

УДК 004.932

В. В. Вихляев, С. А. Кулаков, Г. В. Разумовский, Э. В. Туомас
АО «НИЦ ЭТУ»

Оценка износа дорожной разметки

Рассматриваются методы анализа изображений для выделения дорожной разметки и оценки ее износа. По результатам анализа технологий нахождения разметки предложен подход, базирующийся на использовании CRF-графа с последующим удалением областей, не относящихся к разметке, и объединением областей, принадлежащих одной линии разметки. Обработка видеосъемки дороги предполагает следующие этапы: выделение в кадре зоны анализа проезжей части, распознавание дорожной разметки в выделенной зоне, вычисление длин участков разметки, определение степени износа разметки, построение ведомости дефектов разметки. Для определения степени износа разметки используется схема разметки в формате JSON, где перечислено, какие типы разметки должны быть нанесены на каждом участке дороги. В дефектной ведомости хранятся координаты участков дороги с указанием степени износа разметки и номера видеок кадров, которые соответствуют этим участкам. Данная ведомость может быть использована для видеопросмотра участков, где изношены линии разметки, оценки необходимых ресурсов для их ремонта, установки соответствия расположения существующей разметки схеме дорожной разметки и правилам ее нанесения.

Распознавание дорожной разметки, CRF-граф, схема разметки, износ разметки, ведомость дефектов

Дорожная разметка является одним из основных средств организации дорожного движения, а ее схема – составной частью технического паспорта дороги. Организациям, контролирующим и эксплуатирующим городские и шоссейные дороги, важно знать текущее состояние и качество дорожной разметки. Это позволит выявить участки дороги, нуждающиеся в обновлении разметки, и определить затраты на выполнение этих работ. Основными нормативными документами, регламентирующими технические требования и методы контроля дорожной разметки, являются стандарты РФ ГОСТ Р 54809–2011 и ГОСТ Р 51256–2011. В соответствии с этими документами важным показателем качества дорожной разметки является ее износ (отслоение или стирание). Согласно методическим указаниям, введенным распоряжением Минтранса РФ от 19.11.2003 n ОС-1017-р, износ определяется как отношение площади изношенной разметки к изначально нанесенной и выражается в процентах. Допустимым соотношением считается, если на любом контрольном участке протяженностью 50 м разрушение разметки из термопластика или других долговечных материалов, кроме красок, не превышает 25 %, а износ разметки из краски не превышает 50 % ее площади.

Для определения степени износа дорожной разметки применяются как визуальные, так и автоматизированные методы контроля. При визуальных методах контроля используются специализированные палетки или шаблоны, которые накладываются на разметку в выбранных участках дороги, а затем в них подсчитывается число ячеек, где износ разметки превышает 50 %. Данный метод дает точность $\pm 5\%$, но требует больших временных затрат на измерения и не позволяет проконтролировать износ разметки на всей протяженности дороги.

Автоматизированные методы контроля разметки основаны на электронном представлении схемы разметки и на видеосъемке дорожного полотна. Для видеосъемки используются специализированные лаборатории с установленными на них видеокамерами или обычный автомобиль с видеорегистратором. Результаты видеосъемки кадрово обрабатываются на компьютере, и на основе видеопросмотра определяется степень износа дорожной разметки.

