

Модели компьютерного зрения в задачах дистанционного зондирования земли

Жарикова Евгения Павловна

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Студент

Григорьев Ян Юрьевич

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

кандидат физико-математических наук, доцент; декан факультета компьютерных технологий

Григорьева Анна Леонидовна

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

кандидат физико-математических наук, доцент; зав. кафедрой «Высшая математика»

Аннотация

В работе рассматриваются вегетационные индексы (ВИ) для задач дистанционного зондирования земли. Показывается зависимость спектров оптического диапазона (инфракрасного и красного) в расчете ВИ. Осуществляется выбор оптимальных индексов в зависимости от параметров сканирования. Рассматриваются алгоритмы реализации программы расчёта ВИ.

Ключевые слова: вегетационный индекс, дистанционное зондирование, спектр

Models in computer vision to problems of remote sensing of the earth

Zharikova Evgeniya Pavlovna

Komsomolsk-on-Amure State University

Student

Grigoriev Jan Urevich

Komsomolsk-on-Amure State University

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; Dean of the Faculty of Computer Technology

Grigiryeva Anna Leonidovna

Komsomolsk-on-Amure State University

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; head Chair of «Higher Mathematics»

Abstract

Explanation of the value of vegetation indices (VI) for remote sensing problems of the earth. The dependence of the spectra of the optical range (infrared and red) in the calculation of the VI is shown. The main vegetative indices are considered. A study was conducted to select the optimal index. The considered algorithm for the implementation of the program for calculating VI, for the study. Optimal VI for various problems are determined.

Keywords: vegetation indices, remote sensing, spectra

Большой объем информации о состоянии поверхности несет в себе отражение от нее солнечного света в различных спектральных диапазонах. В связи с этим одну из ведущих ролей в дистанционном зондировании играют так называемые вегетационные индексы (ВИ), позволяющие классифицировать объекты живой природы. Они рассчитываются путем проведения различных операций с разными световыми каналами.

В настоящее время существует большое количество типов ВИ характеризующих состояние биомассы, включающее в себя наличие, степень угнетенности и видовое многообразие. В зависимости от рассматриваемой задачи, приоритет в выборе конкретного ВИ может быть неоднозначным. Для корректного описания состояния биомассы необходимо произвести обработку большого массива данных и определить оптимальный ВИ.

С понятием ВИ тесно связано понятие почвенной линии и заключается в том, что открытая почва на снимке будет формировать в спектральном пространстве прямую линию (Рисунок 1).

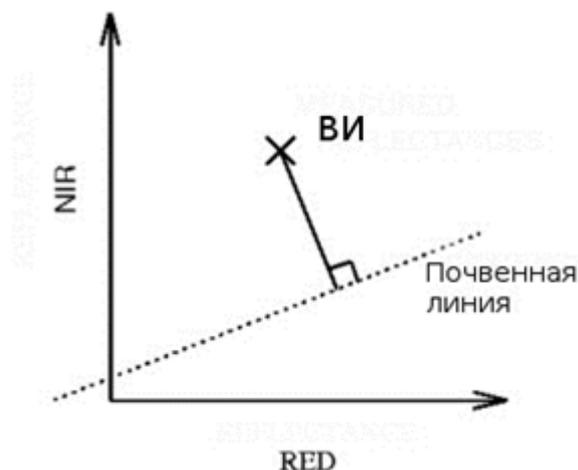


Рисунок 1 – Схематичное изображение почвенной линии

Особенностью ВИ является тот факт, что почти все распространенные вегетационные индексы используют только соотношение красного и ближнего инфракрасного каналов, так как предполагается, что в ближней инфракрасной области лежит линия открытой почвы. Данные каналы разделяются по длине световых волн. Красный канал (RED) находится в красной области видимого спектра, имеет длину волны (0,6-0,7 мкм) и

граничит с ближним инфракрасным (NIR) каналом с длиной волны (0,7-1,0 мкм). Такой подход обоснован тем, что в красной области спектра лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области находится область максимального отражения клеточных структур листа.

Основным ВИ является так называемый относительный вегетационный индекс RVI (Ratio Vegetation Index) (Формула 1), был впервые описан в 1969 году.

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (1)$$

где RED и NIR - значения коэффициента спектральной яркости, описанные выше.

RVI изменяется в диапазоне от нуля до бесконечности. Используется для расчета отношения каналов для нивелирования различных эффектов альбедо (характеристики отражательной способности поверхности).

