

УДК 629.7.05

Н.Н. ПОНОМАРЕНКО, А.С. КРАВЧУК, А.С. РУБЕЛЬ, О.И. ЕРЕМЕЕВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МЕТОД ОЦЕНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВИДЕОКАДРОВ**

Рассмотрена задача оценивания параметров полета летательного аппарата с использованием последовательности снимков поверхности Земли, полученных с бортовой видеокамеры. Предложен метод оценки векторов движения для последовательных кадров видео, основанный на поиске подобных участков двух изображений и учете их информативности. Для обеспечения приемлемой скорости работы метода предложено использовать быструю кластеризацию по граничному элементу множества. Сформирована тестовая видеопоследовательность для верификации методов оценки величины смещения между кадрами видео. В ходе сравнительного анализа с наиболее известными методами, показано, что предложенный метод обеспечивает одновременно наилучшую точность полученных оценок и наименьшее количество аномальных оценок.

Ключевые слова: анализ изображений, меры подобия изображений, кластеризация, контроль параметров полета беспилотного летательного аппарата

Введение

Постановка проблемы. Использование миниатюрных микромеханических датчиков в инерциально-навигационных системах беспилотных летательных аппаратов (БЛА) требует их комплексирования с внешними измерительными устройствами [1]. Комплексирование заключается в использовании информационной и структурной избыточности для повышения точности, надежности и помехозащитности. Информационная избыточность образуется вследствие поступления однородной информации от нескольких датчиков различной природы с последующей системной обработкой этой информации. В частности происходит комплексирование данных о координатах БЛА, поступающие от системы GPS, с данными оптических систем навигации [2-4]. При этом по соседним кадрам видео могут вычисляться (оцениваться) смещения по координатам X и Y, поворот и ряд других параметров [5-7]. Оценка межкадровых смещений в видео связана с рядом проблем, таких как, наличие внутрикадровых искажений (например, размытие быстро движущихся объектов в направлении движения), необходимость анализа очень большого объема данных и др.

Анализ литературы. Задаче оценки смещения между кадрами видео в научной литературе традиционно уделяется повышенное внимание. В сжатии видео она носит название “компенсация движения”. Те методы сжатия видео, которые используют компенсацию движения, обеспечивают в среднем в полтора-два раза более высокую степень сжатия, чем методы, в которых каждый кадр сжимается независимо от остальных (такие, как Motion JPEG [8]). Ме-

тоды оценки величины смещения между кадрами, которые используются при сжатии видео, могут использоваться и в системе управления БЛА, однако они обладают рядом недостатков. Во-первых, эти методы разрабатываются для относительно небольших смещений. Во-вторых, в случае, когда такой метод оказывается неработоспособным, кодек сжатия видео просто переключается с межкадрового кодирования на внутрикадровое [9]. В случае же системы навигации желательно, чтобы метод сохранял работоспособность при любых смещениях.

В последнее время предложен ряд новых методов для оценки больших смещений между кадрами в условиях наличия на этих кадрах больших искажений. Среди таких методов можно отметить метод SURF [10], методы, основанные на корреляционном анализе [3, 11], методы, основанные на сопоставлении с шаблоном [12].

Однако, большинство этих методов основываются на тех или иных эвристиках и нуждаются в дополнительном исследовании.

Цель исследования. В данной работе предлагается новый метод оценки векторов движения по соседним кадрам видео, основанный на быстрой кластеризации множества блоков изображений. Осуществляется анализ эффективности предложенного метода и других наиболее известных методов.

1. Описание предлагаемого метода

Пусть даны два кадра видеопоследовательности (рис. 1) и требуется оценить смещение по координатам X и Y кадра на рис. 1, б по отношению к кадру на рис. 1, а.



а



б

Рис. 1. Два последовательных кадра видеопоследовательности: а – изображение А, б – изображение В

Кадры на рис. 1 представлены в формате 24 бит на пиксель (по 8 бит на красную, зеленую и синюю цветовые составляющие).

Предлагаемый метод основывается на кластеризации по граничному элементу множества [13]. Оба изображения разбиваются на блоки 9x9 пикселей с полным перекрытием (со сдвигом на один пиксель). При размерах изображения $N \times M$ пикселей в нем содержится $(N-4) \times (M-4)$ таких блоков.

Предварительно блоки преобразуются в одномерные векторы, с размерностью 243 (9 x 9 пикселей, по 3 цветовые компоненты каждый). Изображение А разбивается на кластеры согласно [13], причем кластеризация прекращается, когда в каждом кластере содержится не более K блоков. Рекомендуемым здесь значением является $K=64$ (в данном случае время, затрачиваемое на кластеризацию и время, затрачиваемое на поиск подобных блоков, являются примерно равными). Сложность кластеризации при этом не превышает $O(N \cdot M \cdot \log_2(N \cdot M))$.

