



Рисунок 3 – Схема мультиспектрального последовательного сканирования

На поверхности Земли захватывается полоса шириной 185 км. Съёмка проводится в четырех спектральных диапазонах, мкм: I. 0,50–0,60 (зеленый); II. 0,60–0,70 (красный); III. 0,70–0,80 (ближний инфракрасный); IV. 0,80–1,10 (ближний инфракрасный). Разрешение на местности при этом составляет 80 м для оптического диапазона и 240 м для инфракрасного диапазона. Масштаб изображения (приведенный) – 1:400000.

Тематический картограф (Thematic Mapper, TM) разрабатывался в рамках программы Landsat искусственных спутников Земли с 1999 года по настоящее время. Ширина полосы захвата изображения на местности аналогична MSS и составляет 185 км. Сканирование осуществляется в семи спектральных зонах, мкм: I. 0,45–0,52 (синий); II. 0,52–0,60 (зеленый); III. 0,63–0,69 (красный); IV. 0,76–0,90 (ближний инфракрасный); V. 1,55–1,75 (инфракрасный); VI. 2,08–2,35 (инфракрасный); VII. 10,4–12,4 (тепловой). Пространственное разрешение на местности для первых пяти и седьмого каналов составляет 30 м и 120 м для шестого канала. Масштаб изображения (приведенный) – 1:150000 (для шестого канала – 1:600).

УДК 681.723.078, 681.775.078, 681.777.078

ТОЧНОСТЬ КРОСКОРЕЛЯЦИОННОГО АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

Старосотников Н.О.^{1,2}, Фёдорцев Р.В.¹

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

² ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

В основе математической обработки данных автоколлиматоров, звёздных датчиков, датчиков Шака-Гартмана, схем геометрической калибровки оптико-электронных приборов, различных следящих систем лежит определение координат изображения, спроецированного на фотоприёмник оптико-электронного прибора. При наличии на фотоприёмнике некоего паразитного изобра-

Китайская корпорация Great Wall Industry 9 октября 2017 года осуществила вывод на орбиту второго венесуэльского спутника для ДЗЗ – VRSS-2 (рис. 4). Космическую программу профинансировало Венесуэльское правительство в поисках решений многих социальных, политических, экономических и экологических проблем страны.

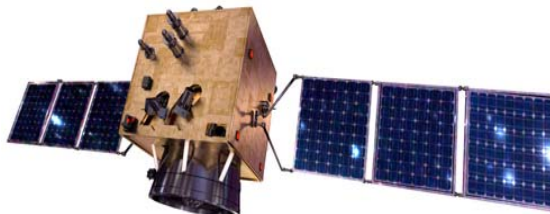


Рисунок 4 – Спутник VRSS-2 (Венесуэла)

VRSS-2 основан на платформе CAST-2000 и имеет два инструмента в качестве полезной нагрузки. Камера PMC (PAN и мультиспектральная камера) способна захватывать мультиспектральные изображения (RGB, NIR) с разрешением 4 метра и панорамические изображения с разрешением один метр. Ширина развертки PMC составляет 57 километров. Камера WMC (Wide Swath Multispectral Camera) имеет четыре полосы спектра, две в коротковолновом инфракрасном (SWIR) с разрешением 30 метров и два в инфракрасном диапазоне с разрешением 60 метров с шириной развертки 370 километров. Спутник находится на низкоземной орбите: 634,6 км (перигей) и 663,7 км (апогей) с периодом обращения 97,6.

Литература

1. World Oil Outlook 2040. Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC), 2018. – 412 p. <https://woo.opec.org/>
2. Гарбук С.В., Гершензон В.Е., Космические системы дистанционного зондирования земли. М : А и Б, 1997. – 296 с.
3. RBV. Sensor Description. Sensor Performance, Products and Algorithms (SPPA). ESA Responsible Ferran Gascon. 19.05.2015. <https://earth.esa.int/>

жения обычные методы определения координат изображения, спроецированного оптической системой измерительного прибора не будут работать [1, 2]. В таком случае, при наличии паразитного изображения, можно использовать кросскорреляционный алгоритм [3, 4]. Суть данной работы заключается в оценке точности кросскорреляционного алгоритма.

Моделирование изображения. В основе исследований заложена математическая модель распространённой схемы контроля, которая описана в работе [1], с параметрами, описанными в работе [2]. Смоделированный тест-объект проецируется объективом коллиматора в оптико-электронный прибор, объектив которого формирует изображение на фотоприёмнике. В модели данные явления математически описаны операцией свёртки функции, задающей рисунок тест-объекта, и функции рассеяния точки объектива с наименьшим диаметром функции рассеяния точки. В модели учитывались следующие шумы, характерные для современных промышленных цифровых камер: дробовый полезного сигнала (фотонный) и дробовый темного сигнала, считывания и пространственная неоднородность элементов фотоприёмника. Для снижения влияния шумов применялся фильтр Винера, а также вводился порог, значения яркости ниже которого принимались равными нулю. Данные меры повышают точность расчёта центра тест-объекта.

