

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ ЛИНИЙ

Рубчинский Александр Анатольевич¹

¹ Кандидат технических наук, доцент Института системного анализа и управления;

ГОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;

141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: arubchinsky@yahoo.com.

Функция, названная локальной функцией яркости, отнесена к каждой точке на рассматриваемом изображении. Оказалось, что во многих реальных ситуациях точки с близкими функциями яркости соответствуют одним и тем же особенностям на изображении, что позволяет выделять эти особенности.

Ключевые слова: детектор линий, обработка изображений, анализ изображений, выделение особенностей, контроль качества, виртуальная реклама.

NEW OPPORTUNITIES OF CONSTRUCTION OF DETECTORS OF LINES

Rubchinsky Alexander Anatol'evich¹

¹ PhD, docent of Institute of system analysis and management;

International university of the nature, society and man «Dubna», Institute of system analysis and management;

141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;

e-mail: arubchinsky@yahoo.com.

A function, named local brightness function, is related to every point of a considered image. It has turned out that in many real situations the points with the close brightness function correspond to the same features on the image that enables to select them.

Key words: edge detector, image processing, pattern recognition, feature selection, quality inspection, virtual advertizing.

Постановка задачи

Задачи локализации, обнаружения и выделения объектов заданного типа на сложном изображении является одной из наиболее важных и трудных задач в распознавании образов. Во многих случаях выделяемые объекты представляют собой линии одного или нескольких типов, и для их нахождения используются алгоритмы, называемые детекторами линий (edge detectors). Все рассматриваемые детекторы основываются на максимизации величины градиента функции, аппроксимирующей изображение (для «серой» палитры каждому пикселю соответствует число от 0 до 255). Подробную информацию о детекторах линий можно найти, например, в [1, 2]. Во многих реальных задачах градиентные детекторы оказываются неработоспособными, поскольку величина градиента в тех точках, которые требуется выделить, оказывается заметно меньше, чем в других точках, которые выделять не надо. Поэтому и возникает общий вопрос: как определить «особенности» или «свойства» линий, которые позволяют выделять линии с заданными свойствами и (что ещё труднее) избегать выделения линий, этими свойствами не обладающих. Данная работа и посвящена одному из возможных подходов к этой проблематике.

Следует подчеркнуть, что вышеуказанный вопрос возник в нескольких реальных задачах (рассмотренных ниже более подробно). Оказалось, что разнообразные задачи выделения линий могут быть решены на основе достаточно простой общей идеи, не связанной с рассуждениями «градиентного» типа. Её изложение сопровождается примерами, взятыми из упомянутых реальных задач.

1. Локальная функция яркости

В работе для простоты изложения рассматриваются изображения в серой палитре. Пусть (x, y) – произвольная точка на изображении (т.е. x и y — координаты пикселя, соответствующего выбранной точке). Рассмотрим квадрат со стороной $2w+1$ с центром в (x, y) . Каждый пиксель внутри этого квадрата характеризуется целым числом (от 0 до 255 или от 0 до 1023). Положим $L = (2w+1)^2$. Таким образом, выбранной точке (x, y) сопоставляется L неотрицательных целых чисел.

Упорядочим эти L чисел в неубывающем порядке: c_1, \dots, c_L . Рассмотрим следующие L точек на плоскости: $(1, c_1), \dots, (L, c_L)$ и соединим последовательные точки отрезками. Полученный график представляет собой график функции, описывающей важные аспекты «поведении» изображения вблизи исходной точки (x, y) и названной локальной функцией яркости в этой точке.

2. Пороговый критерий

Рассмотрим линейное преобразование локальной функции яркости, переводящее точку $(1, c_1)$ в точку $(0, 0)$ и точку (L, c_L) в точку $(1, 1)$. Таким образом, получаем неубывающую функцию $f(x)$, график которой соединяет две противоположные вершины единичного квадрата. Пример такого графика (при $w = 6$) для точки A на рис. 1 приведён на рис. 2. Функция $f(x)$ названа *нормализованной функцией яркости*.

