

УДК 004.942:614.841.33

О.В. Стрельцов, канд. техн. наук, доц.,
 О.В. Завалій, магістр,
 Одес. нац. політехн. ун-т

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДЕТЕКТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

О.В. Стрельцов, О.В. Завалій. **Моделирование системы детектирования и прогнозирования распространения лесных пожаров.** Разработано программный комплекс, що моделює виникнення і розповсюдження лісової пожежі.

О.В. Стрельцов, О.В. Завалій. **Моделирование системы детектирования и прогнозирования распространения лесных пожаров.** Разработан программный комплекс, моделирующий возникновение и развитие лесного пожара.

O.V. Streltsov, O.V. Zavaliy. **Modeling of system for detecting and prognostication of forest fires spread.** The software application that simulates the appearance and spread of a forest fire is developed.

Створенню ефективної автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж присвячена велика кількість досліджень. Моделювання умов виникнення і розповсюдження лісових пожеж для побудови технічної системи прогнозування їх майбутнього стану є одним з найважливіших завдань реалізації такої системи [1].

Особливої значимості набуває розробка моделі системи, яка в масштабі реального часу здатна прогнозувати напрям і швидкість розповсюдження лісової пожежі з побудовою контуру території, що буде охоплена загорянням у визначений момент часу. Ефективність прогнозу визначається швидкістю і точністю, достатніми для розв'язання завдання планування гасіння пожежі на мінімально захопленій вогнем площі.

За основу прогнозування взято модель Ротермела розповсюдження лісової пожежі [2], що описується формулою

$$R = \frac{I_r E (1 + F_w + F_c)}{P_b \varepsilon Q_{ig}}, \quad (1)$$

де R — швидкість фронту пожежі, м/с;

I_r — інтенсивність реакції горіння, Вт/(м²хв);

E — нормуючий коефіцієнт розповсюдження;

P_b — середня масова щільність сухих горючих матеріалів, кг/м³;

F_w — коефіцієнт вітру;

F_c — коефіцієнт схилу;

ε — ефективний тепловий номер;

Q_{ig} — теплота горіння, Вт/кг, $Q_{ig} = C_{pd} \Delta T_{ig} + M_f (C_{pw} \Delta T_v + V)$;

C_{pd} — теплоємність горючих матеріалів;

ΔT_{ig} — різниця між температурою загоряння і поточною температурою горючих матеріалів;

M_f — вологість горючих матеріалів;

C_{pw} — теплоємність води;

ΔT_v — різниця між температурою кипіння води і поточною температурою горючих матеріалів;

V — тепло випарювання.

© О.В. Стрельцов, О.В. Завалій, 2011

У реальній технічній системі напрям і швидкість вітру, температура горючих матеріалів та вологість повітря визначаються мережею сенсорів, розташованих у лісі. Решта параметрів — табличні дані, отримані емпірично.

Модель [2] є недостатньо точною, і потребує подальшого вдосконалення за рахунок аналізу даних від вигорілих елементів мережі.

Спроектвана частина програмного комплексу, що реалізує роботу моделі [2], поєднаною з аналізом даних від вигорілих сенсорів.

Для умовної місцевості, розбитої на ділянки, складено карту горючих матеріалів, де вказано, який тип горючого матеріалу відповідає ділянці. Кожна з ділянок має координати x_1 , y_1 , x_2 , y_2 (рис. 1). Для кожного типу горючого матеріалу задано його теплоємність, що враховується формулою (1). Ділянки горючих матеріалів різних типів відрізняються користувачем за кольором. Білий колір свідчить, що дана ділянка не містить горючих матеріалів.

Розповсюдження реальної пожежі відбувається від епіцентра з різною швидкістю. Контуром цієї ділянки є замкнута крива, яка має досить складний точний математичний опис [3]. Тому для спрощення побудови контура розповсюдження він визначається N -кутником, що дає можливість обчислювати розповсюдження пожежі за N масивами точок, спрямованими від епіцентра (рис. 2). Розмірність масива визначається довжиною максимального шляху розповсюдження пожежі впродовж однієї ітерації. На рис. 2 зображений епіцентр пожежі, розташований на ділянці горючих матеріалів. З нього виходять 8 осей, що є напрямками, за якими обчислюється розповсюдження пожежі. Точками позначені сенсори, кожен з яких реєструє температуру, вологість, швидкість і напрям вітру та періодично відсилає ці дані в центр обробки.

