ресурса на 12...15%. Таким образом, без дополнительных затрат можно повысить послеремонтную годность двигателей.

1. Долецкий В.А. Увеличение ресурса машин технологическими методами / В. А. Долецкий, В. Н. Бунтов, Ю. А. Легенкин. - М.: Машиностроение, 1978. - 216 с.
2. Королев А.Е. Технологические факторы приработки двигателей / А.Е. Королев // Интеграция наук. - 2019. - Т. 2. - №4. - С. 98-101.
3. Волченков А.В. Исследование и разработка триботехнически обоснованных режимов обкатки двигателей после капитального ремонта / А.В. Волченков / Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 1-1. - С. 136-137.
4. Андруш, В. Г. Выбор рационального режима обкатки ремонтируемых двигателей / В.Г. Андруш // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. - 2014. - № 11. - С. 127-133
5. Королев А.Е. Влияние режима технологической обкатки на ресурс двигателей / А.Е. Королев // Меридиан. - 2019. - №8. - С. 48-51.

Котов А.П.

Уточнение коэффициентов полиномиальной модели в информационной технологии построения рельефа

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.

Королева

(Россия, Самара)

doi: 10.18411/lj-11-2019-10

idsp: ljjournal-11-2019-10

Аннотация

В работе рассматривается информационная технология построения рельефа. Одним из этапов технологии является уточнение коэффициентов полиномиальной модели (внутренних параметров камеры спутника). Данный этап может выполняться как в случае наличия, так и при отсутствии метаданных в виде файла, содержащего коэффициенты модели. В существующих программных пакетах используются коэффициенты, вычисленные по параметрам движения космического аппарата, без дополнительной их постобработки. Поэтому зачастую коэффициенты нуждаются в уточнении для конкретного региона вследствие ошибок ориентирования. В предлагаемой технологии алгоритм вычисления и уточнения коэффициентов существенно отличается от традиционных методов и алгоритмов. Коэффициенты полиномиальной модели вычисляются с использованием алгоритма, основанного на методе согласованных оценок.

Ключевые слова: построение рельефа, модель камеры спутника

Постановка задачи

Для нахождения внутренних параметров камеры спутника в виде коэффициентов полиномиальной модели требуется пара зарегистрированных космических изображений при разных ракурсах, на которых имеется общая область, содержащая набор заданных опорных соответствующих точек с известными координатами. Искомые коэффициенты **a, b, c, d** являются параметрами следующей модели [1]:

$$Y = \frac{\mathbf{a}^T \mathbf{u}}{\mathbf{b}^T \mathbf{u}}, \quad X = \frac{\mathbf{c}^T \mathbf{u}}{\mathbf{d}^T \mathbf{u}}. \quad (1)$$

Здесь Y, X – нормализованные координаты точки на изображении:

$$Y = \frac{y - Y_o}{Y_s}, X = \frac{x - X_o}{X_s}, \quad (2)$$

где y, x – пиксельные координаты строки и столбца соответственно, Y_o, X_o – нормализованные параметры смещения, а Y_s, X_s – нормализованные параметры масштабирования.

Для N опорных точек, координаты которых установлены на изображении, например, путем сопоставления фрагментов с заданными образцами, можно записать матричное уравнение [2]:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{M}\mathbf{J} + \boldsymbol{\xi}, \quad (3)$$

$$\text{где } \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & L_1 & P_1 & H_1 & -Y_1 L_1 & -Y_1 P_1 & -Y_1 H_1 \\ 1 & L_2 & P_2 & H_2 & -Y_2 L_2 & -Y_2 P_2 & -Y_2 H_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & L_N & P_N & H_N & -Y_N L_N & -Y_N P_N & -Y_N H_N \end{bmatrix},$$

$\mathbf{J} = [a_0, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3]^T$, $\mathbf{Y} = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]^T$, L, P, H – геодезические координаты, а $\boldsymbol{\xi} = [\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N]^T$ – вектор ошибок, связанный с неточным заданием трехмерных геодезических координат и ошибками в определении координат опорных точек на реальном двумерном изображении.

В соответствии с (3) МНК-оценка вектора параметров, составленного из искоемых коэффициентов, имеет вид [3]:

$$\hat{\mathbf{J}} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T \mathbf{Y}. \quad (4)$$

Метод согласованных оценок состоит в поиске подсистемы наиболее свободной от шума. Чтобы найти такую подсистему, для каждой подсистемы претендента формируется множество оценок, вычисляемых на множестве малых подсистем этой подсистемы, и определяется степень взаимной близости полученных множеств оценок. Искомая согласованная (по предположению наиболее свободная от шума) подсистема выбирается по критерию наибольшей взаимной близости оценок, полученных на малых подсистемах, сформированных из этой подсистемы [4].

