

Создание информационной системы для представления процесса распространения огня

Для создания информационной системы построен механизм извлечения фактов из результатов моделирования. Это даёт возможность отвечать на запросы о скорости распространения огня в заданном направлении, при данных погодных условиях, на конкретной местности, вычислять время прохождения огня от точки к точке и т. п. В частности, даны определения составляющих полигона, где протекает пожар, в терминах результатов моделирования. Показаны механизмы вычисления скоростей фронта пожара в заданных направлениях.

Ключевые слова: контур, площадь, кромка и фронт ландшафтного пожара, граница полигона, факты выводы и правила информационной системы.

Введение

Данная работа есть продолжение статей [2, 3], посвященных созданию информационной системы для представления процесса горения в системах транспортной инфраструктуры. В предыдущих работах автора [2, 3] была создана научная основа (базовая методология) как для качественного, так и количественного анализа текущего прогноза возникновения, распространения и тушения пожаров.

Для определения оценки наличия угроз объектам транспортной инфраструктуры на конкретном полигоне на основе общей модели вычисления параметров распространения огня, то есть численного метода, описанного в [2, 3, 7], нужна информационная система, дающая возможность в диалоге вычислять время прохождения огня от точки к точке, скорость распространения в заданном направлении и тому подобное.

Состояние проблемы

В работах построена и апробирована компьютерная программа на основе математической модели, показывающая процесс распространения огня на полигоне в режиме реального времени в виде данных таблиц состояний клеток полигона. Поэтому **задача данной статьи** – построение механизма извлечения фактов для информационной системы из результатов моделирования и дающего возможность отвечать на запросы о скорости распространения огня в заданном направлении, при данных погодных условиях, на конкретной местности, вычислять время прохождения огня от точки к точке и т. п.

Изложение материала

Для формирования запросов информационной системы необходимо определить общие факты и данные, на которых строятся правила вывода, введение специальной терминологии, связывающей результаты моделирования пожара с возможными запросами.

Изучение пожаров, естественно, потребовало создания соответствующей терминологии для описания этого процесса, а также классификации видов пожаров. К ландшафтным пожарам относятся и лесные пожары. В ГОСТ 17.6.1.01–83 [5] для описания территории, на которой протекает лесной пожар, определены следующие термины: контур лесного пожара, площадь лесного пожара, кромка лесного пожара, фронт лесного пожара [5].

Все эти определения необходимы для описания территории, на которой протекает ландшафтный пожар. В работах [1, 4] отмечается, что механизм распространения наземных видов пожара одинаков – будь то низовой лесной пожар, степной или пожар на сельхозугодьях. Это позволяет создавать единое описание распространения наземных видов ландшафтных пожаров.

Поэтому для ландшафтного пожара под следующими терминами будем понимать:

- контур ландшафтного пожара – внешняя граница площади, пройденная огнем;
- площадь ландшафтного пожара – площадь в пределах контура ландшафтного пожара, на которой имеются признаки воздействия огня на растительность;
- кромка ландшафтного пожара – полоса горения, окаймляющая внешний контур ландшафтного пожара и непосредственно примыкающая к участкам, не пройденным огнем;
- фронт ландшафтного пожара – часть кромки лесного пожара, распространяющаяся с наибольшей скоростью. [5]

Для сравнения данных о реальных пожарах понятия "внешняя граница площади, пройденная огнем", "площадь в пределах контура ландшафтного пожара, на которой имеются признаки воздействия огня на растительность" нужно привязать к результатам моделирования. На текущий момент протекания процесса в результате моделирования получаем набор клеточных автоматов, пребывающих в различных состояниях. Нужно соотнести части этого набора с фронтом, контуром, зоной, пройденной пожаром и другими составными частями процесса протекания ландшафтного пожара на местности.

