

УДК 621.391

А.А. Журавлёв, В.Ю. Цветков

МАСОЧНО-ФАЗОВЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРЯМЫХ ЛИНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Предлагается масочно-фазовый метод локализации прямых линий на изображении, основанный на предварительном грубом квантовании отрезков по ориентации с использованием библиотеки бинарных масок и уточнении прямых линий с помощью ориентированного преобразования Хафа. Метод позволяет повысить скорость и качество локализации прямых линий в условиях изменения яркости, контраста и зашумления изображения.

Введение

Для решения задач совместной обработки нескольких изображений (наложения, сравнения, построения панорам и т. д.) необходима локализация реперных элементов. Наиболее эффективные методы локализации реперов, такие как SIFT [1] и SURF [2], ориентированы на использование характерных точек. Это позволяет снизить вычислительную сложность по сравнению с корреляционными методами [3], однако приводит к низкой устойчивости результатов локализации реперов в условиях изменения яркости, контраста и зашумления изображения. Прямые линии обладают значительно большей устойчивостью по сравнению с точками. Для их локализации на изображениях широко используются методы, основанные на преобразовании Хафа [4], масочном поиске [5], вычислении градиента [6] и квантовании по ориентации [7]. Однако эти методы требуют значительных вычислительных ресурсов, имеют низкое быстродействие (преобразование Хафа, масочный поиск) и не обеспечивают качественную локализацию прямых, характеризуемую вероятностью ложной локализации и устойчивостью к изменению яркости, контраста и зашумлению изображения (вычисление градиента, квантование по ориентации). Устранение данных недостатков возможно за счет двухэтапной обработки. Сначала осуществляется предварительное грубое квантование отрезков по ориентации с использованием малоразмерных масок. Затем производится уточнение ориентации этих отрезков и их объединение в прямые в фазовом пространстве пространственно-ориентированного преобразования Хафа, реализуемого в ограниченном секторе, который определяется результатами предварительного квантования отрезков по ориентации.

В настоящей статье разработан метод вычислительно простой и качественной локализации прямых линий на изображении с использованием масок и пространственно-ориентированного преобразования Хафа в условиях изменения яркости, контраста и зашумления изображения.

1. Локализация прямых линий в фазовом пространстве преобразования Хафа

Преобразование Хафа позволяет находить объекты, принадлежащие определенному классу фигур, в результате применения процедуры голосования к фазовому пространству параметров. Через точку двумерного пространства может проходить бесконечное количество прямых. Если точка имеет координаты (x_0, y_0) , то все прямые, проходящие через нее, описываются уравнением $\rho(\theta) = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta$, где $\rho(\theta)$ – длина радиуса-вектора ближайшей к началу координат точки на прямой, а θ – угол между радиусом-вектором и осью ординат. Это соответствует синусоиде в фазовом пространстве (ρ, θ) преобразования Хафа, которая уникальна для данной точки. Ряд точек, принадлежащих прямой линии, определяет синусоиды, которые пересекаются в одной точке фазового пространства. Это позволяет свести проблему обнаружения прямых линий к обнаружению пересекающихся синусоид. Вычислительная сложность локализации прямых линий на изображении с использованием преобразования Хафа определяется количеством прямых линий, формируемых для каждого контурного пиксела изображения. Она стремительно растет с

повышением точности определения направления линий и уменьшением порога контурной обработки. Это делает невозможным использование преобразования Хафа в большинстве практических задач, требующих локализации прямых линий в реальном масштабе времени.

2. Масочно-фазовая локализация прямых линий на изображении

Предлагается масочно-фазовый метод локализации прямых линий на изображении, основанный на библиотеке бинарных масок и пространственно-ориентированном преобразовании Хафа. Сущность метода состоит в использовании библиотеки из четырех бинарных масок размером 3×3 пиксела для предварительного грубого квантования по ориентации контурных элементов изображения длиной в три пиксела и последующем уточнении их принадлежности прямым линиям с помощью пространственно-ориентированного преобразования Хафа, применяемого к каждому квантованному контурному элементу в ограниченном секторе, определяемом ориентацией этого элемента. Каждая бинарная маска состоит из трех единичных пикселей, образующих прямолинейный отрезок с угловой ориентацией $\alpha = \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$ (рис. 1). Метод обеспечивает повышение устойчивости и снижение вычислительной сложности локализации прямых линий на изображении по сравнению с методом Хафа за счет предварительной фильтрации прямолинейных отрезков при квантовании контурных элементов изображения по ориентации и уменьшения сектора анализа при уточнении ориентации контурных элементов в фазовом пространстве преобразования Хафа.

