

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ТРАЕКТОРИИ ПОЛЁТА БПЛА ПУТЁМ КОРРЕКЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Арзуманян Э.П., д.т.н., главный научный сотрудник ЗАО «МНИТИ», e-mail: arzedouard@gmail.com.

THE OBJECT RECOGNITION ON UAV FLIGHT TRAJECTORY BY MEANS OF IMAGE PARAMETERS CORRECTION

Arzumanyan E.P.

We consider a method that provides object recognition on the trajectory of UAV (unmanned aerial vehicle) in cases when the current image does not coincide with the reference image in scale, turning angle and aspect angle. To adapt said images with these parameters, a universal tool based on a bilinear interpolator is proposed. Proposed method provides the object identification on more long distances.

Key words: image, flight trajectory, template, video sequence, interpolation.

Ключевые слова: изображение, траектория полёта, эталон, видеопоследовательность, интерполяция.

Введение

В современных средствах мониторинга пространства – ландшафтов, лесных массивов, искусственных сооружений и др., особое место занимают беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащённые системами технического зрения и линией радиосвязи. В частности, мониторинг проводят с целью выявления чрезвычайных ситуаций на ближних или дальних подступах охраняемых территорий. Оперативная информация, полученная на протяжении всей траектории полёта, передаётся с БПЛА в пункт управления, например, посредством геостационарных спутников Земли. Такой подход используется при мониторинге дальних государственных границ. Однако там радиосвязь может быть нарушена организованной радиопомехой, особенно при недружественном пограничном государстве [1]. В результате такого события БПЛА может быть безвозвратно утерян.

Мировая практика показывает новые тенденции в вопросе сбора информации при мониторинге – осуществление мониторинга траектории вдоль обозначенной территории путём опознавания устойчивых стационарных ориентиров, природного или искусственного происхождения, желательного инвариантных к изменениям времени суток или погодных условий. Для этого требуется разработать систему распознавания, действующую на больших расстояниях, без вмешательства оператора и применения радиосвязи.

Данная проблема актуальна во всех её проявлениях и прежде всего в использовании визуальной информации, полученной от датчиков изображения в различных спектральных диапазонах. Известные принципы, основанные на автоматическом распознавании объектов по карте местности, предусматривают нахождение вдоль траектории полёта объектов-ориентиров, которые запоминаются как эталонные изображения и загружаются в решающее

Рассматривается метод, обеспечивающий опознавание объекта на траектории полёта беспилотного летательного аппарата в условиях, когда текущее изображение не совпадает с эталоном по масштабу, углу поворота и ракурсу. Для адаптации этих изображений по названным параметрам предлагается универсальный инструмент, реализуемый на основе билинейного интерполятора. Данный метод позволяет опознать объект задолго до подлёта на расчётное расстояние.

устройство БПЛА. Здесь осуществляется сличение эталона с изображением, полученным от датчиков в каждый текущий момент времени. Затем, по установленному критерию (порогу достоверности), определяют степень сходства и принимают решение о правильном распознавании объекта-ориентира. Данный подход устанавливает определённые требования к полёту БПЛА – строго следовать по той же траектории, по которой были произведены съёмки эталона. При этом распознавание произойдёт только в одной точке траектории, т.е. в течение нескольких быстро промелькнувших ТВ кадров.

Постановка задачи

В данной работе решается задача, которая состоит в обеспечении достоверного распознавания объекта-ориентира как можно раньше при подлёте к нему. Такой подход позволяет заблаговременно скорректировать траекторию полёта, проложенную для следования до конечного пункта назначения, находящегося, возможно, за сотни километров. При этом, для сбора полученной информации БПЛА должен вернуться к назначенному пункту – к исходному или иному, по той же траектории или другой.

Здесь не рассматриваются способы передачи эталонных изображений ориентиров на борт БПЛА, которые могут быть составлены априори и загружены перед полётом или переданы оперативно в реальном масштабе времени. Важно, что съёмки эталона производятся другим летательным аппаратом (ЛА), который одновременно передаёт собственные параметры, зафиксированные

в момент съёмки эталонного изображения: координаты точки пространства относительно земной поверхности, высоту полёта и угол зрения оптического средства оптико-электронной системы. Такие же параметры формируются на борту БПЛА. Тогда, сопоставив параметры двух изображений, текущего и эталонного, с разными геометрическими параметрами, а параметры текущего изображения изменяются в каждый момент времени, необходимо будет адаптировать эталонное изображение к текущему путём осуществления геометрических преобразований и, тем самым, выделить фрагмент, при котором оба изображения обладают максимальным сходством между собой. Эта процедура смягчит жёсткие требования, предъявленные к траектории следования по строгому маршруту, на котором были выполнены съёмки эталонных изображений объектов-ориентиров (например, в соответствии с полётным заданием).

