

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА, ОБНАРУЖЕННОГО СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

yuddim@yandex.ru

**Юдин Д.А., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Фролов С.В., магистрант**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье рассмотрена задача прогнозирования траектории перемещения объекта, найденного системой технического зрения движущейся роботизированной платформы. При этом используется упрощенная модель движения наблюдаемого объекта на основе его линейной и угловой скоростей. В ходе тестирования алгоритм показал приемлемые результаты с точки зрения среднеквадратичного отклонения спрогнозированного положения от его истинного значения. Показана перспективность применения алгоритма в составе систем помощи водителю и систем управления роботизированными платформами.

Ключевые слова: прогнозирование, траектория движения, распознавание, система технического зрения, роботизированная платформа.

1. Постановка задачи

В системах помощи водителю, системах управления автоматизированными транспортными средствами и роботизированными платформами необходимо обеспечить слежение за найденными в области видимости объектами. Это позволяет предотвратить столкновение и скорректировать направление и скорость движения платформы-наблюдателя, на которой установлена система технического зрения. При этом наблюдаемым объектом может быть человек (пешеход), другое транспортное средство или платформа и т.п. Эти объекты могут быть как неподвижны, так и двигаться с произвольной скоростью, в то время как наблюдатель (роботизированная платформа) движется с постоянной скоростью.

Положение найденных объектов – это ортопрямоугольные области на изображении (кадре), которые задаются четырьмя числами: координатами центра x и y области и ее шириной w и высотой h .

Вычисление положения объектов осуществляется на основе информации, полученной от реализации методов и алгоритмов их обнаружения (детектирования) на последовательности изображений, например, рассмотренных в работах [1-6].

Прогнозирование (предсказание) положения наблюдаемых объектов предполагает возврат комплексной информации о планируемом $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{w}_i, \hat{h}_i)$ положении объектов в t_i -й момент времени на основании интегрирования необработанных данных от методов детектирования, полученных в предыдущие моменты времени.

Входными данными являются наборы изображений или видео последовательностей с одной камеры формата FullHD с разрешением 1920x1080 (или выше), на которых с помощью алгоритмов детектирования сложных объектов обнаружены ортопрямоугольные области, являющиеся регионами расположения этих объектов, активных по отношению к движущемуся наблюдателю.

Для описания геометрии кадра будем использовать стандартную схему, когда кадр описывается своими размерами, оси системы координат направлены слева направо и сверху вниз, начало координат совпадает с верхним левым углом кадра (см. рис.1).

2. Описание предлагаемого алгоритма решения задачи

Предлагаемый алгоритм прогнозирования траектории перемещения объекта, найденного системой технического зрения движущейся роботизированной платформы, содержит следующие основные этапы:

- 1) Считывание изображения из последовательности изображений или захват нового изображения с монокулярной камеры,
- 2) Обнаружение объекта – человека или другого транспортного средства одним из методов, обеспечивающим приемлемую точность и полноту распознавания, например, методом Виолы-Джонса [3, 4], методом, основанным на гистограммах ориентированных градиентов [5].



Рисунок 1 – Схема описания геометрии кадра

3) Нахождение оценок нового положения и размеров объекта на основе эффективного метода. Существуют большое количество как классических, так и специальных методов прогнозирования статистических данных [7], однако для решения поставленной задачи требуется их доработка и модификация.

4) Использование найденных оценок в качестве прогнозируемого положения объекта на следующем изображении и регистрация уточненного значения координат и размеров объекта на текущем кадре. Если на нескольких следующих изображениях объект пропадает, а потом появляется вновь, алгоритм все равно сохраняет работоспособность, т.к. для этих изображений в качестве измеренных координат и размеров используется координаты и размеры объекта до исчезновения.

Если объект не обнаруживается более чем на n следующих изображениях, это свидетельствует о потере объекта из области видимости и прекращении работы метода.

Для прогнозирования траектории распознанного на изображении объекта (транспортного средства или пешехода) можно использовать алгоритм, основанный на оценке линейной и угловой скоростей объекта. Упрощенная схема движения наблюдаемого объекта показана на рис. 2.

Здесь используются следующие обозначения:

(x_i, y_i) – координаты центра объекта, найденного на i изображении, v_i – линейная скорость объекта в точке i , ω_i – угловая скорость объекта в точке i , h_i и w_i – размер (ширина и высота) объекта.