Для вычисления расстояния между блоками (вычисление расстояния между блоками требуется при кластеризации) используется выражение:

$$\text{Dist}(V, Q) = \frac{1}{243} \sum_{i=1}^{125} (V_i - Q_i)^2, \quad (1)$$

где V, Q - блоки, между которыми вычисляется расстояние, преобразованные в одномерные вектора.

Далее для каждого блока V изображения В находится соответствующий ему кластер (не более $\log_2(N \cdot M)$ операций сравнения блоков). Внутри этого кластера находится наиболее похожий на него блок S изображения А (не более K операций). Если выполнять эту процедуру для всех возможных блоков изображения В, то суммарное число операций сравнения блоков не превысит

$$(N-4) \cdot (M-4) \cdot (\log_2(N \cdot M) + K).$$

После того, как для какого-то блока V найден наиболее похожий на него блок S , можно вычислить вектор смещения между ними и взять его в качестве элементарной оценки вектора смещения между кадрами А и В. Накопив достаточно большое значение таких элементарных оценок, можно их усреднить, либо взять медиану, получив, таким образом, статистически достоверную оценку вектора смещения между кадрами. Однако разные пары блоков V и S обеспечивают разную достоверность получаемых элементарных оценок, что необходимо тоже как-то учесть. Действительно, если блок V очень не похож на блок S , то смещение между этими блоками может быть мало связано со смещением между кадрами. И, наоборот, если блоки V и S отличаются мало, то вероятность того, что смещение между ними соответствует смещению между кадрами, более высока.

Для оценки достоверности получаемых оценок можно воспользоваться подходом, описанным в [14]. Согласно этому подходу информативность пары блоков V и S определяется, как

$$\text{Inf}(V, S) = \max(0, (\sigma_V^2 + \sigma_S^2) / 2 - T \cdot \text{Dist}(V, S)), \quad (2)$$

где σ_V^2 - дисперсия значений пикселей в блоке V , σ_S^2 - дисперсия значений пикселей в блоке S , T - весовой коэффициент, рекомендуемое значение которого равняется 2,25 [14].

Оценка информативности $\text{Inf}(V, S)$ может быть преобразована в вес оценки $W(V, S)$ в соответствии со следующим выражением:

$$W(V, S) = \max(1, [10 \cdot \sqrt{\text{Inf}(V, S)}]), \quad (3)$$

где $[x]$ означает округление x , 1 - минимальный вес пары блоков V и S .

Полученная в соответствии с (3) карта весов пар блоков для кадров, приведенных на рис. 1, показана на рис. 2. Видно, что наибольшие веса имеют блоки изображения, приходящиеся на контрастные границы объектов.

Далее отдельно для координаты X и координаты Y строятся гистограммы распределения значений полученных элементарных оценок смещений.



Рис. 2. Карта весов оценок векторов смещений для пары кадров, представленных на рис. 1 (более яркие пиксели соответствуют большим весам)

При этом каждая элементарная оценка для блоков V и S повторяется $W(V,S)$ число раз. Гистограммы для кадров на рис. 1 приведены на рис. 3.

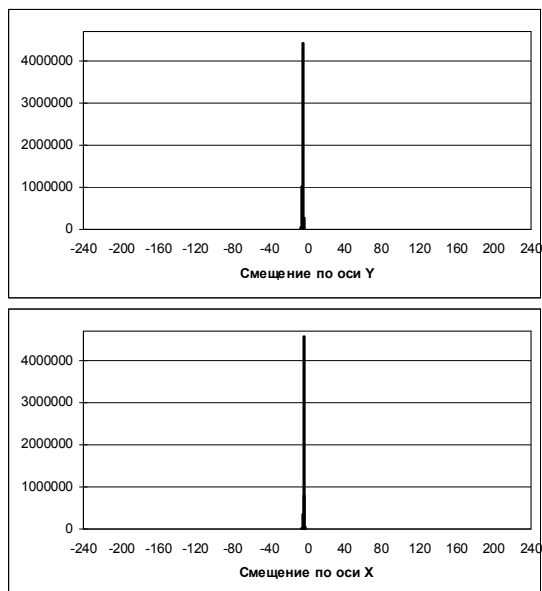


Рис. 3. Гистограммы распределения элементарных оценок: смещений по оси Y (гистограмма выше) и смещений по оси X (гистограмма ниже)

Сплошная серая линия посередине гистограммы соответствует нулевому смещению, цена деления соответствует смещению в 10 пикселей.