Решение задачи

Поиски способов решить поставленную задачу приводят к применению датчиков изображения, установленных на борту БПЛА, видимого и/или инфракрасного спектрального диапазона, получаемые изображения от которых являются достоверными источниками информации о местности. Для распознавания объектов-ориентиров, обозначающих ключевые точки траектории полёта, ниже предложен инструментарий, с помощью которого возможна реализация процедуры опережения момента коррекции траектории.

Известная система, оснащённая одновременно радиолинией и автономными средствами управления, рассмотрена в [1]. В поставленной задаче радиосвязь исключена, поэтому после сбора информации для её передачи БПЛА должен вернуться к назначенному пункту земной поверхности. Последовательность процедур, выполняемых от начала до конца траектории, приведена в виде блок-схемы на рис. 1. Идея заключается в том, чтобы в каждый момент времени производилось сравнение двух изображений: эталонного и текущего, полученного датчиками оптико-электронной системы (ОЭС). Однако такое сравнение имеет смысл если оба изображения близки по своим параметрам: масштаба, ракурса и углового положения, с учётом углов зрения ОЭС БПЛА и ЛА. Для максимального сходства изображений необходимо в каждый момент времени учитывать соотношение параметров, характеризующие пространственные положения двух точек съёма изображений – текущего и эталонного.

В качестве эталонов используют либо образцовые изображения, либо набор их признаков, которые позволяют надёжно идентифицировать объекты. В любом случае, достоверное сравнение текущего изображения с эталоном может быть осуществлено при совпадении упомянутых геометрических свойств изображений.

Следует заметить, что рассматривается обработка только двумерных (плоских) изображений. Для обеспечения адекватности разрабатываемого алгоритма и создаваемых на его основе устройств требуется, чтобы высота наблюдения была много больше высоты объектов на наблюдаемой местности, впрочем, что и требу-

ется по условиям поставленной задачи.

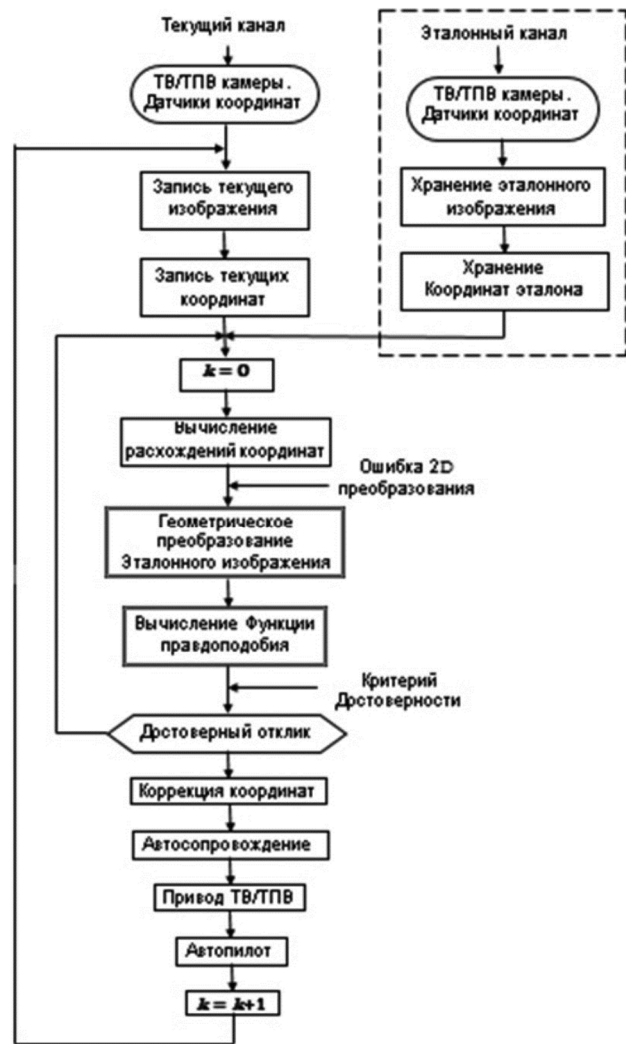


Рис. 1. Блок-схема системы распознавания объектов на траектории полёта

Принцип распознавания объекта-ориентира при быстрых изменениях бортовых данных БПЛА заключается в том, чтобы сравнивать в каждый момент времени данные эталона с данными БПЛА. Имеется в виду не только изображение, но и пакет навигационных данных, например, высота полёта, угол атаки или дальность до объекта, наклон по крену.

