

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПРИЗНАКОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ NOAA

А.И. Алексанин , М.В. Круглов

*Институт Автоматики и Процессов Управления (ИАПУ) ДВО РАН,
690041, Владивосток, Радио 5
E-mail: aleks@iacp.dvo.ru*

В работе рассмотрены два вопроса: возможность использования данных авиа-лесоохраны для оценки интенсивности лесного пожара и построения зависимости величин признаков от расчетной интенсивности; определение информативности используемых признаков и их сочетаний, как для нахождения пожаров, так и для отсеивания ложных детектирований. Под информативностью признака подразумевается: его зависимости от интенсивности пожара, времени дня, сезона; сколько пропускается пожаров при изменении его порогового значения и сколько происходит случаев ложного детектирования; является ли список применяемых признаков избыточным и каково оптимальное сочетание признаков в зависимости от условий наблюдений. Работа поддержана грантом РФФИ 04-07-90350 и грантами ДВО РАН.

Оперативный спутниковый мониторинг лесных пожаров – актуальная задача для регионов России. Это важнейшее природоохранное мероприятие, поскольку авиационные методы разведки малоэффективны для своевременного обнаружения лесных пожаров. Чаще всего облеты совершаются по местам базирования авиа-отделений и не затрагивают периферию, где неконтролируемые возгорания достигают больших площадей и причиняют значительный ущерб.

Задаче поиска лесных пожаров по данным спутников NOAA посвящено значительное количество работ. Выделение пожаров базируется на расчете по спутниковым изображениям небольшого количества признаков, а решение принимается по достижению некоторых пороговых ограничений на эти признаки [1,2,3,4,5,6,9]. Может применяться также кластерный анализ, то есть формирование замкнутого кластера в гиперпространстве признаков, соответствующего лесным пожарам, на основе обучающих выборок [7]. Ещё один подход связан с локальным абсолютным пороговым приближением [8], когда пороги подбираются "динамически" - по самим изображениям. При этом ключевым спектральным диапазоном (каналом) является канал с длиной волны 3.7 мкм, позволяющий рассчитывать радиационную температуру T_3 .

Пороговые подходы не привели к универсальным и эффективным решениям для построения систем слежения за лесными пожарами. Существующее программное обеспечение вызывало нарекания как со стороны представителей лесоохраны, так и МЧС, которое до сих пор практикует визуальное дешифрирование пожаров экспертами. Это связано с тем, что используемые признаки перестают правильно работать, когда меняется сезон, или когда наземный объект меняет свои свойства. Изменение порогов для уменьшения числа ложных срабатываний неминуемо приводило к потерям чувствительности подобных алгоритмов.

В то же время при проведении исследований мало внимания уделяется таким вопросам, как: поведение конкретного признака в зависимости от: интенсивности пожара; времени дня, сезона; сколько пропускается пожаров при изменении порога и сколько происходит случаев ложного детектирования; является ли список применяемых признаков избыточным и каково оптимальное сочетание признаков в зависимости от условий наблюдений. Анализу этих свойств признаков, названных нами информативностью и посвящена работа.

Используемые данные

Данные наземной службы предоставлены Дальневосточной Базой Авиационной Охраны Лесов за период с 1995 года по декабрь 2001. Эта информация о наземном и авиационном патрулировании лесничествами, содержит около 20 параметров происшедших пожаров, из которых использовались следующие:

- дата и время обнаружения и ликвидации лесного пожара;
- площадь обнаруженного горящего участка (леса и "не леса") в гектарах;
- широта и долгота эпицентра пожара.

Лесоохрана классифицирует каждый пожар как лесной и нелесной. «Не лесом» называется горение невысокой растительности, которое может протекать как в лесу, так и в прилегающей к лесу территории. Каждый пожар в базе данных службы лесоохраны имеет значения площади гари леса и "не леса". Наложение координат пожаров за 2001 год на карту дало область активного патрулирования. Наиболее интересными оказались осенние месяцы 2001 года - сентябрь и октябрь с общим количеством возгораний 414, которые и были взяты для данного исследования.

