

Использование алгоритмов обработки изображения для решения задачи навигации беспилотных аппаратов

К.В. Святков
Ульяновский Государственный
Технический Университет
Ульяновск, Россия
k.svyatov@gmail.com

В.Е. Дементьев
Ульяновский Государственный
Технический Университет
Ульяновск, Россия
dve@ulntc.ru

М.А. Гапонова
Ульяновский Государственный
Технический Университет
Ульяновск, Россия
barannikova-mari@mail.ru

Аннотация—Работа посвящена разработке и исследованию алгоритмов навигации беспилотных транспортных средств. Основой таких алгоритмов является комплексирование результатов обработки видеоизображений, получаемых с камер высокого разрешения, а также пространственного дальномера. В работе обосновывается состоятельность решения и приводятся характеристики его эффективности.

Ключевые слова— автономное управление, беспилотные аппараты, семантическая сегментация, нейронные сети, фильтрация данных.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время беспилотные системы являются одним из наиболее перспективных трендов развития целого спектра научных и технических отраслей, связанных с искусственным интеллектом [1-4]. Важным требованием, возникающим при проектировании беспилотного транспорта, является возможность действовать в условиях быстро изменяющейся обстановки. Центральной частью современной системы управления беспилотным транспортным средством является навигационная система, предоставляющая информацию о местоположении объекта в произвольный момент времени.

В литературе описано большое количество различных подходов, применяемых при позиционировании [2-4 и др.]. Большая часть этих подходов связана с применением глобальных спутниковых навигационных систем (СНС) GPS/ГЛОНАСС/Beidou [3,4]. На открытом пространстве и при отсутствии помех такие системы позволяют определять собственное местоположение с точностью до нескольких метров. В то же время опыт практического применения СНС, например, в городской застройке показывает существенно большие ошибки позиционирования, связанные с погодными условиями, наличием препятствий, особенностями работы приемного комплекса и т.п. Немаловажным недостатком для позиционирования высокоподвижных беспилотных транспортных средств является относительно низкая периодичность получения координат с помощью СНС (до 1 секунды). Определенным выходом здесь является использование дополнительной информации с бортовых инерциальных навигационных систем (ИНС) в рамках комплексных систем позиционирования. Однако такое комплексирование не дает дополнительной информации об окружающей беспилотный автомобиль обстановке.

В настоящей работе для определения собственных координат беспилотного автомобиля и окружающих его объектов предлагается применять нелинейную фильтрацию данных, получаемых с синхронизированных бортовых камер высокого разрешения и пространственных дальномеров.

2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Чтобы определить собственные координаты беспилотного автомобиля воспользуемся следующим алгоритмом. Вначале на изображениях, получаемых с бортовых камер высокого разрешения, выполним распознавание объектов, которые могут быть использованы как потенциальные ориентиры. Такими объектами в частности являются здания, отдельно стоящие деревья, характерные детали рельефа местности и т. д. Опыт нашего коллектива показывает, что приемлемые с точки зрения производительности и качества распознавания результаты обеспечивают современные искусственные нейронные сети. В частности в настоящей работе использовалась модификация сети Yolo5 [5], ключевой особенностью которой является возможность использования для каждой отдельной операции распознавания не только отдельного изображения с бортовой камеры, но и массива данных пространственного дальномера. При этом использование последовательных сверток позволяет относительно просто преодолеть проблему существенного различия в разрешении данных бортовой камеры и пространственного дальномера. Описанная модификация искусственной нейронной сети была обучена типовым образом на реальных парах изображений и данных пространственного дальномера, полученных с борта беспилотного автомобиля.

Вторым этапом обработки является уменьшение пространственных размеров распознанного материала в соответствии с разрешением пространственного дальномера и определение геометрических центров выделенных объектов. Наличие информации о таких центрах вкупе с данными данных пространственного дальномера позволяют определить текущие расстояния до соответствующих объектов. Тогда с помощью простых геометрических соотношений, основанных на использовании информации об особенностях регистрирующих устройств и размещении центров объектов на кадре исходного изображения, возможно

определять координаты опорных точек относительно текущего положения беспилотного автомобиля.

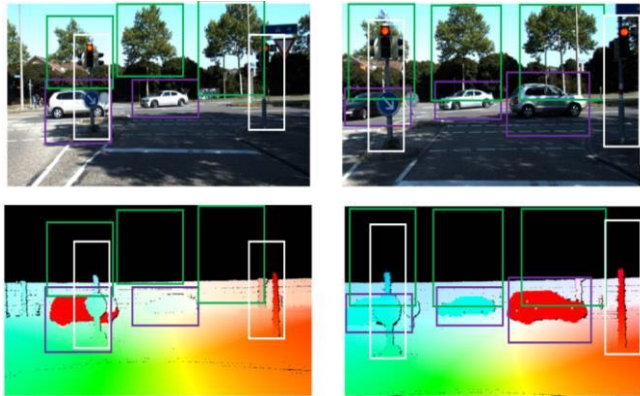


Рис. 1. Результаты совместной обработки двух временных кадров, каждый из которых представлен изображением с бортовой камеры и данными с пространственного дальномера

На третьем этапе, предполагая возможность перемещения автомобиля с переменным ускорением, формируют математическое описание движения этого автомобиля с помощью дважды стохастической модели [7]. Эта модель связывает компоненты оцениваемого навигационного вектора

