

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ АВТОНОМНЫХ АППАРАТОВ

Х. А. Абдулкадим, К. К. Васильев, В. Е. Дементьев

### *Введение*

Оценивание траектории объекта в реальном времени среды является сложной задачей, актуальной для различных практических приложений компьютерного зрения. Эта траектория может быть описана алгебраическим или геометрическим образом как изменение положений аппарата с течением времени. Эти положения в различные моменты времени могут регистрироваться различными цифровыми устройствами, отличающимися друг от друга характеристиками точности фиксируемых изображений, их размером, спектральными характеристиками и т.д. Значительное увеличение характеристик регистрирующих устройств, справедливое для последних лет, дает основания для успешного решения различных прикладных задач, в том числе задач, связанных с навигацией и управлением автономным аппаратом [1–4]. В данной статье представлены некоторые результаты исследования оценки траектории по результатам обработки последовательности изображений, полученных с помощью пространственных дальномеров. Характерным примером такого дальномера является распространенный на рынке контроллер Microsoft Kinect.

### *Применение псевдоградиентных алгоритмов для оценки траектории*

Последовательности данных, получаемые от дальномера Kinect, представляют собой двумерные массивы размером  $320 \times 240$ , содержащие информацию о расстоянии до соответствующих объектов [5]. Эти данные обычно представляются изображениями, каждый цвет пикселя которого является расстоянием между аппаратом и объектом. Использование множеств подобных расстояний позволяет вычислить позицию аппарата относительно объектов. Рассмотрим  $Z^1, Z^2$  – два кадра с инфракрасного дальномера, полученные в следующие друг за другом промежутки времени. Оценка разницы между этими кадрами в виде вектора, состоящего из параметров смещений, масштаба и угла поворота потенциально позволяет определить перемещение самого аппарата [6–8]. Непосредственную оценку вектора параметров деформаций произведем с помощью псевдоградиентных алгоритмов [6] следующим образом:

$$Z^2 = f(Z^1, \Delta x, \Delta y, \Delta M, \Delta \theta), \quad (1)$$

где  $\Delta x, \Delta y, \Delta M, \Delta \theta$  – смещение по горизонтали ( $x$ ), смещение по вертикали ( $y$ ), угол поворота ( $\theta$ ) и масштаб ( $M$ ). Для решения задачи позиционирования аппарата по данным инфракрасного дальномера будем считать для определенности, что этот дальномер направлен вперед вдоль оси аппарата, а перемещение аппарата происходит с достаточно малой скоростью, так что разница между получаемыми кадрами изображений достаточно мала.

### *Анализ алгоритмов оценки траектории*

Будем считать, что наблюдаемые объекты находятся в одной плоскости с аппаратом, как показано на рис. 1–6, а оценка расстояния  $\rho^{(t+1)}$  от аппарата до центра объекта ( $i + \Delta x, j + \Delta y$ ) является функцией, зависящей от величины  $\rho^{(t)}$ , полученной в предыдущий момент времени и оценки масштаба в паре изображений, полученных в моменты времени  $t$  и  $t + 1$ :

$$\rho_{(i+\Delta x, j+\Delta y)}^{(t+1)} = \frac{\rho_{(i, j)}^{(t)}}{\operatorname{argmax}(\min)_{\Delta M} M^t}, \quad (2)$$

где  $t = 0, 1, 2, 3 \dots$ ,  $i, j$  – координаты центра объекта. Если масштаб близок к единице, т.е. ( $\Delta M \cong 0$ ), то можно считать, что камера не перемещается. В случае, когда известен горизонтальный угол обзора самого дальномера (например, этот угол равен  $\infty$ ), то горизонтальное угловое разрешение устройства  $H$  составляет

$$H = \frac{\text{горизонтальный угол обзора}(\infty)}{\text{Горизонтальное разрешение изображения в пикселях}(\rho)}, \quad (3)$$

где  $H$  помогает оценить два других углов. Первый угол является углом поворота, а второй угол является углом отклонения объекта относительно камеры, а именно: угол положения объекта ( $\vartheta$ ).