Полигон распространения пожара отображается как совокупность клеток месторасположение которых задается координатами (r, c, s) [6]. В каждый момент времени t происходящие процессы (горение, пиролиз и т. п.) в клетке характеризуются вектором $\vec{a}(t)$ в частности компонентой $e(t)$ – состоянием клетки. Набор состояний, в которых может пребывать клетка [7] это одно из семи состояний множества $E_7 = \text{StateKAPRP}$:

$\text{StateKAPRP} = \{ \text{Passive}, \text{Drying}, \text{DryingBurn}, \text{Pyrolysis}, \text{PyrlsBurn}, \text{Burn}, \text{AfterBurn} \}$.

Более подробно охарактеризуем эти состояния:

Passive 1 – Пассивное состояние – состояние клетки до горения.

Drying 2 – Сушка – температура от нижней температуры сушки, количество растительного горючего материала (РГМ) не меняется, влажность уменьшается.

DryingBurn 3 – Сушка + горение – загрузка РГМ совпадает с начальной, влажность уменьшается, горение идет за счет горючих газов поступающих из соседних клеток.

Pyrolysis 4 – состояние пиролиза – загрузка РГМ уменьшается, влажность равна нулю.

PyrlsBurn 5 – состояние пиролиза + горение – температура меняется от нижней температуры горения, загрузка РГМ уменьшается, влажность равна нулю.

Burn 6 – состояние горения – температура выше нижней температуры горения, загрузка РГМ меньше или равна массе несгораемого остатка.

AfterBurn 0 – состояние после горения, температура уменьшается, загрузка РГМ меньше или равна массе несгораемого остатка [7].

Естественно предположить, что в зону пожара входят клетки, в состоянии которых присутствует горение (рис. 1), а именно в состояниях множества $E_{гор} = \{ \text{DryingBurn}, \text{PyrlsBurn}, \text{Burn} \}$.

Вне зоны пожара – множество $A_{пас}$, находятся клетки в состояниях, не содержащих горение, но еще способных воспламениться, а именно в состояниях множества $E_{пас} = \{ \text{Passive}, \text{Drying}, \text{Pyrolysis} \}$.

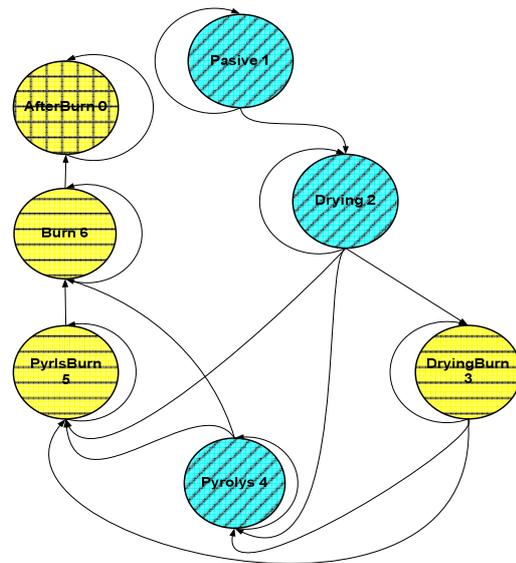


Рис. 1. Принадлежность состояний множествам:

Егор – круг с горизонтальной штриховкой,

Епас – круг с диагональной штриховкой,

Езпп – круги с горизонтальной штриховкой и заштрихованные в клетку

В зоне, пройденной пожаром, находятся клетки в состоянии, которые еще горят или уже потухли, а именно в состояниях множества $E_{зпп} = \{ \text{DryingBurn}, \text{PyrlsBurn}, \text{Burn}, \text{AfterBurn} \}$.

Определим понятия, отражающие характеристики зоны пожара по результатам моделирования.

Под моделью площади ландшафтного пожара будем понимать площадь, занятую множеством $A_{зпп}$ клеток (зоны пройденной пожаром), пребывающих в состояниях множества $E_{зпп}$.

Под моделью контура ландшафтного пожара будем понимать внешнюю границу множества клеток $A_{зпп}$, пребывающих в состояниях множества $E_{зпп}$.

Под моделью кромки ландшафтного пожара будем понимать множество $A_{кр}$ клеток, пребывающих в состояниях множества $E_{гор}$ и имеющих среди своих соседей хотя бы одну клетку в состоянии из множества $E_{пас}$ (то есть, непосредственно примыкающие к участкам, не пройденным огнем).