Максимум гистограммы соответствует наиболее достоверной оценке смещения. В данном случае это смещение -5 пикселей по оси Y и -4 пикселя по оси X . Более точную оценку Z_n можно получить, усреднив максимальный пик и два соседних с ним пика гистограммы в соответствии с выражением:

$$Z_n = \frac{H_m m + H_{m-1}(m-1) + H_{m+1}(m+1)}{H_m + H_{m-1} + H_{m+1}}, \quad (4)$$

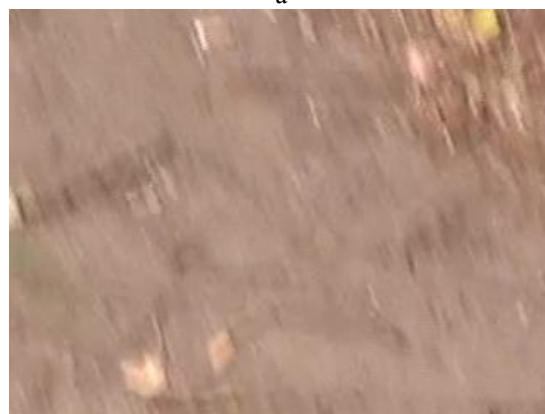
где H_m - значение гистограммы с индексом m , m - индекс максимального пика гистограммы.

Уточненная в соответствии с (4) оценка смещения между кадрами на рис. 1 составит: -5,11 пикселя по координате Y и -3,94 пикселя по координате X .

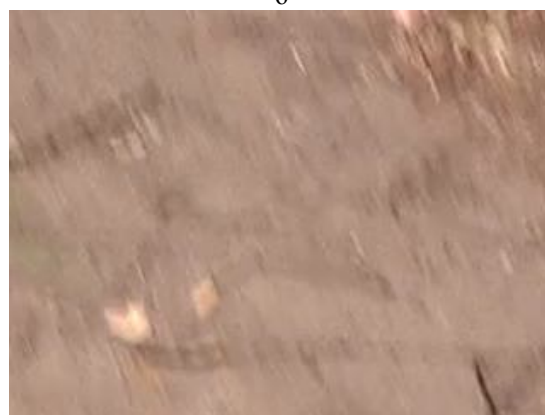
Описанный выше метод оценки вектора смещения между кадрами будет эффективным в случае наличия на обоих изображениях похожих по форме объектов с контрастными границами. Но практические ситуации далеко не всегда соответствуют этому требованию. На рис. 4 показаны три кадра в момент ускорения движения камеры.



а



б



в

Рис. 4. Три кадра в момент ускорения движения камеры: а – небольшая скорость, б – большая скорость, в – продолжающаяся большая скорость

Во-первых, при ускорении движения камеры, падает четкость изображения. Во-вторых, и это главное, объекты вытягиваются по направлению движения, что в той или иной мере характерно для всех видеокамер. На рис. 5 приведены гистограммы распределения элементарных оценок смещений для кадров на рис. 4.

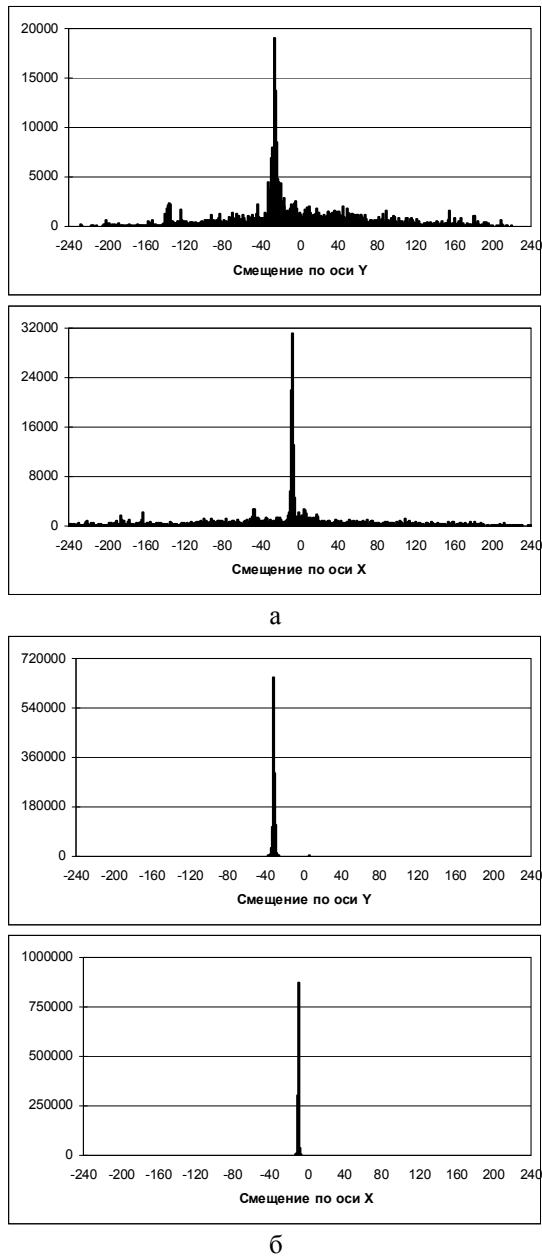


Рис. 5. Гистограммы оценок смещений:
а – между кадрами на рис. 4, а и рис. 4, б,
б – между кадрами на рис. 4, б и рис. 4, в

Видно, что метод является работоспособным и для больших скоростей движения при постоянном смазе (рис. 5, б). В этом случае гистограммы имеют единственный четко выраженный максимум. Проблемы возникают при резком изменении скорости (с низкой на высокую и наоборот). При этом изменя-

ются размеры объектов, что может приводить, в частности, к появлению ложных максимумов (верхняя гистограмма на рис. 5, а), и, в общем, к утяжелению хвостов гистограмм.