Поскольку в подавляющих случаях операция сравнения изображений на предмет определения сходства выполняется с помощью свёртки, будь это согласованный фильтр или взаимно-корреляционная функция, в данном случае целесообразно воспользоваться корреляционной функцией. Это оправдано тем, что в рассматриваемом случае эталоном для сравнения является конкретное полноценное многоуровневое изображение объекта или части наблюдаемого ландшафта.

В тактике применения БПЛА предусматривается следующая процедура последовательных действий. В момент распознавания объекта-ориентира включается система автосопровождения и БПЛА работает в самостоятельном режиме до достижения критического расстояния до объекта-ориентира, когда автопилот должен переориентировать БПЛА на следующий объект-ориентир. Учи-

тывая тот факт, что для надёжного распознавания расстояние до объекта не может превышать 3-5 км, а скорость полёта БПЛА составляет примерно 90-110 м/с, то времени на режим автосопровождения остаётся немного. Здесь предлагается метод, который позволяет увеличить дальность для распознавания и, соответственно, время пребывания БПЛА в режиме автосопровождения.

Итак, необходимо распознать объект до достижения момента, когда изображение, полученное с датчика на БПЛА по геометрическим параметрам, совпадёт с изображением эталона. Для этого параметры, имеющиеся в пакете данных эталона, сравнивают с аналогичными данными, имеющимися на борту БПЛА, сопоставляют их по разностям или соотношениям и изменяют геометрические параметры эталонного изображения для того, чтобы они соответствовали изображению с датчика БПЛА на данный момент времени полёта.

Из сказанного вытекает необходимость производить указанные геометрические преобразования в каждый момент времени. Для реализации способа устройством, действующим в реальном масштабе времени, ниже приведён алгоритм билинейного интерполятора [2, 3], обеспечивающего широкий набор геометрических преобразований, даны рекомендации по реализации устройства несложными аппаратно-программными средствами. Убедительные результаты об эффективности предложенного метода предоставляет математическая модель.

Моделирование предложенного метода распознавания

Важной составляющей модели является наличие соответствующей видеопоследовательности с сопровождающими данными пространственного положения летательного аппарата, выполняющего видеосъёмку. За неимением такового в модели используется видеопоследовательность изображений, снятых в инфракрасном спектральном диапазоне без координатных данных. Для данного участка траектории полёта известны лишь (с некоторой погрешностью) естественные метрические размеры отдельных объектов, расположенных на наблюдаемом ландшафте. Необходимая недостающая информация была дополнена следующим образом. На рис. 2 приведены кадры из видеопоследовательности сюжета наезда: начала – дальнего плана траектории и конца – ближнего плана траектории.

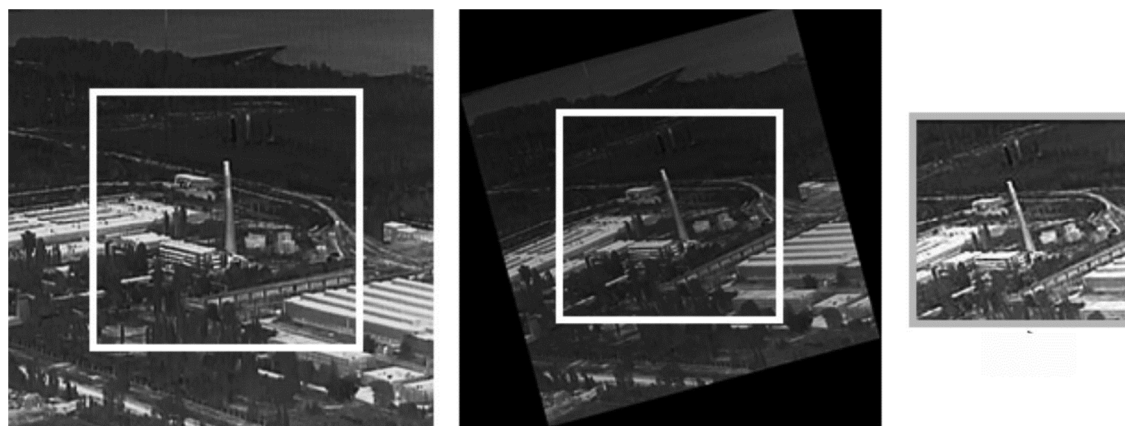
Данный фрагмент траектории разбит на $q = 140$ шагов модели. На условном расстоянии $q = 100$ осуществлена съёмка эталонного изображения. Однако, усложнив задачу, можно условиться, что угол зрения объектива θ_{et} эталонного канала отличается от угла зрения θ_t канала, использованного при съёмке на данной траектории. Кроме того, возможно и курсовое отклонение на величину γ . Поэтому, исходя из этих условий, на рис. 3 показаны два возможных эталона: а) идеальный – точно совпадающий



