

С. А. АСТАФЬЕВ, Д. Ю. ЛЫСЕНКО, А. С. ШИРОКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ

Представлена программа, позволяющая моделировать процесс распространения лесного пожара на основе данных, получаемых при беспилотном наблюдении за местностью. В программе применен перколяционный подход к прогнозированию, дающий возможность учитывать вероятность распространения огня в различных направлениях.

Ключевые слова: прогнозирование пожара, программа для моделирования, перколяция, вероятность распространения огня.

Введение. Проблема лесных пожаров (ЛП) очень актуальна для России, поскольку лесной фонд занимает примерно 70 % территории страны. В борьбе с пожарами важную роль играет их раннее обнаружение с последующим прогнозированием процесса распространения огня.

Наблюдение с воздуха позволяет в короткие сроки охватить значительные территории, предоставляет актуальную информацию о расположении потенциальных и реальных очагов возгорания. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляется наиболее перспективным направлением в области создания комплексов для контроля за лесными пожарами.

Комплекс мониторинга и прогнозирования ЛП, функционирующий на основе данных, поступающих с БПЛА, предназначен, в первую очередь, для использования в подразделениях МЧС с целью экстренного планирования мероприятий по ликвидации пожара на основе определения контура возгорания, расчета протяженности фронта пожара и площади пожара, определения направления распространения огня.

БПЛА по заданному маршруту облетает район, комплекс мониторинга и прогнозирования ЛП заносит координаты потенциальных очагов возгорания на карту, указывая степень

вероятности возникновения пожара. Чем больше анализируемых признаков свидетельствует о пожаре, тем выше вероятность.

Программа, предназначенная для моделирования процесса распространения ЛП на основе информации о скорости и направлении ветра и данных, полученных по результатам обработки аэрофотоснимков местности, является составной частью комплекса. Разработанная программа позволяет решать следующие задачи:

- прогнозирование направления и скорости распространения ЛП;
- определение контура и площади ЛП на заданный момент времени.

Необходимо учитывать, что такие встречающиеся на пути распространения огня объекты, как река, озеро, дорога, просека, противопожарный ров, болото и т.п., изменяют скорость продвижения пожара в заданном направлении, тем самым, формируется индивидуальная форма кромки пожара. Реальная скорость продвижения пожара может значительно отличаться от среднестатистической, приведенной в методике МЧС [1].

Алгоритм расчета скорости по методике МЧС в представленной программе усовершенствован путем использования вероятностного подхода теории перколяции.

Теория перколяции находит применение в решении следующих задач о регулярном движении в случайной среде [2]:

- описание процесса распространения пожара (задача связей);
- описание процесса полимеризации — образования геля (задача узлов);
- распространение эпидемий (задача связей).

Вероятность образования связей — распространения пожара в определенном направлении — зависит от множества параметров, например, силы и скорости ветра, влажности и температуры воздуха, плотности лесных насаждений, свойств древесины, рельефа местности и т.д.

Описание разработанной программы. Программа для моделирования процесса распространения лесного пожара разработана в пакете MatLab 7.0.1 (R14) SP1.

В результате обработки аэрофотоснимка местности выполняется:

- разбиение его на отдельные квадраты (ячейки), отражающие информацию о соответствующих участках реальной местности;
- определение индивидуальных характеристик каждой ячейки (цветность, яркость и т.п.) с применением алгоритма обработки изображения с цветовым распознаванием в RGB-пространстве. Выделить огонь на фоне других близких по цвету объектов возможно, используя его динамические характеристики. Для решения задачи фильтрации по временному изменению интенсивности необходимо перейти к цветовому пространству HSV (тон, насыщенность, яркость);

— сопоставление характеристик ячеек с вероятностью распространения огня (например, синий оттенок воды — 0, желтая листва — 60 % и т.п.), т.е. получение „образа перколяционной решетки“ (матрицы показателей вероятностей распространения огня). Подобную матрицу при условии ее координатной привязки к аэрофотоснимку возможно использовать для определения скорости распространения кромки пожара в различных направлениях. Задачу следует решать с применением экспертных оценок и динамического обновления данных.

Определить вид пожара можно, используя описание, приведенное в методике [1]. Для низовых пожаров характерна вытянутая форма с неровной кромкой, цвет дыма — светло-серый. При верховом пожаре огонь распространяется по кронам и стволам деревьев, форма при беглом верховом пожаре вытянута по направлению ветра, дым — темный.

