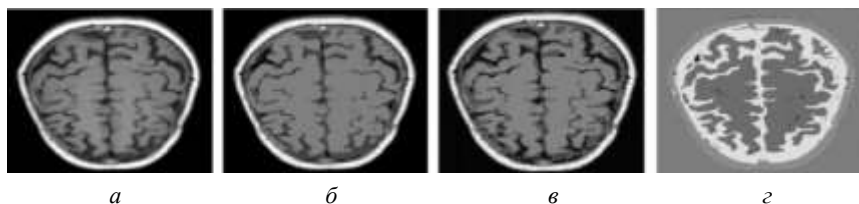


Рис. 1. Маленькая менингиома серпа в межполушарной щели:
a – исходный снимок, *б* – алгоритм роя частиц, *в* – алгоритм C-means, *г* – алгоритм Grow Cut

На рис. 2 представлен этот же снимок, но с использованием контрастного вещества. В качестве контрастного вещества использовался гадолиний. Соответственно 2, *a* – изображение до сегментации, 2, *б* – после сегментации с помощью алгоритма роевых колоний, 2, *в* и 3, *г* – соответственно сегментация с помощью автоматического и интерактивного алгоритмов.

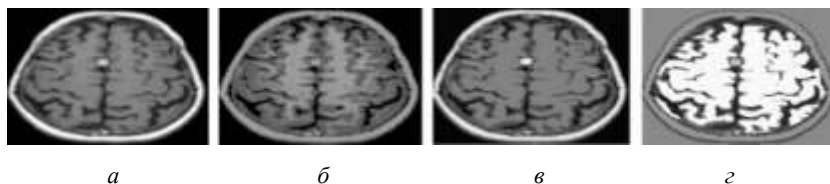


Рис. 2. Маленькая менингиома серпа в межполушарной щели с контрастным веществом: *a* – исходный снимок; снимки после применения алгоритмов: *б* – PSO, *в* – C-means, *г* – Grow Cut

Параметры начальных изображений на рисунках 1 и 2 идентичны. Размеры изображения – 800 на 600 пикселей. Результат сегментации получился похожим на сегментацию изображения 1. Но в данном случае, лучший с точки зрения наблюдателя результат у интерактивного алгоритма и алгоритма роя частиц. Все контуры были выделены четко, и получилась правильная разбивка на области. Окружность посередине изображения 2 – шваннома (невринома) – опухоль (размер 1 – 2 см). Чаще всего образуется из оболочек слухового и лицевого нервов. Обнаруживается с помощью компьютерной томографии или МРТ с контрастированием.

Для оценки качества работы алгоритма, необходимо также рассмотреть вариант нечетких границ контуров на снимке (нечеткая

резкость). На рис. 3 приведено нечеткое изображение черепа (границы размыты).

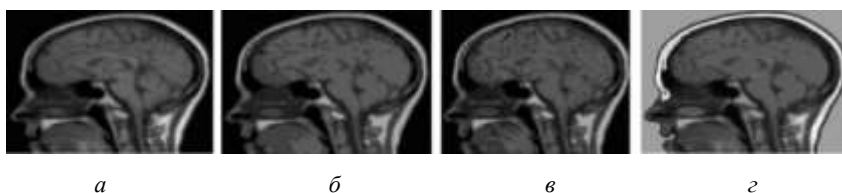


Рис. 3. Снимки после применения алгоритмов сегментации:
(снимок черепа с размытыми исходными контурами)
а – исходный снимок, *б* – PSO, *в* – C-means, *г* – Grow Cut

Параметры изображения 3: ширина – 800, высота – 600 пикселей.

Как видно из рисунков, наиболее четко и правильно выходные контуры были выделены на рис. 3, *б* и 3, *г* – соответственно алгоритмами роя частиц и Grow Cut.

Для оценивания работы алгоритма также необходимо проверить его работоспособность на контрастных изображениях. На рис. 8 приведен пример МРТ-снимка головного мозга с контрастированием.

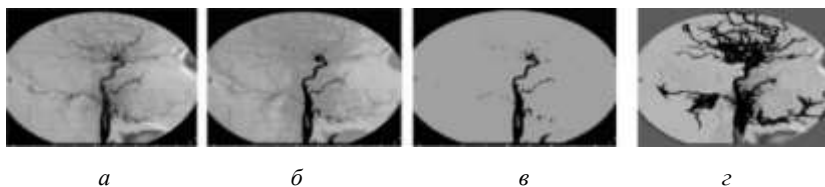


Рис. 4. Снимки после применения алгоритмов сегментации:
МРТ-снимок головного мозга с контрастированием: *а* – исходный снимок,
б – PSO, *в* – C-means, *г* – Grow Cut

Параметры изображения на рис. 4: ширина – 1024, высота – 1024 пиксела. Как видно из полученных результатов, наилучшее решение было найдено с помощью алгоритма роя частиц и алгоритма Grow Cut. На данных снимках присутствует и явно отделена сеть различных узловых элементов.

В табл. приведены лучшие найденные решения для изображений, а также количество кластеров для разбиения.

Как видно из представленной таблицы, для решения задач в общем случае не существует одного универсального алгоритма. В разных

случаях получаются различные результаты для разных снимков с помощью одного и того же алгоритма.

