

Анализ математических моделей расчета электроакустических полей и дальности действия радиолокационных систем методом последовательного анализа

А.К. Гришко, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация: Анализ реальных условий проведения эксперимента для проверки адекватности моделей расчета электроакустического поля, на основе информации, полученной в ходе испытаний систем локации и мониторинга, показывает, что они в полной мере соответствуют возможной области применения метода последовательного анализа.

Ключевые слова: компьютер, модель, электроакустика, радиолокация, статистика, анализ, точность, надежность, вероятность, обнаружение, объект.

Принятие решения о требуемом качестве компьютерных моделей расчета электроакустического поля и дальности действия радиолокационных систем, в ряде случаев, зависит от знания некоторых вероятностных характеристик, таких, как вероятность обнаружения объекта на требуемой дистанции, дистанция обнаружения объекта с вероятностью, не менее заданной, рассеивание нормально распределённой случайной величины и других. Подобные вероятностные характеристики являются основой для создания системы показателей и критериев качества компьютерных моделей расчёта акустического поля и дальности действия электроакустических средств. При этом необходимая вероятностная характеристика, как правило, неизвестна и может быть оценена лишь в результате проведения специального организованного эксперимента (натурального моделирования).

Как известно, обрабатывая данные эксперимента, мы получаем не истинные значения случайных величин, а их статистические оценки. Эти оценки тем точнее и надежнее, чем больше данных обработано. Однако

повышение точности и надёжности может быть связано с большими затратами сил, средств, а также времени на проведение эксперимента. Поэтому стремление повысить точность и надёжность статистических оценок путём увеличения числа испытаний не возможно и целесообразно.

Для разработки критериев адекватности моделей расчета электроакустического поля при наличии полной и малой выборки экспериментальных данных возможно использование метода последовательного анализа.

1. Выбор одного из альтернативных вариантов решения зависит от состояния какого-то существенного элемента обстановки – дистанции обнаружения, которое характеризуется некоторой вероятностной характеристикой. Если в сложившихся условиях обстановки эта вероятностная характеристика принимает значение большее, чем установленное граничное, принимается один вариант решения, а если меньшее – другой.

2. Выявить значение необходимой вероятностной характеристики можно только в результате проведения специально организованных экспериментов. В ряде случаев, однако, возможно использование и ранее собранных статистических данных.

3. Время, которое имеется в распоряжении, либо же затраты сил, средств, ресурсов, не позволяют провести достаточное число опытов, чтобы получить нужную оценку с требуемой точностью и надёжностью.

В качестве основы для разработки критериев адекватности возможно использовать математический аппарат метода последовательного анализа, позволяющий в процессе эксперимента заранее не устанавливать потребное число наблюдений и последовательно сравнивать результат каждого из них, сравнивая его с расчетными значениями, проводимыми на основе моделей расчета электроакустического поля.

В основу определения критериев качества компьютерных моделей расчета электроакустического поля и моделей расчета дальности действий радиолокационных систем могут быть положены две гипотезы H_1 и H_2 – соответствует или не соответствует предъявленным требованиям рассматриваемая модель.

После каждого испытания рекомендуется одно из трех решений:

1. рассматриваемая модель соответствует критериям качества и сформулированным требованиям (осуществление гипотезы H_1);

2. рассматриваемую модель стоит отклонить т.к. она не соответствует критериям качества и сформулированным требованиям (осуществление гипотезы H_2);

3. провести еще одно испытание, т.к. полученной информации недостаточно, для того чтобы принять или отвергнуть гипотезу H_1 или H_2 .

На основании выполненных по исследуемой компьютерной модели расчетов определяется некоторое пороговое значение вероятностной характеристики. Если окажется, что истинное значение дистанции обнаружения, установленное экспериментальным путем, $D_{\text{н}} \geq D_0$, модель следует отклонить, как не отвечающую предъявленным требованиям.

Не исключено, что может быть принято решение отклонить качественную модель или принять модель, не соответствующую требованиям качества. Ошибки в рекомендациях принять или отклонить партию изделий тем существеннее, чем значительнее отличается установленное пороговое значение D_0 от точного значения $D_{\text{н}}$. При близких значениях этих дистанций $D_{\text{н}} = D_0$ такие ошибки не существенны.

Таким образом, вокруг порогового значения D_0 создаётся некоторая зона безразличия к указанным ошибкам. Можно установить границы зоны, за пределами которой эти ошибки недопустимы, в виде значений дистанций D_1 и D_2 . При этом нижняя граница зоны безразличия $D_2 < D_0$, верхняя граница $D_1 > D_0$. Относительно порогового значения D_0 дистанции обнаружения можно выделить три зоны (рис.1):

- зону принятия модели при $D_{II} \geq D_1$;
- зону отклонения модели при $D_{II} \leq D_2$;
- зону безразличия (неопределённости) при $D_2 < D_{II} < D_1$

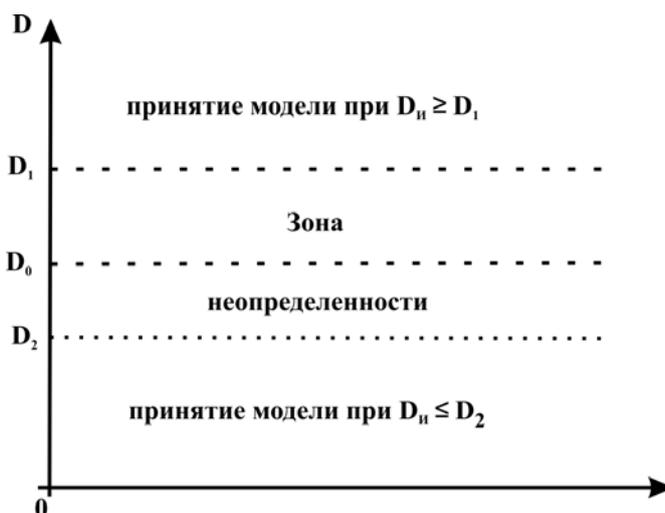


Рис. 1. – Дистанция обнаружения относительно порогового значения

Считается, что допущена ошибка первого рода, если не принята модель отвечающая требованиям качества ($D_{II} > D_1$), и допущена ошибка второго рода, если принята модель, не отвечающая требованиям качества при $D_{II} < D_2$.

Устанавливаются допустимые вероятности α и β совершить ошибку первого и второго рода соответственно. Величины α и β зависят от того, насколько важны ошибки первого и второго рода. Только одну из величин α или β можно принять сколько угодно малой.

Для каждого случая использования метода последовательного анализа при определении качества компьютерных моделей расчета акустического поля и дальности действия радиолокационных систем нужно установить конкретные значения D_1, D_2, α, β .

Для этого используют данные опыта, условия, для которых производится моделирование, требования, которым должна удовлетворять модель. При этом, вероятность принятия модели $L(D_{II})$ при данном проценте истинных дистанций, полученных в ходе эксперимента, и не отвечающих требованиям качества модели ($D_{II} < D_2$) называется оперативной характеристикой. Если все D_{II} выборки экспериментальных данных соответствуют требованию $D_{II} \geq D_1$, то модель будет принята достоверно, т.е. $L(D_{II}) = 1$. Если все D_{II} выборки экспериментальных данных не соответствуют требованию качества, т.е. $D_{II} \leq D_2$, то модель будет достоверно отклонена и $L(D_{II}) = 0$. На нижней границе зоны безразличия при $D_{II} = D_2$ вероятность принятия модели $L(D_2) = \beta$, на верхней границе $L(D_1) = 1 - \alpha$. График оперативной характеристики представлен на рис.2.

Идеальная оперативная характеристика соответствует случаю когда ошибки первого и второго рода отсутствуют, т.е. $\alpha = \beta = 0$. Это означает, что модель $D_{II} > D_1$ всегда принимается, при $D_{II} < D_2$ всегда отклоняется,

поскольку при ограниченном числе наблюдений подобные ошибки не исключены, то реальная оперативная характеристика всегда отличается от идеальной.

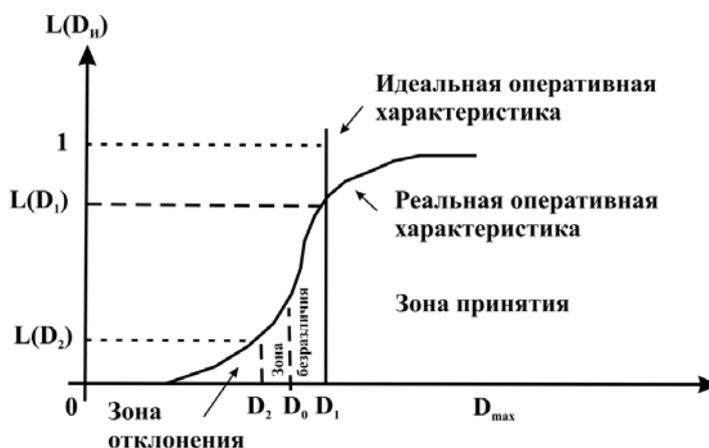


Рис. 2. – График оперативных характеристик

Чтобы получить оперативную характеристику близкую к идеальной, необходимо провести большое число испытаний. Эти характеристики совпадут при проведении бесконечного числа наблюдений. А это исключает появление метода последовательного анализа.

