

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

УДК 629.7

## МЕТОД АППРОКСИМАЦИИ И ИНТЕРПОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ НАИПРОСТЕЙШИХ ДРОБЕЙ КАК НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

С.Н. Волков, С.Г. Казанцев, А.В. Фрянецв  
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

*Рассмотрены способы обработки данных дистанционного зондирования Земли, применяемые для улучшения полученного изображения. Предложен новый подход к решению задач геометрической коррекции и радиометрической калибровки посредством метода аппроксимации и интерполяции с помощью наимпростейших дробей. Преимущество данного метода заключается в том, что абсолютная погрешность данного метода на порядок меньше погрешности полиномиальной аппроксимации.*

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, распознавание образов, восстановление и улучшение изображений, наимпростейшие дроби.

### Введение

Начало XXI века ознаменовалось бурным развитием геоинформационных систем и технологий, что обусловлено широким использованием космической геопространственной информации при решении самых разнообразных социально-экономических задач.

Ввиду того, что процесс регистрации космических изображений, получаемых с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), сопровождается внесением искажений, обусловленных различными факторами, в том числе, и несовершенством самой формирующей оптико-электронной системы, эти изображения требуют коррекций: геометрической, атмосферной, радиометрической и т. п. Разновидностью задачи восстановления изображения, которая формулируется как задача воссоздания исходного изображения по наблюдаемому искаженному изображению, является устранение таких структурных искажений [1 – 4].

В данной работе рассматриваются основные методы предварительной и тематической обработки изображений, полученных при ДЗЗ, в сравнении с альтернативным подходом к решению задач улучшения изображений методом аппроксимации и интерполяции с помощью наимпростейших дробей.

При всем многообразии спутниковых систем ДЗЗ, режимов работы съемочной аппаратуры и форматов представления данных в процессе их обработки прослеживаются характерные особенности и технологические решения, присущие большинству мировых систем сбора и обработки данных ДЗЗ, при этом обработку дан-

ных ДЗЗ разделяют на предварительную и тематическую.

### Предварительная обработка изображений

Предварительная обработка определяется как набор процессов, преобразующих исходную информацию в некоторые продукты ДЗЗ стандартных уровней обработки. Она включает геометрическую коррекцию, радиометрическую калибровку снимков, восстановление пропущенных снимков, контрастирование, фильтрацию.

**Геометрическая коррекция** включает устранение на изображении геометрических искажений (орторектификация) и географическую привязку [5]. Данные операции можно объединить в одну операцию совмещения деталей спутникового изображения и карты.

Пусть система координат  $(x, y)$  соответствует спутниковому изображению, а система  $(u, v)$  – карте. Требуется найти преобразование  $u_k = f(x_k, y_k)$ ,  $v[k] = g(x_k, y_k)$ , устанавливающее соответствие между положением  $k$ -го пикселя на изображении и географическими координатами. Так как вид функций  $f$  и  $g$  заранее неизвестен, то применяется полиномиальная аппроксимация. Обычно используются полиномы второй степени.

В работах [6 – 8] предложен новый метод аппроксимации – равномерная аппроксимация аналитических функций посредством так называемых наимпростейших дробей (НД):

$$\rho_n(z) = \sum_{k=1}^n \frac{1}{z - z_k}, z_k \in C$$

и тесно связанных с ними сумм вида:

$$H_n(z) = \sum_{k=1}^n \lambda_k h(\lambda_k z),$$

где  $h$  – некоторая фиксированная аналитическая функция в окрестности нуля.

Как аппарат приближения НД стали изучаться сравнительно недавно, первая работа по этой тематике В.И. Данченко и Д.Я. Данченко опубликована в 1999 г. В работах этих авторов показано, что класс функций, аппроксимируемых посредством НД, не уже класса функций, аппроксимируемых посредством полиномов, а абсолютная погрешность такого метода на порядок меньше погрешности полиномиальной аппроксимации [6, 7].

Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых «сырых значений» яркости DN (Digital Number). Данные в таком формате нельзя адекватно сопоставить с данными других съемок. Задача **радиометрической калибровки** заключается в приведении этих значений в физические единицы.

Пропущенные пиксели могут возникнуть во время съемки или передачи данных, также случается замена значений яркости целой строки значениями соседней строки. Такие явления могут стать помехой при тематической обработке снимка.

**Пропущенные пиксели** можно восстановить путем интерполяции с определенной погрешностью. В работах [9, 10] предложен новый метод интерполяции НД, где в качестве узлов интерполяции выбраны узлы многочлена Чебышева [11].

Цель процедуры **контрастирования** состоит в том, чтобы, не искажая цветовых характеристик объектов, добиться максимальной яркости и насыщенности изображения.

Известно, что наилучшие результаты с точки зрения быстродействия и качества представления изображений дает линейный компонентно-независимый алгоритм яркостного преобразования [12]. Для обеспечения яркостной непрерывности функция контрастирования  $k$ -го кадра рассчитывается с учетом данных  $k$ -го и  $(k+1)$ -го кадров.

Кроме того, вводятся ограничения на диапазоны яркостей контрастируемых объектов: облачность представляется максимальным значением яркости  $b_{\max}$ , под сушу выделяется 80% яркостного диапазона и примерно 20% – под объекты гидросети.

Результирующая функция контрастирования  $k$ -го кадра  $f_{\lambda k}(b)$  имеет следующий вид:

$$f_{\lambda k}(b) = \begin{cases} a_{01} + a_{11} b_{\lambda k}(m^*, n), b_{\lambda k}(m^*, n) < q_{\lambda k}(1); \\ a_{02} + a_{12} b_{\lambda k}(m^*, n), b_{\lambda k}(m^*, n) \in [q_{\lambda k}(1), q_{\lambda k}(2)]; \\ b_{\max}, b_{\lambda k}(m^*, n) > q_{\lambda k}(2), \end{cases}$$

где  $(a_{01}, a_{11}), (a_{02}, a_{12})$  – коэффициенты преобразования;  $q_{\lambda k}(i)$  – граничные значения яркостных диапазонов объектов гидросети, суши, облачности. Решение о принадлежности пикселя гидросети принимается при одновременном выполнении ряда условий. Основываясь на введенных значениях яркостных диапазонов и критериях принадлежности пикселя облачности или гидросети, рассчитываются значения  $q_{\lambda k}(i)$ , а по ним определяются  $(a_{01}, a_{11}), (a_{02}, a_{12})$ .

**Фильтрация** – это преобразование, которое позволяет усилить воспроизведение тех или иных объектов, подавить нежелательное вуалирование, устранить другие случайные помехи (шум). Один из самых простых способов фильтрации – преобразование в скользящем окне. При таком преобразовании пересчитываются значения яркости всех пикселей изображения. Пересчет происходит для каждого пикселя таким образом: когда данный пиксель является центральным в окне, которое «движется» по снимку, ему дается новое значение, которое является функцией от значений окружающих его в окне пикселей. Размер окна может быть, например,  $3 \times 3$  или  $5 \times 5$  пикселей. Каждый раз окно смещается на 1 пиксель и движется до тех пор, пока не пройдет весь снимок. Для всех пикселей окна исследователь устанавливает весовые коэффициенты, исходя из целей дешифрирования.

### Тематическая обработка

Тематическая обработка космических снимков – это процесс дешифрирования или распознавания объектов и явлений на космических снимках. Целью тематической обработки является интерпретация данных ДЗЗ в рамках конкретной задачи с получением тематических информационных продуктов (картографические основы, маски облачности, модели рельефа и т. д.). Различают следующие способы тематической обработки:

- цветовые преобразования;
- индексные изображения;
- анализ главных компонент;
- метод спектрального разделения.

В общей теории распознавания образов существует несколько различных подходов к распознава-

нию, отличающихся структурой описания классов признаков [13]:

- детерминированный;
- непрерывно-групповой;
- синтаксический;
- статистический;
- нейрокомпьютерный.

Одним из самых распространенных методов выделения объектов на космических изображениях Земли является сегментация. Применяются три основных способа сегментации изображений:

- пороговый;
- путем наращивания областей;
- путем выделения границ.

Процедура кластеризации в случае пороговой сегментации может основываться на оптимизации какого-нибудь показателя качества, например на критерий минимума суммы квадратов ошибки:

$$\varepsilon = \sum_{k=1}^K \sum_{f \in S_k} f_k - \mu_k^2,$$

где  $K$  – число кластеров;  $S_k$  – множество объектов (пикселей), относящихся к  $k$ -му кластеру;  $\mu_k$  – вектор средних значений для класса  $k$ .