Под моделью фронта ландшафтного пожара будем понимать часть модели кромки лесного пожара, распространяющуюся с наибольшей скоростью.

Определим методы вычисления скорости распространения кромки пожара. Скорость определяется в первом (нижнем) моделируемом слое.

На первом этапе вычислим скорость прохождения огня от источника $\vec{a}_{ист}(t)$ до произвольной ячейки $\vec{a}^*(t)$, принадлежащей кромке пожара на рис. 2. Для решения этой задачи в параметрах КА необходимо знать координаты клетки и её состояние в момент времени.

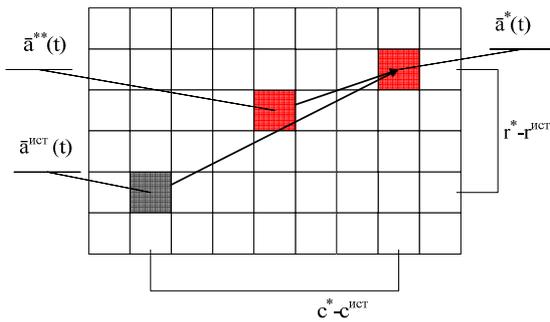


Рис. 2. Вычисление скорости пожара между ячейками (стрелками показано направление, в котором движется пожар)

Пусть КА источник $\bar{a}_{ист}(t)$ имеет координаты $(r_{ист}, c_{ист}, s_{ист})$, а клетка $\bar{a}^*(t)$ с координатами (r^*, c^*, s^*) и состоянием $e^*(t)$ в момент T принадлежит зоне пожара $A_{зпп}$, $e^*(T) \in E_{зпп}$. Скорость определяется в пределах одного слоя параллельно почве, поэтому $s_{ист} = s^*$. Как следует из матрицы достижимости, существует момент t^* , такой, что $t^* \leq T$ и $\bar{a}^*(t^*)$ принадлежит кромке пожара Акр, и, следовательно, $e^*(t^*) \in E_{гор}$:

$$\exists t^* : 0 < t^* \leq T \text{ и } \bar{a}^*(t^*) \in A^{кр} \Rightarrow e^*(t^*) \in E_{гор}$$

Тогда расстояние от источника $\bar{a}_{ист}(t)$ до ячейки $\bar{a}^*(t)$

$$d(\bar{a}^*, \bar{a}_{ист}) = \sqrt{(r^* - r_{ист})^2 + (c^* - c_{ист})^2}$$

Время прохождения расстояния – t^* , и скорость пожара от источника $\bar{a}_{ист}(t)$ до произвольной ячейки $\bar{a}^*(t)$

$$V(\bar{a}^*, \bar{a}_{ист}) = \frac{d(\bar{a}^*, \bar{a}_{ист})}{t^*}$$

Скорость от источника вычислять не всегда целесообразно, поскольку при большом расстоянии от $\bar{a}_{ист}(t)$ до ячейки $\bar{a}^*(t)$ реальная скорость движения контура может меняться в широких пределах. Для более точного определения этой величины необходимо использовать метод вычисления скорости между двумя произвольными ячейками $\bar{a}^*(t)$ и $\bar{a}^{**}(t)$ полигона, лежащими на линии соединяющей источник и $\bar{a}^*(t)$. Ячейки $\bar{a}^*(t)$ и $\bar{a}^{**}(t)$ в момент T принадлежат зоне пожара. Пусть КА $\bar{a}^{**}(t)$ имеет координаты (r^{**}, c^{**}, s^{**}) и состояние $e^{**}(t)$, а клетка $\bar{a}^*(t)$ – координаты (r^*, c^*, s^*) и состояние $e^*(t)$, причем выполнено $e^*(T) \in E_{зпп}$ и $e^{**}(T) \in E_{зпп}$. Как и в предыдущем случае, если в момент T клетки $\bar{a}^*(t)$ и $\bar{a}^{**}(t)$ принадлежат зоне, пройденной пожаром, то существует момент t^* больше 0 и меньше либо равно T , для которого $\bar{a}^*(t^*)$ принадлежит кромке пожара и существует момент t^{**}

