

УДК 621.396.96

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ С АДАПТИВНЫМ РЕШАЮЩИМ ПРАВИЛОМ

Н.Х. НГУЕН, Н.К. ЧУГАЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 9 января 2003

Рассматривается методика анализа характеристик системы радиолокационного распознавания с адаптивным решающим правилом. В качестве анализируемых статистических характеристик рассматриваются вероятности правильного и ложного распознавания.

Ключевые слова: радиолокация, распознавание, адаптация

Введение

В многоканальной системе радиолокационного распознавания (РЛР) с обычным решающим правилом (ОРП) решения принимаются по максимуму выходного сигнала канала обработки (КО) [1]. При использовании адаптивного решающего правила (АРП) Z_k^{max} ($k = \overline{1, M}$) вызывает решение A_k^{**} , которое включает в себя k -й класс и некоторую соответствующую с ним *информативную группу* классов $\{I_k\}$ [2].

В зависимости от используемого алгоритма адаптации в различных условиях могут быть разные варианты объединения классов в информативные группы. Обозначим как $A^{**} = \prod_{l=1}^M T_l^*$ событие, заключающее в принятии некоторого варианта решения, где $T_l^* = A_l^*$, если в этот вариант входит решение в пользу l -го класса, или в противном случае $T_l^* = \overline{A_l^*}$. Так как A^{**} состоит из M членов $T_l^*, l = \overline{1, M}$, каждый из которых может принимать только одно из двух значений (A_l^* или $\overline{A_l^*}$), то A^{**} может иметь 2^M различных вариантов. Учитывая, что два варианта $A^{**} = \prod_{l=1}^M A_l^*$ и $A^{**} = \prod_{l=1}^M \overline{A_l^*}$ одинаковы с точки зрения различия классов, число возможных вариантов решений равно $(2^M - 1)$.

При анализе системы распознавания с АРП необходимо знать весь возможный ассортимент вариантов решений и исследовать их вероятностные характеристики в изменяющихся условиях наблюдения. При фиксированных условиях анализ характеристик является сравнительно простым. Однако варианты объединения классов и, следовательно, множество возможных вариантов решений в правиле меняются вместе с изменением обстановки распознавания в соответствии с используемым алгоритмом адаптации, определяемым выбранным критерием качества и способом объединения классов. При этом каждый вариант решения может быть принят при мак-

сумме выходного сигнала разных КО. Кроме того, число возможных вариантов решений, равное $(2^M - 1)$, быстро возрастает по мере увеличения количества распознаваемых классов, и вести отдельный анализ для каждого из вариантов крайне затруднительно. Для облегчения задачи анализа целесообразно объединять варианты решений в типовые группы решений с точки зрения ПИР и анализировать вероятностные характеристики этих типовых групп с учетом потерь подробности классификации.

Статистические характеристики системы распознавания с адаптивным решающим правилом

Для любой системы распознавания *достоверность* принимаемых решений является основным показателем качества. В системе РЛР с АРП достоверность решений A_k^{**} , $k = \overline{1, M}$, вызываемых событием Z_k^{max} , рассчитается [3] по формуле

$$H_k^{**} = P(A_k) F_{k/k} + \sum_{g \in \{I_k\}} P(A_g) F_{k/g} / \sum_{l=1}^M P(A_l) F_{k/l}, \quad (1)$$

где $P(A_l)$, $l = \overline{1, M}$, — вероятность появления объектов l -го класса в пространстве распознавания; $F_{k/l}$, $k, l = \overline{1, M}$, — вероятность появления Z_k^{max} при условии A_l .

С точки зрения ПИР можно выбрать разнообразные типовые группы решений. В дальнейшем предлагаем использовать следующие группы решений:

$$A_k^0 = A_k^* \prod_{\substack{l \neq k \\ l=1}}^M T_l^* \text{ — событие принятия любого решения в пользу } k \text{-класса;}$$

$$A_k^g = A_k^* \overline{A_g^*} \prod_{l \neq k, l \neq g, l=1}^M T_l^* \text{ — событие принятия любого решения о наличии объектов } k \text{-го}$$

класса и отсутствии объектов g -го класса ($g \neq k$).

