

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РАДИОЭЛЕКТРОННО-ОБЪЕКТОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Калюжный Н.М., Николаев И.М., Смилык В.И.

Национальный технический университет радиозлектроники,

г. Харьков, пр. Ленина, 14, т. (057)702-11-38,

E-mail: monitoring@kture.kharkov.ua

Results of effectiveness estimation of the statistical, logic algorithms, and algorithm which is based on determination of minimal recognition distance using signal signs of "interval-point" type, using imitating-mathematical modeling method are reduced. It was shown, that the logic algorithm is more prime in its realization, and in the case of high accuracy of signs measuring this algorithm can to have advantage in comparison with statistical algorithm.

Введение. Одной из важных задач экспертной системы распознавания (ЭСР) является распознавание в масштабе времени, близком к реальному, классов (типов) источников радиоизлучений (ИРИ), а также классов и состояний объектов, в состав которых эти ИРИ входят. Для эффективного решения данной задачи в ЭСР должен быть реализован наиболее эффективный (оптимальный) алгоритм распознавания, обеспечивающий принятие решений о типе и режиме функционирования ИРИ по сигнальным признакам, связанным с параметрами излучаемых сигналов, при больших алфавитах классов (типов) ИРИ и ограниченном словаре сигнальных признаков. В связи с этим задача оценки эффективности различных алгоритмов распознавания и выбора наиболее эффективного алгоритма для реализации в ЭСР является актуальной.

Целью доклада является изложение результатов имитационно-статистического моделирования эффективности различных алгоритмов распознавания большого числа ИРИ при использовании "точечных" и "интервальных" сигнальных признаков.

Основная часть. При больших размерах распознаваемых алфавитов классов (типов) ИРИ и ограниченном словаре сигнальных признаков задача выбора наиболее эффективного алгоритма распознавания может быть решена только при использовании метода имитационно-статистического (математического) моделирования, позволяющего реализовать итеративную процедуру последовательного приближения разрабатываемой системы распознавания к потенциально достижимой и оценить ее эффективность в различных условиях функционирования.

Для сравнительной оценки эффективности распознавания ИРИ по параметрам излучаемых сигналов были выбраны логический, статистический и алгоритм распознавания по минимуму расстояния [5]. В качестве входного вектора измеренных признаков наблюдаемого ИРИ неизвестного типа использовался вектор, содержащий восемь параметров, принимавших в процессе эксперимента случайные значения:

$$A_{\text{изм}} = \{f_{0 \text{ изм}}, \Delta f_{0 \text{ изм}}, \tau_{\text{и изм}}, \Delta \tau_{\text{и изм}}, T_{\text{и изм}}, \Delta T_{\text{и изм}}, F_{\text{д изм}}, \Delta F_{\text{д изм}}\},$$

где $f_{0 \text{ изм}}$ - среднее значение несущей частоты, $\Delta f_{0 \text{ изм}}$ - диапазон перестройки несущей частоты от импульса к импульсу, $\tau_{\text{и изм}}$ - среднее значение длительности излучаемых импульсов, $\Delta \tau_{\text{и изм}}$ - диапазон изменения длительности излучаемых импульсов от посылки к посылке, $T_{\text{и изм}}$ - среднее значение периода повторения импульсов, $\Delta T_{\text{и изм}}$ - величина диапазона вобуляции (перестройки) периода следования импульсов, $F_{\text{д изм}}$ - среднее значение внутриимпульсной девиации частоты (ширины спектра) сигнала, $\Delta F_{\text{д изм}}$ - диапазон изменения внутриимпульсной девиации частоты от импульса к импульсу.

Эталонные описания распознаваемых ИРИ включали описания параметров излучений 213 режимов работы 73 разных типов ИРИ, задаваемых в виде интервалов ($\alpha_{v \text{ min}}, \alpha_{v \text{ max}}$) значений параметров сигналов (словаря сигнальных признаков), где $\alpha_{v \text{ min}}, \alpha_{v \text{ max}}$ - минимальное и максимальное значения v -го признака, $v=1, \dots, 8$. Каждый тип ИРИ был описан одним или несколькими (по числу режимов работы) эталонными описаниями $A_{\text{э}}(\alpha)$ кон-

кретных значений выбранного словаря признаков α_i , $i=1, \dots, m$, где m -число распознаваемых типов ИРИ.

