

УДК 630 (502)

Д.А. КОЧКАРЬ¹, С.Ю. МЕДИНЦЕВ², А.А. ОРЕХОВ²¹Научно-производственное предприятие «Лесинформ», Украина²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ВЫШЕК НАБЛЮДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ СИСТЕМ ВИДЕО-МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В статье рассматривается задача поиска оптимального размещения вышек наблюдения для проектирования наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров с учетом множества характеристик и ограничений объектов мониторинга. Приводится математическая модель для решения задач проектирования, которая включает множество всех возможных типов полигонов и учитывает степень их пожарной опасности. Предложен эвристический метод и алгоритмы пространственного покрытия плоских многоцветных фигур произвольной конфигурации с учетом запретных участков и приоритетных зон.

Ключевые слова: мониторинг лесов, лесной пожар, покрытие, запретные участки.

Введение

Охрана лесов, предупреждение и эффективная борьба с лесными пожарами приобретает глобальное значение [1, 2]. Для наземного обнаружения и лесных пожаров используют пожарные вышки и мачты различных конструкций, промышленные видеосистемы.

Современные системы защиты от лесных пожаров должны гарантировать в реальном времени возможность мониторинга, чтобы принимать своевременные и оптимальные решения. Лучшее решение, подтверждаемое анализом публикаций и существующих наземных систем мониторинга лесных областей, состоит в использовании цифровых беспроводных сетевых систем видеонаблюдения и видеоанализа.

Одна из проблем проектирования наземных систем видео-мониторинга (НСВМ) связана с оптимизацией размещения пунктов наблюдения и выбором оборудования для систем видеонаблюдения. Основные критерии проектирования – полнота контроля, надежность и рентабельность НСВМ.

Задача оптимального размещения вышек и оборудования может быть сформулирована как задача покрытия. Покрытие кругами одного радиуса было впервые рассмотрено в [3], где доказана оптимальность размещения центров в вершинах равностороннего треугольника. В наше время оно нашло применение в сенсорных сетях [4]. Возможны комбинации кругов нескольких радиусов. Один из подходов к решению данной задачи, как задачи раскроя и упаковки, приведен в [5].

Цель статьи – разработка метода и алгоритма, позволяющих сделать правильный выбор размеще-

ния вышек для проектирования НСВМ с учетом существующей инфраструктуры и особенностей лесных областей.

1. Постановка задачи

При проектировании системы видео-мониторинга лесных пожаров требуется учитывать множество параметров и ограничений.

Входная информация для проектирования НСВМ на начальном этапе представляет собой оцифрованную карту либо космический снимок. В дальнейшем, при оцифровке карты, на ней выделяются полигоны с разными свойствами. Множество всех возможных типов полигонов определяется характером анализируемых территорий: лес, дорога, озеро, река, болотистая местность, поляна и т.п.

На карте так же выделяются запретные зоны или участки, к числу которых относятся территории, где нельзя (не рационально) установить наблюдательную вышку. Такими территориями являются: река, озеро, болотистая местность, дорога. Запретные зоны могут быть двух типов:

– зоны первого типа либо не требуют мониторинга, либо исключают физическую возможность установки вышки;

– зоны второго типа требуют мониторинга пожаров, но являются нерациональными с точки зрения установки вышки, к ним относятся, например, овраги.

Для учета рельефа вводится дополнительное свойство полигона – тип полигона (равнина, впадина, возвышение, либо вершина). К приоритетным зонам относятся возвышенности, поскольку они обеспечивают наибольший радиус видимости.

При проектировании НСВМ необходимо учитывать ряд ограничений и требований:

- уровень пожарной опасности (необходимо учитывать в том случае, когда проектируемая система реализуется поэтапно);
- стоимость системы;
- полнота покрытия;
- избыточность покрытия (перекрывание зон мониторинга или покрытие областей, не требующих мониторинга).

2. Модель объекта мониторинга

Основная математическая модель для решения задачи проектирования НСВМ – это двух- или трехмерные многоцветные геометрические фигуры известной конфигурации. Все объекты анализа после оцифровки представляются в виде плоских фигур – полигонов (рис. 1).

