

**В. В. Инсаров**, д-р техн. наук, зам. начальника подразделения, william@gosniias.ru,  
**С. В. Тихонова**, вед. инженер, svetico@yandex.ru,  
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, Москва

## Методика выделения прямых линий на изображениях стационарных наземных сцен\*

*Рассматривается задача обработки изображений стационарных наземных сцен в целях выделения присутствующих на изображениях прямых линий как одного из наиболее характерных и робастных компонентов геометрического контента. Для решения этой задачи предложен алгоритм, основанный на использовании направленной фильтрации и модифицированного преобразования Хафа.*

**Ключевые слова:** обработка изображений, направленная фильтрация, преобразование Хафа, протяженные объекты наземных сцен, выделение прямых линий

### Введение

В настоящее время большое внимание уделяется решению задач управления автономными подвижными объектами с применением технологий машинного зрения.

Круг решаемых задач достаточно широк:

- задачи навигации;
- задачи комплексирования изображений, полученных различными датчиками;
- задачи распознавания и селекции заданных объектов сцены и др.

Решение этих задач базируется на использовании информации об окружающей среде, представляемой, как правило, в виде изображений наблюдаемых сцен и объектов, полученных в различных спектральных диапазонах.

Решение поставленных глобальных задач требует решения ряда локальных задач. Так, решение задачи комплексирования изображений, полученных различными датчиками, требует решения задачи точного совмещения изображений, полученных каждым из датчиков. Решение задач навигации может потребовать решения задачи выделения на исходном изображении некоторых ориентиров и/или совмещения текущего изображения с эталоном. При этом все задачи должны решаться автоматически, в широких диапазонах изменчивости окружающей среды (погодной, временной и др.). Соответственно, исходная информация должна быть представлена в виде набора признаков, обладающих наибольшей робастностью. В случае обработки изображений

стационарных наземных сцен наибольшей робастностью обладают признаки, описывающие геометрию сцены ("геометрический контент" сцены) [1]. В свою очередь, источником информации о геометрии сцены может служить информация о присутствующих на изображении сцены контурах, представляющих собой наборы точек, в которых наблюдается значительный перепад яркости. Таким образом, в качестве исходных данных для последующей обработки изображений (сегментации, локализации объектов и т. д.) может служить информация о градиенте яркостного поля изображения — координаты точек, в которых модуль градиента яркости превышает некоторый порог (такие точки часто называют контурными) и направление градиента в этих точках [2].

В решении ряда задач информация о контурных точках используется для определения формы присутствующего на изображении объекта. В этом случае геометрия сцены может быть описана набором форм составляющих сцену объектов и их координатами на изображении.

Однако в большинстве случаев при обработке изображений многообъектных сцен использование информации о форме отдельных объектов не представляется возможным. Объекты на такой сцене оказываются частично загорожены другими объектами, соответственно, форма видимой на получаемом изображении части объекта зависит от ракурса наблюдения.

Следует отметить, что форму многих объектов антропогенного характера (здания, мосты, дороги, улицы) часто можно с достаточной точностью аппроксимировать набором сегментов прямых линий.

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-08-00621 а, № 13-08-01433 а.

В ряде случаев прямыми линиями могут быть аппроксимированы некоторые природные образования — берега рек, водоемов, линия горизонта. Таким образом, геометрия наблюдаемой сцены может быть описана набором присутствующих на изображении сцены сегментов прямых (под сегментом понимаем параметры прямой и точки концов сегмента). В общем случае можно использовать для описания сцены только параметры присутствующих на изображении прямых линий.

Не следует забывать, что прямые линии косвенно определяют другие геометрические признаки. Так, характерные точки могут быть определены как точки пересечения прямых (например, углы крыш определяются как точки пересечения прямых, аппроксимирующих грани этих крыш).

Использование параметров присутствующих на изображении прямых линий в качестве основных геометрических признаков позволяет получить описание изображения в компактном виде. Соответственно, при решении задач, требующих сравнения нескольких изображений, необходимо сравнить несколько компактно записанных описаний соответствующих изображений.