а) дальний план

б) ближний план

Рис. 2. Отрезок траектории, использованный для моделирования



а)

б)

в)

Рис. 3. а) – традиционный выбор эталона на шаге $q = 100$ траектории; б) и в) – эталон, полученный с другой точки траектории с отличающимися параметрами по углу зрения объектива и крену

с имеющейся траекторией и б) реальный – с отличающимися параметрами и средствами съёмки.

Данную обстановку легко прогнозировать. В первом случае в шаге $q = 100$ произойдёт идеальное совпадение, а значит 100 % обнаружение объекта. При этом полёт должен осуществляться строго по намеченному маршруту и обнаружение произойдёт только в одной точке траектории. Во втором случае ни в одном шаге модели обнаружение не произойдёт.

Для достижения поставленной цели – опережение момента обнаружения объекта-ориентира – следует сформулировать имеющиеся характеристики модели. Итак, из анализа изображения ближнего плана определено (принято): длина промышленной трубы $Tr = 80$ [m], исходя из этого, видимая ширина ландшафта $L_{iz} = 251,5$ [m], высота полёта БПЛА (с некоторым допущением) $H = 200$ [m] и неизменна на протяжении всего отрезка рассматриваемой траектории, минимальная дальность наблюдения (до ближнего плана) $D_{min} = 500$ [m]. В этом случае угол зрения объектива текущего канала (на БПЛА)

составит $\theta_t = \arctg\left(\frac{L_{iz}}{2 \cdot D_{min}}\right) \cdot 2 \approx 28^\circ$. Для определения дальности на начале траектории (при $q = 0$) анало-

гичным образом определяют видимую ширину ландшафта по размерам изображения $L'_{iz} = 720$ [m] и соответственно находят дальность до дальнего плана

$$D_{max} = \frac{L'_{iz}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_t}{2}\right)} \approx 1432 \text{ [m]}.$$

На основании синтезированных входных данных модели приступают к решению поставленной задачи. Представленное изображение эталона на рис. 2 сформировано из следующих исходных параметров: Дальность при $q = 100$; угол зрения объектива эталонного канала $\theta_{et} = 38^\circ$; угол наклона по курсу $\gamma = 15^\circ$. В данном эксперименте предполагается, что курсовых колебаний больше не предвидится, а применение разных объективов приводит к изменению коэффициента масштабирования со следующей зависимостью:

$$Cf = \operatorname{ctg}\left(\frac{\theta_t}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_{et}}{2}\right) = 0,73.$$

Таким образом, указанные отличия по двум параметрам могут быть скомпенсированы с помощью двумерного интерполлятора. Результат такой интерполяции приведён на рис. 4.