Использовалась спутниковая информация Центра Регионального Спутникового Мониторинга Окружающей Среды ДВО РАН. Пространственное разрешение радиометра AVHRR спутников серии NOAA составляет порядка 1.1 км, частота получения актуальной информации по Дальневосточному региону – 5-8 изображений в разных спектральных диапазонах в течение суток. Число (“чистых”) изображений принятых за сентябрь и октябрь 2001 года составило 181. Для расчетов использовались 169 изображений, строго соответствующих области активного патрулирования.

Шумы третьего (3.7 мкм) ИК канала радиометра AVHRR [10] не превышали 0.7 градуса по амплитуде и в данном исследовании считались несущественными.

Постановка задачи и методы проведения исследований

В проведенном исследовании рассматривались два вопроса:

1. Корректность использования данных авиа-лесоохранны для оценки интенсивности лесного пожара и построения зависимости величин признаков от расчетной интенсивности.
2. Определение информативности используемых признаков и их сочетаний, как для нахождения пожаров, так и для отсеивания ложных срабатываний.

Определение интенсивности пожара по данным лесоохранны основано на простом соотношении:

$$I = \frac{S_{\text{ликвид}} - S_{\text{обнаруж}}}{T_{\text{ликвид}} - T_{\text{обнаруж}}} \quad (1)$$

где I – интенсивность горения Га в сутки; $S_{\text{обнаруж}}$, $T_{\text{обнаруж}}$ – площадь и время обнаружения лесного пожара; $S_{\text{ликвид}}$, $T_{\text{ликвид}}$ – площадь и время ликвидации лесного пожара.

Формула простая, и её выбор обусловлен крайней неравномерностью горения. Интенсивность пожара связана с температурой третьего канала и график изменчивости T_3 демонстрирует отсутствие закономерностей горения (рис.2).

В случае если пожар был крупный, его интенсивность рассчитывалась с поправкой на вклад в смежные пиксели на основе простого эмпирического соотношения.

$$I' = \frac{I}{V}; \quad (2)$$

Коэффициент вклада V :

$$V = \frac{\sum_{k=1}^9 (T_3^k - M_8)}{T_{\text{center}} - M_8}; \quad (3)$$

где T_3^k – радиационная яркостная температура пикселей по площадке 3×3 . Основная масса пожаров не требовала такой коррекции и укладывалась в размер одного пикселя.

T_{center} – радиационная яркостная температура центрального пикселя площадки размером 3×3 . M_8 – среднее значение температуры по пикселям окрестности.

$$M_8 = \frac{1}{8} \sum_{k=1}^8 T_3; \quad (4)$$

В работе использовался следующий набор типичных признаков выделения пожаров.

1. Радиационная яркостная температура 3-го канала T_3 радиометра AVHRR, спутников NOAA.
2. Величина разности каналов 3 и 4:

$$T = T_3 - T_4, \quad (5)$$

где T_3 и T_4 – соответственно радиационные яркостные температуры каналов 3 и 4.

3. “Контрастность по T_3 ” - отношение температуры выброса T_3 к средней температуре окружающих пикселей. Расчет производится по площадкам размером 3×3 , 5×5 , 7×7 , ... пикселей.
4. Признак “временная изменчивость T_3 ” – отклонение температуры выброса 3-го канала T_3 от предшествующих значений за последние несколько суток.

Зависимость величины признаков от интенсивности пожара

Для того чтобы оценить вклад горящей растительности, были сформированы четыре выборки пожаров за месяцы сентябрь и октябрь, а также помеченные лесоохраной соответственно как горение леса и

“не леса”. Для каждой из выборок были построены графики, сопоставляющие расчетную интенсивность пожара (2) с величинами различных признаков. Типичный график приведен на рисунке 3. Анализ подобных графиков привел к заключению, что в силу крайней неравномерности горения пожара (рис.1) использовать расчеты данных лесоохраны для оценки интенсивности фактически невозможно. Нет каких либо закономерностей горения. Единственный вывод, который можно сделать, не наблюдается существенных расхождений в величинах признаков при лесных и не лесных пожарах.

