

УДК 629.735.015:681.3

ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В.В. ЛАВИНА, Л.Е. РУДЕЛЬСОН

Увеличение пропускной способности воздушного пространства требует высокой точности средств наблюдения и организации таких мероприятий, как сокращение норм эшелонирования, полеты по свободным траекториям, передача части диспетчерских функций пилоту. Техническую поддержку нововведений предполагается осуществить на основе вещательного автоматического зависимого наблюдения. Полное исключение радиолокационного сопровождения, несмотря на высокую погрешность измерений, нерационально: отказ бортовой аппаратуры ведет к потере на земле координатной информации. В статье обсуждаются возможности повышения качества обработки радиолокационной информации как средства наблюдения, не зависящего от состояния бортовой аппаратуры.

Ключевые слова: обработка радиолокационной информации, фильтрация, отождествление, окно фильтра.

ВВЕДЕНИЕ

Рост потребности в услугах авиатранспорта приводит к необходимости повышения пропускной способности воздушного пространства (ВП). Ведущие авиационные державы поставили целью к 20-м годам добиться трехкратного увеличения объема перевозок над своими территориями без снижения уровня безопасности полетов [1]. Достижение результата предполагается осуществить на основе совершенствования всего комплекса мероприятий по организации воздушного движения (ОрВД). Уже сейчас в ряде элементов ВП мирового авиационного сообщества, оснащенных современными средствами наблюдения, навигации и связи, действуют сокращенные нормы вертикального эшелонирования, ведется подготовка к переходу на правила движения по свободным траекториям и к передаче пилоту отдельных функций диспетчера, например, таких как назначение эшелона полета (так называемое «самоэшелонирование»). «Слоеный пирог», наглядно представляющий собой селектированное высотными эшелонами ВП гражданской авиации (ГА), теперь насчитывает больше слоев для рассредоточения по ним движущихся воздушных судов (ВС), а возможность прокладывать маршрут не по линиям трасс, а по выгодному в складывающихся метеоусловиях курсу, позволяет «расширить» ВП внутри каждого слоя (эшелона).

Еще недавно для таких нововведений отсутствовала техническая поддержка. Общепринятые нормы эшелонирования основывались на точности радиолокационных измерений (сотни метров), используемых и поныне. С развитием навигации на основе данных автоматического зависимого наблюдения (АЗН) и взаимодействия пилотов и наземных служб в режиме вещательного АЗН картина изменилась. Информация о собственном ВС (навигационная, пилотажная, плановая) имеется на борту современных лайнеров в полном объеме. Данные по окружающим ВС поступают на борт либо от наземной системы, либо непосредственно от взаимодействующих участников движения. Основное сообщение АЗН содержит координаты (широту и долготу объекта) с разрешающей способностью 0,8 угловых секунд (около 15-20 м), высоту – с разрешающей способностью 2,4 м. Интервал обновления этих сообщений – 10 с. и менее (до 1,0 с.). Каждый пилот слышит переговоры диспетчера со всеми обслуживаемыми экипажами, на бортовой дисплей транслируется картина воздушной обстановки, отображаемая диспетчеру, все решения наземного центра прозрачны – таковы технические предпосылки утроения пропускной способности ВП.

Несмотря на более высокую погрешность измерений, полное исключение радиолокационного сопровождения из обихода обслуживания воздушного движения (ОВД) нерационально. Любой отказ бортовой аппаратуры АЗН (случайный или преднамеренный при терактах) приводит к потере на земле информации наблюдения. Рассмотрим возможности наземных центров ОВД с позиций повышения точности обработки радиолокационной информации (РЛИ) как средства наблюдения, не зависящего от состояния контролируемых объектов.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Программное обеспечение (ПО) обработки РЛИ развивалось в условиях скромных ресурсов существовавших средств вычислительной техники, и его создатели не видели реальных перспектив достижения необходимой целостности процесса сопровождения. Теперь такие возможности предоставлены и реализуются на практике. В [2] изложены основы синтеза алгоритмов радиолокационного сопровождения движущихся объектов, основанные на качественно новом подходе к задачам захвата и обнаружения, к процессам ассоциации, фильтрации и экстраполяции отметок. Анализ перечисленных задач приводит к заключению, что в сложных условиях наблюдения традиционные алгоритмы обработки данных первичной локации характеризуются большим количеством ложных траекторий, перепутыванием действительных траекторий, потерями сопровождения, пропуском ВС, совершающих полеты. Причины недостатков заложены в погрешности измерения координат цели с одной стороны, и в ошибке выставления математического строга ожидания истинной отметки около прогнозируемого положения на следующем обзоре – с другой.

