

## Применение квазиоптимальной кластеризации пикселей в задаче комплексирования разноракурсных изображений

*Ханыков Игорь Георгиевич*<sup>1\*</sup>

igk@iiias.spb.su

*Ненасhev Вадим Александрович*<sup>2</sup>

nenashev@guap.com

<sup>1</sup>Санкт-Петербург, Федеральный исследовательский центр Российской академии наук

<sup>2</sup>Санкт-Петербург, Государственный университет аэрокосмического приборостроения

В работе [1] предлагается методика совмещения разноракурсных локационных изображений в одно по точкам контура выделенных областей. Области выделяются путем использования метода высокоскоростной квазиоптимальной кластеризации пикселей изображения. Используемый метод кластеризации обходит проблему вычислительной сложности за счет разделения всего процесса обработки изображения на три последовательных этапа.

На входе алгоритма квазиоптимальной кластеризации, помимо изображения, задается точность вычислений, определяемая параметром числа суперпикселей  $N_{сп}$ . Параметр  $N_{сп}$  задает фиксированное число кластеров, для которого реструктуризуется иерархия разбиений. Диапазон значений задаваемого параметра  $N_{сп}$  – от 1 до  $N$ , где  $N$  – общее количество пикселей в изображении. Большому значению параметра  $N_{сп}$  соответствует лучшее качество реструктуризации, но и большее время обработки. На выходе алгоритм генерирует серию кусочно-постоянных разбиений. Количество выводимых разбиений задается пользователем в диапазоне от 1 до  $N$ .

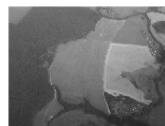
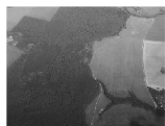
На первом этапе алгоритма квазиоптимальной кластеризации выполняется быстрое построение грубой иерархии сегментов применением либо модели Мамфорда-Шаха, либо классического метода Уорда по частям изображения. На втором этапе выполняется промежуточное улучшение качества, формируется  $N_{сп}$  суперпикселей. На третьем этапе сформированные суперпиксели кластеризуются классическим методом Уорда.

Методика комплексирования разноракурсных изображений состоит из 4 шагов. На 1 шаге исходные разноракурсные изобра-

жения состыковывают в один единый снимок, который кластеризуется трехэтапным алгоритмом квазиоптимальной кластеризации пикселей при заданном числе  $N_{сп}$ . На выходе алгоритма получается серия разбиений с увеличивающимся числом кластеров. Совместная обработка изображений позволяет подобным образом выделить одинаковые по структуре области на разноразмерных изображениях. На 2 шаге из полученной серии кластеризованных разбиений выбирают одно, которое обратно разделяют на отдельные изображения. На выбранных и разделенных изображениях выделяют контуры характерных областей и определяют точки схожих по структуре контуров. На 3 шаге через решение корреляционно-экстремальной задачи по точкам контуров, найденных на кластеризованных изображениях, подбирается функциональное преобразование, при котором значение функции корреляции принимает максимальное значение. Найденное функциональное преобразование применяют к исходным изображениям. На 4 шаге выполняется оценка качества сформированного совмещенного изображения. При неудовлетворительной степени субъективного восприятия переходят к предыдущим шагам методики совмещения. Либо на 2 шаге берем пару кластеризованных снимков с большим числом кластеров для последующего выделения новых характерных точек контуров и уточнения положения ранее найденных. Либо, перейдя к 1 шагу, увеличиваем значение параметра детализации  $N_{сп}$ . Повышая степень детализации сформированных снимков, увеличивается количество точек контуров, и как следствие уточняется вид искомого функционального преобразования. Методика уточнения функционального преобразования с повышением степени детализации изображения следует повторять до тех пор, пока качества совмещенного изображения не будет приемлемым. Детализация осуществляется как за счет увеличения числа кластеров (цветов) в серии разбиений, так и за счет увеличения параметра точности квазиоптимальной обработки. Данная методика применима для бортовых локационных станций многопозиционных систем в целях комплексирования информации, в том числе разнородной.

На рисунках 1, 2 представлены исходные левое и правое разноразмерные изображения. На рисунках 3, 4 представлены левое и правое кластеризованные разноразмерные изображения, состо-

Исходные левое и правое разноракурсные изображения



**Рис. 1.** Левое разноракурсное изображение **Рис. 2.** Правое разноракурсное изображение

Кластеризованные левое и правое разноракурсные изображения



**Рис. 3.** Левое изображение из 3 кластеров **Рис. 4.** Правое изображение из 3 кластеров

Совмещенное изображение из двух исходных разноракурсных



**Рис. 5.** Совмещенное изображение

ящие из трех кластеров (цветов). На рисунке 5 представлен результат совмещения двух исходных изображений в одно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-00303).