больше 0 и меньше либо равно T , для которого $\bar{a}^{**}(t^{**})$ также принадлежит кромке пожара:

$$\begin{aligned} \exists t^* : 0 < t^* \leq T \text{ и } \bar{a}^*(t^*) \in A^{кр} &\Rightarrow e^*(t^*) \in E_{гор} \\ \text{и } \exists t^{**} : 0 < t^{**} \leq T \text{ и } \bar{a}^{**}(t^{**}) \in A^{кр} &\Rightarrow e^{**}(t^{**}) \in E_{гор} \end{aligned}$$

Предположим для определенности $t^{**} < t^*$, тогда время, за которое огонь прошел расстояние между ячейками $\bar{a}^*(t)$ и $\bar{a}^{**}(t)$, равно $t^* - t^{**}$. Тогда расстояние от $\bar{a}^{**}(t)$ до ячейки $\bar{a}^*(t)$

$$d(\bar{a}^*, \bar{a}^{**}) = \sqrt{(r^* - r^{**})^2 + (c^* - c^{**})^2} \quad (1)$$

Время прохождения расстояния $(t^* - t^{**})$. Скорость пожара от ячейки $\bar{a}^{**}(t)$ до $\bar{a}^*(t)$

$$V(\bar{a}^*, \bar{a}^{**}) = \frac{d(\bar{a}^*, \bar{a}^{**})}{t^* - t^{**}} \quad (2)$$

Теперь можно описать метод вычисления скорости кромки пожара или её частей (рис. 3). По мере распространения огня набор клеток, принадлежащих кромке пожара, меняется. Одни, раньше не горевшие клетки, входят в кромку, а клетки, полностью окруженные горящими, уходят из нее.

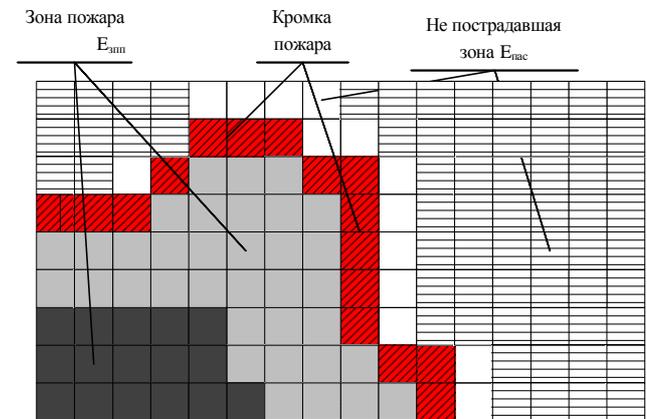


Рис. 3. Зоны полигона по результатам моделирования: косая штриховка и серый цвет – кромка пожара, черная и серая – зона прохождения пожара, белая и белая с горизонтальной штриховкой – зона, на которой еще не было огня

Допустим множество $A^{кр}(t^*)$ – кромка в момент времени t^* , а множество $A^{кр}(t^{**})$ – кромка в момент времени t^{**} . Выберем t^{**} таким образом, чтобы были выполнены условия:

$$t^{**} = \max \{t' : t' < t^* ; A^{кр}(t^*) \cap A^{кр}(t') = \emptyset\}, \quad (3)$$

то есть, $A^{кр}(t^*)$ и $A^{кр}(t')$ не имеют общих клеток.

