

УДК 630(502)

С.М. БАБИЙ<sup>1</sup>, Д.А. КОЧКАРЬ<sup>2</sup>, В.В. ЧМОВЖ<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *Научно-производственное предприятие «Лесинформ», Харьков, Украина*

## АЛГОРИТМ ПОКРЫТИЯ ПЛОЩАДИ ЛЕСНОГО МАССИВА КРУГАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

*В статье рассмотрен алгоритм покрытия площади лесного массива кругами, центры которых являются координатами для установки видеокамер наблюдения за состоянием пожарной опасности. С целью отыскания координат центров кругов предварительно выполняется упаковка площади многоугольника квадратами. Для сравнения описана процедура упаковки прямоугольниками. Показано, что выбор геометрической фигуры зависит от конфигурации площади многоугольника. Приведены примеры упаковки квадратами и покрытия кругами площади лесного массива.*

**Ключевые слова:** упаковка, покрытие, многоугольник, лесной массив, видеонаблюдение, пожары.

### Введение

Одним из способов защиты лесных массивов от пожаров, является наземный контроль выделенного лесного участка произвольной конфигурации с помощью видеокамер наблюдения, объединённых в информационную сеть (проводную или беспроводную). Для обеспечения сплошного контроля выделенной лесной площади – на столбах размещаются видеокамеры с круговой зоной обзора [1, 2]. Возникает задача определения координат столбов и их минимального количества. Для решения поставленной задачи предлагаются три последовательно выполняемые процедуры:

- упаковка зоны наблюдения квадратами, центры которых являются координатами столбов;
- покрытие кругами упакованной площади с целью более надежного распознавания за счет появляющихся перекрытий в зонах наблюдения каждой видеокамеры;
- минимизация числа используемых кругов покрытия (видеокамер).

### 1. Алгоритм упаковки площади многоугольника квадратами

В основе алгоритма упаковки лежит представление заданной контролируемой площади суммой квадратов различных площадей. Это представление является точным, так как основано на однозначном преобразовании числа  $S_{10}$  в десятичной системе в число  $S_4$  четверичной системы. Здесь  $S_{10}$  является площадью контролируемого лесного массива, а  $S_4$  – суммой площадей квадратов упаковки.

Реализация алгоритма начинается с выполнения следующих операций:

- загружается карта, представленная изображением формата .jpg или .bmp;
- задается протяженность данной карты по горизонтали или вертикали с целью определения масштаба;
- начало декартовых координат привязывается к верхнему левому углу карты;
- на карте в виде замкнутого многоугольника выделяется площадь контролируемого участка и находится его центр масс.

Упаковка начинается с размещения квадратов максимальной площади, при этом первый квадрат устанавливается таким образом, чтобы точка пересечения его диагоналей совпала с центром масс многоугольника.

Рассмотрим особенность процесса упаковки квадратами. Очевидно, что существует множество многоугольников одинаковой площади, но с различной по длине и случайно ориентированной в координатной плоскости линией периметра. Это приводит к тому, что размеры и число квадратов, найденные в результате четверичного представления и в сумме являющиеся точной оценкой площади, как правило, невозможно упаковать в заданный многоугольник. Такой случай, например, имеет место для узких и протяженных участков значительной площади.

В этом случае, оставаясь в пределах размеров и числа найденных квадратов, выполняется дробление на четыре равных части тех квадратов, которые по размерам не укладываются в заданную площадь. На языке алгоритма эта операция эквивалентна замене единицы старшего разряда числа в четверичной системе четырьмя единицами следующего младшего разряда. Структурная схема алгоритма упаковки представлена на рис. 1.

