

Ю.В. Гриднев

Обнаружение малоразмерных пожаров по данным приборов AVHRR спутников NOAA

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 24.01.2002 г.

Получен, реализован и исследован новый алгоритм обнаружения малоразмерных пожаров по пятиканальным данным приборов AVHRR спутников серии NOAA. Особенностью алгоритма является использование феноменологической модели описания малоразмерных пожаров на субпиксельном уровне и мешающих факторов типа бликов в облаках. Приведены примеры работы алгоритма по обнаружению пожаров на территории Томской области.

Сложность задачи обнаружения малоразмерных пожаров по данным прибора AVHRR обусловлена слабой разрешающей способностью снимков, составляющей в лучшем случае $1,1 \times 1,1$ км, нестационарностью оптико-геометрических условий наблюдения подстилающей поверхности Земли (ППЗ), стохастичностью облачных полей, порождающих артефакты [1, 2]. Фактически речь идет о построении алгоритма обнаружения «потеплевших» пикселей в хаосе многообразия всевозможных вариаций радиационной температуры данных и условий видения через атмосферу. Проблеме обнаружения пожаров посвящено значительное количество работ, которые в идейном плане представлены двумя классами алгоритмов. В первом варианте решающие правила алгоритмов обнаружения формируют пороги из физических соображений в виде неравенств [1]. Во втором — для построения оптимальных решающих правил необходимо знание вероятностных распределений наблюдений в условиях различных ситуаций. В данной статье делается акцент на построение признаковых пространств нелинейным преобразованием исходного описания, в котором решающее правило обнаружения имеет наиболее простой вид.

Вначале рассмотрим задачу обнаружения тепловых аномалий в случае, когда апертура сканирующего устройства регистрирует элемент ППЗ $1,1 \times 1,1$ км, лишь частично занятый пожаром. Формируемая при этом радиационная температура соответствующего пиксела состоит из температуры фона и температуры горячего участка, взятых пропорционально занимаемым площадям.

1. Детектор температурных аномалий

Для обнаружения горячих участков ППЗ в пределах апертуры сканирующего устройства используем изменение соотношения интенсивностей между 3, 4 и 5-м каналами. При этом исходим из следующих очевидных соображений. Допустим, что на некотором участке площадью S , соответствующем углу зрения радиометра, и температурой T_0 есть горячий участок площадью S_1 и температурой T_1 . Считаем, что как холодная, так и горячая области соответствуют модели излучения черного тела. В этом случае интенсивность излучения есть взвешенная сумма интенсивностей холодного и горячего участков, определяемых по формуле Планка:

$$I(\nu) = \alpha \frac{C_1 \nu^3}{\exp(C_2 \nu/T_0) - 1} + \beta \frac{C_1 \nu^3}{\exp(C_2 \nu/T_1) - 1}, \quad (1)$$

где $\alpha = (S - S_1)/S$, $\beta = S_1/S$ — весовые коэффициенты; $C_1 = 1,910659 \cdot 10^{-5}$ мВт ($\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{см}^{-4}$), $C_2 = 1,438833$ см · К.

График зависимости излучения от частоты для температур $T_0 = 273$ К, $T_1 = 1273$ К и $S_1/S = 0,006$ приведен на рис. 1.

Обозначим интенсивности в 3, 4 и 5-м каналах I_3 , I_4 и I_5 соответственно.

Для того чтобы привести интенсивности в разных каналах к одному масштабу величин, введем нормирующие коэффициенты C_3 , C_5 , равные

$$C_3 = I_4(323)/I_3(323),$$

$$C_5 = 0,845 I_4(323)/I_5(323),$$

где $I_3(323)$, $I_4(323)$ и $I_5(323)$ — интенсивности 3, 4 и 5-го каналов при температуре 323 К, рассчитанные по спектральным характеристикам радиометров.

Далее формируем следующие величины:

$$R = 50 \left(1 - \frac{C_5 I_5}{I_4} \right); \quad G = 5 \frac{C_5 I_5}{I_4};$$

$$B = \frac{C_3 I_3}{I_4},$$

которые образуют некоторое многообразие трехмерного пространства. В пространстве RGB перейдем в плоскость (x, y) , проходящую через единичные точки введенной системы координат, т. е. найдем точку пересечения вектора (R, G, B) и плоскости, проходящей через точки $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$, $(0, 0, 1)$.

