

Детектирование пешеходных переходов на изображениях дороги на основе метода динамического выравнивания временных рядов*

И.А. Кунина¹, Е.И. Панфилова¹, М.А. Поволоцкий¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача детектирования пешеходных переходов для определения собственного положения автономным транспортным средством (ТС) на карте маршрута. Предлагаемый алгоритм принимает на вход изображение без дисторсий, проективно преобразованное к виду сверху так, что ось полосы движения параллельна столбцам изображения. В случае обнаружения перехода алгоритм возвращает его верхнюю и нижнюю границы на изображении. Строки изображения, предположительно принадлежащие пешеходному переходу, отбираются по признаку квазипериодического чередования контрастных краев с помощью динамического программирования. Группы найденных таким образом строк проверяются по признаку продольной ориентации краев быстрым преобразованием Хафа. Предложенный метод продемонстрировал высокую точность работы на тестовом наборе из 4477 изображений, полученных с беспилотного ТС на двух тестовых маршрутах. Приведены результаты экспериментов, демонстрирующие уменьшение средней ошибки локализации ТС вдоль маршрута в 1.78 раза при использовании предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: локализация, беспилотность, пешеходные переходы, динамическое программирование, быстрое преобразование Хафа.

DOI: 10.14357/20790279180503

Введение

Определение транспортным средством своего положения в пространстве является важным этапом при решении задачи его автономного передвижения по заданному маршруту. Обычно задачу локализации решают, используя данные, полученные с систем спутниковой навигации, а также с инерциальных и одометрических датчиков. Однако этих данных может быть недостаточно для достижения требуемой точности. В таком случае требуются альтернативные способы локализации ТС, с опорой на информацию с других сенсоров.

Одним из таких способов является детекция наблюдаемых камерами ТС ключевых элементов дорожной разметки во время его передвижения по маршруту и их сопоставление с картой маршрута [1,2]. Чаще всего в качестве таких ключевых элементов используются протяженные сплошные полосы, разграничивающие потоки движения, а также пешеходные переходы. Эти элементы, как и многие другие, можно детектировать с помощью

лидаров [3,4] или камер [5–7]. Другие способы предлагают использовать в качестве карты ключевых элементов дорожные знаки [8], облака особых точек, полученных с лазерного 3D сканера [9] и т.д.

В данной работе рассматривается задача детектирования пешеходных переходов для последующей локализации наземного беспилотного транспортного средства (БПТС) вдоль траектории движения относительно векторной карты маршрута.

Известны несколько подходов к решению задачи детекции пешеходных переходов. Условно их можно разделить на использующие методы машинного обучения и на явно задающие математическую модель распознаваемого объекта. Алгоритмы из первой группы [10,11] требуют большого набора обучающих данных для обеспечения высокой точности работы детектора, что выглядит избыточным в ситуации, когда параметры пешеходного перехода точно описываются государственным стандартом о дорожной разметке. Ко второй группе можно отнести методы, основанные на выделении и группировке границ полос пешеходного перехо-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 14-50-00150.

да с использованием, например, детекторов краев [6,12] или преобразования Хафа [13]. Сюда также относятся методы, в которых модель изображения перехода состоит из областей, а не краев. Тогда на первом этапе производится бинаризация [14,15] или сегментация объект/фон [16].

Описание модели изображения обычно включает предположение о параметрах съемки. Так, в упомянутых выше работах предполагается, что оптическая ось камеры направлена под небольшим углом к плоскости дороги, при этом ориентация полос перехода может быть известной [6,12] или произвольной [13,16]. В отличие от описанных работ, мы будем искать пешеходный переход в виде пучка параллельных линий с известной ориентацией. Предлагаемый алгоритм принимает на вход изображение дороги с фронтальной камеры, закрепленной на борту БПТС. Предполагается, что на входном изображении радиальные искажения скомпенсированы, а само изображение проективно преобразовано к виду сверху на дорогу (т.н. *bird's-eye view*) и повернуто так, что ось полосы движения параллельна столбцам изображения (рис. 1). Параметры радиальной дисторсии и проективного преобразования можно считать известными точно, поскольку внутренние параметры камеры и ее расположение в системе координат, связанной с роботом, не меняется в процессе эксплуатации. Ориентацию БПТС относительно полосы движения будем считать найденной другими модулями БПТС с некоторой погрешностью. Это может быть сделано, например, путем детектирования протяженных линий дорожной разметки [17]. При этом, в отличие от пешеходных переходов, такой тип разметки очевидно является неподходящим для определения положения БПТС вдоль траектории движения.

Алгоритм определяет наличие в кадре разметки типа «зебра» в предположении, что полосы

«зебры» параллельны оси полосы движения. Ожидается, что на входном изображении присутствует не более одного пешеходного перехода. Результат работы алгоритма задается как верхняя и нижняя границы изображения перехода в случае его детекции.

