

ИММУНОКОМПЬЮТИНГ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБРАЗОВ

Д. В. Хрестинин^{1*}, А. А. Поздняков¹

¹ ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

* Адрес для переписки: diiimaarik@mail.ru

Аннотация

При разработке радиолокационных систем распознавания одной из задач является определение оптимального решающего правила. В статье рассматривается возможность применения метода иммунокомпьютинга для распознавания радиолокационных образов и его сравнение с решающим правилом на основе критерия Байеса. **Предмет исследования.** Решающее правило – метод иммунокомпьютинга. **Метод.** Авторами проведена оценка эффективности системы радиолокационного распознавания по критерию «количество правильно распознанных объектов» методом Монте-Карло, с помощью математического моделирования. **Основные результаты.** Подтверждена возможность применения метода иммунокомпьютинга для распознавания радиолокационных образов. **Практическая значимость.** Результаты работы показывают, что в условиях априорной неопределенности метод иммунокомпьютинга позволяет проводить распознавание радиолокационных объектов с высоким качеством.

Ключевые слова

Радиолокационное распознавание, иммунокомпьютинг.

Информация о статье

УДК 621.396.969

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 20.06.18, принята к печати 03.09.18.

Ссылка для цитирования: Хрестинин Д. В., Поздняков А. А. Иммунокомпьютинг в задаче распознавания радиолокационных образов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 3. С. 19–27.

IMMUNOCOMPUTING IN RADAR PATTERN RECOGNITION TASK

D. Khrestinin^{1*}, A. Paramonov¹

¹ Mozhayskiy Military Space Academy, St. Petersburg, 197198, Russian Federation

* Corresponding author: diiimaarik@mail.ru

Abstract—One of the tasks when developing radar recognition systems is to determine the optimal decision rule. The article considers the possibility of applying immunocomputing method to radar pattern recognition and its comparison with the decision rule based on the Bayesian criterion. **Research subject.** Decision rule – immunocomputing method. **Method.** The authors evaluated the effectiveness of radar recognition system by criterion “the number of correctly recognized objects” using Monte Carlo method by means of mathematical modelling. **Core results.** The possibility of applying immunocomputing method to radar pattern recognition is confirmed. **Practical relevance.** Research results show that under prior uncertainty immunocomputing method enables radar object recognition with high quality.

Keywords—Radar recognition, immunocomputing.

Article info

Article in Russian.

Received 20.06.18, accepted 03.09.18.

For citation: Khrestinin D., Pozdnyakov A.: Immunocomputing in Radar Pattern Recognition Task // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 3. pp. 19–27 (in Russian).

Введение

Радиолокационное распознавание – это получение радиолокационных характеристик различных объектов, выбор информативных и устойчивых признаков и принятие решения о принадлежности этих объектов к тому или иному классу [1].

Под образом понимается объект (в том числе радиолокационный), подлежащий классификации [2]. Измерения, используемые для классификации образов, называются признаками. Совокупность признаков, относящихся к одному образу, называется вектором признаков. Векторы признаков принимают значения в пространстве признаков. Каждому образу ставится в соответствие единственное значение вектора признаков. В РЛС дальнего обнаружения вектор признаков формируется в результате обработки радиолокационной информации об объекте.

Классификатором, или решающим правилом, называется правило отнесения образа к одному из классов на основании его вектора признаков [3]. Одной из задач, стоящей перед разработчиками систем распознавание, является определение оптимальных решающих правил еще на этапе проектирования. Для распознавания используется радиолокационная информация, которая носит случайный характер из-за особенностей получения, поэтому в настоящее время

решение задачи распознавания базируется на основных классических результатах теории статистических решений [4].

В настоящее время наиболее часто используются следующие классификаторы:

- критерий Байеса;
- минимаксный критерий;
- критерий Неймана-Пирсона;
- процедура последовательных решений;
- линейный дискриминант Фишера и др.

В работах [5] и [6] разработаны математические модели и вычислительные процедуры для решения задач распознавания образов на основе иммунокомпьютинга.

Цель работы – оценка возможности применения иммунокомпьютинга для распознавания радиолокационных образов и сравнение результатов распознавания методом иммунокомпьютинга и его сравнение с решающим правилом на основе критерия Байеса.

Концепция иммунокомпьютинга

Имунокомпьютинг (ИК) представляет собой новое направление информатики, базирующееся на принципах обработки информации молекулами белков иммунной системы. Основная роль иммунной системы заключается в распознавании всех клеток (или молекул) организма и классификации их на «своих» или «чужих». Чужеродные клетки подвергаются дальнейшей классификации с целью стимуляции защитного механизма соответствующего типа [7]. Для решения задач распознавания и классификации иммунная система использует механизмы обучения, памяти и ассоциативного поиска.

