

УСТРОЙСТВО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ, ОПТИМАЛЬНОЕ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА СРЕДНЕГО РИСКА

М. В. Свинарский, А. С. Храменков, С. Н. Ярмолик

Кафедра радиолокации и приёмо-передающих устройств, Военная академия Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

E-mail: mechislav1993@gmail.com, xras.tech@mail.com, yarmsergei@yandex.ru

Для повышения информативности классификации радиолокационных объектов предлагается использовать последовательный байесовский алгоритм распознавания, одновременно обеспечивающий минимизацию риска принимаемых решений о классе объекта и о продолжении дальнейшего наблюдения. Приведены результаты расчета характеристик распознавания для радиолокационных объектов трех имитируемых классов применительно к предлагаемому последовательному алгоритму.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача радиолокационного распознавания заключается в установлении факта принадлежности наблюдаемого объекта к одному из M классов [1].

При решении задач радиолокационного наблюдения наиболее распространен байесовский подход к проверке статистических гипотез, предполагающий формирование и анализ отношений правдоподобия по каждому из распознаваемых классов [1, 2]. В этом случае обобщенным показателем эффективности принимаемых решений выступает средний риск.

Повышение достоверности классификации объектов предполагает минимизацию среднего риска принимаемых решений. По этой причине постоянно совершенствуются подходы к обработке наблюдаемых радиолокационных сигналов, связанные с увеличением времени наблюдения объекта. Однако непосредственное увеличение времени контакта с целью не всегда возможно. Вместе с этим в ряде случаев радиолокатор имеет возможность многократного обращения к цели. Определенный интерес представляет использование последовательных процедур в интересах распознавания объектов, которое позволяет осуществлять адаптацию решающего правила к условиям наблюдения и открывает возможности изменения границ признакового пространства.

Основная часть

Задача последовательного радиолокационного распознавания объекта k -го класса A_k ($k = 1...M$) на каждом шаге наблюдения сводится к принятию решения о принадлежности наблюдаемой цели к одному из l классов A_l^* ($l = 1...M$) или вынесения решения о продолжении наблюдения A_{M+1}^* . Очевидно, что событиям $l = k$ соответствуют правильные решения, а $l \neq k$ – ошибочные. Оптимальным в смысле байесовского последовательного критерия распознавания будет правило, обеспечивающее минимизацию

среднего значения потерь (риска), связанных с последовательной процедурой, при принятии решения о классе наблюдаемого объекта или о продолжении наблюдения. При этом процесс минимизации значения среднего риска последовательной процедуры сводится к минимизации среднего риска на каждом шаге наблюдений.

Средний риск принятия решения на n -ом шаге наблюдения можно представить в виде:

$$R_n = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M P_n(A_l) C_{kl}^n P_n(A_k^* | A_l) + \sum_{l=1}^M P_n(A_l) C_{M+1l}^n P_n(A_{M+1}^* | A_l), \quad (1)$$

где $P_n(A_l)$ – априорная вероятность наличия объекта l -го класса на n -ом шаге; C_{kl}^n , C_{M+1l}^n – цены за принятое решение в пользу k -го класса и о продолжении наблюдения ($M + 1$ гипотеза) соответственно при наличии объекта l -го класса на n -ом шаге; $P_n(A_k^* | A_l)$, $P_n(A_{M+1}^* | A_l)$ – условные вероятности принятия решения в пользу k -го класса и о продолжении наблюдения ($M + 1$ гипотеза) соответственно при наличии объекта l -го класса на n -ом шаге.

В результате минимизации среднего риска (1) получены выражения для решающей статистики последовательного алгоритма классификации:

$$J_n^k(\xi_n) = \sum_{l=1, l \neq k}^M P_n(A_l) (C_{kl}^n - C_{ll}^n) \Lambda(\xi_n | A_l),$$

$$J_n^{M+1}(\xi_n) = \sum_{l=1}^M P_n(A_l) (C_{M+1l}^n - C_{ll}^n) \Lambda(\xi_n | A_l),$$

где $J_n^k(\xi_n)$, $J_n^{M+1}(\xi_n)$ – значения среднего риска, характеризующее принадлежность наблюдаемой цели к k -му ($k = 1...M$) классу и продолжение наблюдения соответственно на n -ом шаге процедуры распознавания; $\Lambda(\xi_n | A_l)$ – отношение правдоподобия объекта l -го класса на n -ом шаге процедуры распознавания.

Таким образом, решающее правило последовательного распознавания радиолокационных объектов, обеспечивающее минимизацию среднего риска принимаемых решений, интерпретируется следующим образом: если $J_n^k(\xi_n) \leq J_n^l(\xi_n)$, $l = 1 \dots M$, $l \neq k$ то принимается предварительное решение о наблюдении объекта k -го класса A_k^* . После принятия предварительного решения проверяется возможность остановки последовательной процедуры наблюдения. Если $J_n^k(\xi_n) \leq J_n^{M+1}(\xi_n)$, то принимается окончательное решение о принадлежности наблюдаемой цели к k -му классу A_k^* . Если указанное условие не выполняется, то принимается решение о продолжении наблюдения и осуществляется переход к $n + 1$ шагу процедуры распознавания.

Для проверки работоспособности и оценивания качества функционирования разработанного последовательного алгоритма распознавания радиолокационных объектов, минимизирующего средний риск всех принимаемых решений, было проведено математическое моделирование. В процессе моделирования имитировались флуктуационные радиолокационные портреты [2] целей трех классов. Эффективность классификации характеризовалась значениями условных вероятностей правильного распознавания D_k и средней вероятностью ложного распознавания объекта k -го класса F_k в зависимости от отношения сигнал-шум (γ). Полученные характеристики распознавания приведены на рис. 1 и 2.

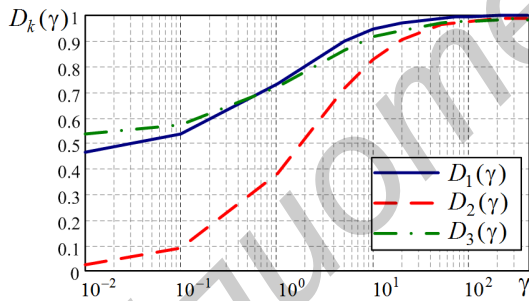


Рис. 1 – Вероятности правильного распознавания последовательного алгоритма

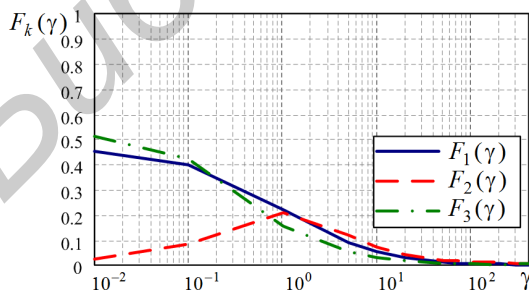


Рис. 2 – Вероятности ложного распознавания последовательного алгоритма

Результаты моделирования показали, что требуемое значение вероятности правильного распознавания $D_k = 0,9$ для всех классов может быть получено при значениях отношения сигнал-шум от 7 до 13 дБ. Вместе с этим, необходимо отметить, что выигрыш в характеристиках распо-

знавания неизбежно сопровождается увеличением длительности процедуры принятия решения.

На рис. 3, 4 приведены результаты оценивания средней длительности анализируемой последовательной процедуры распознавания объектов.

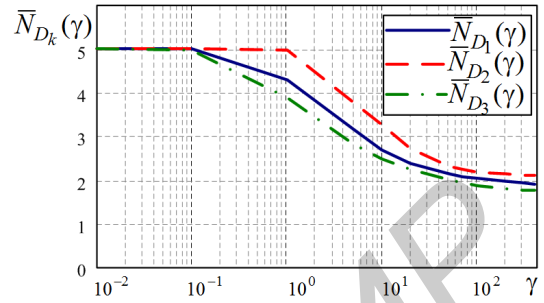


Рис. 3 – Средняя длительность последовательной процедуры распознавания при правильном принятии решения

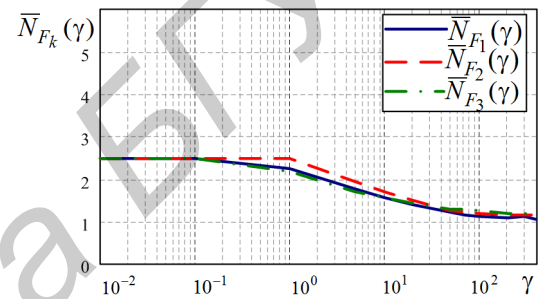


Рис. 4 – Средняя длительность последовательной процедуры распознавания при неправильном принятии решения

С увеличением отношения сигнал-шум время принятия решения существенно сокращается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение достоверности решений о классе радиолокационных объектов, принимаемых при наличии интенсивного и сложного радиолокационного фона в условиях ограниченного времени наблюдения, в ряде случаев может достигаться путем перехода к использованию последовательных процедур обработки. При этом обеспечение большей информативности процедур классификации наблюдаемых объектов неизбежно приводит к увеличению длительности процесса принятия решений. Использование предложенного алгоритма последовательной классификации радиолокационных объектов, одновременно обеспечивающего минимизацию риска принимаемых решений о классе объекта и о продолжении дальнейшего наблюдения, позволяет обеспечить рациональное соотношение между требуемым качеством распознавания и продолжительностью процедуры принятия решения.

1. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч.1. Основы радиолокации / А. Е. Охрименко. – М.: Воен. издат., 1983. 456 с.
2. Радиолокационное распознавание / Я. Д. Ширман [и др.]. – Харьков.: ХВУ, 1994. – 122 с.