В случае оценки угла положения второго объекта ( $\vartheta$ ) считаем расстояния в пикселях ( $\bar{X}$ ) между центром изображения, т.е. центр объекта позиционированный напротив камеры, и центром второго объекта, то

$$\vartheta = \bar{X} \cdot H = \bar{X} \cdot \frac{\infty}{X_{\max}}. \quad (4)$$

Чтобы оценить расстояния ( $\rho^{(t+1)}$ ) между камерой и центром второго объекта, выполним следующее выражение:

$$\rho^{(t+1)} = \frac{\rho^{(t)}}{\cos \vartheta}. \quad (5)$$

Вместе с тем выражение (4) поможет в оценке расстояния между камерой и любым объектом, кроме тех, что расположены в центре (т.е.  $\vartheta = 0$ ). В случае  $\vartheta = 0$  геометрическая форма показана на рис. 1,б, считаем, что в центре зрения (т.е. в центре изображения) не существует объекта, а два объекта на обеих сторонах центра – вдоль одной оси. Также каждый объект имеет ( $\vartheta_n$ ) и дифференцированную яркость, поэтому в этих условиях для оценки траектории аппарата относительно каждого объекта выполним

$$\rho_{(i+\Delta x, j+\Delta y)}^{(t+1)} = \frac{\rho_{i,j}^t}{\arg \max(\min)_{\Delta M} M^t} + \cos \vartheta^{(n)}, \quad (6)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  представляет собой порядок объекта в зрении. Важное замечание о том, что выражение (6) используется только в начале работы устройства (т.е. перед оценкой), а затем выполняется выражение (2).

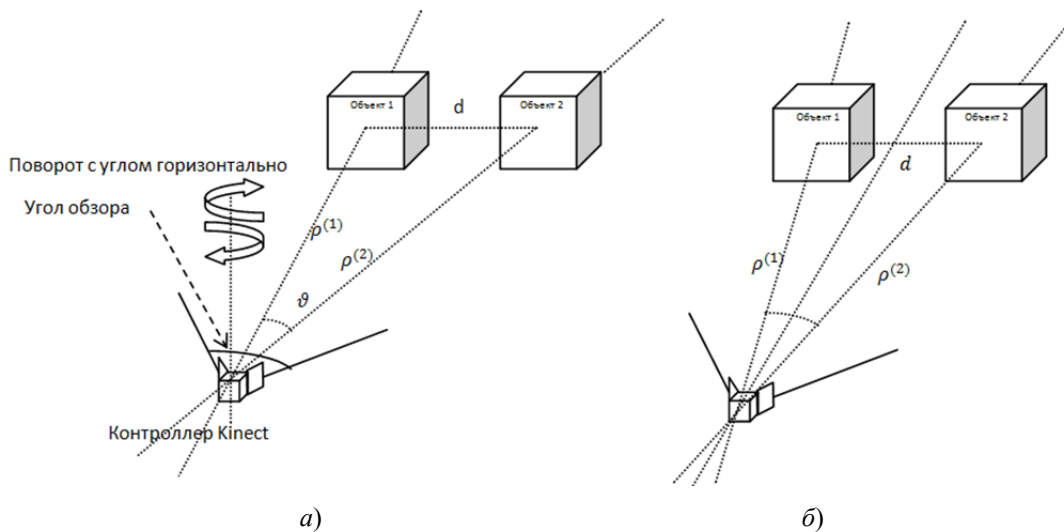


Рис. 1. Варианты размещения двух объектов в поле зрения дальномера

Показанная на рисунке  $\rho$  оценивается следующим образом:

$$\rho^{(t+2)} = \frac{\rho^{(t+1)}}{\cos(\vartheta^{(t+2)})} = \frac{\rho^{(t)}}{\cos(\vartheta^{(t+1)} + \vartheta^{(t+2)})}. \quad (7)$$

На рис. 2 представлены результаты оценивания траектории движения аппарата в первом случае (см. рис. 1,а). Первая и третья кривая являются реальной траекторией перемещения аппарата. Вторая и четвертая кривая соответствуют наилучшей оценке траектории по результатам обработки изображений первого и второго объектов соответственно.