Расстояние между центрами объекта на текущем i -м и предыдущем $(i-1)$ -м кадрах определяется на основе Евклидова расстояния на основе формулы

$$L_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}. \quad (1)$$

Угол направления движения объекта на i -м кадре вычисляется как

$$\varphi_i = \arccos\left(\frac{x_i - x_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}\right) \cdot \text{sign}(y_i - y_{i-1}). \quad (2)$$

Для прогнозирования положения объекта предлагается модель, упрощенная схема которой показана на рис. 3. В ней в качестве входных данных используются положения объекта, найденные на основе алгоритма детектирования, на текущем (x_i, y_i, w_i, h_i) и предыдущих трех кадрах $(x_{i-1}, y_{i-1}, w_{i-1}, h_{i-1}), (x_{i-2}, y_{i-2}, w_{i-2}, h_{i-2}), (x_{i-3}, y_{i-3}, w_{i-3}, h_{i-3})$, образующие входной вектор $V_i = [x_i, y_i, w_i, h_i, x_{i-1}, y_{i-1}, w_{i-1}, h_{i-1}, x_{i-2}, y_{i-2}, w_{i-2}, h_{i-2}, x_{i-3}, y_{i-3}, w_{i-3}, h_{i-3}]^T$.

На выходе модели формируется планируемое $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{w}_i, \hat{h}_i)$ положение активных участников дорожного движения в t_i -й момент, образующие выходной вектор $O_i = [\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{w}_i, \hat{h}_i]^T$.

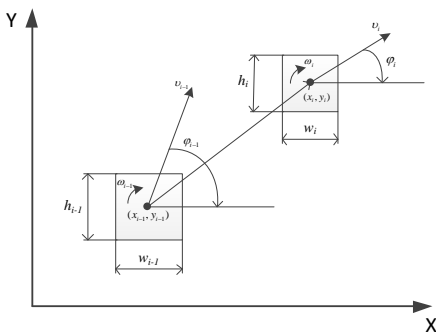


Рисунок 2 – Упрощённая схема движения наблюдаемого объекта с учетом его линейной и угловой скоростей



Рисунок 3 – Схема в виде чёрного ящика математической модели, используемой в алгоритме прогнозирования положения найденных объектов

Таким образом, математическая модель представляет собой функциональную связь, выраженную формулой

$$O_i = f(V_i).$$

Оценка координат объекта в этой функциональной связи вычисляется на основе уравнений:

$$\begin{aligned} \hat{x}_i &= x_{i-1} + L_{i-1} \cdot \sin(2 \cdot \varphi_{i-1} - \text{sign}(x_{i-1} - x_{i-2}) \cdot \varphi_{i-2}), \\ \hat{y}_i &= y_{i-1} + L_{i-1} \cdot \sin(2 \cdot \varphi_{i-1} - \text{sign}(y_{i-1} - y_{i-2}) \cdot \varphi_{i-2}), \end{aligned}$$

где (\hat{x}_i, \hat{y}_i) – оценка (результат прогнозирования) координат объекта на i -м шаге (изображении), вычисленная на трёх предыдущих

точках $(i-1)$, $(i-2)$ и $(i-3)$, L_{i-1} – Евклидово расстояние между точками $(i-1)$ и $(i-2)$, вычисляемое по формуле (1), φ_{i-1} и φ_{i-2} – углы направления движения объекта соответственно на $(i-1)$ -м и $(i-2)$ кадрах, вычисляемые по формуле (2). При выводе уравнений использовано допущение, что угловая скорость объекта на $(i-1)$ -м и $(i-2)$ -м кадре одинаковая, то есть $\omega_{i-1} = \omega_{i-2}$.

Оценка (прогнозирование) размера объекта (\hat{w}_i, \hat{h}_i) осуществляется на основе его линейной экстраполяции:

$$\hat{w}_i = 2 \cdot w_{i-1} - w_{i-2}, \quad \hat{h}_i = 2 \cdot h_{i-1} - h_{i-2}.$$

Планируемое положение объекта позволяет оценить его координаты и размеры на следующем кадре на основе истории его перемещений на предыдущих кадрах, а также повысить качество детектирования объектов, т.к. позволяет учесть кадры, на которых алгоритм обнаружения пропустил объект.

Модель имеет ограничения на случай, когда на новом кадре направление движения объекта резко меняется (в течение одного-трех кадров), что наблюдается редко в случае высокой скорости обработки кадров, например, свыше 20 кадров в секунду.

Предлагаемый алгоритм прогнозирования траектории объектов на основе их линейных и угловых скоростей был реализован в среде Matlab. Произведено тестирование этой реализации для различных случаев поведения найденного объекта, ширина и высота которого на изображении принималось одинаковой, то есть исследовались изменения положения квадратных областей.

Проиллюстрируем работу предлагаемого алгоритма для одного из случаев – обгон слева роботизированной платформы активным объектом, который показан на рис. 4.



Рисунок 4 – Обгон слева роботизированной платформы активным объектом

Результаты прогнозирования координат центра области, в которой детектирован объект, показаны на рис. 5. Сплошной линией показаны координаты или размеры областей, полученных с помощью алгоритмов детектирования на последовательности изображений объектов. Штриховой линией – прогнозируемые (планируемые) координаты или

размеры, полученные с помощью метода на основе линейной и угловой скорости наблюдаемого объекта.

Результат прогнозирования размеров области, в которой детектирован объект, показан на рис. 6.