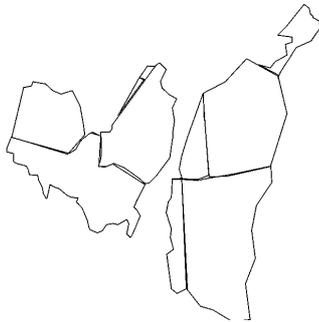


Рис. 1: Модель полигонов

Для раскраски полигонов используется классификация из [6].

Таблица 1

Цвета раскраски полигонов по уровням пожарной опасности

Класс пожарной опасности лесных участков	Степень пожарной опасности	Цвет закраски на картах
I	Высокая	Красный
II	Выше средней	Оранжевый
III	Средняя	Желтый
IV	Ниже средней	Зеленый
V	Низкая	Голубой

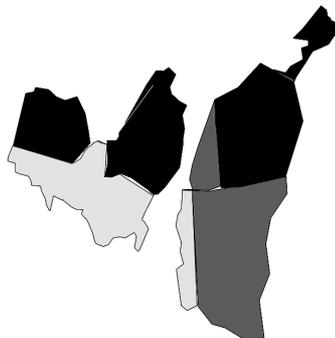


Рис. 2: Модель лесного массива, раскрашенная

3. Методы покрытия

Для решения задач покрытия применяются точные и эвристические методы. Ввиду сложности точных алгоритмов значительное внимание уделяется эвристическим методам.

Существует множество возможных размещений центров кругов для покрытия заданной области. Возможны комбинации кругов нескольких радиусов 2-х или 3-х. Рассмотрим систему покрытия, реализуемую на основе кругов одного радиуса.

Возможны два способа расположения кругов для покрытия заданной плоскости:

- на основе равностороннего треугольника;
- на основе квадрата.

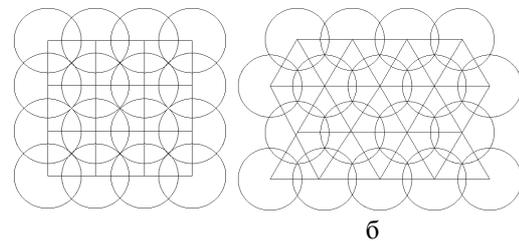


Рис. 3: Покрытие плоскости кругами одного радиуса: а – на основе квадрата (K1), б – на основе треугольника (T1)

В покрытии T1 любые три попарно смежные узла решетки являются вершинами равностороннего треугольника (рис. 3 б) со стороной $R\sqrt{3}$ и круги с центрами в этих вершинах пересекаются в единственной точке. В покрытии K1 четыре попарно смежные узла решетки являются вершинами квадрата (рис. 3 а) со стороной $R\sqrt{2}$ и круги радиуса R с центрами в этих вершинах пересекаются в единственной общей точке.

Известно наименее плотное покрытие T1 плоскости одинаковыми кругами [1], т.е. покрытие плоскости кругами одного радиуса на основе равностороннего треугольника. Плотность покрытия T1 - отношение суммарной площади Sf всех частей кругов внутри плитки к площади Sf плитки равна [7]:

$$D_{T1} = \frac{Sf_{T1}}{Sp_{T1}} = \frac{\pi R^2 / 2}{3R^2 \sqrt{3} / 4} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \approx 1,2091 \quad (1)$$

а плотность покрытия K1 равна:

$$D_{Q1} = \frac{Sf_{Q1}}{Sp_{Q1}} = \frac{\pi R^2}{2\pi R^2} = \frac{\pi}{2} \approx 1,5708 \quad (2)$$

Минимальное число кругов N, достаточное для покрытия площади S кругами одинакового радиуса $R \ll S$, удовлетворяет соотношению

$$\frac{N\pi R^2}{S} = \frac{2\pi}{\sqrt{27}} \approx 1,2091.$$

Отсюда следует, что плотность покрытия области одинаковыми кругами не может быть меньше $\frac{2\pi}{\sqrt{27}} \approx 1,2091$.