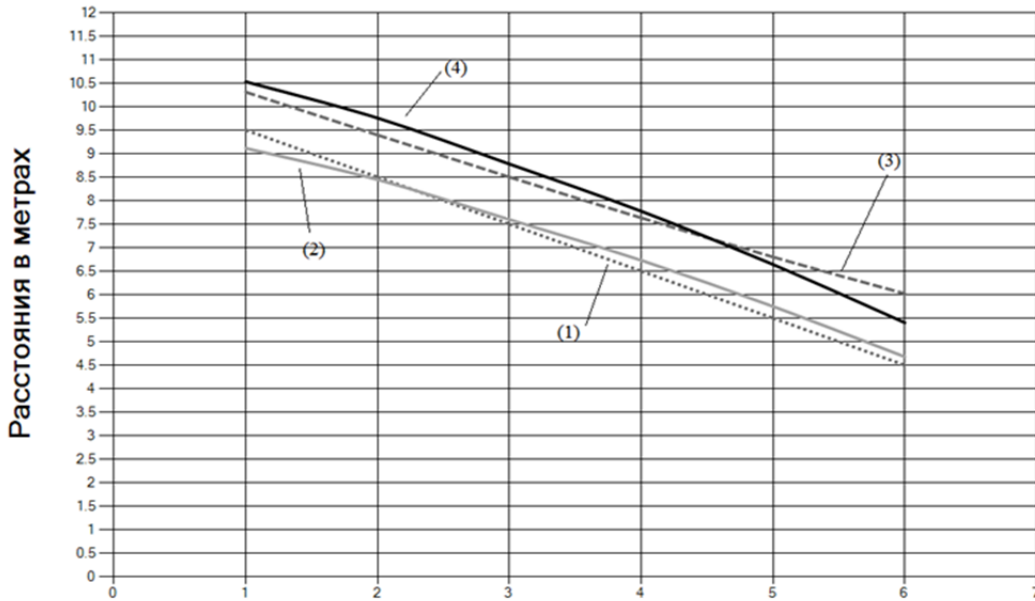


Рис. 2. Оценка траектории аппарата

На рис. 3 представлены абсолютные разницы между реальной траекторией и ее оценками для каждого объекта отдельно.

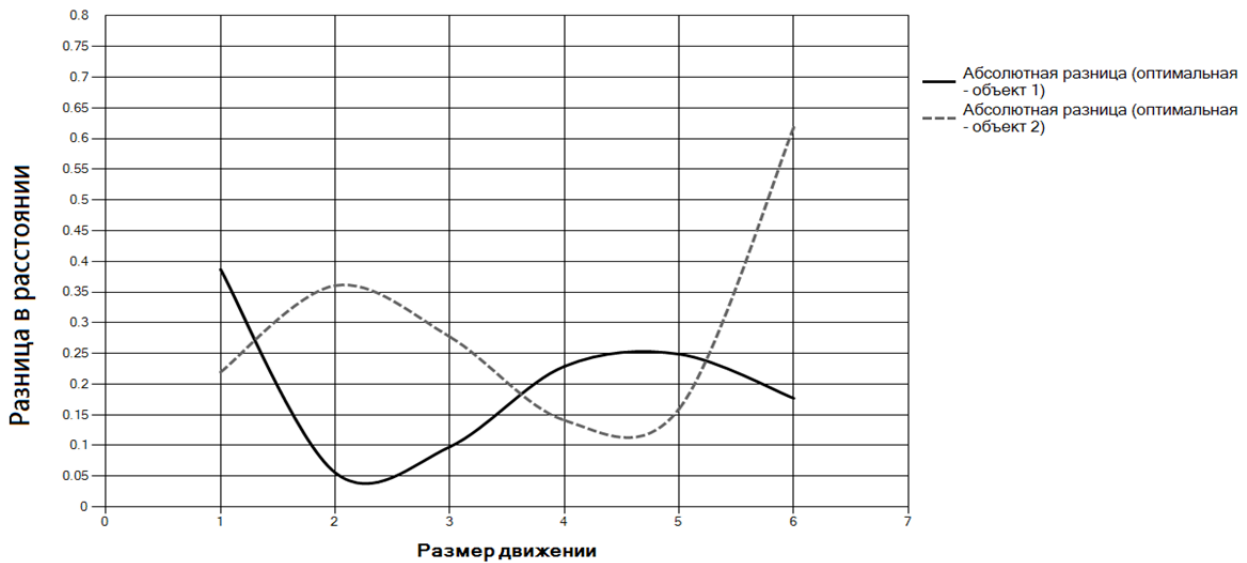


Рис. 3. Абсолютные разницы в расстоянии между траекториями для рис. 1,а

На рис. 4 представлены результаты оценивания траектории движения аппарата во втором случае (см. рис. 1,б).