При этом $F_{k/k}^{**} = P(A_k^0/A_k)$, $k = \overline{1, M}$, являются условными вероятностями принятия правильных решений в пользу k -го класса, а $F_{k/g}^{**} = P(A_k^g/A_g)$, $k \neq g, k, g = \overline{1, M}$, — условными вероятностями принятия ложных решений в пользу k -го класса при наличии объектов g -го класса. Для вычисления $F_{k/k}^{**}$ и $F_{k/g}^{**}$, $g \neq k$, необходимо найти совокупности классов $\{J_k^0\}$ и $\{J_k^g\}$, для которых событие Z_l^{max} вызывает A_k^0 , если $l \in \{J_k^0\}$, и A_k^g , если $l \in \{J_k^g\}$.

Из АРП видно, что решение A_l^{**} , вызываемое событием Z_l^{max} , включает в себе A_k^* , если $l = k$ или $k \in \{I_l\}$. Следовательно, зная $\{I_l\}$, $l = \overline{1, M}$, можно найти $\{J_k^0\}$ по алгоритму:

$$\text{для всех } l = \overline{1, M} \text{ если } k \in \{I_l\} \text{ или } l = k, \text{ то } l \in \{J_k^0\}. \quad (2)$$

По аналогии получим алгоритм определения совокупности классов $\{J_k^g\}$:

$$\text{для всех } l \neq g = \overline{1, M} \text{ если } k \in \{I_l\} \text{ или } l = k, \text{ и } g \notin \{I_l\}, \text{ то } l \in \{J_k^g\}. \quad (3)$$

В системе РЛР все события Z_k^{max} ; $k = \overline{1, M}$, несовместимые. Следовательно, значения вероятностей $F_{k/k}^{**}$ и $F_{k/g}^{**}$, $g \neq k$; $k, g = \overline{1, M}$, определяются по следующим формулам [2]:

$$F_{k/k}^{**} = \sum_{l \in \{J_k^0\}} P(Z_l^{max}/A_k) = \sum_{l \in \{J_k^0\}} F_{l/g}, \quad (4)$$

$$F_{k/g}^{**} = \sum_{l \in \{J_k^g\}} P(Z_l^{max}/A_k) = \sum_{l \in \{J_k^g\}} F_{l/k}. \quad (5)$$

Заметим, что решения A_l^{**} для $l \in \{J_k^0\}$ или $l \in \{J_k^g\}$ всегда включают в себя A_l^* и A_k^* и составляют все возможные варианты решения в A_k^0 или A_k^g соответственно. Таким образом, число J_k^0 классов, включаемых в множество $\{J_k^0\}$, есть количество неразличаемых классов при распознавании объектов k -го класса, а число J_k^g классов, включаемых в множество $\{J_k^g\}$, — количество неразличаемых классов при распознавании k -го класса с условием различения от g -го класса. Причем в зависимости от используемого алгоритма адаптации и от условий наблюдения, всегда $l \leq J_k^0 \leq M$ и $l \leq J_k^g \leq M - l$.

В итоге систему распознавания с АРП, можно анализировать используя следующие показатели:

показатели степени удовлетворения выбранному критерию качества, которые определяются для конкретного алгоритма АРП;

H_k^{**} , $k = \overline{1, M}$, — достоверности решений A_k^{**} , вызываемых Z_k^{max} ;

$I_k^M = I_k + l$, $k = \overline{1, M}$, — количество объединенных классов в решении A_k^{**} или $T_k^M = (M - I_k)$, $k = \overline{1, M}$, — количество различаемых классов в решении A_k^{**} ;

$F_{k/k}^{**} = P(A_k^0/A_k)$, $k = \overline{1, M}$, — условные вероятности принятия правильных решений в пользу k -го класса;

$J_k^M = (M - J_k^0 + 1)$, $k = \overline{1, M}$, — количество различаемых классов при распознавании объектов k -го класса;

$F_{k/g}^{**} = P(A_k^g/A_g)$, $k \neq g$, $k, g = \overline{1, M}$, — условные вероятности принятия ложных решений в пользу k -го класса при наличии объектов g -го класса;

$J_{k/g}^M = (M - J_k^g + 1)$, $g \neq k$; $g, k = \overline{1, M}$, — количество различаемых классов при распознавании объектов k -го класса с условием отличия от g -го класса;

$T_{cp}^M = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M T_k^M$ — усредненное число различаемых классов для АРП.