Вектор эталонного описания g -го режима j -го типа ИРИ i -го класса имеет вид:

$$A_{ijr}^g(\alpha) = \left\{ f_{0ijr}^{\min}, f_{0ijr}^{\max}, \Delta f_{0ijr}^{\min}, \Delta f_{0ijr}^{\max}, \tau_{iijr}^{\min}, \tau_{iijr}^{\max}, \Delta \tau_{iijr}^{\min}, \Delta \tau_{iijr}^{\max}, \right. \\ \left. T_{iijr}^{\min}, T_{iijr}^{\max}, \Delta T_{iijr}^{\min}, \Delta T_{iijr}^{\max}, F_{dijr}^{\min}, F_{dijr}^{\max}, \Delta F_{dijr}^{\min}, \Delta F_{dijr}^{\max} \right\}$$

Формирование значений признаков входного вектора осуществлялось путем случайного выбора с помощью равномерного датчика случайных чисел номера эталонного описания $A_{ijr}^g(\alpha)$ режима излучения одного распознаваемых типов ИРИ, представленных в экспериментальной базе данных (БД) и вычисления значений параметров входного вектора по формулам:

$$\begin{aligned} f_0 &= f_{0ijr}^{\min} (f_{0ijr}^{\max} - f_{0ijr}^{\min}) \delta; & \Delta f_0 &= \Delta f_{0ijr}^{\min} (\Delta f_{0ijr}^{\max} - \Delta f_{0ijr}^{\min}) \delta; \\ \tau_i &= \tau_{iijr}^{\min} (\tau_{iijr}^{\max} - \tau_{iijr}^{\min}) \delta; & \Delta \tau_i &= \Delta \tau_{iijr}^{\min} (\Delta \tau_{iijr}^{\max} - \Delta \tau_{iijr}^{\min}) \delta; \\ T_i &= T_{iijr}^{\min} (T_{iijr}^{\max} - T_{iijr}^{\min}) \delta; & \Delta T_i &= \Delta T_{iijr}^{\min} (\Delta T_{iijr}^{\max} - \Delta T_{iijr}^{\min}) \delta; \\ F_d &= F_{dijr}^{\min} (F_{dijr}^{\max} - F_{dijr}^{\min}) \delta; & \Delta F_d &= \Delta F_{dijr}^{\min} (\Delta F_{dijr}^{\max} - \Delta F_{dijr}^{\min}) \delta, \end{aligned}$$

где δ - случайное число, распределенное по равномерному закону на интервале (0..1).

Затем в каждом k -м цикле имитации осуществлялось генерирование случайных значений параметров входного вектора признаков с заданными значениями ошибок измерения по формулам:

$$\begin{aligned} f_0[k] &= f_0 + \sigma_{f\mu}[k]; & \Delta f_0[k] &= \Delta f_0 + \sigma_{\Delta f\mu}[k]; \\ \tau_i[k] &= \tau_i + \sigma_{\tau\mu}[k]; & \Delta \tau_i[k] &= \Delta \tau_i + \sigma_{\Delta \tau\mu}[k]; \\ T_i[k] &= T_i + \sigma_{T\mu}[k]; & \Delta T_i[k] &= \Delta T_i + \sigma_{\Delta T\mu}[k]; \\ F_d[k] &= F_d + \sigma_{F\mu}[k]; & \Delta F_d[k] &= \Delta F_d + \sigma_{\Delta F\mu}[k], \end{aligned}$$

где μ - случайное число, распределенное по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, $\sigma_f, \sigma_{\Delta f}, \sigma_\tau, \sigma_{\Delta \tau}, \sigma_T, \sigma_{\Delta T}, \sigma_F, \sigma_{\Delta F}$ - заданные значения СКО измерения сигнальных признаков (параметров имитируемого сигнала), $k = 1, \dots, N$, N - заданное число прогонов модели (количество циклов имитации).