Новая вычислительная процедура, называемая иммунокомпьютингом, основанная на принципах иммунной системы, обладает способностью обучаться новой информации, запоминать ранее полученную информацию и осуществлять распознавание образов и анализ данных на основе принципов биомолекулярного узнавания [8, 9]. Такие системы предлагают возможность обработки больших массивов информации для решения сложных задач. Строгий математический базис иммунокомпьютинга основан на биологическом прототипе иммунной сети и понятиях формального протеина и формальной иммунной сети (ФИС) [5, 6, 7]. Эти математические модели были названы формальной иммунной системой, или иммунокомпьютингом, и основаны на свойствах сингулярного разложения матриц.

С ИК связаны три основные инновации:

- 1) Новый математический базис.
- 2) Новый тип вычислений.
- 3) Новый тип аппаратной реализации.

Принципиальная разница между ИК и другими типами вычислений происходит от функций их базовых элементов, в соответствии с их биологическими прототипами и математическими моделями. Основной принцип ИК – это свободное связывание базовых элементов ИК (формальных протеинов) в рамках формальной иммунной сети. Взаимодействие между формальными протеинами характеризуется энергией связи.

Доказано [7, 8, 9], что произвольную матрицу можно трактовать как способ задания энергии связи для формальных протеинов. Задача определения пары формальных протеинов с наилучшим узнаванием друг друга сводится к определению максимального сингулярного числа и соответствующих ему сингулярных векторов соответствующей матрицы.

Таким образом, задача молекулярного узнавания сведена к реализации операций линейной алгебры, представленных ниже [9].

Распознавание образов

Определим образ как n -мерный вектор-столбец $X = [x_1, \dots, x_n]^T$, где x_1, \dots, x_n – вещественные числа и T – символ матричного транспонирования.

Определим распознавание образов как отображение $f(X) \rightarrow \{1, \dots, c\}$ любого образа X в одно из целых чисел $1, \dots, c$, которые представляют классы.

Задача распознавания образов может быть сформулирована следующим способом.

Дано:

- число классов c ;
- набор из m обучающих образов X_1, \dots, X_m ;
- класс любого обучающего образа $f(X_1) = c_1, \dots, f(X_m) = c_m$;
- произвольный n -мерный вектор Z .

Найти: класс вектора Z : $f(Z) = ?$

Обучение

1. Сформировать обучающую матрицу $A = [X_1, \dots, X_m]^T$ размерности $m \times n$.
2. Вычислить максимальное сингулярное число s , а также левый и правый сингулярные векторы L и R обучающей матрицы по следующей итеративной (эволюционной) схеме:

$$L_{(0)} = [1 \dots 1]^T,$$

$$R^T = L_{(k-1)}^T A,$$

$$R_{(k)} = R / |R|,$$

где $|R| = \sqrt{r_1^2 + \dots + r_n^2}$,

$$L = AR_{(k)},$$

$$L_{(k)} = L / |L|,$$

где $|L| = \sqrt{l_1^2 + \dots + l_m^2}$,

$$s_{(k)} = L_{(k)}^T AR_{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots$$

Вычисление производить до выполнения условия $|s_{(k)} - s_{(k-1)}| < \varepsilon$.

3. Хранить сингулярное число s .

4. Хранить правый сингулярный вектор R (как «антитело-пробу»).

5. Для всякого $i = 1, \dots, m$ хранить компонент l_i левого сингулярного вектора L (как клетку ФИС) и класс c_i , соответствующий обучающему образу X_i .

Распознавание:

1. Для всякого n -мерного образа Z вычислить его энергию связи с R

$$w(z) = Z^T R / s$$

(напомним, что s – это хранимое сингулярное число, а R – это хранимый правый сингулярный вектор обучающей матрицы A).

2. Выбрать l_i , которая имеет минимальное расстояние d (соответственно, максимальное сходство с $и$):

$$d = \min_i |w - l_i|, \quad i = 1, \dots, m.$$

3. Считать класс c_i искомым классом образа Z .

Основные вычислительные процедуры – обучение с экспертом, самообучение (обучение без эксперта), автоматической классификации – основаны на свойствах сингулярного разложения произвольных матриц и математическом аппарате иммунокомпьютинга.