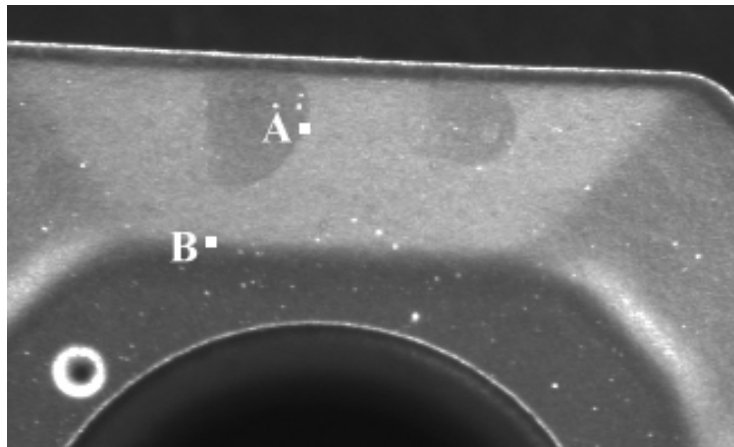


Рис. 1. Две точки для сравнения

Положим

$$g^- = \int_0^{0.5} (x - f(x)) dx, \tag{1}$$

$$g^+ = \int_{0.5}^1 (f(x) - x) dx, \tag{2}$$

$$g = \min(g^-, g^+). \tag{3}$$

В случае, когда все L точек имеют один и тот же цвет, по определению положим $g = 0$.

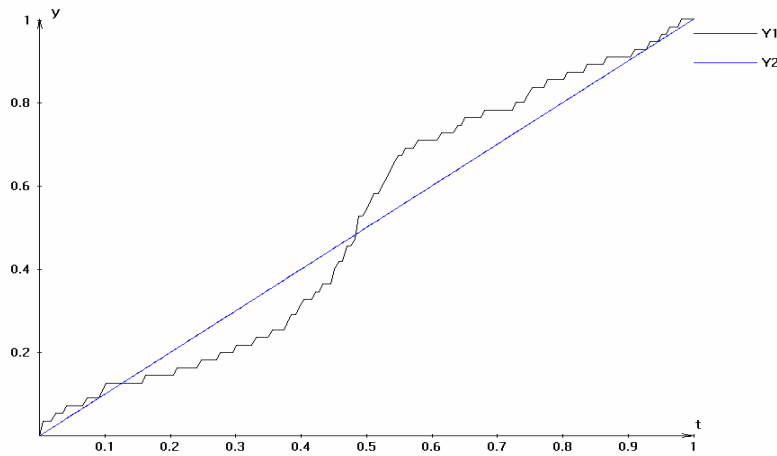


Рис. 2. Нормализованная функция яркости

Указанным способом число g может быть подсчитано для всех точек на рассматриваемом изображении. Значение $g(M)$ в точке M названо пороговым критерием.

Для того чтобы объяснить, как этот критерий «работает», рассмотрим идеальный случай, показанный на рис.3. Для точки A в соответствии с вышеописанным определением функции $f(x)$ и критерия g получаем пороговую функцию, показанную на рис. 4 (график Y_1) и критерий $g = 0,25$ (по построению, g не может превосходить $0,25$).