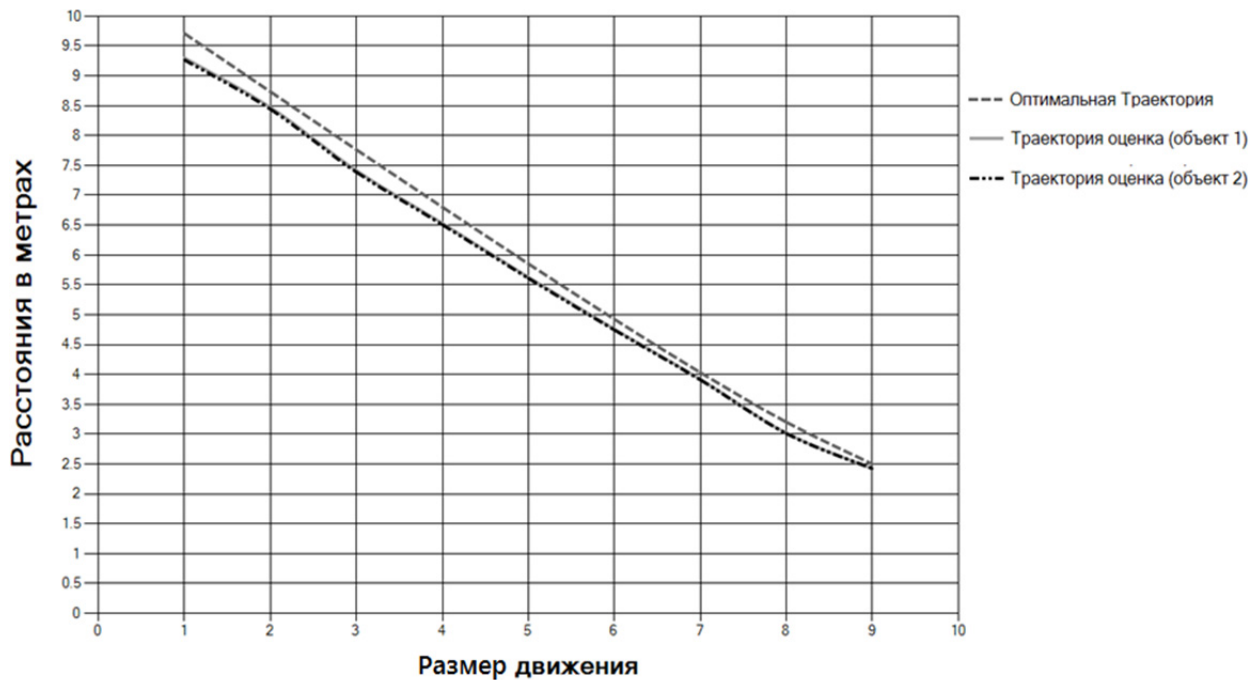


Рис. 4. Оценки траектории аппарата вперед-назад, связанные с двумя объектами во втором случае

На рис. 5 представлены абсолютные различия между реальной траекторией и ее оценками.