Из приведенного алгоритма видно, что каждый квадрат, участвующий в упаковке в цикле проверяется на наличие пересечения его сторон с контуром периметра многоугольника. В случае его пересечения с контуром, квадрат заменяется на 4 меньших квадрата, площадь каждого из которых в 4 раза меньше. Процедура повторяется до тех пор, пока площадь упаковки не приблизится к площади многоугольника. Абсолютную разницу этих двух значений можно назвать погрешностью упаковки. Методом тестирования было определено среднее значение этой погрешности - порядка 1-2% от площади многоугольника.

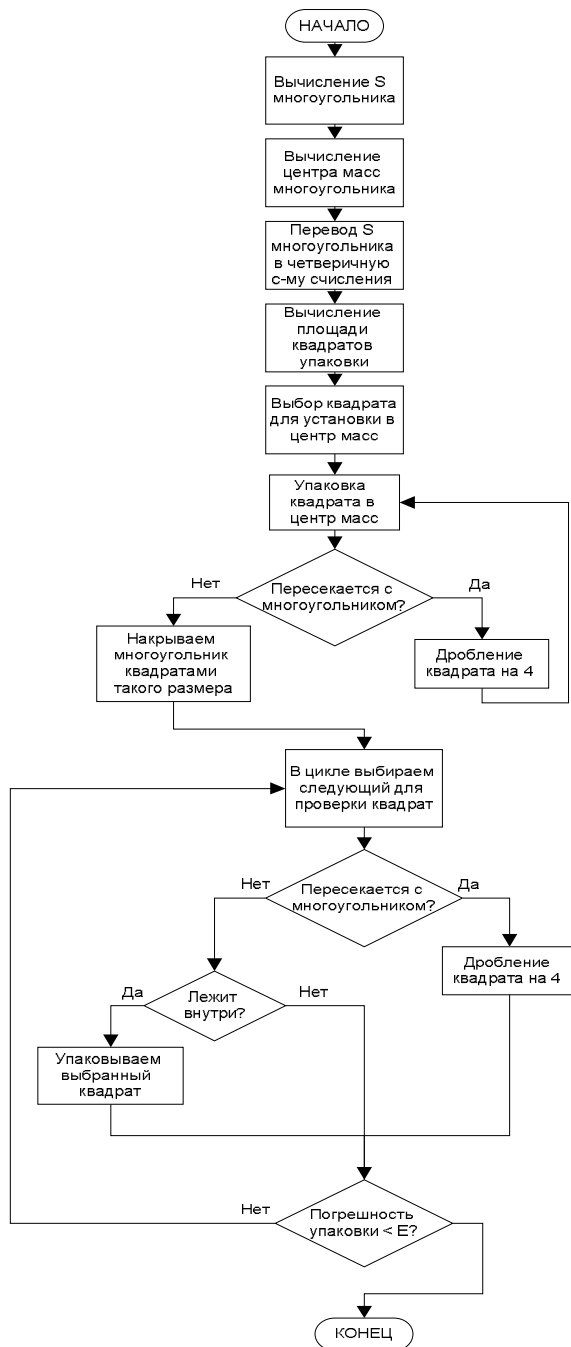


Рис.1. Структурная схема алгоритма упаковки

## 2. Алгоритм упаковки площади многоугольника прямоугольниками

Сформулируем требование к геометрической фигуре как элементу упаковки многоугольника: выбранная геометрическая фигура должна делиться на 4 равных части одинаковой конфигурации. Например, этому требованию (кроме квадрата) удовлетворяют прямоугольники с соотношением сторон 1:2 и 1:4. Два множества этих прямоугольников представлены на рис. 2.