Формирование шаблона осуществлялось по серии из 100 изображений. Изображения отличались наличием шумов случайного характера. Шаблон формировался путём усреднения значе-

ний интенсивности в каждом пикселе. Таким образом, формировался шаблон, с минимизированным влиянием на него шумов.

Выполнялось смещение изображения тест-объекта относительно матричной структуры фотоприёмника. Из-за дискретности фотоприёмника и шумов расчёт смещения не соответствовал заданному смещению. Данная погрешность определяет точность кросскорреляционного алгоритма определения центра изображения. Погрешность является периодической и систематической. Максимум погрешности приходится на 0,5 пикселя смещения изображения тест-объекта относительно матричной структуры фотоприёмника, минимум – на 0 и 1 пикселя. Однако, погрешность также носит случайный характер, поскольку неизвестно первоначальное расположение изображения тест-объекта относительно матричной структуры фотоприёмника, и кроме как при математическом моделировании, невозможно предварительно её исключить, поэтому стоит задача в её исследовании, поиске оптимального размера диаметра тест-объекта, других способов математической обработки для уменьшения погрешности.

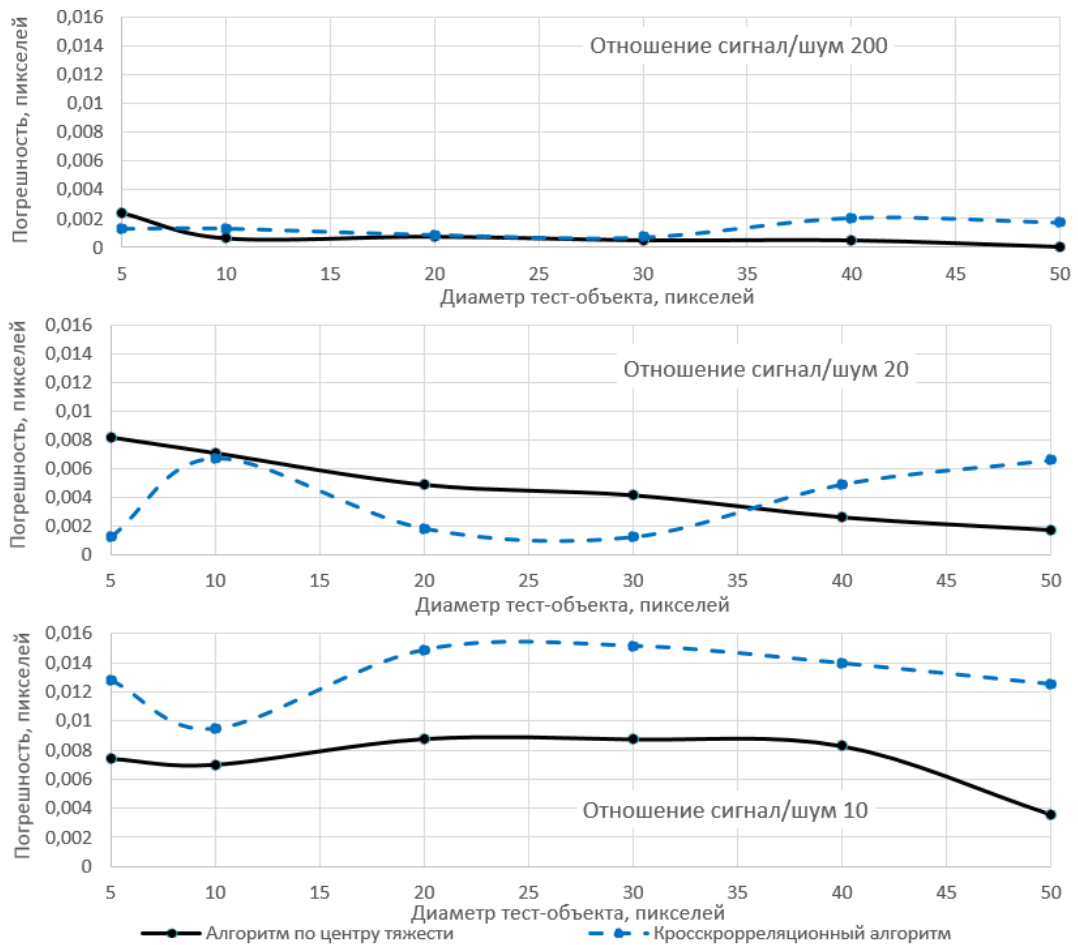


Рисунок 3 – Погрешность (ось ординат, пикселей) определения центра изображения тест-объекта на фотоприёмнике кросскорреляционным алгоритмом и только алгоритмом определения центра тяжести для различных диаметров тест-объекта (ось абсцисс, пикселей)

