

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД, КАК ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ

**Гетманчук Алексей Владимирович,**  
г. Таганрог, Россия, Getmanchuk@mail.ru

**Аннотация.** Предложен комбинированный подход к решению задачи классификации радиотехнических объектов. Целью подхода является оптимизация лежащего в основе алгоритма классификации по методу Г.В. Шелейховского и расширения его функциональности.

Классификация радиотехнических сигналов относится к рангу задач распознавания образов и является одной из важнейших задач, возлагаемых на АСУ радиотехнического комплекса. Здесь необходимо определить вероятность принадлежности источника сигнала к конкретному типу радиоэлектронных средств, занесенному в каталог, или к классу «неопознанных объектов».

Алгоритм классификации по методу Г.В. Шелейховского применяют для более точного определения степени достоверности классификации. Анализ алгоритма показывает, что существуют пути оптимизации, позволяющие повысить производительность данного метода, а также избавиться его от ряда недостатков. Решение поставленной задачи достигается путем применения основных идей из метода дробящихся эталонов. Условно алгоритм можно разделить на три основные части: подготовительный этап, работа процедуры Г.В. Шелейховского, заключительный этап.

Обработка входных данных на подготовительном этапе может быть оптимизирована путем применения основных идей из алгоритма классификации по методу дробящихся эталонов. Данный метод использует гиперсферы в N-мерном параметрическом пространстве и оценивает местонахождение объекта классификации относительно данных гиперсфер.

При работе процедуры Г.В. Шелейховского, в случае несходимости метода, известные процедуры разрешения ситуации дают в результате равное распределение вероятностей для спорного объекта. При возникновении такой ситуации, взаимное расположение объектов и гиперсфер в параметрическом пространстве, построенном на подготовительном этапе, может быть более информативным.

Каталог радиоэлектронных средств не может содержать полный перечень всех существующих типов радиоэлектронных средств. Поэтому сбор и обработка информации о новых классах, с целью дальнейшей корректировки каталога радиоэлектронных средств, является актуальной и очень важной задачей. Классификация радиотехнических сигналов проходит в условиях сильно насыщенной ложными сигналами радиотехнической обстановки. Таким образом, из всего множества новых (неклассифицированных) объектов следует выделить объекты, имеющие постоянные параметры сигнала. Данную задачу можно решить на заключительном этапе работы алгоритма, используя принципы построения эталонов новых объектов в параметрическом пространстве.

**Ключевые слова:** классификация радиотехнических сигналов, радиоэлектронное средство; источник излучения; интегральный образ сигнала; случайные погрешности измерений; радиотехнический сигнал, классификационная матрица; параметрическое пространство.

**Сведения об авторе:** Гетманчук А.В., начальник сектора, АО «ТНИИС»

---

При современном уровне развития техники, использование ЭВМ в АСУ не ограничивается лишь организацией сбора, накопления и первичной переработки информации. Широкое использование современных ЭВМ в управляющей части АСУ позволяет искать, подготавливать и рекомендовать не только допустимые, но и наилучшие, оптимальные пути управления.

Классификация радиотехнических сигналов относится к рангу задач распознавания образов и является одной из важнейших задач, возлагаемых на АСУ радиотехнического комплекса. Здесь необходимо определить вероятность принадлежности источника сигнала к конкретному типу радиоэлектронных средств (РЭС) занесенному в каталог, или к классу «неопознанных объектов». В [1] показано, что для более точного определения степени достоверности классификации, например в режиме долговремен-

ного наблюдения за источниками излучения, следует применять метод классификации Г.В. Шелейховского [2].