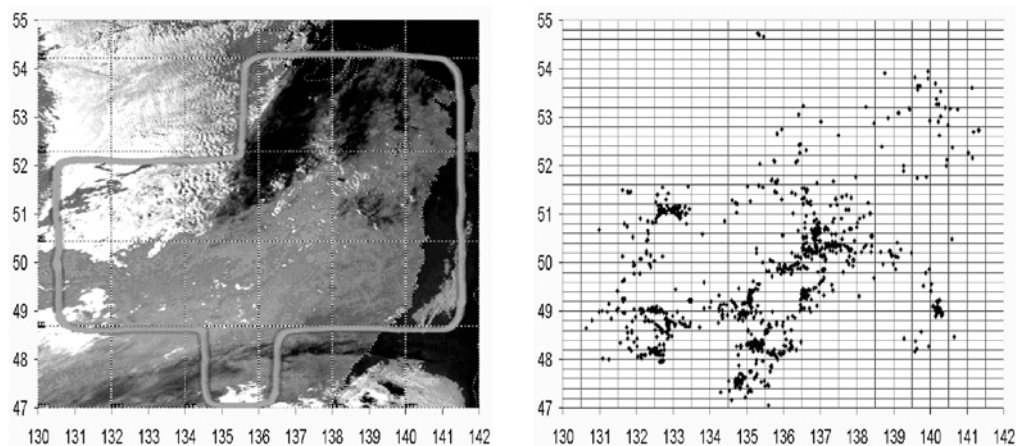


Рис 1. Хабаровский край, а) область активного патрулирования наземными службами, б) положения пожаров по данным лесоохраны

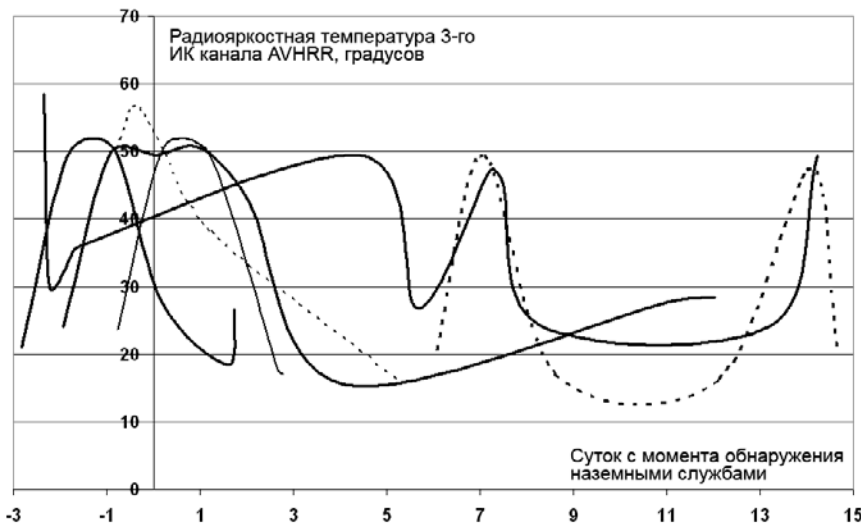


Рис. 2. Изменение тепловыделения конкретного пожара с течением времени

Информативность признаков лесных пожаров

При проведении исследований строились зависимости величин признаков от времени дня, от месяца наблюдения. Оценивалась способность признака различать истинные пожары и ложные. Затрагивались вопросы оптимального сочетания признаков. Для проведения исследований на "способность" признаков к ложному выделению пожаров были выбраны четыре тестовые площадки региона, две из которых приходятся на ночное время и две - на дневное. Выбранные площадки не содержали пожаров и намеренно содержали такие объекты, как облачность, болота, вершины гор, реки, озера.