Между обрабатываемым изображением со смещённым тест-объектом и шаблоном **определялась кросскорреляционная матрица** по формуле:

$$I_{cc_{u,v}} = \frac{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{u,v}) (t(x-u, y-v) - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{u,v})^2 \sum_{x,y} (t(x-u, y-v) - \bar{t})^2}}$$

где f – исследуемое изображение с тест-объектом; \bar{t} – среднее значение шаблона; $\bar{f}_{u,v}$ – среднее значение $f(x, y)$ в области под шаблоном [3, 4]. По полученной кросскорреляционной матрице **определялись координаты центра тяжести** по следующей формуле:

$$Cx, Cy = \frac{\sum_{u=1} \sum_{v=1} I_{cc_{u,v}} \cdot u, v}{\sum_{u=1} \sum_{v=1} I_{cc_{u,v}}}$$

где $I_{cc_{u,v}}$ – степень корреляции в ячейке u, v кросскорреляционной матрицы.

Численные исследования проводились на основе разработанной математической модели. Произведён расчёт погрешности определения координат центра тяжести, для тест-объектов различных диаметров: 5, 10, 20, 30, 40, 50 пикселей фотоприёмника, а также значений отношения сигнал/шум: 200, 20, 10. Расчёт производился в программном пакете MATLAB для выборки, состоящей из 100 изображений, для каждого диаметра тест-объекта. Изображения отличались друг от друга случайным характером шумов фотоприёмника. По каждому изображению определялся центр тяжести. Задавалось смещение тест-объекта на 0,5 пикселя и вычислялась погрешность как разница между заданным и фактическим смещением тест-объекта относительно матричной структуры фотоприёмника. Затем значения погрешности усреднялись по всей выборке с учётом весов. Полученные средневзвешенные результаты зависимости погрешности определения центра

изображения тест-объекта на фотоприёмнике от диаметра тест-объекта для кросскорреляционного алгоритма и только алгоритма определения центра тяжести представлены на рисунке 1.

Выводы по особенностям применения кросскорреляционного алгоритма для поиска координат центра изображения по сравнению с алгоритмом по центру тяжести:

1. Кросскорреляционный алгоритм требует в 18 раз больше по времени вычислительных ресурсов.

2. Для отношения сигнал/шум более 20 и для диаметра тест-объекта менее 30 пикселей точность кросскорреляционного алгоритма сравнима с точностью алгоритма по центру тяжести.

3. При наличии на фотоприёмнике паразитных изображений, возможно применение только кросскорреляционного алгоритма.

Литература

1. Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В. Оценка точности определения координат энергетического центра тяжести тест-объекта коллиматора в схемах контроля оптико-электронных приборов с матричными фотоприёмниками. // Журнал «Наука и техника». – 2015. – № 5. – С.71–76.

2. Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В. Сравнение по точности алгоритмов определения координат центров изображений в оптико-электронных приборах. // Журнал «Наука и техника». – 2018. – № 17(1) – С. 79–86. DOI:10.21122/2227-1031-2018-17-1-79-86.

3. Jae-Chern Yoo, Tae Hee Han. Fast Normalized Cross-Correlation / Circuits, Systems and Signal Processing. (2009) 28: 819. DOI:10.1007/s00034-009-9130-7.

4. Haralick, Robert M., and Linda G. Shapiro, Computer and Robot Vision, Volume II, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 1992, pp. 316–317.

УДК 762.8:621.787

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ

Федорцев В.А., Власенко Е.П.

ООО «Интеллектуальные процессоры», резидент НТП БНТУ «Политехник» Минск, Республика Беларусь

Высокое качество изделий в машино- и приборостроении может быть обеспечено для ряда ответственных деталей и специальной технологической оснастки, изготавливаемых из сталей и железоуглеродистых сплавов, только за счёт получения на их рабочих поверхностях износостойких покрытий из порошковых материалов.

В работе [1] предложен способ получения покрытий из самофлюсующихся твёрдых сплавов системы Ni–Cr–B–Si газотермическим напылением с последующим их оплавлением лазерным лучом

для обеспечения монолитного сцепления полученного слоя с основой изделия, чтобы избежать объёмного разогрева всей детали. Высокие скорости нагрева и охлаждения покрытия, имеющие место при лазерной обработке, способствуют также формированию специфической мелкозернистой структуры покрытия с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Однако существенным недостатком рассматриваемого способа является объёмный разогрев упрочняемой поверхности на первой стадии про-