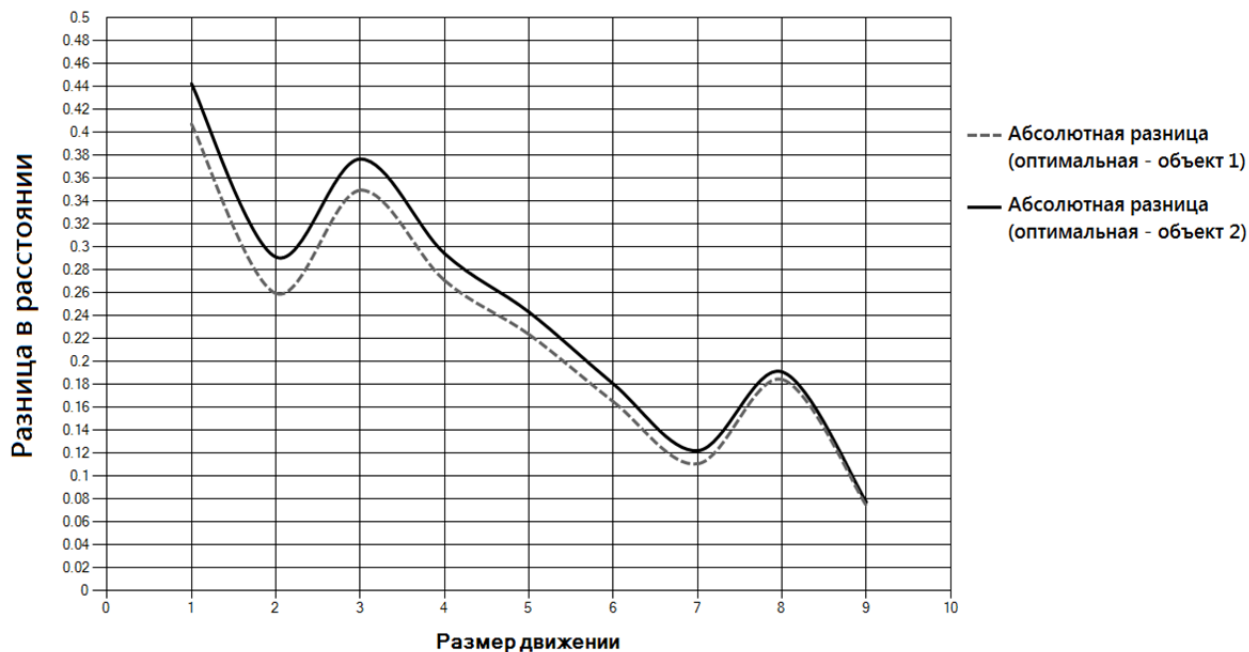


Рис. 5. Абсолютные различия между траекториями для рис. 1,б

На рис. 7 представлены результаты оценивания траектории движения аппарата для случая наблюдения трех объектов (рис. 6,а). Кривые (1), (2) и (3) являются реальными траекториями для объектов соответственно. Четвертая (4) соответствует оцениванию траектории аппарата относительно первого объекта, расположенного в центре изображения, а пятая (5) и шестая (6) соответствуют оценке траектории аппарата по второму и третьему объекту.