Оценка параметров движения, в частности, определение скорости ВС, осуществляется линейными сглаживающе-дифференцирующими фильтрами [3], имеющими невысокую точность и не позволяющими выполнить совместную обработку информации от нескольких разнотипных источников. Начальные значения составляющих скорости объекта обычно далеки от истинных. В результате, время переходного процесса от обнаружения к сопровождению в известных фильтрах довольно значительно. При неполном измерении координат, например, при наличии только пеленгов, сопровождение осуществляется лишь по наблюдаемым координатам – без вычисления не измеряемых координат и скоростей движения объектов. Напомним [4]: «поскольку все наши измерения и наблюдения выполнены с некоторой долей погрешности, то и вычисленные величины носят приближенный характер. Важнейшей целью подобных расчетов является наилучшее соответствие искомым неизвестным их истинным значениям. Это достигается посредством обработки заведомо большего числа измерений, чем необходимо для определения неизвестных величин».

Существует возможность и в таких условиях добиться необходимой точности сопровождения всех наблюдаемых целей с достоверным определением их неизмеренных координат и скоростей движения на основе поддержания информационной целостности системы. В традиционном ПО принятие решения о принадлежности очередной отметки той или другой прокладываемой траектории осуществляется на основе формального критерия максимума правдоподобия [3], т.е. максимума апостериорной вероятности для правильного объединения измерений местоположения ВС. При большом количестве ложных отметок велика вероятность, что алгоритм выбора на очередном обзоре остановится на одной из них. Очевидно, что и в обычных условиях наблюдения эта вероятность не стремится к нулю. Важно, что процессом сопровождения можно управлять на основе обратной связи от характеристик складывающейся обстановки. Можно приспособливаться к ее изменениям. Заслуга создателей новой схемы [2] в том, что они смогли преодолеть традиционный стереотип мышления. Адаптационные алгоритмы фактически принимают на себя управление процессом подбора точек к эталонной траектории и делают его более целенаправленным. По каждой новой отметке, исходя из условий наблюдения, строится несколько гипотез наиболее вероятного дальнейшего движения объекта и по ним про-

изводятся выбор и привязка точки к существующему эталону. Отметим, что изложенный в [2] подход является предельным случаем метода ветвления упрежденных траекторий, рассмотренного, например, в [3], однако в силу недостаточности компьютерных ресурсов тех лет ветвление стремились минимизировать, а в адаптивной схеме предложено сопровождать каждую траекторию «до тех пор, пока не исчезнет последний шанс продолжать начатое построение» по критериям обработки РЛИ.

Захват на сопровождение производится по первой отметке, поступившей от радара или от пеленгатора, без ожидания ее подтверждения («шанс продолжить построение» существует). Значения не измеряемых координат (дальность при работе с пеленгатором) и скоростей движения предполагаемого объекта задаются в виде гипотез движения, для формирования которых используется априорная информация о диапазонах возможных величин параметров движения – летно-технические характеристики ВС, структура ВП и план его использования, что позволяет производить автоматический захват даже при низкой вероятности обнаружения и порождает линейный (а не экспоненциальный) рост потребностей в компьютерных ресурсах в зависимости от интенсивности потока измеренных отметок источников РЛИ.