Алгоритм опирается на отбор строк изображения, предположительно принадлежащих пешеходному переходу, методом динамического выравнивания временных рядов (DTW), и проверки групп отобранных строк на соответствие модели пешеходного перехода с помощью быстрого преобразования Хафа [18].

1. Алгоритм детекции пешеходных переходов

1.1. Модель детектируемого пешеходного перехода

Будем искать пешеходный переход на изображении I в виде области R , представленной группой смежных строк входного изображения:

$$R = \{(x, y) \mid (x, y) \in \Omega, y \in [t, b]\}, \quad (1)$$

где Ω – полная область изображения I , а t и b – номера первой и последней строк в группе соответственно. Область R содержит m параллельных полос p_0, p_1, \dots, p_{m-1} :

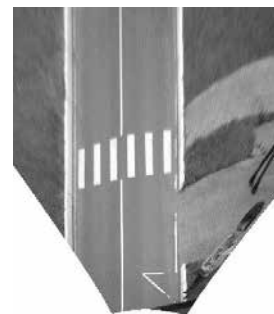
$$p_i = \{(x, y) \mid (x, y) \in R, x + (y - t) \tan \varphi \in [l_i, r_i]\}, \quad (2)$$

причем t, b, m, φ, l_i и r_i неизвестны, но на них наложены ограничения. Будем считать, что угол наклона полос мал, а сами полосы квазипериодичны:

$$\begin{cases} |r_i - l_i - p_w| \leq \Delta_w \\ |l_{i+1} - r_i - p_b| \leq \Delta_b \\ m_{\min} \leq m \\ |\varphi| \leq \varphi_{\max} \leq \pi/4 \\ h_{\min} \leq b - t + 1 \leq h_{\max} \end{cases}, \quad (3)$$



а)



б)

Рис. 1. Пример входного изображения: а) исходное изображение с компенсированным радиальным искажением; б) вид сверху, полосы перехода параллельны столбцам изображения

где p_w – ожидаемая ширина полосы в каждой строке, p_b – ожидаемый зазор между полосами в каждой строке, Δ_w и Δ_b – максимальные отклонения ширины и зазоров от ожидаемых ($\Delta_w \ll p_w$, $\Delta_b \ll p_b$), m_{\min} – минимальное число полос «зебры», φ_{\max} – максимальный угол наклона «зебры», а h_{\min} и h_{\max} – минимальная и максимальная высота перехода, измеренная количеством групп строк в области R , соответственно. Все эти параметры считаются известными.

1.2. Оценка отдельной строки изображения на принадлежность пешеходному переходу

Для того, чтобы выбрать строки изображения I , предположительно принадлежащие пешеходному переходу, независимо в каждой строке найдем

последовательность отрезков $\{[l_i, r_i]\}_{i=0}^{m_{\min}-1}$, наилучшим образом соответствующих модели (1) – (3). Для этого решим следующую оптимизационную задачу:

$$\sum_{i=0}^{m_{\min}-1} \left(D(l_i) - D(r_i) - S \left(\left[r_i - \frac{p_w}{2} \right] \right) \right) - \sum_{i=1}^{m_{\min}-1} S \left(\left[l_i - \frac{p_b}{2} \right] \right) \xrightarrow{\substack{|r_i - l_i - p_w| \leq \Delta_w \\ |l_{i+1} - r_i - p_b| \leq \Delta_b}} \max, \quad (4)$$

где D – численная производная строки изображения, а $S(x)$ оценивает среднюю вариацию на отрезке с центром x :

$$D(x) = I(x, y) - I(x-1, y)$$

$$S(x) = \frac{1}{2w+1} \sum_{x'-x=w}^{x'+x=w} |D(x')|, w = \left\lfloor \frac{\min(p_b - \Delta_b, p_w - \Delta_w)}{2} \right\rfloor - 1. \quad (5)$$

Оптимизируемый в (4) функционал увеличивается при увеличении контрастности изображения пешеходного перехода и уменьшается при наличии текстуры на полосах «зебры» или в их промежутках. Поскольку учитываются только локальные контрасты, функционал почти не чувствителен к неравномерной освещенности перехода. Обратим внимание, что для оценки текстуры полос и зазоров между ними S считается не от центров отрезков $[l_i, r_i]$ и $[r_i, l_{i+1}]$, а от центров их аппроксимаций $[r_i - p_w, r_i]$ и $[l_{i+1} - p_b, l_{i+1}]$ соответственно, в предположении, что изменение положения левой границы отрезка не более чем на малую величину Δ не повлияет значительно на значение S . Причина такой аппроксимации будет объяснена ниже.