Апробация метода иммунокомпьютинга для распознавания радиолокационных образов проводилась на математической модели, реализованной в среде Matlab. Для получения радиолокационного образа в виде вектора признаков использовалась программа «Комплекс РЛР» (см. рис. 1.) [10].

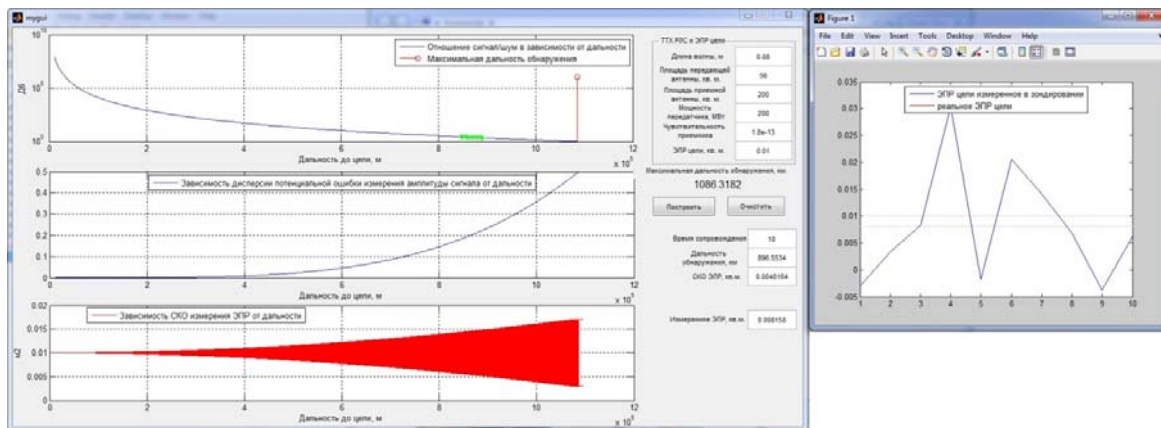
Программная реализация, состоит из подпрограмм, в соответствии с логикой работы системы распознавания. Одна подпрограмма охватывает процессы, происходящие в радиолокационном канале измерения. Она позволяет оценить влияние характеристик радиолокационного канала на точность измерения параметров объектов. Другая подпрограмма моделирует процесс радиолокационного распознавания и позволяет оценить ее эффективность в зависимости от выбранных характеристик радиолокационного канала измерения при заданном алфавите классов и предлагаемом рабочем словаре признаков.

На рис. 1 используются следующие сокращения: МОЖ – математическое ожидание, СКО – среднеквадратическое отклонение, ЭПР – эффективная площадь рассеяния.

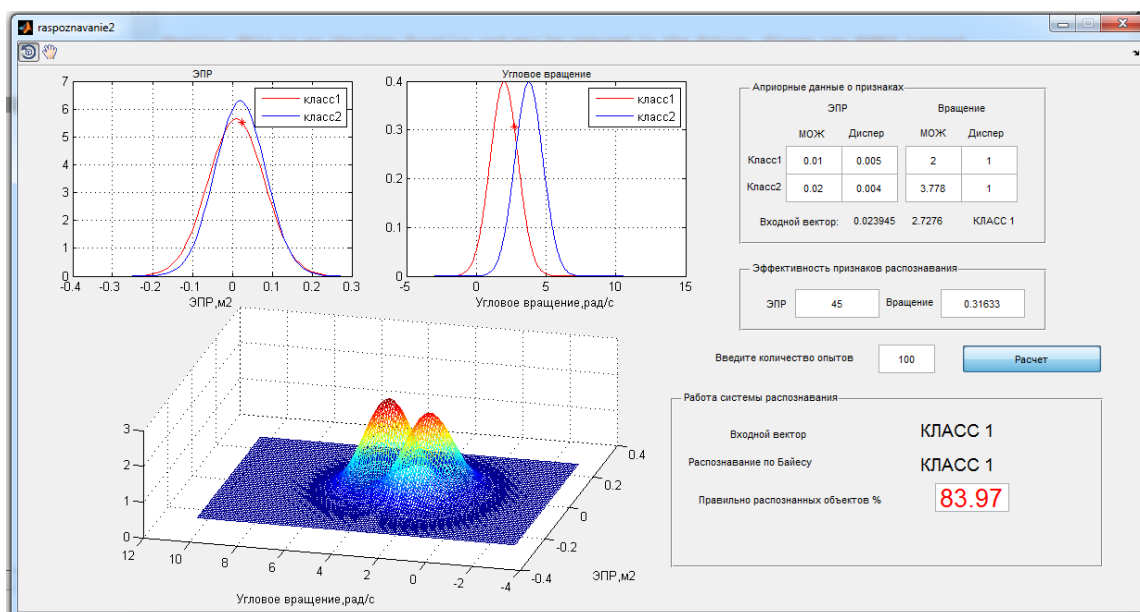
Распознавание проводилось по Критерию Байеса и методом иммунокомпьютинга.