Таблица

Результаты исследований

| Номер изображения | Наилучшее решение | Количество кластеров |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1 | PSO, C-means | 5 |
| 2 | PSO, C-means | 5 |
| 3 | PSO, Grow Cut | 5 |
| 4 | Grow Cut | 4 |

Разработанный алгоритм показал хорошую динамику, в 3 из 4 снимков, результаты его работы были правильными. Данные результаты подтверждают необходимость проведения дальнейших более глубоких исследований.

Выводы. Была разработана компьютерная система сегментации изображений на основании модифицированного алгоритма роя частиц и *k*-средних. Апробация показала высокую эффективность разработанного алгоритма. Используемый алгоритм показал в некоторых случаях свое превосходство по качеству результатов по сравнению с существующими алгоритмами сегментации изображений.

Список литературы: 1. *Fu K.S.* A Survey on Image Segmentation / *K.S. Fu, J.K. Mui* // Pattern Recognition, CA. – 1991. – Vol. 13. – P. 200-210. 2. *Dong G.* Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks / *G. Dong, M. Xie* // Neural Networks, IEEE Transactions. – 2005. – P. 925-936. 3. *Sivanandam S.N.* Introduction to genetic algorithms / *S.N. Sivanandam, S.N. Deepa* // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. 4. *Kennedy J.* Particle swarm intelligence / *J. Kennedy, R.C. Eberhart* // In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – LA. – 1995. – P. 1942-1948. 5. *Shi Y.* A modified particle swarm optimizer / *Y. Shi, R. Eberhart* // The 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. – 1998. – P. 69-73. 6. *Shi Y.* Empirical study of particle swarm optimization / *Y. Shi, R. Eberhart* // Proceedings of the 1999 IEEE Congress on Evolutionary Computation. – 1999. – P. 1945-1950. 7. *Clerc M.* The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space / *M. Clerc, J. Kennedy* // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2012. – № 6 (1). – P. 58-73. 8. *Скобцов Ю.А.* Сегментация изображений методом муравьиных колоний / *Ю.А. Скобцов, С.А. Эль-Хатиб, А.И. Эль-Хатиб* // Вестник Херсонского Национального технического университета. – Херсон. – 2013. – № 1 (46). – С. 204-211. 9. Медицинская система OsiriX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osirix-viewer.com/> 10. *Zhou H.* An Overview of Fuzzy C-Means Based Image Clustering Algorithms / *H. Zhou, G. Schaefer* // Foundations of Computational Intelligence Studies in Computational Intelligence. – 2010. – Vol. 202. – P. 295-310.

Bibliography (transliterated): 1. *Fu K.S.* A Survey on Image Segmentation / *K.S. Fu, J.K. Mui* // Pattern Recognition. – CA. – 1991. – Vol. 13. – P. 200-210. 2. *Dong G.* Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks / *G. Dong, M. Xie* // Neural Networks, IEEE Transactions. – 2005. – P. 925-936. 3. *Sivanandam S.N.* Introduction to genetic algorithms / *S.N. Sivanandam, S.N. Deepa* // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. 4. *Kennedy J.* Particle swarm intelligence / *J. Kennedy, R.C. Eberhart* // In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – LA. – 1995. – P. 1942-1948. 5. *Shi Y.* A modified particle swarm optimizer / *Y. Shi, R. Eberhart* // The 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. – 1998. – P. 69-73. 6. *Shi Y.* Empirical study of particle swarm optimization / *Y. Shi, R. Eberhart* // Proceedings of the 1999 IEEE Congress on Evolutionary Computation. – 1999. – P. 1945-1950. 7. *Clerc M.* The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space / *M. Clerc, J. Kennedy* // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2012. – № 6 (1). – P. 58-73. 8. *Skobcov Ju.A.* Segmentacija izobrazhenij metodom murav'inyh kolonij / *Ju.A. Skobcov, S.A. El'-Hatib, A.I. El'-Hatib* // Vestnik Hersonskogo Nacional'nogo tehničkog universiteta. – Herson. – 2013. – № 1 (46). – P. 204-211. 9. Medicinskaja sistema OsiriX [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.osirix-viewer.com/> 10. *Zhou H.* An Overview of Fuzzy C-Means Based Image Clustering Algorithms / *H. Zhou, G. Schaefer* // Foundations of Computational Intelligence Studies in Computational Intelligence. – 2010. – Vol. 202. – P. 295-310.

Поступила (received) 15.04.2015

Статью представил д.т.н., проф. кафедры "Электронная техника" ДОННТУ Чичикало Н.И.

Skobtsov Yuri, Dr.Sci.Tech, Professor,
Head of the "Automated control systems" department of
Donetsk National Technical University
Str. Tupoleva, 15, av. 73, Donetsk, Ukraine, 83112
tel./phone: (062) 304-90-20, e-mail: ya_skobtsov@list.ru
ORCID ID: 0000-0003-3209-5297

El-Khatib Samer, master,
postgraduate of the "Automated control systems" department of
Donetsk National Technical University
Str. Y. Galana, 48, Donetsk, Ukraine, 83076
tel./phone: +38 095 310-77-74, e-mail: samer_elkhatib@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-1929-0362