Исходными данными для моделирования процесса распространения ЛП являются:

- 1) скорость ветра (V_v , м/с);
- 2) направление ветра относительно условного „нулевого“ направления, связанного с геопривязанным аэрофотоснимком (α , °);
- 3) вид пожара (1 — низовой, 2 — верховой);

4) класс горимости (1 — хвойный лес с примесью лиственных пород, 2 — лиственный лес с примесью хвойных пород);

5) класс пожарной опасности погоды (K);

6) масштабный коэффициент ($scale$) используемой в модели ячейки, определяющий расстояние на реальной местности, соответствующее стороне ячейки;

7) матрица со значениями вероятности распространения огня, полученная в результате обработки аэрофотоснимка ($VerFire$);

8) координаты очага возгорания (i, j);

9) длительность времени прогноза (T, c).

Для оценки пожарной опасности погодных условий в лесах используется комплексный показатель, который учитывает основные факторы, влияющие на пожарную опасность лесных массивов.

Комплексный показатель пожарной опасности определяется по формуле [1]:

$$K = \sum_1^n (T_0 - \tau) T_0,$$

где T_0 — температура воздуха на 12 часов по местному времени; τ — точка росы на 12 часов (дефицит влажности); n — число дней, прошедших после последнего дождя.

Выделяют следующие классы пожарной опасности погоды: I класс ($K < 300$) — отсутствие опасности; II класс ($300 < K < 1000$) — малая; III класс ($1000 < K < 4000$) — средняя; IV класс ($4000 < K < 12\,000$) — высокая; V класс ($K > 12\,000$) — чрезвычайная пожарная опасность.

Моделирование в программе осуществлялось с использованием (20×20) -матриц, что при масштабном коэффициенте $scale = 30$ соответствует области 600×600 м на реальной местности.

Характер распространения ЛП в направлениях фронта (наиболее быстро распространяющаяся в направлении ветра огневая кромка), тыла (двигающаяся против ветра кромка) и флангов пожара (перпендикулярно ветру) в достаточной степени изучен. Соответствующие значения скорости распространения огня можно получить из методики [1] на основе анализа статистических данных лесных хозяйств России за определенный промежуток времени.

В разработанной программе определяются скорости распространения фронта (V_{ϕ}), флангов ($V_{\phi л}$) и тыла ($V_{т}$) пожара в зависимости от скорости ветра ($V_{в}$), класса горимости насаждений и класса пожарной опасности погоды (K) для низового и верхового пожаров на основе зависимостей, приведенных в методике МЧС. Пример графика зависимости линейной скорости распространения фронта низового пожара от скорости ветра для насаждений 1-го класса горимости приведен на рис. 1 (римскими цифрами обозначены классы пожарной опасности погоды).

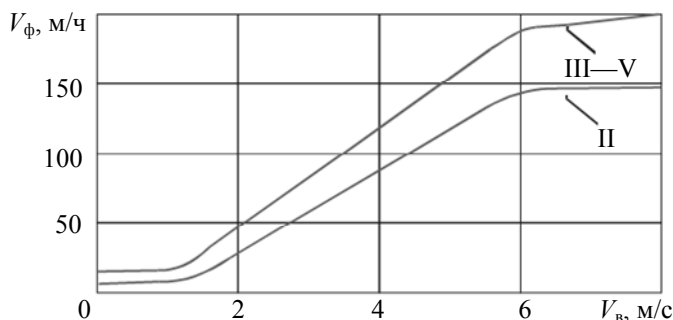


Рис. 1

Далее в программе определяется скорость распространения пожара в восьми заданных направлениях. Пример векторной диаграммы для определения скорости распространения огня в направлении $0, 45, 90, 135, 180, 225, 270$ и 315° приведен на рис. 2.

Перколяционный подход к прогнозированию процесса распространения пожара состоит в вычислении матриц скорости распространения пожара с учетом вероятности рас-

пространения огня в заданном направлении. Данный подход основан на поэлементном перемножении матриц скорости и матрицы вероятности распространения огня (*VerFire*), смещенной на одну ячейку в одном из восьми заданных направлений.