В связи с тем, что получение радиолокационных оценок параметров вектора признаков объектов является процессом подверженным различным случайным факторам, то исследование проводилось методом Монте-Карло.

Результаты моделирования представлены на рис. 2, из которых рассчитаны эффективности работы каждого метода распознавания (табл. 1).



а)



б)

Рис. 1. а) Скриншот модуля программы моделирования вектора радиолокационных признаков; б) Интерфейс программы принятия решения по критерию Байеса

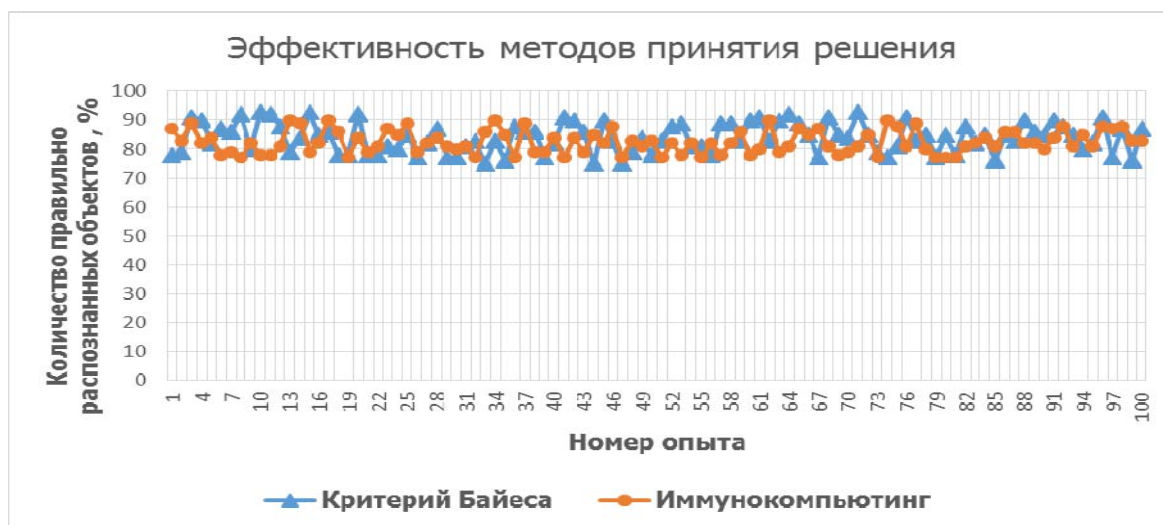


Рис. 2. Эффективности принятия решений по критерию Байеса и методом иммунокомпьютинга

Таблица 1.

Эффективность методов распознавания

Метод принятия решений	Количество правильно распознанных объектов в %
Критерий Байеса	83,97
Иммунокомпьютинг	83,63

Наиболее значимые преимущества и недостатки каждого из методов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Эффективность методов распознавания

Метод принятия решений	Преимущества	Недостатки
Критерий Байеса	Дает наименьшую ошибку распознавания.	Необходимо знать функции распределения вероятностей признаков, априорные вероятности и матрицу потерь.
Иммунокомпьютинг	Нет необходимости выбирать наиболее значимые признаки, а используются все имеющиеся данные. Нет необходимости в знании функций распределения признаков, априорных вероятностей и матрицы потерь.	Так как для распознавания используется наибольшее собственное число и вектор, то требуется, чтобы наибольшее сингулярное значение было значительно больше остальных. В противном случае первая тройка SVD разложения может недостаточно однозначно определять объект.

Выводы

Процедуры иммунокомпьютинга основаны на свойствах базовых элементов иммунной системы – формальных протеинов и сводятся к процессу вычисления энергии связи между ними.

Иммунокомпьютинг может использоваться для распознавания образов. В системах радиолокационного распознавания, вычисляя энергию связи между образами при помощи иммунокомпьютинга, можно принимать решения об отнесении объекта к тому или иному классу.

Особенности иммунокомпьютинга и постановка задачи распознавания радиолокационных образов позволяют судить о возможности его использования в системах радиолокационного распознавания.

Сравнительный анализ методов распознавания по критерию Байеса и с использованием иммунокомпьютинга показал их близкую эффективность в 83,97 % и 83,63 % соответственно.