$\bar{x}_i = (x_i \ y_i \ v_{xi} \ v_{yi} \ a_{xi} \ a_{yi} \ x_{oi}^1 \ y_{oi}^1 \ \dots \ x_{oi}^{M_i} \ y_{oi}^{M_i})^T$,
следующим образом:

$$\begin{aligned} x_i &= 2x_{i-1} - x_{i-2} + a_{xi}(x_{i-1} - x_{i-2}), \\ y_i &= 2y_{i-1} - y_{i-2} + a_{yi}(y_{i-1} - y_{i-2}) \end{aligned}$$

$$v_{xi} = v_{x(i-1)} + a_{x(i-1)}, \quad v_{yi} = v_{y(i-1)} + a_{y(i-1)},$$

$$a_{xi} = r_{ax}a_{x(i-1)} + \xi_{xi}, \quad a_{yi} = r_{ay}a_{y(i-1)} + \xi_{yi},$$

$$x_{oi}^k = x_{o(i-1)}^k, \quad y_{oi}^k = y_{o(i-1)}^k, \quad k = 1, \dots, M_i, \quad i = 2, \dots, n_2,$$

где $(x_{oi}^j, y_{oi}^j), j = 1, \dots, M_i$ - координаты j -го ориентира, наблюдаемого в i -ый момент времени; ξ_{xi}, ξ_{yi} - независимые гауссовские случайные величины с ненулевыми дисперсиями $\sigma_{\xi_{xi}}^2$ и $\sigma_{\xi_{yi}}^2$. Эти случайные величины дают возможность учесть внешние случайные воздействия на движущееся транспортное средство. Важным отличием представленных уравнений от известных вариантов [6, 8] является возможность описания движения объектов, перемещающихся в том числе с переменным ускорением.

Уравнения наблюдений компонент скорости и относительных координат объектов могут быть записаны в следующем виде [6,8]:

$$\begin{aligned} z_{vxi} &= v_{xi} + n_{vxi}, \quad z_{vyi} = v_{yi} + n_{vyi}, \\ z_{oxi}^k &= x_i - x_{oi}^k + n_{oxi}^k, \quad z_{oyi}^k = y_i - y_{oi}^k + n_{oyi}^k, \\ k &= 1, \dots, M_i, \quad i = 2, \dots, n_2, \end{aligned}$$

где $n_{oxi}, n_{vxi}, n_{oyi}, n_{vyi}, n_{oxi}^k, n_{oyi}^k, k = 1, \dots, M_i$ - гауссовские погрешности измерений. Представленные модели позволяют записать следующий вариант векторного дважды стохастического фильтра [7]:

$$\bar{x}_i = \bar{x}_{\xi i} + P_i C_i^T V_i (\bar{z}_i - C_i \bar{x}_{\xi i}),$$

где $P_i = P_{\xi i} (E + C_i^T V_i C_i P_{\xi i})^{-1}$, $\bar{x}_{\xi i} = \varphi_{i-1} \bar{x}_{\xi i-1}$, $P_{\xi i} =$

$$\varphi_{i-1} P_{\xi i-1} \varphi_{i-1}^T + V_{\xi i}; \quad V_{\xi i} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\xi i}^2 \end{pmatrix}; \quad C_i =$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Получаемая оценка \bar{x}_i навигационного вектора может быть уточнена с помощью обнаружения и привязки к значимым объектам, описание которых имеется в памяти навигационного устройства. Важно, что каждый шаг фильтрации предполагает расчет матрицы P_i , содержащей покомпонентные дисперсии ошибок позиционирования.

В рамках представленного подхода была выполнена обработка тестовых трех фрагментов данных, полученных с борта беспилотного автомобиля, с оценкой его координат в разные моменты времени. Установлено, что предлагаемый метод действительно позволяет выполнять восстановление траектории перемещения беспилотного автомобиля. При этом скорость накопления ошибки позиционирования составила порядка 1.5 м. за минуту при условии непрерывного наблюдения двух неподвижных объектов. Уменьшить и стабилизировать данную ошибку возможно путем комплексирования с результатами иных навигационных системы, например, спутниковых и инерциальных.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в работе представлен вариант навигации автономного транспортного средства по результатам совместной обработки данных, полученных с камеры высокого разрешения и пространственного дальномера. Особенности предлагаемого подхода предполагают простые процедуры его комплексирования с другими методами навигации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддержана Фондом содействия развитию малых предприятий в НТС в рамках договора 8ГУКодИИС12-D7/72685 от 27.12.2021 (Программа КодИИС).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Prabhakar, N. Object Tracking Using Frame Differencing and Template Matching / N. Prabhakar, V. Vaithyanathan, A. Sharma, A.Singh, P. Singhal // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – Maxwell Scientific Organization, 2012.
- [2] Iqbal, A. Non-Linear Moving Target Tracking: A Particle Filter Approach / A. Iqbal, S. Waqar Shah, Sh. Khan // International Journal of Computer and Communication System Engineering (IJCCSE). – 2014. – Vol. 1(1).
- [3] Пат. 5398292 США, МКИ G 6K 9/46. Edge detecting apparatus. – № 049524; Заяв. 20.04.93; Опубл. 14.03.95; НПК 382/199. Англ.
- [4] Пат. 5627905 США, МКИ G 6K 9/00. Optical flow detection system. – № 353589; Заяв. 12.12.94; Опубл. 6.05.97; НПК 382/107. Англ.
- [5] Maturana, D. VoxNet: A 3D Convolutional Neural Network for Real-Time Object Recognition / D. Maturana // IEEE_RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015. – P. 922-928.
- [6] Dikshit, S.S. A Recursive Kalman Window Approach to Image Restoration / S.S. Dikshit // IEEE Trans. – 1984. – P. 125-139.
- [7] Dementev, V. Doubly stochastic models of images / V. Dementev, K. Vasiljev, N. Andriyanov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25(1). – P. 105-110.
- [8] Васильев, К.К. Динамическое использование ориентиров для оценки координат автономных необитаемых подводных аппаратов / К.К. Васильев, А.В. Бобков // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2017. – Т. 15. – № 12. – С. 11-14.