

УДК 621.396.96

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО РЕШАЮЩЕГО ПРАВИЛА СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ТРЕБУЕМОЕ КАЧЕСТВО РЕШЕНИЙ

Н.Х. НГУЕН, С.Р. ГЕЙСТЕР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220027, Беларусь*

Поступила в редакцию 9 января 2003

Рассматривается синтез адаптивного решающего правила радиолокационной системы распознавания. Синтезированное решающее правило позволяет обеспечить требуемое качество распознавания в соответствии с заданным критерием. Адаптация основана на анализе прогнозируемых оценок вероятностей распознавания в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: радиолокация, распознавание, адаптация

Введение

Для распознавания объектов по их портретам может быть использовано большое разнообразие систем [1–4]. Принцип работы этих систем основан на обработке поступающего на вход системы портрета ξ наблюдаемого объекта (НО) в M каналах обработки (КО), на выходах которых формируются квадратичные функционалы $Z_l, l = \overline{1, M}$. При этом решения принимаются по следующему традиционному правилу:

если Z_k^{max} , то A_k^* , (1)

где Z_k^{max} — событие, заключающее в том, что Z_k — наибольший выходной сигнал КО; A_k, A_k^* — условие и решение системы о наличии объектов k -го класса.

Вероятность появления события Z_k^{max} при условии A_g обозначим как $P(Z_k^{max} / A_g) = F_{k/g}, k, g = \overline{1, M}$. Тогда для решающего правила (1) справедливо:

$$P(A_k^* / A_g) = P(Z_k^{max} / A_g) = F_{k/g}, k, g = \overline{1, M},$$

где $P(A_k^* / A_g), k, g = \overline{1, M}$ — условная вероятность принятия решения A_k^* при A_g .

Для оценки качества системы радиолокационного распознавания (РЛР) используются разные показатели качества [2–4]. В системе РЛР с конкретным функциональным назначением эти показатели полностью определяются значениями условных вероятностей $F_{k/g}, k, g = \overline{1, M}$, и безусловных вероятностей появления объектов каждого g -го класса $P(A_g), g = \overline{1, M}$. На практике значения $F_{k/g}, k, g = \overline{1, M}$, меняются в зависимости от условий наблюдения. В плохих условиях наблюдения эти значения могут оказаться недопустимо низкими с точки зрения потребителей

информации распознавания (ПИР). Такая проблема возникает в случаях, когда ошибочные решения приводят к серьезным последствиям. Одним из путей решения этой проблемы является адаптация решающего правила системы РЛР к условиям наблюдения [1]. Обобщенный вид адаптивного решающего правила (АРП) имеет вид:

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } Z_k^{max}, \text{ то } A_k^{**}, \\ \{I_k\} \end{array} \right\} \quad (2)$$

где A_k^{**} — решение о том, что наблюдаемый объект принадлежит к k -му классу или к группе $\{I_k\}$ классов, I_k — некоторая информативная группа классов по отношению к k -му классу ($k \notin \{I_k\}$) и количество ее элементов.

В правиле (2) k -й класс и совокупность I_k классов объединяются в одном решении. При этом количество классов в решении A_k^{**} равно $I_k^M = (M - I_k)$, а если $I_k = 0$, то $I_k^M = M$ и $A_k^{**} = A_k^*$. Условием объединения классов в одном решении является выполнение того или иного требования ПИР к качеству решений. Задачей синтеза АРП является поиск способа объединения классов, т.е. определение множеств $\{I_k\}$, $k = \overline{1, M}$, при котором требования ПИР к качеству выполняются с минимальной потерей подробности классификации.

В основе синтеза АРП лежит требование к качеству, которое будем называть критерием качества. Рассмотрим алгоритмы адаптации с использованием двух критериев качества:

критерий 1 — достоверность решений не менее требуемого значения H_{tr} ;

критерий 2 — условная вероятность принятия правильных решений в пользу каждого g -го класса из M классов не менее требуемого значения D_{tr}^g , $g = \overline{1, M}$.