### **Некоторые методы выделения сегментов прямых**

Среди существующих методов выделения сегментов прямых линий можно выделить следующие группы:

- методы, основанные на прослеживании контуров с исходной информацией в виде однопиксельных контуров;
- методы, основанные на объединении в группы точек с одинаковой ориентацией градиента яркости (так называемые области поддержки линии);
- методы, основанные на преобразовании Хафа.

Все эти методы используют в качестве входной информации поле градиентов яркостей исходного полутонового изображения с последующей обработкой.

Методы выделения сегментов прямых, основанные на прослеживании контуров, представляют собой итерационный процесс. Эти методы требуют значительных затрат вычислительных ресурсов как в силу своей итерационности, так и в силу существенных затрат ресурсов на предварительную обработку. Для реализации подобных методов требуется получение однопиксельных контуров, представляющих собой цепочки контурных точек, где у каждой точки есть не более двух соседей по восьмисвязности. Вместе с тем, использование подобных методов позволяет точно определить параметры прямой и конечные точки сегмента.

Методы, основанные на объединении в группы точек с одинаковой ориентацией градиента яркости, используют информацию о направлении градиента яркости в каждой точке изображения. Точки с одинаковым направлением градиента объединяются в группы в соответствии с некоторым крите-

рием. Полученные группы точек в дальнейшем аппроксимируются прямыми.

Методы, основанные на преобразовании Хафа, в общем случае используют в качестве исходной информации бинарные контурные изображения. Эти методы характеризуются заметными ошибками в определении параметров прямых. Можно выделить две составляющие возникающих ошибок. Первая составляющая — ошибки, возникающие в результате дискретности аккумулятора Хафа. Вторая составляющая — значительное число "помеховых" контуров на изображениях.

К преимуществам методов, основанных на преобразовании Хафа можно отнести тот факт, что они используют в качестве входной информации набор (список) контурных точек, а не полное изображение.

### **Постановка задачи**

В данной статье рассматривается алгоритм выделения прямых на изображениях стационарных наземных сцен, основанный на преобразовании Хафа и использующий в качестве входной информации набор контурных точек с дополнительной информацией о направлении контуров.

Для предварительной обработки исходного полутонового изображения предлагается использовать метод направленной (ориентированной) фильтрации, позволяющий не только определить точки перепада яркости, но и зафиксировать направление этого перепада в каждой точке [3]. Результатом подобной фильтрации является индексированное контурное изображение, где каждой точке соответствует некоторый индекс. Индекс равен нулю для точек, в которых перепад яркостей меньше некоторого порога. Ненулевое значение индекса говорит о том, что значение перепада яркостей в этой точке больше заданного порога (точка принадлежит контуру); значение индекса указывает направление градиента в точке. Очевидно, что число контурных точек значительно меньше, чем общее число точек на изображении. Если принимать во внимание направление градиента в точке, то это число сократится еще больше. Соответственно, целесообразно перейти от работы с изображением (двумерным массивом точек) к работе со списками контурных точек.

В алгоритме выделения сегментов прямых используется метод, основанный на преобразовании Хафа, хорошо работающий со списками контурных точек.

Авторы отдают себе отчет в том, что точность параметров прямых, полученных с использованием преобразования Хафа, достаточно низкая. Однако с учетом ограниченного объема входной информации (список индексированных контурных точек) алгоритм может получиться достаточно быстрым.

## Описание алгоритма выделения прямых

Предлагаемый алгоритм выделения прямых на изображениях может быть представлен в виде следующего набора шагов.

**Шаг 1.** Предобработка. Формирование исходного списка контурных точек. На этом шаге выполняется направленная (ориентированная) фильтрация исходного полутонового изображения, например, с использованием алгоритма, описанного в работе [3]. Результатом выполнения этого шага является список индексированных контурных точек POINTS, где индекс точки указывает на направление перепада яркостей в этой точке. При этом можно проиндексировать возможные направления градиента как с учетом знака градиента (направления "север" и "юг" имеют разные индексы), так и без учета знака (направления "север" и "юг" имеют одинаковый индекс).