Для предварительной настройки коэффициентов при расчете некоторых признаков, нами был выбран 35%-ый уровень потерь обнаружения. Потеря - число пожаров, которые не будут найдены по причине их малого размера (или других условий). Таким образом, признаки “контрастность” и “временная изменчивость T_3 ” приобрели следующие коэффициенты (локальные пороговые значения [2]):

$$T_3 > M_{\text{контрастность}} + 1.98 * D_{\text{контрастность}} ;$$

$$T_3 > M_{\text{предыстория}} + 1.12 * D_{\text{предыстория}} .$$

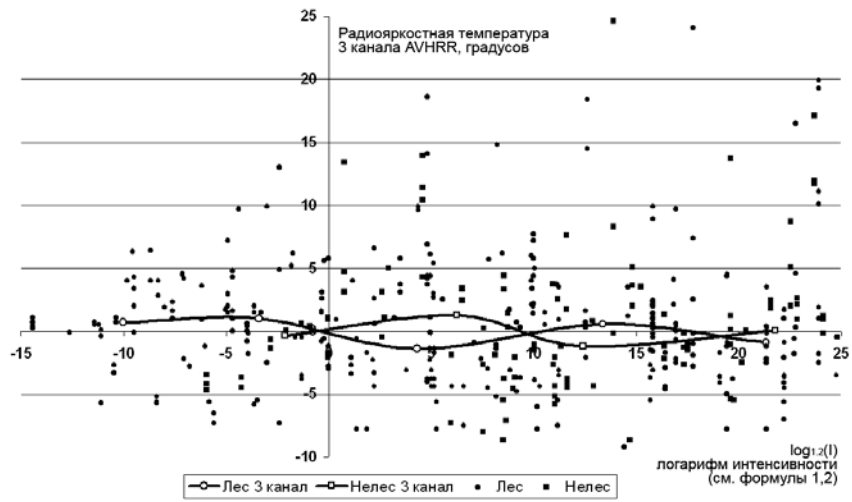


Рис. 3. Горение лесной и "не лесной" растительности, признак ТЗ (X - расчетная интенсивность, Y - яркостная температура 3-го канала)

На рисунках 4-7 приведены некоторые зависимости качества выделения пожаров от величины признака. На них изображены графики изменчивости трех параметров: количества выделенных пожаров, количество ложных и вероятности обнаружения пожара при заданной величине порога.