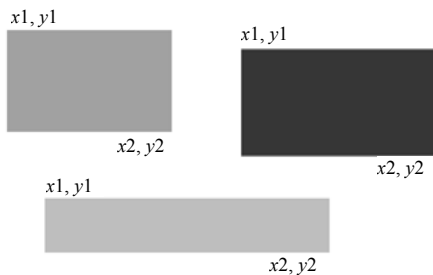


Рис. 1. Представлення ділянок горючих матеріалів в програмній моделі

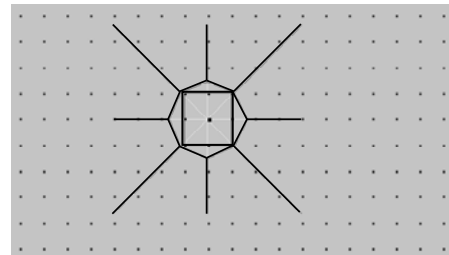


Рис. 2. Епіцентр пожежі

Контур у вигляді восьмикутника є побудованим контуром пожежі, в даному випадку горючий матеріал однорідний, вітер відсутній. Контур у вигляді прямокутника є контуром, збудованим за вигорілими сенсорами. Сенсор, зображений збільшеним, розташований біля перетину осей розповсюдження, — здетектований центр загоряння.

Процедура детектування полягає в аналізі стану сенсорів. Якщо сенсор через заданий інтервал часу не вийшов на зв'язок або надіслав значення температури більше, ніж максимально можлива природна температура у лісі, то час такої події фіксується і можна стверджувати, що пожежа здетектована.

Модель пожежі працює наступним чином.

В циклі поступово для кожного вектора, для кожної точки у напрямку від епіцентра, якщо цій точці відповідає ділянка з будь-яким горючим матеріалом, знімаються показання сенсорів, що обслуговують дану ділянку, обчислюється час, за який вогонь проходить цю точку, і від часу ітерацій віднімається це значення. Цикл закінчується, коли час ітерацій для даного вектора стане дорівнювати нулю, або поточна точка не матиме горючих матеріалів, або досягнуті межі умовної місцевості. Координати останньої вигорілої точки заносяться в масив, який відсортовується для побудови контура. Точки, що увійшли в контур, є новими епіцентрами

загоряння, для них розраховуються нові вектори розповсюдження і т.д. Таким чином у програмі реалізовано рекурсивний алгоритм розповсюдження лісової пожежі.

Даний алгоритм є дискретним наближенням до реального розповсюдження лісової пожежі, в якій горючі матеріали і природні умови — температура, вологість, вітер на шляху розповсюдження — змінюються.

В програмі передбачено можливість побудови прогнозованого контура. Для цього потрібно мати два контури вигорілих сенсорів, отриманих у різний час пожежі. Так, скажімо на рисунку 2 такі контури вже є. Зовнішнім назвемо той контур, що має прямокутну форму. Здетектований центр назвемо внутрішнім контуром. Це також контур, але він складається з одного елемента.

Прогнозування відбувається так:

Для кожної точки зовнішнього контура знаходиться найближча точка внутрішнього, обраховується відстань між ними. Оскільки час вигорання кожного сенсора фіксується, то можливо знайти середню швидкість пожежі по прямій між цими точками. Ця швидкість буде відрізнятися від середньої швидкості за Ротермелом і доволі суттєво. Це пояснюється тим, що виведення моделі [2] відбувалось на умовно ідеальних наборах горючих матеріалів та на дуже малих, порівняно з масштабами лісу відстанях. В реальному ж лісі маємо широке різноманіття горючих матеріалів, ландшафтів, розкид вхідних параметрів, який неможливо виміряти. Беручи до уваги, що вигорання сенсорів дає однозначно вірну інформацію щодо середньої швидкості пожежі, а на відстанях, порівняних з відстанню між сенсорами (30...50 м), лісове паливо можливо вважати однорідним, ми можемо доповнити модель Ротермела коефіцієнтом корекції K . При цьому скорегована модель прийме вигляд

$$R = \frac{KI_r E(1 + F_w + F_c)}{P_b \varepsilon Q_{ig}},$$

де $K = \frac{V_s}{V_R}$;

V_s — швидкість фронту пожежі, отримана за результатами вигорання сенсорів;

V_R — швидкість фронту пожежі, отримана за результатами оригінальної моделі [2].