Рис. 4. Новый эталон, восстановленный по параметрам γ и θ

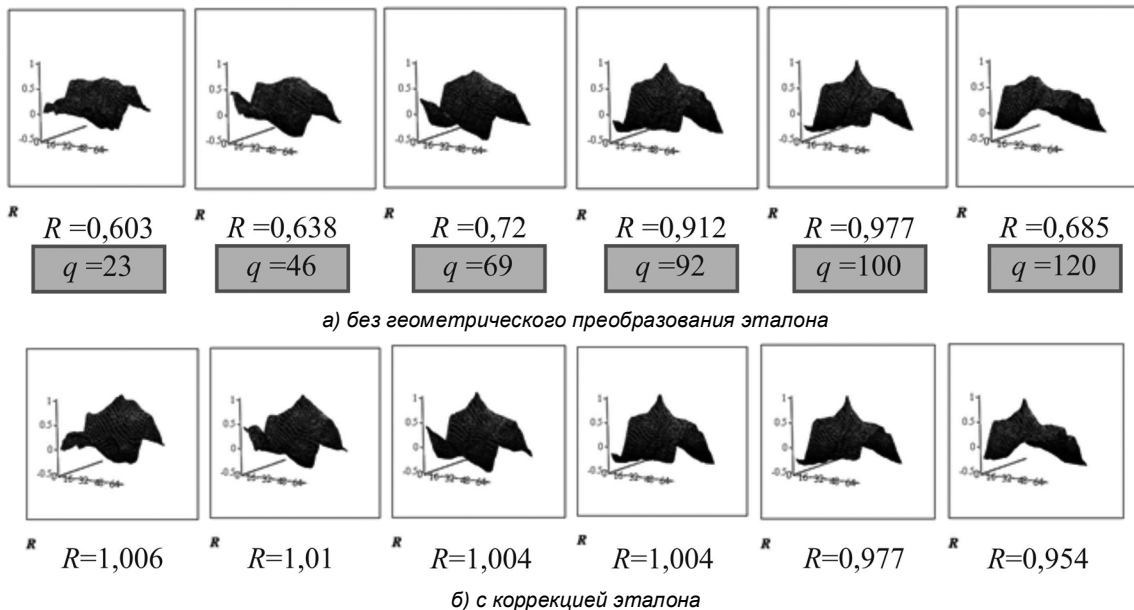
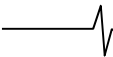


Рис. 5. Последовательность фаз вычисления ВКФ



Далее, следует сопоставить текущее и эталонное изображения с целью приведения их к максимальному сходству. Такая операция производится также путём интерполяции. Для этого в данной модели траекторию разбивают на 140 шагов обработки, определяют текущую дальность относительно дальности съёма эталона и полученное соотношение используют как коэффициент масштабирования нового эталона.

Ниже приведены две реализации процесса поиска и обнаружения с использованием классической нормированной корреляционной функции в качестве функции правдоподобия.

Задача модели заключается в том, чтобы выявить факт совпадения при принятом пороге достоверности. Эксперимент поставлен таким образом, чтобы дать оценку двум вариантам определения степени достоверности сходства на установленном пороге.

Первый вариант реализуется без коррекции эталона, т.е. БПЛА направлен к предполагаемому объекту-ориентир в соответствии с имеющимся на его борту эталоном. В каждый момент времени полёта вдоль траектории производится сличение двух изображений: текущего и эталонного, и по мере сближения устанавливают степень сходства по максимуму взаимно-корреляционной функции (ВКФ). Отдельные моменты формирования ВКФ приведены на рис. 5 (R – амплитуда пика функции). В качестве единицы дальности используется безразмерная величина q , которая равномерно разделила дальность на дискретные участки от начала полёта до достижения полного сходства с эталоном.

Из рис. 5 по максимумам ВКФ видна тенденция к максимальному сходству уже с большой дальности наблюдения.

Более наглядное представление о полученном эффекте показывает диаграмма (рис. 6), полученная путём сопоставления максимумов ВКФ на каждом q -шаге эксперимента для обоих вариантов.

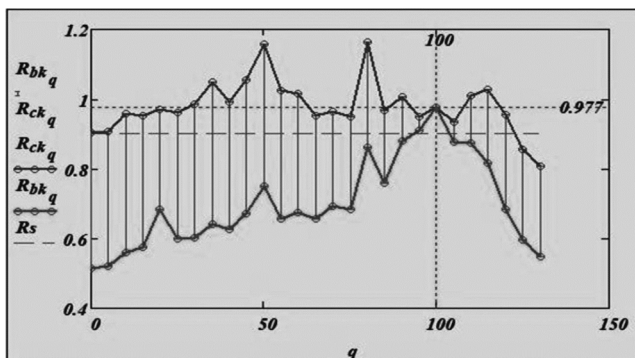


Рис. 6. Красная линия – традиционный способ определения сходства путём сближения; синяя – результат проведённого эксперимента