Отождествление поступающих отметок со всеми захваченными траекториями объектов с учетом ложных измерений, преднамеренных и случайных помех, неоднозначности и противоречивости данных, обнаружения новых целей – допускает выдвижение одновременно нескольких конкурирующих вариантов идентификации точек (гипотез ассоциации). Из них лишь один соответствует истинному «происхождению» отметок (их истинности), при этом измеренные координаты отметки каждого ВС связаны с конкретным (единственным) типом траектории его движения (реализованная гипотеза движения).

Фильтрация в адаптивной схеме осуществляется субоптимальным гипотезным фильтром второго порядка [2], который обрабатывает все измеренные отметки (в том числе, пеленги), отождествленные с гипотезными траекториями движения объектов, и для каждого сопровождаемого объекта вычисляет апостериорные вероятности достоверности связанных с ним гипотез (траекторий). По значениям апостериорных вероятностей после двух-трех измерений выделяется реализованное движение (гипотеза) объекта. Если осуществлять фильтрацию в системе координат источника РЛИ (в естественной системе координат), тогда будем иметь диагональную матрицу ошибок измерения, что позволит без потери точности сократить объем вычислений с помощью декомпозиции фильтра второго порядка на ряд последовательно включаемых частичных фильтров. Каждый из них, уточняя весь вектор оценок и ковариации оценок, обрабатывает только одну координату: азимут, дальность, высоту, скорость сближения и т.д. Такой состав фильтров – азимутальный, дальностный, радиально-скоростной, высотный – дает возможность обрабатывать любое сочетание измеряемых координат (составляющих вектора) в измеренной метке положения ВС, что необходимо при фильтрации пеленгов, антиподов, уводящих помех по дальности и других следствий переотражения радиолокационных сигналов.

Поставим задачу разработать и исследовать фильтр реального времени, на вход которого поступает последовательность (предыстория) текущих измерений, а результатом является экстраполированная точка, т.е. значение, пролонгированное на следующий обзор антенны. Реализуем компьютерную функцию изменения размера *окна фильтра*, как называют программисты совокупность значений характеристик сопровождения, таких как глубину (длину) предыстории, размер строба экстраполяции, статистически оцениваемую в процессе работы точность измерений и ряд других – в зависимости от уровня динамических и флуктуационных ошибок. Управление длиной предыстории обычно выполняется скачкообразно при маневрах цели (сброс предыстории), мы же преобразуем этот прием в непрерывное (плавное) регулирование и распространим на любое изменение обстановки – ухудшение либо улучшение условий наблюдения, групповые цели, помехи, переотражения и т.д. Изменение размера окна фильтра будем рассматривать как обратную связь в непрерывном процессе адаптации.

2. СПЕЦИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА

Алгоритм управления размером W_{mnk} окна фильтра выполняет следующие функции:

- считывание радиолокационных измерений и характеристик движения из файла входных данных;
- добавление (исключение) элементов в памяти фильтра;
- фильтрация данных с использованием МНК первого и второго порядков;
- вычисление текущих значений коэффициентов уравнения;
- адаптация размера окна ко входным (текущим) радиолокационным данным;
- вычисление упрежденных координат движущегося объекта (экстраполяция);
- принятие решения о регулировании размера окна.

В качестве обратной связи для адаптации памяти фильтра используется измеренный уровень динамических и флуктуационных ошибок. Технологическая схема алгоритма формализуется следующей последовательностью функциональных операций.

1. Если значения $|\tilde{V}| > 1000 \text{ м/с}$ и $W_{mnk} < 110$, (\tilde{V} – радиальная скорость, т.е. коэффициент линейной регрессии на выходе фильтра МНК), то размер окна увеличивается.