В результате в k -м цикле имитации осуществлялось формирование вектора случайных признаков ИРИ следующего вида:

$$A_{им}[k] = \{f_0[k], \Delta f_0[k], \tau_i[k], \Delta \tau_i[k], T_i[k], \Delta T_i[k], F_d[k], \Delta F_d[k]\}.$$

Принятие решения о принадлежности входного вектора к одному из распознаваемых типов ИРИ для каждого из исследуемых алгоритмов осуществлялось по величине достаточных статистик, вычисляемых по следующим формулам:

а) для статистического алгоритма [1]:

$$\gamma(A_{изм}) = \arg \max_{i=1 \dots M} \max_{j=1 \dots m_i} \max_{r=1 \dots p_{ij}} \prod_{v=1}^N \varphi_{ijr}(A_{изм})$$

где M - число классов, m_i - число типов, p_{ij} - число режимов ИРИ;

$$\varphi_{ijr}(\alpha) = \frac{1}{\alpha_{ijr,v}^{\max} - \alpha_{ijr,v}^{\min}} \left[\Phi \left(\frac{\alpha_{ijr,v}^{\max} - \alpha_{v,изм}}{\sigma_v} \right) - \Phi \left(\frac{\alpha_{ijr,v}^{\min} - \alpha_{v,изм}}{\sigma_v} \right) \right]$$

если эталонный признак является "интервальным", и по формуле:

$$\varphi_{ijr}(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ijr,v}} e^{-\frac{(\alpha_{v,изм} - \alpha_{ijr,v})^2}{2\sigma_{ijr,v}^2}}$$

если эталонный признак является "точечным"; где $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ - интеграл вероятности (функция Лапласа), $u = \frac{\alpha_v - \alpha_v^*}{\sigma_v}$ - аргумент функции Лапласа;

б) для логического алгоритма:

$$\begin{aligned} \gamma(A_{изм}) = \arg \max \{ & (f_{0min}[i,j] \leq f_{0изм} \leq f_{0max}[i,j]) \& (\Delta f_{0min}[i,j] \leq \Delta f_{0изм} \leq \Delta f_{0max}[i,j]) \& \\ & (\tau_{imin}[i,j] \leq \tau_{иизм} \leq \tau_{imax}[i,j]) \& (\Delta \tau_{imin}[i,j] \leq \Delta \tau_{иизм} \leq \Delta \tau_{imax}[i,j]) \& \\ & (T_{imin}[i,j] \leq T_{иизм} \leq T_{imax}[i,j]) \& (\Delta T_{imin}[i,j] \leq \Delta T_{иизм} \leq \Delta T_{imax}[i,j]) \& \\ & (F_{dmin}[i,j] \leq F_{дизм} \leq F_{dmax}[i,j]) \& (\Delta F_{dmin}[i,j] \leq \Delta F_{дизм} \leq \Delta F_{dmax}[i,j]) \& \}. \end{aligned} \quad (8)$$

в) для алгоритма минимума расстояния:

$$\gamma(A_{изм}) = \arg \min_{\substack{i=1...M \\ j=1...m}} \sum_{v=1}^N \frac{(\alpha_{изм}^* - \alpha_{ijv})^2}{\sigma_v^2}$$

где σ_v^2 - дисперсия ошибки измерения v -го параметра.

В последнем случае входной вектор (1) сравнивался с эталонными векторами вида

$$A_{ijk}^3 = \{f_{0ijk} \cdot \Delta f_{0ijk} \cdot \tau_{иijk} \cdot \Delta \tau_{иijk} \cdot T_{иijk} \cdot \Delta T_{иijk} \cdot F_{дijk} \cdot \Delta F_{дijk}\},$$

формирование которых осуществлялось путем замены интервальных значений соответствующих параметров их средними значениями: $f_{0ijk} = \frac{1}{2}(f_{0ijk}^{max} + f_{0ijk}^{min})$ и т. д.

Вычисление достаточных статистик осуществлялось по результатам статистической обработки результатов распознавания при подачи на входы исследуемых алгоритмов случайного вектора сигнальных признаков ИРИ i -го типа путем многократной имитации его значений по нормальному закону с заданными значениями дисперсии σ_v^2 . Выходные эффекты всех трех алгоритмов нормировались относительно их максимальных значений и отображались на графике в пределах $\pm g$ шагов относительно номера того типа ИРИ, которому соответствует максимальное значение рассчитанной статистики. Графики достаточных статистик, формируемых статистическим (линия 1), логическим (линия 2) и алгоритмом минимума расстояния (линия 3) при подаче на их входы одного и того случайного вектора сигнальных признаков при значениях ошибок $\sigma_f=1,0$ МГц, $\sigma_t=1$ мкс показаны на рис. 1. Эти графики дают наглядное представление, как об эффективности исследуемых алгоритмов, так и об информативности и степени пересечения эталонных описаний распознаваемых типов ИРИ на выбранном языке сигнальных признаков. Для сравнения на рис. 2 приведены результаты расчетов выходных эффектов этих же алгоритмов при $\sigma_f=0,1$ МГц, $\sigma_t=1$ мкс и $\sigma_T=1$ мкс.