Модификация метода согласованного оценивания

В статье рассматривается алгоритм нахождения подсистемы, содержащей наиболее согласованное множество оценок на подсистемах нижнего уровня. Идея метода состоит в итерационном сокращении размерности так, что на каждой итерации размерность подсистемы верхнего уровня уменьшается на единицу. Таким образом, на каждой итерации из исходной системы исключается одна строка, а задача состоит в том, чтобы на каждой итерации найти строку «наихудшую» в смысле показателя согласованности оценок, полученных на подсистемах нижнего уровня, не включающих эту строку.

В предлагаемом итерационном алгоритме существенное сокращение вычислений достигается за счет применения алгоритма сокращенного перебора путем циклического сдвига номеров строк подсистемы нижнего уровня, приводящего к уменьшению числа подсистем нижнего уровня в каждой подсистеме верхнего уровня. Алгоритм основан на предположении, что полный перебор всех возможных подсистем нижнего уровня является избыточным, а свойство статистической устойчивости оценок

функции согласованности проявляется при гораздо меньшем числе подсистем, используемых для ее вычисления.

Алгоритм поиска строится в виде итеративной процедуры, на каждом этапе которой подавляется одна выделяющаяся ошибка (если ожидается, что число выделяющихся ошибок больше, процедура повторяется требуемое число раз). Последовательно «просматриваются» все подсистемы верхнего уровня, в которых отсутствует по одной строке исходной системы. В результате последовательного исключения строк из исходной системы (3) получаем набор N подсистем верхнего уровня размерности $(N-1) \times M$.

Далее из каждой такой подсистемы формируется $N-1$ подсистем нижнего уровня размерности $M \times M$ путем циклического сдвига по строкам так, что каждая строка встречается в M подсистемах. Необходимо, чтобы каждая строка исходной системы входила в формируемое множество подсистем нижнего уровня одинаковое число раз. Далее для каждой подсистемы верхнего уровня вычисляется функция согласованности [4] и определяется номер подсистемы, удовлетворяющей критерию минимума функции согласованности.

Если число аномальных ошибок в исходной системе велико, можно продолжить процесс отбора наиболее согласованной подсистемы размерности $(N-2) \times M$, путем исключения по описанной схеме одной строки из полученной подсистемы верхнего уровня. На этой подсистеме затем вычисляется МНК-оценка (4). Эту оценку на наиболее согласованной подсистеме верхнего уровня, вообще говоря, можно вычислять любым способом. В данном случае МНК является вполне приемлемым, поскольку в результате реализации описанного алгоритма отбора подсистемы наиболее свободной от шума, вероятность аномальных ошибок невелика и МНК будет вполне работоспособным.

Результаты эксперимента

Экспериментальные исследования проведены для предложенного метода в рамках информационной технологии построения рельефа по реальным космическим снимкам. В качестве исходных данных были выбраны стереопары, полученные с КА IRS-P5 с пространственным разрешением в надире 2,5 метра [5]. Стереопара IRS-P5 (Cartosat-1) была получена 30 января 2008 года [6]. Исходные космические снимки приведены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Исходные изображения: а) первый ракурс; б) второй ракурс

Основная цель эксперимента состояла в проверке возможности повышения точности формируемой модели рельефа за счет включения в информационную технологию разработанного алгоритма уточнения параметров модели формирования

изображений. Построение рельефа осуществлялось с использованием одинаковых наборов из 20-ти опорных точек. Для сравнения было проведено четыре эксперимента.

В первом эксперименте использовались параметры модели формирования изображений, которые содержались в файле, который автоматически формируется при регистрации изображений по информации от текущих параметров движения космического аппарата. Второй эксперимент отличался от предыдущего только тем, что вводились параметры модели формирования изображений, вычисленные по опорным точкам на изображениях левого и правого вида. Следующие два эксперимента отличались от двух предыдущих тем, что в исходные данные вводилась дополнительная ошибка. В таблице 1 приведены исходные данные и оценки высот в 13 контрольных опорных точках, полученные в указанных экспериментах.

Таблица 1.