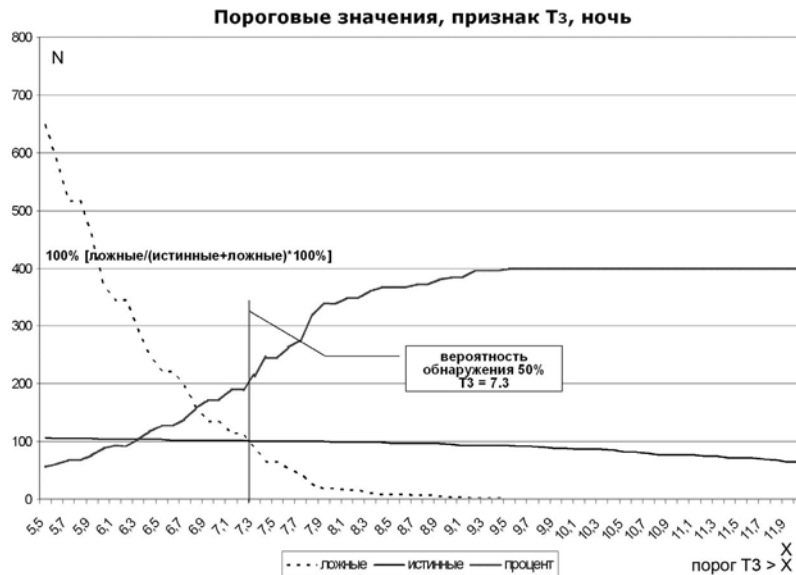


Рис. 4. Выделение пожаров, признак ТЗ, ночь

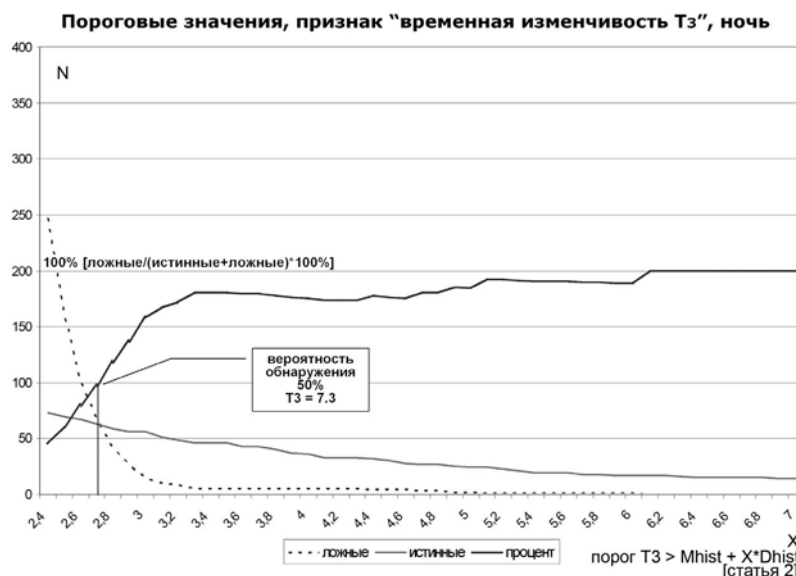


Рис 5. Выделение пожаров, признак "временная изменчивость ТЗ", ночь



Рис. 6. Выделение пожаров, признак "контрастность по T3", ночь

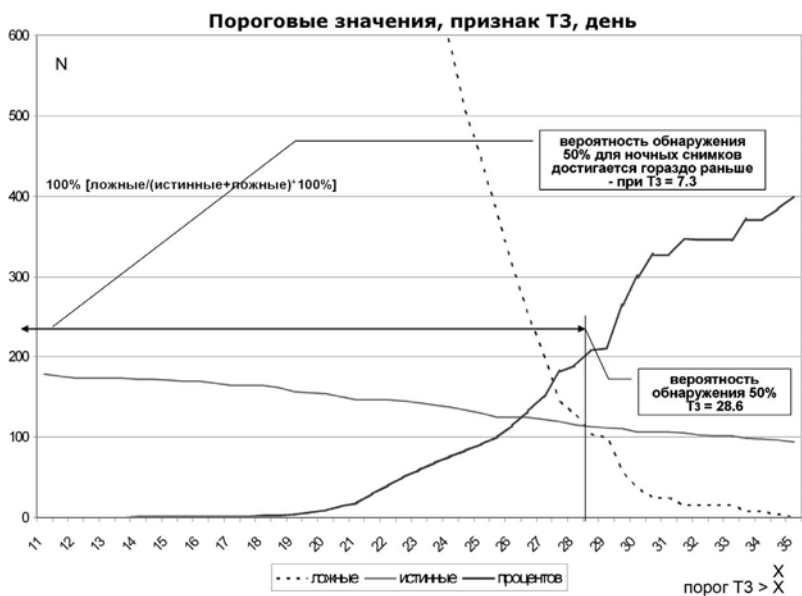


Рис. 7. Выделение пожаров, признак T3, день

Таблица 1. Графики "Пороговые значения, признак T3".

	Вероятность обнаружения, истинные/(ложные+истинные)*100%	Пороговое значение, градусов Цельсия	Потери, %
Ночные снимки	50% / 100%	$T_3 > 7.3$ / $T_3 > 9.4$	16% / 22%
Дневные снимки	50% / 100%	$T_3 > 28.6$ / $T_3 > 35$	45% / 53%

Таблица 2. Графики "Пороговые значения, признак временная изменчивость T3".

	Потери, %	Вероятность обнаружения, истинные/(ложные+истинные)*100%	Пороговое значение, градусов Цельсия
Ночные снимки	35%	50%	$T_3 > M + 2.8D$
Дневные снимки	35%	4%	$T_3 > M + 2D$

Таблица 3. Графики “Пороговые значения, признак контрастность по ТЗ”.

	Пороговое значение, градусы Цельсия	Потери, % см. Данные	Вероятность обнаружения, истинные/(ложные+истинные)*100%
Ночные снимки	T3>M3x3+3D3x3 или T5>M5x5+3D5x5	80%	50%
Дневные снимки	T3>M3x3+3D3x3 или T5>M5x5+3D5x5	40%	63%

В таблицах 1, 2 и 3 приведены основные результаты.

