

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ РАЗРЯДА В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А.К. Богушов

Вопросы определения местоположения молниевых разрядов радиотехническими методами представляют интерес, как для фундаментальной науки, так и для практики. Информация о координатах молнии может быть получена с помощью радиотехнических систем пассивного мониторинга грозовых очагов в реальном времени. Данные системы широко используются по всему миру [1]. Как известно, при использовании однопозиционных систем возникает неустранимая ошибка [2] обнаружения пеленга на разряд. Это связано с тем, что молния как природный источник электромагнитного излучения, имеет массу особенностей, которые объективно сказываются на параметрах электромагнитного излучения, и в конечном итоге снижают качественные показатели систем грозолокации. Одним из способов решения данной проблемы является анализ информации полученной от некоторого множества разрядов грозового очага.

Из-за имеющейся неопределенности в определении координат источника, тривиальные способы отображения всех зарегистрированных разрядов, не дают возможность определить реальное местоположение грозового очага. Поэтому в работе [3] предложено использовать двумерную карту плотности вероятности M^2 , которая определяет вероятность накрытия области грозовым очагом. Для определения вероятности $P_{[i,j]}(D)$ в [3], использован ряд гипотез относительно распределения вероятности принадлежности разряда D множеству точек возможного положения разряда

$L(D)$. Гипотезы строились с теми предположениями, что вероятность нахождения разряда в той или иной точке множества $L(D)$, либо на проекции множества $L_{XOY}(D)$ и других, равновероятно.

В данной работе предложено рассмотреть трехмерную карту плотности вероятности M^3 . Вся карта плотности M^3 разбита на ячейки $[i, j, k]$. Вероятность $\text{Prob}[i, j, k]$ попадания разряда в ячейку $[i, j, k] \in M^3$ карты определяется формулой

$$\text{Prob}[i, j, k] = \frac{\sum_{D \in R(T)} P_{[i, j, k]}(D)}{\max_{[l, m, p] \in M^3} \sum_{D \in R(T)} P_{[l, m, p]}(D)},$$

где $R(T)$ – это разряды, зарегистрированные за промежуток времени T , $P_{[i, j, k]}(D)$ – вероятность попадания разряда D в $[i, j, k]$ ячейку карты, D – зарегистрированный разряд.

Для определения $P_{[i, j, k]}(D)$ необходимо знать, как распределена вероятность принадлежности диполя D точкам трехмерного пространства.

Рассмотрим подходы к определению множества $L(D)$ и гипотез о распределение вероятности на множестве $L(D)$ в трехмерном случае. В работе [2] в качестве математической модели молниевое разряда используется произвольно ориентированный диполь над бесконечной проводящей плоскостью и предложен способ решения обратной задачи, т.е. определения параметров r, u, v, φ модели по наблюдаемым в каналах антенн сигналам, где φ – псевдопеленг, $v = \sin(\varphi - \psi_0) / \sin(\psi - \psi_0)$, $u = \sin(\theta) \cos(\varphi - \psi)$, остальные параметры определены на рис. 1.

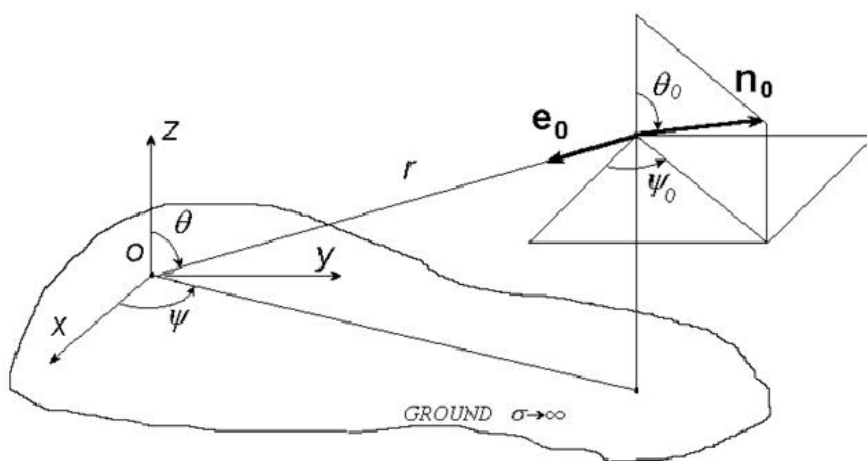


Рис. 1. Математическая модель источника излучения

Множество $L(D)$ при известном параметре r в сферической системе координат можно определить следующими неравенствами:

$$\begin{aligned} \varphi - \arccos u &\leq \psi \leq \varphi + \arccos u, \\ \arcsin u &\leq \theta \leq \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Предположим, что величина ψ_0 характеризующая ориентацию диполя равномерно распределена, тогда

$$f_{\psi_0}(\xi) = \frac{1}{2\hat{\psi}}, \quad \pi - \hat{\psi} \leq \xi \leq \pi + \hat{\psi},$$

$$\hat{\psi} = \arctan\left(\frac{1}{s} \tan \arccos u\right), \quad s = \left|\frac{1-uv}{uv}\right|.$$