Из диаграмм видно, что предложенный метод опережения момента обнаружения качественно эффективен. В данном эксперименте принято считать достоверными для сходства все значения функции ВКФ, максимумы которых превышают уровень 0,9. Следует отметить, что для объективной оценки уровень достоверности может быть выбран больше 0,9 и стремиться к 1,0 (для нормированной корреляционной функции). Однако,

как было упомянуто выше, входная видеопоследовательность искусственно искажена для модели в части разрешающей способности, сам процесс интерполяции является фильтрующим, функция коррекции сближения также рассчитана с некоторыми допущениями, поэтому достигнутый результат, как было предвидено, получен ниже ожидаемого, со значениями ВКФ больше 1,0. Тем не менее предложенный метод и при этих условиях демонстрирует свою эффективность.

В рамках данного эксперимента метод реализован для трёх параметров: угла зрения оптического средства, угла поворота и изменения дальности наблюдения. В принципе в реальном полёте происходят пространственные изменения в большем количестве степеней свободы. Для их отработки ниже предлагается интерполятор [4], реализуемый несложными техническими средствами.

Билинейный интерполятор

В [5] подробно описан билинейный интерполятор, который может быть применён для решения поставленной задачи. Ниже приведены две функции, содержащие основные аргументы для выполнения необходимых преобразований:

$$\begin{aligned} Av_{i,j} &= (j-n) \cdot \sin(\gamma) dv_j + (i-n) \cos(\gamma) \cdot dh_i + n; \\ Ah_{i,j} &= (j-n) \cdot \cos(\gamma) dv_i + (i-n) \sin(\gamma) \cdot dh_j + n. \end{aligned} \quad (1)$$

Функции $Av_{i,j}$ и $Ah_{i,j}$ названы виртуальными адресами памяти (по вертикали Av и горизонтали Ah соответственно), поскольку по ним будут определены истинные целочисленные адреса четырёх элементов яркости массива N ($av0; av1; ah0; ah1$), необходимые для вычисления значения яркости искомого элемента B_{ij} интерполируемого массива. В (1) $n = \frac{N}{2}$ для центрирования системы координат, а функции

$$\begin{aligned} dh_j &= \frac{N \cdot H}{L} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\varphi - \frac{\theta}{2} + j \cdot d\theta + d\theta \right) - \operatorname{tg} \left(\varphi - \frac{\theta}{2} + j \cdot d\theta \right) \right]; \\ dv_i &= \frac{N \cdot H}{L} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\varphi - \frac{\theta}{2} + i \cdot d\theta + d\theta \right) - \operatorname{tg} \left(\varphi - \frac{\theta}{2} + i \cdot d\theta \right) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

характеризуют межэлементное расстояние в оптическом поле в направлениях координат i (для вертикального расстояния dv) и j (для горизонтального расстояния dh).

H – высота наблюдения;

L – видимая часть наблюдаемой местности в мгновенном поле зрения объектива;

D – расстояние до центра наблюдаемой местности;

$\varphi = \arctg(D/H)$ – угол наклона линии визирования

(тангажа или крена);

γ – угол поворота относительно оптической оси;

θ – угол зрения объектива;

$d\theta = \theta/N$ – элементарный угол зрения (°/пиксель).

Этот подход позволяет рационально использовать ресурсы решающего устройства и придать ему универсальное свойство.

Дробные части функций $Av_{i,j}$ и $Ah_{i,j}$ представляют собой весовые коэффициенты интерполяции следующим образом:

$$qv_{i,j} = \text{mod}(Av_{i,j}, 1); \quad qh_{i,j} = \text{mod}(Ah_{i,j}, 1);$$

$$qv^*_{i,j} = 1 - qv_{i,j}; \quad qh^*_{i,j} = 1 - qh_{i,j};$$
(3)

где qv^* и qh^* – инверсные значения qv и qh соответственно. Здесь 1 – дискретный шаг исходного изображения.