Одним из самых распространенных ВИ является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), данный индекс применяется для определения фотосинтетической активности выделенной зоны. Ниже приведена формула (Формула 2) расчета индекса NDVI (изменяется от -1 до 1) для спутниковых снимков разных сенсоров.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2)$$

Из формулы 1 видно, что $NIR = RVI * RED$, подставим значение в формулу 2 и получим другое представление индекса NDVI:

$$NDVI = \frac{RVI*RED-RED}{RVI*RED+RED} = \frac{RED(RVI-1)}{RED(RVI+1)} = \frac{RVI-1}{RVI+1} \quad (3)$$

Рассчитать NDVI можно по любому снимку, имеющего каналы в красном и ближнем инфракрасном диапазоне. Основным ограничением применения данного индекса является то, что он достаточно точен для достаточно плотных насаждений. В перечне вегетационных индексов ресурса Gis LAB казано «NDVI не стоит применять, если растительный покров меньше 30%».

Для построения карт содержания азота в листьях растений применяется индекс GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) (Формула 4). Чаще применим в сельском хозяйстве, предназначен для обнаружения проблемных зон состояния посевов.

$$GNDVI = \frac{NIR-GREEN}{NIR+GREEN} \quad (4)$$

Еще одним индексом является инфракрасный ВИ (Infrared Percentage VI (IPVI)). С точки зрения вычислений является более быстрым, так как в нём отсутствует вычитание красного канала из числителя (Формула 5).

$$IRVI = \frac{NIR}{NIR+RED} \quad (5)$$

Данный индекс изменяется от 0 до 1, что также более эффективно относительно NDVI, так как отсутствует необходимость в хранении знака индекса. В ограничениях, связанных с плотностью насаждений, данные индексы абсолютно идентичны.

Большой проблемой всех вышеперечисленных индексов является то, что при достаточно разряженной растительности, спектр снимка в основном зависит от почвы, которая может достаточно сильно различаться по отражению, даже если для анализа используются очень широкие спектральные диапазоны. Однако данное утверждение верно для космических снимков, необходимо проверить: будет ли такой порог справедлив для насаждений, снимки которых были получены с сенсоров беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Данную проблему могут частично решить индексы, эффективность которых выше для плотности покрова ниже 30%. Такие ВИ способны работать на плотности до 15%.

Одним из основных аналогов NDVI для разряженной растительности является индекс PVI (Perpendicular VI) или перпендикулярный индекс (Формула 6). Имеет меньшую чувствительность, однако сильно чувствителен к изменению атмосферы, достаточно прост в применении.

$$PVI = \sin a * NIR - \cos a * RED \quad (6)$$

где, a - угол между почвенной линией и осью NIR.

Диапазон значений для открытой почвы от -0.7 до 2. Стоит отметить, что сравнение данных полученных в разные промежутки времени не представляется возможным, если не была проведена коррекция атмосферных данных.

Более простым для расчетов аналогом PVI является индекс WDV (Weighted Difference VI) (Формула 7), однако, в отличие от PVI имеет бесконечный диапазон значений и также чувствителен к изменению атмосферы. Для открытой почвы изменяется от -2 до 2.5.

$$WDVI = NIR - r_0 * RED \quad (7)$$

где, r_0 – наклон почвенной линии.

Значительное преимущество над индексами PVI и WDV имеет индекс EVI (Enhanced VI) (Формула 8), так как влияние почвы и атмосферы на данный индекс минимизировано.

$$EVI = \frac{NIR-RED}{NIR+6*RED-7.5*BLUE+1} \quad (8)$$

Большинство индексы основаны на предположении, что почвенная линия имеет одинаковый наклон на всём своём протяжении относительно осей RED и NIR. Однако такая модель противоречит реальным условиям, так как почвы могут сильно отличаться, что будет выражено изменением наклона почвенной линии. Данная проблема актуальна для сильно разреженных насаждений.

Для подавления «почвенного шума» используются почвенные ВИ. Ярким примером такого индекса служит SAVI (Soil Adjusted VI) (Формула 9).

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} * (1 + L) \quad (9)$$

где, переменная L является индексом олиственения и задаётся в ручную в диапазоне от 0 до 1, L = 1, если растительность сильно разрежена, оптимальное значение L = 0.5. При L стремящемся к нулю сводится к NDVI и, как NDVI, при любом L изменяется в диапазоне от -1 до 1.