В дальнейшем обработка может проводиться как по всем точкам списка, так и по точкам с одинаковым индексом.

**Шаг 2.** Формирование вспомогательных списков и массивов. На этом шаге выполняются следующие действия.

Формирование списка ТНЭТА — списка возможных значений углов наклона прямой  $\theta_n$ ,  $n = 1 - N$ ; для заданного диапазона углов  $[\theta_{\min}; \theta_{\max}]$  и заданного шага дискретизации  $\Delta\theta$   $N = (\theta_{\max} - \theta_{\min})/\Delta\theta$ .

Вычисление для каждой точки  $(i_m, j_m)$  из списка точек и для каждого возможного угла наклона прямой  $\theta_n$  значения расстояния от начала координат до прямой  $\rho_{m,n} = i_m \sin \theta_n + j_m \cos \theta_n$ . Формирование соответствующего двумерного массива RHO размерностью  $M \times N$ . Все полученные и внесенные в массив значения  $\rho_{m,n}$  квантованы с заранее заданной точностью (шагом квантования)  $\Delta\rho$ .

**Шаг 3.** Заполнение аккумулятора HF, представляющего собой двумерный массив размерностью  $L \times N$ , где  $L = (\rho_{\max} - \rho_{\min})/\Delta\rho$ .

Выполняется цикл по всем значениям массива RHO, сформированного на шаге 2. На каждом шаге цикла значение массива HF с индексами  $(\rho_{m,n}, \theta_n)$  увеличивается на единицу.

**Шаг 4.** Поиск глобального максимума массива HF;  $hf_{\max}(\rho_b, \theta_n)$ . Предполагается, что все точки, внесшие свой вклад в заполнение данной ячейки аккумулятора, лежат на одной прямой. Индексы этой ячейки  $(\rho_{l \max}, \theta_{n \max})$  определяют параметры соответствующей прямой. Обнаруженной прямой присваивается уникальный индекс. Параметры прямой и ее индекс записываются в список LINES.

Все точки, внесшие свой вклад в формирование прямой, записываются в новый список индексированных контурных точек IPOINTS, в котором каждой точке соответствует индекс, равный индексу прямой, на которой лежит данная точка.

**Шаг 5.** Модификация аккумулятора. Формирование результирующего списка контурных точек. Предложенный алгоритм предполагает единовременную

обработку контуров одного направления (например, контуры, близкие к вертикальным). В этом случае будем выполнять дальнейшую обработку исходя из условия, что каждая точка может принадлежать только одному контуру (исключением могут быть точки пересечения контуров, но этих точек мало, и их можно не учитывать). Соответственно, все точки, внесшие свой вклад в формирование прямой, полученной на шаге 4, должны быть изъяты из дальнейшего рассмотрения. Это можно сделать следующим образом. В массиве RHO проверяем столбец с индексом, соответствующим  $\theta_{n \max}$ , и если значение в ячейке равно  $\rho_{l \max}$ , то соответствующая строка удаляется из массива.

*Примечание.* Опыт показывает, что целесообразно рассматривать не только точки, внесшие свой вклад в заполнение ячейки  $(\rho_{l \max}, \theta_{n \max})$  аккумулятора, но и точки, внесшие свой вклад в заполнение соседних ячеек.

Шаги 3—5 повторяются до тех пор, пока не выполнено одно из условий: значение очередного глобального максимума массива HF ниже заданного порога или обнаружено заданное число прямых.

Результатом выполнения предложенного алгоритма является список параметров прямых, обнаруженных на изображении, а также список точек, проиндексированных в соответствии с индексом прямой, которой принадлежит каждая точка.

## Иллюстрация полученных результатов

Алгоритм был протестирован на изображении, представленном на рис. 1. Рисунок хорошо иллюстрирует рассматриваемый класс сцен, на которых присутствуют протяженные объекты техногенного характера. В данном случае это дороги с линиями разметки и столбы. Также на изображении присутствует линия горизонта.

