

а 7 - а 4  
Мороз 24, АН

ГЕОР ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ  
ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ

К.ф.-м.н., доцент Климов В.В., д.ф.-м.н., проф. Мкртчян Ф.А.  
(Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва)

Рис.  
Рез. англ.

DECISION MAKING IN THE RADIOPHYSICAL INVESTIGATIONS  
OF THE THUNDERSTORM ACTIVITY

Klimov V.V., Mkrtyan F.A.

Грозовая активность, принятие решения, мониторинг, оптимизация.

Thunderstorm activity, decision making, monitoring, optimization.

Обсуждены вопросы организации мониторинга грозовой активности и рассмотрены способы их решения. Предложены критерии и алгоритмы оптимизации процедуры принятия решений об уровне грозовой активности. Отмечены особенности оптимизации структурных и функциональных параметров системы мониторинга. Указано, что пороговые значения критерия принятия решения можно определить на основе классической процедуры Неймана - Пирсона, исходя из априорных распределений сигнала и шума в области пересечения непересекающихся областей.

The monitoring questions of thunderstorm activity are discussed and methods for their solution are considered. Criterion and algorithms for the optimization of decision making procedure about the thunderstorm activity are proposed. Features of the optimization of structural and functional parameters of monitoring system are marked. It is shown that threshold values of decision making criteria can be defined on the base of Neuman-Pierston procedure basing on a-priori distributions of signal and noise in the area of the bearing intersections.

Введение

Исследование грозовой активности с определением параметров пространственно-временного распределения ее очагов в пределах данного региона играет важную роль в решении целого ряда природоохранительных и хозяйственных задач, включая защиту от пожаров и грозовых поражений лесных массивов, морских и речных портов, складов, электростанций и линий электропередач, а также обеспечение безопасности полетов самолетов. Для решения подобных задач возникает необходимость в создании мониторинговой системы, обеспечивающей непрерывное наблюдение за грозовой активностью в данном временном и пространственном интервале [1-4].

Под мониторинговой системой контроля грозовой обстановки будем понимать совокупность пунктов радиотехнического наблюдения и линий связи между ними, а также центра обработки данных и принятия решения о местоположении грозового очага. Система должна обладать определенными структурными и функциональными параметрами, позволяющими наиболее эффективно осуществлять регистрацию грозовых очагов при достаточном низком потреблении энергии.

Одним из наиболее важных структурных параметров мониторинговой системы является общее число элементов (пунктов наблюдения), которое должно быть по возможности наименьшим. Передаваемая в центр статистической обработки данных и принятия решения информация должна быть достаточно простой, чтобы не предъявлять слишком жесткие требования к параметрам линий связи (динамический диапазон, ширина полосы пропускания и т.д.). Указанным требованиям удовлетворяют, например, мониторинговые системы, построенные на базе пассивных радиотехнических устройств: грозорегистраторов, грозодалномеров, грозодемпфаторов, обладающих различными функциональными параметрами, и использующих статистические свойства грозовых очагов как источников потока радиомпульсов, вызываемых электромагнитным излучением молниевых разрядов.

Построение системы оперативной оценки территориального распределения гроз в пределах данного региона, а тем более, страны связано с существенными материальными затратами, поэтому оптимизация структурных и функциональных параметров системы приобретает первостепенное значение. При этом, необходимо учитывать и априорную информацию (многочлетние региональные наблюдения за грозами, степень важности объектов, подлежащих защите от гроз), а также, возможные алгоритмы обработки поступающей информации, оптимизация которых должна проводиться в рамках общей задачи оптимизации системы.

Критерий оптимизации

Задача местопределения грозовых очагов включает в себя выбор тех или иных технических устройств (пенетраторов, дальномеров, регистраторов и т.д.), определение их числа или доли, если используются устройства разных типов, размещение их в пределах заданной области, принятие решения о наличии грозового очага и определение его координат. Задачу оптимизации каждого из этих этапов можно свести к общей задаче принятия оптимальных решений, которую можно представить в виде кортежа следующих элементов  $(X, Y, Z, K, U)$ , где  $X$  - множество управляющих параметров (структурных или функциональных),  $Y$  - множество состояний природы,  $Z$  - целевая, или платежная функция, заданная на декартовом произведении  $X$  и  $Y$ , а  $K(X) = U$ . Оператор  $K$  назовем критерием оптимальности, а  $U$  - множеством оптимальных стратегий решающей системы.