Проведенные исследования показали, что при использовании словаря сигнальных признаков интервального типа наиболее эффективным (в смысле правильности и однозначности классификации предъявляемых ИРИ) является статистический алгоритм распознавания. Менее эффективным является логический алгоритм, который в некоторых случаях выдает неоднозначные решения, состоящие из нескольких (правильного и близких к нему) типов ИРИ. При достаточно больших ошибках измерения параметров сигналов логический алгоритм и алгоритм распознавания по минимуму расстояния имеют

большие уровни боковых выбросов, что приводит к ошибочным решениям. При уменьшении ошибок измерения параметров излучений (признаков) уровни боковых выбросов логического алгоритма уменьшаются, а его эффективность приближается к эффективности статистического алгоритма. Наихудшей эффективностью в данном случае обладает алгоритм распознавания по минимуму расстояния, который достаточно часто выдает ошибочные решения.

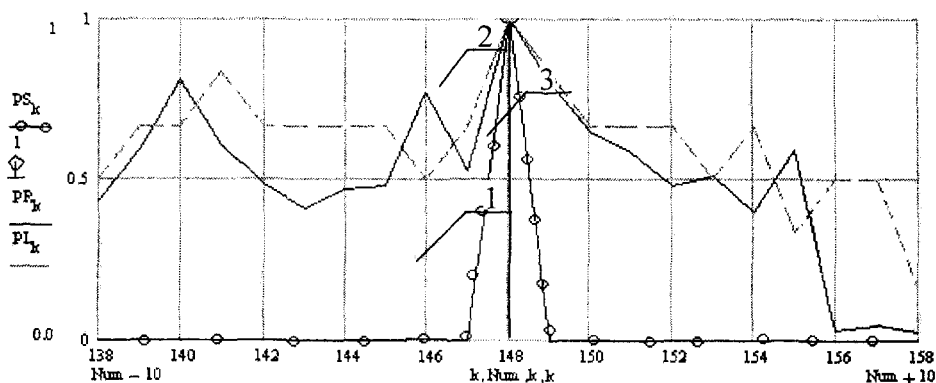


Рис. 1.

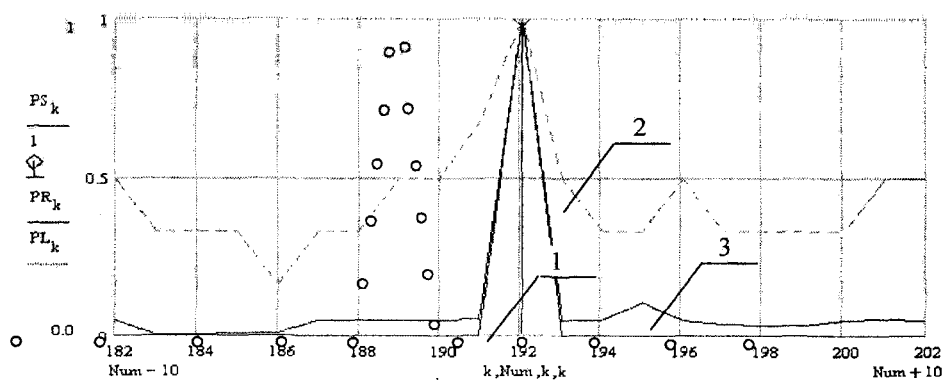


Рис. 2.

Выводы. При разработке системы распознавания источников радиоизлучений одним из важных вопросов является выбор наиболее эффективного алгоритма, обеспечивающего минимальный процент ошибочных решений при заданном словаре сигнальных признаков. Проведенные исследования показали, что данному требованию в наибольшей степени отвечают статистический и логический алгоритмы. При этом логический алгоритм более прост в реализации и при высокой точности измерений признаков может иметь преимущество перед статистическим алгоритмом.

Применение изложенного подхода к выбору наиболее эффективного алгоритма для экспертной системы распознавания ИРИ позволяет получить ориентировочные оценки эффективности на ранних стадиях разработки данной системы и существенно сократить тем самым риск появления ошибок на последующих этапах проектирования.

Литература:

1. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания.— М.: Высшая школа, 1984. — 208 с.