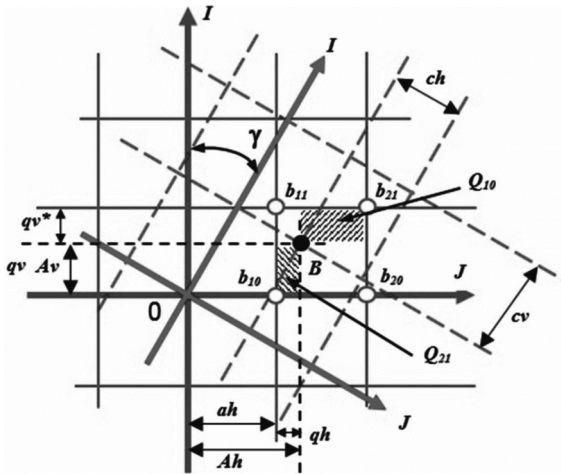


Рис. 7. Иллюстрация процедуры определения весовых коэффициентов

Следует заметить, что при аппаратной реализации алгоритма достаточно иметь значение qv и qh в четыре двоичных разряда после запятой, чтобы получить погрешность воспроизведения изображения в 1/256, что составляет менее 0,4 %.

Таким образом, адреса памяти близлежащих элементов яркости определяют следующим образом:

$$av0_{i,j} = Av_{i,j} - qv_{i,j}; \quad av1_{i,j} = av0_{i,j} + 1;$$

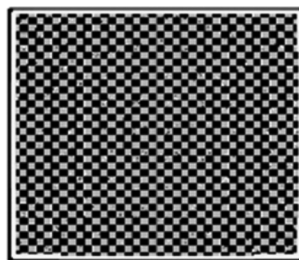
$$ah0_{i,j} = Ah_{i,j} - qh_{i,j}; \quad ah1_{i,j} = ah0_{i,j} + 1.$$
(4)

Далее, по значениям (3) определяют двумерные весовые коэффициенты для каждого элемента яркости:

$$Q00_{i,j} = qv^*_{i,j} \cdot qh^*_{i,j}; \quad Q10_{i,j} = qv_{i,j} \cdot qh^*_{i,j};$$

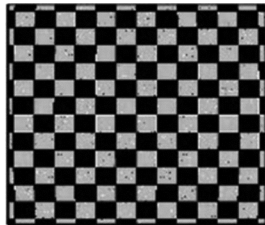
$$Q01_{i,j} = qv^*_{i,j} \cdot qh_{i,j}; \quad Q11_{i,j} = qv_{i,j} \cdot qh_{i,j}.$$
(5)

Геометрическое толкование весового коэффициента Q_{**} в повернутой системе координат на произвольный угол γ можно получить из иллюстрации на рис. 7. В рассматриваемом примере коэффициент Q_{21} определяется площадью малого заштрихованного прямоугольника, занимающего противоположную область от элемента b_{21} , а из (5) qv и qh являются сторонами такого прямоугольника.

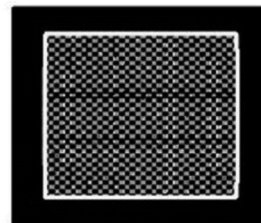


$\gamma = 0 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 0 \cdot \text{deg}$
 $H = 1450$
 $D = 0$
 $\theta = 12 \cdot \text{deg}$

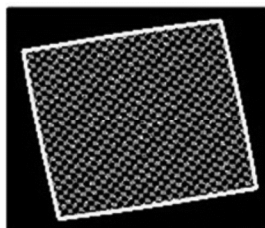
тест-изображение с параметрами модели



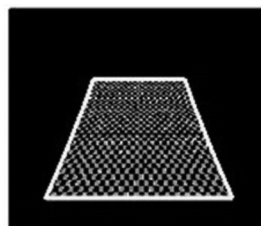
$\gamma = 0 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 0 \cdot \text{deg}$
 $H = 400$
 $D = 0$
 $\theta = 15 \cdot \text{deg}$



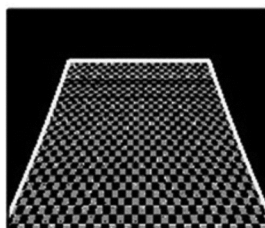
$\gamma = 0 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 0 \cdot \text{deg}$
 $H = 1500$
 $D = 0$
 $\theta = 15 \cdot \text{deg}$



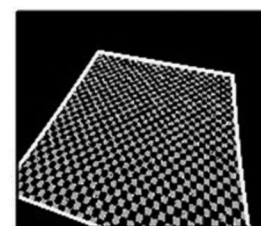
$\gamma = 10 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 0 \cdot \text{deg}$
 $H = 1100$
 $D = 0$
 $\theta = 20 \cdot \text{deg}$