4. Алгоритм покрытия произвольной области кругами одного радиуса с учетом запретных участков

В работе [5] дана постановка задачи покрытия прямоугольной области кругами с обходом запретных участков (овраги, реки, озера, дороги, болота и т.п.), основанная на технологии блок-структур. Дальнейшим развитием предложенных в этой работе алгоритмов является решение задачи покрытия для области произвольной конфигурации с учетом запретных участков и приоритетных зон.

На первом этапе круг заменяется квадратом K_{ij} , сторона которого равна $a = R\sqrt{2}$, где R – радиус круга. Вся область S разбивается на квадраты K_{ij} . Центры квадратов образуют двумерный массив точек M_{ij} , которые являются центрами кругов, описывающих квадраты. Координаты центра K_{ij} при известном радиусе круга позволяют легко определить координаты вершин квадрата. Разбиение проходит путем определения размера области S по горизонтали dXS , который равен разности между максимальным значением координаты X полигона, задающего S и его минимальным значением (рис. 4). Вертикальный размер dYS находится аналогичным образом. Для расположения центров кругов в покрытии выбраны вершины равностороннего треугольника со стороной $R\sqrt{3}$.

Сторона треугольника равна расстоянию между центрами квадратов (кругов) dX в строке. Высота строки dY (расстояние между линиями, соединяющие все центра двух строк) определяется, как $\frac{3R}{2}$.

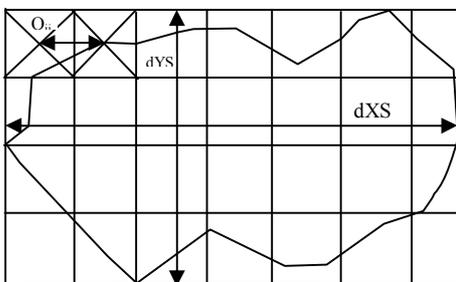


Рис. 4. Разбиение области на блоки-квадраты

Размер области S в квадратах по горизонтали xD определяется отношением $\frac{dXS}{dX}$, а по вертикали

yD – отношением $\frac{dYS}{dY}$. В случае, если xD или yD равны 0 после округления, то им присваивается значение 1. В случае, когда $R \ll S$, то есть $\frac{dXS}{dX} > 2$, то xD и yD увеличиваются на 1. Это делается для того, чтобы покрыть крайние точки на следующем шаге алгоритма.

После формирования двумерного массива $M[xD, yD]$ определяются координаты центров квадратов. Для строк координата Y является константой. Координаты первого центра определяются по формуле

$$X = \text{Min}X + \text{correct} , \tag{3}$$

$$Y = \text{Min}Y + \text{correct} , \tag{4}$$

где

$$\text{correct} = R^2 - \frac{dX^2}{4} , \tag{5}$$

а $\text{Min}X, \text{Min}Y$ – минимальные координаты полигона, задающего S . В строке массива M производится увеличение координаты X на величину dX , в столбцах – координаты Y на dY . После заполнения всего массива производится попеременное смещение координат в строках на величину $\frac{dX}{2}$. Таким образом, мы добиваемся размещения центров по вершинам треугольника.

На следующем шаге алгоритма производится удаление центров, которые не принадлежат S либо принадлежат запретной зоне. Эта задача решается в несколько этапов.

Этап 1. Проводится последовательная проверка принадлежности точки O_{ij} области S . В случае, если S не содержит данную точку, она определяется «вне зоны».

Этап 2. Для $\forall O_{ij}$, не принадлежащих области S , находится кратчайшее расстояние d от точки O_{ij} до границ S , если $d < R$, то O_{ij} смещается в ближайшую точку области S .

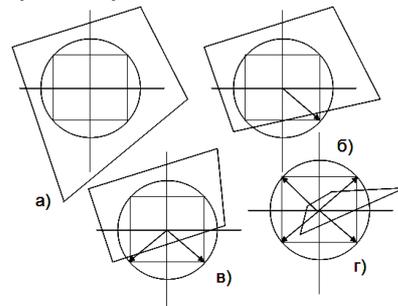


Рис. 5. Пример размещения центра O_{ij} в Z_j
 а – полностью в зоне; б, в – частично в зоне;
 г – только центр.

