

УДК 621.396

О.Е.Логачева, В.В.Костюченко
**ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И
ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ**

*Воронежский институт высоких технологий
Концерн радиостроения "Вега"*

В работе рассматриваются особенности обработки сигналов в радиолокационных системах на основе методов фильтрации и оценки параметров. Условия, которые требуются для того, чтобы оценивать параметры сигналов, обычно выполняются для этапа обработки радиолокационных сигналов, который осуществляется на основе специальных процессоров обработки сигналов. Отмечены характеристики первичных и вторичных радиолокационных данных. В моделях, представляемых на базе стохастических дифференциальных уравнений, выделяют: модели, связанные с непрерывным изменением параметров и модели, связанные с непрерывной квазилинейной фильтрацией. Дан анализ моделей, связанных с оцениванием параметров интенсивно-маневрирующих объектов, в которых не проводится явный переход к алгоритмам, связанным с нелинейной фильтрацией.

Ключевые слова: сигнал, фильтрация, оценка, радиолокация, радиотехническое средство.

На начальных этапах развития радиолокации характеристики точности по определению координат объектов составляли сотни метров. Вследствие того, что в течение последних пяти десятилетий происходило совершенствование радиолокационных средств, то величина определения координат – десятки метров, а в некоторых случаях можно говорить и о нескольких метрах.

Но при этом остаются актуальными вопросы, связанные с тем, чтобы продолжать увеличивать точностные характеристики радиотехнических средств [1-3].

Также, появился новый класс радиолокационных средств – многопозиционные радиолокационные системы (МРЛС), что определило потребность в разработках новых алгоритмов, связанных с обработкой сигналов.

В радиолокационных задачах часто приходится сталкиваться с проблемой проведения оценок реализаций случайных процессов, которые могут содержать, как полезную информацию [4-6], так и разные помехи [7, 8].

Проблема проведения оценки состоит в том, чтобы на основе результатов зашумленных измерений сделать восстановление реализации случайного процесса, который содержит полезную информацию.

Под оценкой мы понимаем математическую процедуру принятия решения по значениям для некоторых моментов времени реализации случайного процесса, другими словами, мы рассматриваем математическую процедуру обработки результатов измерений наблюдений [9].

Теорию оценивания, которая посвящена проведением оценок случайных процессов, относят к разделу математической статистики, например, рассматривают теорию статистических решений.

В зависимости от того, какие решаются задачи, оценка может осуществляться наилучшим способом с точки зрения определенного критерия. Указанную операцию называют оптимальным оцениванием.

Для общего случая задачи, связанные с оцениванием случайных процессов мы можем условным образом поделить на несколько задач: проведение обнаружения сигналов, осуществление различения их, проведение оценки параметров сигналов, проведение фильтрации случайных процессов, проведение разрешения сигналов, осуществление распознавания образов и др.

Задачи, связанные с оценкой параметров, с точки зрения постановки, и с точки зрения правил оценок, являются весьма разнообразными. Например, многие различия связаны с тем, что есть полнота или неполнота известных априорных сведений, критериев и др.

В случаях, когда рассматриваем радиолокационные системы, различия могут быть связаны с тем: какое геометрическое построение систем, какой принцип действия и параметры РЛС, какие параметры движения объектов наблюдения (ОН) и др.

Если происходит изменение информационных параметров полезного сигнала $s[t, \Lambda(t)]$ для отрезка наблюдения $[0, T]$, то происходит трансформация изложенной задачи, связанной с оценкой параметров в задачу, связанную с фильтрацией случайного процесса.

Когда решаем такую задачу также требуется получить оценку $\Lambda(t)$ исходя из наблюдения реализаций соответствующего случайного процесса $\xi(t)$, а также на базе априорной информации, которая известна.

В результате решения задач фильтрации получают оптимальные правила, позволяющие получать оценки случайных процессов и соответствующие для них структурные схемы, описывающие оптимальные устройства оценивания (оптимальные фильтры), а также данные по потенциальным характеристикам качества их функционирования.

Решение задачи фильтрации можно считать более общим и сложным, чем решение задачи, связанной с оценкой параметров сигнала. Если оцениваемый параметр в течение времени T не успевает существенным образом измениться или можем таким изменением пренебречь, то задачу фильтрации сводят к задаче, связанной с оценкой параметров сигналов.

В радиолокационных задачах проведение оценок и проведение фильтрации могут дополнять друг друга [10-12].