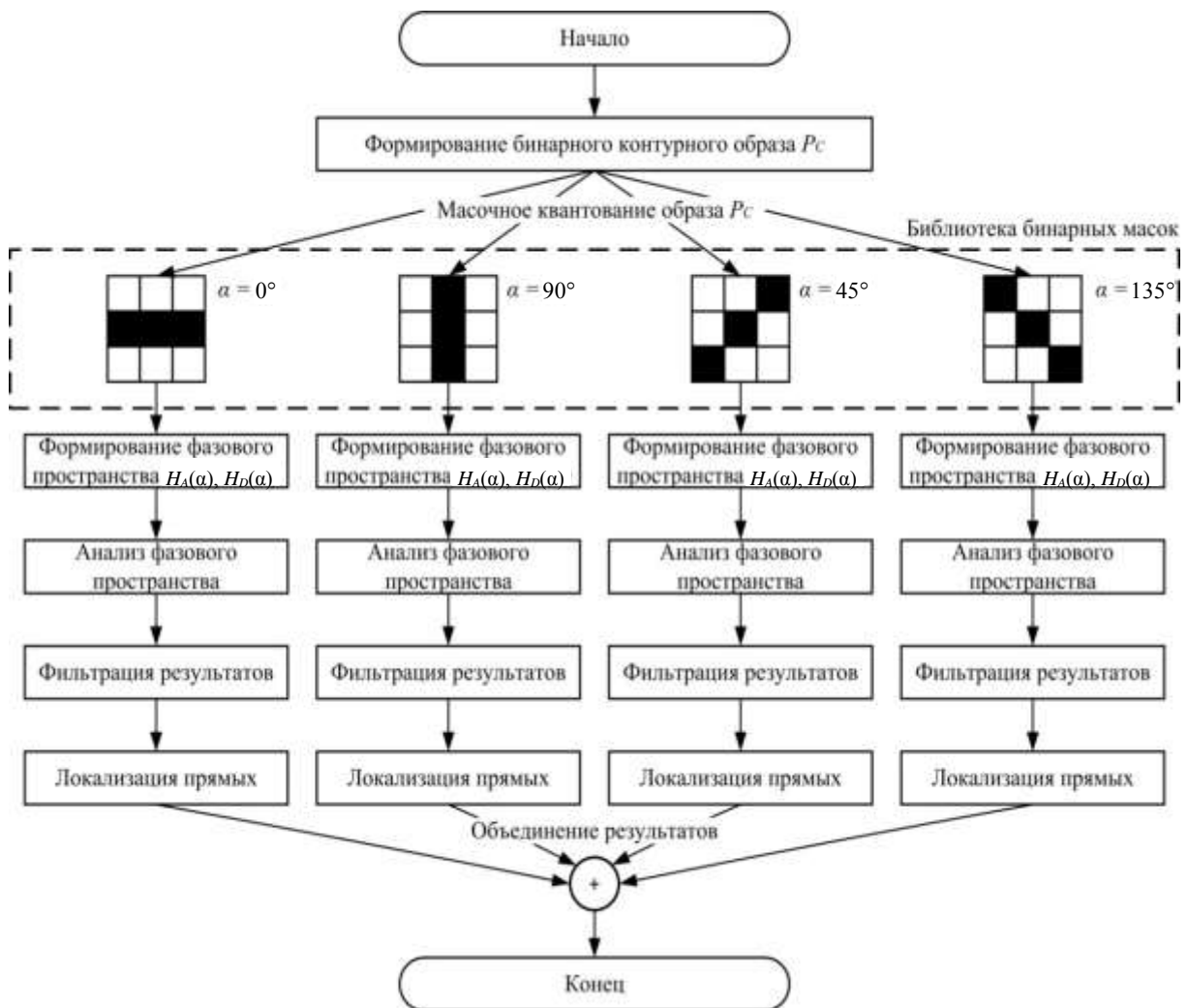


Рис. 1. Блок-схема масочно-фазового метода локализации прямых линий на изображении

Алгоритм, реализующий предлагаемый метод, состоит из следующих шагов (см. рис. 1):

1. Формирование бинарного контурного образа исходного изображения (рис. 2). В результате контурной обработки исходного изображения размером $Y \times X$ пикселей формируется бинарный контурный образ $P_C = \left\| p_C(y, x) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}; x=0, \overline{X-1})}$, где $p_C(y, x) = 1$ для контурных пикселей, $p_C(y, x) = 0$ для неконтурных пикселей. Наилучшие результаты локализации прямых получаются при использовании для выделения контуров алгоритма Canny.

2. Предварительное масочное квантование элементов бинарного контурного образа P_C по ориентации. Окрестность 3×3 пиксела каждого элемента $p_C(y, x) = 1$ бинарного контурного образа P_C проверяется на соответствие четырем контурным маскам. Число масок определяется исходя из их размера и ограничений на возможные варианты расположения в них контурных пикселей. Для маски размером 3×3 пиксела существует только четыре варианта размещения трех контурных пикселей в прямую линию, проходящую через центр маски. При предварительном квантовании отрезков по ориентации это обеспечивает относительно малую вычислительную сложность (повышается с увеличением размера маски) и низкую вероятность ошибочной локализации прямых линий (повышается с уменьшением размера маски). Если обнаружено соответствие окрестности элемента $p_C(y, x) = 1$ бинарной маске с угловой ориентацией α , элементу $c(y, x, \alpha)$ бинарного образа $C(\alpha) = \left\| p_C(y, x, \alpha) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}; x=0, \overline{X-1})}$ присваивается значение 1. В результате данного шага формируются четыре бинарных контурных образа $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$, соответствующих четырем угловым ориентациям бинарных масок (см. рис. 1). При инициализации алгоритма образы $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ обнуляются.