Метод Байеса имеет недостатки: необходимость знания функций распределения вероятностей признаков, априорных вероятностей и матрицу потерь. Однако, в случаях, когда объем статистических данных позволяет применить метод Байеса, его целесообразно использовать как один из наиболее надежных и эффективных методов.

Преимущества иммунокомпьютинга следующие:

- нет необходимости выбирать наиболее значимые признаки, а используются все имеющиеся данные;
- нет необходимости в знании функций распределения признаков, априорных вероятностей и матрицы потерь.

Таким образом, в условиях априорной неопределенности метод иммунокомпьютинга позволяет проводить распознавание радиолокационных объектов с высоким качеством.

Литература

1. Небабин В. Г., Сергеев В. В. Методы и техника радиолокационного распознавания. М.: Радио и связь, 1984. 152 с.
2. Местецкий Л. М. Математические методы распознавания образов. М.: МГУ, 2002.
3. Горелик А. Л., Барабаш Ю. Л., Кривошеев О. В., Эпштейн С. С. Селекция и распознавание на основе локационной информации. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
4. Бакут П. А., Большаков И. А., Тартаковский Г. П. Вопросы статистической теории радиолокации. М.: Советское радио, 1963. Т. 1. 417 с.
5. Tarakanov, A. O., Skormin, V. A., Sokolova, S. P. Immunocomputing: Principles and Applications // *Studies in Computational Intelligence*. 2010. Vol. 263. pp. 515–529.
6. Gorodetsky, V. I., Skormin, V. A., Popyas, L. J. Information Security with Formal Immune Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2001. Vol. 2052. pp.115–226.
7. Tarakanov, A., Dasgupta, D. A Formal Model of an Artificial Immune System // *BioSystems*. 2000. Vol. 55. Iss. 1–3. pp. 151–158.
8. Дасгупта Д. Искусственные иммунные системы и их применение. М.: Физматлит, 2006. 344 с.
9. Соколова С. П., Соколова Л. А. Интеллектуальные информационные системы на основе иммунокомпьютинга. СПб.: ГУАП, 2009. 160 с.
10. Хрестинин Д. В., Богомаз Д. В., Покора А. Ф., Трофимов М. О. Модель системы радиолокационного распознавания. Свид. 2015663387 РФ №2015619508, опублик. 16.12.2015.

References

1. Nebabin, V., Sergeev, V. Methods and Techniques of Radar Recognition. M.: Radio i svyaz', 1984. 152 p.
2. Mestetskiy, L. Mathematical Methods for Pattern Recognition. M.: MGU, 2002.
3. Gorelik, A., Barabash, Yu., Krivosheev, O., Epstein, E. Selection and Recognition based on Location Information. M.: Radio i svyaz', 1990. 240 p.
4. Bakut, P., Bolshakov, I., Tartakovskiy, G. Questions of the Statistical Theory of Radar. M.: Sovetskoe radio, 1963. Vol. 1. 417 p.
5. Tarakanov, A. O., Skormin, V. A., Sokolova, S. P. Immunocomputing: Principles and Applications // *Studies in Computational Intelligence*. 2010. Vol. 263. pp. 515–529.
6. Gorodetsky, V. I., Skormin, V. A., Popyas, L. J. Information Security with Formal Immune Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2001. Vol. 2052. pp.115–226.
7. Tarakanov, A., Dasgupta, D. A Formal Model of an Artificial Immune System // *BioSystems*. 2000. Vol. 55. Iss. 1–3. pp. 151–158.
8. Dasgupta, D. Artificial Immune Systems and Their Applications. Berlin: Springer, 1999. 306 p.
9. Sokolova, S., Sokolova, L. Intelligent Information Systems based on Immunocomputing. SPb.: GUAP, 2009. 160 p.
10. Khrestinin, D., Bogomaz, D., Pokora, A., Trofimov, M. Model of a Radar Recognition System. Certif. 2015663387 RF №2015619508, 16.12.2015.

- Хрестинин Дмитрий Владимирович*** – преподаватель, ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, diiimaarik@mail.ru
- Позднякв Андрей Александрович*** – преподаватель, ВКА имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация
- Khrestinin Dmitriy*** – Lecturer, Mozhayskiy Military Space Academy, St. Petersburg, 197198, Russian Federation, diiimaarik@mail.ru
- Pozdnyakov Andrey*** – Lecturer, Mozhayskiy Military Space Academy, St. Petersburg, 197198, Russian Federation