Будем решать задачу (4) динамическим программированием. Для этого построим таблицу Ψ размера $2m_{\min} \times W$, где W – ширина изображения.

Значения в ячейках таблицы Ψ вычисляются следующим образом:

$$\Psi(x, 0) = D(x)$$

$$\Psi(x, 1) = \max_{x-p_w-\Delta_w \leq x' \leq x-p_w+\Delta_w} \Psi(x', 0) - S \left(\left[x - \frac{p_w}{2} \right] \right) - D(x) \quad 0 \leq x < W$$

$$\Psi(x, 2i) = \max_{x-p_b-\Delta_b \leq x' \leq x-p_b+\Delta_b} \Psi(x', 2i-1) - S \left(\left[x - \frac{p_b}{2} \right] \right) + D(x) \quad 0 \leq x' < W$$

$$\Psi(x, 2i+1) = \max_{x-p_w-\Delta_w \leq x' \leq x-p_w+\Delta_w} \Psi(x', 2i) - S \left(\left[x - \frac{p_w}{2} \right] \right) - D(x) \quad 1 \leq i < m_{\min}. \quad (6)$$

Заметим, что значение в одной ячейке таблицы вычисляется за $O(1)$ операций: независимость S от x' позволяет вынести S из максимизируемого функционала в схеме (6), а $\max \Psi$ и S можно вычислить за $O(1)$, применив алгоритм ван Херка – Гила – Вермана [19] и проинтегрировав изображение [20] соответственно.

Очевидно, что элемент таблицы $S_y = \Psi(r_i, 2m_{\min} - 1)$, достигающий максимума на всей строке $2m_{\min} - 1$ таблицы Ψ , является максимальным значением функционала (4). Далее будем использовать значение этого элемента как показатель уверенности в принадлежности рассматриваемой строки пешеходному переходу.

1.3. Поиск группы строк, наиболее соответствующей модели пешеходного перехода

Выберем все строки, для которых $S_y > \varepsilon_s$ (ε_s – параметр алгоритма), а смежные строки объединим в группы. Найдем группу с максимальным количеством строк. Если группа по количеству строк удовлетворяет ограничениям (3), то ее границы подаются на вход следующему этапу алгоритма, иначе алгоритм генерирует отказ.

1.4. Проверка группы строк

Поскольку оценка строк на принадлежность пешеходному переходу осуществляется независимо, возможны ложно-положительные срабатывания, например, на шахматном паттерне. Для того, чтобы отфильтровать такие случаи, необходимо проверить, что выбранная группа строк содержит ряд параллельных полос. Их ориентация, согласно модели (1) – (3) не считается известной точно, поэтому применим к выбранной группе строк метод нормализации скоса [21]. Он использует быстрое преобразование Хафа [18] и выбирает строку Хаф-образа, для которой сумма квадратов градиентов (SSG) с нормировкой на угол наклона максимальна. Любопытно, что указанный метод

опирается на наличие прямых на изображении, но не детектирует их. Этот прием используется и в других задачах нормализации, в частности, радиальной дисторсии [22]. Индекс строки Хаф-образа, для которой функционал SSG достигает максимума, задает угол наклона полос на изображении. В случае, если найденный угол удовлетворяет ограничению (3), а значение SSG больше порога, найденная группа строк считается содержащей пешеходный переход, в противном случае генерируется отказ.

1.5. Общее описание алгоритма детектирования пешеходного перехода

Таким образом, алгоритм поиска границ t , b изображения перехода с учетом модели (1) – (3) можно записать следующим образом:

1. Как описано в Разделе 1.2, для каждой строки входного изображения произвести оценку ее принадлежности пешеходному переходу, осуществив в ней такой поиск квазипериодических резких увеличений и спадов яркости, соответствующих l_i и r_i в модели (1) – (3), которые максимизируют предложенный функционал (4).
 - Вход: полутоновое изображение (вид сверху) плоскости дороги, с осью полосы движения, параллельной его столбцам.
 - Выход: $\{S_y\}_{y=0}^{H-1}$, S_y – оценка принадлежности строки y входного изображения пешеходному переходу, H – высота входного изображения.
2. Как описано в Разделе 1.3, сгруппировать смежные строки, для которых S_y превышает заданный порог, и выбрать группу с наибольшим количеством строк.
 - Вход: $\{S_y\}_{y=0}^{H-1}$.
 - Выход: $[t, b]$ или отказ.
3. Как описано в Разделе 1.4, проверить область входного изображения, ограниченную строками t, b , на наличие ряда параллельных полос, ориентация которых удовлетворяет ограничению (3).