Если ошибочные решения системы вызывают серьезные последствия, то целесообразно использовать критерий 1 с соответствующим значением требуемой достоверности. Критерий 2 целесообразно использовать в случаях, когда необходимо установить более высокие значения условных вероятностей для наиболее важных классов.

Синтез адаптивного решающего правила по критерию 1

Вероятность A_g при Z_k^{max} рассчитывается по формуле [5]

$$H_{g \cdot k} = P(A_g / Z_k^{max}) = \frac{P(A_g) F_{k/g}}{\sum_{l=1}^M P(A_l) F_{k/l}}, \quad k; g = \overline{1, M}.$$

По правилу (1) появление Z_k^{max} определяет решение A_k^* . При этом $H_{k/k}$ есть достоверность решения A_k^* . Решения A_k^{**} , $k = \overline{1, M}$, принимаемые по АРП (2), включают в себя k -й и группу $\{I_k\}$ классов. Следовательно, достоверность таких решений равна:

$$H_k^{**} = H_{k/k} + \sum_{g \in \{I_k\}} H_{g/k} = \frac{P(A_k) F_{k/k} + \sum_{g \in \{I_k\}} P(A_g) F_{k/g}}{\sum_{l=1}^M P(A_l) F_{k/l}}. \quad (3)$$

По мере увеличения числа классов I_k , включенных в множество $\{I_k\}$, от нуля до $(M - 1)$, величина H_k^{**} увеличивается от H_k до единицы, а число различаемых классов в решении A_k^{**} уменьшается от исходного значения ($T_k^M = (M - I_k) = M$) до одного класса ($T_k^M = 0$). Подбирая совокупность $\{I_k\}$ таким образом, чтобы

$$H_k^{**} = H_{k/k} + \sum_{g \in \{I_k\}} H_{g/k} \geq H_{tr}, \quad (4)$$

можно обеспечить требуемое значение достоверности решений A_k^{**} , $k = \overline{1, M}$, при некотором снижении подробности классификации. Для выполнения критерия с минимальным снижением подробности классификации необходимо определять множество $\{I_k\}$ по следующему принципу — исключив k -й класс, среди $(M - 1)$ остальных классов необходимо выбирать g -й класс ($g \neq k = \overline{1, M}$), для которого $P(A_g)F_{k/g}$ наибольшее, и добавить этот класс к $\{I_k\}$ с повторением процедуры исключения, анализа и объединения до выполнения (4).

При таком принципе определения $\{I_k\}$ решения, принимаемые по АРП (2), удовлетворяют критерию 1 с минимальной потерей подробности классификации.

Синтез адаптивного решающего правила по критерию 2

Пусть в данный момент условия наблюдения таковы, что:

$$\begin{cases} F_{g/g} \geq D_{tr}^g, g \notin \{M_0\}, g = \overline{1, M}, \\ F_{g/g} < D_{tr}^g, g \in \{M_0\}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\{M_0\}$, M_0 — некоторое множество классов и количество его членов.

Так как $P(A_g^*/A_g) = F_{g/g}$, $g = \overline{1, M}$, то при условии (5) решения, принимаемые по правилу (1), не удовлетворяют критерию 2. Необходимо найти способ объединения классов, обеспечивающий повышение условных вероятностей правильного решения для каждого из M классов до требуемого значения.

В системе РЛР каждый g -й из M классов соответствует некоторому множеству значений портрета $\{\xi\}_g$. При попадании портрета объекта ξ в множество $\{\xi\}_g$ выходной сигнал g -го КО — максимальный. Так как для каждого значения ξ только один из M выходных сигналов КО ($P(A_g^{MT}/A_g) = P(\xi \in \{\xi\}_g / A_g) + \sum_{l \in \{J_g\}} P(\xi \in \{\xi\}_l / A_g) = F_{g/g} + \sum_{l \in \{J_g\}} F_{l/g}$) может быть максимальным, то все множества $\{\xi\}_g$, $g = \overline{1, M}$, не перекрываются и составляют полную область изменения для ξ . Причем для правила (1) $\{\xi\}_g$ есть область принятия решений в пользу g -го класса.