Пусть

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{B}{R+G+B},$$

$$x = \frac{b-g}{\sqrt{2}}, \quad y = \frac{3r-1}{\sqrt{6}}. \quad (2)$$

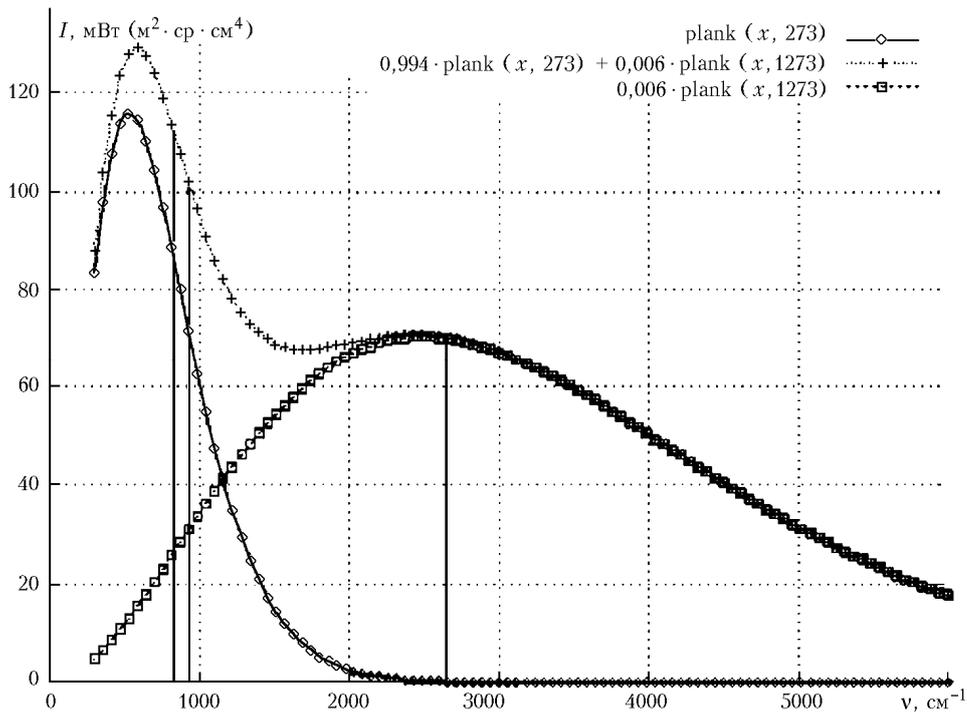


Рис. 1. Графики зависимости излучения от частоты для температур T_0, T_1

В плоскости (x, y) формируем решающее правило, исходя из следующих соображений:

– при отсутствии горячих участков точки (x, y) , порождаемые преобразованными значениями радиационных температур каналов 3–5, ложатся на некоторую кривую, которую назовем базовой;

– при появлении горячего участка в зависимости от его размеров соответствующая точка смещается вправо вниз.

Примеры соответствующих кривых для вариаций температур фона T от -30 до $+50$ °C приведены на рис. 2.