Дополнительным показателем, который может оцениваться параллельно с оценкой дистанции обнаружения, является вероятность обнаружения объекта на дистанции не менее заданной:

$$P_{об} = \frac{n}{N},$$

где n – число успешных испытаний (текущее i -ое испытание считается успешным, если $D_i > D_0$), N – общее число проведенных испытаний.

При прочих равных условиях тот метод проверки осуществления гипотез H_1 или H_2 предпочтительнее, у которого при меньшем среднем числе наблюдений оперативная характеристика ближе к идеальной. На основании этого определен критерий, с помощью которого можно судить о степени

соответствия модели предъявляемым требованиям. Таким критерием является коэффициент правдоподобия, равный отношению вероятности осуществления гипотезы H_1 для дискретных случайных величин или отношению плотностей вероятности непрерывной случайной величины на нижней и верхней границах зоны безразличия.

Использование предлагаемых показателей, критериев качества, базирующихся на математическом аппарате последовательного анализа, позволит принимать обоснованное решение в условиях, когда время, которое имеется в распоряжении, либо же затраты сил, средств, ресурсов ограничены. Что не позволяет провести достаточное число опытов, чтобы не получить методами «классической» математической статистики нужную статистическую оценку вероятностной характеристики с требуемой точностью, надёжностью, т.е. когда необходимо оценить сложившуюся обстановку при ограниченном числе экспериментов, опытных данных.

Литература

1. Исследование операций / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. М.: Мир, 1981. 1 том.– С. 712
2. Гришко А.К., Юрков Н.К., Артамонов Д.В., Канайкин В.А. «Системный анализ параметров и показателей качества многоуровневых конструкций радиоэлектронных средств» // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 2 (26). С. 77-84.
3. Гришко А.К., Юрков Н.К., Кочегаров И.И. «Методология управления качеством сложных систем» // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 377-379
4. Гришко А.К. «Цифровая обработка ансамблей сигналов в радиотехнических системах на основе обобщенной функции

неопределенности» // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 1. С. 220-221

5. Гришко А.К., Баннов В.Я. «Метод последовательного анализа моделей радиолокационных систем в процессе эксперимента» // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т.1. С. 178-179

6. Гришко А.К. «Алгоритм управления в сложных технических системах с учетом ограничений» // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т.2. С. 379-381

7. Аксенов К.А. Коалиционная модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 4, часть 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1437

8. Истомин В.В. Прогнозирование поведения групп автономных интеллектуальных агентов на основе теории многоагентных систем // «Инженерный вестник Дона», 2011, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/535

9. Yurkov N.K. Characteristic features of the control of complex systems utilizing conceptual models. Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 47, No. 4, April 2004. pp. 339-342

10. Grab I.D., Sivagina U.A., Goryachev N.V., Yurkov N.K. Research methods of cooling systems. Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. Part 2. –M.: HSE, 2014, pp. 443-446

References

1. Issledovanie operatsiy [Operations Research]. Pod red. Dzh. Moudera, S. Elmagrabi. M.: Mir, 1981. 1 tom. p. 712
2. Grishko A.K., Yurkov N.K., Artamonov D.V., Kanaykin V.A. Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. 2014. Vol. 2 (26). 77-84 pp.



3. Grishko A.K., Yurkov N.K., Kochegarov I.I. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo. 2014. Vol. 2. 377-379 pp.
4. Grishko A.K. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo. 2009. Vol. 1. 220-221 pp.
5. Grishko A.K., Bannov V.Ya. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo. 2013. Vol. 1. 178-179 pp.
6. Grishko A.K. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo. 2014. Vol.2. 379-381 pp.
7. Aksenov K.A Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4-2 URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1437> (data obrashchenija 16.04.2015).
8. Istomin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, № 4 URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/535> (data obrashchenija 16.04.2015).
9. Yurkov N.K. Characteristic features of the control of complex systems utilizing conceptual models. Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 47, No. 4, April 2004. P. 339-342
10. Grab I.D., Sivagina U.A., Goryachev N.V., Yurkov N.K. Research methods of cooling systems. Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. Part 2. –M.: HSE, 2014, 443-446 pp.