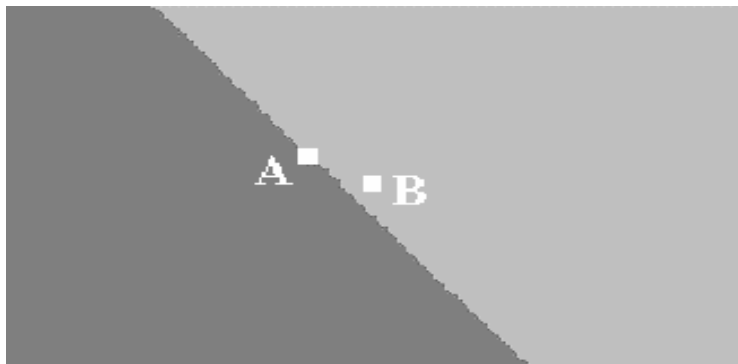


Рис. 3. Двухцветное идеальное изображение

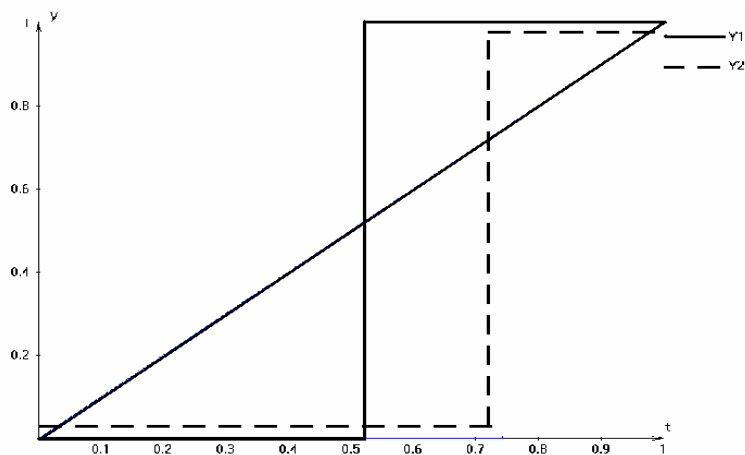


Рис. 4. Функции яркости в двухцветном случае

Заметим, что в идеальном случае на рис. 3 значение порогового критерия не зависит от цветов в одноцветных областях, а зависит только от выбора точки. При выборе другой точки (например, B),

расположенной не на линии раздела, значение $g(B)$ будет меньше, чем 0,25 (см. рис. 4). Можно сказать, что минимаксный характер порогового критерия «сдвигает» его максимум к линии раздела.

Рассмотрим реальный пример. Для изображения на рис. 1 $g(A) = 0,0211$, $g(B) = 0,0190$. В то же время величина градиента в точке A равна 11,18, а в точке B – 14,81, т.е. максимизация градиента и порогового критерия приводит к разным результатам.

3. Нахождение линий

Основная идея состоит в нахождении точек с максимальными значениями порогового критерия. Этот критерий сам по себе используется для начального выбора «подозрительных» мест; окончательный выбор определяется дополнительными эвристическими соображениями, оказавшимися очень полезными в прикладных задачах. Остановимся на этом подробнее.

Исключение крайних значений.

Из упорядоченного набора чисел c_1, \dots, c_L целесообразно исключить k максимальных и k минимальных (k не превосходит 3 - 4 % от L). Эта простая операция устраняет влияние небольших случайных искажений изображения, и, следовательно, повышает надёжность результатов.

Анализ соседних цветов.

Во многих случаях оказывается полезным учитывать цвет (в нашем случае, интенсивность серого цвета) в областях, примыкающих к линии. Это можно делать, например, рассматривая неравенства для крайних чисел из набора c_1, \dots, c_L (после операции – исключение крайних значений). Например:

- $c_1 < KB$ (или $c_1 > KB$),
- $c_L < KE$ (или $c_L > KE$),
- $c_L - c_1 < KD$ (или $c_L - c_1 > KD$)

и т.д. Такие неравенства позволяют выбирать только линии с «тёмным» окружением (при $KB = 10$ и $c_1 < KB$), только линии со «светлым» окружением (при $KE = 200$ и $c_L > KE$), и т.д. Заметим, что используются только числа из того же набора c_1, \dots, c_L .

Анализ равномерности цвета.

До сих пор набор c_1, \dots, c_L рассматривался вне связи с расположением соответствующих точек в квадрате (что, в частности, и обеспечивает стабильность порогового критерия). В некоторых случаях целесообразно использовать и другую информацию, которую можно извлечь из тех же данных. Именно, предлагается следующее:

- найти максимальную разность между яркостями отдельно для каждой половины квадрата;
- взять из этих двух чисел максимальное;
- сделать это для четырёх делений квадрата пополам (по вертикали, по горизонтали, по двум диагоналям);
- определить критерий равномерности как минимум из этих четырёх чисел.

В некоторых случаях этот критерий используется как дополнительный на множестве первых N максимумов порогового критерия (N порядка 100-200).

Группировка точек.

Целесообразно разделить все найденные «подозрительные» точки на группы соседних или близких точек, удалить малые группы и определить средние значения порогового и равномерного критериев для интегральной оценки соответствующих мест.

4. Экспериментальные результаты

Описанный подход был инициирован несколькими прикладными задачами обработки изображений. В этом разделе представлены результаты для некоторых из них.

Выбор линии на поверхности заготовки.

