

УДК 623.4

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ КООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В БОРТОВОЙ МНОГОДАТЧИКОВОЙ СИСТЕМЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Е. Г. Борисов,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Л. С. Турнецкий,

канд. техн. наук, доцент

ОАО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», г. Санкт-Петербург

Рассматриваются принципы комплексирования координатной информации о целях в бортовой системе наблюдения летательного аппарата по методу наименьших квадратов по данным нескольких независимых датчиков различной физической природы.

Ключевые слова — комплексирование информации, многодатчиковая система наблюдения.

Введение

В современных бортовых системах управления летательными аппаратами (ЛА) для реализации задач стабилизации и маршрутной навигации производится комплексирование координатной информации [1] от нескольких разнородных бортовых навигационных датчиков, работающих с различными физическими полями, что позволяет повысить одновременно помехозащищенность, точность и достоверность управляющих воздействий. При этом на борту ЛА находится бортовая система наблюдения (БСН), созданная в соответствии с требованиями, рассмотренными в работе [2], и содержащая аппаратуру полезной нагрузки в виде датчиков информации, например радиолокационного, лазерного и оптикоэлектронного. Датчики используются для определения либо координат наземных или воздушных объектов интереса для взаимодействия с ними, либо собственного местоположения ЛА — носителя системы наблюдения — при навигационных вычислениях в выбранной системе координат в случае невозможности использовать типовые навигационные системы.

Оптимальное решение задачи повышения эффективности БСН ЛА состоит в комплексном объединении всех доступных результатов измерений координатной информации об объектах наблюдения от нескольких датчиков в единый вектор измерений с комплексной многомерной

оптимальной обработкой информации. Нелинейная взаимосвязь параметров разнородных датчиков и практически существенно различный темп поступления результатов измерений от них делают аналитический синтез такого измерителя чрезвычайно сложным. Ряд практических методов нелинейной фильтрации применительно к решению задач комплексирования синтезированы и рассмотрены в работах [1–7].

В таких условиях синтез оптимальной структуры системы комплексирования различных бортовых координатных измерительных датчиков должен быть реализован по критерию, обеспечивающему максимальный выигрыш от объединения информации. Поиск такого критерия является целью статьи.

Метод решения

Квазиоптимальный подход к решению задачи комплексирования БСН ЛА из разнородных датчиков в единый функционально, структурно и конструктивно взаимосвязанный измерительный комплекс заключается в отдельной оптимальной фильтрации результатов измерений координат в каждом автономном датчике с последующим комплексным объединением этих результатов с весами, зависящими от точности полученных отдельных оценок. Это позволяет полностью использовать имеющуюся избыточность разнородной информации, благодаря чему появляется

возможность повысить точность, помехоустойчивость, непрерывность и надежность измерений координат, расширить круг решаемых задач и улучшить качество их выполнения.

В результате работы того или иного алгоритма фильтрации результатов известна величина погрешностей оценки вектора параметров координат оцениваемого объекта в каждом датчике ЛА. Алгоритм автоматически вычисляет линейную взвешенную сумму оценок, полученных от разных датчиков. Чем больше погрешность отдельной оценки координат, тем с меньшим весом она используется в результирующей оценке [8].

Рассмотрим постановку задачи комплексирования координатной информации в БСН ЛА следующим образом. Пусть каждый из $i = 1 \div N$ измерительных автономных датчиков, размещенных на ЛА, независимо друг от друга формирует совокупность независимых частных оценок параметра (координат) $\hat{Z}_i = \{\hat{Z}_{i1}, \hat{Z}_{i2}, \dots, \hat{Z}_{iN}\}$.

В качестве таких частных оценок могут выступать, например, дальность до цели, ее угловые координаты, скорости их изменения либо навигационные параметры ЛА. Требуется сформировать точечную оценку \bar{Z}_{opt} измеряемого параметра Z по значениям независимых частных оценок, полученную по данным N независимых датчиков ЛА.

Первоначально рассмотрим систему из двух датчиков, получившую широкое распространение, например в навигационных инерциально-спутниковых или радиолокационно-оптических системах. Двумерную функцию правдоподобия частных оценок параметра (координат) по данным i -го и j -го датчиков с учетом коррелированности результатов измерений датчиков представим [9] как

$$L(\hat{Z}_{iK}, \hat{Z}_{jL} / \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{Z_i}\sigma_{Z_j}} \sqrt{1-k^2}} \exp \left[-\frac{1}{2(1-k^2)} \times \left(\frac{(Z_i - \bar{Z})^2}{2\sigma_{Z_i}^2} - \frac{2k(Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sigma_{Z_i}\sigma_{Z_j}} + \frac{(Z_j - \bar{Z})^2}{2\sigma_{Z_j}^2} \right) \right], \quad (1)$$

где $\sigma_{Z_i}^2, \sigma_{Z_j}^2$ — дисперсии оценок параметра Z по данным i -го и j -го датчиков соответственно; k — коэффициент корреляции результатов измерений датчиков.

Математическое ожидание \bar{Z} и дисперсию оценки параметра на выходе соответствующего датчика оценим по формулам

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \hat{Z}_i, \quad \bar{Z}_j = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \hat{Z}_j$$

$$\text{и } \sigma_{Z_i}^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (Z_i - \bar{Z}_i)^2, \quad \sigma_{Z_j}^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (Z_j - \bar{Z}_j)^2,$$

где I, J — количество отсчетов для оценки дисперсии в первом и втором датчиках.

Максимум функции правдоподобия (1) соответствует минимуму квадратичной формы [9, 10]:

$$\lambda^2 = \frac{1}{2(1-k^2)} \times \left[\frac{(Z_i - \bar{Z})^2}{2\sigma_{Z_i}^2} - \frac{2k(Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sigma_{Z_i}\sigma_{Z_j}} + \frac{(Z_j - \bar{Z})^2}{2\sigma_{Z_j}^2} \right]. \quad (2)$$

Продифференцировав (2) по \bar{Z} и приравняв полученный результат к нулю, выразим искомую величину \bar{Z} , которая считается [10] оптимальной оценкой измеряемого параметра, в виде

$$\bar{Z}_{Kopt} = \left(\frac{\hat{Z}_i}{2\sigma_{Z_i}^2} + \frac{\hat{Z}_j}{2\sigma_{Z_j}^2} - \frac{k(\hat{Z}_i + \hat{Z}_j)}{\sigma_{Z_i}\sigma_{Z_j}} \right) / \left(\frac{1}{2\sigma_{Z_i}^2} + \frac{1}{2\sigma_{Z_j}^2} - \frac{2k}{\sigma_{Z_i}\sigma_{Z_j}} \right). \quad (3)$$

Выражение (3) является комплексной оценкой параметра \bar{Z} , полученного по данным измерений двух датчиков, которые в общем случае могут быть коррелированными.

При равноточных измерениях двух датчиков дисперсия оценки параметра определяется как $\sigma_{\bar{Z}}^2 = 0,5\sigma_{Z_i}^2(1+k)$, поэтому при полной корреляции ($k = 1$) выигрыша в точности достичь невозможно, поскольку $\sigma_{\bar{Z}}^2 = \sigma_{Z_i}^2$.

С уменьшением коэффициента корреляции повышается точность определения координат, и при отсутствии корреляции ($k = 0$) для двух датчиков получим уменьшенную в 2 раза результирующую дисперсию оценки параметра: $\sigma_{\bar{Z}}^2 = 0,5\sigma_{Z_i}^2$.

Минимизация выражения (3) соответствует применению метода наименьших квадратов (МНК).

Тогда при наличии N независимых частных оценок одной координаты от датчиков, число которых превышает или равно количеству оцениваемых параметров, оценку координаты по МНК представим в виде [10]

$$Z_{Kopt} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W}^{-1} \mathbf{Z}, \quad (4)$$

где $\mathbf{A}^T = \|\mathbf{1} \ 2 \ \dots \ N\|$ — матрица размерностью, равной количеству сопрягаемых датчиков; $\mathbf{Z}^T = \|Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_N\|$ — оценки координат по данным N неза-

висимых датчиков; $\mathbf{W} = \left\| \begin{matrix} \sigma_{Z_1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{Z_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{Z_N}^2 \end{matrix} \right\|$ —

матрица ошибок определения координаты соответствующими независимыми датчиками.

Введем в выражение (4) матрицу

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N \end{pmatrix}, \quad (5)$$

которая в данном случае есть матрица управления наблюдениями, позволяющая комплексировать те или иные источники информации — датчики, входящие в систему наблюдения, в зависимости от помехового фона, точности измерения координат, режимов работы и т. д.

С учетом (5) оптимальную оценку координаты (4) по МНК представим как

$$Z_K = (\mathbf{A}^T \Lambda \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \Lambda \mathbf{W}^{-1} \mathbf{z}, \quad (6)$$

причем дисперсия оценки комплексированной величины определяется формулой

$$\sigma_{Z_K}^2 = (\mathbf{A}^T \Lambda \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A})^{-1}. \quad (7)$$

В работе [10] (теорема Гаусса — Маркова о наилучших линейных оценках) показано, что для любого закона распределения случайных ошибок измерений и при линейной зависимости измерений от неизвестных параметров оценка для произвольной системы линейных параметров, получаемая по МНК, имеет минимальные дисперсии среди множества линейных несмещенных оценок. Таким образом, можно утверждать, что при любом составе вектора измерений оценка (6) является несмещенной, эффективной и состоятельной.

При объединении информации от трех датчиков значение комплексированной оценки координаты при некоррелированных измерениях, согласно (6), примет вид

$$\begin{aligned} Z_{K \text{ opt}} &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\sigma_{Z_1}^2} + \frac{1}{\sigma_{Z_2}^2} + \frac{1}{\sigma_{Z_3}^2} \right)} \hat{Z}_1 + \\ &+ \frac{1}{\left(\frac{1}{\sigma_{Z_1}^2} + \frac{1}{\sigma_{Z_2}^2} + \frac{1}{\sigma_{Z_3}^2} \right)} \hat{Z}_2 + \\ &+ \frac{1}{\left(\frac{1}{\sigma_{Z_1}^2} + \frac{1}{\sigma_{Z_2}^2} + \frac{1}{\sigma_{Z_3}^2} \right)} \hat{Z}_3 = \\ &= \frac{\hat{Z}_1 \sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3}^2 + \hat{Z}_2 \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_3}^2 + \hat{Z}_3 \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2}^2}{\sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3}^2 + \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_3}^2 + \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2}^2}. \end{aligned}$$

Дисперсия определения координаты при разноточных коррелированных измерениях определяется как

$$\sigma_{Z_K}^2 = \frac{\sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3}^2 (k_{12}^2 + k_{13}^2 + k_{23}^2 - 2k_{12}k_{13}k_{23} - 1)}{K_{\sigma k}};$$

$$\begin{aligned} K_{\sigma k} &= \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2}^2 (1 - k_{12}^2) + \sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3}^2 (1 - k_{23}^2) + \\ &+ \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_3}^2 (1 - k_{13}^2) + 2\sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2} \sigma_{Z_3} (k_{12}k_{13} - k_{23}) + \\ &+ 2\sigma_{Z_1} \sigma_{Z_2} \sigma_{Z_3}^2 (k_{13}k_{23} - k_{12}) + \\ &+ 2\sigma_{Z_1} \sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3} (k_{12}k_{13} - k_{13}), \end{aligned}$$

где k_{12} , k_{13} , k_{23} — коэффициенты корреляции между 1-м и 2-м, 1-м и 3-м и 2-м и 3-м датчиками соответственно.

При равноточных дисперсиях измерений датчиков, но различных коэффициентах корреляции получим

$$\begin{aligned} \sigma_{Z_K}^2 &= \\ &= \frac{\sigma_{Z_1}^2 (k_{12}^2 + k_{13}^2 + k_{23}^2 - 2k_{12}k_{13}k_{23} - 1)}{k_{12}^2 + k_{13}^2 + k_{23}^2 + 2(k_{12} + k_{13} + k_{23}) - 2(k_{12}k_{13} + k_{12}k_{23} + k_{13}k_{23})}, \end{aligned}$$

для случая разноточных некоррелированных измерений датчиков получим

$$\sigma_{Z_K}^2 = \frac{\sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3}^2}{\sigma_{Z_2}^2 \sigma_{Z_3}^2 + \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_3}^2 + \sigma_{Z_1}^2 \sigma_{Z_2}^2}.$$

Полагая измерения датчиков равноточными и имеющими одинаковый коэффициент корреляции k между N датчиками, используя (7), можно показать, что выражение для среднеквадратической ошибки (СКО) определения координаты примет вид

$$\sigma_{Z_K} = \sigma \sqrt{\frac{(N-1)k+1}{N}}. \quad (8)$$

Отметим, что выражение (8) отличается от случая равноточных некоррелированных измерений, которое при $k = 0$ определяется известной формулой $\sigma_{Z_K} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, что позволяет его применять для оценочных значений в выигрыше точности использования систем со многими датчиками при наличии корреляции между каналами оценивания.

Структурная схема комплексированной системы

При работе комплексированной системы наблюдения со многими датчиками необходимо помимо оценок дисперсий измерений датчиков использовать информацию о типе и степени интенсивности помех на входах различных датчиков.

Это позволит, например, исключить из обработки канал, подавленный помехой, чтобы снизить влияние помехи на результирующую оценку параметра. Кроме того, в ряде случаев необходимо формировать ту или иную временную логику работы датчиков в зависимости от априорной информации.

В современных интеллектуальных радиоэлектронных системах наблюдения широкое распространение получили индикаторы неинформативных параметров (ИНП), которые определяют факт и степень воздействия помехи того или иного вида на датчик. ИНП во многих случаях полагают безынерционными, и их строят на основе следующих известных технических устройств: измерителей мощности, амплитуды, частоты, фазы, длительности импульса и т. д.; обнаружителей; измерителей корреляционных, спектральных, пространственно-временных характеристик сигнала и др. Особенностью их функционирования является то, что выходной сигнал каждого индикатора принимает два значения — «0» или «1» в соответствии с неизменением или изменением анализируемого неинформативного параметра на входе ИНП. Причем безынерционными считаются такие индикаторы, сигналы на выходе которых формируются ранее, чем успевают измениться выходной сигнал измерителя. Регистрируемые с помощью ИНП неинформативные параметры фиксируют какие-либо особенности реализации наблюдаемого сигнала, которые статистически связаны с возможным изменением информативного параметра сигнала на входе измерителя. Например, можно регистрировать изменение уровня шума, спектра, фазы, длительности сигнала, поляризации и т. д. и использовать факт их изменения в определенном порядке для установления различия между истинным и помеховым сигналом. Привлечение для обнаружения изменения одного информативного параметра нескольких ИНП, а также регистрация изменения сигналов на их выходах в определенном порядке ведет к повышению достоверности обнаружения изменения информативного параметра сигнала в условиях помех [11]. Таким образом, ИНП позволяют формировать в БСН признак помехи (ПП) в том или ином канале обработки, что в свою очередь дает возможность выбрать датчик, работающий наиболее достоверно, или получить вес его оценки параметра.

Наличие ПП в том или ином измерительном датчике может быть сформировано на основе принципа суперпозиции и для i -го момента времени может быть представлено, например, в виде $ПП_i = a_{1i}Z_{цi} + a_{2i}Z_{м.пi} + a_{3i}Z_{у.пi}$, где a_{1i} , a_{2i} , a_{3i} — коэффициенты, принимающие значение «0» или «1» в зависимости от того, какая составляющая

входного сигнала присутствует в принимаемой реализации; $Z_{цi}$ — сигнал цели; $Z_{м.пi}$ — сигнал маскирующей помехи; $Z_{у.пi}$ — сигнал уводящей помехи. Перечень помех может быть неограниченно расширен в соответствии с ожидаемыми условиями работы системы. Возможные варианты формирования ПП приведены в таблице.

Признак ПП = 0 (отсутствие помехи, т. е. на входе датчика нет помех какого-либо типа) формируется по данным ИНП, которые являются специализированными устройствами БСН для определения факта постановки помех того или иного типа. При установлении факта постановки шумовых, уводящих, заградительных и других помех ПП = 1.

Очевидно, что логика формирования признака ПП может меняться в зависимости от типа датчика, типа помехи, степени ее воздействия на характеристики БСН и т. д. Также может быть наложено условие выбора того или иного датчика в зависимости от точности оцениваемой координаты путем выполнения операций сравнения оценок дисперсий D_N данных от различных датчиков.

Дополнительно можно организовать проверку на целесообразность комплексирования датчиков по точности и по степени подавления помехами. Для этого проверяется условие $|D_{Z_1} - D_{Z_2}| \leq \Delta$, где Δ — заданное значение порога, и при его выполнении для обоих датчиков формируется значение «1». В противном случае проверяется условие $D_{Z_1} \leq D_{Z_2}$, при его выполнении для первого датчика формируется значение «1», а для второго — «0». В противном случае — наоборот.

■ Вариант формирования признака постановки помех

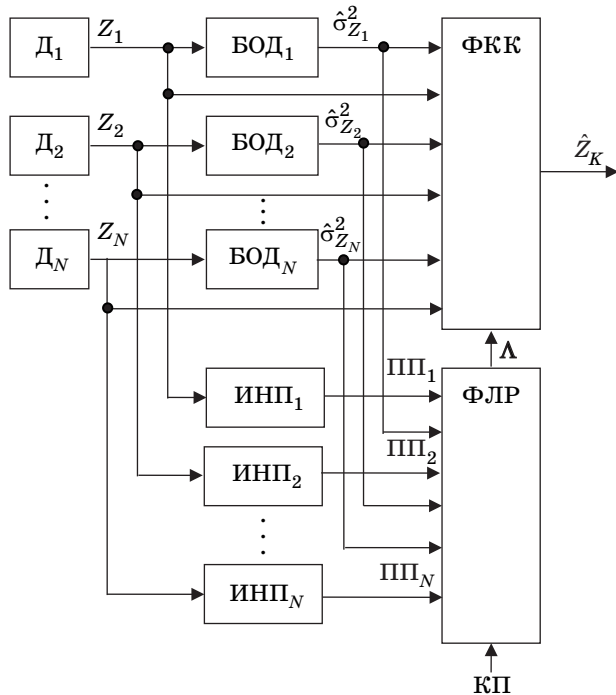
Сигнально-помеховая обстановка на входе системы наблюдения	Значение ПП	Коэффициент					
		a_{1i}		a_{2i}		a_{3i}	
		1	0	1	0	1	0
Отсутствие сигналов	0	0	0	0	0	0	0
Сигнал только цели	0	1	0	0	0	0	0
Сигнал только маскирующей помехи	1	0	0	1	0	0	0
Сигнал только уводящей помехи	1	0	0	0	0	1	0
Сигналы цели и маскирующей помехи	1	1	0	1	0	0	0
Сигналы цели и уводящей помехи	1	1	0	0	0	1	0
Сигналы цели, маскирующей и уводящей помех	1	1	0	1	0	1	0
Сигналы только маскирующей и уводящей помех	1	0	0	1	0	1	0

Структурная схема БСН ЛА с комплексированием информации от нескольких датчиков, реализующая процедуру формирования оптимальной оценки координаты по МНК (6), представлена на рис. 1.

Система наблюдения работает следующим образом. С выходов датчиков $D_1 - D_N$ поступают необходимые информационные координатные сигналы, пропорциональные, например, угловому положению цели, либо скорости его изменения при комплексировании угломерных следящих систем, либо дальности при обработке измерений дальности цели.

Измеренные в датчиках $D_1 - D_N$ координаты объекта поступают на блоки оценки дисперсии ошибок координат $БОД_1 - БОД_N$, где производится оценка дисперсии измеряемой координаты. Одновременно оценки математических ожиданий координат и оценки дисперсий с выходов $БОД_1 - БОД_N$ поступают на соответствующие входы блока формирования комплексной координаты $ФКК$. Информация с выходов датчиков также поступает на входы соответствующих $ИНП$, которые производят оценку постановки помех того или иного типа для соответствующего датчика, формируя на своем выходе дискретное значение «1», если датчику поставлена помеха, или «0», если помехи нет.

С выходов $БОД$ соответствующих информационных датчиков на входы блока формирования логики режимов $ФЛР$ подаются оценки диспер-



■ Рис. 1. Структурная схема устройства комплексирования

сий для выполнения операции сравнения точности процесса измерения и дискретные (бинарные) значения $ПП$, соответствующие помеховому фону измерений по данным $ИНП$, формируя, таким образом, матрицу управления наблюдениями (5).

В блок $ФЛР$ с входа управления вводятся команда приоритета $КП$, которая определяет порядок приоритетности комплексирования того или иного датчика (радиолокационного, оптического, инерциального, спутникового и др.), степень его важности при решении задач на данном этапе наведения. Данная команда может либо вводиться перед началом работы при формировании полетного задания ЛА, либо изменяться оперативно по мере необходимости с использованием, например, радиолинии управления. На большой дальности до объекта приоритет может быть отдан инерциально-спутниковой или пассивной радиотехнической системе наведения. По мере сближения с объектом приоритетность придается радиолокационному, оптическому или лазерному датчику, в зависимости от условий применения.

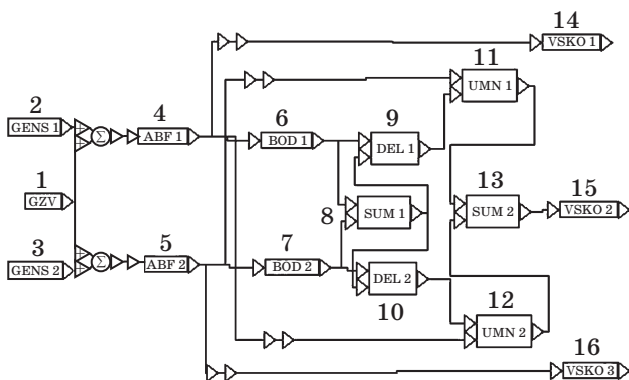
Блок $ФКК$ реализует зависимость (6), формируя таким образом значение комплексированной оценки координат по результатам работы датчиков с учетом оценок дисперсий показаний датчиков и результатов работы $ИНП$. Для этого на входы $ФКК$ поступают оценки координат объекта по результатам измерений датчиков, оценки дисперсий их измерений с выходов $БОД$ и сигнал с выхода $ФЛР$. Данная схема является разновидностью устройств, рассмотренных в работе [8].

В процессе решения задачи комплексирования координатно-измерительной информации об объекте интереса в БСН ЛА в целях оценки эффективности предложенных решений при различных типах датчиков, например радиолокационного и оптикоэлектронного, и условий их применения проведено имитационно-статистическое моделирование процессов комплексирования на ЭВМ в системе наблюдения из двух датчиков при обработке данных с одинаковыми и различными значениями дисперсий результатов измерений при отсутствии и воздействии помех.

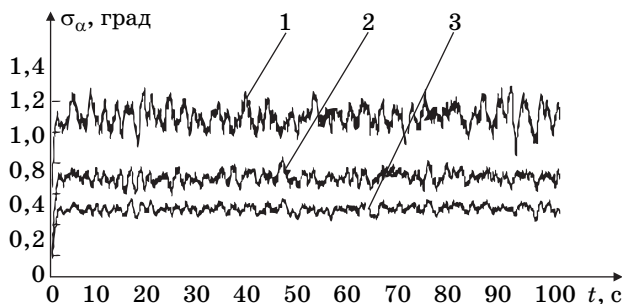
Рассмотрим модель процессов комплексирования в системе наблюдения из двух датчиков (рис. 2), выполненную в среде визуального языка программирования VisSim 5.0 [12]. Она позволяет исследовать три типа задающих воздействий: линейное, ступенчатое и гармоническое — с различными начальными условиями.

Моделирование проводилось при линейном нарастающем задающем воздействии и соответствовало слежению за объектом по угловым координатам.

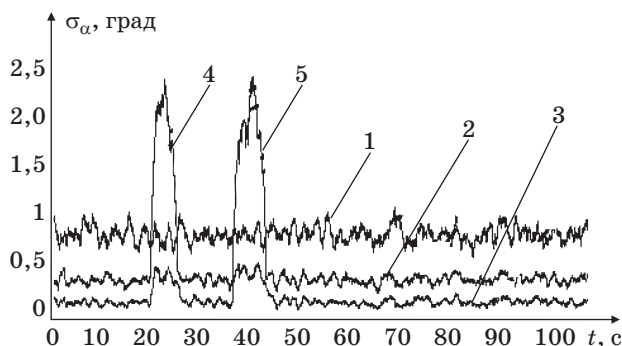
Результаты моделирования зависимости значения СКО ошибки комплексированной системы



■ **Рис. 2.** Структурная схема модели комплексирования в системе из двух датчиков: 1 — генератор задающего воздействия; 2, 3 — идентичные каналы формирования помехового воздействия; 4, 5 — устройства сглаживания и экстраполяции, выполненные на основе α - β -фильтров; 6, 7 — блоки оценки дисперсии; 8, 13 — сумматоры; 9, 10 — делители; 11, 12 — умножители; 14 — 16 — блоки вычисления значений СКО



■ **Рис. 3.** Зависимость от времени значения СКО ошибки определения координат в случае комплексирования данных: 1 — на выходе первого датчика; 2 — на выходе второго датчика; 3 — на выходе комплексированной системы



■ **Рис. 4.** Зависимость от времени значения СКО ошибки определения координат с выхода комплексированной системы (1 — на выходе первого датчика, 2 — на выходе второго датчика, 3 — на выходе комплексированной системы наблюдения) при воздействии помех (4 и 5) на один датчик

от времени при комплексировании данных показаны на рис. 3. СКО измерений угловых координат для первого датчика составляет $\sigma_{\alpha 1} = 1$ град, для второго $\sigma_{\alpha 2} = 0,65$ град.

Зависимости от времени значения СКО определения координаты при воздействии на комплексированную систему уводящей по угловым координатам помехи показаны на рис. 4. Примером такой помехи может быть использование ложных целей — ловушек, на время действия которых в ряде случаев пеленгатор отслеживает положение энергетического центра ловушки, что приводит к отклонению на время линии визирования от направления на цель. Воздействие этой помехи приводит к резкому (скачкообразному) изменению сигнала на входе второго датчика, но при правильно выбранном времени формирования оценки дисперсий результирующее влияние на комплексированную систему нивелируется.

Анализ графиков, приведенных на рис. 3 и 4, позволяет сделать вывод о том, что применение комплексирования в системе многих датчиков дает возможность помимо увеличения точности отслеживания координаты повысить помехозащищенность координатора при воздействии помехи на один датчик или группу датчиков БСН ЛА. Особенностью такой комплексированной системы является то, что воздействие помехи на один из каналов оценивания координаты приводит к увеличению СКО ошибки определения координаты (кривые 4 и 5 рис. 4), но ошибка на выходе схемы (кривая 3 рис. 4 в пределах от 20 до 50 с) возрастает незначительно.

Заключение

Получено выражение для оптимальной оценки координаты объекта по МНК ошибки при комплексировании результатов измерений в БСН ЛА со многими датчиками.

Комплексирование датчиков различной физической природы, отслеживающих изменение одного и того же процесса, позволяет уменьшить СКО ошибки оцениваемой координаты в условиях как одинаковой, так и различной точности первичных измерений датчиками.

Применение ИНП при комплексировании информации измерителей координаты в БСН ЛА позволяет добиться нейтрализации действия помехи по одному из информационных каналов и минимизации ее воздействия на систему наблюдения.

Недостатком применения комплексирования в БСН является значительное время переходного процесса формирования оценки координаты объекта, что вызвано необходимостью временных затрат на накопление для оценки дисперсий результатов измерений датчиков.

Литература

1. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. — Л.: Машиностроение, 1984. — 207 с.
2. Тетерин Д. П. Синтез требований к бортовому информационно-измерительному и моделирующему комплексу // Информационно-управляющие системы. 2009. № 1(56). С. 10–14.
3. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. — М.: Радио и связь, 1985. — 344 с.
4. Турнецкий Л. С. и др. Авиационные системы радиоперехвата: монография. Т. 3 / Под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. — М.: Радиотехника, 2004. — 320 с.
5. Анцев Г. В., Борисов Е. Г., Турнецкий Л. С. Интеллектуальные комплексированные системы самонаведения с координаторами различной физической природы // Вопросы оборонной техники. Сер. 9 / ФГУП ЦНИИ АГ. М., 2011. Вып. 1(246) – 2(247). С. 124–128.
6. Бобнев М. П., Кривицкий Б. Х., Ярлыков М. С. Комплексные системы радиоавтоматики. — М.: Сов. радио, 1968. — 232 с.
7. Бачевский С. В., Борисов Е. Г., Турнецкий Л. С. Оптимальная фильтрация в системах сопровождения с переменной структурой // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. 2010. Вып. 1. С. 98–104.
8. Патент на полезную модель № 77690. МПК G01S13/66. Следящая система / Анцев Г. В., Турнецкий Л. С., Борисов Е. Г. и др. (РФ). — № 2008123277; заявл. 09.06.08; опубл. 27.10.08. Бюл. № 30.
9. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. — М.: Мир, 1985. — 272 с.
10. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. — М.: Сов. радио, 1978. — 384 с.
11. Зайцев Д. В. Многопозиционные радиолокационные системы. Методы и алгоритмы обработки в условиях помех. — М.: Радиотехника, 2007. — 96 с.
12. Дьяконов В. П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 384 с.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Российская универсальная национальная электронная библиотека (РУНЭБ) начала реализацию проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте РУНЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющихся в базе данных РУНