

А.А. Нечай, А.А. Борисов, Ю.И. Борисова

ТОЧЕЧНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Описана методика, позволяющая производить точечную оценку характеристик, предоставляемых данными дистанционного зондирования Земли. В частности, определяются характеристики точки, координаты которой известны и фиксированы. В ходе работы использовалось программное обеспечение пакета Anaconda (интерпретатор языка Python – Spyder), а также открытая геоинформационная система QGIS. В качестве примера рассмотрено применение данной методики на снимках спутниковой съемки Landsat-8. Результатом работы является автоматизация метода в виде python-скрипта, осуществляющего вывод полученных данных в текстовом формате.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, Python, экстракция значений.

A. A. Nechaj, A. A. Borisov, Yu. I. Borisova

POINT ANALYSIS OF REMOTE SENSING DATA USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

A method is described that allows a point estimate of the characteristics provided by the remote sensing data. The characteristics of a point whose coordinates are known and fixed are determined. During the work, the software package Anaconda and the open geographic information system QGIS (Python interpreter – Spyder) was used. As an example, the use of this method was presented at the Landsat-8 satellite imagery data. The result of the work is the automation of the method in the form of a python script that outputs the obtained data in text format.

Keywords: remote sensing, Python, value extraction.

Введение

Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предоставило исследователям массу возможностей для изучения нашей планеты с точки зрения различных научных направлений. С развитием индустрии приборостроения данные спутников становятся все более информативными, а информация в целом общедоступной. В настоящее время существует большое количество веб-сервисов, предоставляющих спутниковые снимки в свободном доступе, а также геоинформационных систем (ГИС, программного обеспечения) для их обработки. Однако при увеличении объемов исследуемого материала его обработка вручную (посредством ГИС) представляется весьма сложным и трудоемким процессом. Для решения подобных задач хорошим способом является использование скриптов языка программирования Python, поддерживающего большое количество библиотек для комфортной работы [1].

Точечный анализ данных спутникового снимка представляет собой извлечение информации о значении исследуемой характеристики в конкретной точке с фиксированными координатами. Данный метод может быть полезен в первую очередь для оценки временной динамики характеристик земной поверхности в исследуемой точке. На основе вы-

борки, содержащей разновременные значения в данной точке, можно судить о динамике этих значений. Также точечный анализ интересен с точки зрения территориального распределения значений. На одном снимке на разных участках земной поверхности будут наблюдаться разные значения, распределение которых связано с внешними факторами, что предоставляет возможность их изучения. Также применение данной методики возможно с целью сравнения наземных наблюдений в точке с данными дистанционного зондирования земли.

Особенности структуры данных дистанционного зондирования Земли

В первую очередь нужно отметить, что спутниковые снимки предоставляются в различных форматах (GTiff, HDF, NetCDF и др.), что обуславливает некоторые особенности при работе с каждым конкретным продуктом.

Данные спутниковой съемки представляют собой растровое изображение, каждый пиксель которого имеет географическую привязку (четко ориентирован в пространстве посредством координат). Важно иметь в виду, что каждый снимок записан в определенной проекции и одна и та же точка имеет различные координаты в разных проекциях.

Также важной составляющей космической съемки являются метаданные. Это текстовый файл, который содержит всю информацию о снимке, аппаратуре, его сделавшей, характеристиках орбиты и пр. Если первичная обработка снимка производится вручную (данные, предоставляемые пользователю, не являются продуктом), то без информации из этого файла не обойтись [2].

Метод точечного анализа данных

Метод точечного анализа данных заключается в последовательной реализации нескольких этапов:

1. Отбор снимков, по которым будет производиться исследование

Отбор снимков является стартовой задачей для всего исследования. В качестве источника информации может быть выбран продукт, предоставляемый сервисами и содержащий в каждом пикселе уже готовую информацию об интересующей нас характеристике (температура поверхности, вегетационные индексы и пр.) [6], либо могут быть выбраны снимки, обработанные вручную по любому необходимому алгоритму, в конце концов, за основу можно взять снимки в первоначальных спектральных каналах без обработки.

2. Выбор точки для исследования

Выбор точки зависит от поставленной задачи. В большинстве случаев роль играет ее удачное территориальное расположение либо же приуроченность к интересующему исследователя объекту (это могут быть антропогенные объекты, особо охраняемые природные объекты и др.). Для исследования территориального изменения характеристики имеет смысл выбрать сразу несколько точек, лежащих на некотором расстоянии друг от друга. Для определения степени соответствия данных наземных наблюдений и данных ДЗЗ точку следует выбрать максимально близко к месту, на котором производились наземные измерения.

3. Определение координат выбранной точки в той проекции, в которой предоставлен снимок

Определение координат может быть произведено несколькими путями. В первую очередь у исследователя могут иметься координаты, полученные при помощи аппаратуры

GPS, если точка была посещена предварительно. Также известные координаты могут иметься при наличии оборудования, размещенного в конкретной точке и планируемого к использованию. В таком случае нужно озаботиться лишь переводом имеющихся координат в координаты той проекции, в которой предоставлены снимки [4]. Сделать это можно с использованием открытой геоинформационной системы QGIS, в которой осуществлена система динамического перепроецирования, т.е. при выборе нужной проекции координаты будут пересчитаны автоматически.

Также QGIS удобен в качестве визуализатора имеющихся геоданных. При просмотре снимков необходимо отсеять изображения с облачностью или другими помехами, затрудняющими прочтение информации с выбранных точек [3]. Если же точки исследования выбираются в камеральных условиях, то на основе уже имеющихся снимков и их визуального осмотра при помощи QGIS можно выбрать оптимальное расположение точки для исследования.

4. Извлечение значения пикселя, в который согласно координатам попала точка

Извлечение значения пикселя представляет наиболее сложную задачу, особенно при большой выборке снимков. Для реализации данного этапа предлагается использование скрипта Python.

В первую очередь стоит отметить, что основной библиотекой для работы с растровыми геоданными является библиотека GDAL. Она позволяет открыть растровый файл, отделить необходимый канал (если у изображения их несколько) и прочесть изображение в виде матрицы значений пикселей, его составляющих. Если снимки повреждены, то объект библиотеки GDAL будет иметь значение None и стоит либо озаботиться подбором новых данных, либо удостовериться в корректном открытии имеющегося файла (так, например, данные форматов HDF и NetCDF не будут открываться без указания вложенного набора данных, так как представляют собой подобие архива).

Необходимо выделить пиксель, в который попадает выбранная точка. Характеристикой точки являются ее координаты. В библиотеке GDAL есть встроенная функция `GeoTransform`, применяемая к объекту `Dataset`, она выводит кортеж со следующей информацией об объекте:

- [0] – координата x верхнего левого угла;
- [1] – ширина пикселя;
- [2] – поворот, 0, если изображение ориентировано на север;
- [3] – координата y верхнего левого угла;
- [4] – поворот, 0, если изображение ориентировано на север;
- [5] – высота пикселя.

Из этого кортежа необходимы координаты x и y верхнего левого угла, а также высота и ширина пикселя. На основе данных величин были выведены формулы, позволяющие вычислить индексы ячейки, соответствующей пикселю, в который попала точка:

$$\text{Index}_x = (X_{\text{point}} - X_{\text{corner}}) / W, \quad (1)$$

где X_{point} – координата x выбранной точки; X_{corner} – координата x левого верхнего угла изображения; W – ширина пикселя.

$$\text{Index}_y = (Y_{\text{point}} - Y_{\text{corner}}) / H, \quad (2)$$

где Y_{point} – координата y выбранной точки; Y_{corner} – координата y левого верхнего угла изображения; H – высота пикселя.

Для реализации данного расчета была создана функция (рис. 1). В качестве аргументов она принимает путь к файлу и список из двух координат точки, а возвращает список индексов.

```
def GetIndexForNP(ds, coordinates):
    import math
    dataset=gdal.Open(ds)
    if dataset==None:
        raise Exception("ERROR: gdal can't open file, check the directory")
    if type(coordinates)!=list:
        raise Exception("ERROR: coordinates type is wrong! should be list")
    info=dataset.GetGeoTransform()
    FirstPixelCoordinates=[]
    FirstPixelCoordinates.append(info[0])
    FirstPixelCoordinates.append(info[3])
    PixelWidth=info[1]
    PixelHeight=info[5]
    CoordinateXDifference=coordinates[1]-FirstPixelCoordinates[1]
    CoordinateYDifference=coordinates[0]-FirstPixelCoordinates[0]
    PixelXIndex=math.ceil(CoordinateXDifference/PixelWidth)
    PixelYIndex=math.ceil(CoordinateYDifference/PixelHeight)
    if PixelXIndex<0:
        PixelXIndex=PixelXIndex*-1
    if PixelYIndex<0:
        PixelYIndex=PixelYIndex*-1
    CellIndexes=[PixelXIndex, PixelYIndex]
    return(CellIndexes)
```

Рис. 1. Код функции, возвращающей индекс ячейки

Далее идет обращение по полученному индексу к ячейке, в которой находится необходимое значение и его извлечение.

Также стоит учесть существование такого понятия, как Scale factor. Это число, значение которого указывается в документации к продукту. Оно является множителем для каждого значения пикселя соответствующего изображения. Scale factor создан с целью приведения значений к более удобному формату (это может быть уничтожение дробной части, перевод в другие единицы измерения, поправки аппаратуры и пр.) [5]. При наличии значения Scale factor полученное значение пикселя с точкой умножается на него.

Таким же образом производится экстракция значений по данной точке для всех отобранных изображений. Стоит обратить внимание на то, чтобы проекции всех снимков, для которых извлекается значение точки по одним координатам, совпадали.

Вся обработка снимков данным методом была приведена в скрипт Python, доступ к которому можно получить по ссылке github.com/ChrisLisbon/ExtractValue.

5. Интерпретация полученных результатов

В конечном итоге имеется набор данных о значении характеристики в выбранной точке на момент произведения каждого снимка. Как интерпретировать эти данные, зависит в первую очередь от задач исследования, но в любом случае предполагается сравнение этих значений в каком бы то ни было виде. Наиболее наглядно это сравнение выглядит в виде графика.

Пример обработки данных спутника Landsat-8 методом точечного анализа

В качестве источника данных имеется набор из пяти изображений вегетационного индекса NDVI, отражающего густоту растительности, рассчитанный на основе снимков спутника Landsat-8.

Была выбрана точка (рис. 2) вблизи восточного побережья о. Котлин (Санкт-Петербург) в заболоченной местности, в которой необходимо оценить динамику густоты растительности в зависимости от сезона.

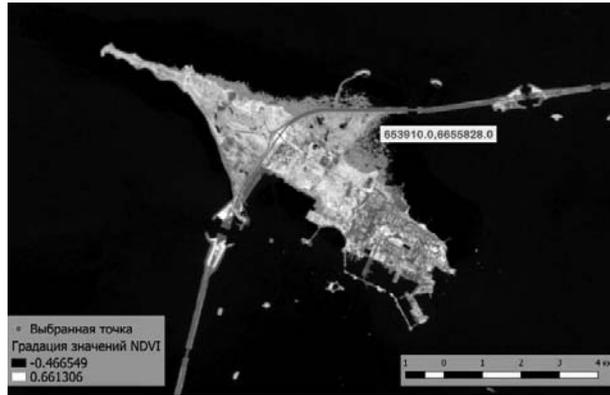


Рис. 2. Остров Котлин

Изображение NDVI, рассчитанное на основе снимка Landsat-8. 12 мая 2018 г. Рядом с точкой указаны ее координаты в проекции WGS 84 / UTM zone 35N

После применения метода обработки, а именно использования скрипта, о котором говорилось ранее, получена таблица.

Значения NDVI заданных снимков

Имя файла	Координаты	Значение
1_120518_ndvi.tif	653910.0,6655828.0	0.1828198879957199
2_210518_ndvi.tif	653910.0,6655828.0	0.30310875177383423
3_150718_ndvi.tif	653910.0,6655828.0	0.6124707460403442
4_210717_ndvi.tif	653910.0,6655828.0	0.6479151844978333
5_090818_ndvi.tif	653910.0,6655828.0	0.5684621930122375

Для наглядной демонстрации данные были нанесены на график (рис. 3).

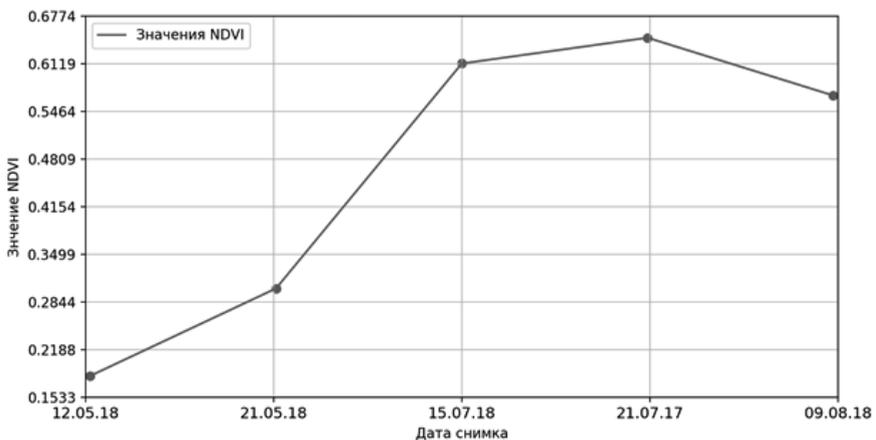


Рис. 3. Значения NDVI в точке вблизи о. Котлин с координатами (653910.0, 6655828.0)

Судя по рисунку 3, густота растительности увеличивается с приходом летнего периода, что связано с нарастанием температур.

Заключение

Схожий результат (получение значений снимка по известным координатам точки) возможен при помощи модуля Value Tool в QGIS. Однако этот модуль не предоставляет возможности обработки больших объемов данных. Выборка, обработка которой возможна в QGIS, ограничена, в то время как разработанная методика позволяет обрабатывать неограниченные объемы информации.

Литература

1. *Вандер Плас Дж.* Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. СПб.: Питер, 2018. 576 с. (Серия «Бестселлеры O'Reilly»).
2. *Котиков П.Е., Нечай А.А.* Репликация данных между серверами баз данных в среде геоинформационных систем // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2015. Вып. 1. С. 88–91.
3. *Лоскутов А.И., Дудников А.С., Артюшкин А.Б., Нечай А.А.* Математическая модель системы символьной синхронизации наземной приемно-регистрирующей станции телеметрической информации в условиях флуктуаций амплитуды сигнала // Вестник Российского нового университета. Сер. «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 11–19.
4. *Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В.* Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации распределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2016. Вып. 1–2. С. 56–59.
5. *Полончик О.Л., Артюшкин А.Б., Нечай А.А.* Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли на базе спутников со стабилизацией вращения // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 35–41.
6. *Свинарчук А.А., Калининченко С.В., Нечай А.А.* Использование графического процессора для ускорения распределенных вычислений при прогнозе экстремальных значений температуры воздуха // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 4. С. 33–38.

Literatura

1. *Vander Plas Dzh.* Python dlya slozhnykh zadach: nauka o dannykh i mashinnoe obuchenie. SPb.: Piter, 2018. 576 s. (Seriya "Bestsellery O'Reilly").
2. *Kotikov P.E., Nechay A.A.* Replikatsiya dannykh mezhdru serverami baz dannykh v srede geoinformatsionnykh sistem // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2015. Vyp. 1. S. 88–91.
5. *Loskutov A.I., Dudnikov A.S., Artyushkin A.B., Nechay A.A.* Matematicheskaya model' sistemy simvol'noy sinkhronizatsii nazemnoy priemno-registriruyushchey stantsii telemetricheskoy informatsii v usloviyakh fluktuatsiy amplitudy signala // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 11–19.
8. *Novikov A.N., Nechay A.A., Malakhov A.V.* Matematicheskaya model' obosnovaniya variantov rekonfiguratsii raspredelennoy avtomatizirovannoy kontrol'no-izmeritel'noy sistemy // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2016. Vyp. 1–2. S. 56–59.

Наговицын А.В., Вознюк В.В., Наговицына А.Н. Технологические основы создания...

10. *Polonchik O.L., Artyushkin A.B., Nechay A.A.* Radiolokatsionnye sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli na baze sputnikov so stabilizatsiyey vrashcheniya // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 35–41.

11. *Svinarchuk A.A., Kalinichenko S.V., Nechay A.A.* Ispol'zovanie graficheskogo protsessora dlya uskoreniya raspredelennykh vychisleniy pri prognoze ekstremal'nykh znacheniy temperatury vozdukha // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 4. S. 33–38.

DOI: 10.25586/RNU.V9I187.19.01.P.055

УДК 621.396.67

А.В. Наговицын, В.В. Вознюк, А.Н. Наговицына

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ АНТЕНН
ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ОРБИТАЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Предметом рассмотрения являются предложения по новому концептуальному подходу к технологии создания крупногабаритных космических трансформируемых антенн надувного типа с возможностью оперативной коррекции текущих деформаций конструкции антенного полотна на основе юстировки эталонными излучениями с наземных пунктов коррекции.

Ключевые слова: технология создания, крупногабаритная космическая трансформируемая антенна, надувная конструкция, композитные и синтетические материалы, адаптивная фазированная антенная решетка, юстировка.

A.V. Nagovitsyn, V.V. Voznyuk, A.N. Nagovitsyna

TECHNOLOGICAL BASIS FOR THE CREATION
OF THE TRANSFORMABLE ANTENNAS
OF THE SPACE BASED RADIO SYSTEMS

The subject of consideration are proposals for a new conceptual approach to the technology of creating large-size space based transformable inflatable type antennas with the possibility of operational correction of the current deformation of the antenna web design based on the alignment of reference radiation from the ground correction points.

Keywords: technology of creation, large-size space transformable antenna, inflatable structure, composite and synthetic materials, adaptive phased array antenna, alignment.

Введение

Бортовые антенны являются неотъемлемой частью современных космических радиотехнических комплексов орбитального базирования. По мере возрастания количества и сложности целевых задач применение космических антенн потребовало увеличения площади апертуры антенны. Понятно, что в условиях жестких массогабаритных огра-