	Контрольные H_i	$\hat{H}_i$ (ENVI)	$\hat{H}_i$ (МСО)	$\hat{H}_i$ ENVI с дополнительной ошибкой	$\hat{H}_i$ МСО с дополнительной ошибкой
1	2	3	4	6	5
1	198,9	212,7	197,0	192,1	200,3
2	111,7	112,3	119,7	145,0	119,5
3	154,8	142,8	160,7	171,7	160,3
4	15,6	11,5	6,6	43,1	11,5
5	172,4	194,8	173,7	163,1	179,0
6	299,2	284,2	285,1	297,1	286,4
7	311,7	304,8	299,2	311,0	299,8
8	319,1	307,4	303,3	316,3	304,8
9	170,5	160,5	174,7	180,4	173,0
10	153,2	151,2	143,6	175,4	145,1
11	184,1	186,5	182,1	189,0	181,9
12	138,1	129,0	151,2	141,9	149,6
13	47,3	44,6	57,9	61,7	57,8

Во втором столбце приведены точные значения высот (H_i) в контрольных точках, взятые из открытого источника [7]. В третьем столбце приведены оценки высот, полученные в ENVI [8] с использованием коэффициентов, взятых из сопровождающей информации исходного файла. В четвертом столбце – оценки высот, полученные с использованием параметров модели формирования изображений, вычисленных с помощью алгоритмов согласованного оценивания [4].

В пятом и шестом столбцах приведены данные аналогичных экспериментов (результаты которых показаны в третьем и четвертом столбце) при введении в исходные данные дополнительной ошибки. Во всех экспериментах для привязки (в ПК ENVI) и построения модели формирования изображений (методом согласованного оценивания) использовалось одно и тоже множество обучающих опорных точек.

По данным таблицы были вычислены СКО оценок высот для всех экспериментов, результаты которых приведены в столбцах 3-6:

- СКО оценок высот (столбец 3), полученных с использованием опорных точек и коэффициентов полиномиальной модели из файла, который автоматически формируется при регистрации изображений по информации от текущих параметров движения КА – 10,6;
- СКО оценок высот (столбец 4) с уточнением параметров модели формирования изображений с использованием разработанных алгоритмов – 9,6;

- СКО оценок высот (столбец 5), полученных с использованием опорных точек и коэффициентов из файла, который автоматически формируется при регистрации изображений, по данным с дополнительной ошибкой – 15,5;
- СКО оценок высот (столбец 6), полученных по тем же исходным данным (с дополнительной ошибкой) с уточнением параметров модели формирования изображений с использованием разработанных алгоритмов – 8,6.

Заключение

В статье рассмотрена информационная технология построения рельефа по космическим снимкам, включающая алгоритм уточнения коэффициентов по опорным точкам на изображениях. Проведены экспериментальные исследования предложенного алгоритма на натурных изображениях. Алгоритм основан на формировании согласованной подсистемы, наиболее свободной от шума, в задаче согласованного оценивания с использованием вспомогательной системы, полученной из исходной путем редукции в пространстве столбцов.

1. Tao, C.V. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing / Y. Hu, C.V. Tao // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2001. – Vol. 67, № 12. – P. 1347-1358.
2. Fraser, C.S. Sensor orientation via RPCs / C.S. Fraser, G. Dial, J. Grodecki // ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2006. – Vol. 60, № 3. – P. 182-194.
3. Демиденко, Е.З. Линейная и нелинейная регрессии / Е.З. Демиденко. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 304 с.
4. Fursov, V.A. Parametric Identification by Means of Consequent Formation of a Conformed Estimations / V.A. Fursov, A.V. Gavrilov, and Ye.V. Goshin // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – Vol. 49, № 13. – P. 123-128.
5. Key Parameters of the IRS-P5 Sensors. – http://www.euromap.de/products/prod_041.html
6. IRS-P5 Cartosat-1 PAN-A and PAN-F Products. – https://www.euromap.de/docs/doc_004.html
7. Карты Google. – <https://google.com/maps>
8. User guide ENVI – Режим доступа: http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/dem_extraction_module.pdf

Кривошеев А.В., Пономаренко С.Л., Бинков И.И., Поваляхин Д.В. Малов И.Е.
Особенности разделения листового флоат стекла методом лазерного термораскалывания

МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-11-2019-11

idsp: ljjournal-11-2019-11

Аннотация

Одним из перспективных методов разделения листового стекла является метод лазерного термораскалывания. В силу энергетических особенностей лазерного воздействия на стеклянную пластину, данный метод широко применяется при разделении стекла. В данной работе описывается термораскалывание стекла на лазерной установке КЛП-400 с использованием твердотельного излучателя. Проведен анализ режимов и подобраны оптимальные параметры для разделения листового флоат стекла.

Ключевые слова: листовое стекло, флоат-стекло, термораскалывание, скрайбирование, лазерная обработка стекла, твердотельный лазер.

Введение

В настоящее время во всем мире основная доля высококачественного листового стекла всех номиналов толщиной от 1 до 20 мм вырабатывается с помощью непрерывного флоат-процесса, который отличается высокой производительностью и