Основой для классификации типа обнаруженного радиоэлектронного средства по значениям параметров его излучения является соответствующий каталог, записанный в памяти АСУ радиотехнического комплекса. Метод Г.В. Шелейховского оперирует данными из классификационной матрицы  $K$ .

$$K = \|K_{ij}\|, i = 1..M, j = 1..N;$$

В данной матрице число столбцов  $M$  равно числу типов РЭС в объединении множеств типов, к которым могут относиться все образы, находящиеся в обработке. Число строк матрицы равно числу подмножеств однотипных образов  $N$ . Доказано [2], что последовательное выполнение процедуры Г.В. Шелейховского, применяемое к матрице:  $K = \|K_{ij}\|, i = 1..M, j = 1..N$  устремляет каждый элемент матрицы  $K_{ij}$  к некоторому значению  $p_{ij}$ , причем:

$$\sum_i p_{ij} \rightarrow 1; \quad \sum_j p_{ij} \rightarrow 1; \quad \sum_i \sum_j p_{ij} \log_2(p_{ij}) \rightarrow \max.$$

Матрица  $K_{ij}$  преобразуется в матрицу вероятности отнесения обнаруженных образов к различным классам РЭС.

$$P = \|p_{ij}\|, i = 1..N, j = 1..M;$$

где:  $p_{ij}$  – вероятность принадлежности  $i$ -ой группы объектов к  $j$ -му классу;

$N$  – число подмножеств однотипных образов;

$M$  – число типов РЭС.

В данной матрице для каждого  $i$ -го образа, либо набора образов определена вероятность его принадлежности к  $j$ -му классу РЭС.

Анализ алгоритма Г.В. Шелейховского показывает, что существуют пути оптимизации, позволяющие повысить производительность данного метода, а также избавить его от ряда недостатков. Алгоритм можно разделить на три основные части:

– подготовительный этап – обработка входных данных, формирование и подготовка классификационной матрицы;

– работа процедуры Г.В. Шелейховского;

– заключительный этап – анализ результатов.

Подробное рассмотрение данных этапов приводит к выводу о возможности модернизации подготовительного и заключительного этапов с целью оптимизации расходов на выполнение, а также расширение функциональности алгоритма.

**Подготовительный этап.** На данном этапе можно поставить вопрос о целесообразности применения процедуры Г.В. Шелейховского для поступившего на обработку набора данных. Очевидно, что применение процедуры Г.В. Шелейховского имеет смысл только в том случае, если возникает ситуация, когда хотя бы один анализируемый объект из поступивших на обработку входных данных, может быть отнесен более чем к одному классу. Возникновение такой ситуации зависит от следующих факторов:

– состав каталога радиоэлектронных средств. Каталог содержит информацию о классах радиоэлектронных средств. Данные представлены в виде описаний параметров, характеризующих определенный класс. С целью учета погрешности измерения аппаратуры радиотехнического обнаружения, параметры в каталоге приведены в виде доверительных интервалов. Если данные интервалы пересекаются, это говорит о возможности отнесения анализируемого объекта более чем к одному классу;

– набор входных данных, поступивших на обработку. Даже если каталог радиоэлектронных средств содержит пересечения параметрических интервалов, обязательно в эти пересечения попадут параметры объектов, поступивших на обработку. Другими словами все объекты могут быть однозначно классифицированы, несмотря на наличие пересечений параметрических интервалов в каталоге РЭС.

Из вышесказанного следует, что подготовительный этап можно разбить на два подэтапа, а именно:

– предварительный анализ каталога радиоэлектронных средств с целью выявления параметрических пересечений;

– анализ набора входных данных на предмет попадания параметров анализируемых объектов в параметрические пересечения каталога радиоэлектронных средств.

Данные шаги хорошо прослеживаются в алгоритме классификации по методу построения эталонов, и его развитию – методе дробящихся эталонов [4].

Указанный метод использует гиперсферы в  $N$ -мерном параметрическом пространстве и оценивает местонахождение объекта классификации относительно данных гиперсфер. На рисунке 1 представлен пример использования гиперсфер при классификации методом дробящихся эталонов. Алгоритм является хорошо изученным, его достоинства и недостатки известны [4].