Данный индекс имеет модификацию MSAVI (Modofied Soil Adjusted VI) (формула 10)

$$MSAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED-L} * (1 + L) \quad (10)$$

где $L = 1 - 2 * s * NDVI * WDWI$, где s – наклон почвенной линии.

Благодаря такой модификации, нет необходимости самостоятельно оценивать плотность листовного покрова. Изменяется данный индекс так же как и предыдущий от -1 до 1.

Чтобы подтвердить или опровергнуть такое большое количество индексов для БПЛА необходимо провести исследование. Для этого необходимо разработать ПО для расчёта всех вышеуказанных индексов.

Для проведения исследования разрабатывается программное обеспечение (ПО) для расчета включенных в исследование ВИ: NDVI, GNDVI, IRVI, RVI, NLI, EVI. Для его реализации определяются сенсоры видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

Для обеспечения длин волн в интервале от 0.7 мкм до 0.9 мкм входящих используется бесконтактный сенсорный контроллер (Kinect), позволяющий получать длину волны от 0.7 до 0.95 мкм, что удовлетворяет ограничениям модели. Для оценки точности работы модели дополнительно использовались космические снимки Lansat 4-5, соответствующие аналогичным диапазонам.

В качестве средств разработки выбираются: библиотека OpenCV, язык C++ и Python с использованием возможностей ROS(robot operation system). Исползуется выборка снимков в видимом(RGB) и ближнем ИК(NIR) диапазонах. Каждое изображение представляется матрицей из NxM пикселей (P). RGB изображение разбивается на три цветовых канала: красный(Red), зеленый (Green) и синий(Blue) – данное разбиение едставляется в виде массива, элементами которого являются числа в диапазоне от 0 до 255, таким

образом, матрица RGB изображения является трёхмерной, и имеет размерность $N \times M \times C$, где $C = 3$.

В начале эксперимента каждому пикселю p_i^j соответствует для значения из множеств NIR и RGB. Однако такая модель праведлива только для изображений полученных со спутников. Для небольших расстояний утверждение несправедливо по этому вводится понятие окрестности пикселя. Обусловлено это тем, что ИК-камера и RGB-камера находятся на расстоянии l_{ep} друг от друга. По-этому, чем дальше исследуемый объект, тем меньшее число пикселей всходит в окрестность. Таким образом, формулы 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 для каждого пикселя будут иметь вид (Формула 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18) соответственно:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} = \frac{IR(i,j)-RGB(i,j,2)}{IR(i,j)+RGB(i,j,2)} \quad (11)$$

$$GNDVI = \frac{NIR-GREEN}{NIR+GREEN} = \frac{IR(i,j)-RGB(i,j,1)}{IR(i,j)+RGB(i,j,1)} \quad (12)$$

$$IRVI = \frac{NIR}{NIR+RED} = \frac{IR(i,j)}{IR(i,j)+RGB(i,j,2)} \quad (13)$$

$$PVI = \sin a * IR(i,j) - \cos a * RGB(i,j,2) \quad (14)$$

$$WDVI = NIR - r_o * RED = IR(i,j) - r_o * RGB(i,j,2) \quad (15)$$

$$EVI = \frac{NIR-RED}{NIR+6*RED-7.5*BLUE+1} = \frac{IR(i,j)-RGB(i,j,2)}{IR(i,j)+6*RGB(i,j,2)-7.5*RGB(i,j,0)+1} \quad (16)$$

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} * (1+L) = \frac{IR(i,j)-RGB(i,j,2)}{IR(i,j)+RGB(i,j,2)+L} * (1+L) \quad (17)$$

$$MSAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED-L} * (1+L) = \frac{IR(i,j)-RGB(i,j,2)}{IR(i,j)+RGB(i,j,2)-L} * (1+L), \quad (18)$$

где $IR(i,j)$ и $RGB(i,j)$ – значение пикселей входящих в окрестность соответствующее среднему этой окрестности (формула 19).

$$P_{pic}(i,j) = \frac{\sum_{oki=i+k}^{okj=j+k} \sum_{okj=j-k}^{okj=j+k} P_{pic}(oki,okj)}{k^2} \quad (19)$$

где $P_{pic}(i,j)$ - среднее значения пикселя $IR(i,j)$ или $RGB(i,j)$ в некоторой окрестности с диаметром $2k$. Модель изменения радиуса в окрестности была выведена путем анализа полученных ВИ и реального состояния биомассы при измерениях на разном расстоянии.