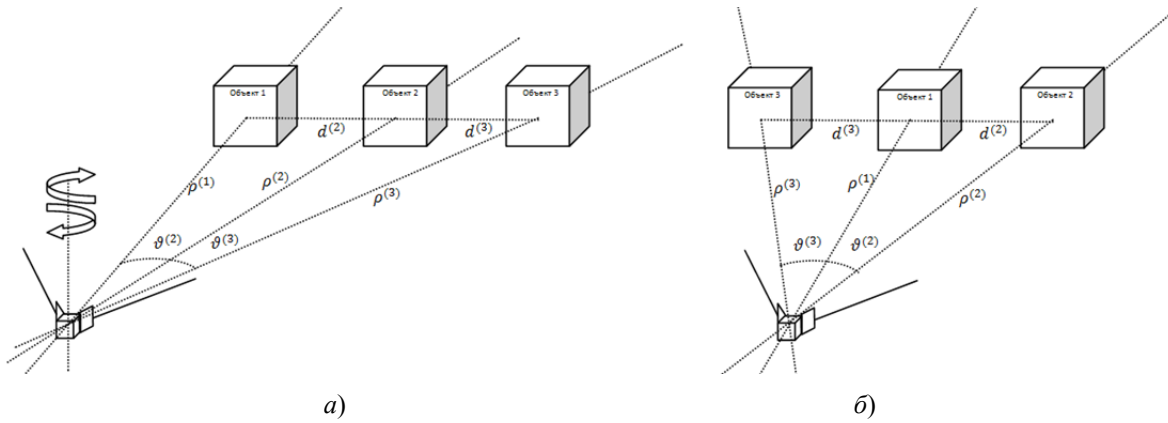


Рис. 6. Варианты размещения трех объектов в поле зрения дальномера

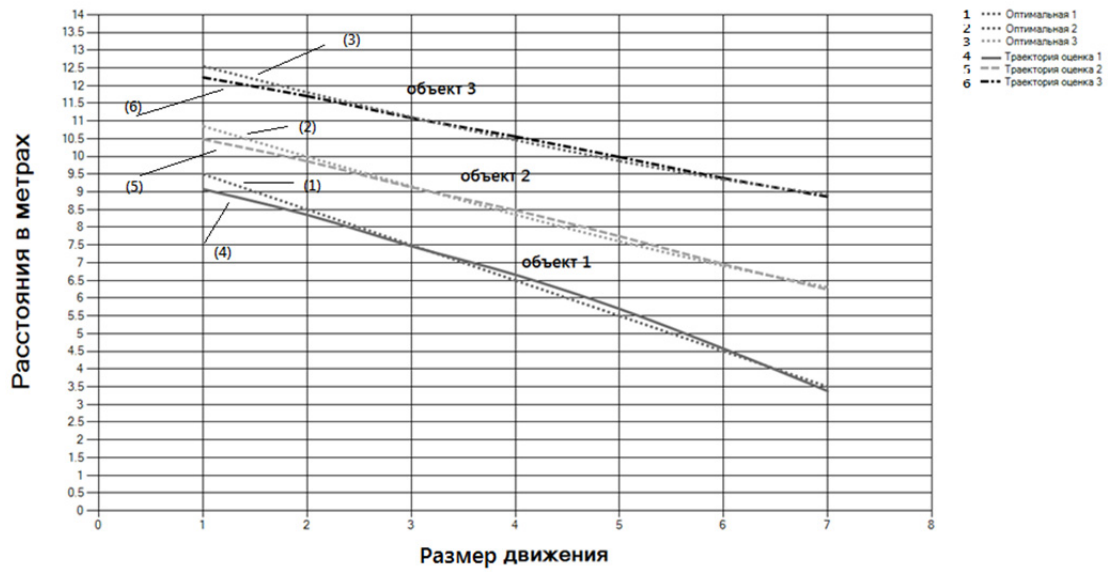


Рис. 7. Оценивание траектории аппарата по трем объектам

На рис. 8 представлены абсолютные разницы между реальной траекторией и ее оценкой по каждому объекту.

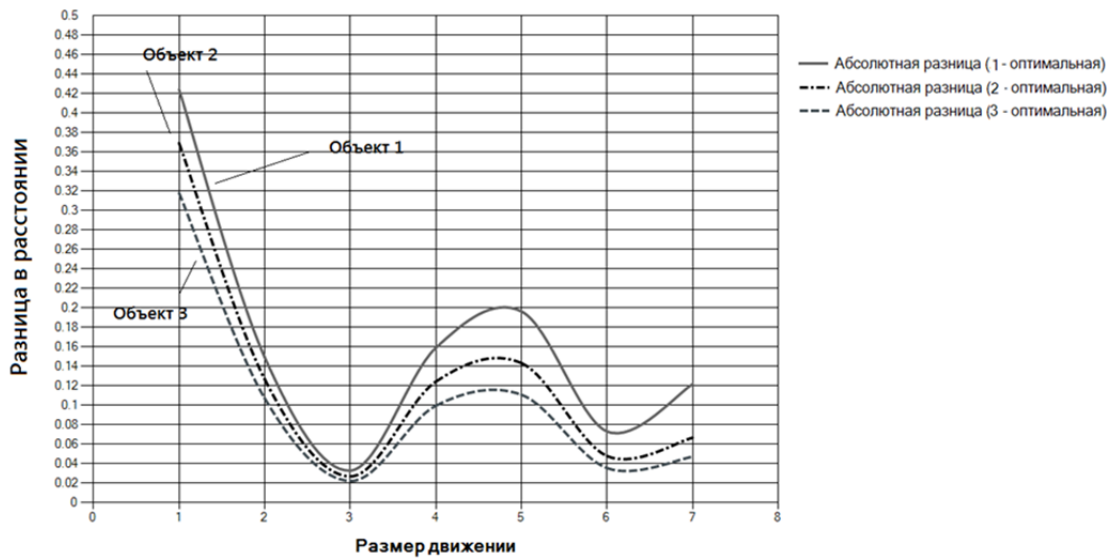


Рис. 8. Абсолютные разницы в расстоянии между реальной траекторией и ее оценкой по трем объектам в отдельности

На рис. 9 представлены результаты оценивания траектории движения аппарата во втором случае (рис. 6,б). Кривые (1) и (5) являются реальными траекториями для второго и третьего объектов соответственно. Третья (3) соответствует оценке траектории аппарата относительно первого, расположенного в центре объекта, а вторая (2) и четвертая (4) соответствуют оценке траектории аппарата по результатам обработки второго и третьего объекта. На рис. 10 представлены абсолютные разницы между реальной траекторией и ее оценками и по каждому из объектов.