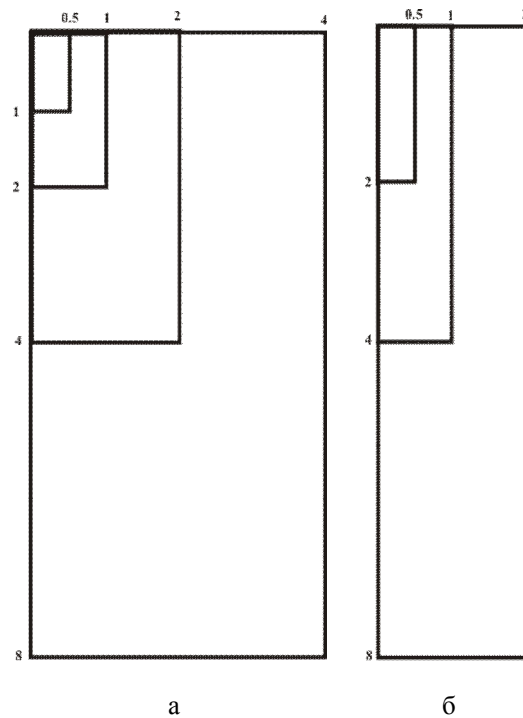


Рис.2. Множества прямоугольников:  
а – с соотношением сторон 1:2;  
б – с соотношением сторон 1:4

Из рис. 2 видно, что прямоугольник с соотношением сторон 1:2 более предпочтительный, так как для его покрытия можно использовать 2 круга, каждый радиусом:

$$R = \sqrt{\frac{a}{2}} \quad (1)$$

где  $a$  – меньшая сторона прямоугольника.

На простом примере покажем процедуру генерации прямоугольников, сумма площадей которых равна площади покрываемого многоугольника. Пусть площадь многоугольника  $S_{10} = 659$  га. В четверичной системе счисления этой площади эквивалентно число  $22103_{(4)}$ .

Действительно

$$659_{(10)} = 22103_{(4)} = 2 \cdot 4^4 + 2 \cdot 4^3 + 1 \cdot 4^2 + 0 \cdot 4^1 + 3 \cdot 4^0.$$

Итак:

$$22103_{(4)} = 2 \cdot 256 + 2 \cdot 64 + 1 \cdot 16 + 0 \cdot 4 + 3 \cdot 1 \quad (*)$$

В этом выражении числа 256, 64, 16, 1 представляют собой площади квадратов, сторонами которых являются числа 16, 8, 4, 1. Теперь каждое из слагаемых выражения (\*) перепишем в виде:

$$22103_{(4)} = 4 \cdot 128 + 4 \cdot 32 + 2 \cdot 8 + 0 \cdot 2 + 6 \cdot 0,5 \quad (**)$$

В этой записи число 128 есть площадь прямоугольника размером 16x8, число 32 является площадью прямоугольника размером 8x4, числа 8 и 1, так же являются площадями прямоугольников размера 4x2 и 0,5x1 соответственно.

Таким образом, выражение (\*\*) является эквивалентным представлением выражения (\*), в котором вместо площадей квадратов используются площади прямоугольников, соотношение сторон которых равно 1:2. Так как каждый прямоугольник по площади в 2 раза меньше соответствующего квадрата, то их количество в 2 раза больше.

### 3. Основные функции программной реализации

Для реализации и тестирования описанного алгоритма была создана программа. Программа написана на языке C# и использует следующие основные функции.

1. Определение принадлежности точки (вершины) многоугольнику. Входные параметры: X, Y координаты вершин многоугольника, количество вершин многоугольника, X, Y координаты точки. Функция имеет тип bool и возвращает true в случае, когда точка принадлежит многоугольнику. Принадлежность точки многоугольнику определяется методом трассировки луча. Суть его в том, что если из заданной точки провести произвольный луч (в произвольном направлении), то по числу пересечений этого луча со сторонами многоугольника можно однозначно сказать, лежит ли точка внутри или снаружи. А именно, если число пересечений четно (или 0) - то снаружи, нечетно - внутри. Причем не важно в каком порядке следуют стороны.