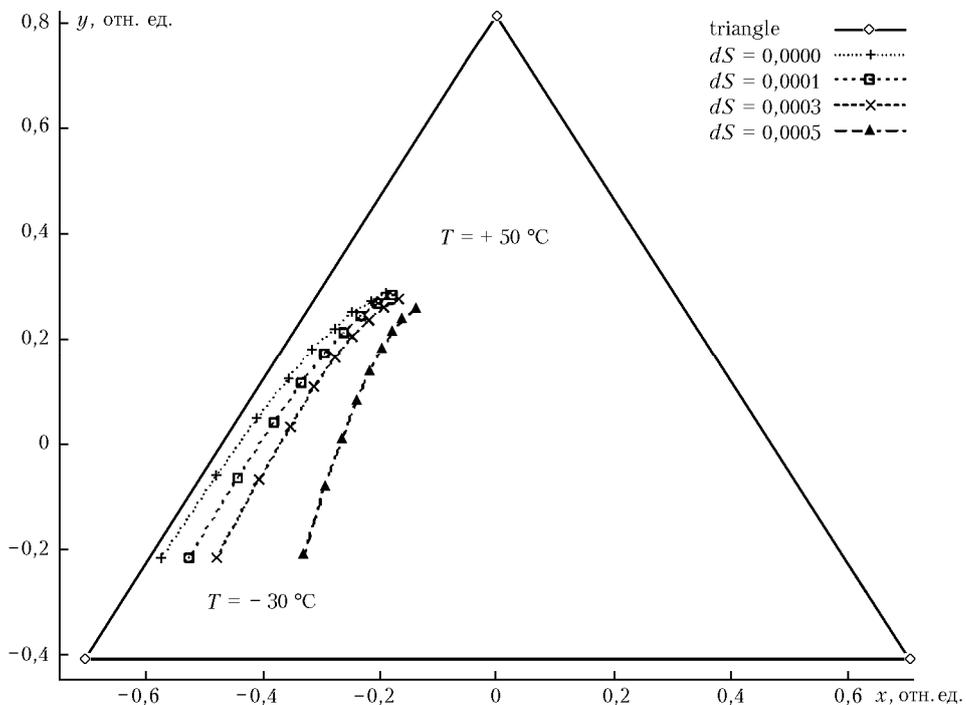


Рис. 2. Плоскость RGB признакового пространства для обнаружения тепловых аномалий

Кривые рассчитаны для спутника NOAA-14 при температуре горячего участка 773 К (500 °С) и вкладах горячего участка (в относительных площадях) 0,0001, 0,0003 и 0,0005. Для приборов AVHRR спутников серии NOAA это соответствует линейным размерам горячего участка примерно 10, 17 и 22 м² соответственно в точке надира. К сожалению, эффективность такого решающего правила недостаточно высока ввиду часто возникающих бликов, которые легко принимаются за пожары.

2. Учет мешающих факторов

Основным фактором, приводящим к ложному определению горячих участков в дневное время, является рассеяние солнечной радиации на облаках. Представим оценку рассеянного солнечного излучения в виде некоторой аддитивной добавки:

$$I_3 = I_{3c}(T_4) + \Delta I,$$

где I_3 – интенсивность в 3-м канале; $I_{3c}(T_4)$ – интенсивность, рассчитанная по температуре 4-го канала; ΔI – добавка, вызванная рассеянным солнечным излучением.

Свяжем оценку солнечной добавки с альбедо в первом канале и разностью температур в 4-м и 5-м каналах следующим образом:

$$\Delta I = f(A_1) [1 + k_{45} (T_4 - T_5)], \quad (3)$$

где $f(A_1)$ – зависимость добавки от альбедо в первом канале; k_{45} – коэффициент связи добавки с разностью температур в 4-м и 5-м каналах.

Поскольку однозначной зависимости солнечной добавки от альбедо в первом канале и от разности температур в 4-м и 5-м каналах выявить не удалось, оценку входящих в уравнение неизвестных величин делаем по некоторой окрестности анализируемой точки. Сначала оцениваем коэффициент k_{45} . Для этого по данным 1, 4 и 5-го каналов выделенного фрагмента строим таблицу зависимости добавки от разности температур и альбедо в первом канале с шагом по альбедо 1% и по температуре 0,5 градуса. Будем полагать, что сформированная таблица имеет n значений альбедо и m значений разности температур. Используя эту таблицу, производим оценку коэффициента k_{45} методом наименьших квадратов для тех значений альбедо, для которых существуют значения в достаточно протяженном диапазоне разности температур:

$$\Delta I = I_3 - I_{3c}(T_4), \quad \Delta I = K_{45j} (T_4 - T_5) + \Delta I_0,$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta I_0} = \frac{K_{45j}}{\Delta I_0} \Delta T + 1, \quad \frac{\Delta I}{\Delta I_0} = k_{45j} \Delta T + 1.$$

Для каждого столбца таблицы вычисляем

$$k_{45j} = \frac{n \sum_{i=1}^n \Delta T_i \Delta I_i - \sum_{i=1}^n \Delta T_i \sum_{i=1}^n \Delta I_i}{\sum_{i=1}^n \Delta I_i \sum_{i=1}^n \Delta T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Delta T_i \right)^2}, \quad j = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Наконец, усреднив полученные значения, имеем

$$k_{45} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m k_{45j}. \quad (5)$$