Как было сказано ранее, источником информации о геометрии сцены может служить информация о присутствующих на изображении сцены контурах, представляющих собой наборы точек, в которых наблюдается значительный перепад яркости.



Рис. 1. Исходное изображение

На рис. 2 приведен результат направленной (ориентированной) фильтрации, позволяющей выделить точки перепада яркости с сохранением информации о направлении перепада. На рис. 2 показаны точки, соответствующие только одному направлению градиента (Северо-Запад).

Рис. 3 иллюстрирует окончательный результат направленной фильтрации с дополнительной обработкой, в результате которой из дальнейшего рассмотрения были изъяты мелкие контуры (небольшие связные группы точек). На рис. 3 одновременно показаны точки, соответствующие всем направлениям градиента яркости.

Геометрию данной сцены можно описать набором присутствующих на изображении сцены контуров, т. е. набором контурных точек. Можно назвать такое описание описанием в пространстве градиентов. Рис. 3 можно считать визуализацией такого описания сцены.

В то же время на рис. 3 видно, что значительное число полученных в результате обработки контуров можно аппроксимировать прямыми линиями. Соответственно, можно описать сцену набором параметров прямых, на которых лежат выделенные точки перепадов яркостей (контурные точки). Такое описание можно получить, применив рассматриваемый алгоритм последовательно к наборам контурных точек, соответствующим различным направлениям градиентов. В результате описание сцены можно представить в виде списка параметров прямых в формате (RHO; ТНЭТА) (табл. 1) либо визуализировать в виде набора точек в пространстве параметров прямых (рис. 4). Точки на рис. 4 обозначают прямые с соответствующими параметрами (RHO; ТНЭТА).

На рис. 5 приведено изображение, на котором отмечены точки перепадов яркости (контурные

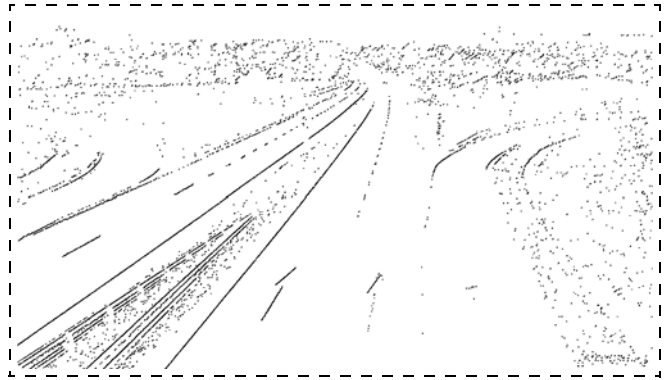


Рис. 2. Результат направленной (ориентированной) фильтрации для одного направления градиента (Северо-Запад)