2. Определение положения квадрата относительно многоугольника. Входные параметры: X, Y координаты вершин многоугольника, количество вершин многоугольника, X, Y координаты вершин квадрата. Используя функцию 1, данная функция проверяет принадлежность вершин квадрата многоугольнику, а также 4-х случайных точек на сторонах квадрата для случая, когда вершины квадрата лежат вне многоугольника, но квадрат пересекает его. Функция имеет тип byte и возвращает одно из 3-х значений:

- 1 – квадрат пересекает линию периметра многоугольника;
- 2 – квадрат не пересекает линию периметра многоугольника и лежит внутри;

- 3 – квадрат не пересекает линию периметра многоугольника и лежит снаружи.

### 4. Покрытие заданной площади многоугольника кругами

После выполнения упаковки площади квадратами с целью минимизации числа используемых видеокамер, выполняется покрытие заданной площади кругами радиуса R равно половине диагонали соответствующего квадрата. Используем известное соотношение площади круга и вписанного в него квадрата:

$$\frac{S_{\text{квадрата}}}{S_{\text{круга}}} = \frac{2R^2}{\pi R^2} = 0,637. \quad (2)$$

Итак, площадь круга на 36,3% больше площади вписанного в него квадрата. В результате этого факта появляются участки перекрытия площадей квадратов, варьируя размерами которых можно минимизировать число используемых видеокамер. Для оценки ресурса перекрытия рассмотрим два случая, предварительно введя понятия граничного и внутреннего квадрата. Граничным назовем квадрат, у которого одна из сторон совпадает с границей многоугольника. Внутренним назовем такой квадрат, стороны которого не граничат с линией периметра многоугольника.

В первом случае в результате замены граничного квадрата кругом, область покрытия за пределы многоугольника увеличивается на  $\Delta S_1 = 36,3\% / 4 = 9,1\%$ , а внутри многоугольника площадь перекрытия трёх смежных квадратов становится равной  $\Delta S_2 = 9,1\% \cdot 3 = 27,3\%$  от площади круга. С учётом смежных квадратов, прилегающих к одному граничному квадрату, площадь внутреннего перекрытия будет равна  $\Delta S_3 = 2\Delta S_2 = 54,6\%$  площади круга.

Во втором случае при замене кругами внутренних квадратов, стороны которых не граничат с линией периметра, процент перекрытия площади, создаваемый четырьмя кругами, смежными с центральным, равен:  $\Delta S_4 = 18,2\% \cdot 4 = 72,8\%$  площади круга (рис.3). Величину  $\Delta S_p = \Delta S_3 + \Delta S_4$  назовём резервом площади перекрытия, создаваемым пятью кругами.

Создав сеть из подобных кругов, покрывающую заданную площадь, достаточно просто подсчитать резерв перекрытия для его использования в выборе числа видеокамер.

### 5. Пример упаковки и покрытия

На рис. 4 показан пример упаковки лесного массива, расположенного рядом с поселком Тетлега, в виде контролируемого участка площадью:

$$S_{10} = 9388802 \text{ кв.м.}$$

$$9388802_{(10)} = 203310030002_{(4)} = 2 \cdot 4^{11} + 0 \cdot 4^{10} + 3 \cdot 4^9 + 3 \cdot 4^8 + 1 \cdot 4^7 + 0 \cdot 4^6 + 0 \cdot 4^5 + 3 \cdot 4^4 + 0 \cdot 4^3 + 0 \cdot 4^2 + 0 \cdot 4^1 + 2 \cdot 4^0.$$

**Вывод.** Для упаковки использовать:

- 2 квадрата площадью 4194304 кв.м.
- 3 квадрата площадью 262144 кв.м.
- 3 квадрата площадью 65536 кв.м.
- 1 квадрат площадью 16384 кв.м.
- 3 квадрата площадью 256 кв.м.
- 2 квадрата площадью 1 кв.м.

Из рис.4 видно, что вместо двух квадратов максимальной площади используется целым только один, второй квадрат подвергается дроблению на 4 квадрата, принадлежащих следующему по старшинству разряду. Но так как в четверичном разложении количество квадратов, принадлежащих второму по старшинству разряду равно нулю, выполняется дальнейшее дробление каждого из 4-х квадратов. Поэтому количество квадратов третьего по старшинству разряда, используемых для упаковки (рис.4), равно 6, а не 3. Этот итеративный процесс выполняется программой под контролем оператора.