Таким образом, покрывается вся область S .

Этап 3. Для $\forall O$ проверяется принадлежность каждой точки O_{ij} области Z_j , где Z_j – j -я запретная область, $j = \overline{1, n}$. Если утверждение истинно, то O_{ij} определяется «запрещенной».

Этап 4. Для $\forall O \in$ любой Z_j определяется вариант расположения квадрата в запретной зоне.

В случае «а», точка O_{ij} удаляется. В случае «б», «в» и «г», при условии $R \ll S$, точка O_{ij} переносится в вершины, лежащие вне Z_j либо в центры сторон квадрата. Иначе точка O_{ij} смещается в ближайшую точку области S .

В результате получаем область S с множеством запретных зон Z , полностью покрытую кругами радиуса R , с исключением запретных зон. Затем проверяется вся область на наличие непокрытых участков. В случае обнаружения такого участка добавляется дополнительный центр O_{ij} .

Заключение

Рассмотренные модели, методы и алгоритмы покрытия, а также их модификации использовались для разработки инструментальных средств проектирования и поддержки принятия решений при

создании НСВМ, в частности, разработки архитектуры систем мониторинга лесных пожаров в Харьковской области.

Литература

1. European Commission, Institute for Environment and Sustainability. *Forest Fires in Europe 2008*. – P. 83.
2. Мединцев С.Ю. Системы мониторинга лесных ресурсов: состояние и пути развития / С.Ю. Мединцев, А.А. Орехов, Д.А. Кочкар // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2009. – №6(40). – С. 70-74.
3. Kershner R. *The number of circles covering a set* / R. Kershner // *Amer. J. Mathematics*. – 1939. – Vol. 61, N 3. – P. 665–671.
4. Zhang H *Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks* / H. Zhang, J.C. Hou // *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*. – 2005. – Vol. 1, N 1-2. – P. 89–124.
5. Кузнецов В.Ю. Задачи покрытия ортогональных многоугольников с запретными участками / В.Ю. Кузнецов // *Вестник УГАТУ*. – Уфа, 2008. – Т.10, №2(27). – С. 177-182.
6. *Безопасность в чрезвычайных ситуациях, мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования: Р 22.1.09-99 ГОСТ – Действующий от 01.01.2000. Госстандарт РФ.*

Поступила в редакцию 03.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Я. Красовский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

ОПТИМАЛЬНЕ РАЗМІЩЕННЯ ВИШЕК СПОСТЕРЕЖЕННЯ НАЗЕМНИХ СИСТЕМ ВІДЕО-МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Д.А. Кочкар, С.Ю. Мединцев, О.О. Орехов

У статті розглядається задача пошуку оптимального розміщення вишек спостереження для проектування наземних систем відео-моніторингу лісових пожеж з урахуванням характеристик і обмежень об'єктів моніторингу. Доводиться математична модель для вирішення задач проектування, яка включає безліч усіх можливих типів полігонів і враховує ступень пожежної небезпеки. Запропоновано евристичний метод і алгоритми просторового покриття плоских багатобарвних фігур довільної конфігурації з урахуванням заборонних ділянок та пріоритетних зон.

Ключові слова: моніторинг лісів, лісова пожежа, покриття, заборонені ділянки.

OPTIMUM ALLOCATION OBSERVANT TOWERS GROUND SYSTEMS OF VIDEO MONITORING OF FOREST FIRES

D.A. Kochkar, S.U. Medintsev, O.O. Orekhov

A mathematical model for solving design problems has been proposed. The method and algorithms of spatial coverage of planar multi-colored figures of arbitrary configuration taking into account the forbidden plots have been offered. Tools architecture of ground-based systems of video monitoring has been proposed. The developed models, methods and algorithms are implemented in design tools of ground-based systems video monitoring.

Keywords: monitoring of forests, forest fire, covering, forbidden areas.

Кочкар Дмитрий Анатольевич – директор НПП «Лесинформ», Харьков, Украина.

Мединцев Сергей Юрьевич – магистрант кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

Орехов Александр Александрович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: A_Orehov@rambler.ru.