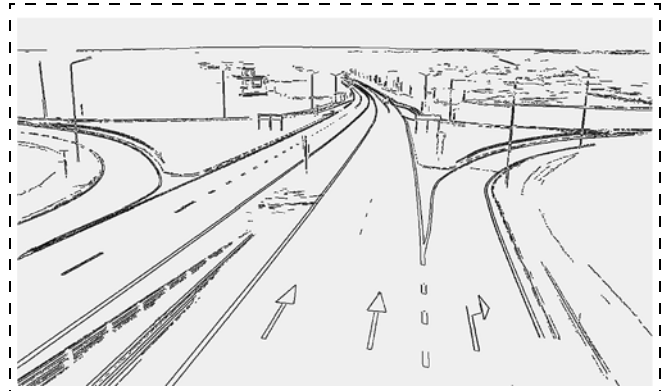


Рис. 3. Результат направленной (ориентированной) фильтрации

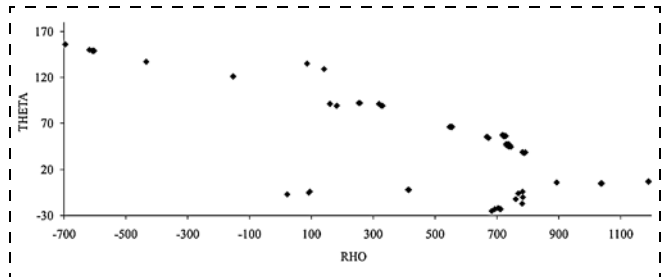


Рис. 4. Визуализация описания геометрии сцены в пространстве параметров прямых

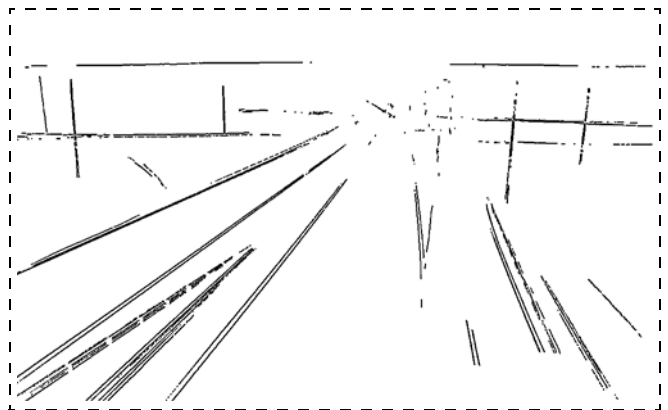


Рис. 5. Набор контурных точек, которые внесли свой вклад в формирование описания геометрии сцены

Таблица 1

Параметры прямых, обнаруженных на рис. 1

ТНЭТА	RHO	ТНЭТА	RHO	ТНЭТА	RHO
-25	683	38	788	66	547
-23	712	39	783	66	553
-23	710	39	792	66	554
-23	693	45	738	89	182
-22	704	45	745	89	330
-17	782	46	739	89	326
-12	761	47	730	91	160
-10	784	47	739	91	319
-7	22	47	732	92	257
-6	769	47	736	92	254
-5	92	54	673	121	-153
-4	95	55	670	129	141
-4	783	55	667	135	86
-2	413	56	724	137	-434
-2	415	56	728	149	-608
5	1036	56	721	149	-603
5	1039	57	719	149	-606
6	893	57	718	150	-618
7	1189	66	555	156	-696
7	1191	66	552	158	-705

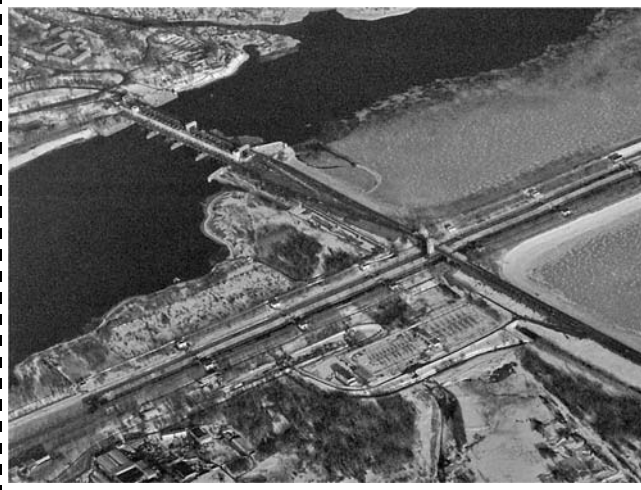


Рис. 6. Исходное изображение

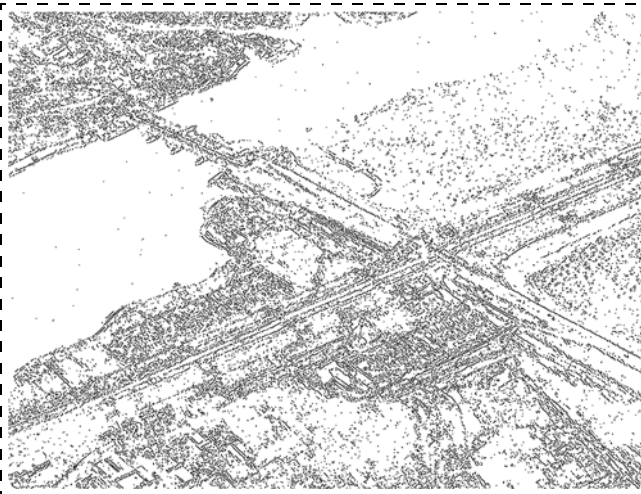


Рис. 7. Результат направленной фильтрации исходного изображения, представленного на рис. 6