На рис. 5 наблюдаются зоны перекрытия площадей кругов, которые позволяют в ряде случаев устранить некоторое количество кругов, т.е. сделать покрытие более редким. При этом сохраняется 100% обзор контролируемой площади.

Рис. 6 иллюстрирует результат «прореживания» кругов, попавших в зону перекрытия. Круги малого радиуса не попавшие в зону перекрытия, могут выполнять функции координат размещения сенсорных датчиков возгорания и дыма, объединенных в сеть.

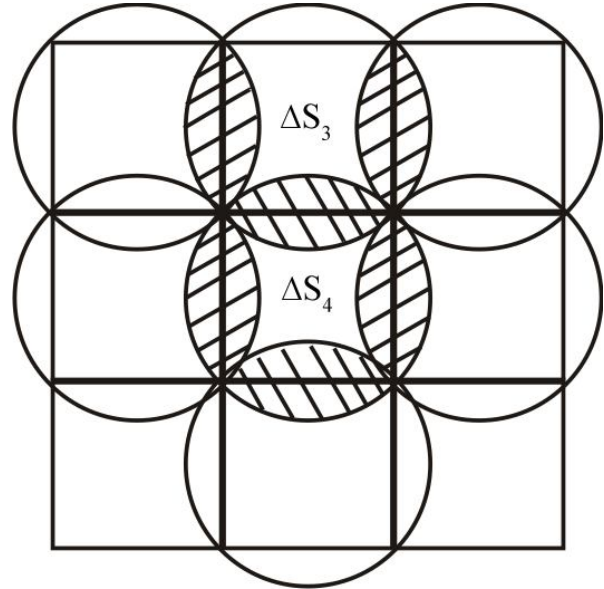


Рис. 3. Варианты перекрытия  $\Delta S_3$  – для граничных квадратов;  $\Delta S_4$  – для внутренних квадратов.

