

А.А. Тарасенко, д.т.н., с.н.с., вед. научн. сотр., НУГЗУ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПОЛЕЙ НЕВИДИМОСТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСНОГО МАССИВА

С целью повышения эффективности дистанционного мониторинга пожарной опасности лесных массивов предложена модель и алгоритм реализации процедуры нахождения границ полей невидимости на аналитически заданной поверхности рельефа.

Ключевые слова: поверхность рельефа, границы полей невидимости, ГИС.

Постановка проблемы. Для задач оптимизация размещения пунктов наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров [1], а также определения параметров полета низколетящих летательных аппаратов, осуществляющих радиозондирование с целью обнаружения очага [2], является актуальным решение вопроса нахождения границ полей невидимости (ПН), т.е. участков местности непрозрачиваемых из точки наблюдения [3].

Данная задача актуальна также для нахождения местоположения различного рода ретрансляторов с целью определения затененных областей, непокрываемых транслируемыми сигналами (задача радиовидимости).

Анализ последних исследований и публикаций. В географических информационных системах (ГИС) для поиска границ ПН используются алгоритмы перебора растров цифровой модели местности с осуществлением процедуры поиска горизонта [4, 5].

В том случае, если рельеф задан в виде аналитической поверхности, решение данной задачи в литературе не обнаружено.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является получение модели и алгоритма реализации процедуры нахождения границ полей невидимости в зависимости от возвышения точки наблюдения для аналитически заданной поверхности рельефа.

В работе [6] предложена процедура получения бикубической сплайн-поверхности $Z(x, y)$ рельефа на основе векторных карт горизонталей, заданных на прямоугольной области Ω с габаритами $X^* \times Y^*$.

Положим, что мониторинг осуществляется на области Ω . Пусть задана точка $(x_0; y_0) \in \Omega$ и пусть над точкой с координатами $(x_0; y_0; z_0)$, где $z_0 = Z(x_0, y_0)$, на высоте h расположена точка наблюдения $Z_h = (x_0; y_0; z_0 + h)$.

Введем величину R – радиус обзора, лимитируемый оптическим разрешением устройства, посредством которого осуществляется мониторинг.

В случае если $R \geq \min(x_0, X^* - x_0, y_0, Y^* - y_0)$, то ПН целиком лежат на поверхности рельефа внутри сферы с радиусом R и центром в точке Z_h . В обратном случае внешние границы ПН могут отчасти совпадать с границами области Ω .

Свяжем с линией $[(x_0; y_0; z_0), (x_0; y_0; z_0 + h)]$ ось OZ локальной цилиндрической системы координат с полярной осью параллельной оси OX . Осуществим круговое сканирование поверхности рельефа из точки наблюдения Z_h в дискретно задаваемых азимутальных направлениях $\varphi_i = i \cdot \Delta\varphi$ с шагом по полярному углу $\Delta\varphi$ (рис. 1).