Рис. 6. Пара кадров с резким изменением скорости движения камеры

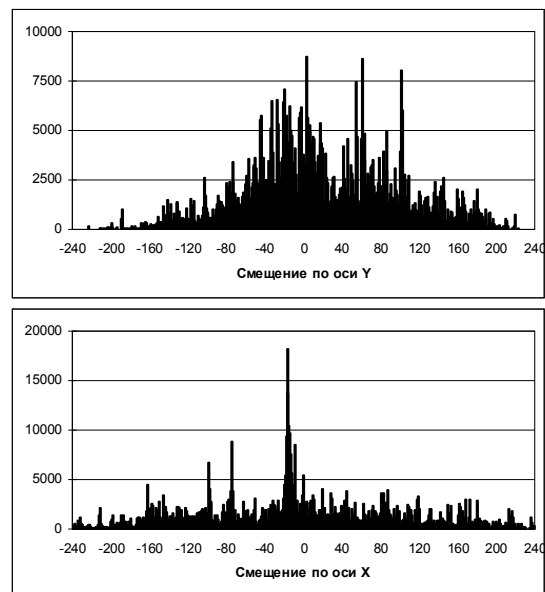


Рис. 7. На верхней гистограмме распределения оценок смещений (смещения по координате Y) нет ярко выраженного главного максимума

Случай пары кадров рис. 4, а и 4, б является сложным для предложенного метода, но он еще сохраняет работоспособность. На рис. 6 приведена пара кадров, для которой этот метод не работоспособен. На полученной для этой пары кадров гистограмме распределения оценок смещений (рис. 7) нет ярко выраженного главного максимума.

В данном случае описанный выше метод дает очень большую ошибку оценку смещения по координате Y: 15,01 пикселя, в то время как реальное смещение составляет -29,71 пикселя.

Очевидно, что в данном случае следует пожертвовать точностью оценки в угоду более высокой устойчивости метода, перейдя от блоков 5x5 пикселей к блокам большего размера. На рис. 8 приведена гистограмма распределения оценок смещений для пары кадров на рис. 6 при использовании блоков 21x21 пиксель.

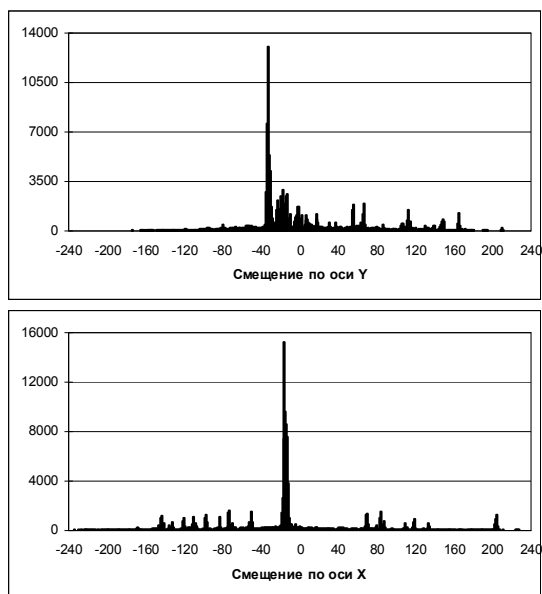


Рис. 8. Гистограммы распределения оценок смещений пары кадров на рис. 6 при использовании блоков 21x21 пиксель

Как, видно, теперь у распределения оценок смещений по координате Y появился ярко выраженный максимум, и хвосты гистограммы стали более легкими. Результирующая оценка смещения по координате Y (-33,25 пикселя) в данном случае по-прежнему отличается от реального смещения (-29,71 пикселя), но уже всего лишь на 12%, что можно считать приемлемым результатом в такой сложной ситуации.

Очевидно, должен быть предусмотрен механизм автоматического переключения метода между блоками разного размера, позволяющий ему сохранять работоспособность в как можно большем числе случаев. Опишем здесь один из возможных вариантов такого переключения.

Найдем минимальный индекс \min , для которого выполняется условие $N_{\min} > N_n/2$, и максимальный индекс \max , для которого выполняется условие $N_{\max} > N_n/2$. Будем считать, что полученная оценка смещения между кадрами является недостоверной и необходимо переключение на блоки большего размера, если $(\max - \min) > 25$. Здесь 25 - экспериментально подобранный порог, обеспечивающий приемлемое соотношение скорости обработки изображений и точности оценок смещений между кадрами. В данной работе осуществляется переключение только с блоков 9x9 пикселей на блоки 21x21 пиксель, но, при необходимости, рекурсивно применяя это правило, можно переключаться и с блоков 21x21 пиксель на блоки большего размера.