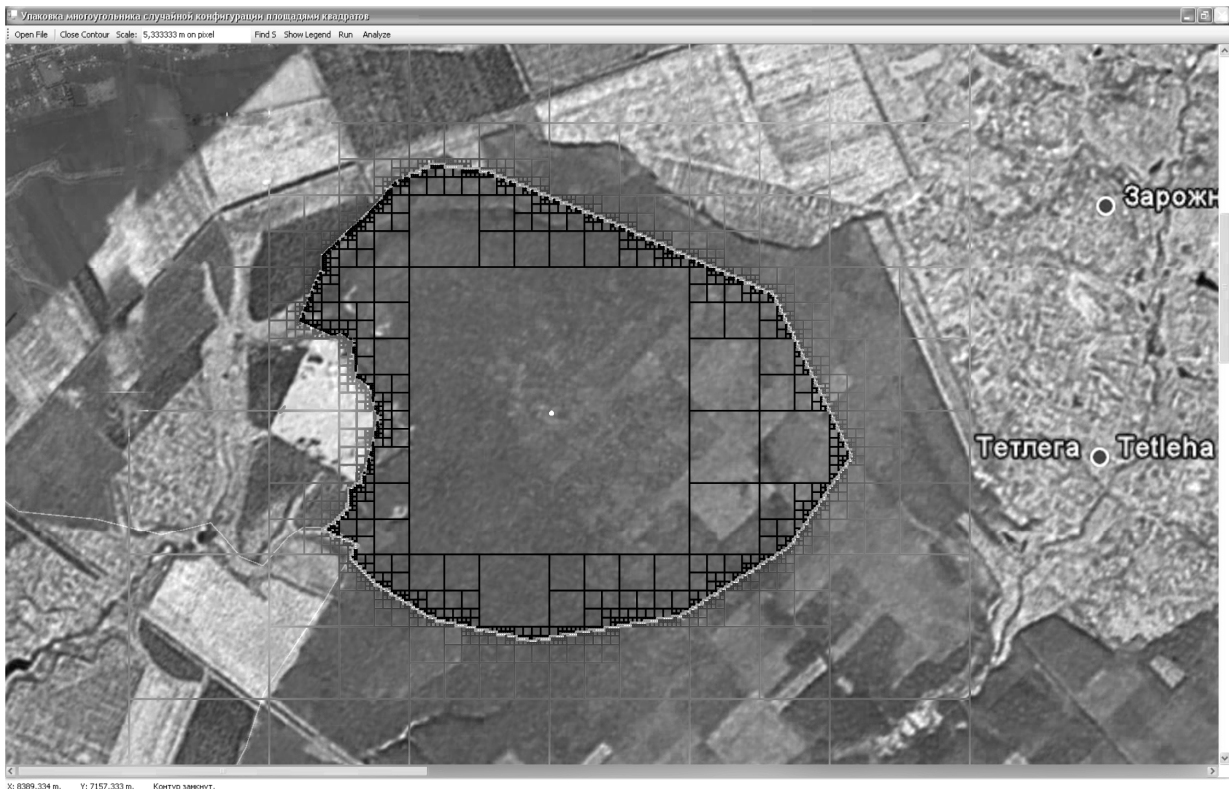


Рис. 4. Упакованный фрагмент лесного массива

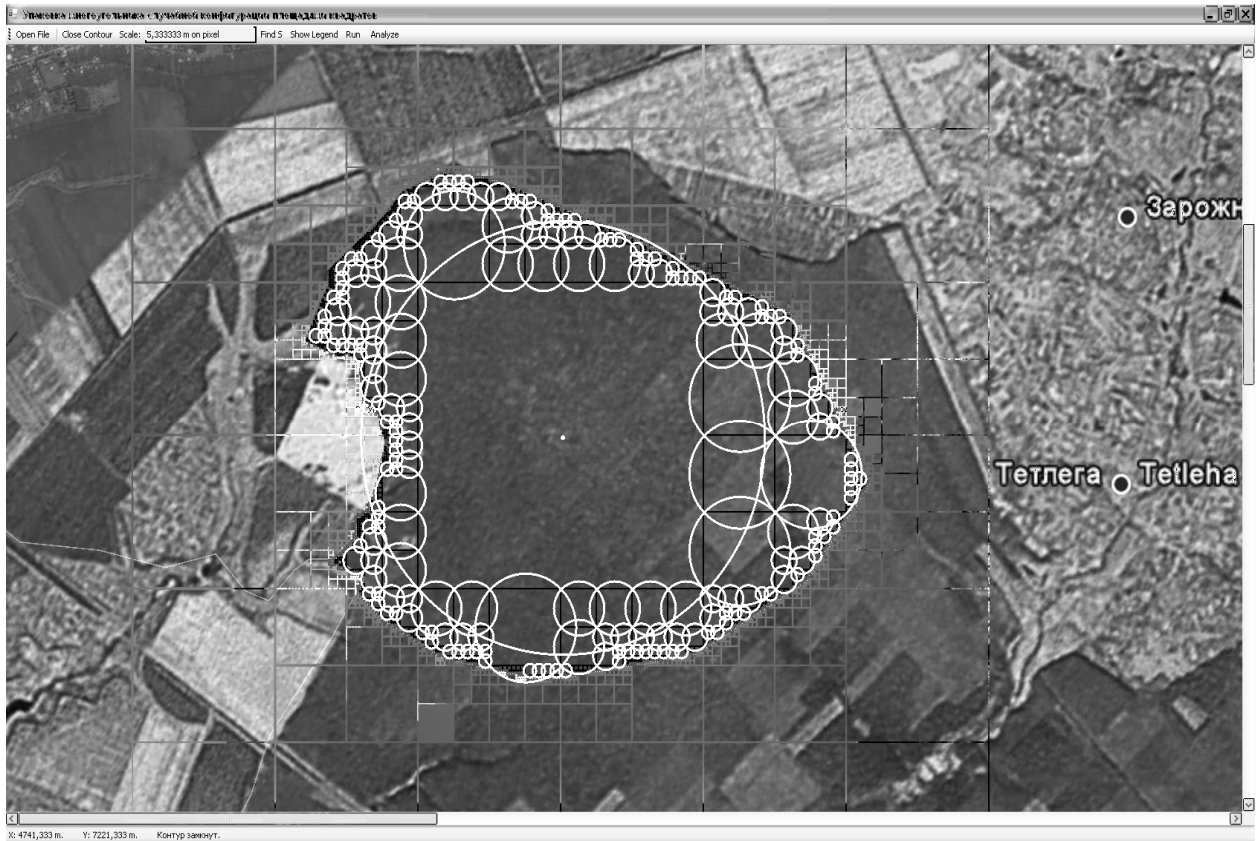


Рис. 5. Покриття кругами

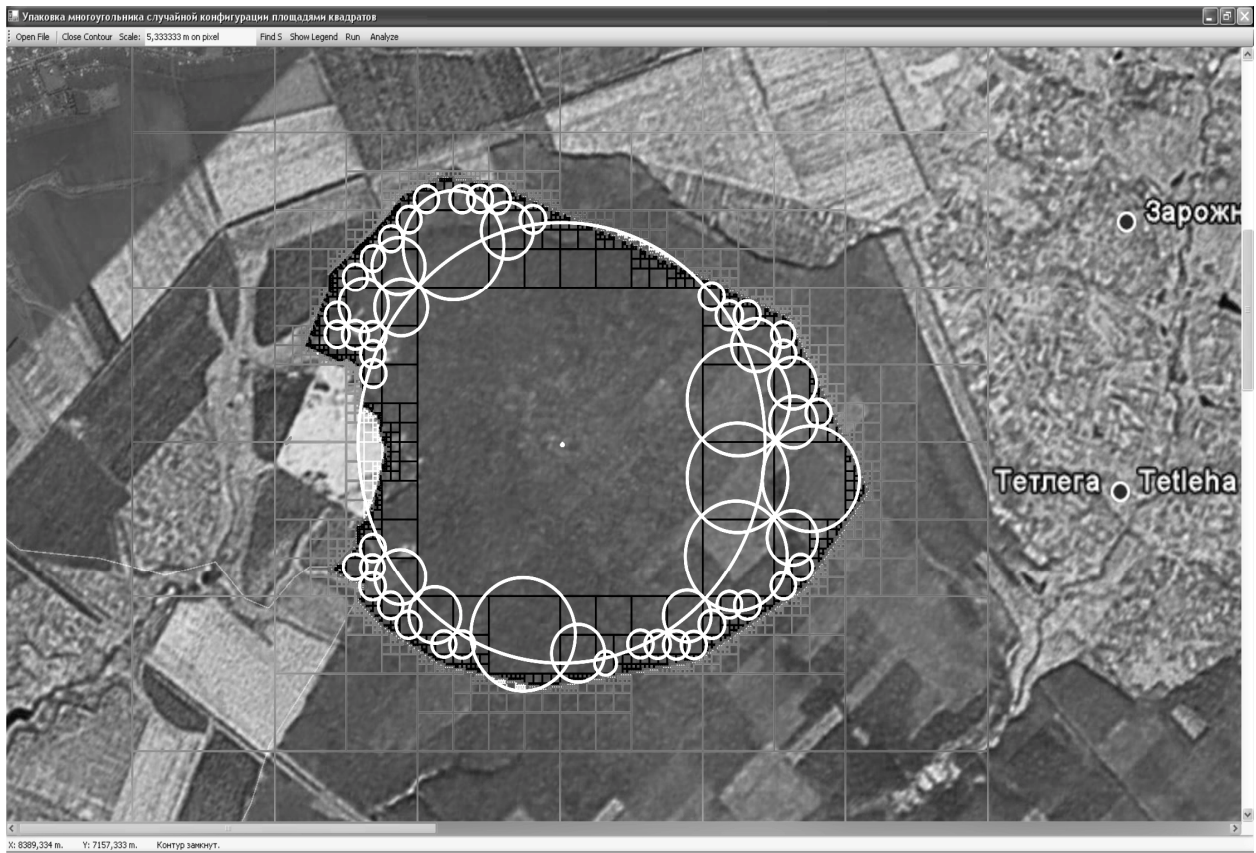


Рис. 6. Мінімізація

## Выводы

Предложенные алгоритм и программа тестировались на площадях многоугольников лесных массивов различной конфигурации. Для многоугольников выпуклой конфигурации в условиях примерного равенства средних «длины» и «ширины» рациональней использование упаковки квадратами.

В случае многоугольников с малой шириной и длиной значительной протяженности (фрагмент типа «река»), предпочтительней упаковка прямоугольниками с соотношением сторон 1:2 или 1:4. В обоих случаях структура покрытия приближается к редчайшей при устранении зон перекрытия. Это,

как следствие, приводит к минимизации числа необходимых видеокамер.

## Литература

1. Мединцев С.Ю. Системы мониторинга лесных ресурсов: состояние и пути развития / С.Ю. Мединцев, А.А. Орехов, Д.А. Кочкар // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 6 (40). – С. 70-74.