Введення коефіцієнта K є особистим вдосконаленням авторів. Воно дозволяє поєднати формулу (1) з реальними фізичними масштабами і робить можливим використання скорегованої моделі для достовірного і точного розв'язання задачі прогнозування лісової пожежі.

Отже, після обчислення середніх швидкостей фронту пожежі в програмі обчислюється коефіцієнт K . Наступним кроком між двома точками формується вісь прогнозування. По цій осі за допомогою скорегованого методу Ротермелу відбувається розрахунок. Кінцева точка кожної осі заноситься в масив, з якого буде побудовано прогнозований контур пожежі (рис. 3). При цьому в нього попадуть нові сенсори, які стануть новим зовнішнім контуром, попередній зовнішній контур стане внутрішнім, і програма буде готова для нової ітерації прогнозу (рис. 4).

На рисунку 3 найбільший контур є прогнозованим контуром пожежі. Прогнозований контур має розтягнуту по горизонталі форму, тому що сенсори з правого боку поля передають дані про наявність сильного східного вітру.

На рис. 5 зовнішній контур відповідає реальному контуру пожежі. Контур, аналогічний зображеному на рисунку 3, є прогнозом на даний час. Третій контур збудований за сенсорами, вигорілими на даний час. Як видно, існує деяка похибка в прогнозуванні, але яка не перевищує

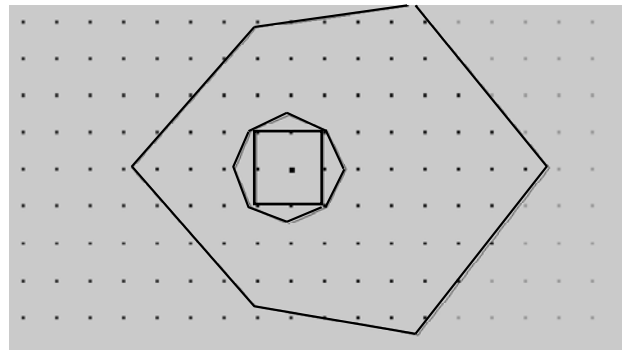


Рис. 3. Прогнозований контур пожежі

максимальної відстані між двома сенсорами. Похибка зумовлена поки що недосконалим алгоритмом пошуку контура і малою кількістю вигорілих сенсорів в контурах на момент початку прогнозування (8 у зовнішньому, 1 у внутрішньому).