При сегментации путем наращивания областей выделяются однородные области. Алгоритм предусматривает выбор стартового пикселя и проверку близости значений смежных с ним пикселей, например по евклидову расстоянию. Различные алгоритмы сегментации классифицируются по виду меры  $F(R)$ , в качестве которой могут использоваться значения размаха, выборочные дисперсии, метрика Евклида. Сегментация путем выделения границ предусматривает использование оператора градиентных фильтров (Роберта, Собела, Лапласа и др.).

При статистическом подходе к распознаванию часто используется теорема Байеса [13]. Рассматриваются случайные события, т. е. такие, для каждого из которых невозможно заранее предсказать точный результат. Используя апостериорные вероятности, можно разработать различные методы автоматической классификации.

В последние десятилетия все чаще применяются нейрокомпьютеры как мощный инструмент в задаче распознавания изображений. Они особенно эффективны там, где требуется подобие человеческой интуиции – для распознавания образов (расознавания сложных изображений, чтения текстов и т. п.).

## Заключение

Таким образом, рассмотрен ряд основных методов предварительной и тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли. Показано, что для некоторых процессов улучшения изображений, а именно геометрической коррекции и радиометрической калибровки, возможно применение альтернативного подхода к решению задач посредством наимпростейших дробей. Преимущество метода аппроксимации и интерполяции с помощью наимпростейших дробей заключается в том, что абсолютная погрешность такого метода на порядок меньше погрешности используемой в настоящее время полиномиальной аппроксимации.

## Литература

1. Иванников А.Д. Геоинформатика / А.Д. Иванников, В.П. Кулагин, А.Н. Тихонов [и др.]. – М. : МАКС Пресс, 2001. – 349 с.
2. Гарбук С.В. Космические системы Дистанционного зондирования Земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. – М. : Издательство А и Б, 1997. – 297 с.
3. Дейвис Ш.М. Дистанционное зондирование: количественный подход: пер. с англ. / Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе. – М. : Недра, 1983. – 415 с.
4. Теория и практика цифровой обработки изображений / И.К. Лурье, А.Г. Косиков // Дистанционное зондирование и географические информационные системы; под ред. А.М. Берлянта. – М. : Научный мир, 2003. – 168 с.
5. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из Космоса. Цифровая обработка изображений: учебное пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
6. О равномерном приближении логарифмическими производными многочленов / В.И. Данченко, Д.Я. Данченко // Теория функций, ее приложения и смежные вопросы: Тез. докл. школы-конференции, посвященной 130-летию со дня рождения Д.Ф. Егорова. – Казань, 1999. – С. 74 – 77.
7. О приближении наимпростейшими дробями / В. И. Данченко, Д.Я. Данченко // Матем. заметки. – 2001. – Т. 70. – Вып. 4. – С. 553 – 559.
8. Фрянец А.В. О численной аппроксимации дифференциальных полиномов / А.В. Фрянец // Известия Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2007. – 7:2 (2007). – С. 39 – 43.
9. Кондакова Е.Н. Интерполяция наимпростейшими дробями / Е.Н. Кондакова // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2009. – 9:2 (2009). – С. 30 – 37.
10. Фрянец А.В. О полиномиальных решениях линейных дифференциальных уравнений / А.В. Фрянец // УМН. – 2008. – 63:3(381) (2008). – С. 149 – 150.

11. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М. : Физматгиз, 1963. – 660 с.

12. Кочергин А.М. Алгоритмы и технологии предварительной обработки изображений в системах каталогизации данных дистанционного зондирования

Земли: Авт. канд. тех. наук: 05.13.01. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. – 2008.

13. Яншин В.В. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы / В.В. Яншин. – М. : Машиностроение, 1995. – 112 с.

*Поступила в редакцию 15.03.2011*

*Сергей Николаевич Волков, д-р техн. наук, 1-й зам. генерального директора – генерального конструктора, т. 366-42-56.*

*Сергей Геннадьевич Казанцев, д-р техн. наук, зам. генерального директора – генерального конструктора, т. 366-12-01.*

*Алексей Владимирович Фрянецв, аспирант.  
E-mail: vniiem@vniiem.ru.*