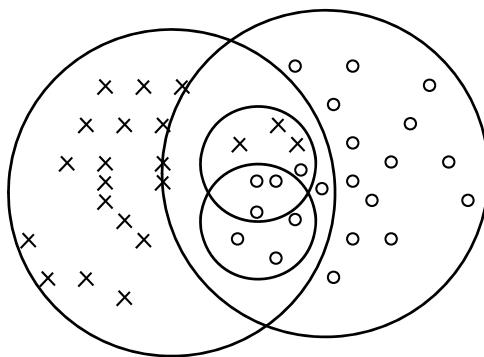


Рис. 1. Метод дробящихся эталонов

Применим в подготовительном этапе алгоритма классификации по методу Г.В. Шелейховского подход, представленный в методе дробящихся эталонов.

Предварительный анализ каталога радиоэлектронных средств. По аналогии с алгоритмом дробящихся эталонов, где по обучающей выборке строятся гиперсферы, построим гиперсферы в  $N$ -мерном признаковом пространстве для каталога радиоэлектронных средств. Здесь  $N$  – число параметров (признаков), характеризующих каждый класс в каталоге. Учитывая специфику представления данных в каталоге радиоэлектронных средств, где параметры представлены в виде доверительных интервалов некоторых значений, есть смысл воспользоваться упрощенной разновидностью алгоритма, в которой вместо гиперсфер используются гиперпараллелепипеды [4]. Здесь стороны параллелепипедов параллельны параметрическим координатным осям, что существенно облегчает задание их исходных размеров и положения, а также проверку условия попадания точек внутрь параллелепипедов или в область их пересечения. Применение такого подхода к построению и использованию гиперсфер (гиперпараллелепипедов) позволяет экономить до 30% машинного времени при обработке данных. Таким образом, в соответствии с методом дробящихся эталонов, в результате будет получен набор гиперсфер первого уровня в  $N$ -мерном признаковом пространстве для каталога радиоэлектронных средств. Наличие пересечений данных гиперсфер говорит о том, что может возникнуть проблема отнесения анализируемого объекта к более, чем одному классу. В противном случае, если нет ни одного пересечения, можно с уверенностью сказать, что все поступающие на обработку объекты будут однозначно классифицированы, или отнесены к классу «новый объект» в случае непопадания ни в одну гиперсферу. Следовательно, еще до поступления объектов на обработку, можно установить, будет ли целесообразным применение процедуры Г.В. Шелейховского, или алгоритм упростится до алгоритма построения эталонов.

Если первый шаг подготовительного этапа выявил наличие параметрических пересечений в каталоге радиоэлектронных средств, возникает необходимость анализа набора входных данных на предмет

попадания параметров анализируемых объектов в параметрические пересечения каталога радиоэлектронных средств. В случае попадания хотя бы одного объекта в более чем одну гиперсферу, принимается решение о применении процедуры Г.В. Шелейховского, в противном случае применение данной процедуры является необоснованным. Здесь также можно отметить, что классификационная матрица строится не методом последовательного перебора возможности отнесения анализируемого объекта к каждому классу из каталога РЭС, а по результатам данного шага алгоритма.

Работа процедуры Г.В. Шелейховского. В [5] рассматривается вопрос сходимости алгоритма классификации радиотехнических образов по методу Г.В. Шелейховского. В статье представлен эффективный подход к решению проблемы сходимости алгоритма на некоторых наборах входных данных. Однако, эта проблема может быть решена предлагаемым в данной работе комбинированным методом классификации радиотехнических объектов. Как видно из [5], работа процедуры Г.В. Шелейховского в случае разрешения ситуации несходимости метода дает в результате равновероятное отнесение одного объекта к двум или более классам. В этом случае есть смысл вернуться к результатам подготовительного этапа алгоритма, где использовался подход из метода дробящихся эталонов. В данном случае стоит учесть евклидовы расстояния между анализируемым объектом и эталонами тех гиперсфер, в которые он попал. Предпочтение следует отдать тому классу, расстояние до эталона которого минимально. Таким образом, результаты работы процедуры Г.В. Шелейховского будут оставаться справедливыми для всех объектов, участвующих в эксперименте, но результаты по «спорным» объектам будут уточнены с помощью другого алгоритма.