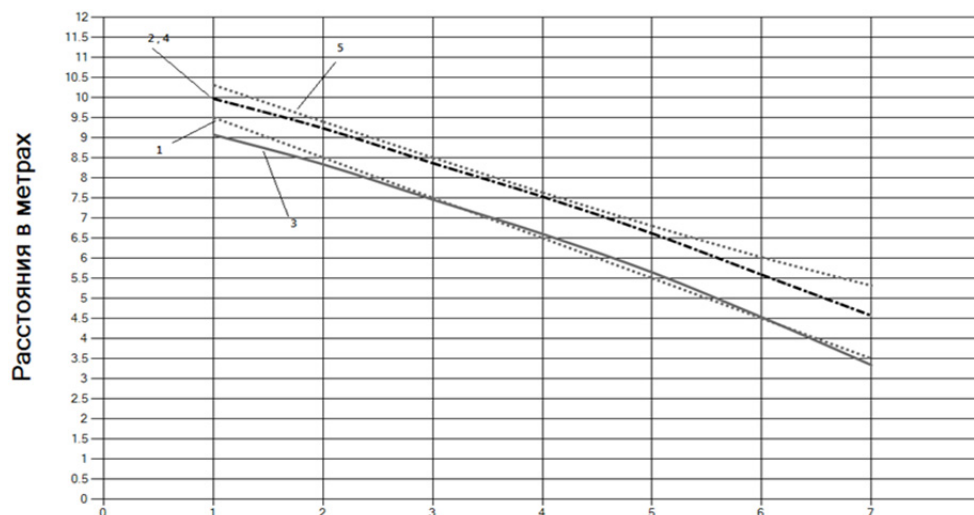


Рис. 9. Оценки траектории аппарата для случая рис. 6,б

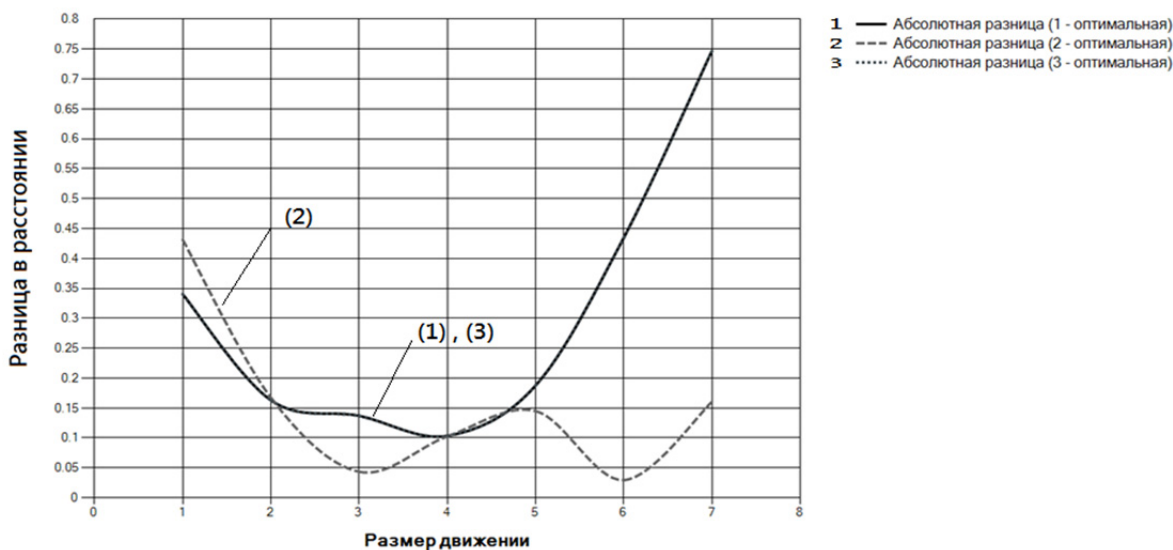


Рис. 10. Абсолютные разницы между траекториями

Анализ полученных кривых показывает, что в случае наличия объекта в центре изображения возможна оценка траектории только на основании морфологических данных, т.е. без анализа распределения яркости внутри каждого из объектов. При отсутствии объекта в центре изображения такой анализ необходим. Также точность оценки траектории напрямую зависит от точности оценки масштаба.

### Выводы

Таким образом, в настоящей статье представлены некоторые результаты исследования возможности оценивания траектории относительно распределенных объектов на основании результатов обработки последовательности изображений. Оценка точности траектории по каждому из

наблюдаемых объектов позволяет формировать максимально гибкие решения для определения положения аппарата и объектов в динамической среде.