2. Иначе вычисляются величины: $E1 = (R - \tilde{R})^2 + \lambda \cdot \delta \tilde{R}^2$ и $E2 = Neviazka + \lambda \cdot \delta R^2$, где $\delta \tilde{R}$ – средняя погрешность; δR – текущая погрешность; $Neviazka$ – невязка (остаточная дисперсия) фильтра МНК; $\lambda = 0.7$ – константа, отражающая накопленную «степень доверия» к алгоритму. Отметим, что $E1$ резко увеличивается в случаях резкого маневра цели (за счет слагаемого $(R - \tilde{R})^2$), а также больших априорных ошибок измерений, хранящихся в памяти фильтра (за счет слагаемого $\lambda \cdot \delta \tilde{R}^2$). Величина $E2$ резко возрастает в случаях больших флуктуационных ошибок (за счет слагаемого $Neviazka$), плавного маневра (за счет слагаемого $Neviazka$), а также большой текущей априорной ошибки измерений (за счет слагаемого $\lambda \cdot \delta R^2$). Эти свойства величин $E1$ и $E2$ учитываются алгоритмом.

3. Если оказывается, что $E1 > E2$ (резкий маневр или неточные данные в памяти фильтра), то принимается решение либо уменьшить размер окна (если выполняются условия $E1 > 1.5 \cdot E2$ или $(R - \tilde{R})^2 > 1.1 \cdot E2$ или $(R - \tilde{R})^2 > 5 \cdot Neviazka$), либо оставить размер окна без изменений (в противном случае).

4. Иначе (если $E1 \leq E2$), то это либо следствие больших ошибок флуктуации, либо большой текущей априорной ошибки, либо плавного маневра. В первых двух случаях размер памяти следует увеличить, в последнем случае память сокращается. Порядок действий:

- если $W_{mnk} < 20$, то принимается решение об увеличении размера (памяти) окна;
- рассчитывается $Neviazka_{1/2}$ – остаточная дисперсия фильтра с размером $W_{mnk}/2$;
- если оказывается, что $Neviazka_{1/2} < 0.5 \cdot Neviazka$, то принимается решение об уменьшении окна в предположении, что это – плавный маневр, который закончился в прошлом и теперь дает динамическую ошибку, либо флуктуации резко уменьшились за период (глубину предыстории) памяти фильтра, и устаревшие значения не нужны;

– иначе, если $Neviazka_{1/2} < 0.8 \cdot Neviazka$, то размер окна не изменяется;

- иначе принимается решение об увеличении размера окна.

5. В любом случае W_{mnk} ограничивается значениями 10 снизу и 255 сверху.

Временная диаграмма работы алгоритма адаптации размера окна по критерию невязки для радиально-скоростного фильтра поясняется на рис. 1. Сверху представлен график изменения размера, ниже расположены графики значений ошибок измерения курса и модуля скорости, на них черными линиями изображены ошибки экстраполяции, а оттенками серого – эталонные