Схему разметки можно хранить в файле формата JSON со следующей спецификацией:

```
{
  "type": "array",
  "items": {
    "type": "object",
```

```

"properties": {
  "lane_number": {
    "type": "integer"
  },
  "left_line": {
    "type": "object",
    "properties": {
      "sections": {
        "type": "array",
        "items": {
          "type": "object",
          "properties": {
            "begin": {
              "type": "float"
            },
            "end": {
              "type": "float"
            },
            "type_line": {
              "type": "string"
            }
          }
        }
      }
    }
  },
  "right_line": {
    "type": "object",
    "properties": {
      "sections": {
        "type": "array",
        "items": {
          "type": "object",
          "properties": {
            "begin": {
              "type": "float"
            },
            "end": {
              "type": "float"
            },
            "type_line": {
              "type": "string"
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

В этом файле для каждой полосы движения (lane_number) описываются левая (left) и правая (right) линии разметки. Обе линии разбиваются на участки (sections), где нанесена разметка. Для

каждого участка указываются его начало (begin), конец (end) и номер типа линии (type_line). Начало и конец участка задаются в километрах относительно точки, принятой за начало дороги. Номера типов линий разметки берутся из ГОСТ Р 51256–99. Например, сплошная линия разметки имеет номер 1.1, двойная – 1.3, штриховая с соотношением 3:1–1.6.

Обработку видеоданных можно разбить на следующие этапы:

1. Выделение в кадре зоны анализа проезжей части.
2. Распознавание дорожной разметки в выделенной зоне.
3. Вычисление длин участков разметки.
4. Определение степени износа разметки.
5. Построение отчета о результатах измерения с указанием участков, где требуется обновить разметку.

Границы проезжей части, где будет анализироваться разметка, можно указать в явном виде или определять автоматически посредством распознавания различных классов объектов, находящихся в зоне видимости камеры. К таким объектам относятся дорожное полотно, автомобили, люди, прилегающие к дороге здания, ограничительные барьеры. В настоящее время разработано множество алгоритмов, выделяющих и классифицирующих указанные объекты [1]. Эти алгоритмы, как правило, основаны на обучении нейронных сетей и используются для управления автомобилем.

Для распознавания дорожной разметки достаточно анализировать только ту полосу движения, по которой движется автомобиль. Это позволяет существенно сократить зону анализа и зафиксировать ее границы. Такой зоной может быть трапеция с основаниями длиной 1.5 ширины полосы, причем нижнее основание должно располагаться так, чтобы в трапецию не попадали блики от капота автомобиля, а верхнее основание находилось на удалении 4–5 м от нижнего (рис. 1).

При большой высоте трапеции дальние участки разметки из-за размытости и малых размеров будут распознаваться плохо. В связи с этим указанные длины оснований трапеции позволяют, с одной стороны, при перемещении автомобиля внутри полосы движения и на поворотах не потерять в анализируемой области разметку, а с другой – уверенно ее выделить.

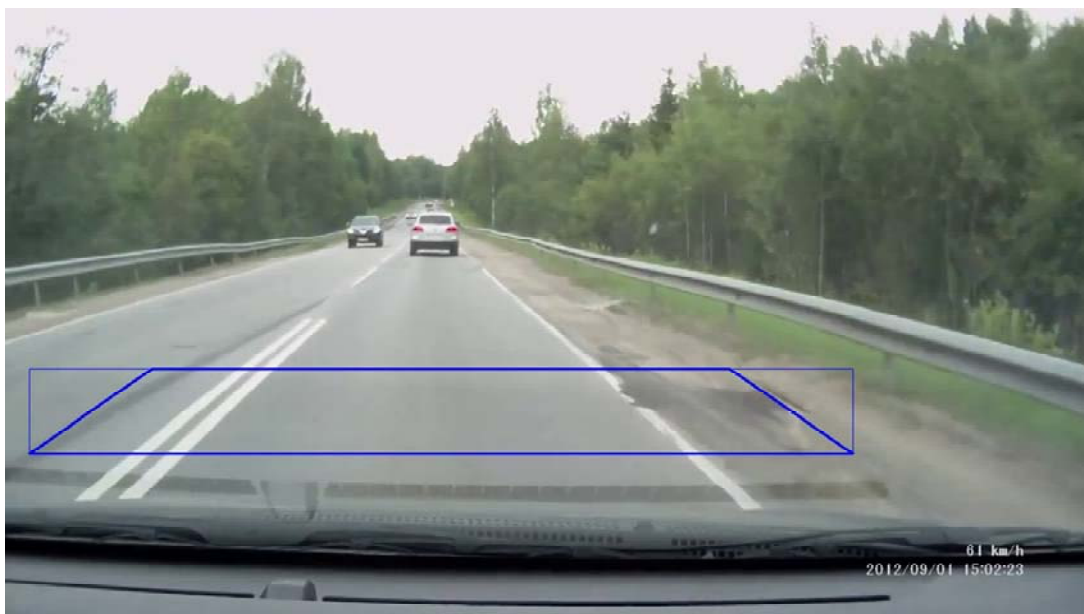


Рис. 1

В настоящее время разработаны и апробированы несколько технологий нахождения разметки на изображении.

1. Цветовая модель [2]. В ее основе лежит принцип отделение полос разметки от фона посредством анализа яркостей пикселей. Цветовая модель имеет простую реализацию и быстро работает, но дает низкое качество выделения разметки в связи с наличием теней, посторонних предметов на дороге (автомобилей) и требует автоподстройки камеры к различным уровням освещенности.

2. Виртуальные сенсоры [2]. Это программный компонент, осуществляющий поиск на изображении прямоугольников с перепадом интенсивностей освещенности вдоль горизонтальных линий. Затем найденные белые прямоугольники привязываются к разделительной полосе. Этот метод дает плохие результаты для размытой и узкой разметки, а также не выделяет короткие участки разметки, так как воспринимает их как выбросы.