Заключительный этап – анализ результатов. Комбинированный метод позволяет расширить этап анализа результатов работы алгоритма в плане обработки данных о новых классах, не занесенных в каталог радиоэлектронных средств. Как уже говорилось ранее, каталог радиоэлектронных средств не может содержать полный перечень всех существующих типов радиоэлектронных средств. Поэтому сбор и обработка информации о новых классах, с целью дальнейшей корректировки каталога радиоэлектронных средств, является актуальной и очень важной задачей. Следует помнить, что классификация радиотехнических сигналов проходит в условиях сильно насыщенной ложными сигналами радиотехнической обстановки. Таким образом, из всего множества новых (неклассифицированных) объектов следует выделить объекты, имеющие постоянные параметры сигнала, то есть меняющие свои значения от измерения к измерению в пределах погрешности аппаратуры радиотехнического обнаружения (доверительный интервал). При этом все остальные сигналы, характерной особенностью которых является резкое изменение некоторых параметров, или кратковременное появление, следует относить к ложным – помеховым сигналам. Данную задачу можно решить, используя принципы построения эталонов.

При первом измерении, в уже имеющемся параметрическом пространстве, созданном на подготовительном этапе, для каждого неклассифицированного объекта строится гиперсфера. Здесь центром гиперсферы является сам объект, а радиусом – удвоенный доверительный интервал из каталога радиоэлектронных средств. При следующем измерении существование гиперсферы должно подтвердиться попаданием в нее объекта из состава входных данных. Если в течении определенного интервала времени (время подтверждения) существование гиперсферы не подтвердилось – она удаляется из параметрического пространства. Если существование гиперсферы подтвердилось определенное количество раз (количество подтверждений), информация об эталоне данной гиперсферы заносится во временный каталог новых радиоэлектронных средств. Если информация об эталоне гиперсферы уже существует в каталоге – она перезаписывается. Для нового объекта, не попавшего ни в одну гиперсферу, строится новая гиперсфера. В результате оператор АСУ радиотехнического комплекса имеет информацию о новых объектах, обнаруженных во время работы комплекса, информация о которых может быть занесена в рабочий каталог радиоэлектронных средств. Также оператор имеет возможность настройки работы алгоритма, изменяя такие параметры как радиус гиперсферы для новых объектов, а также время и количество подтверждений существования гиперсферы нового объекта.

В перспективе развития данного направления, к оценке плотности распределения измерений параметров новых объектов, можно применить какой-либо из методов обучения без учителя.

В заключении можно сделать следующие выводы. При решении задачи классификации групповых объектов по каталогу в условиях неопределенности, использование процедуры Г.В. Шелейховского, позволяет получить наименее сомнительное распределение вероятностей отнесения каждого из

объектов к априорно известным (или новым) классам. Комбинация данного метода с алгоритмом дробящихся эталонов позволяет оптимизировать метод и расширить его функциональность:

- на подготовительном этапе решается вопрос о целесообразности применения процедуры Г.В. Шелейховского;
- в случае несходимости процедуры Г.В. Шелейховского, предлагается вариант решения данной проблемы;
- расширяется функциональность обработки результатов классификации с возможностью дополнения каталога радиоэлектронных средств актуальной информацией.

### Литература

1. Гришков А.Ф., Кулаков А.А., Шпак В.Ф. Классификация образов радиотехнических сигналов. Вопросы специальной радиоэлектроники. – Выпуск 2, «ФГУП ТНИИС», Таганрог, 2009. С. 30–37.
  2. Брегман Л.М. Доказательство сходимости метода Г.В. Шелейховского для задачи с транспортными ограничениями. «Вычислительная математика и математическая физика», 1967 г., т. 7, № 1, С. 147 – 156.
  3. Трухаев Р.И. Методы исследования процессов принятия решений в условиях неопределенностей. ВМОРА, 1972 г., 437 с.
  4. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. – «СОВЕТСКОЕ РАДИО», Москва, 1972. 34 с.
  5. Шпак В.Ф., Гетманчук А.В., Радченко С.А., Кулаков Андрей А. К вопросу о сходимости алгоритма классификации радиотехнических образов по методу Г.В. Шелейховского. – Вопросы специальной радиоэлектроники. Выпуск 2, «ФГУП ТНИИС», Таганрог, 2011. 41 с.
-