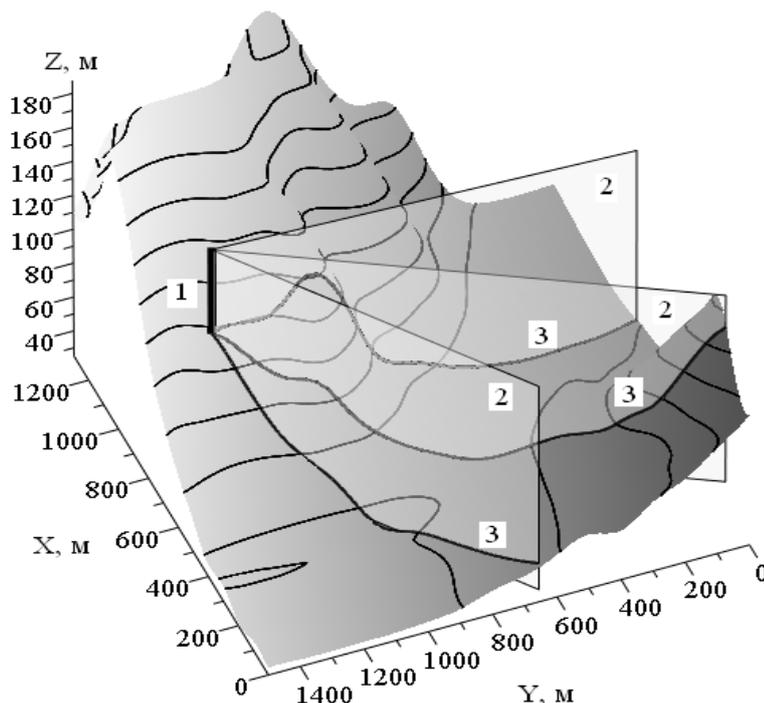


Рис. 1. Круговое сканирование местности из точки наблюдения Z_h . 1 – наблюдательная вышка с высотой h ; 2 – полуплоскости $\varphi_i = i \cdot \Delta\varphi$; 3 – линии пересечения поверхностей $\varphi_i = i \cdot \Delta\varphi$ и $Z(x; y)$

В формализованной интерпретации это означает, что, задавая в цилиндрической системе координат полуплоскости $\varphi_i = i \cdot \Delta\varphi$, получим линии пересечения поверхности рельефа $Z(x; y)$ данными полуплоскостями в виде параметрически задаваемой линии

$$\tilde{Z}_i \equiv \tilde{Z}(x_0, y_0, \rho, \varphi_i) = \begin{cases} x = x_0 + \rho \cos \varphi ; \\ y = y_0 + \rho \sin \varphi ; \\ Z(x_0 + \rho \cos \varphi, y_0 + \rho \sin \varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где параметр ρ – полярный радиус, откладываемый вдоль направления φ_i .

Свяжем с точкой $(x_0; y_0; 0)$ и одним из фиксированных направлений $\varphi = \varphi_i$ (далее временно опуская индекс «i») плоскую декартову систему координат $P\tilde{O}Z$. В этой системе координат уравнение линии (1) приобретет вид

$$\tilde{Z}(\rho) = Z(x_0 + \rho \cos \varphi, y_0 + \rho \sin \varphi). \quad (2)$$

Из точки наблюдения $(0; z_0 + h)$ проведем к линии $\tilde{Z}(\rho)$ касательную $\ell(\rho)$ (рис. 2), уравнение которой будет иметь вид

$$\left. \frac{d\tilde{Z}(\rho)}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_j} = \frac{\tilde{Z}(\rho_j) - (z_0 + h)}{\rho_j}. \quad (3)$$