Условия, которые требуются для того, чтобы оценивать параметры сигналов, обычно выполняют для этапа обработки радиолокационных

сигналов (ОРС), который осуществляется на основе специальных процессоров обработки сигналов (ПС) [13]. Проведение обработки радиолокационных сигналов осуществляют или в течение времени облучения объекта или за какую-то часть такого времени. Обработку мы можем выполнять как на основе когерентного подхода, так и некогерентного.

При осуществлении непрерывного сопровождения объекта также всегда можно отметить временные интервалы, связанные с первичной обработкой радиолокационных сигналов, в которых для координат и параметров движения их можно считать практически постоянными величинами [14, 15].

Для процессоров, которые обрабатывают сигналы, должны быть хорошие характеристики быстродействия, поскольку сигналы, принимаемые системами, во многих случаях, имеют широкий спектр частот. Как результат обработки сигналов происходит решение основных задач, связанных с радиолокационным наблюдением.

Сначала происходит обнаружение цели и однократным образом измеряют координаты и параметры движения (в качестве примера, можно взять доплеровскую частоту отраженного сигнала).

Происходит формирование «паспорта» цели: отсчётные значения расстояний, доплеровская частота, значения угловых координат. Подобные отсчетные значения во многих случаях называются радиолокационными данными.

На следующем важном этапе – обрабатывают радиолокационные данные, которые относятся к процессорам радиолокационных данных (ПРЛД).

В качестве основных задач на этапе обработки радиолокационных данных (ОРД) можно отметить следующие:

- определяется текущее положение объекта в определенной системе координат,
- определяется направление и скорость движения, оцениваются некоторые признаки, которые позволяют выполнить идентификацию объекта, например, анализируют маневренные возможности объекта. Если рассматривать с точки зрения более узкого смысла, ОРД необходима для обеспечения слежения за ОН, обеспечения непрерывного оценивания изменяющихся координат от каких-то отсчётных значений, полученных на этапе ОРС, к другому этапу.

То есть, в области радиолокации задачи, связанные с оценкой и фильтрацией мы можем разделить по виду радиолокационных данных. В первичных радиолокационных данных предполагается работа непосредственным образом с сигналами, в то время как во вторичных

радиолокационных данных предполагается работа с теми параметрами, которые уже оценили, такими как временными задержками t_z , пеленгами азимута γ и угла места δ , доплеровскими сдвигами, разностями доплеровских сдвигов ρ и др.

Устройства, которые реализуют процессы фильтрации, называют фильтрами.

Для теории фильтрации достаточно распространенными являются случаи, когда название связано не с самим процессом фильтрации, а с фильтром, исполняющим такой процесс.

Фильтры мы можем разделить на линейные и нелинейные; цифровые или аналоговые; активные или пассивные; рекурсивные или нерекурсивные.

При проведении процессов фильтрации требуется принимать во внимание не только то, какая используется модель фильтра, но и разрабатывать модели, описывающие изменение параметров, которые учитывают помимо специфики, совокупность общих особенностей, связанных с этими изменениями [16, 17].

В теории оценивания выделяют данные по текущему, предыдущему и последующему измерениям.

Даже при том, что фильтрацию в данном смысле можно рассматривать как синоним оценивания, в узком смысле, в фильтрации как процессе предполагается применение как раз текущих и предыдущих измерений.

Кроме фильтрации, отмечают также следующие методы обработки сигналов:

- проведение экстраполяции, если оценивание осуществляется на базе лишь предыдущего измерения;
- проведение совокупного сглаживания, если оценивание осуществляется на базе текущих, предыдущих и последующих измерений;
- проведение ретроспективы или обратного прогноза, если оценивание выдают, основываясь на последующих измерениях;
- проведение интерполяции, если оценивание осуществляется, основываясь на предыдущих и последующих измерениях.

Можно различать модели оценивания с точки зрения физической сущности – постоянная или переменная структура; с точки зрения характера математического описания - вероятностная модель и модель на базе стохастических уравнений.

За счет вероятностных многошаговых моделей обеспечивается создание условных плотностей вероятности по последующим значениям параметров при данных предыдущих.

Можно упростить вероятностные модели, в тех случаях, когда применяют гауссовские $p(\lambda_{k+1}|\lambda_k, \lambda_{k-1}, \dots)$ или марковские $p(\lambda_{k+1}|\lambda_k)$ априорные условные плотности вероятности.

В таких случаях говорят о том, что используются гауссовские и марковские модели.

Затем рассматривают модели дискретного изменения параметров, которые определяются как стохастические уравнения и многошаговая квазилинейная фильтрация оценок.

В этой совокупности отмечают: модели, на базе нелинейных стохастических уравнений; квазилинейную стохастическую модель; квазилинейную фильтрацию при проведении прямого измерения и проведении косвенных измерений.

