

# Исследование алгоритма выявления групп территориально совмещенных источников радиоизлучения методом среднего сдвига

Э. А. Кирсанов, email: ekir74@mail.ru  
В. А. Татаринцев, email: twa6791@mail.ru  
М. Р. Гладких, email: gladkih.mish@yandex.ru

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», (г. Воронеж)

**Аннотация.** *Рассматривается программная реализация модуля, позволяющего решать задачу выявления групп территориально совмещенных источников радиоизлучения методом «среднего сдвига», выполненная среде программирования Borland C++ Builder 6.0.*

**Ключевые слова:** *автоматическая классификация, метод «среднего сдвига», многопозиционная радиосистема.*

## Введение

В [1-3] рассматривался алгоритм автоматической классификации множества полученных в многопозиционных радиосистемах (МРС) оценок координат источников радиоизлучения (ИРИ) методом «среднего сдвига» [4, 5], модифицированным с целью учета отличия ковариационных матриц ошибок вычисления координат в различных точках плоскости. При этом эффективность метода «среднего сдвига» зависит от подлежащей подбору ширины гауссовского ядра.

Целью настоящей работы является исследование возможности аппроксимации зависимости ширины гауссовского ядра от ошибки измерения пеленга и рассмотрение особенностей программной реализации модуля выявления групп территориально совмещенных ИРИ методом «среднего сдвига».

## 1. Постановка и решение задачи

Согласно [1-3], точка «среднего сдвига» определяется выражением

$$\mathbf{m}(\mathbf{X}) = \left[ \sum_{k=1}^N K_k(\mathbf{X}, h) \mathbf{C}_k \right] \sum_{k=1}^{-1 N} K_k(\mathbf{X}, h) \mathbf{C}_k^{-1} \mathbf{X}_k, \quad (1)$$

где

$$K_k(\mathbf{X}, h) = \frac{|\mathbf{C}_k|^{1/2}}{2\pi h^2} \exp \left\{ -\frac{1}{2h^2} [\mathbf{X} - \mathbf{x}_k]^T \mathbf{C}_k [\mathbf{X} - \mathbf{x}_k] \right\} \quad (2)$$

– гауссовское ядро с задающим его ширину параметром сглаживания  $h$ ,  $\mathbf{x}_k = (x_k, y_k)^T$  и  $\mathbf{C}_k$ ,  $1 \leq k \leq N$  – множества оценок векторов координат ИРИ и матриц точности их оценивания [6, 7]. Процедура «среднего сдвига» начинает свою работу с каждой точки выборки, циклически перемещаясь во вновь пересчитываемую точку сдвига (1), вплоть до сходимости итерационной процедуры. Блок-схема алгоритма выявления групп территориально совмещенных ИРИ методом «среднего сдвига» приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Для оценивания эффективности рассмотренного алгоритма осуществлялось статистическое моделирование результатов работы угломерной МРС с базой 10 км. Расстояние между соседними пеленгаторами, размещаемыми на линии база, задавалось одинаковым. Зона ответственности МРС размером  $10 \times 10$  км располагалась на расстоянии 5 км от линии базы. По равномерному закону генерировалось истинное число групп ИРИ  $L$  из интервала 2-10. Затем равномерно в зоне ответственности генерировались координаты их центров таким образом, чтобы расстояние между ближайшими центрами было не менее 1 км. Число наблюдений в каждом классе генерировалось по равномерному закону в диапазоне 5-15. Для каждого из них генерировались измеренные значения пеленгов со средними квадратическими ошибками (СКО)  $\sigma_\theta$ . Оценки координат ИРИ вычислялись по минимуму суммы квадратов до линий пеленгов [7].

На рисунке 2 приведены зависимости обеспечивающего максимальную вероятность правильного определения числа классов значения ширины ядра  $h$  от ошибки измерения пеленга, где красные кривые соответствуют количеству пеленгаторов МРС  $N_p = 2$ , а синие -  $N_p = 3$ .

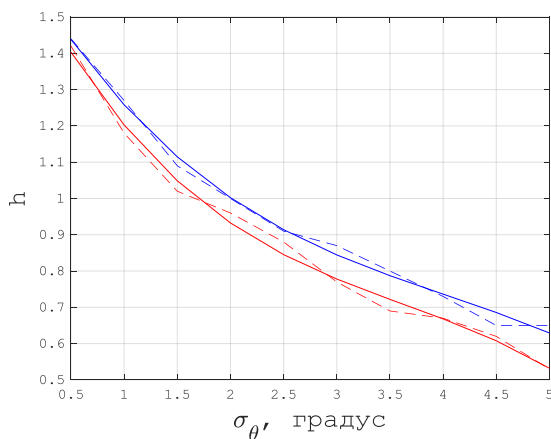


Рис. 2. Зависимости значения ширины ядра от ошибки измерения пеленга и их аппроксимации полиномом третьей степени

Пунктирные кривые получены в результате набора статистики (выборочные), а сплошные – по результатам их аппроксимации полиномом третьей степени в Matlab (для вычисления полиномиальных коэффициентов использовалась функция `polyfit`, а для оценивания полином в заданных точках – `polyval`). Из рисунка видно достаточно хорошее совпадение указанных кривых.