Для каждой клетки $\bar{a}^*(t) \in A^{KP}(t^*)$ находим ячейку $\bar{a}^{**}(t) \in A^{KP}(t^{**})$ такую, что справедливо

$$d(\bar{a}^*, \bar{a}^{**}) = \min_{\bar{a} \in A^{KP}(t^{**})} d(\bar{a}^*, \bar{a}), \quad (4)$$

то есть, ближайшую к ячейке $\bar{a}^*(t)$, вычисляя при этом расстояние. Скоростью кромки $A^{KP}(t^*)$ в момент времени t^* в ячейке $\bar{a}^*(t)$ по определению будем считать

$$V(\bar{a}^*, t^*) = \frac{d(\bar{a}^*, \bar{a}^{**})}{t^* - t^{**}},$$

где ячейка $\bar{a}^{**}(t)$ подбирается по формуле (4). Обозначим $V_{\max}(A^{KP}(t^*))$ как

$$V_{\max}(A^{KP}(t^*)) = \max_{\bar{a}^* \in A^{KP}(t^*)} V(\bar{a}^*, t^*).$$

Множество $A^{FP}(t^*)$, которое содержится в $A^{KP}(t^*)$, называется моделью фронта ландшафтного пожара по определению, если справедливо

$$\forall \bar{a}^* \in A^{FP}(t^*): V(\bar{a}^*, t^*) = V_{\max}(A^{KP}(t^*)),$$

то выходит, что в каждой ячейке скорость максимальна на текущий момент времени t^* .

Определенные выше термины позволяют проводить сравнение полученных результатов моделирования с уже имеющимися данными о пожарах, а также делать выводы об их адекватности.

Выводы

Таким образом, построен механизм извлечения фактов для информационной системы из результатов моделирования и дающий возможность отвечать на запросы о скорости распространения огня в заданном направлении, при данных погодных условиях, на конкретной местности, вычислять время прохождения огня от точки к точке и т. п.

Литература

1. Абрамов Ю. А. Математические модели развития ландшафтных пожаров и тактика их локализации. / Абрамов Ю. А., Кривошлыков С. Ф., Тарасенко А. А. // – Харьков: УГЗ Украины, 2007. – с.3–5.
2. Головки А.В. Использование клеточных автоматов для представления массообмена и энергообмена в процессе распространения огня /А.В. Головки //Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – №2 (99). – С. 36 – 40.
3. Головки А.В. Математическое моделирование процесса горения в системах транспортной инфраструктуры /А.В. Головки //Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012.

– №6 (97). – С. 58 – 62.

4. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними /А. М. Гришин. – Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.
5. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения: ГОСТ СССР 17.6.1.01-83. - [Дата введения 1984-01-01]. – М.: Госстандарт СССР, 1984. – 12 с. – (Государственный стандарт СССР).
6. Филиппенко И. Г. Клеточные автоматы – основа построения математической модели процесса распространения пожара / И.Г. Филиппенко, А.В. Головки // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 3/5(45) – С. 8 – 13.
7. Филиппенко И. Г. Математическая и компьютерная модель процесса распространения пожара / И.Г. Филиппенко, А.В. Головки //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/3 (46) - С. 22 – 28.

Головки О.В. Інформаційна система для представлення процесу поширення вогню. Для створення інформаційної системи побудований механізм вилучення фактів з результатів моделювання. Це дає можливість відповідати на запити про швидкість поширення вогню в заданому напрямку, за даних погодних умов, на конкретній місцевості, обчислювати час проходження вогню від точки до точки і т. п. Зокрема, дано визначення складових полігону, де протікає пожежа в термінах результатів моделювання. Показані механізми обчислення швидкостей фронту пожежі в заданих напрямках.

Ключові слова: контур, площа, кромка і фронт ландшафтної пожежі, межа полігону, факти, висновки та правила інформаційної системи.

Golovko O.V. The creation of information system for the representation of spread of fire process. The mechanism for the extraction of facts from the simulation results has been designed for the creation of information system. It gives the opportunity to answer inquiries concerning the spread of fire speed in the given direction, under the given weather conditions, at particular area and calculate fire passage time from point to point etc. In particular, the definitions of the testing area components, where the fire is taking place, have been given in terms of simulation results. The mechanisms of firefront speeds calculation in the given directions have been shown.

Key words: boundary, area, edge and front of landscape fire, testing area border, facts, conclusions and rules of information system.

Рецензент д.т.н., професор Листровой С.В. (УкрГАЖТ)

Поступила 31.03.2014г.