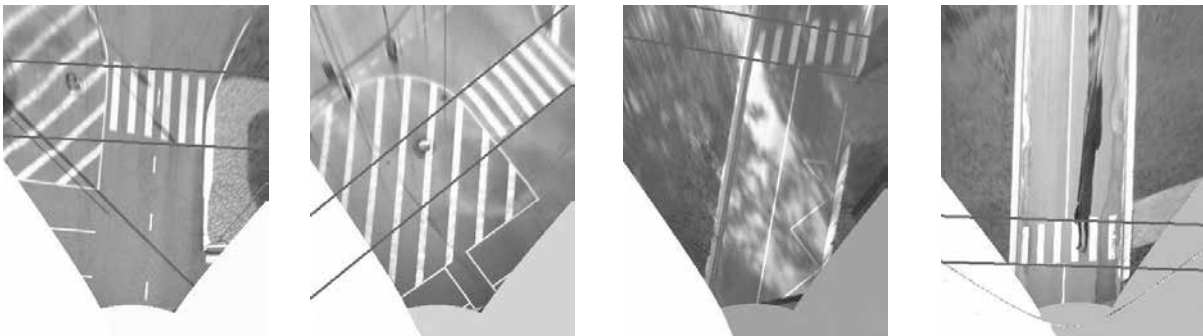


Рис. 2. Примеры результатов работы предложенного алгоритма детекции пешеходного перехода

- Вход: полутоновое изображение (вид сверху) плоскости дороги, с осью полосы движения, параллельной его столбцам, и границы предполагаемого перехода t, b .
- Выход: $[t, b]$ или отказ.

2. Экспериментальные результаты

2.1. Результаты тестирования детектора пешеходных переходов

Тест проводился на 4477 изображениях дороги, сделанных во время передвижения БПТС по двум различным маршрутам. Из них пешеходные переходы содержали 1408 изображений. На всех изображениях радиальные искажения были компенсированы, а сами изображения были проективно преобразованы к виду сверху. Для содержащих пешеходные переходы кадров были вручную отмечены положения верхних и нижних граней t_{ref} и b_{ref} полос пешеходного перехода и для всех – ось полосы движения.

Перед подачей на вход алгоритму изображения поворачивались, чтобы ориентация полосы движения стала параллельна столбцам изображения.

Для определения, является ли ответ t, b детектора истинным или ложным, вычислялось значение

$$\alpha = \begin{cases} \frac{b_{int} - t_{int}}{b_{un} - t_{un}}, & \text{если } [t_{ref}, b_{ref}] \neq \emptyset \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} [t_{int}, b_{int}] &= [t, b] \cap [t_{ref}, b_{ref}] \\ [t_{un}, b_{un}] &= [t, b] \cup [t_{ref}, b_{ref}] \end{aligned}$$

Ответ детектора считался истинно положительным при $\alpha > 0.75$ и ложно положительным в обратном случае.

В случае генерации отказа детектором ответ классифицировался как истинно отрицательный или ложно отрицательный в зависимости от наличия ручной разметки граней на изображении или их отсутствия.

Полнота детектирования на собранном тестовом наборе составила 98%, точность – 94%. На рис. 2 представлены примеры детекции пешеходных переходов, найденные границы которых были дополнительно повернуты согласно исходному положению заданной оси движения.

2.2. Анализ влияния детекции пешеходных переходов на качество локализации БПТС

Во время передвижения по заданному маршруту БПТС хранит внутри себя карту соответствующего маршрута, представленную в виде двумерных элементов дорожной разметки. Для каждой гипотезы о положении БПТС в конкретный момент времени координаты границ найденной на изображении группы строк, содержащей пешеходный переход, пересчитываются в координаты карты, используя информацию о предполагаемом положении робота. Затем каждая гипотеза проверяется на истинность: положение на карте найденного перехода в соответствии с этой гипотезой сравнивается с положением перехода карты. Гипотезы, не прошедшие проверку, отсеиваются [23,24].

На рис. 3 приведен пример локализации БПТС при передвижении по маршруту. Рис. 3а демонстрирует все гипотезы о положении БПТС

в конкретный момент времени, рис. 3б – как найденный на изображении пешеходный переход был переведен в координаты карты в соответствии с этими гипотезами. На рис. 3в видно, что после того, как не прошедшие проверку гипотезы отсеялись после несовпадения положений наблюдаемого и истинного пешеходных переходов, разброс возможных положений БПТС значительно уменьшился.

На рис. 4 продемонстрировано распределение во времени ошибок локализации при передвижении БПТС по заданному маршруту. График на рис. 4а демонстрирует распределение продольной (вдоль ориентации дорожной разметки) и поперечной (перпендикулярно ориентации дорожной разметки) ошибок локализации при движении БПТС по маршруту без использования локализации по пешеходным переходам, график на рис. 4б – соответствующее распределение ошибок с использованием дополнительной локализации по пешеходным переходам. На рис. 4б видно, как в промежутке между 200с и 250с БПТС скорректировал свое положение по найденному пешеходному переходу, в то время как этому же промежутку на рис. 4а соответствует большая продольная ошибка. Средняя продольная и поперечная ошибки составили 0.8 и 0.2м соответственно без локализации по пешеходным переходам, 0.45 и 0.17м – с локализацией, т.е. демонстрируется уменьшение продольной ошибки локализации ТС в 1.78 раза. При этом качество определения поперечной координаты существенно не изменилось.