- [1] *Khanykov, I.G.* The Application of the High-Speed Pixel Clustering Method in Combining Multi-Angle Images Obtained from Airborne Optical-Location Systems / I.G. Khanykov, V.A Nenashev // XXIII International Conference on Wave Electronics and Infocommunication Systems. – St. Petersburg, 2020. – P. 1–7. <http://doi.org/10.1109/WECONF48837.2020.9131157>

## The application of quasi-optimal pixel clustering in the problem of combining multi-angle images

*Khanykov Igor*<sup>1</sup>★

igk@iiias.spb.su

*Nenashev Vadim*<sup>2</sup>

nenashev@guap.com

<sup>1</sup>Saint Petersburg, Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Saint Petersburg, State University of Aerospace Instrumentation

The paper [1] proposes a technique for combining multi-angle location images into one at the points of the contour. Areas are isolated using the method of high-speed quasi-optimal clustering of image pixels. The used clustering method bypasses the problem of computational complexity by dividing the entire image processing process into three sequential stages.

At the input of the quasi-optimal clustering algorithm, in addition to the image, the calculation accuracy is specified, which is determined by the parameter of the number of superpixels  $N_{sp}$ . The  $N_{sp}$  parameter specifies a fixed number of clusters for which the hierarchy of partitions is restructured. The range of values of the given parameter  $N_{sp}$  is from 1 to  $N$ , where  $N$  is the total number of pixels in the image. A larger value of the  $N_{sp}$  parameter corresponds to a better restructuring quality, but also a longer processing time. At the output, the algorithm generates a series of piecewise-constant partitions. The number of displayed splits is set by the user in the range from 1 to  $N$ .

At the first stage of the quasi-optimal clustering algorithm, a rapid construction of a rough hierarchy of segments is performed using either the Mumford-Shah model or the classical Ward's method by parts of the image. At the second stage, an intermediate quality improvement is performed,  $N_{sp}$  superpixels are formed. At third stage, the formed superpixels are clustered using the classical Ward's method.

The technique of combining multi-angle images consists of 4 steps. At the 1 step, the original multi-angle images are docked into one single image, which is clustered by a three-stage quasi-optimal pixel clustering algorithm for a given number of  $N_{sp}$ . The output of the algorithm is a series of partitions with an increasing number of clusters. Joint processing of images allows to isolate in a similar way

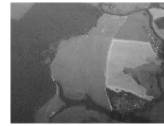
areas of the same structure in different multi-angle images. At the 2 step, one joint clustered partition is selected from the obtained series. Then it is divided back into separate parts. The contours of areas are distinguished and characteristic points of contours similar in structure are determined on the selected and divided images. At the 3 step, a functional transformation is selected through the solution of the correlation-extremal problem by the contours points found on the clustered images. The correlation function value must take the maximum value. The found functional transformation is applied to the original images. At the 4 step, the quality of the generated combined image is assessed. If the degree of subjective perception takes on an unsatisfactory value, then we proceed to the previous steps of the combining technique. Or, at the 2 step, we take a couple of clustered images with a larger number of clusters for the subsequent selection of new characteristic contour points and refining the position of previously found. Or, proceeding to the 1 step, we increase the value of the detail parameter  $N_{sp}$ . Increasing the degree of detail of the formed images, the number of contour points rises, and as a result, the type of the desired functional transformation is refined. The technique of refining the functional transformation with increasing the degree of image detail should be repeated until the degree of quality assessment of the combined image is acceptable. Detailing is carried out both by increasing the number of clusters (colors) in a series of partitions, and by increasing the accuracy parameter of quasi-optimal processing. This technique is applicable to onboard radar stations of multi-position systems in order to integrate information, including heterogeneous information.

Figures 1, 2 show initial left and right multi-angle iamges. Figures 3, 4 show the left and right clustered multi-angle images, consisting of three clusters (colors). The figure 5 shows the result of combining two original images into one.

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project № 19-79-00303).

- [1] *Khanykov, I.G.* The Application of the High-Speed Pixel Clustering Method in Combining Multi-Angle Images Obtained from Airborne Optical-Location Systems / I.G. Khanykov, V.A Nenashev // XXIII International Conference on Wave Electronics and Infocommunication

Initial left and right multi-angle images



**Fig. 1.** Left multi-angle image

**Fig. 2.** Right multi-angle image

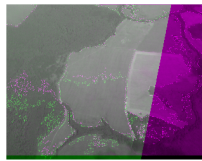
Clustered left and right multi-angle images



**Fig. 3.** Left image of 3 clusters

**Fig. 4.** Right image of 3 clusters

Combined image from two original multi-angle images



**Fig. 5.** Combined image