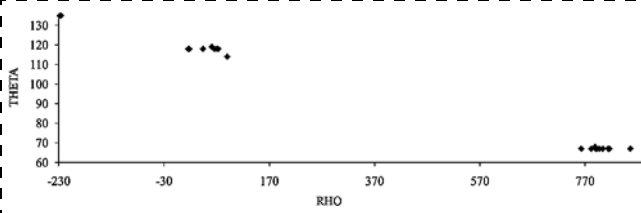


Рис. 8. Визуализация описания геометрии сцены в пространстве параметров прямых

Таблица 2

Параметры прямых, обнаруженных на рис. 6

THETA	RHO	THETA	RHO
67	782	114	90
67	804	118	73
67	763	118	44
67	856	118	18
67	790	118	66
67	816	118	16
67	797	118	70
67	814	119	61
67	792	135	-226
68	789	135	-228

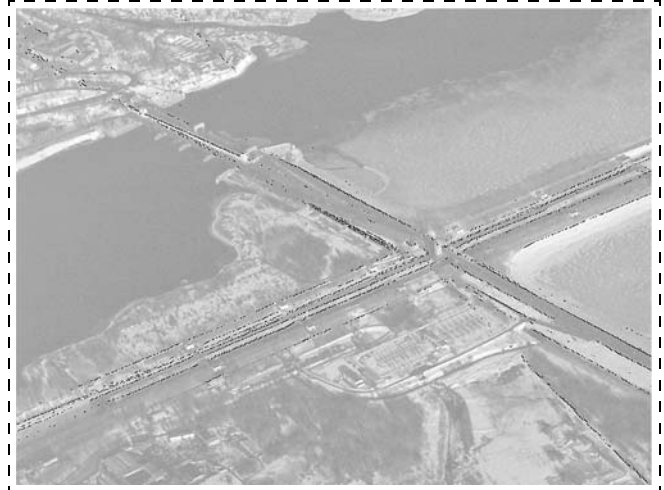


Рис. 9. Контурные точки, которые находятся на выделенных прямых. В качестве подложки использовано исходное изображение

точек), внесшие свой вклад в формирование соответствующих прямых.

На рис. 6 приведено еще одно изображение сцены, на которой присутствуют плотина и автомобильные дороги. Изображение получено с борта летательного аппарата. Изображение достаточно низкого качества и отличается малой контрастностью и высоким уровнем шума. На рис. 7 представлен результат направленной фильтрации исходного изображения, учитывающий только направления градиента, близкие к диагоналям (Северо-Запад — Юго-Восток и Северо-Восток — Юго-Запад). На рис. 7 видно большое число мелких контуров от текстур и шумов. При этом даже контуры протяженных объектов в результате низкого качества исходного изображения разрываются на большое число мелких контуров.

Используя предложенную модификацию метода Хафа с учетом только интересующих нас направлений, можно выделить несколько присутствующих на исходном изображении прямых. В табл. 2 представлены параметры обнаруженных прямых. На рис. 8 представлена визуализация описания геометрии сцены в пространстве параметров прямых.

На рис. 9 представлены только те контурные точки, которые находятся на выделенных прямых. Для удобства восприятия в качестве подложки использовано исходное изображение.

Очевидно, что полученная информация не достаточно точна для распознавания отдельных присутствующих на сцене объектов. Однако этой информации может оказаться вполне достаточно для описания геометрии всей сцены в целом и для решения таких задач, как грубое совмещение двух изображений (например, текущего изображения и эталона).

## Заклучение

В статье рассмотрена возможность использования направленной фильтрации и модифицированного преобразования Хафа для получения информации о наличии протяженных прямых линий на изображениях стационарных наземных сцен.