### Список литературы

1. Васильев, К. К. Разработка алгоритма навигации на основе данных инфракрасного дальномера Kinect / К. К. Васильев, В. Е. Дементьев, Х. А. Абдулкадим // Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий (REDS-2015) : тр. Междунар. конф. (Москва, 25–27 мая 2015). – М., 2015. – С. 116–120.
2. Object Tracking Using Frame Differencing and Template Matching / N. Prabhakar, V. Vaithyanathan, A. P. Sharma, A. Singh, P. Singhal // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology / Maxwell Scientific Organization. – 2012. – Vol. 4, Iss. 24. – P. 440–442.
3. Arshad, I. Non-Linear Moving Target Tracking: A Particle Filter Approach / A. Iqbal, S. Waqar Shah, S. Khan // International Journal of Computer and Communication System Engineering (IJCCSE). – 2014. – Vol. 1, № 1. – P. 20–26.
4. Grzegorz, J. Combined Matching of 2nd And 3d Kinect™ Data To Support Indoor Mapping And Navigation / J. Grzegorz, Ch. Toth, Z. Koppányi, D. Grejner-Brzezinska // ASPRS 2014 Annual Conference (Louisville, Kentucky, March 23–28 2014). – Louisville, 2014. – P. 367–369.
5. Абдулкадим, Х. А. Анализ изображений, получаемых с бортовой камеры беспилотного летательного аппарата для его навигации / Х. А. Абдулкадим // Труды XIV Национальной конференции по искусственному интеллекту (КИИ-2014) (24–27 сентября 2014, г. Казань, Россия). – Казань, 2014. – С. 234–237.
6. Ташлинский, А. Г. Оценка параметров пространственных деформаций последовательностей изображений / А. Г. Ташлинский. – Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2000. – 132 с.
7. Абдулкадим, Х. А. Алгоритмы навигации с применением обработки изображений подстилающей поверхности / Х. А. Абдулкадим // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем : сб. науч. тр. / Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 190 с.
8. Kumar, A. Estimation of motion among shifted images at coarse and fine levels / A. Kumar, Ch. Kumar // International Journal of Computational Intelligence and Information Security. – India. – 2011. – December. – Vol. 2, № 12. – P. 16–26.

#### **Абдулкадим Хуссейн Абдуламид**

аспирант,  
Ульяновский государственный  
технический университет  
(432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32)  
E-Mail: hussein73@mail.ru

#### **Васильев Константин Константинович**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой телекоммуникаций,  
Ульяновский государственный  
технический университет  
(432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32)  
E-mail: vkk@ulstu.ru

#### **Дементьев Виталий Евгеньевич**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра телекоммуникаций,  
Ульяновский государственный  
технический университет  
(432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32)  
E-mail: dve@ulntc.ru

**Аннотация.** Траектория автономного аппарата может быть представлена как совокупность его положений в разные моменты времени. Эти положения могут быть оценены в результате обработки различных изображений объекта и окружающей его обстановки. Представлены некоторые результаты иссле-

#### **Abdulkadhim Hussein Abdulameer**

postgraduate student,  
Ulyanovsk State Technical University  
(432027, 32 Sev. Venets street, Ulyanovsk, Russia)

#### **Vasilyev Konstantin Konstantinovich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of telecommunications,  
Ulyanovsk State Technical University  
(432027, 32 Sev. Venets street, Ulyanovsk, Russia)

#### **Dementiev Vitaliy Evgenevich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of telecommunications,  
Ulyanovsk State Technical University  
(432027, 32 Sev. Venets street, Ulyanovsk, Russia)

**Abstract.** The trajectory of an autonomous vehicle can be represented as a set of its locations at different times. These locations can be estimated by processing the various images of the object and its surrounding environment. This article presents some results of studies estimating trajectory of an autonomous vehicle relative to

дований оценки траектории аппарата относительно окружающих объектов по результатам цифровой обработки последовательности изображений, зарегистрированных на основе данных контроллера Microsoft Kinect.

**Ключевые слова:** информационно-управляющий комплекс, наземно-космическая информационная сеть, оперативность обмена информацией, межспутниковые радиолинии, ретрансляторы.

surrounding objects by the result of digital processing of image sequence registered on the basis of Microsoft Kinect controller data.

**Key words:** information-managing complex, ground-space information network, rapid exchange of information, inter-satellite radio link, repeater.

**УДК 621.396.933:527.8**

**Абдулкадим, Х. А.**

**Анализ алгоритмов оценивания траектории автономных аппаратов / Х. А. Абдулкадим, К. К. Васильев, В. Е. Дементьев // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4 (16). – С. 113–120. DOI 10.21685/2307-4205-2016-4-16.**