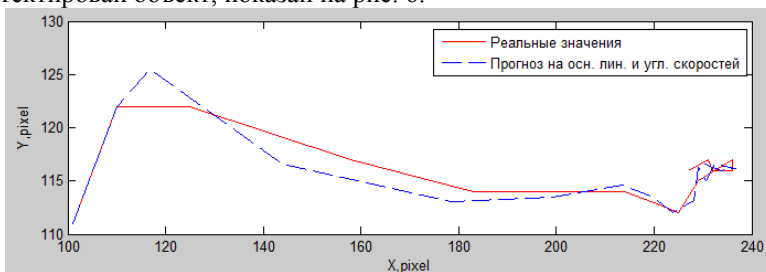


Рисунок 5 – Результат прогнозирования координат (x, y) центра области, в которой детектирован объект

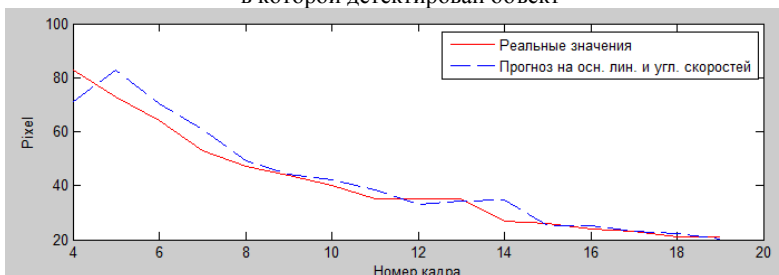


Рисунок 6 – Результат прогнозирования размеров (w, h) области, в которой детектирован объект

Визуально алгоритм показывает адекватные результаты работы.

В качестве меры оценки работоспособности алгоритма приняты:

- среднеквадратическое отклонение прогнозируемого значения координат центра (x,y) области с объектом от координат, полученных, в результате распознавания изображений (σ_1 , пикс) и
- среднеквадратическое отклонение прогнозируемого значения размера (w,h) области с объектом от размера, полученного в результате распознавания изображений (σ_2 , пикс).

Результаты вычисления мер σ_1 и σ_2 для предлагаемого алгоритма составляют соответственно 9.62 пикс и 5.37 пикс (в среднем для других случаев поведения наблюдаемых объектов СКО составило около 10 пикс и 5 пикс соответственно), что является приемлемыми величинами и подтверждают эффективность разработанного алгоритма.

3. Выводы и перспективы

В ходе выполнения данной работы предложен алгоритм прогнозирования траектории перемещения объекта, найденного системой технического зрения движущейся роботизированной платформы, основанный на линейной и угловой скорости этого объекта.

В результате тестирования было выявлен приемлемый уровень СКО алгоритма, что свидетельствует о его перспективности для применения в составе информационного обеспечения системы помощи водителю или системы навигации и управления роботизированным транспортным средством [8, 9].

В дальнейшем планируется сравнить предложенный алгоритм с методом на основе расширенного фильтра Калмана [10], который широко используется в задачах навигации и управления мобильными роботами.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08016 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Юдин Д.А., Кныш А.С. Разработка программного стенда для тестирования и отладки алгоритма распознавания объектов на изображениях [Электронный ресурс] // Международная конференция «Актуальные проблемы робототехники и автоматизики». Белгород, 2015.
2. Юдин Д.А., Фролов С.В., Капустина Е.О. Повышение точности алгоритмов обнаружения объектов на изображении на основе определения линии горизонта [Электронный ресурс] // Международная конференция «Актуальные проблемы робототехники и автоматизики». Белгород, 2015.
3. Viola P., Jones M.J., and Snow D. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance // Proceedings of the 9 th International Conference on Computer Vision (ICCV'03). 2003. V. 1. P. 734–741.
4. Viola P., Jones M.J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'01). 2001. V. 1. P. 1-511–1-518.
5. Dalal N., Triggs B., and Europe D. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // Comput. Vis. Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Comput. Soc. Conf. 2005. vol. 1. P. 886 – 893.
6. Лесунов М.Е., Фролов С.В., Юдин Д.А. Распределенная система распознавания автомобильных номеров на изображениях // Сб. трудов междунар. научно-практической конференции «Научноекие технологии и инновации» - Белгород: Изд-во БГТУ. 2014. С. 234-239.

7. Степовой А.А., Магергут В.З. Сглаживание и прогнозирование входных данных для советующей системы управления вращающейся цементной печью // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 222-226.
8. Юдин Д.А., Проценко В.В., Постольский Г.Г., Кижук А.С., Магергут В.З. Система технического зрения для автоматического ориентирования и позиционирования мобильного робота // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. №1(2). С.70 – 75.
9. Yudin D.A., Postolsky G.G., Kizhuk A.S., Magergut V.Z. Mobile Robot Navigation Based on Artificial Landmarks with Machine Vision System // World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (11). P. 1467-1472. (DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.11.7010)
10. Синицын И. Н. Фильтры Калмана и Пугачёва. М.: Университетская книга, Логос. 2006. 640 с.