3. Пространственно-ориентированное преобразование Хафа над бинарными образами $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$. Для каждого элемента $c(y, x, \alpha) = 1$ каждого бинарного образа $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ с помощью преобразования T_H Хафа вычисляются параметры Хафа $\{h_A(y, x, n_V, \alpha), h_D(y, x, n_V, \alpha)\}_{(n_V=0, \overline{N_V-1})}$ с помощью выражения

$$\forall c(y, x, \alpha) \left((c(y, x, \alpha) = 1) \rightarrow \left(\{h_A(y, x, n_V, \alpha), h_D(y, x, n_V, \alpha)\}_{(n_V=0, \overline{N_V-1})} \Leftarrow T_H(y, x) \right) \right), \quad (1)$$

$$y = \overline{0, Y-1}, \quad x = \overline{0, X-1}, \quad \alpha = \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\},$$

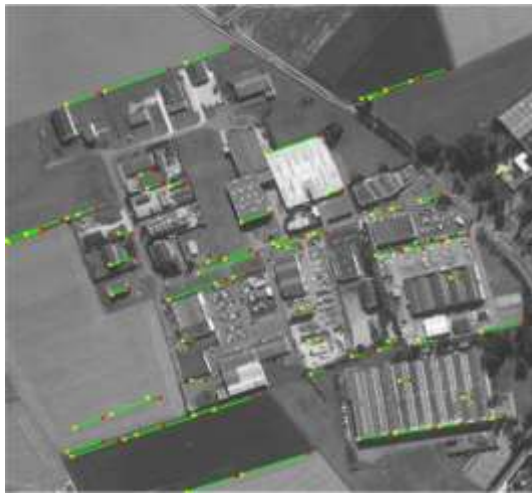
где $h_A(y, x, n_V, \alpha)$ – угол между осью абсцисс и перпендикуляром к виртуальной прямой с индексом n_V , проходящей через элемент $c(y, x, \alpha)$; $h_D(y, x, n_V, \alpha)$ – длина этого перпендикуляра; $N_V = 2\Delta_K / \Delta_V$ – число виртуальных прямых, проходящих через элемент $c(y, x, \alpha)$ под углами $h \in [\alpha - \Delta_K, \alpha + \Delta_K]$ с угловой разностью Δ_V ; $2\Delta_K$ – диапазон применения пространственно-ориентированного преобразования Хафа. Угловая разность Δ_V определяет качество локализуемых прямых. Диапазон $2\Delta_K$ определяется числом ориентаций бинарных масок и определяется с помощью выражения $2\Delta_K = 180/4 = 45^\circ$ (для обеспечения перекрытия секторов $\Delta_K = 25^\circ$ установлено экспериментально). В результате данного шага формируются матрицы $H_A(\alpha) = \left\| \{h_A(y, x, n_V, \alpha)\}_{(n_V=0, \overline{N_V-1})} \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}; x=0, \overline{X-1})}$ и $H_D(\alpha) = \left\| \{h_D(y, x, n_V, \alpha)\}_{(n_V=0, \overline{N_V-1})} \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}; x=0, \overline{X-1})}$ параметров Хафа, графическим представлением которых является фазовое пространство.



а)



б)



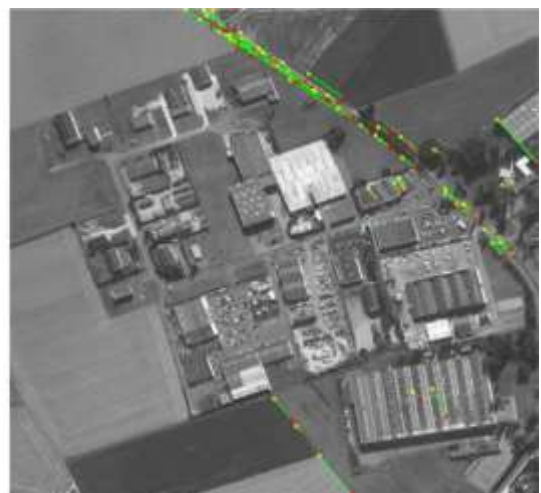
в)



г)



д)



е)

Рис. 2. Формирование бинарного контурного образа исходного изображения и локализация прямых линий на бинарных образах $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$: а) исходное изображение; б) бинарный контурный образ исходного изображения; в) локализация прямых при $\alpha = 0^\circ$; г) локализация прямых при $\alpha = 90^\circ$; д) локализация прямых при $\alpha = 45^\circ$; е) локализация прямых при $\alpha = 135^\circ$

При инициализации алгоритма матрицы $\{H_A(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ и $\{H_D(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ обнуляются.

4. Анализ фазового пространства преобразования Хафа и выделение прямых контурных линий на бинарных образах $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$. Формируются матрица $P_S(\alpha) = \|p_S(y, x, \alpha)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ принадлежности контурных пикселей прямым контурным линиям и матрица $P_P(\alpha) = \|p_P(n_S, \alpha)\|_{(n_S=\overline{1, N_S(\alpha)})}$ вероятностей прямых контурных линий, значения элементов которых определяются в результате анализа параметров фазовых пространств $\{H_A(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ и $\{H_D(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ с помощью выражений

$$\forall h_A(y, x, n_V, \alpha) \forall h_D(y, x, n_V, \alpha) \left((h_A(y, x, n_V, \alpha) = h_A(n_S, \alpha)) \wedge (h_D(y, x, n_V, \alpha) = h_D(n_S, \alpha)) \right) \rightarrow \\ \rightarrow \left((p_S(y, x, \alpha) \Leftarrow n_S), (p_P(n_S, \alpha) \Leftarrow p_P(n_S, \alpha) + 1) \right), \quad (2)$$

$$y = \overline{0, Y-1}, \quad x = \overline{0, X-1}, \quad \alpha = \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}, \quad n_V = \overline{0, N_V-1},$$

где $N_S(\alpha)$ – число контурных линий, выделенных на бинарном образе $C(\alpha)$; $\{h_A(n_S, \alpha), h_D(n_S, \alpha)\}$ – параметры прямой линии с индексом n_S ; $h_A(n_S, \alpha)$ – угол между осью абсцисс и перпендикуляром к прямой с индексом n_S ; $h_D(n_S, \alpha)$ – длина этого перпендикуляра.