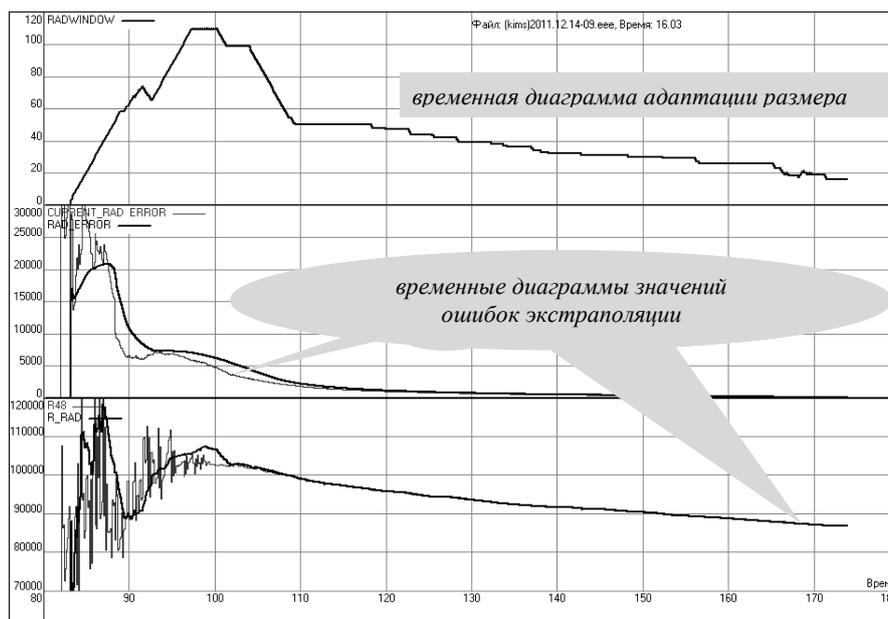


Рис. 1. Временная диаграмма алгоритма управления размерами окна фильтра

значения. Характер кривых одинаков. Сначала глубина памяти нарастает вследствие заметного удельного веса флуктуаций и достигает максимума 110. Прекращение роста (горбик) в окрестности 93-й секунды объясняется тем, что скорость меняет знак. При этом в течение одной секунды перестает выполняться условие $|\dot{V}| > 1000 \text{ м/с}$, и алгоритм работает как при плавном маневре – уменьшает окно. На этом участке маневра нет: скачки (систематические ошибки) величины дальности объясняются ошибками в определении ориентации корпуса изделия в пространстве. На уровне 110 глубина памяти остается до тех пор, пока не стабилизируется систематическая ошибка измерения дальности, после чего память уменьшается для минимизации динамической ошибки. Как только динамическая ошибка исключена, глубина памяти фиксируется, пока априорная ошибка не опускается ниже установленного значения. Далее, с резким падением априорной ошибки уменьшается размер окна. За время наблюдения глубина памяти плавно уменьшается по мере снижения величины ошибки.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Накопление статистики экспериментов осуществлено по традиционной схеме: реализация очередной эталонной траектории, имитация радиолокационных измерений с ошибками, фильтрация точек, оценка качества фильтра по степени близости результата к эталону.

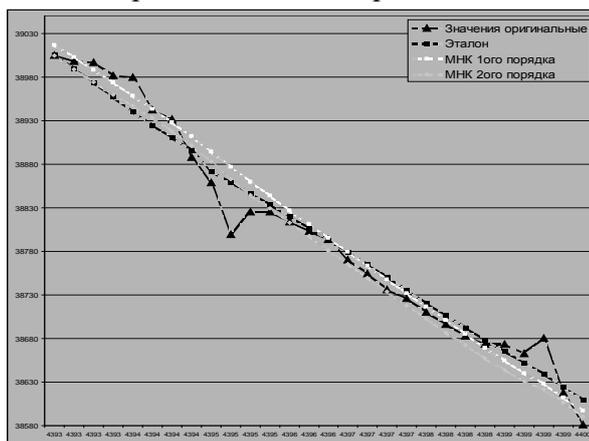


Рис. 2. Результаты фильтрации

измерений с ошибками, фильтрация точек, оценка качества фильтра по степени близости результата к эталону. На рис. 2 последовательность точек эталона сопоставлена с результатами воспроизведения электронной записи их наблюдения радаром (исходные измерения) и с результатами фильтрации этих документально зафиксированных точек с помощью МНК первого (МНК-1) и второго (МНК-2) порядков. Выбор размеров окон для фильтров первого и второго порядков поясняет табл. 1. Основным критерием оценки является параметр *невязка*, т.е. отношение квадратного

корня суммарной величины отклонения отфильтрованных величин i -го порядка ($i = 1, 2$) от эталонных значений к количеству оригинальных (задокументированных) измерений [5].

Исходя из значения невязки, можно судить о рациональности выбора размера окна фильтра. Зависимость обратно пропорциональная: чем меньше невязка, тем качественнее результат. Данные табл. 1 фиксируют, что для МНК 1-го порядка размер окна фильтра оптимален в пределах (35-45), а для МНК 2-го порядка оптимальный размер окна фильтра достигается в промежутке (115-125). Отмеченная закономерность учитывается алгоритмом формирования оптимального размера окна. На рис. 3 приведена диаграмма фильтрации при разных размерах окон (от 10 до 100). Нетрудно видеть, что самыми неудовлетворительными по критерию невязки размерами окон являются 10 и 20. Именно при них результирующее значение сильно отклоняется от эталона. Представленная на диаграмме совокупность результатов служит прототипом количественных ограничений для разработки адапционного алгоритма выбора оптимального размера окна в условиях изменений радиолокационной обстановки в системе ОВД.