Можно отметить (табл.1), что динамически создаваемые пороги для ночного времени суток позволяет искать пожары при радиоярких температурах уже в 7.3 градусах при этом вероятность того, что пожар не будет ложным - составляет 50%.

По (табл.2) можно сделать вывод, что признак “Временная изменчивость” [2] хорошо выделяет пожары ночью, но не днем. И в то же время такой важный признак как “Контрастность” [2] даёт более успешные результаты именно в дневное время.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие заключения.

1. Разброс величин интенсивностей горения пожаров в зависимости от времени достаточно высок, что делает невозможным использование в исследованиях параметра интенсивности лесного пожара рассчитанной по данным наземных служб охраны леса.
2. Признак “контрастность” хорошо отделяет ложные срабатывания и лучше работает в дневное время.
3. Признак “временная изменчивость ТЗ” дает существенное возрастание вероятности определения пожара на температурах, близких к средней температуре фона.
4. Совместное использование признаков позволяет искать пожары с более низкими температурами.
5. Ложные срабатывания могут быть уменьшены совместным использованием признаков с минимальными потерями для действительных пожаров.

Заключение

Предварительные результаты проведенных исследований поведения типичных признаков выделения пожаров позволяют сделать следующие выводы.

При использовании конкретного набора признаков при проведении детектирования пожаров можно и нужно рассчитывать величину вероятности ложного детектирования и процент “теряемых” пожаров.

Эффективность обнаружения пожара с помощью того или иного признака не является единственным критерием информативности. Существуют признаки, чья эффективность относительно низка, но они хорошо отсекают “ложные” пожары.

Существует проблема оптимального сочетания признаков и их порогов на основе, по крайней мере, двух критериев: вероятности обнаружения пожара в заданной точке и разумной величины “потерь” - пропуска части пожаров.

Литература

1. С.В.Афонин, В.В.Белов, Эффективность применения спутниковых технологий для оперативного мониторинга лесных пожаров в томской области// Исследования Земли из Космоса, 2002. №1. С. 42-50.
2. Z.Li, S.Nadon and J.Cihlar, Satellite-based detection of Canadian boreal forest fires: development and application of the algorithm //Int. Remote Sensing, 2000. Vol. 21. No. 16. P.3057-3069.
3. Lasaponara, R.Cuomo, Satellite forest fire detection in the Italian ecosystem using AVHRR data.//Proc. III International Conference on Forest Fire Research, Coimbra (Portugal) 1998. ADAI.V2.P.2013-2028.
4. Tomas F. Lee and Paul M.Tag “Improved Detection of Hotspots using the AVHRR 3.7-um Channel” // American Meteorological Society, Vol. 71. No.12, December 1990
5. D.Stroppiana,S.Pinnock, The Global Fire Product: daily fire occurrence from April 1992 to December 1993 derived from NOAA AVHRR data. // Int. Remote Sensing, 2000. V. 21. N. 6&7. P. 1279-1288.
6. L.Giglio, J.D.Kendall, Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. //Int. Remote Sensing, 1999. V. 20. No. 10. P.1947-1985.
7. Н.А. Абушенко, Минько Н.П., Семенов С.М., Тащилин С.А., Татарников А.В. Разработка автоматизированного алгоритма обнаружения очагов пожаров по данным прибора AVHRR/NOAA для территории Восточной Сибири. //Международная школа молодых ученых и специалистов, Физика окружающей среды: Сб.трудов. 1999. с 46-49
8. V.Cuomo, R.Lasaponara, V. Tramutoli. Evaluation of a new satellite-based method for forest fire detection. //Int. Remote Sensing, 2001. V. 22. No. 9. P.1799-1826.
9. Жуков Б.,Брис К., Лоренц Е., Эртель Д., Скребек В., Зиман Я. Дистанционное зондирование пожаров и вулканов с помощью малого спутника BIRD. // Материалы конф. "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Москва, 10-12 ноября 2003",М: Полиграф сервис, 2004. С.156-163.
10. М.Г.Алекسانина, Анализ шумовых характеристик ИК-каналов радиометра AVHRR// Исследования Земли из Космоса, 1993. № 4. С.