Алгоритм расчета ВИ представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Блок-схема обработки изображений для расчёта вегетационных индексов

После обработки данных были получены карты ВИ (Рисунок 2).

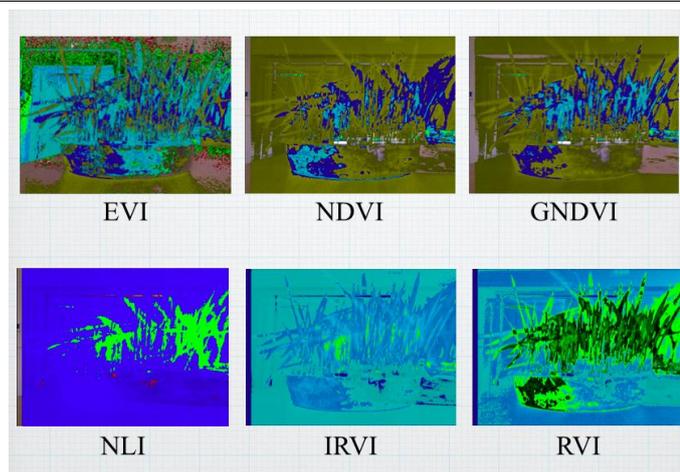


Рисунок 2 – карты построенные на основе различных ВИ (изображения получены в лабораторных условиях)

Исследования показывают, что для космических снимков NDVI является наиболее эффективным, что подтверждает его популярность в задачах дистанционного зондирования земли ДЗЗ, однако, при небольших расстояниях корректнее использование NLI и RVI, так как определение биомассы оказывается значительно точнее, что видно из рисунка 1. Целью дальнейших исследований является разработка моделей, позволяющих автоматизированное совместное использование: NDVI, RVI и NLI.

Библиографический список

1. Лесные пожары: классификация, прогнозирование, организация тушения// WOOD.RU: Лесная отрасль в интернете. URL: <http://www.wood.ru/ru/lofire.html> (дата обращения 09.12.2017).
2. Мониторинг лесных экосистем// WOOD-PROM.RU: Лесная промышленность. URL: <http://www.wood.ru/ru/lofire.html> (дата обращения 09.12.2017).
3. Дистанционное зондирование леса// RCFH.RU: Российский центр защиты леса. URL: http://rcfh.ru/wiki/index.php/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2_%D0%B7%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D0%B5_%D0%B7%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8C%D1%8F_%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%B0 (дата обращения 19.12.2017).
4. Гиперспектральные съемочные системы// SOVZOND.RU: Технические средства URL: <https://sovzond.ru/products/equipment/hyperspectral/> (дата обращения 29.12.2017).
5. Длина волны глубокого проникновения ИК излучения в ткани человека //UBORG.RU Uborg URL: <http://www.uborg.ru/infrared/history.htm> (дата обращения 29.12.2017).
6. Вегетационные индексы //GIS-LAB.INFO Географические

- информационные системы и дистанционное зондирование URL: <http://gis-lab.info/qa/vi.html#.D0.92.D0.B2.D0.B5.D0.B4.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D0.B5> (дата обращения 29.12.2017).
7. Индексные изображения //NRCGIT.RU
Новосибирский региональный центр геоинформационных технологий
URL: <http://www.nrcgit.ru/aster/methods/arithmetic.htm> (дата обращения 29.12.2017).
8. Архипкин О.П., Спивак Л.Ф., Сагатдинова Г.Н. Пятилетний опыт оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане // Материалы четвертой всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М: Институт космических исследований РАН, 2007, Т. 4, №1. С 103-110.
9. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В., Ильючик М. А., Мельник П. Г. Спектральные индексы для оценки пожарной опасности лесов по материалам космической съемки с использованием ГИС-технологий в условиях рационального природопользования // Биоэкономика и экобиополитика. 2016. №1. С. 163-170. URL <https://moluch.ru/th/7/archive/26/1183/> (дата обращения: 30.03.2018).
10. Жирин В.М., Барталев С.А., Ершов Д.В. Спектрометрическая оценка состояния древесных растений при мониторинге лесов // Проблемы мониторинга и моделирования динамики лесных экосистем: Сб. статей под ред. академика РАН А.С. Исаева, М.: «Журнал Экос-информ», 1995.