3. Преобразование Хафа [3]. Основные этапы процедуры выделения разметки включают в себя статистический анализ профилей яркости в построчных горизонтальных сечениях изображения и в голосовании пар сегментов разных строк, входящих в зону поиска, в пользу набора гипотез о положении и направлении линии разметки, представленных в виде массива-аккумулятора Хафа. Затем линии разметки определяются на основе анализа взаимного расположения линий сформированного массива. При таком преобразовании уверенно выделяется четкая разметка, когда автомобиль движется прямолинейно, и теря-

ются границы разметки при смене направления движения. Преобразование Хафа часто оказывается слишком чувствительным к шуму, хотя и неплохо справляется с затенением на дороге.

4. Байесовский классификатор [4]. Используется обучение на двух областях: разметка и дорожное покрытие без разметки. Затем определяется, какому распределению соответствует каждый пиксель изображения. Метод требует малое количество данных для обучения, но очень чувствителен к освещенности и к посторонним объектам.

5. Каскадная пересегментация изображения с дальнейшей классификацией регионов с помощью обучения [5]. Обнаружение разметки формулируется как задача классификации суперпикселей изображения, или сегментов. В качестве классификаторов используется Gentle AdaBoost с деревом глубины 3. Предложенный метод позволяет определять точные контуры дорожной разметки, но требует большую базу изображений для обучения.

6. CRF-граф [6]. На вход подается прямоугольный участок изображения. В нем анализируется цвет и выделяются зоны интереса, которые соответствуют цветовой модели разметки. В этих зонах ступенчатым фильтром отыскиваются области O , имеющие перепад освещенности в горизонтальном направлении. Для каждой области O строятся массив отрезков белых линий M и 3 вектора $V_1(x_1, y_1, \alpha_1)$, $V_2(x_2, y_2, \alpha_2)$, $V_3(x_3, y_3, \alpha_3)$ – для двух крайних и средней точек области. Затем между векторами всех областей вычисляются супермаркеры (угол и расстояние между векторами), являю-



Рис. 2



Рис. 3

щиеся вершинами CRF-графа. На полученном графе запускается алгоритм минимизации энергии для удаления лишних связей. Связанные между собой супермаркеры образуют линии разметки. Данный метод позволяет выделить все линии разметки и объединить их в классы.

Из рассмотренных технологий нахождения дорожной разметки наиболее предпочтителен CRF-граф, так как он имеет высокое быстродействие и позволяет получить множество потенциальных областей с векторами направлений. Часть этих областей может выходить за рамки трапеции или быть неправильно сгруппирована, т. е. вместо одной области будут построены несколько, хотя они относятся к одной линии разметки. Например, для выделенного участка дороги, представленного на рис. 1, CRF-граф выделит 5 линий. Первая правая (крайняя) линия не относится к дорожной разметке, а для второй правой линии будет построено две области, в то время как они должны быть объединены в одну, поскольку относятся к одной линии разметки (рис. 2).

Полученные результаты при использовании CRF-графа можно скорректировать удалив области, не относящиеся к разметке, и объединив области, принадлежащие одной линии разметки. Выделенная область удаляется из рассмотрения, если отсутствует пересечение верхнего основания

трапеции с вектором V_3 области, т. е. отбрасываются все линии, не сходящиеся в точку перспективы трапеции. Две области $[M_1, O_1(V_{11}(x_{11}, y_{11}, \alpha_{11}), V_{12}(x_{12}, y_{12}, \alpha_{12}), V_{13}(x_{13}, y_{13}, \alpha_{13}))]$ и $[M_2, O_2(V_{21}(x_{21}, y_{21}, \alpha_{21}), V_{22}(x_{22}, y_{22}, \alpha_{22}), V_{23}(x_{23}, y_{23}, \alpha_{23}))]$ объединяются и образуют область $[M_1 \cup M_2, O_3(V_{31}(x_{11}, y_{11}, \alpha_{11}), V_{32}(x_{22}, y_{22}, \alpha_{22}), V_{13}((x_{11} + x_{22})/2, (y_{11} + y_{22})/2, (\alpha_{13} + \alpha_{23})/2))]$ при условии $|\alpha_{13} - \alpha_{23}| < 10^\circ$. Для рассматриваемого кадра результатом таких преобразований будет удаление крайней правой линии и объединение двух соседних областей, образующих вторую правую линию (рис. 3).