2. Кузнецов В.Ю. Задачи покрытия ортогональных многоугольников с запретными участками / В.Ю. Кузнецов // *Вестник УГАТУ*. – Уфа, 2008. – Т. 10. – № 2. – С. 177-182

Поступила в редакцию 12.02.2010

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

## АЛГОРИТМ ПОКРИТТЯ ПЛОЩІ ЛІСОВОГО МАСИВУ КРУГАМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ

*С.М. Бабій, Д.А. Кочкар, В.В. Чмовж*

У статті приведено алгоритм покриття площі лісового масиву кругами, чії центри є координатами для встановлення відеокамер спостереження за станом пожежної безпеки. З метою відшукування координат центрів кругів заздалегідь виконується пакування площі багатокутника за допомогою квадратів. Для порівняння описано процедуру пакування за допомогою прямокутників. Показано, що вибір геометричної фігури залежить від конфігурації площі багатокутника. Наведені приклади пакування за допомогою квадратів та покриття кругами площі лісового масиву.

**Ключові слова:** пакування, покриття, багатокутник, лісовий масив, відеоспостереження, пожежі.

## ALGORITHM OF OVERLAYING WOODLAND AREA BY VIDEO SURVEILLANCE AND CONTROL CIRCLES

*S.M. Babiy, D.A. Kochkar, V.V. Chmovzh*

The article contains algorithm of overlaying the woodland area with circles, which centers are the coordinates of the points where the video surveillance cameras might be placed for monitoring the fire hazard condition. With the purpose to find the coordinates of the circle centers the polygon area was prior packed with squares. The procedure of packing the area with rectangles is given for comparison. It is shown that selection of geometric figure depends on configuration of the polygon. Also the examples of packing with squares and overlaying with circles of the woodland area are given.

**Keywords:** packing, overlaying, polygon, woodland, video surveillance, fires.

**Бабій Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры компьютерных систем и сетей, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: k503@csac.khai.edu.

**Кочкар Дмитрий Анатольевич** – директор научно-производственного предприятия «Лесинформ», Харьков, Украина, e-mail: lesinform@tms.org.ua.

**Чмовж Виталий Витальевич** – студент 3 курса кафедры компьютерных систем и сетей, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: v.phazed@gmail.com.