В моделях, представляемых на базе стохастических дифференциальных уравнений, выделяют: модели, связанные с непрерывным изменением параметров и модели, связанные с непрерывной квазилинейной фильтрацией.

Отдельным образом необходимо отметить модели, связанные с оцениванием параметров интенсивно - маневрирующих объектов, в которых не проводят явный переход к алгоритмам, связанным с нелинейной фильтрацией.

В этой совокупности выделяют: модели, которые учитывают корреляцию в случайных приращениях:

- модели, имеющие скачкообразное изменение в регулярных составляющих движения;
- измерители, имеющие коррекцию в полосе пропускания;
- измерители, имеющие коррекцию в результирующей оценке параметра;
- измерители, имеющие коррекцию регулярной компоненты модели движения объекта;
- многогипотезные по моделям движения (ПМД) измерители, имеющие коммутируемую структуру;
- многогипотезные ПМД байесовские адаптивные измерители;
- многогипотезные ПМД измерители, которые не имеют межобзорную память гипотез;
- многогипотезные ПМД измерители, имеющие межобзорную память гипотез;
- многокоординатные измерители по параметрам движения объекта, который совершает поворот в горизонтальной плоскости.

Вследствие того, что развивались аппаратные и программные средства вычисления, исследователи переходили к использованию более

сложных моделей – оценивались параметры интенсивно маневрирующих объектов при явном переходе к алгоритмам нелинейной фильтрации. Среди последних отмечают применение парциальной нелинейной фильтрации и нелинейной фильтрации Даума.

Кроме того, необходимо выделить случаи, связанные со стационарным оцениванием случайных процессов. Среди подобных случаев отмечают разные фильтры Винера – Колмогорова [18].

Когда проводится проектирование радиосистем, то существуют сложности в выборе алгоритма фильтрации, связанные с тем, что отсутствуют сравнительные данные по качеству фильтрации для рассмотренных выше алгоритмах, при том, что мы соблюдаем условие детерминированности структур самих радиосистем.

В результате, задачи, связанные с оцениванием вектора состояния в МРЛС необходимо решать, в каждом отдельном случае обосновывая выбор алгоритма, или проводя комбинацию соответствующих алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / А.П.Преображенский // Воронеж, Издательство: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2007, 248 с.
2. Косилов А.Т. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / А.Т.Косилов, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 68-71.
3. Львович Я.Е. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.
4. Преображенский А.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / А.П.Преображенский, Ю.П.Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.
5. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21-24.
6. Преображенский А.П. Методика прогнозирования радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на

- дискретных частотах / А.П.Преображенский, О.Н.Чопоров // Системы управления и информационные технологии. 2004. Т. 14. № 2. С. 98-101.
7. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. / Под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
 8. Справочник по радиолокации / Под ред. М. И. Сколника. Пер. с англ. Под общей ред. В. С. Вербы. В 2 Книгах. Книга 1. Москва: Техносфера, 2014. 672 с.
 9. Ярлыков М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов. / М. С.Ярлыков, М. А.Миронов // М.: Радио и связь, 1993. 464 с.
 10. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В.Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
 11. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я.А.Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
 12. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю.Кульнева, И.А.Гащенко // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
 13. Дудник П. И. Авиационные радиолокационные комплексы и системы: учебник для слушателей и курсантов ВУЗов ВВС/ П. И. Дудник, Г. С. Кондратенков, Б. Г. Татарский, А. Р. Ильчук, А. А. Герасимов/ Под ред. П.И. Дудника.// М.: Изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2006. 1112 с.
 14. Максимова А.А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А.А.Максимова, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1(16). С. 53-56.
 15. Мельникова Т.В. Модель проектирования беспроводных систем связи с учетом природных и промышленных помех / Т.В.Мельникова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1(16). С. 61-63.
 16. Кузнецов Е.П. Методы и алгоритмы адаптивной эхо-компенсации: сравнительный анализ эффективности применения цифровой обработки сигналов / Е.П.Кузнецов // Цифровая обработка сигналов. 2007. №2.С. 26-34.
 17. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов. / Б.Уидроу, С.Стирнз // М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
 18. http://www.math.spbu.ru/user/gran/courses/SP_13-03.pdf.