2. Методика проведения экспериментальных исследований

Видеокамерой Canon HG10 в режиме максимального качества и с максимальным (десятикратным) оптическим приближением с высоты примерно 30 метров было отснято видеоизображение земной поверхности. Был выбран фрагмент видео из 104 кадров, причем из каждого кадра размером 1920x1080 пикселей была вырезана центральная часть 320x240 пикселей (такой размер соответствует недорогой бортовой видеокамере). Полученная тестовая последовательность кадров была сохранена в формате BMP (24 бита на пиксель) и использовалась для дальнейшего анализа.

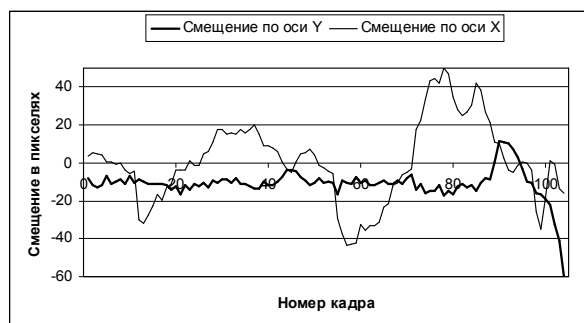


Рис. 9. Реальные значения смещений между кадрами тестовой видеопоследовательности

Квалифицированный оператор визуально по реперным точкам оценил смещение между каждой парой соседних кадров. На рис. 9 приведены полученные кривые скорости движения камеры в пикселях по координатам X и Y.

Полученная тестовая последовательность и реальные значения смещений между кадрами были использованы для сравнительного анализа методов оценки смещений между кадрами. Во-первых, для каждого верифицируемого метода вычислялось среднее квадратичное ошибки оценки смещений:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (Zn_i - Et_i)^2} . \quad (5)$$

Следует отметить, что скорость и направление полета БЛА не являются случайными, что позволяет применять фильтрацию для отсеивания аномальных оценок этих параметров. В данной работе подсчитывалось число таких аномальных оценок Ka :

$$Ka = \sum_{i=1}^{200} \delta_i, \quad \delta_i = \begin{cases} 0, & |Zn_i - Et_i| \leq \max(5, 0,2|Et_i|), \\ 1, & |Zn_i - Et_i| > \max(5, 0,2|Et_i|), \end{cases} \quad (6)$$

где 200 - суммарное число оценок по координатам X и Y (число пар кадров в тестовой выборке равно 100), Zn_i - полученная оценка смещения, Et_i - эталонное значение смещения, 0,2 - порог точности оценки смещения, соответствующий 20% от его истинного значения, 5 - стабилизирующий порог.

Для всех оценок, кроме аномальных, вычислялась среднеквадратичное среднее ошибки оценки смещений:

$$Er = \sqrt{\text{Popr} \sum_{i=1}^{200} (1 - \delta_i)(Zn_i - Et_i)^2} , \quad (7)$$

где $\text{Popr} = 1/(200-Ka)$. Значение Er характеризует погрешность метода оценки смещений при условии идеально точного отсеивания аномальных оценок.

Так как истинные смещения для данной тестовой последовательности варьируются в достаточно широком диапазоне, интересным представляется вычисление еще и среднеквадратичной относительной ошибки оценки смещений:

$$\text{Rel} = \sqrt{\text{Popr} \sum_{i=1}^{200} (1 - \delta_i) \left(\frac{|Zn_i - Et_i|}{\max(2, |Et_i|)} \right)^2} , \quad (8)$$

где 2 - стабилизирующий порог, помогающий избежать аномально больших значений относительной ошибки для малых $|Et_i|$.

И, наконец, для каждого метода вычислялся средняя скорость движения камеры в пикселях:

$$V = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} (Zx_i - Zy_i)^2 , \quad (9)$$

где Zx_i - оценка смещения по координате x, Zy_i - оценка смещения по координате y.

Знание средней скорости V наряду с ее истинным значением V_{et} может быть полезным для настройки параметров того или иного метода, позволяя получить представление о смещенности полученных оценок.

3. Сравнительный анализ методов оценки смещений между кадрами

Проведем сравнительный анализ четырех методов оценки смещения между кадрами видео. Первым из них будет предложенный в данной работе метод, основанный на граничной кластеризации (ГК). Следующим будет метод SURF [10]. Далее, оценим эффективность метода, основанного на корреляционном анализе (КА). Для этого метода возьмем по фрагменту размером 64x64 пикселя в каждом из четырех углов изображения B и найдем для каждого из них смещение по отношению к предыдущему кадру A , обеспечивающее максимально достижимое значение корреляции Пирсона. За результирующее смещение будем брать смещение для фрагмента с наибольшим найденным значением коэффициента корреляции. И, наконец, последним анализируемым методом будет Template Matcher (TM) [12].