При подходе Неймана-Пирсона к заданию оператора  $K$  система обнаружения описывается двумя каноническими функциональными параметрами:  $P$  (вероятность обнаружения),  $Q$  (вероятность ложной тревоги), а оператор  $K$  - максимизацией  $P$  при заданном  $Q$ , т.е., функция  $Z = P$ . Заметим здесь, что описание системы обнаружения числами  $P$  и  $Q$  имеет смысл тогда, когда период между двумя последовательными решениями четко определен. В противном случае, в качестве функции  $Z$  берется  $T(P)$ -время, необходимое для обнаружения, а ограничение задается параметром  $L(Q)$  - временем между ложными тревогами. В реальных задачах параметры  $T(P)$  и  $L(Q)$  - случайные величины, поэтому естественно ввести в рассмотрение их средние значения  $E(T(P))$ ,  $E(L(Q))$ . Тогда задачу оптимизации функциональных параметров можно представить как задачу минимизации  $E(T(P))$  при условии, что  $E(L(Q))$  - фиксированная величина.

## АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Пусть данная область покрытия сетью из  $N$  датчиков, каждый из которых характеризуется показателем  $r(r)$  – вероятностью обнаружения, где  $r$  является расстоянием от грозового очага с координатами  $(x, y)$  до датчика с координатами  $(u, v)$ . Рассмотрим задачу оптимального размещения  $N$  датчиков внутри области  $S$  при отсутствии данных о распределении гроз. Зададим целевую функцию в виде логарифма вероятности пропуска цели, которая имеет вид  $W((x, y), (u, v)) = L(x, y)$ , а оператор  $K$  в виде

$$\min_{(u, v)} \max_{(x, y)} W((x, y), (u, v))$$

Нетрудно видеть, что при  $N=1$  и монотонно убывающей функции  $r(r)$  оптимальное положение датчика совпадает с центром окружности наименьшего радиуса, описанной вокруг данной области  $S$ . В случае произвольных  $r(r)$  и  $N$  необходимыми условиями оптимального размещения является отсутствие возможных перемещений датчиков, уменьшающих значение  $\max_{(x, y)} L(x, y)$ . Пусть существует  $k$  точек  $(x(j), y(j))$ , в которых  $L(x, y)$  достигает своего максимального значения, тогда необходимыми условиями оптимальности дадут, что  $k$  нормальных уравнений не имеет решения, для которого приращения  $\Delta L(x(j), y(j)) < 0$ , при  $j=1, \dots, k$ . Это – задача линейного программирования, и решение, если оно существует, находится симплекс-методом. Заметим, однако, что решение, найденное таким способом, будет, вообще говоря, локально оптимальным, так как оно определяется начальными положением датчиков. Пусть функция  $R(u, v)$ , равная  $\max_{(x, y)} L(x, y)$  в области  $D=S^*S^* \dots S^*$ , имеет единственный глобальный минимум и

$$E(u, v, z) = \exp(-zR(u, v)), \quad F(z) = \iint_D E(u, v, z) dudv$$

Тогда координаты оптимального размещения можно найти по формулам:

$$u(i) = \lim_{z \rightarrow \infty} \iint_D u(i) E(u, v, z) dudv / F(z),$$

$$v(i) = \lim_{z \rightarrow \infty} \iint_D v(i) E(u, v, z) dudv / F(z), \quad i=1, \dots, N$$

## Параметры оптимизации

Как показано выше, эффективность систем радиотехнического мониторинга существенно образом определяется размерностью множества управляющих параметров. Дадим описание некоторых из них на примере пассивных статических радиопеленгаторов, которые представляют собой моноимпульсные пеленгаторы электромагнитного молниевоего разряда (атмосферика), регистрирующие потоки атмосфериков на примакающих временных интервалах на заданном пороговом уровне в секторных пеленгах в реальном времени.