Отсюда можно определить распределение величины ψ

$$f_{\psi}(\eta) = \frac{s}{2\hat{\psi}(s^2 \cos^2(\phi - \eta) - \sin^2(\phi - \eta))}, \quad (2)$$

$$\varphi - \arccos u \leq \eta \leq \varphi + \arccos u.$$

Аналогично можно найти распределение величины θ

$$f_{\theta}(\xi) = \frac{su \cos(\xi) \sin(\xi)}{\hat{\psi}(s^2 u^2 - u^2 + \sin^2 \xi) \sqrt{\sin^2 \xi - u^2}}, \quad \arcsin u \leq \xi \leq \frac{\pi}{2}. \quad (3)$$

На рис. 2 и 3 показаны графики зависимости распределений (2) и (3) от параметров u, v при известном параметре $\varphi = \pi/2 = 90^\circ$. Использование принятой гипотезы позволяет определить плотность вероятности попадания разряда в точку r, ψ, θ множества (1)

$$f_{\psi, \theta}(\eta, \xi) = f_{\psi}(\eta) f_{\theta}(\xi).$$

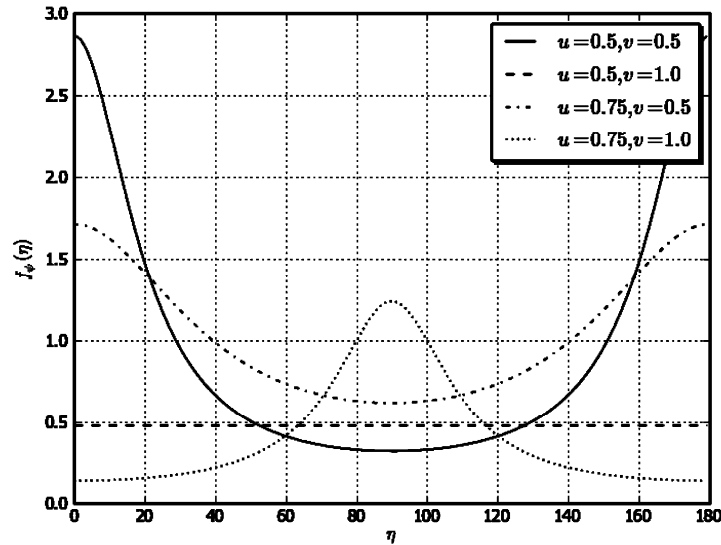


Рис. 2. Графики зависимости распределения величины ψ от параметров u, v

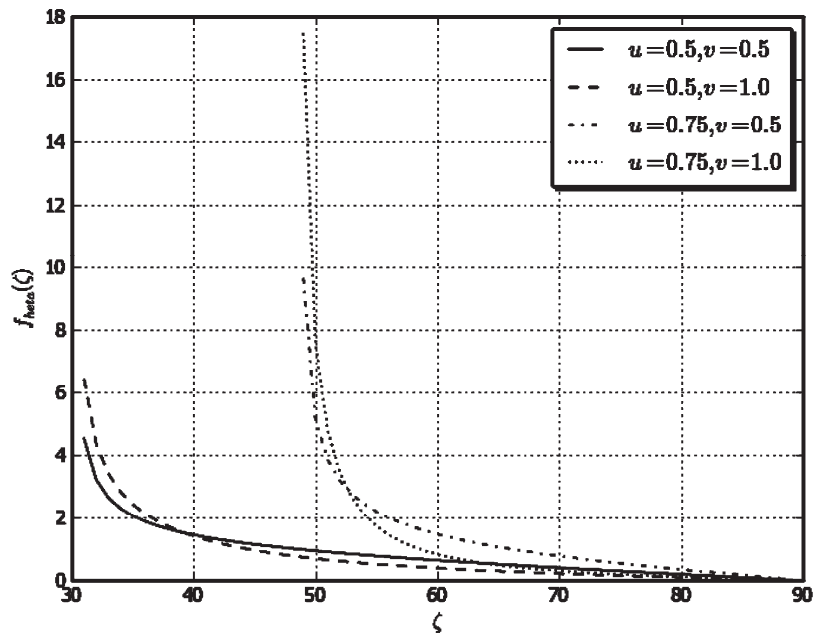


Рис. 3. Графики зависимости распределения величины θ от параметров u, v

Таким образом, зная распределение вероятности в точках множества $L(D)$, которое представляет собой ограниченный угловыми координатами участок полусферы радиуса r , по совокупности измеренных за определенное время разрядов $R(T)$ можно получить трехмерную картину происходящих в атмосфере грозových явлений.

Библиографический список

1. Панюков, А.В. Системы пассивного мониторинга грозовой деятельности / А.В. Панюков, Д.В. Будуев, Д.Н. Малов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». – 2003. – № 8(24). – С. 11–20.
2. Panyukov, A.V. Estimation of the location of an arbitrarily oriented dipole under single-point direction finding / A.V. Panyukov // Journal of geophysical research. 1996. – Vol. 101. – No. D10. – P. 14,997–14,982.
3. Богушов, А.К. Вторичная обработка результатов пассивного мониторинга грозовой деятельности / А.К. Богушов, А.В. Панюков // Сб. тр. 40-й молодежной школы-конференции. – Екатеринбург, 2009. – С. 286–290.