В табл. 1 приведены основные характеристики точности методов, полученные для описанной выше тестовой видеопоследовательности.

Таблица 1

Характеристики точности сравниваемых методов

V_{et}	Метод	V	Ka	$Ka, \%$	Er	Rel	RMSE
20,79	ГК	20,79	0	0	0,78	0,081	0,78
	SURF	19,96	11	5,5	0,92	0,106	4,23
	КА	20,60	1	0,5	0,90	0,094	1,38
	TM	18,66	12	6,0	1,44	0,121	3,55

Как видно, предложенный метод ГК обеспечивает наивысшую точность оценок: наименьшие значения ошибок Er , Rel и RMSE, отсутствие аномальных оценок и несмещенное по отношению к V_{et} значение V . Чуть меньшую точность обеспечивает метод КА. Несмотря на то, что для него присутствует одна аномальная ошибка, его точность также можно считать очень высокой. Оценки, получаемые методами SURF и TM можно считать приемлемыми. В то же время число аномальных ошибок для них достаточно велико, а RMSE в несколько раз выше, чем для методов ГК и КА. К тому же для методов SURF и TM наблюдается смещенность в сторону уменьшения значения V по отношению к V_{et} , хотя она и не очень существенна.

Посмотрим, что будет в случае, если среднюю скорость движения камеры увеличить в 2 раза. Для моделирования этой ситуации будем оценивать смещения между 1-м и 3-м кадрами тестовой видеопоследовательности, между 2-м и 4-м кадрами, 3-м и 5-м кадрами и так далее (см. табл. 2).

Таблица 2
Ускоренное в 2 раза движение камеры

V_{et}	Метод	V	Ka	Ka,%	Er	Rel	RMSE
41,38	ГК	41,34	0	0	1,42	0,060	1,42
	SURF	37,42	28	14	1,34	0,061	11,24
	КА	41,05	0	0	1,43	0,073	1,43
	ТМ	29,20	58	29	1,67	0,090	22,75

Как видно из данных табл. 2, методы ГК и КА по-прежнему сохраняют работоспособность, обеспечивая высокую точность и несмещенность оценок. При этом у метода ГК существенно меньше относительная ошибка Rel. Ошибка RMSE, как и число аномальных ошибок для метода SURF в данной ситуации уже слишком велики, чтобы считать их приемлемыми. А вот метод ТМ уже полностью неработоспособен. Ошибка RMSE для него выше аналогичной ошибки для ГК более, чем в 15 раз, число аномальных ошибок приближается к 30%, получаемые оценки являются сильно заниженными по модулю (V отличается от V_{et} более, чем на 25%).

В табл. 3 приведены данные для ускорения движения камеры в 3 раза.

Таблица 3
Ускоренное в 3 раза движение камеры

V_{et}	Метод	V	Ka	Ka,%	Er	Rel	RMSE
61,57	ГК	61,55	1	0,5	1,49	0,108	6,15
	SURF	48,93	60	30	2,54	0,118	24,36
	КА	60,81	7	3,5	2,41	0,135	28,22
	ТМ	35,33	87	43,5	1,98	0,161	37,73

Как видно, в этой ситуации метод ГК сохраняет приемлемую точность полученных оценок. Имеется всего одна аномальная оценка, смещенность оценок практически отсутствует, RMSE на уровне 10% от средней скорости, а Er - всего 2,5% от средней скорости. Методы SURF и ТМ в этой ситуации полностью неработоспособны. Метод КА, который при в 1,5 раза меньших скоростях еще сохранял хорошую точность и был сравнимым с методом ГК, в данной ситуации уже теряет свою работоспособность. У него уже 7 аномальных ошибок, RMSE в 4,5 раза превышает RMSE для метода ГК, а Er в два раза превышает Er для ГК.

В табл. 4 приведены данные для ускорения движения камеры в 5 раз.

Таблица 4
Ускоренное в 5 раз движение камеры

V_{et}	Метод	V	Ka	Ka,%	Er	Rel	RMSE
102,3	ГК	100,4	23	11,5	3,23	0,134	53,93
	SURF	54,48	90	45	3,10	0,170	64,38
	КА	104,9	42	21	3,61	0,166	105,60
	ТМ	35,87	144	72	4,09	0,266	72,49

В данной ситуации уже ни один из методов не обеспечивает приемлемой точности оценок. В то же время следует отметить, что методы ГК и КА сохраняют несмещенность оценок, а метод ГК сохраняет лидирующие позиции по всем показателям. Для него примерно в 2 раза меньше аномальных ошибок, чем для метода КА, примерно в 2 раз меньше RMSE, меньше ошибка Rel.

4. Рекомендации по выбору видеокамеры для системы оптической навигации

Аномальные ошибки для методов оценки смещений ГК и КА в проведенных исследованиях возникали в ситуациях резкой смены скорости движения видеокамеры. Основной причиной аномальных ошибок в данном случае является изменение протяженности объектов вдоль направления движения. А это в свою очередь связано с особенностью формирования изображения на матрице видеокамеры.