Направленная фильтрация позволяет получить набор контурных точек с сохранением информации о направлении градиентов яркости.

Предложенная модификация преобразования Хафа использует априорную информацию о преобладающих направлениях градиентов яркости, а также условие принадлежности одной контурной точки только одной из выделяемых прямых.

Рассмотренные примеры показывают, что даже в случае низкого качества исходного изображения

(малые контрасты и высокий уровень шума) предложенный алгоритм позволяет выделить информацию о протяженных объектах в виде набора контурных точек, лежащих на прямых, характеризующих геометрию сцены.

## Список литературы

1. **Инсаров В. В.** Структурно-лингвистический алгоритм обработки изображений и распознавания образов наземных сцен в системе наведения летательного аппарата // Известия РАН. Теория и системы управления. 2004. № 1. С. 145—154.
2. **Pratt W.** Digital Image Processing. Third Edition. John Wiley & Sons, 2001.
3. **Инсаров В. В., Тихонова С. В., Райкова А. В., Фортинский Д. А.** Использование градиентного подхода в задаче выделения контуров крупных техногенных объектов на изображениях многообъектных наземных сцен // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 6. С. 415—421.

## Technique for Detection of Straight Lines on the Images of the Stationary Land Scenes

**V. V. Insarov**, wiliam@gosniias.ru✉, **S. V. Tikhonova**, svetico@yandex.ru,  
State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, 125319, Russian Federation

Corresponding author: **Insarov Wiliam V.**, D. Sc., Deputy Head of Unit,  
State Research Institute of Aviation Systems,  
Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: wiliam@gosniias.ru

Received on October 12, 2015

Accepted on October 15, 2015

*Topic of this article is the problem of processing of the images of the stationary land scenes for the purpose of detection of the straight lines. Straight lines are considered as one of the most typical and robust components of the geometrical content. Straight lines detection on an image can be used in machine vision systems for solving of a number of information processing problems and control of the autonomous robotic mobile objects, such as: elongated landmarks detection in navigation problems; merging of several images of an observed scene with different resolution characteristics. The detected straight lines can be used directly as typical characteristic features in the recognition algorithms and object selection algorithms. At the same time, the detected straight lines could be used to form a different geometrical content, such as points of intersection and convergence of the straight lines, etc. For solution of the task of the straight lines detection an algorithm was proposed based on the use of a directed filtration and modified Hough transform. The directed filtration allows us to get a set of the contour points, while preserving information about direction of the brightness gradient. The offered modification of the Hough transform uses the aprioristic information about the prevailing directions of the brightness gradients, and also a condition that one contour point belongs only to one of the detected straight lines. The reviewed examples show, that even in case of a poor quality of the initial image (low contrasts and high noise level) the offered algorithm allows us to select information about the extended objects in the form of the contour points set, belonging to the straight lines, which determine the scene geometry.*

**Keywords:** image processing, Hough transform, straight lines detection, directed filtration, edge detection

**Acknowledgements:** This work was supported by RFBR, project number 14-08-00621 and 13-08-01433

For citation:

**Insarov V. V., Tikhonova S. V.** Technique for Detection of Straight Lines on the Images of the Stationary Land Scenes, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 138—143.

DOI: 10.17587/mau/17.138-143

## References

1. **Insarov V. V.** Structural and Linguistic Algorithm for Image Processing and Recognition of Patterns In Aerial Images In the

Guidance System Of an Aircraft, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2004, vol. 43, no. 1, pp. 136—144.

2. **Pratt W.** Digital Image Processing, Third Edition. John Wiley & Sons, 2001.

3. **Insarov V. V., Tikhonova S. V., Rankova A. V., Fortinsky D. A.** *Ispol'zovanie gradientnogo podhoda v zadache vydeleniya konturov krupnykh tehnogennykh obektov na izobrazheniyah mnogoobektnykh nazemnykh scen* (Gradient Approach to the Task of Contour Extraction of Big Anthropogenic Objects in the Images of Multi-Object Ground Scenes), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 6, pp. 415—421 (in Russian).