O.E.Logacheva, V.V.Kostyuchenko
**THE FEATURES OF MODERN METHODS OF ESTIMATION AND
FILTERING OF SIGNALS**

*Voronezh Institute of High Technologies
Radio engineering Corporation "VEGA"*

The paper considers the peculiarities of signal processing in radar systems based on the methods of filtering and parameter estimation. The conditions that are required in order to estimate the parameters of the signals, is usually performed for stage processing of radar signals, which is based on special signal processors are shown. The characteristics of primary and secondary radar data are marked. In the models presented on the basis of stochastic differential equations that provide: models associated with the continuous change of the parameters and models associated with the continuous quasi-linear filtering. The analysis of models related to the estimation of the parameters of intense maneuvering objects, which did not provide a clear transition to the algorithms related to nonlinear filtering.

Keywords: signal, filtering, estimation, radar, electronic means.

REFERENCES

1. Preobrazhenskiy A.P. Modelirovanie i algoritimizatsiya analiza difraktsionnykh struktur v SAPR radiolokatsionnykh antenn / A.P.Preobrazhenskiy // Voronezh, Izdatel'stvo: Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr "Nauchnaya kniga", 2007, 248 p.
2. Kosilov A.T. Metody rascheta radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov / A.T.Kosilov, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 68-71.
3. L'vovich Ya.E. Reshenie zadach otsenki kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln na difraktsionnykh strukturakh pri ikh proektirovanii / Ya.E.L'vovich, I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2010. No. 6. pp. 255-256.
4. Preobrazhenskiy A.P. Approksimatsiya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln elementov, vkhodyashchikh v sostav ob"ektov slozhnoy formy / A.P.Preobrazhenskiy, Yu.P.Khukhryanskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 15-16.
5. Preobrazhenskiy A.P. Prognozirovanie radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov s radiopogloshchayushchimi pokrytiyami v diapazone dlin voln / A.P.Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2003. No. 4. pp. 21-24.
6. Preobrazhenskiy A.P. Metodika prognozirovaniya radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov v diapazone dlin voln s ispol'zovaniem rezul'tatov izmereniya kharakteristik rasseyaniya na diskretnykh chastotakh /

- A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2004. Vol. 14. No. 2. pp. 98-101.
7. Radioelektronnyye sistemy: Osnovy postroeniya i teoriya. Spravochnik. / Pod red. Ya. D. Shirmana. M.: Radiotekhnika, 2007. 512 p.
 8. Spravochnik po radiolokatsii / Pod red. M. I. Skolnika. Per. s angl. Pod obshchey red. V. S. Verby. V 2 Knigakh. Kniga 1. Moskva: Tekhnosfera, 2014. 672 p.
 9. Yarlykov M. S. Markovskaya teoriya otsenivaniya sluchaynykh protsessov. / M. S.Yarlykov, M. A.Mironov // M.: Radio i svyaz', 1993. 464 p.
 10. Miloshenko O.V. Metody otsenki kharakteristik rasprostraneniya radiovoln v sistemakh podvizhnoy radiosvyazi / O.V.Miloshenko // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. No. 9. pp. 60-62.
 11. Mishin Ya.A. O sistemakh avtomatizirovannogo proektirovaniya v besprovodnykh setyakh / Ya.A.Mishin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. No. 10. pp. 153-156.
 12. Kul'neva E.Yu. O kharakteristikakh, vliyayushchikh na modelirovanie radiotekhnicheskikh ustroystv / E.Yu.Kul'neva, I.A.Gashchenko // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. No. 5-2. pp. 50.
 13. Dudnik P. I. Aviatsionnyye radiolokatsionnyye komplekсы i sistemy: uchebnik dlya slushateley i kursantov VUZov VVS/ P. I. Dudnik, G. S. Kondratenkov, B. G. Tatarskiy, A. R. Il'chuk, A. A. Gerasimov/ Pod red. P.I. Dudnika.// M.: Izd. VVIA im. prof. N. E. Zhukovskogo, 2006. 1112 p.
 14. Maksimova A.A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A.A.Maksimova, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1(16). pp. 53-56.
 15. Mel'nikova T.V. Model' proektirovaniya besprovodnykh sistem svyazi s uchetom prirodnykh i promyshlennykh pomekh / T.V.Mel'nikova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1(16). pp. 61-63.
 16. Kuznetsov E.P. Metody i algoritmy adaptivnoy ekho-kompensatsii: sravnitel'nyy analiz effektivnosti primeneniya tsifrovoy obrabotki signalov / E.P.Kuznetsov // Tsifrovaya obrabotka signalov. 2007. No.2.pp. 26-34.
 17. Uidrou B. Adaptivnaya obrabotka signalov. / B.Uidrou, S.Stirnz // M.: Radio i svyaz', 1989. 440 p.
 18. http://www.math.spbu.ru/user/gran/courses/SP_13-03.pdf.