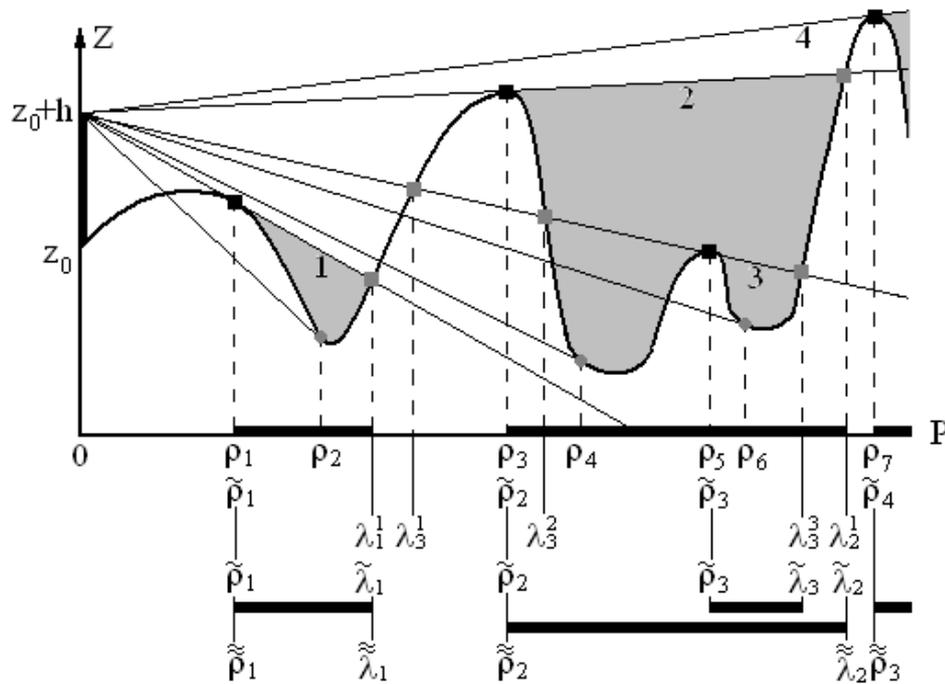


Рис. 2. Процедура определения границ полей невидимости

В силу бикубичности поверхности $Z(x, y)$ уравнение (3) в общем случае будет уравнением шестого порядка (на каждой из ячеек решетки (см. [6])), что допускает лишь численное решение (3) относительно неизвестной ρ_j . Количество таких решений J_Θ может быть произвольным и зависит от трех факторов – высоты h , радиуса обзора R (или размеров области Ω) и степени холмистости поверхности $Z(x, y)$ (на рис. 2 это точки $\{\rho_j\}_{j=1..7}$).

Из найденного множества точек $\Theta = \{\rho_j\}_{j=1..J_\Theta}$ потенциальными границами ПН могут быть лишь те точки, в которых функция $\tilde{Z}(\rho)$ выпукла вверх.

Поэтому для ρ_j необходимо осуществить проверку выполнения условия

$$\left. \frac{d^2 \tilde{Z}(\rho)}{d\rho^2} \right|_{\rho=\rho_j} > 0. \quad (4)$$

Обозначим упорядоченное по возрастанию множество таких точек как $\tilde{\Theta} = \{\tilde{\rho}_j\}_{j=1..J_{\tilde{\Theta}}}$ ($J_{\tilde{\Theta}} = 4$ – количество точек, удовлетворяющих условию (4) для примера, приведенного на рис. 2).

Для каждой из прямых (3), проходящих через пару точек $(0; z_0 + h)$ и $(\tilde{\rho}_j; \tilde{Z}(\tilde{\rho}_j))$ (при $j = 1..J_{\tilde{\Theta}}$), найдем абсциссы λ_j^k ($k = 1..K_j$) точек пересечения с $\tilde{Z}(\rho)$. Таких точек также может быть различное количество (см. рис. 2 – $K_1 = K_2 = 1$, $K_3 = 3$). Интерес представляют лишь те точки пересечения, абсцисса $\tilde{\lambda}_j$ которых удовлетворяет условию

$$\tilde{\lambda}_j = \min \{ \lambda_j^k \mid \lambda_j^k > \tilde{\rho}_j \}. \quad (5)$$