Одним из примеров ограничений является сформированная на основе имитационного эксперимента табл. 2, группирующая данные о соответствии оптимальных (адекватных) размеров окон для достижения минимальной невязки при использовании фильтров МНК-1 и МНК-2. Для наглядности табличная форма представления дополнена диаграммами рис. 4 (минимальные размеры окон) и рис. 5 (результаты фильтрации). Черным цветом представлен фильтр МНК-2, оттенком серого – МНК-1.

Таблица 2

min значение (для фильтра 1-го порядка)	Адекватный столбцу (1) размер окна	min значение (для фильтра 2-го порядка)	Адекватный столбцу (3) размер окна
(1)	(2)	(3)	(4)
23,6509	30	27,3509	75
8,12314	30	6,71393	100
5,27562	20	5,783	50
3,21202	30	3,5612	50
7,36648	30	7,68055	50
8,65284	40	7,43993	100
12,2481	40	9,12223	100
5,7008	20	6,90578	125
9,01898	40	6,58495	125
6,81642	30	5,58408	100
2,18733	75	2,30027	75
2,02558	20	2,12055	30
2,15089	40	2,456	150
2,39916	125	2,75844	125

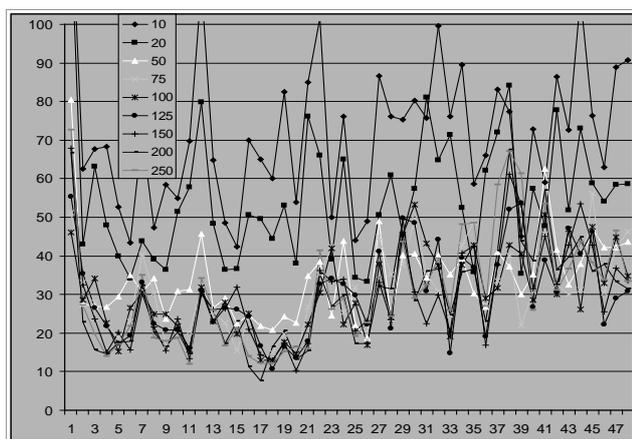


Рис. 3. Фильтрация измеренных точек при разных размерах окон

Для сравнения с графиками (рис. 4, 5) приведена диаграмма работы нерекуррентного фильтра МНК первого порядка и рекурсивного α - β фильтра (рис. 6). Черным цветом обозначены оригинальные данные, пришедшие (воспроизведенные) от локатора. Белым цветом обозначены точки, рассчитанные по результатам фильтрации по методу МНК 1-го порядка, оттенком серого – результаты работы α - β фильтра.