## **2. Программная реализация модуля выявления групп территориально совмещенных ИРИ методом «среднего сдвига»**

Для решения задачи обработки множества полученных угломерной многопозиционной радиосистемой оценок координат источников радиоизлучения в интересах выявления заранее неизвестного числа групп территориально совмещенных ИРИ модифицированным методом «среднего сдвига» в визуальной, объектно-ориентированной среде программирования Borland C++ Builder 6.0 была разработана соответствующая программа, в которой использовалась аппроксимация зависимостей значения ширины ядра от ошибки измерения пеленга.

При первом запуске открывается главное окно программы и отображаются засечки, соответствующие количеству пеленгаторов  $N_p = 2$  и ошибке измерения пеленга  $\sigma_\theta = 1$  градус. После выбора в верхней части главного окна программы пункта меню «Выявить группы ИРИ» осуществляется выявление групп территориально совмещенных ИРИ модифицированным методом «среднего сдвига». При этом осуществляется последовательный сдвиг каждой засечки к своему среднему. Для замедления процесса отображения сдвигаемых точек используется класс `Timer`. Результатом выявления групп территориально совмещенных ИРИ модифицированным методом «среднего сдвига» являются центры сформированных классов, отображаемые крестиками. После выбора в верхней части главного окна программы пункта меню «Оценить эффективность» осуществляется оценивание эффективности выявления групп территориально совмещенных ИРИ. При этом белым кружком отображаются истинные центры классов, а засечки отнесенные к каждому сформированному классу отображаются одним (одинаковым) цветом.

После выбора в верхней части главного окна программы пункта меню «Файл» и затем «Исходные данные» предоставляется возможность изменения количества пеленгаторов и значения ошибки измерения пеленга.

## **3. Заключение**

С использованием аппроксимации зависимостей значения ширины ядра от ошибки измерения пеленга выполнена программная реализация

модуля выявления групп территориально совмещенных ИРИ методом «среднего сдвига». Программа позволяет решать задачу обработки множества полученных угломерной многопозиционной радиосистемой оценок координат источников радиоизлучения в интересах выявления заранее неизвестного числа групп территориально совмещенных источников радиоизлучения модифицированным методом «среднего сдвига» с учетом неоднородности пространства признаков и оценивать эффективность ее решения. В программе предусмотрена возможность изменения количества пеленгаторов и значения ошибки пеленгования.

### Список литературы

1. Кирсанов, Э. А. Кластеризация множества оценок координат источников радиоизлучения в многопозиционных радиосистемах методом «среднего сдвига» / Э. А. Кирсанов, В. А. Татаринцев // Информатика: проблемы, методы, технологии. Материалы XX Международной научно-методической конференции. Под редакцией А.А. Зацаринного, Д.Н. Борисова (Воронеж, 13-14 февраля 2020 г.). – Воронеж, 2020. – С. 1040-1046.

2. Кирсанов, Э. А. Алгоритмы выявления групп территориально совмещенных источников радиоизлучения модифицированным методом «среднего сдвига» / Э. А. Кирсанов, В. А. Татаринцев // Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXVI Международной научно-технической конференции. В 6-ти томах (Воронеж, 29 сентября – 1 октября 2020 г.). – Воронеж, 2020. – Т5. – С. 282-290.

3. Кирсанов, Э. А. Сравнительный анализ алгоритмов автоматической классификации координатной информации в угломерных многопозиционных радиосистемах на основе самоорганизующейся нейронной сети и метода «среднего сдвига» / Э. А. Кирсанов, В. А. Татаринцев // Радиотехника. – 2021. – № 1. – С. 62-68.

4. Fukunaga K. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition / K. Fukunaga, L. Hostetler // IEEE Transactions on information theory. – 1975. – № 1. – P. 32-40.

5. Simovici, D. A. Clustering: Theoretical And Practical Aspects. / D. A. Simovici. – Singapore: World Scientific Publishing Company, 2021. – 881 p.

6. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

7. Кирсанов, Э. А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевой подходы / Э. А. Кирсанов, А. А. Сирота. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 344 с.