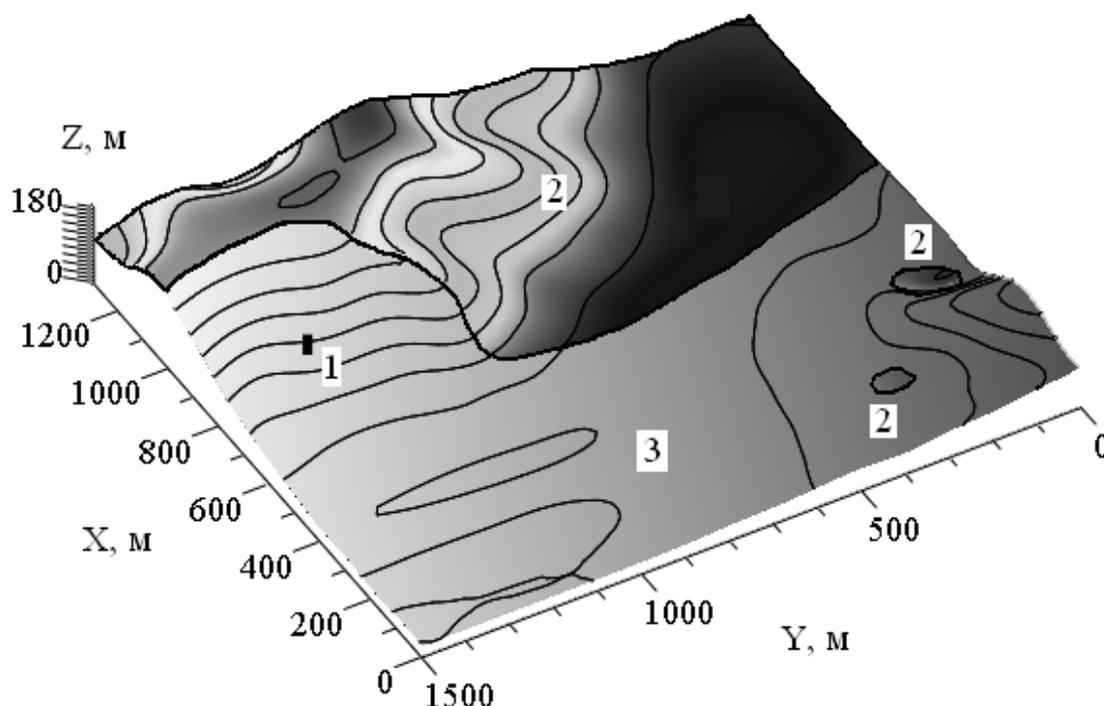


Рис. 3. 3-D изображение поверхности рельефа. 1 – точка наблюдения; 2 – поля невидимости; 3 – видимая область

Часть полученных таким образом отрезков $[\tilde{\rho}_j; \tilde{\lambda}_j]$ может находиться внутри других. Возвращая индекс «i», выполнив процедуру объединения данных отрезков, окончательно получим множество

$$\Xi_i = \left\{ [\tilde{\rho}_k; \tilde{\lambda}_k] \right\}_{k=1..K_i} = \bigcup_{j=1}^{K_j} \{ [\tilde{\rho}_j; \tilde{\lambda}_j] \} \quad (6)$$

из \tilde{K}_i отрезков, являющихся линейными (т.е. вдоль текущего сканируемого направления φ_i) полями невидимости.

Множество точек, полученное по всем сканируемым направлениям, задает границы ПН.

В качестве примера на рис. 3 приведен результат расчета границ ПН для реального рельефа из точки наблюдения, возвышающейся на высоту 50 м. Характерной особенностью является несвязность НП.

Также на рис. 4 проиллюстрировано изменение данной области при увеличении возвышения (для той же поверхности рельефа, но другой точки наблюдения). Видно, что с увеличением высоты h площадь ПН сокращается, а сама она распадается на несвязные подобласти.