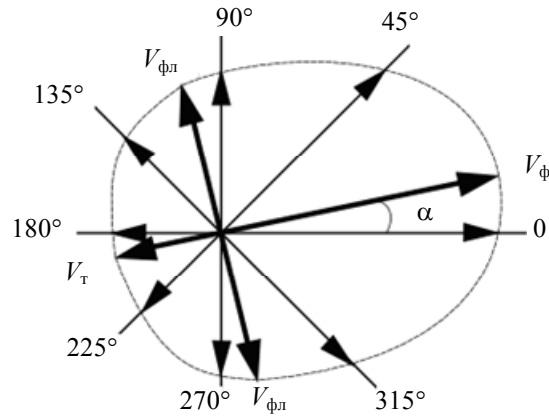


Рис. 2

Выходными данными программы являются:

- 1) визуализированная матрица пожара: 0 — отсутствие огня (ячейка белого цвета); 1 — наличие огня (ячейка черного цвета);
- 2) матрица значений времени возгорания отдельных областей относительно времени начала пожара;
- 3) площадь пожара ($S, м^2$) — произведение числа ячеек, для которых определено возгорание, на квадрат масштабного коэффициента (*scale*).

На рис. 3 представлен результат моделирования процесса распространения низового пожара при скорости ветра 6 м/с в направлении 100° относительно условного „нулевого“ направления для леса первого класса горимости и III класса пожарной опасности погоды через 2, 3 и 4 часа после возгорания соответственно.

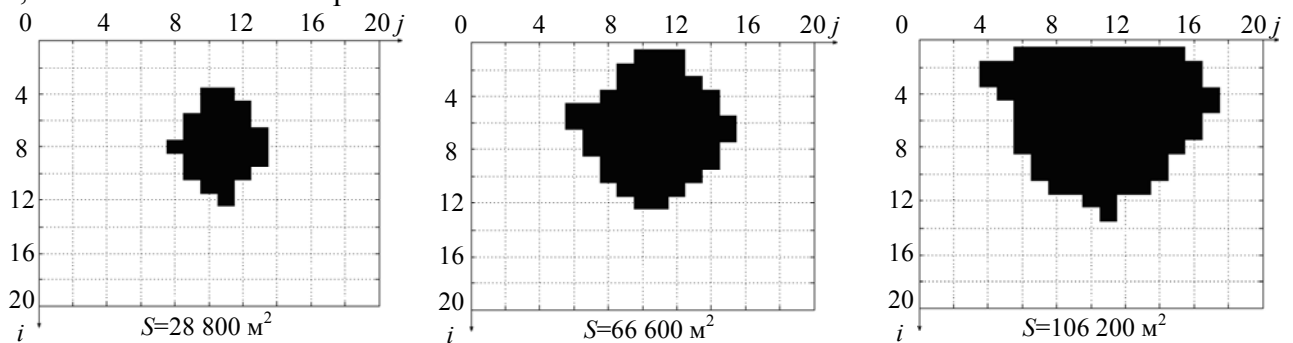


Рис. 3

Заключение. Разработана программа для моделирования процесса распространения ЛП от очага возгорания. Применение вероятностного подхода теории перколяции в дополнение к стандартной методике МЧС позволяет учесть в процессе моделирования неоднородность местности.

При использовании полученной визуализированной матрицы пожара в качестве одного из слоев в геоинформационной системе возможно получить картину пожара с учетом пространственной привязки к ортофотоплану местности.

Дальнейшее усовершенствование разработанной программы требует:

- определения зависимости скорости распространения пожара от рельефа местности и соответственно разработки методики получения матриц с данными о рельефе местности;
- оптимизации алгоритма обработки матрицы, моделирующей процесс распространения пожара, с целью замены поэлементной обработки матрицы, при которой время работы

программы линейно возрастает с увеличением количества элементов, на обработку матрицы в направлении от очага пожара с применением теории графов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахраманьян М. А., Низметов Г. М. Методика оперативной оценки последствий лесных пожаров. М.: ВНИИ ГОиЧС, 2001. 32 с.
2. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: Учебное пособие. М.: Едиториал УРСС, 2002. 112 с.

Сведения об авторах

- Сергей Алексеевич Астафьев* — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: Rokkolo287@yandex.ru
- Дмитрий Юрьевич Лысенко* — ЗАО „Транзас“, Санкт-Петербург; руководитель группы Менеджеров проектов; E-mail: Dmitry.Lysenko@transas.com
- Анатолий Сергеевич Широков* — ЗАО „Транзас“, Санкт-Петербург; ведущий инженер-конструктор; E-mail: Anatoliy.Shirokov@transas.com

Рекомендована кафедрой
мехатроники

Поступила в редакцию
29.02.12 г.