Каждый элемент матрицы представляет собой светочувствительный элемент, регистрирующий количество попадающих на него фотонов света. На любом сформированном цифровой камерой изображении присутствует шум, так как фотоны света попадают на матрицу нерегулярно в соответствии с Пуассоновским законом распределения [15]. При слишком малом времени регистрации кадра или недостаточном освещении на матрице, выходной сигнал (изображение) приходится усиливать (умножать на коэффициент, больший единицы). При этом дисперсия шума возрастает пропорционально квадрату коэффициента усиления. Шум можно уменьшить, увеличив время регистрации кадра. При этом пропорционально времени регистрации изображения увеличивается его динамический диапазон. При достаточно большом времени регистрации становится возможным ослаблять сигнал (использовать коэффициент усиления, меньше единицы) и, уменьшив, таким образом, дисперсию шума. Однако, если скорость движения объектов на изображении (или движения камеры относительно неподвижных объектов) достаточно велика и смещения сравнимы с размером пикселей матрицы, то одни и те же объекты начинают регистрироваться разными (соседними) элементами матрицы, что приводит к размыванию объектов вдоль направления движения. Так, для цифровых фотоаппаратов известно, что смаз вследствие дрожания рук при съемке проявляется при времени формирования кадров, начиная с 1/40 секунды и выше. Для задачи оценки смещений по видеопоследовательностям очевидно, что максимально возможная величина аномальных ошибок оценки смещений между кадрами будет прямо пропорциональна времени регистрации одного кадра.

Таким образом, необходимо найти компромисс между четким изображением с высоким уровнем шума и размытым изображением с низким уровнем шума. Для этого нужно оценить, насколько присутствие шума на изображениях понижает точность методов оценки смещений между кадрами.

Для простоты будем считать шум на кадрах видеопоследовательности Гауссовским аддитивным [15]. Искажим каждый кадр тестовой видеопоследовательности таким шумом с заданной дисперсией и оценим для метода ГК ошибку RMSE. На рис. 10 приведена зависимость RMSE от σ шума.

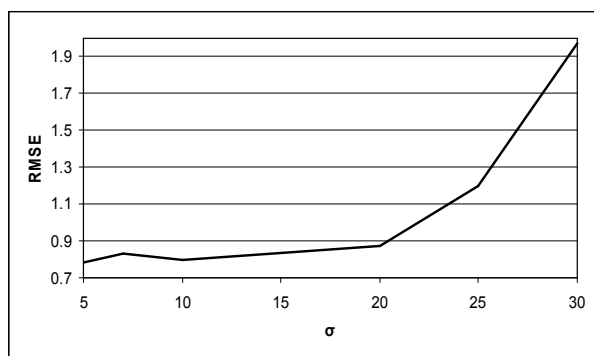


Рис. 10. Зависимость RMSE для метода ГК от σ белого Гауссовского аддитивного шума

Как видно, при σ шума в диапазоне от 5 до 20, шум вообще никак не сказывается на точности оценки смещения между кадрами. Только при $\sigma=30$ (это соответствует дисперсии 900) RMSE начинает резко возрастать, однако по-прежнему остается в приемлемых пределах.

Полученные результаты позволяют сделать однозначный вывод. Методы оценки смещения между кадрами намного более устойчивы к присутствию на видео шума, чем к наличию размытия объектов вследствие быстрого движения. Поэтому для установки на БЛА необходимо выбирать видеокамеру, позволяющую формировать видеопоследовательность с как можно меньшим временем регистрации каждого кадра.

Заключение

В работе предложен новый эффективный метод оценки горизонтальной скорости полета БЛА по последовательности видеокадров, снятых бортовой видеокамерой. Предложенный метод основывается на граничной кластеризации и для большинства практических ситуаций обеспечивает отсутствие смещенности оценок, отсутствие аномальных оценок (отклонений от истинных значений более, чем на 20%) и относительную ошибку оценки смещений Rel не более 0,1. Показано, что методы оценки сме-

щения между кадрами намного более устойчивы к присутствию на видео шума, чем к наличию размытия объектов вследствие быстрого движения.