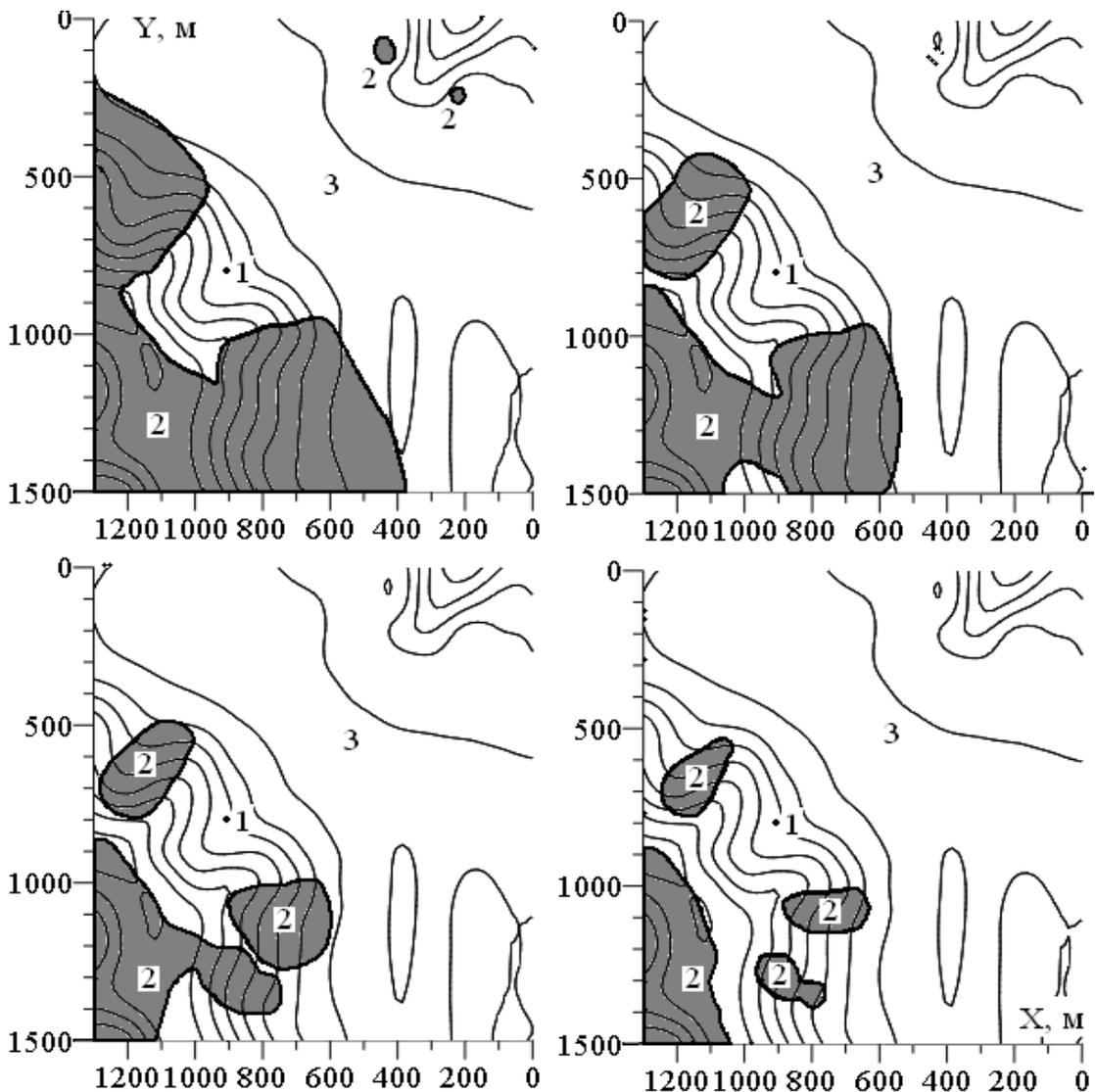


Рис. 4. Изменение конфигурации полей невидимости при увеличении возвышения точки наблюдения: а) $h = 50$ м; б) $h = 65$ м; в) $h = 80$ м; г) $h = 95$ м

Выводы. Предложены аналитическая модель и алгоритм реализации процедуры нахождения границы поля невидимости для аналитической поверхности рельефа. На примере показана сложность формы и несвязность непросматриваемой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комяк В.М. Оптимизация размещения пунктов наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / В.М. Комяк, А.В. Панкратов, А.Ю. Приходько, С.Д. Светличная // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 36. – 2014. С. 117-124.

2. Покровский Р.А. Раннее обнаружение очагов ландшафтных пожаров и прогноз динамики их распространения: Дис... канд. техн. наук: 21.06.02. – Харьков, 2002. – 221 с.

3. Псарев А.А. Военная топография / А.А. Псарев, А.Н. Коваленко, А.М. Куприн, Б.И. Пирнак. – М.: Воениздат, 1986. – 384 с.

4. Паниди Е.А. Оценка метрических свойств картографических изображений и картометрия средствами ГИС: Дис... канд. техн. наук: 25.00.35. – С-Пб., 2012. – 146 с.

5. Тикунов В.С. Моделирование в картографии: Учебник / В.С. Тикунов. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.

6. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 927 с.

О.А. Тарасенко

Визначення границь полів невидимості для моніторингу пожежної небезпеки лісового масиву

З метою підвищення ефективності дистанційного моніторингу пожежної небезпеки лісових масивів запропоновано модель і алгоритм реалізації процедури знаходження границь полів невидимості на аналітично заданій поверхні рельєфу.

Ключові слова: поверхня рельєфу, границі полів невидимості, ГИС.

A.A. Tarasenko

Determining the boundaries of invisible areas for the fire safety monitoring of woodlands

The proposed model and algorithm of finding the boundaries of invisible areas for analytically given surface are improving the efficiency of remote monitoring the fire danger of woodlands.

Keywords: surface topography, boundaries of invisible areas, GIS.