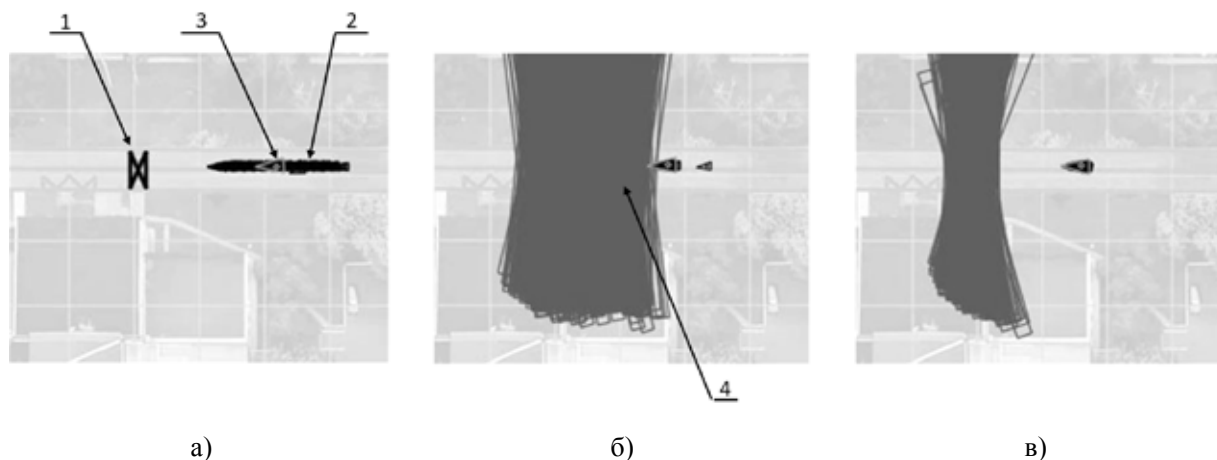
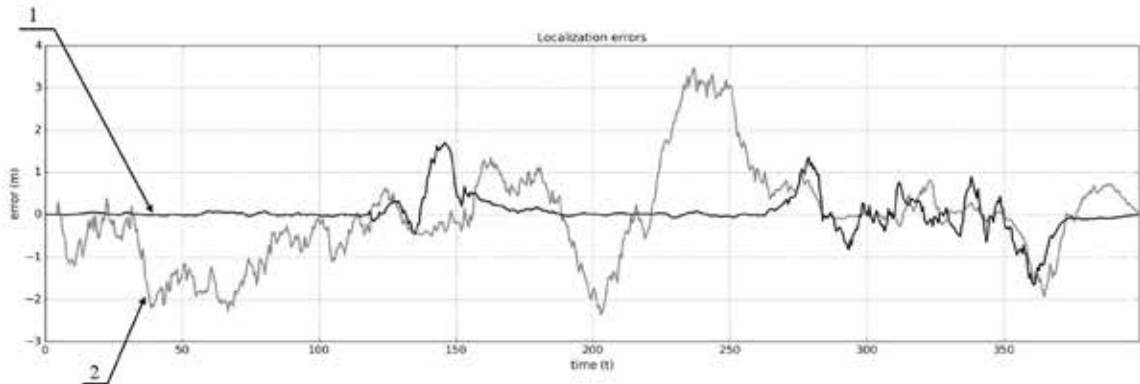
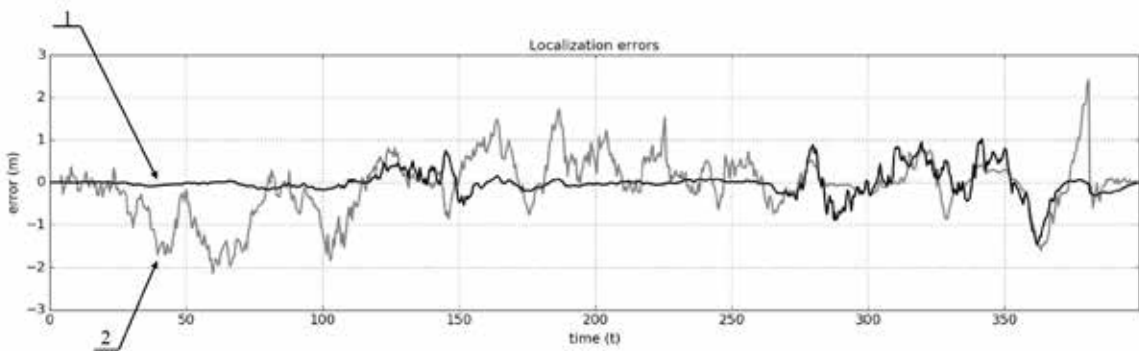