В результате выполнения данного шага значение каждого элемента $p_S(y, x, \alpha) \neq 0$ матрицы $P_S(\alpha)$ принадлежности, соответствующего элементу $p_C(y, x) = 1$ бинарного контурного образа P_C , указывает на прямую линию с индексом n_S и параметрами $\{h_A(n_S, \alpha), h_D(n_S, \alpha)\}$. Число выявленных прямых линий на бинарном образе $C(\alpha)$ определяется числом ненулевых элементов матрицы $P_P(\alpha)$ вероятностей. При инициализации алгоритма матрицы $P_S(\alpha)$ и $P_P(\alpha)$ обнуляются.

5. Удаление коротких и прерывистых прямых контурных линий на бинарных образах $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$. За счет предварительного масочного квантования элементов бинарного контурного образа P_C на шаге 2 для всех ненулевых значений матрицы $P_P(\alpha)$ вероятностей выполняется условие $p_P(n_S, \alpha) \geq 3$, т. е. все выделенные на шаге 4 прямые контурные линии имеют длину не менее трех пикселей. Для дополнительных ограничений на длину локализуемых контурных линий снизу и их непрерывность используется выражение

$$\forall p_P(n_S, \alpha) \left((p_P(n_S, \alpha) \geq 0) \wedge \left((p_P(n_S, \alpha) < P_T) \vee (L(n_S, \alpha) / p_P(n_S, \alpha) > L_T) \right) \right) \rightarrow (p_P(n_S, \alpha) \Leftarrow 0), \quad (3)$$

где $L(n_S, \alpha)$ – длина контурной линии с индексом n_S , ограниченной максимально удаленными элементами $p_S(y_1, x_1, \alpha) = n_S$ и $p_S(y_2, x_2, \alpha) = n_S$; P_T – порог, определяющий минимальное число контурных элементов, образующих прямую контурную линию; L_T – порог, определяющий количество и общую величину разрывов контурной линии на длине $L(n_S, \alpha)$.

6. Локализация прямых линий на бинарных образах $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$ (см. рис. 2). Значения элементов матрицы $P_S(\alpha)$ принадлежности приводятся в соответствие со значениями элементов матрицы $P_P(\alpha)$ вероятностей с помощью выражения

$$\forall p_S(y, x, \alpha) \left((p_S(y, x, \alpha) = n_S) \wedge (p_P(n_S, \alpha) = 0) \right) \rightarrow (p_S(y, x, \alpha) \leftarrow 0) \quad (4)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$, $\alpha = \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$.

В результате выполнения данного шага значение каждого элемента $p_S(y, x, \alpha) \neq 0$ матрицы $P_S(\alpha)$ принадлежности указывает на прямую контурную линию с индексом n_S , проходящую через пиксел с координатами (y, x) бинарного контурного образа P_C и имеющую параметры $\{h_A(n_S, \alpha), h_D(n_S, \alpha)\}$.

7. Объединение результатов поиска прямых контурных линий на бинарных образах $\{C(\alpha)\}_{(\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\})}$. Формируются результирующее множество $\{h_A(n_R), h_D(n_R)\}_{(n_R=\overline{1, N_R})}$ параметров прямых контурных линий и результирующая матрица $P_R = \|p_R(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ принадлежности контурных пикселов бинарного контурного образа P_C прямым контурным линиям, значения которых вычисляются с помощью выражений

$$h_A(n_R) = \begin{cases} h_A(n_S, 0^\circ) \text{ при } n_R \leq N_S(0^\circ), \\ h_A(n_S, 45^\circ) \text{ при } N_S(0^\circ) < n_R \leq (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ)), \\ h_A(n_S, 90^\circ) \text{ при } (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ)) < n_R \leq (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ) + N_S(90^\circ)), \\ h_A(n_S, 135^\circ) \text{ при } (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ) + N_S(90^\circ)) < n_R \end{cases} \quad (5)$$

при $n_R = \overline{1, N_R}$;

$$h_D(n_R) = \begin{cases} h_D(n_S, 0^\circ) \text{ при } n_R \leq N_S(0^\circ), \\ h_D(n_S, 45^\circ) \text{ при } N_S(0^\circ) < n_R \leq (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ)), \\ h_D(n_S, 90^\circ) \text{ при } (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ)) < n_R \leq (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ) + N_S(90^\circ)), \\ h_D(n_S, 135^\circ) \text{ при } (N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ) + N_S(90^\circ)) < n_R \end{cases} \quad (6)$$

при $n_R = \overline{1, N_R}$;

$$p_R(y, x) = p_S(y, x, 0^\circ) \cup (p_S(y, x, 45^\circ) + N_S(0^\circ)) \cup (p_S(y, x, 90^\circ) + N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ)) \cup (p_S(y, x, 135^\circ) + N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ) + N_S(90^\circ)) \quad (7)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$,

где $N_R = N_S(0^\circ) + N_S(45^\circ) + N_S(90^\circ) + N_S(135^\circ)$ – общее число выделенных на шаге 4 контурных линий на образах $\{C(\alpha)\}_{\alpha=\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}}$. Выражение (7) описывает объединение матриц $P_S(\alpha)$ принадлежности, в результате которого значения элементов $p_R(y, x)$ результирующей матрицы P_R принадлежности распределены в диапазоне $p_R(y, x) \in [1, N_R]$.