Задача возникла при подготовке технологического процесса, когда необходимо выбрать «правильную» линию из нескольких линий на поверхности заготовки. Сложность состоит в незначительности разницы в чёткости между правильной линией и всеми другими, из-за чего градиентные методы не могут различить их (см. рис. 5a). Результат предложенного подхода показан на рис. 5b.

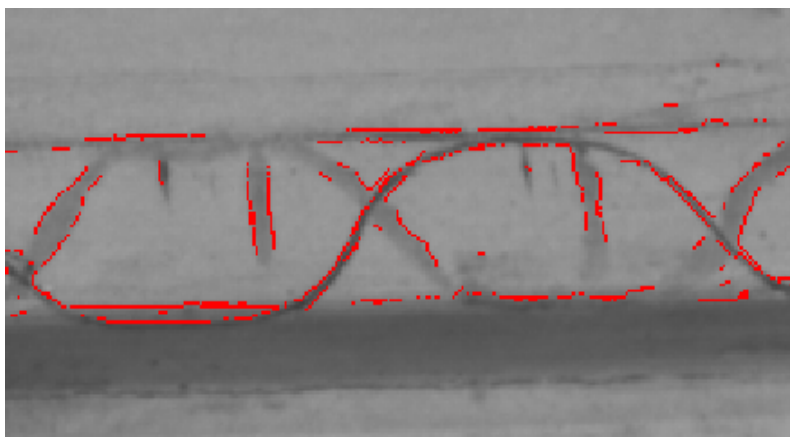


Рис. 5a. Результат градиентного метода

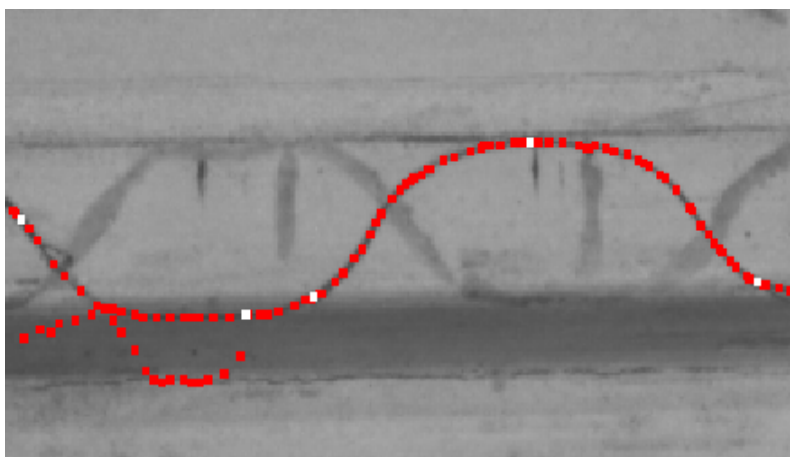


Рис. 5b. Результат предложенного подхода

Определение краев частей кузова автомобиля.

Задача состоит в определении фрагментов краёв (для последующей обработки). Предложенный алгоритм первоначально находит (в заданной области) начальную точку, лежащую на крае, а затем отслеживает край. Следующая точка определяется максимизацией порогового критерия в квадрате с центром в предыдущей точке. Для удержания точек вблизи края алгоритм адаптивно меняет нижнюю оценку KV величины c_1 (см. пункт «Анализ соседних цветов»). Найденная аппроксимация края в сложном случае резкого изменения освещения показана на рис. 6.

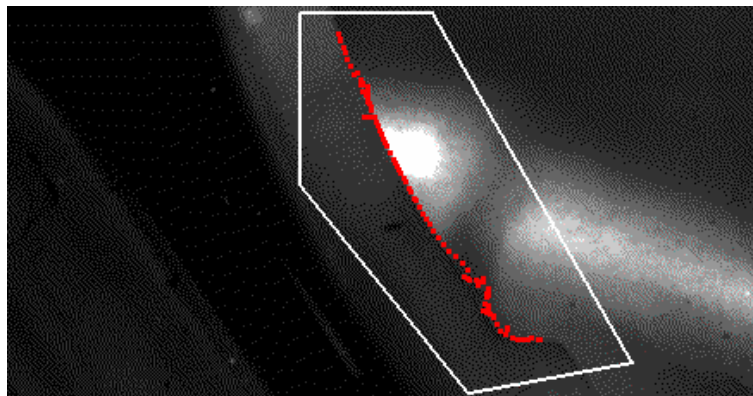


Рис. 6. Пример отслеживания линии

Нахождение дефектов на поверхности режущих инструментов.