Будем называть H_k^{**} , $F_{k/k}^{**}$, $F_{k/g}^{**}$, $k \neq g$, $k, g = \overline{1, M}$, вероятностными показателями, а T_k^M , I_k^M , J_k^M , $T_{k/g}^M$, $g \neq k$, $g, k = \overline{1, M}$, T_{cp}^M — показателями потери подробности классификации. В хороших условиях наблюдения (при хороших значениях малоинформативных параметров (МИНП) наблюдаемого объекта и при хорошей помеховой обстановке), когда $I_k = 0$, $k = \overline{1, M}$ (нет объединения классов), АРП работает так же, как и обычное правило. При этом имеются $A_k^0 = A_k^g = A_k^{**} = A_k^*$; $J_k^0 = J_k^g = 1$ $k \neq g$, $k, g = \overline{1, M}$. Эффективность АРП проявляется только в тех условиях, когда критерий качества не выполняется.

Методика анализа системы распознавания с адаптивным решающим правилом

Необходимыми данными для вычисления введенных показателей качества являются: алгоритм обработки портрета, т.е. алгоритм формирования Z_k , $k = \overline{1, M}$; алгоритм адаптации решающего правила; апостериорные вероятности $P(A_k)$, $k = \overline{1, M}$, появления объектов различных классов в пространстве распознавания (в простейшем случае можно считать

классов в пространстве распознавания (в простейшем случае можно считать $P(A_k) = \frac{1}{M}, k = \overline{1, M}$).

Обозначим условия наблюдения матрицей Θ , в которую могут быть включены отношение сигнал/фон и разные МИНП распознаваемого объекта. Тогда методика анализа системы распознавания с АРП включает в себя следующие этапы.

Во-первых, рассчитываются вероятности $F_{k/g}, k, g = \overline{1, M}$, для различных значений параметров матрицы Θ , а также находится область $\{\Theta\}_0$, одну границей которой определяет условие $T_{cp}^M = M$, а другую — условие $T_{cp}^M = 1$. Далее расчеты проводятся только для этой области $\{\Theta\}_0$.

Во-вторых, исследуется вид объединения классов, т. е. $\{I_k\}, k = \overline{1, M}$. При проведении этого исследования можно определить границы параметров в матрице $\{\Theta\}_0$, при пересечении которых возникают новые объединения.

В-третьих, по известным группам $\{I_k\}, k = \overline{1, M}$, с использованием алгоритмов (2) и (3) определяются множества $\{J_k^0\}$ и $\{J_k^g\}, k \neq g, k = \overline{1, M}, g = \overline{1, M}$, и соответствующие им показатели потери подробности классификации $T_k^M, I_k^M, J_k^M, J_{k/g}^M, T_{cp}^M$ при $k \neq g, k = \overline{1, M}, g = \overline{1, M}$.

В-четвертых, с использованием выражения (1) и алгоритмов (2), (3), рассчитываются вероятностные показатели $H_k^{**}, F_{k/k}^{**}, F_{k/g}^{**}, k \neq g, k, g = \overline{1, M}$. Эти показатели анализируются совместно с показателями потери подробности классификации для различных вариантов Θ .

В-пятых, анализируется выполнение критерия качества для различных вариантов Θ .

В-шестых, проводится анализ эффективности системы с адаптивным решающим правилом в целом.

Заключение

Использование предлагаемых показателей качества работы системы распознавания с адаптивным решающим правилом существенно облегчает задачу анализа. Рассмотренная методика позволяет оценить вероятностные показатели принимаемых решений с учетом потерь подробности классификации. Показатели потерь подробности классификации позволяют анализировать систему более детально, а также проводить сопоставительный анализ эффективности различных алгоритмов адаптации решающего правила между собой.

TECHNIQUE OF ANALYZING OF THE CHARACTERISTICS OF THE RECOGNITION SYSTEM WITH AN ADAPTIVE DECISIVE RULE

H.N. NGUYEN, N.K. CHUGAY

Abstract

The technique of the analysis of the characteristics of radar recognition system with an adaptive decision rule is considered. As the analyzed statistical characteristics the probabilities of correct and false recognition are considered.

Литература

1. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и РЭБ. Ч. 1. Основы радиолокации. М., 1983.
2. Нгуен Х.Н., Гейстер С.Р. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 1, С. 42–46.
3. Боровков А.А. Теория вероятностей. М., 1986.