$\gamma = 0 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 69.444 \cdot \text{deg}$
 $H = 300$
 $D = 800$
 $\theta = 15 \cdot \text{deg}$

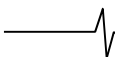


$\gamma = 0 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 69.444 \cdot \text{deg}$
 $H = 300$
 $D = 800$
 $\theta = 10 \cdot \text{deg}$



$\gamma = -15 \cdot \text{deg}$
 $\varphi = 69.444 \cdot \text{deg}$
 $H = 300$
 $D = 800$
 $\theta = 10 \cdot \text{deg}$

Рис. 8. Иллюстрация различных реализации билинейного интерполятора, где γ – угол поворота [град]; φ – угол наклона линии визирования [град]; H – высота наблюдения [м]; D – дальность наблюдения [м]; θ – угол зрения объектива [град]



Здесь функции (2) dv и dh не используются, поэтому эти функции заменены коэффициентами масштабирования cv и ch , которым могут быть присвоены разные значения.

Для получения нормированного значения элемента яркости $B_{i,j}$ сумма весовых коэффициентов должна равняться единице, т.е.

$$\Sigma Q^{**} = 1 \quad (5)$$

Обозначив двумерную функцию яркости через Bn , представляющую исходное изображение, записывают составные части B^{**} нового изображения $B_{i,j}$ следующим образом:

$$\begin{aligned} B00_{i,j} &= Bn_{av0_{i,j}ah0_{i,j}} \cdot Q00_{i,j}; \\ B01_{i,j} &= Bn_{av0_{i,j}ah1_{i,j}} \cdot Q01_{i,j}; \\ B10_{i,j} &= Bn_{av1_{i,j}ah0_{i,j}} \cdot Q10_{i,j}; \\ B11_{i,j} &= Bn_{av1_{i,j}ah1_{i,j}} \cdot Q11_{i,j}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда,

$$B_{i,j} = B00_{i,j} + B01_{i,j} + B10_{i,j} + B11_{i,j}. \quad (7)$$

Процедура определения значения яркости элемента $B_{i,j}$ в соответствии с рис. 7 остаётся неизменной для любого геометрического преобразования, полученного в процессе моделирования.

На рис. 8 приведены примеры использования билинейного интерполятора, демонстрирующие варианты геометрических преобразований.

В качестве исходного изображения используется тест-изображение размером 720 x 720 телевизионных элементов. Видимая рамка обозначает внешние границы тест-изображения.

Заключение

С целью опережения момента обнаружения объекта-ориентира на траектории полёта БПЛА, предложен метод, предусматривающий адаптацию эталонного изображения к текущему изображению, полученному с датчика видеoinформации БПЛА, сопоставляя для этого навигационные данные, вырабатываемые в каждый момент времени в пакете данных БПЛА с соответствующими данными, имеющиеся в пакете данных эталона.

Предложена форма виртуального адреса обращения к памяти решающего устройства и функций межэлементных расстояний, которые содержат информацию, необходимую для реализации любого из рассмотренных геометрических преобразований изображения. Благодаря наглядности этих функций упрощается реализация устройства.

Литература

1. Вилкова Н.Н., Шахрай В.И., Арзуманян Э.П. Система управления беспилотным летательным аппаратом. – Патент РФ на полезную модель № 155323. 2015 г.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с., ил.
3. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учебное пособие: – СПб.: БХВ – Петербург. 2011. – 608 с.: ил.
4. Половко А.М., Бутусов П.Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.: ил.
5. Арзуманян Э.П. Билинейный интерполятор для геометрического преобразования изображений // Техника средств связи. Серия Техника телевидения. М., 2017. – С. 69-81.

Уважаемые авторы!

Редакция научно-технического журнала «Цифровая обработка сигналов» просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- Текст – текстовый редактор Microsoft Word.
- Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.
- Объем статьи до 12 стр. (шрифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.
- Название статьи на русском и английском языках.
- Рукопись статьи сопровождается: краткой аннотацией на русском и английском языках; номером УДК; сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, должность, ученая степень, телефоны, электронная почта); ключевыми словами на русском и английском языках; актом экспертизы (при наличии в вашей организации экспертной комиссии).

2) Требования к иллюстрациям:

- Векторные (схемы, графики) – желательно использование графических редакторов Adobe Illustrator или Corel DRAW.
- Растровые (фотографии, рисунки) – М 1:1, разрешение не менее 300 dpi, формат tiff.