Рис. 3. Пример локализации БПТС при передвижении по маршруту:

а) генерация гипотез (2 – черный кластер) о положении БПТС в конкретный момент времени и оценка положения (3) по всем гипотезам; б) вычисление положения найденного на изображении пешеходного перехода в системе координат карты для каждой гипотезы (4 – серые прямоугольники); в) отсев ложных гипотез после несовпадения положений наблюдаемого и истинного (1) пешеходных переходов



а)



б)

Рис. 4. Влияние детекции пешеходных переходов на точность локализации БПТС: а) без использования локализации по пешеходным переходам, б) с использованием; 1 – распределение поперечной ошибки локализации во время движения БПТС по маршруту, 2 – продольной

Заключение

В данной работе был предложен алгоритм детектирования пешеходных переходов на изображении вида сверху для собственной локализации БПТС относительно векторной карты маршрута. Алгоритм комбинирует независимую оценку каждой строки на ее принадлежность к пешеходному переходу методом динамической трансформации временной шкалы (DTW) и проверку выбранной группы строк на наличие в ней ряда параллельных полос методом нормализации скоса на основе быстрого преобразования Хафа. Полнога детектирования пешеходных переходов на собранном наборе данных составила 98%, точность – 94%. Проведен эксперимент, демонстрирующий, что подключение детекции пешеходных переходов для собственной локализации БПТС дает уменьшение продольной ошибки определения положения в 1.78 раза.

В дальнейшем предполагается модифицировать алгоритм для детекции также боковых границ пешеходного перехода и детекции скошенных пешеходных переходов.

Литература

1. Ziegler J. et al. Video based localization for bertha //Intelligent Vehicles Symposium Proceedings. 2014. С. 1231-1238.
2. Du X., Tan K.K. Vision-based approach towards lane line detection and vehicle localization // Machine Vision and Applications. 2016. Т. 27. №. 2. С. 175-191.
3. Huang A.S. et al. Finding multiple lanes in urban road networks with vision and lidar //Autonomous Robots. 2009. Т. 26. №. 2-3. С. 103-122.
4. Hata A., Wolf D. Road marking detection using LIDAR reflective intensity data and its application to vehicle localization //Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2014 IEEE 17th International Conference on. 2014. С. 584-589.
5. Deng J., Han Y. A real-time system of lane detection and tracking based on optimized RANSAC B-spline fitting //Proceedings of the 2013 Research in Adaptive and Convergent Systems. 2013. С. 157-164
6. Khaliluzzaman M., Deb K. Zebra-crossing detection based on geometric feature and vertical vanishing