Задача состоит в распознавании поверхностных дефектов для автоматического контроля качества режущих инструментов. Известные методы распознавания не решают эту задачу, поскольку они находят многочисленные объекты, не являющиеся дефектами (называемые в теории распознавания фантомами (см. рис. 7а и 7б)).

Алгоритм распознавания, основанный на предложенном подходе, был использован для нескольких типов режущего инструмента (нескольких карбидных вставок). Алгоритм находит точки с минимальными значениями равномерного критерия на множестве точек, выделенных пороговым критерием, используя эвристики, описанные в пункте «Нахождение линий». Минимальные значения для всех найденных дефектов меньше, чем соответствующие значения для всех бракованных неповреждённых вставок того же типа, независимо от индивидуальных деталей и условий освещения, т.е. предложенный подход даёт устойчивые и надёжные результаты. Для всех рассмотренных типов карбидных вставок повреждённые были правильно распознаны. Фрагменты обработанных изображений показаны на рис. 8 и 9 (для двух различных типов вставок). Найденные дефекты выделены красным цветом. Сравнение рис. 7а и 8а, полученных для одной и той же вставки, ясно демонстрирует высокую разрешающую способность нового метода по сравнению с ранее известными.

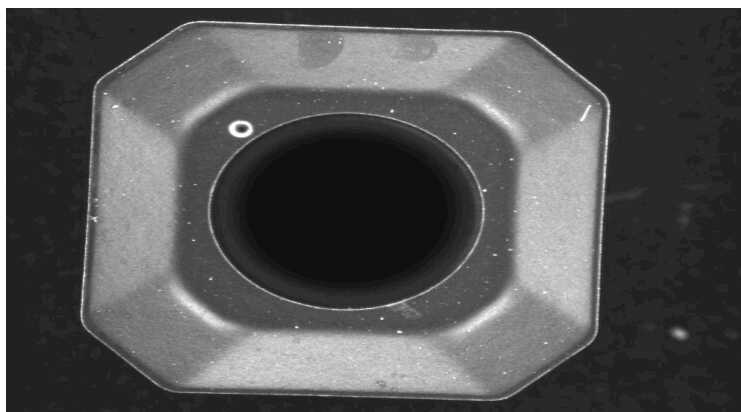


Рис. 7а. Карбидная вставка с двумя дефектами

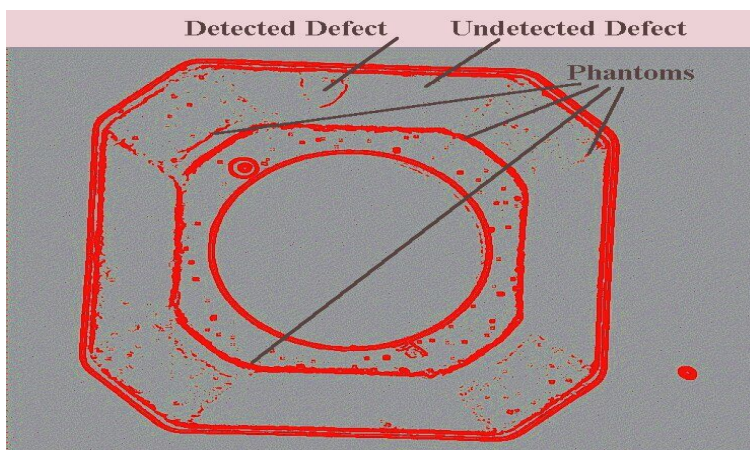


Рис. 7в. Участки со значительным градиентом

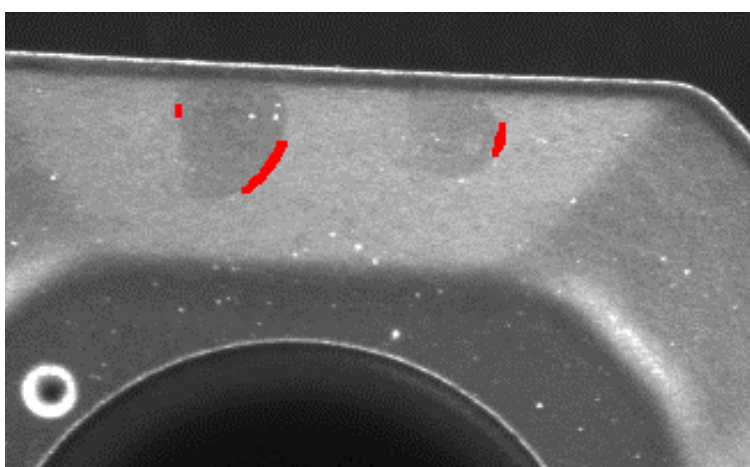


Рис. 8а. 1-я бракованная вставка 1-го типа

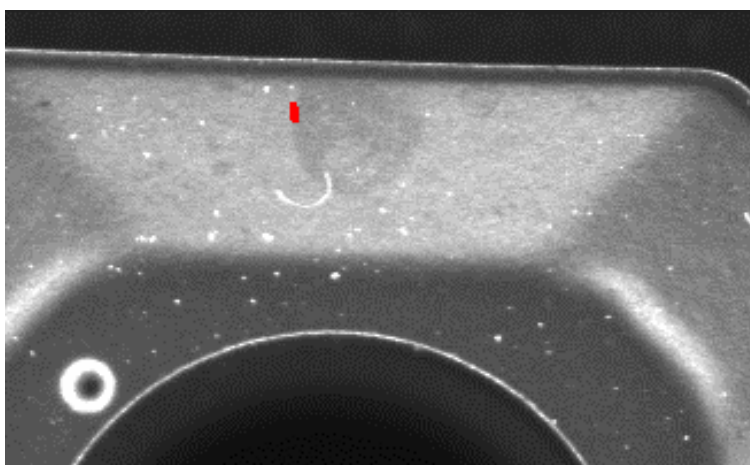


Рис. 8в. 2-я бракованная вставка 1-го типа

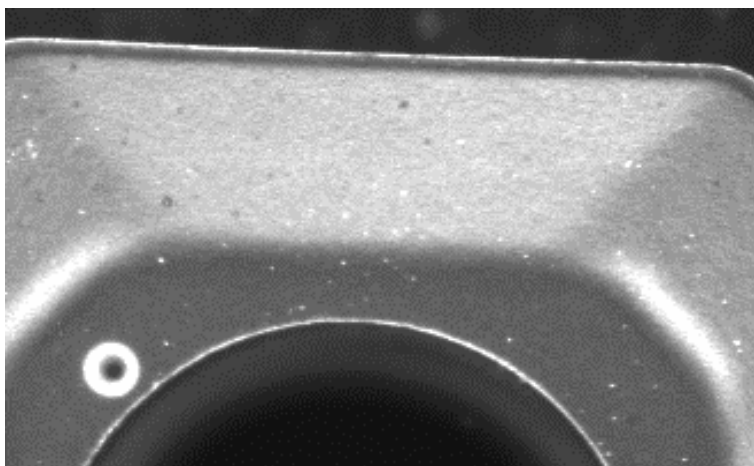


Рис. 8с. Небракованная вставка 1-го типа

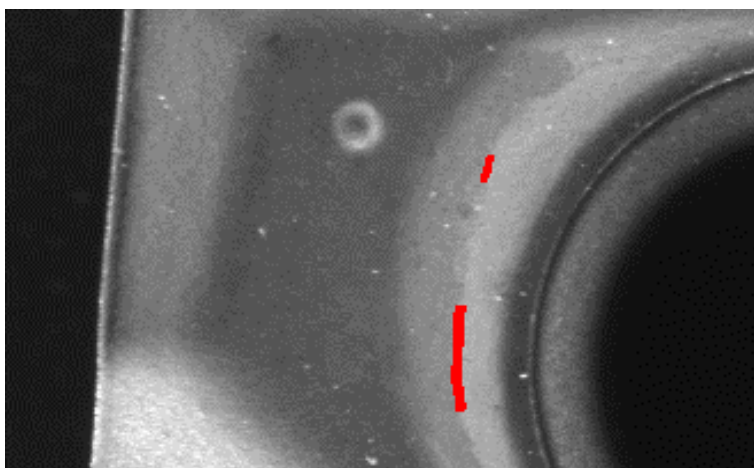


Рис. 9а. 1-я бракованная вставка 2-го типа

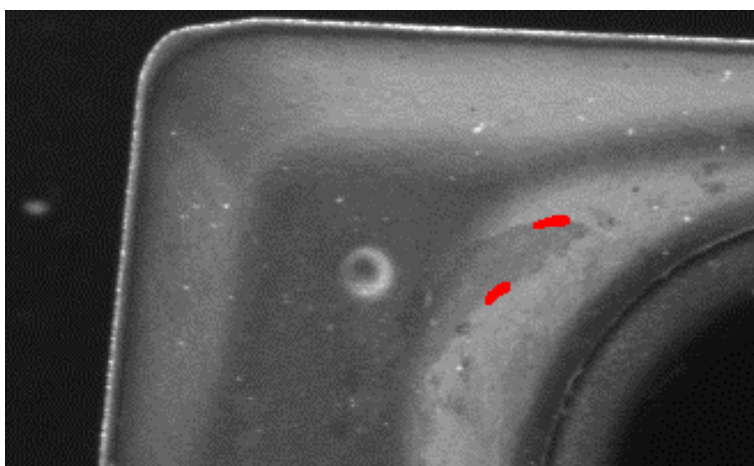


Рис. 9б. 2-я бракованная вставка 2-го типа

Распознавание линий разметки.

Требуется найти и распознать линии разметки на футбольном поле (часть практически важной задачи представления виртуальной рекламы во время телевизионной трансляции).

Задача разделена на несколько этапов. На 1-м этапе осуществляется сегментация исходного изображения. Локальная функция яркости строится для прямоугольников размера 10×6 пикселей. В результате анализа были выявлены пять основных ситуаций:

- прямоугольник не лежит на поле;
- в прямоугольнике нет точек, похожих на точки разметки;
- в прямоугольнике мало точек, похожих на точки разметки;