Оценку функции $f(A_1)$ производим по двумерной гистограмме нормированной солнечной добавки $h(A_1, \Delta I_j)$, при этом диапазоны значений альбедо и добавок разбиваем на 100. Сначала определяем минимальное и максимальное значения добавки $\Delta I_{\min j}$ и $\Delta I_{\max j}$ для каждого интервала альбедо $j = 1, \dots, m$, по которым вычисляем нормирующие коэффициенты:

$$k_{rj} = \frac{100}{\Delta I_{\max j} - \Delta I_{\min j}}.$$

Затем для каждого интервала альбедо находим нормированную добавку с учетом ранее определенной зависимости от разности температур в 4-м и 5-м каналах:

$$\Delta I_j = I_3 - I_{3c}(T_4),$$

$$\Delta I_{rj} = k_{rj} \left(\frac{\Delta I_j}{1 + k_{45}(T_4 - T_5)} - \Delta I_{\min j} \right), \quad j = 1, \dots, m. \quad (6)$$

По полученным значениям ΔI_{rj} и значениям альбедо в первом канале A_1 строим двумерную гистограмму $h(A_1, \Delta I_{rj})$, по которой определяем значения $\Delta I_{rj,0.85}$ по уровню 0,85 и среднее квадратическое отклонение σ_j добавки ΔI_{rj} для каждого интервала альбедо. По полученным значениям строим функцию зависимости добавки от альбедо в первом канале, полагая $A_1 = j$:

$$f(A_1) = \Delta I_{\min j} + \frac{\Delta I_{rj,0.85} + \sigma_j}{k_{rj}}.$$

Промежуточные значения получаем с помощью линейной интерполяции. Далее производим коррекцию интенсивности 3-го канала с помощью полученной оценки:

$$I_{3k} = I_3 - f(A_1) [1 + k_{45} (T_4 - T_5)], \quad (7)$$

и производим анализ на наличие горячей точки с помощью описанного выше детектора.

3. Эксперименты по обнаружению тепловых аномалий

Программа обнаружения пожаров реализована в виде консольного приложения под Windows 95. Входными данными являются файл формата HRPT, получаемый с помощью приложения SX Receiver станции SCANEX, и файл орбитальных элементов NORAD-TLE. Таким образом, исходными данными были пятиканальные данные приборов AVHRR, поставляемые в виде изображений спутниками серии NOAA примерно 4–5 раз в сутки для территории Томской области.

Работа алгоритма обнаружения осуществлялась в автоматическом режиме, результаты анализа в формате BMP-изображения региона с выделенными тепловыми аномалиями и цветовой индикацией температурных градиентов пожаров записывались на диск. Сопровождающий текстовый файл содержит информацию о широте и долготы каждой из обнаруженных аномалий, количестве

пикселей, занимаемых пожаром, и значении его температурной мощности.

Информация по обнаруженным пожарам в оперативном режиме мониторинга передавалась службам лесоохраны территории Томской области [3, 4]. При этом эффективность обнаружения пожаров была несколько выше эффективности работы опытного оператора по обнаружению пожаров.

1. Жеребцов Г.А., Кокуров В.Д., Кошелев В.В., Минько Н.П. Использование данных AVHRR с ИСЗ NOAA для обнаружения лесных пожаров // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 5. С. 74–77.

2. Белов В.В., Афонин С.В., Гриднев Ю.В., Протасов К.Т. Тематическая обработка и атмосферная коррекция аэрокосмических изображений // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12. № 10. С. 991–1000.
3. Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В. Система космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области. Часть 1. Организация системы космомониторинга // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 11. С. 996–1004.
4. Афонин С.В., Белов В.В. Система космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области. Часть 2. Оценка эффективности космомониторинга // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 8. С. 692–696.

Yu.V. Gridnev. Detection of small-size fires from the data of NOAA spaceborne AVHRR devices.

A new algorithm for detection of small-size fires from five-channel data of the AVHRR devices installed aboard the NOAA spacecraft is worked out and studied. A peculiarity of the algorithm is the use of a phenomenological model for description of small-size fires at a subpixel level and interfering factors like cloud patches. The examples of the algorithm operation for detection of fires on the territory of Tomsk region are given.