Исходной информацией по каждому пеленгу, поступающей в центр обработки, служит число импульсов, превышающих данный порог за заданный временной интервал. Передача данных в пункт обработки осуществляется по телеграфным

линиям связи, где координаты грозовых очагов определяются по пересечениям пеленгов из разных пунктов регистрации. Основными структурными параметрами такого пеленгатора являются: время накопления, или длительность сеанса ( $T$ ), интервал накопления ( $t$ ), порог срабатывания ( $E$ ), дальность действия ( $r$ ), разрешающая способность по азимуту ( $\Delta$ ), абсолютная ошибка разрешения по азимуту ( $d\Delta$ ), число пеленгов ( $N$ ), где  $N=360/\Delta$ . При расстоянии между пунктами до 2000 км и среднем размере грозового очага в 200 км достаточно принять  $\Delta=6$ . Выбор значения  $T$  производится из физических свойств грозового очага, среднее время существования которого известно и составляет 20-30 мин. Значение  $t$  определяется таким образом, чтобы на нем было не менее одного срабатывания пеленгатора (импульса). С другой стороны, число таких интервалов ( $n$ ), где  $n=T/t$ , должно быть достаточно большим, чтобы полученная выборка была статистически предельно точной. Для каждой пары пунктов значения  $t$ , вообще говоря, могут отличаться, но в любом случае должно выполняться соотношение  $t(1)=kt(2)$ , где  $k$  – целое число. Важен также вопрос о взаимной привязке шкал времени при регистрации потоков на нескольких пунктах наблюдения. На практике достаточная точность взаимной привязки составляет 0,1 сек.

Оптимизация работы системы грозопеленгаторов осуществляется на основе функциональных параметров, синтезирующих решаемые функции и критические области. Так, например, в практике обработки потоков атмосфериков находят широкое применение алгоритмы корреляционной теории, которые для рассматриваемой системы пеленгаторов анализируют значение коэффициента взаимной корреляции  $K(i, j)$ , который строится для каждой пары пеленгаторов  $\Pi(1)$  и  $\Pi(2)$  и каждой пары пеленгов:  $i$ -го пеленга пеленгатора  $\Pi(1)$  и  $j$ -го пеленга пеленгатора  $\Pi(2)$ .

Области  $S(i, j)$  пересечения  $i$ -го пеленга  $\Pi(1)$  и  $j$ -го пеленга  $\Pi(2)$ , в которых  $K(i, j) > K(i, j)$ , определяют положение грозового очага. При этом устанавливается неопределенность в определении координат грозовых очагов, которая появляется при геометрическом наложении пеленгов на источники молниевых разрядов.

Пороговые значения  $K(i, j)$  можно определить на основе классической процедуры Неймана – Пирсона, исходя из априорных распределения сигнала и шума в области  $S(i, j)$ . Задание же вероятностей ложной тревоги для всех  $S(i, j)$  представляет самостоятельную задачу, требующую дополнительной информации о важности тех или иных регионов, их отдаленности, рельефе местности и т.п.

## Литература

1. Климов В.В. Пространственная идентификация сигналов в радиотехническом мониторинге. Экологические системы и приборы, 2000, № 5, с. 2-6.
2. Климов В.В. Об одном подходе к решению радиометрических задач. Материалы Международного Симпозиума «Инженерная экология» 7-9 декабря 2009 г., М.: МНТОРЭС им. А.С.Попова, 2009, с. 169 – 176.
3. Karvinen V.F., Mäkeläyan F.A., Kovalay V.I., Klimov V.V. An adaptive system to identify the spots of rollants on the water surface. Proceedings of the Eighth International Symposium "Ecological Problems", 16-17 December, 2008, Moscow, Moscow: The Moscow Sciences Engineering A.S. Purov Society for Radio, Electronics and Communication, 2008, pp. 35-46.
4. Mäkeläyan F.A., Karvinen V.F., Kovalay V.I., Klimov V.V. Spectroelectromagnetic technology for ecological monitoring of the aquatic environment. Proceedings of the First Mediterranean Photonics Conference. 25-28 June, 2008, Ischia, Napoli, Italy, pp. 333-335.