Литература

1. *Integrated mini INS/GPS/Optical camera for UAV control [Text]* / V. Kortunov, I. Dybska, G. Proskura, A. Kravchuk // *Symposium gyro technology 2008. – Karlsruhe, Germany, 16-17 September, 2008. – P. 12.1-12.8.*
2. *Bonin-Font, F. Visual Navigation for Mobile Robots: A Survey [Text]* / F. Bonin-Font, A. Ortiz, G. Oliver // *J. Intell. Robotics Syst. – Hingham, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2008. – V. 53. – P. 263-296.*
3. Красовский, А.А. *Теория корреляционно-экстремальных систем навигации [Текст]* / А.А. Красовский, И.Н. Белоглазов, Г.П. Чугин. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
4. *Desouza, G.N. Vision for mobile robot navigation: A survey [Text]* / G.N. Desouza, A.C. Kak // *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – Vol. 24, Is. 2. – P. 237-267.*
5. Ташлинский, А.Г. *Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений [Текст]* / А.Г. Ташлинский. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 132 с.
6. *Методы оценки параметров пространственных деформаций изображений в задачах дистанционного зондирования Земли [Текст]* / В.И. Кортунов, А.С. Кравчук, В.В. Бондарь, А.А. Акулиничев // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 1. – С. 60-66.*
7. Солдатов, С.А. *Быстрое и надежное определение глобального движения в видеопоследовательностях [Текст]* / С.А. Солдатов, К.Н. Стрельников, Д.С. Ватолин // *Труды конференции Graphicon-2006. – Новосибирск, 1-5 июля 2006. – С. 430-437.*
8. *Motion JPEG - Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_JPEG. – 23.12.11 г.*
9. Ричардсон, Я. *Видеокodирование. H.264 и MPEG-4 - стандарты нового поколения [Текст]* / Я. Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
10. Bay, H. *Surf: Speeded up robust features [Text]* / H. Bay, T. Tuytelaars, L.V. Gool // *In Proc. ECCV 2006. – Graz, 7-13 May 2006. – P. 124-128.*
11. Бочкарев, А.М. *Корреляционно-экстремальные системы навигации [Текст]* / А.М. Бочкарев // *Зарубежная радиоэлектроника. – 1981. – Т. 9. – С. 28-53.*
12. Brunelli, R. *Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice [Text]* / R. Brunelli. – Chichester, UK: Wiley, 2009. – 338 p.
13. Пономаренко, Н.Н. *Быстрая кластеризация в многомерном пространстве для задач поиска подобия [Текст]* / Н.Н. Пономаренко // *Системы*

обробки інформації: зб. наук. пр. Харків. ун-та Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Вып. 2(76). – 2009. – С. 79-82.

14. Еремеев, О.И. Мера информативности участков изображений [Текст] / О.И. Еремеев, Н.Н. Пономаренко // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2008. – № 6 (53). – С. 105-108.

15. Color image lossy compression based on blind evaluation and prediction of noise characteristics [Text] / N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin, K. Egiazarian, L. Lepisto // *Proceedings of SPIE Conference Image Processing: Algorithms and Systems IX*. – San Francisco, USA, 24-25 Jan. 2011. – Vol. 7870. – 12 p.

Поступила в редакцію 10.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедри «Проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов» Э.Н. Хомяков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

МЕТОД ОЦІНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ПО ПОСЛІДОВНОСТІ ВІДЕОКАДРІВ

М.М. Пономаренко, О.С. Кравчук, О.С. Рубель, О.І. Еремеев

Розглянуто задачу оцінювання швидкості польоту літального апарату з застосуванням послідовності знімків поверхні Землі, які отримані з бортової відеокамери. Запропоновано метод оцінки зсуву по координатам X та Y для сусідніх кадрів відео, що заснований на пошуку подібних ділянок двох зображень та врахуванню їх інформативності. Для забезпечення задовільної швидкодії метода запропоновано застосовувати швидку кластеризацію по граничному елементу множини. Сформовано тестову відеопослідовність для верифікації методів оцінки величини зсуву між кадрами відео. Упродовж порівняльного аналізу з найбільш відомими методами, показано, що запропонований метод забезпечує водночас найкращу точність отриманих оцінок та найменшу кількість аномальних оцінок.

Ключові слова: аналіз зображень, міри подібності зображень, кластеризація, оптична навігація.

METHOD OF ESTIMATING OF UAV FLIGHT HORIZONTAL VELOCITY USING VIDEO SEQUENCES

N.N. Ponomarenko, A.S. Kravchuk, A.S. Rubel, O.I. Eremeev

The task of estimating the UAV flight velocity using video sequences obtained from on-board video camera is considered. A method for estimating the displacement of X and Y coordinates for adjacent video frames based on finding of similar blocks of the two frames and taking into account their informativity is proposed. It is proposed to provide an acceptable speed of the method to use fast edge clustering. A test video sequence for verification of methods of motion estimation is formed. In a comparative analysis with the most well-known methods, it is shown that the proposed method provides both the best accuracy of the estimates and the smallest number of abnormal estimates.

Key words: image analysis, image similarity measures, clustering, optical navigation.

Пономаренко Николай Николаевич - канд. техн. наук, доц., докторант кафедри "Прием, передача и обработка сигналов" Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: nikolay@ponomarenko.info.

Кравчук Александр Сергеевич - старший преподаватель кафедры "Прием, передача и обработка сигналов" Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: as_kravchuk@mail.ru.

Рубель Алексей Сергеевич - магистрант кафедры "Прием, передача и обработка сигналов" Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: leharubel@mail.ru.

Еремеев Олег Игоревич - аспирант кафедры "Прием, передача и обработка сигналов" Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: ol.eremeev@mail.ru.