Следующим этапом обработки является вычисление длин линий разметки. В выделенных областях кадра могут располагаться сплошные линии или прерывистые. Прерывистость возникает либо за счет нанесения штриховой разметки, либо за счет износа разметки. Координаты начала y_1 и конца y_2 участков сплошных линий, принадлежащих одной области, хранятся в массиве M CRF-графа. Анализируя этот массив можно получить координаты как для закрашенных участков разметки, так и для участков, где закрашка отсутствует. Для вычисления длин участков используется формула

$$L = \frac{H}{\sin \left[\pi - \arctg(H/l) - \arctg \left(\frac{(d/2 - y_1)h/d}{f} \right) \right]} \times \frac{\sin \left[\arctg \left(\frac{(d/2 - y_1)h/d}{f} \right) + \arctg \left(\frac{(d/2 - y_2)h/d}{f} \right) \right]}{\sin \left[\arctg(H/l) - \arctg \left(\frac{(d/2 - y_2)h/d}{f} \right) \right]},$$

где L – длина измеряемого участка линии разметки, м; H – высота установки камеры от поверхности земли, м; l – длина проекции оптической оси камеры на поверхность земли, м; h – высота матрицы видеокамеры, м; d – разрешение изображения по вертикали (в пикселях); y_1 – вертикальная координата нижней точки измеряемого участка (в пикселях); y_2 – вертикальная координата верхней точки измеряемого участка (в пикселях).

Длинам закрасенных участков присваиваются положительные значения, а незакрасенных – отрицательные. Для одной полосы движения создаются 4 массива длин, 2 массива для левых полос разметки и 2 массива для правых полос разметки. Если полоса разметки отсутствует, то в соответствующий массив заносится со знаком минус длина участка обзора дороги. Применяя указанную формулу для трех выделенных линий (рис. 3), получаем следующие значения длин участков кадра:

– массив 1 (первая левая линия разметки): 2.78 –0.22 0.38 –0.25;
 – массив 2 (вторая левая линия разметки): 3.11 –0.16 0.17 –0.19;
 – массив 3 (первая правая линия разметки): 0.59 –0.73 0.2 –0.07 0.47 –1.57;
 – массив 4 (вторая правая линия разметки): –3.63.

На смежных кадрах некоторая часть линии разметки будет присутствовать как на одном, так и на другом кадре, следовательно, длина этой части разметки будет подсчитана дважды. Чтобы исключить такое дублирование, массивы длин корректируются. В них остаются только участки, равные размеру области, которая не повторяется от кадра к кадру. Значение S размера этой области вычисляется по формуле

$$S = v/\text{FPS},$$

где v – скорость движения автомобиля; FPS – частота съемки.

При движении автомобиля со скоростью 60 км/ч и частоте съемки 30 кадров/с значение S будет равняться 0.56 м. Корректировка массивов проводится по следующим правилам:

1. Если абсолютное значение длины участка в массиве больше или равно значению S , то в массив записывается значение S с таким же знаком, как у длины этого участка. Остальные участки удаляются из массива.

2. Если абсолютное значение длины участка в массиве меньше значения S , то его длина остается в массиве. Значение S уменьшается на длину этого участка, а затем по этим же правилам анализируется длина следующего участка элемента массива.

Следуя указанным правилам, скорректированный элемент массива будет выглядеть так:

– массив 1 (первая левая линия разметки): 0.56;
 – массив 2 (вторая левая линия разметки): 0.56;
 – массив 3 (первая правая линия разметки): 0.56;
 – массив 4 (вторая правая линия разметки): –0.56.