В результате выполнения данного алгоритма формируются множество $\{h_A(n_R), h_D(n_R)\}_{(n_R=1, N_R)}$ параметров прямых контурных линий и матрица P_R принадлежности контурных пикселей бинарного контурного образа P_C прямым контурным линиям, ненулевые элементы которой указывают на индексы n_R прямых контурных линий с параметрами $\{h_A(n_R), h_D(n_R)\}$.

3. Оценка эффективности масочно-фазовой локализации прямых линий на изображении

Для оценки эффективности предложенного масочно-фазового метода локализации прямых линий на изображении проведено его сравнение с методом локализации прямых на основе преобразования Хафа. В качестве критериев эффективности использованы вычислительная сложность локализации прямых линий на изображении, вероятность ошибочной локализации и устойчивость результатов локализации к изменению яркости, контраста и зашумлению изображения.

Оценка вычислительной сложности методов локализации прямых линий получена исходя из числа угловых ориентаций виртуальных прямых, проводимых через контурные пиксели. Поскольку сектор параметризации точек в преобразовании Хафа составляет 180° , а в масочно-фазовом методе $2\Delta_\kappa = 50^\circ$, при одинаковой плотности виртуальных прямых вычислительная сложность масочно-фазового метода в 3,6 раза меньше, чем метода на основе преобразования Хафа, что подтверждается экспериментально (время локализации прямых на процессоре Intel i5 2.27 ГГц в MatLab 2012b составляет 0,75 с для масочно-фазового метода и 2,67 с для преобразования Хафа). Однако масочно-фазовый метод незначительно уступает по быстродействию методу LSD [6] (время локализации прямых на процессоре Intel i5 2.27 ГГц в MatLab 2012b составляет 0,28 с для метода LSD, что в 2,6 раза лучше по сравнению с масочно-фазовым методом).

Оценка вероятности ошибочной локализации прямых линий получена на основе отношения числа ошибочно локализованных прямых линий к общему числу локализованных прямых линий на изображении. В результате эксперимента над 20 изображениями, содержащими множество мелких деталей, и 20 изображениями, содержащими преимущественно крупные детали, установлено, что вероятность ошибочной локализации прямых масочно-фазовым методом меньше на 43 и 56 % для изображений, содержащих множество мелких и преимущественно крупных деталей соответственно, по сравнению с методом на основе преобразования Хафа. Для оценки устойчивости результатов локализации прямых линий использовано отношение числа прямых, выделяемых на изображении при изменении яркости, контраста и зашумлении, к числу прямых, выделяемых на исходном изображении. На рис. 3 показаны характеристики устойчивости результатов локализации прямых линий с помощью масочно-фазового метода и метода на основе преобразования Хафа для тестового изображения, приведенного на рис. 2. Изменение уровня яркости, контраста и зашумления изображения производилось средствами графического редактора Adobe Photoshop.