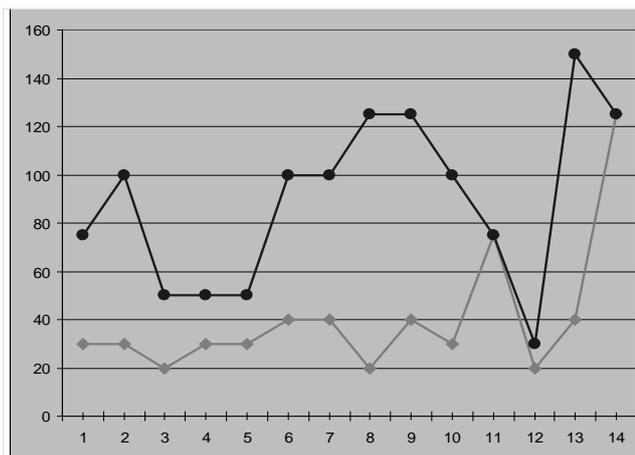


Рис. 4. Диаграмма минимальных размеров окон фильтров МНК-1 и МНК-2

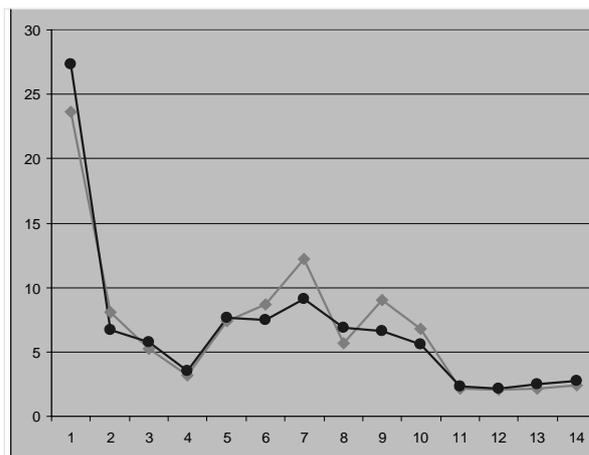


Рис. 5. Диаграмма результатов фильтрации по алгоритмам МНК-1 и МНК-2

В отличие от задачи оценки фиксированных параметров при разработке алгоритмов фильтрации необходимо оценивать динамические процессы прокладки траектории, т.е. находить текущие характеристики изменяющихся во времени сигналов, искаженных помехами, и, следовательно, недоступных непосредственному измерению. В общем случае структура алгоритмов фильтрации зависит от статистических свойств сигнала и помехи.

Управление показателями радиолокации - онного сопровождения ВС осуществляется путем адаптации глубины памяти фильтра к изменяющимся во времени характеристикам сигналов, поступающих с выходов каналов передачи информации. Адаптивный фильтр действует по принципу оценивания статистических параметров поступающего сигнала и подстройки собственной переходной характеристики таким образом, чтобы минимизировать весовую функцию стоимости. Задача адаптивного алгоритма – настраивать по известным правилам [5] весовые коэффициенты в программируемом фильтрующем устройстве, чтобы свести к минимуму разность (ошибку) между сигналами на входе и выходе фильтра.

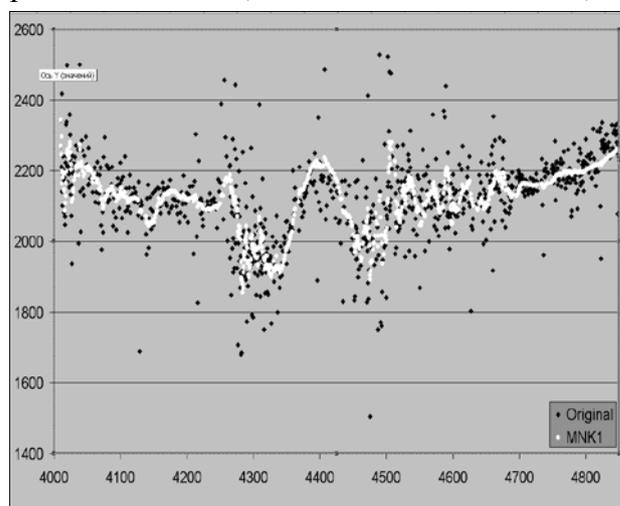


Рис. 6. Диаграмма работы МНК-1 и рекурсивного (α - β) фильтра

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Адаптивные устройства обработки данных используют наличие существующей связи параметров передаточной функции с параметрами входных, выходных, ожидаемых, прогнозируемых и других дополнительных сигналов или с параметрами их статистических отношений, что позволяет с помощью обратной связи автоматически настраиваться на оптимальную обработку сигналов. Для накопления статистики и результатов ее обработки в составе развитого ПО обработки РЛИ предусматриваются подсистемы анализа качества сопровождения воздушных объектов. В простейшем же случае, адаптивное устройство содержит программируемый фильтр обработки данных и алгоритм адаптации, который на основании расчетов специализированной программы анализа входных, выходных и других (дополнительных) данных вырабатывает сигналы управления параметрами программируемого фильтра. При построении систем адаптивной