Известно, что условная вероятность принятия правильных решений об объекте любого g -го класса повышается при расширении области принятия решений в пользу этого класса. В данном случае при добавлении к области принятия решения в пользу g -го класса $\{\xi\}_g$ совокупности J_g ($0 \leq J_g \leq M - 1$) областей принятия решений для некоторого множества классов $\{J_g\}$ ($g \notin \{J_g\}$) условная вероятность правильного распознавания g -го класса повышается до следующего значения:

$$P(A_g^{MT}/A_g) = P(\xi \in \{\xi\}_g / A_g) + \sum_{l \in \{J_g\}} P(\xi \in \{\xi\}_l / A_g) = F_{g/g} + \sum_{l \in \{J_g\}} F_{l/g}, \quad (6)$$

где A_g^{MT} — событие принятия любого решения в пользу g -го класса при новом решающем правиле — событии попадания портрета объекта ξ в расширенную область принятия решения в пользу

g -го класса, включающую совокупность областей $\{\xi\}_l, l = g, l \in \{J_g\}$; J_g — количество элементов в множестве $\{J_g\}$.

С таким видом расширения в каждом решении, вызываемом Z_k^{max} , объединяются k -й и все g -е классы ($g \neq k = \overline{1, M}$), для которых $k \in \{J_g\}$. При этом, зная $\{J_g\}, g \neq k = \overline{1, M}$, всегда можно определить множество $\{I_k\}$ по следующему правилу:

для $g \neq k = \overline{1, M}$ если $k \in \{J_g\}$, то $g \in \{I_k\}$.

Кроме того, если $l \in \{J_g\}$, то g -й и l -й классы всегда объединяются в одном решении, вызываемом событием Z_l^{max} . Следовательно, $\{J_g\}$ есть множество классов, не различаемых от g -го класса при его распознавании. Из (5) видно, что по мере повышения числа J_g классов, включенных в $\{J\}_g$, от нуля до $(M-1)$ условная вероятность $P(A_g^{MT} / A_g)$ увеличивается от $F_{g, g}$ до единицы. Однако подробность классификации уменьшается. Если для каждого g -го из M распознаваемых классов выбирать множество $\{J_g\}$ таким образом, чтобы

$$P(A_g^{MT} / A_g) \geq D_{tr}^g, g = \overline{1, M}, \quad (7)$$

то решения, принимаемые по АРП (2), удовлетворяют критерию качества с некоторой потерей подробности классификации. Для выполнения критерия качества с минимальным снижением подробности классификации необходимо выбрать множество $\{J_g\}, g = \overline{1, M}$, так, чтобы неравенство (7) было выполнено при минимальном числе J_g .

Заключение

Рассмотренные алгоритмы адаптации решающего правила строго обеспечивают соответствующие критерии качества. Для реализации любого из этих алгоритмов необходимо знать значения условных вероятностей $F_{k, g}, k, g = \overline{1, M}$ в конкретных условиях. Погрешности вычисления этих вероятностей снижают эффективность алгоритмов адаптации.

SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE DECISIVE RULE OF RADAR RECOGNITION SYSTEM, WHICH PROVIDES REQUIRED QUALITY OF THE DECISIONS

H.N. NGUYEN, S.R. GEYSTER

Abstract

The synthesis of an adaptive decisive rule of the radar recognition system is considered. The synthesized decisive rule provides the required quality of recognition according to the given criterion. The adaptation is based on the analysis of predicted estimation of real time recognition probabilities.

Литература

1. Гейстер С.Р., Нгуен Х.Н. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2002. вып. 6. С.75–79.
2. Селекция и распознавание на основе локационной информации / Под ред. А.Л. Горелика. М., 1990.
3. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и РЭБ. Ч. 1. Основы радиолокации. М., 1983.
4. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. М., 1986.
5. Боровков А.А. Теория вероятностей. М., 1986.