Таким образом, после корректировки в массивах останутся только неповторяющиеся участки с указанием их длин. Поскольку при съемке видеокдры привязываются к географическим координатам, то по данным файла схемы разметки можно определить, какой тип разметки согласно проекту должен иметь каждый выделенный участок дороги. Затем полоса движения разбивается на зоны протяженностью по 50 м. Зона должна начинаться с участка, в котором видеоанализ распознал разметку, и все участки зоны должны принадлежать одному типу разметки. Процент износа D линии разметки в зоне определяется по следующей формуле:

$$D = 100 - 2 N/K,$$

где N – суммарная длина участков с распознанной разметкой в зоне ($0 \leq N \leq 50$); K – коэффициент заполнения разметки в зоне. Коэффициент заполнения зависит от типа разметки. Для одинарной сплошной линии он равен 1, для двойной сплошной – 2, для прерывистой с соотношением 3:1 – 0.75. При значениях $D > 50$ % считается, что износ линии разметки превышает допустимый предел. Если объединить пересекающиеся зоны, в которых $D > 50$ %, то получится длина участка дороги, где требуется ремонт линии разметки. Такие участки заносятся в ведомость дефектов линий разметки, представляющую собой таблицу.

№ п/п	Координаты участка, км		Номера кадров на видео		Тип разметки	Максимальный % износа
	Начало	Конец	Первый	Последний		

Данная ведомость может быть использована для видеопросмотра участков, где изношены линии разметки, при оценке необходимых ресурсов

для их ремонта, для установки соответствия расположения существующей разметки схеме дорожной разметки и правилам ее нанесения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Welcome to the KITTI Vision Benchmark Suite. URL: http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/eval_road.php (дата обращения 25.05.2017).

2. Распознавание дорожной разметки или прототип Lane Departure Warning. URL: <http://mp3car.ru/blog/carpc/9.html> (дата обращения 25.05.2017).

3. Левчук Ю. А., Новиков А. Г., Дзюба В. Г. Алгоритм нахождения линий дорожной разметки. URL: http://journals.kpi.ua/publications/text/2009_2_277_279.pdf (дата обращения 25.05.2017).

4. Mathibela B., Newman P., Posner I. Reading the Road: Road Marking Classification and Interpretation.

URL: <http://www.robots.ox.ac.uk/~mobile/Papers/road-marking-classification-paul-ingmar.pdf> (дата обращения 25.05.2017).

5. Алгоритмы детектирования разметки и дефектов дорожного покрытия / С. Судakov, А. Семашко, О. Барина, А. Конушин, В. Киншаков, А. Крылов. URL: <http://imaging.cs.msu.su/pub/Road08.pdf> (дата обращения 25.05.2017).

6. Junhwa Hur. Multi-lane Detection in Urban Driving Environments using Conditional Random Fields. URL: https://sites.google.com/site/hurjunhwa/research/ml_d_iv13 (дата обращения 25.05.2017).

V. V. Vihlyev, S. A. Kulakov, G. V. Razumovski, E. V. Tuomas

«Research and Engineering Center of Saint Petersburg Electrotechnical University» JSC

ESTIMATION OF WEAR OF ROAD MARKING

The methods of image analysis for allocation of road marking and estimation of its wear are considered. Based on the results of the analysis of markup technologies, an approach based on the use of a CRF graph is proposed with the subsequent removal of areas not related to markup and the union of areas belonging to the same markup line. Processing video of the road involves the following stages: allocation in the frame of the roadway analysis area, recognition of road marking in the selected zone, calculation of the lengths of marking sites, determination of the degree of wear of the markup, construction of a sheet of markup defects. To determine the degree of wear of the markup, a markup scheme in JSON format is used, which lists which types of markings should be applied on each section of the road. In the defective list, the coordinates of the road sections are kept, indicating the degree of wear of the markup and the number of video frames that correspond to these sections. This list can be used for video viewing of sites where the marking lines are worn out, estimations of the necessary resources for their repair, fitting of the location of the existing markup to the road marking scheme and rules for its application.

Road marking recognition, CRF graph, markup scheme, markup wear, bill of defects