- в прямоугольнике слишком много точек, похожих на точки разметки;
- точки, похожие на точки разметки, лежат вблизи некоторой прямой линии, пересекающей прямоугольник.

Похожими здесь названы точки с близкими функциями яркости.

На 2-м этапе рассматриваются только прямоугольники 5-го типа. Определяется по одной точке в каждом таком прямоугольнике. Эти точки выделены красным на рис. 10. Обратим внимание, что в предложенном методе тень не влияет на плотность точек.



Рис. 10. Точки на линиях разметки

Последующие этапы 3-5 не относятся собственно к детектору линий и в данной работе не рассматриваются. Результат полного анализа (для другой телевизионной трансляции), вместе со вставленной в образ виртуальной рекламой, представлен на рис. 11.

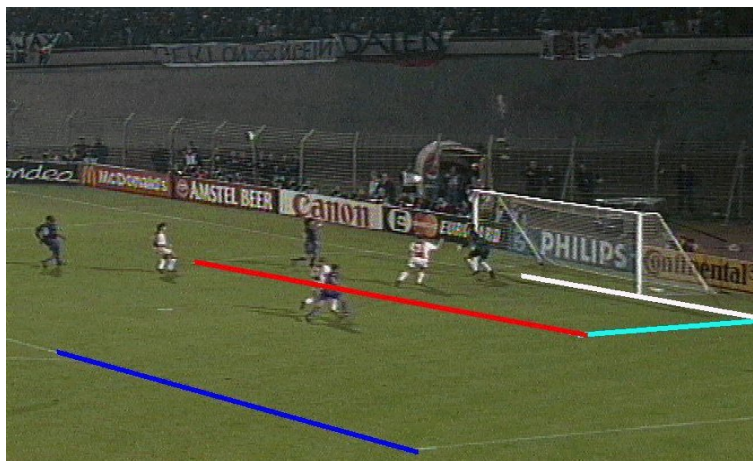


Рис. 11а. Частично распознанная разметка



Рис. 11b. Полностью распознанная разметка



Рис. 11с. Виртуальные постеры

Список литературы

1. Edge detection [Electronic resource]//Wikipedia. — URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Edge_detection.
2. Heath, M. Edge Detector Comparison [Electronic resource] / M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki K. Bowyer // USF Image Analysis Research Laboratory. — URL: http://marathon.csee.usf.edu/edge/edge_detection.html.