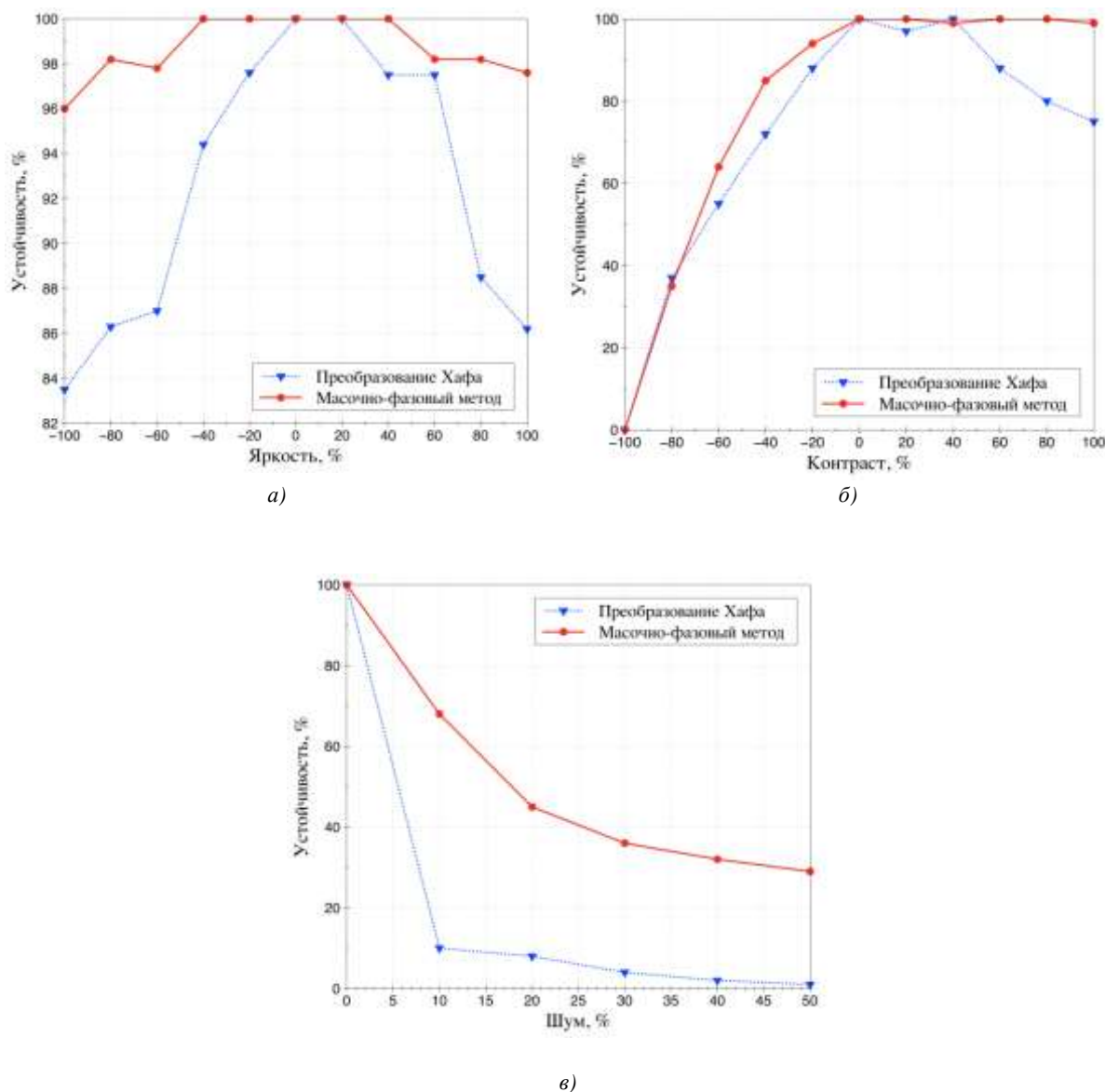


Рис. 3. Оценки устойчивости результатов локализации прямых линий на изображении: а) при изменении яркости; б) при изменении контраста; в) при зашумлении

На рис. 3, а и б видно, что масочно-фазовый метод локализации прямых превосходит по стабильности метод на основе преобразования Хафа на 12 % при изменении яркости и на 22 % при изменении контраста. Масочно-фазовый метод позволяет более чем на 35 % повысить устойчивость результатов локализации прямых к шуму по сравнению с преобразованием Хафа (рис. 3, в) за счет фильтрации бинарного контурного образа на основе использования предварительного масочного квантования его элементов. Установлено, что масочно-фазовый метод одинаково эффективен для реальных изображений и «синтезированных» (полученных в результате совмещения нескольких реальных изображений). На рис. 4 показаны результаты локализации прямых линий на реальных аэрокосмических изображениях, а на рис. 5 – на «синтезированных» изображениях земной поверхности (интернет-ресурс Google Maps).

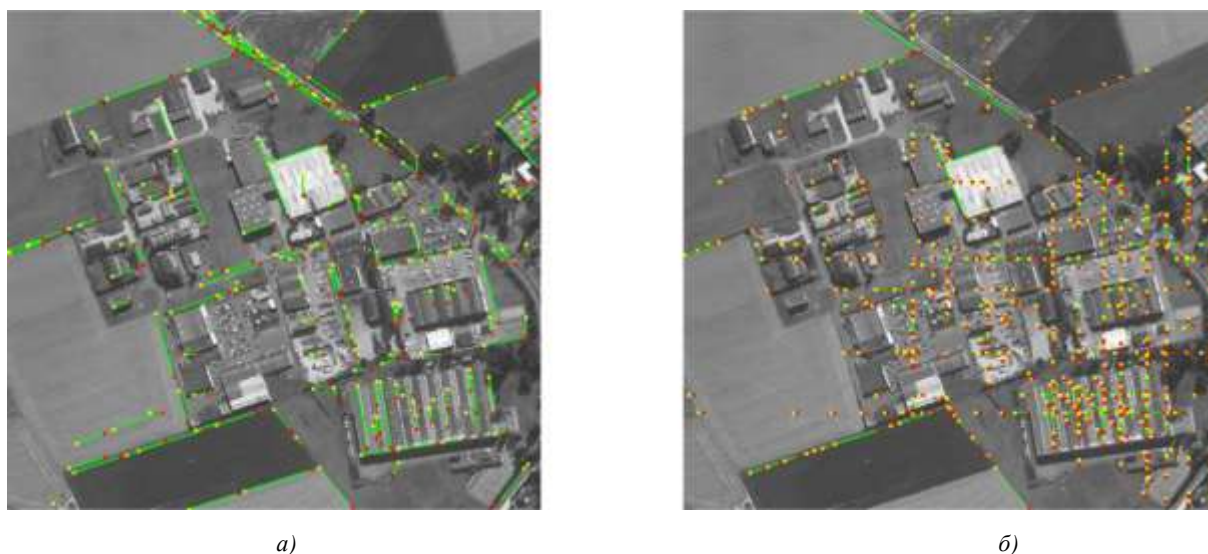


Рис. 4. Локализация прямых линий на реальном изображении:
а) масочно-фазовый метод; *б)* классическое преобразование Хафа