- point //Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2016 3rd International Conference on. 2016. С. 1-6.
7. *Krokhina D. et al.* Fast roadway detection using car cabin video camera //Eighth International Conference on Machine Vision (ICMV 2015). – International Society for Optics and Photonics, 2015. – Т. 9875. – С. 98751F.
 8. *Sadekov R.N. et al.* Road sign detection and recognition in panoramic images to generate navigational maps //Integrated Navigation Systems (ICINS), 2017 24th Saint Petersburg International Conference on. – IEEE, 2017. – С. 1-5.
 9. *Sheehan M., Harrison A., Newman P.* Continuous vehicle localisation using sparse 3D sensing, kernelised Rényi distance and fast Gauss transforms //Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on. – IEEE, 2013. – С. 398-405.
 10. *Lausser L., Schwenker F., Palm G.* Detecting zebra crossings utilizing AdaBoost // European Symposium on Artificial Neural networks, Advances in Computational Intelligence and Learning. 2008. С. 535-540.
 11. *Radványi M., Varga B., Karacs K.* Advanced crosswalk detection for the bionic eyeglass //Cellular Nanoscale Networks and Their Applications (CNNA), 2010 12th International Workshop on. 2010. С. 1-5.
 12. *Suzuki S. et al.* Sensor fusion-based pedestrian collision warning system with crosswalk detection //Intelligent Vehicles Symposium (IV). 2010. С. 355-360.
 13. *Se S.* Zebra-crossing detection for the partially sighted //Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on. 2000. –С. 2211.
 14. *Choi J., Ahn B.T., Kweon I.S.* Crosswalk and traffic light detection via integral framework //Frontiers of Computer Vision,(FCV), 2013 19th Korea-Japan Joint Workshop on. 2013. С. 309-312.
 15. *Asami T., Ohnishi K.* Crosswalk location, direction and pedestrian signal state extraction system for assisting the expedition of person with impaired vision. Mecatronics (MECATRONICS), 2014 10th France-Japan/8th Europe-Asia Congress on. 2014. С. 285-290.
 16. *Coughlan J., Shen H.* A fast algorithm for finding crosswalks using figure-ground segmentation //2nd Workshop on Applications of Computer Vision, in conjunction with ECCV. 2006. Т. 5.
 17. *Кунина И.А., Панфилова Е.И.* Детектирование линий разметки в задаче распознавания дорожной разметки. Труды 60-й Всероссийской научной конференции МФТИ. С. 271-273. МИПТ, 2017.
 18. *Nikolaev D. et al.* Hough transform: underestimated tool in the computer vision field //Proceedings of the 22th European Conference on Modelling and Simulation. 2008. С. 238-246.
 19. *Van Herk M.* A fast algorithm for local minimum and maximum filters on rectangular and octagonal kernels //Pattern Recognition Letters. 1992. Т. 13. №. 7. С. 517-521.
 20. *Viola P., Jones M.J.* Robust real-time face detection //International journal of computer vision. 2004. Т. 57. №. 2. С. 137-154.
 21. *Bezmaternykh P.V., Nikolaev D.P., Arlazarov V.L.* 2018. Textual blocks rectification method based on fast Hough transform analysis in identity documents recognition. Tenth International Conference on Machine Vision (ICMV 2017). – International Society for Optics and Photonics. Т. 10696. С. 1069606.
 22. *Кунина И.А., Гладиллин С.А., Николаев Д.П.* Слепая компенсация радиальной дисторсии на одиночном изображении с использованием быстрого преобразования Хафа //Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. №. 3. С. 395-403.
 23. *Shipitko O., Grigoryev A.* Ground vehicle localization with particle filter based on simulated road marking image// ECMS 2018 Proceedings Edited by: Lars Nolle, Alexandra Burger, Christoph Tholen, Jens Werner, Jens Wellhausen European Council for Modeling and Simulation. 2018. doi: 10.7148/2018-0341
 24. *Visillect.* LiNE — Визуальная навигация. 2018. URL: <http://visillect.com/ru/line>

Кунина Ирина Андреевна. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г.Москва, Россия, младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 10. Область научных интересов: обработка изображений, машинное зрение, калибровка зрительных систем. E-mail: kunina@iitp.ru

Панфилова Екатерина Игоревна. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г.Москва, Россия, стажер-исследователь. Количество печатных работ: 1. Область научных интересов: обработка изображений в системе технического зрения робота. E-mail: mipt.epanfilova@gmail.com

Поволоцкий Михаил Александрович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича» Российской академии наук (ИППИ РАН), г.Москва, Россия, младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 5. Область научных интересов: обработка изображений, дискретная оптимизация. E-mail: mikhail.povolotskiy@iitp.ru

Zebra-crossing detection on road images using dynamic time warping

I.A. Kunina¹, E. I. Panfilova¹, M.A. Povolotskiy¹

¹ Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow, Russia

Abstract. This work considers zebra crossing detection problem for autonomous ground vehicle self-localization. The proposed algorithm accepts undistorted bird's-eye view image as an input. The input image is transformed in the way that road lanes are parallel to the image columns. In case of successful crossing detection, the algorithm outputs the upper and the lower crossing borders. Image rows are classified as belonging to pedestrian crossing based on the quasi-periodical alternation of contrast edges using the dynamic programming approach. The long edge orientation of row group is checked with the use of Fast Hough transform. The proposed method has been validated on the dataset of 4477 images collected from the real vehicle on two test routes. The presented experimental results demonstrate a decrease in the average localization error by 1.78 times.

Keywords: *localization, self-driving, zebra crossings, dynamic programming, fast Hough transform.*

DOI: 10.14357/20790279180503

References

1. Ziegler J. et al. 2014. Video based localization for bertha. Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 2014 IEEE. 1231-1238.
2. Du, X., & Tan, K.K. 2016. Vision-based approach towards lane line detection and vehicle localization. Machine Vision and Applications, 27(2):175-191.
3. Huang, A.S., Moore, D., Antone, M., Olson, E., & Teller, S. 2009. Finding multiple lanes in urban road networks with vision and lidar. Autonomous Robots, 26(2-3): 103-122.
4. Hata, A., & Wolf, D. 2014. Road marking detection using LIDAR reflective intensity data and its application to vehicle localization. Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2014 IEEE 17th International Conference on. 584-589.
5. Deng, J., & Han, Y. 2013, October. A real-time system of lane detection and tracking based on optimized RANSAC B-spline fitting. Proceedings of the 2013 Research in Adaptive and Convergent Systems. 157-164.
6. Khaliluzzaman, M., & Deb, K. 2016. Zebra-crossing detection based on geometric feature and vertical vanishing point. In Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2016 3rd International Conference on. 1-6.
7. Krokshina, D., Blinov, V., Gladilin, S., Tarhanov, I., & Postnikov, V. Fast roadway detection using car cabin video camera. Eighth International Conference on Machine Vision (ICMV 2015). International Society for Optics and Photonics, 2015. 9875: 98751F.
8. Sadekov R.N. et al. 2017. Road sign detection and recognition in panoramic images to generate navigational maps. Integrated Navigation Systems (ICINS), 2017 24th Saint Petersburg International Conference on. 1-5.
9. Sheehan M., Harrison A., Newman P. 2013. Continuous vehicle localisation using sparse 3D sensing, kernelised Rényi distance and fast Gauss transforms. Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on. 398-405.
10. Lausser, L., Schwenker, F., & Palm, G. 2008. Detecting zebra crossings utilizing AdaBoost. 2nd Workshop on Applications of Computer Vision, in conjunction with ECCV. 535-540.

11. *Radványi, M., Varga, B., & Karacs, K.* 2010. Advanced crosswalk detection for the bionic eyeglass. In Cellular Nanoscale Networks and Their Applications (CNNA), 2010 12th International Workshop on.1-5.
12. *Suzuki, S., Raksincharoensak, P., Shimizu, I., Nagai, M., & Adomat, R.* 2010. Sensor fusion-based pedestrian collision warning system with crosswalk detection. Intelligent Vehicles Symposium (IV). 355-360).
13. *Se, S.* 2000. Zebra-crossing detection for the partially sighted. Computer Vision and Pattern Recognition. Proceedings, IEEE Conference on. p. 2211
14. *Choi, J., Ahn, B. T., & Kweon, I. S.* 2013. Crosswalk and traffic light detection via integral framework. In Frontiers of Computer Vision,(FCV), 2013 19th Korea-Japan Joint Workshop on. 309-312.
15. *Asami, T., & Ohnishi, K.* 2014. Crosswalk location, direction and pedestrian signal state extraction system for assisting the expedition of person with impaired vision. Mecatronics (MECATRONICS), 2014 10th France-Japan/8th Europe-Asia Congress on. 285-290.
16. *Coughlan, J., & Shen, H.* 2006. A fast algorithm for finding crosswalks using figure-ground segmentation. In 2nd Workshop on Applications of Computer Vision, in conjunction with ECCV (Vol. 5).
17. *I.A. Kunina, E.I. Panfilova.* 2017. Детектирование линий разметки в задаче распознавания дорожных разметки [Lane detection for road markings detection] Trudy 60-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii MFTI [Proceedings of the 60th MIPT Scientific Conference]. 271–273.
18. *Nikolaev, D., Karpenko, S., Nikolaev, I., & Nikolayev, P.* 2008. Hough transform: underestimated tool in the computer vision field. Proceedings of the 22th European Conference on Modelling and Simulation. P. 238-246.
19. *Van Herk, M.* 1992. A fast algorithm for local minimum and maximum filters on rectangular and octagonal kernels. Pattern Recognition Letters. 13(7):517-521.
20. *Viola P., Jones M.J.* 2004. Robust real-time face detection. International journal of computer vision. 57(2):137-154.
21. *Bezmaternykh P.V., Nikolaev D.P., Arlazarov V.L.* 2018. Textual blocks rectification method based on fast Hough transform analysis in identity documents recognition. Tenth International Conference on Machine Vision (ICMV 2017). International Society for Optics and Photonics. 10696:1069606.
22. *Kunina I.A., Gladilin S.A., Nikolaev D.P.* 2016. Blind radial distortion compensation in a single image using fast Hough transform. Computer Optics. 40(3):395-403.
23. *Shipitko O., Grigoryev.* 2018. A. Ground vehicle localization with particle filter based on simulated road marking image. ECMS 2018 Proceedings Edited by: Lars Nolle, Alexandra Burger, Christoph Tholen, Jens Werner, Jens Wellhausen European Council for Modeling and Simulation. doi: 10.7148/2018-0341
24. *Visillect.* LiNE — Visual Navigation. Available at: <http://visillect.com/en/line/> (accessed July 6, 2018).

I.A. Kunina, junior researcher, The Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute), Bolshoy Karetny per. 19, build.1, Moscow 127051 Russia.

E-mail:kunina@iitp.ru

E.I. Panfilova, intern researcher, The Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute), Bolshoy Karetny per. 19, build.1, Moscow 127051 Russia.

E-mail:mipt.epanfilova@gmail.com

M.A. Povolotskiy, junior researcher, The Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute), Bolshoy Karetny per. 19, build.1, Moscow 127051 Russia.

E-mail:mikhail.povolotskiy@iitp.ru