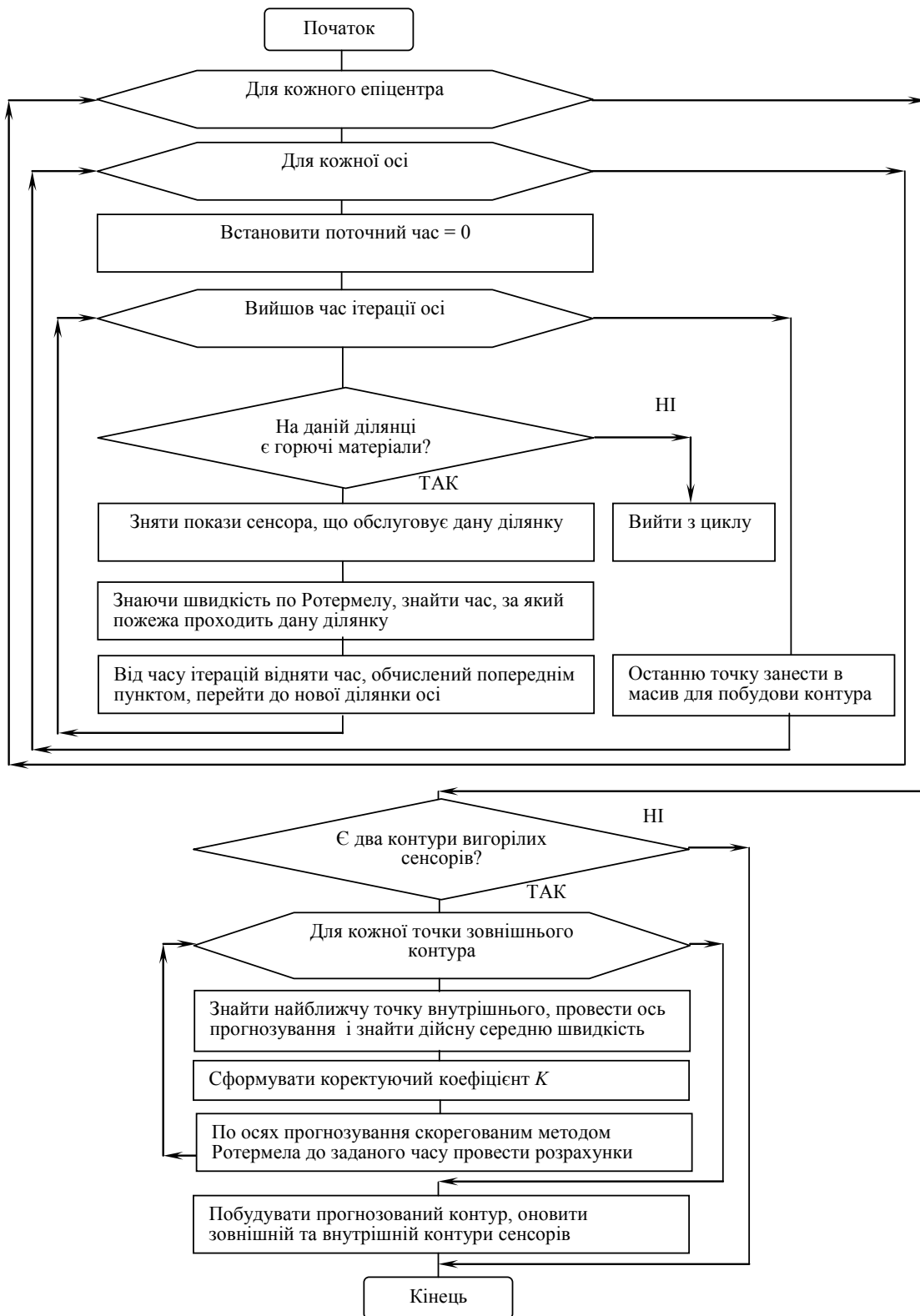


Рис. 4. Блок-схема програми

Отже, створена програмна модель дозволяє робити висновки про швидкість і напрями руху пожежі, оцінити площу, охоплену загорянням, та здійснювати прогнозування пожежі на будь-який час. Відбувається вдосконалення і дослідження програмної моделі з метою досягнення кращих результатів.

Розроблено модель прогнозування і детектування лісової пожежі, поєднуючи в собі напівемпіричну модель лісової пожежі [2], вдосконалену авторами, з аналізом даних від вигорілих сенсорів. Розроблена модель придатна для використання в форматі реального часу, має точність і достовірність прогнозування вищі, ніж окремо оригінальна модель [2], або окремо аналіз даних від вигорілих сенсорів.

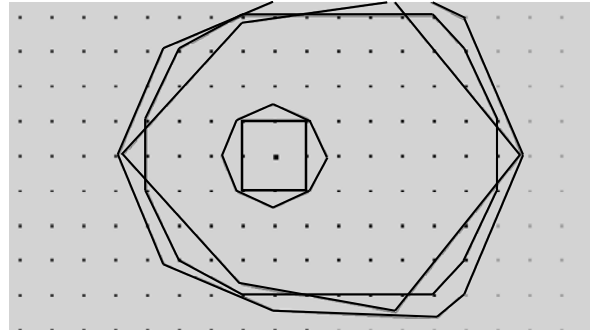


Рис. 5. Порівняння прогнозу пожежі з реальним перебігом пожежі

Література

1. Гришин, А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения. / А.М. Гришин // Успехи механики. — 2002. — № 1(4). — С. 41 — 89.
2. Rothermel, R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels / Richard C. Rothermel. — Ogden, Uta, USA: Forest Service, Department of agriculture, intermountain forest and range experiment station, 1972. — 41 с.
3. Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 404 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Филипський Ю.К.

Надійшла до редакції 26 жовтня 2010 р.