# THE COMBINED APPROACH AS A WAY OF PRODUCTIVITY INCREASE AT THE DECISION OF CLASSIFICATION PROBLEMS

**Getmanchuk Aleksey Vladimirovich,**  
Taganrog, Russia, Getmanchuk@mail.ru

**Abstract.** The combined approach to the problem decision of radio technical objects classification is suggested. The approach purpose is optimization of underlying algorithm of classification according to G.V. Sheleykhovskiy's method and extension of its functionality.

Classification of radio technical signals concerns a category of problems of objects identification and it is one of the important tasks charged to the automatic control system of radio technical complex. It is necessary to determine probability of signal source belonging to the definite type of radio electronic means entered into the catalogue, or to a class of "the unidentified objects".

The algorithm of classification according to G.V. Sheleykhovskiy's method is applied to more exact determination of classification reliability degree. The algorithm analysis shows that there are the optimization ways, allowing to raise productivity of this method, and also to relieve it from a number of drawbacks. The solution of the formulated problem is reached by application of the main ideas from a splitting etalons method. Conditionally the algorithm can be divided into three main parts: a preparatory stage, operation of G.V. Sheleykhovskiy's procedure, final stage.

Input data processing at the preparatory stage can be optimized by application of the main ideas from the classification algorithm according to the splitting etalons method. The present method uses hyperspheres in N-dimensional parametrical space and estimates the object of classification location relative to the present hyperspheres.

At operation of G.V. Sheleykhovskiy's procedure, in a case of the method divergence, known procedures of the problem solution result in equal distribution of probabilities for the disputable object. At occurrence of such situation, the relative positioning of objects and hyperspheres in the parametrical space constructed at a preparatory stage, can be more informative.

The radio electronic means catalogue cannot contain the complete list of all existing types of radio electronic means. Therefore information of new classes acquisition and processing, for the purpose of the further correction of the radio electronic means catalogue, is a vital and a very important task. Classification of radio technical signals takes place in conditions of dense false signals radio technical environment. Thus, from lots of the new (not classified) objects it is necessary to single out the objects having constant parameters of a signal. The present problem can be solved at the final stage of operation of the algorithm, using principles of construction of new objects etalons in the parametrical space.

**Keywords:** radio technical signals classification; radio electronic means; radiation source; integral image of a signal; casual measurement errors; radio technical signal; classification matrix; parametric space.

## References

1. Grishkov A.F., Kulakov A.A., Shpak V.F. Radio technical signals images classification. Voprosy spetsial' noy radioelektroniki. Issue 2, FGUP "TNIIS". Taganrog. 2009. Pp. 30-37. (In Russian).
2. Bregman L.M. Dokazatel'stvo skhodimosti metoda G.V. Sheleykhovskogo dlya zadachi s transportnymi ogranicheniyami [Proof of G.V. Sheleykhovskiy's method convergence for the problem with transport limits]. Vychislitel'naya matematika i matematicheskaya fizika. 1967. Vol. 7. No 1. Pp. 147 – 156. (In Russian).
3. Trukhaev R.I. Metody issledovaniya protsessov prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelyonnostey [Research methods of decision making processes under uncertainty]. VMORA. 1972. 437 p. (In Russian).
4. Zagoruyko N.G. Metody raspoznavaniya i ikh primenenie [Recognition methods and application of them]. SOVETSKOE RADIO. Moscow. 1972. 34 p. (In Russian).
5. Shpak V.F., Getmanchuk A.V., Radchenko S.A., Kulakov Andrey A. On the issue of radio technical images classification algorithm convergence according to Sheleykhovskiy's method. Voprosy spetsial' noy radioelektroniki. Issue 2, FGUP "TNIIS". Taganrog. 2011. 41 p. (In Russian).

## Information about author:

Getmanchuk A.V., head of sector, Taganrog Scientific Research Institute of Communications.