фильтрации данных большое значение имеют статистические характеристики обрабатываемых сигналов и шумов, их стационарность и наличие какой-либо дополнительной информации, коррелированной с основной. В приложении к радиолокационному сопровождению в гражданской авиации повышение качества обработки результатов измерений может быть достигнуто с помощью использования при фильтрации известных системе данных планов полетов и описаниям структуры воздушного пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Этап определения проекта SESAR (Исследование организации воздушного движения в едином Европейском небе). Документ Евроконтроля DLM-0607-001-02-00, 2007.
2. **Широков Л.Е.** Комплексное гипотезное сопровождение движущихся объектов. // Известия Академии наук. Теория и системы управления. 2000. № 6.
3. **Хазен Э.М.** Алгоритм распознавания ветвящихся гипотез в задаче автозахвата и сопровождения траекторий многих движущихся объектов. // Автоматика и телемеханика. 1996. № 7.
4. **Гаусс К.Ф.** Теория движения небесных тел. Кн. 2, разд. 3, параграф 177. / Цит. по: Математическая энциклопедия / под ред. И. М. Виноградова. - М.: «Советская энциклопедия». 1977. Т. 1. С. 896.
5. **Кузьмин С.З.** Цифровая обработка радиолокационной информации. - М.: «Кн. по Требованию», 2012.

THE ELEMENTS OF MANAGEMENT PARAMETERS OF RADAR TRACKING FOR AIRCRAFT

Lavina V.V., Rudelson L.E.

The increase of flow capacity of air space demands high precision of surveillance and the organization of such actions, as reducing selection norms, flights on free trajectories, transfer of part of controller's functions to the pilot. It is assumed that technical support of such innovations will be carried out on the basis of automatic dependent surveillance-broadcast. The complete elimination of radar maintenance, despite a high error of measurements, isn't rational because failure of the onboard equipment conducts to loss on the earth of current measurement information. In the article the possibilities of improvement of quality of processing of radar information as the surveillance instrument which doesn't depend on a technical condition of the onboard equipment are discussed.

Keywords: processing of radar information, filtration, identification, filters window.

REFERENCES

1. The ATM. Target. Concept. D3. DLM-0607-001-02-00, 2007. SESAR Definition Phase - Deliverable 3. Issued by the EUROCONTROL SESAR Consortium or the SESAR Definition Phase Project - September 2007.
2. **Shirokov L.Ye.** Kompleksnoye gipoteznoye soprovozhshdeniye dvizhshushchikhsya objektov. // Izvestiya Akademiyi nauk, Teoriya i systemy upravleniya. 2000. № 6.
3. **Khazen E.M.** Algorithm raspoznaniya vetvyashchikhsya gipotez v zadache avtozakhvata i soprovozhshdeniya traektoriy mnogikh dvizhshushchikhsya objektov. // Avtomatika i telemekhanika. 1996. № 7.
4. **Gauss K.F.** Teoriya dvizhsheniya nebesnykh tel. Kn. 2, razd. 3, paragraf 177. / Tsit po: Matematicheskaya entsiklopediya / pod red I.M. Vinogradova. - M.: «Sovetskaya entsiklopediya». 1977. T. 1. P. 896.
5. **Kuz'min S.Z.** Tsyfrovaya obrabotka radiolokatsionnoy informatsii. - M.: «Kniga po Trebovaniyu», 2012.

Сведения об авторах

Лавина Виктория Валерьевна, окончила МГТУ ГА (2012), аспирант МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов – программная обработка радиолокационной информации в автоматизированных системах организации воздушного движения.

Рудельсон Лев Ефимович, 1944 г., окончил МЭИ (1968), доктор технических наук, профессор кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 170 научных работ, область научных интересов – программное обеспечение автоматизированных систем организации воздушного движения.