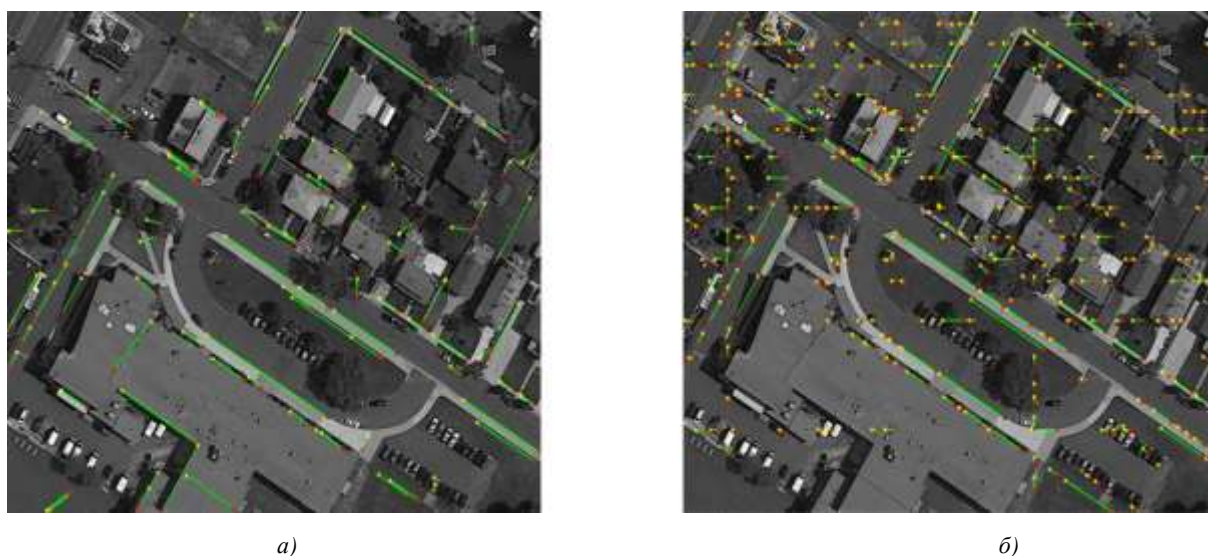


Рис. 5. Локализация прямых линий на «синтезированном» изображении:
а) масочно-фазовый метод; *б)* классическое преобразование Хафа

Экспериментально установлено, что прямые линии, выделяемые с помощью масочно-фазового метода, достаточно устойчивы к изменению яркости (рис. 6, *г–е* – увеличение яркости на 50 %), контраста (рис. 6, *ж–и* – увеличение контраста на 50 %) и зашумления (рис. 6, *к–м* – увеличение уровня шума на 10 %) изображения. В таблице приведены характеристики устойчивости локализации линий методами LSD и масочно-фазовым для изображений, представленных на рис. 6, при изменении яркости, контраста и уровня шума. Из таблицы и рис. 6 следует, что масочно-фазовый метод выделяет меньшее количество прямых линий (рис. 6, *а–в*) из-за более строгих ограничений на их структуру (LSD захватывает прямые отрезки ломаных контурных линий). Вместе с тем масочно-фазовый метод обеспечивает большую стабильность местоположения локализуемых линий на изображении при изменении характеристик изображений: на 41 % при увеличении яркости на 50 %, на 29 % при увеличении контраста на 50 % и на 28 % при увеличении уровня шума на 10 %.

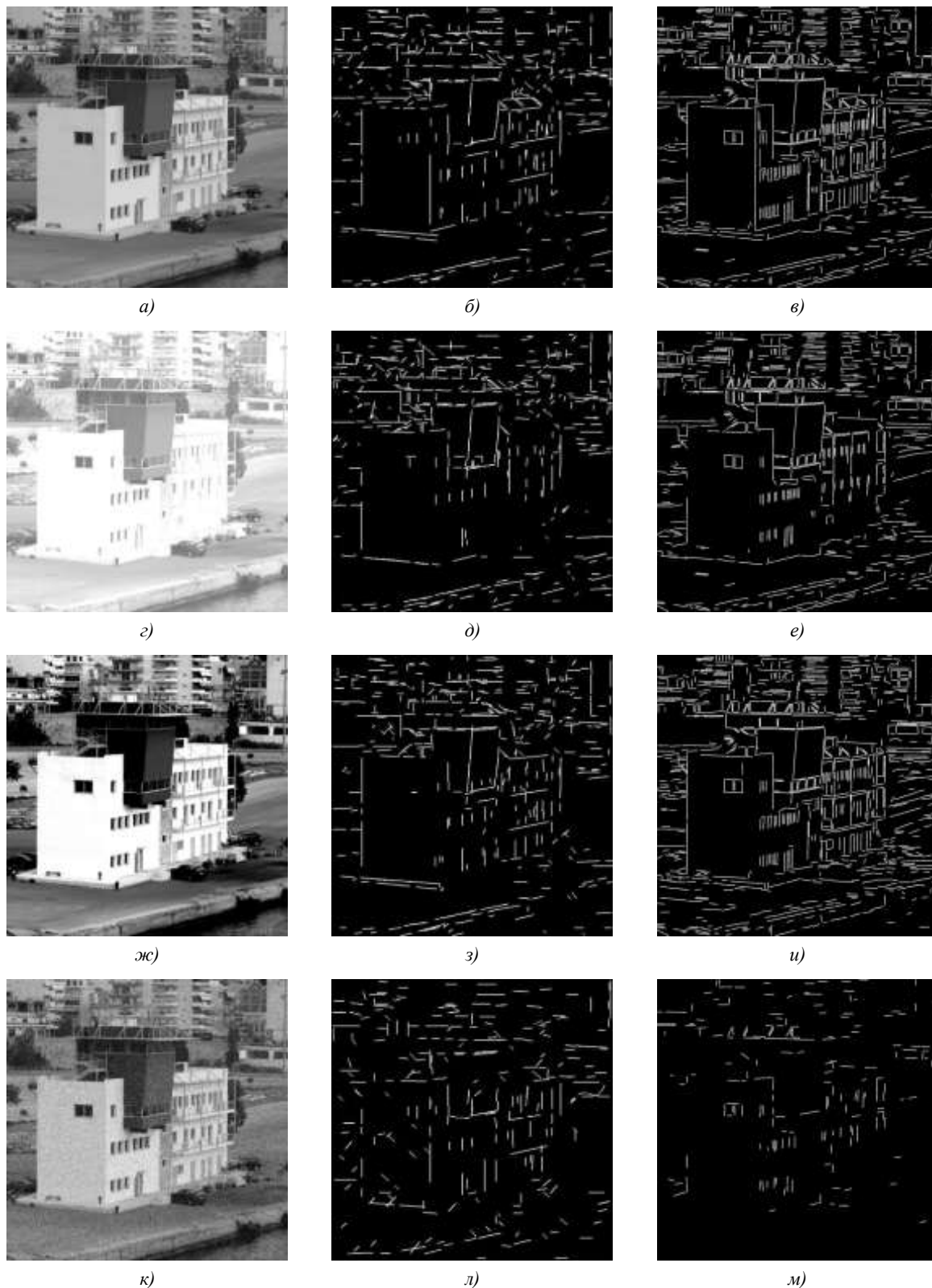


Рис. 6. Локализация прямых линий на изображении: *а)* исходное изображение; *б)* локализация масочно-фазовым методом на исходном изображении; *в)* методом LSD на исходном изображении; *г)* засвеченное изображение (яркость увеличена на 50 %); *д)* локализация масочно-фазовым методом на засвеченном изображении; *е)* методом LSD на засвеченном изображении; *ж)* высококонтрастное изображение (контраст увеличен на 50 %); *з)* локализация масочно-фазовым методом на высококонтрастном изображении; *и)* методом LSD на высококонтрастном изображении; *к)* зашумленное изображение (интенсивность шума 10 %); *л)* локализация масочно-фазовым методом на зашумленном изображении; *м)* методом LSD на зашумленном изображении

Влияние увеличения яркости, контраста и уровня шума изображения на стабильность линий

Метод	Исходное число линий	Число линий, сохранивших местоположение, при увеличении		
		яркости на 50 %	контраста на 50 %	уровня шума на 10 %
LSD	847	297 (35 %)	324 (38 %)	134 (16 %)
Масочно-фазовый	367	278 (76 %)	247 (67 %)	163 (44 %)

Локализация линий методом LSD основана на вычислении градиентов. Поэтому при изменении характеристик изображения линии могут смещаться в пределах нескольких пикселей относительно исходного положения, что приводит к уменьшению стабильности локализации местоположения линий.

Заключение

В работе предложен масочно-фазовый метод локализации прямых линий на изображении, основанный на библиотеке бинарных масок и пространственно-ориентированном преобразовании Хафа. Суть метода состоит в использовании библиотеки малоразмерных бинарных масок для предварительного грубого квантования контурных отрезков по ориентации и последующем уточнении их принадлежности прямым линиям с помощью пространственно-ориентированного преобразования Хафа, применяемого к каждому квантованному контурному отрезку в ограниченном секторе, определяемом ориентацией этого отрезка. Установлено, что по сравнению с методом локализации прямых на основе преобразования Хафа предложенный масочно-фазовый метод обеспечивает сокращение вычислительной сложности локализации в 3,6 раза, уменьшение вероятности ложной локализации прямых на 43 и 56 % для изображений, содержащих множество мелких и преимущественно крупных деталей соответственно, повышение устойчивости результатов локализации на 12 % к изменению яркости, на 22 % к изменению контраста и более чем на 35 % к зашумлению изображения. Показано, что по сравнению с методом LSD предложенный масочно-фазовый метод обеспечивает повышение стабильности локализации прямых на 41 % при увеличении яркости, на 29 % при увеличении контраста и на 28 % при увеличении уровня шума и уменьшении быстродействия в 2,6 раза.

Список литературы

1. Lowe, D. Distinctive image features from scale invariant keypoints / D. Lowe // International J. of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60, № 2. – P. 91–110.
2. Bay, H. SURF : Speeded up robust features / H. Bay // Proc. of the 9th European Conference on Computer Vision. – 2006. – Vol. 3951. – P. 404–410.
3. Hirschmuller, H. Realtime correlation-based stereo vision with reduced border errors / H. Hirschmuller, J.M. Garibaldi // International J. of Computer Vision. – 2002. – Vol. 47, № 1–3. – P. 229–246.
4. Duda, R.O. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures / R.O. Duda // Communication of the ACM. – 1972. – Vol. 15, № 1. – P. 229–246.
5. Anver, M.M. Fuzzy edge detection using competition between multiple masks / M.M. Anver, R.J. Stonier // Proc. of the 2nd International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems, CIRAS 2003. – Singapore, 2003. – P. 344–348.
6. LSD: A Fast Line Segment Detector with a False Detection Control / R. Grompone von Gioi [et al.] // IEEE Transactions on Pattern. Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – Vol. 32, № 4. – P. 722–732.

7. Chan, T.S. Line detection algorithm / T.S. Chan, K.K. Raymond // Proc. of 13th Int. Conference on Pattern Recognition, ICPR 1996. – Vienna, 1996. – P. 126–130.

Поступила 18.06.2013

*Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Минск, ул. П. Бровки, 6
e-mail: vtsvet@bsuir.by*

A.A. Zhuravlyov, V.Yu. Tsviatkou

**MASK-PHASE METHOD OF LOCALIZATION
OF STRAIGHT LINES IN AN IMAGE**

A mask-phase method of localization of straight lines in an image is proposed. It is based on a preliminary quantization of line segments with respect to orientation by using a library of binary masks and rectification of straight lines by using oriented Hough transform. The method allows improving the speed and quality of straight lines localization if there are changes of brightness, contrast and image noise.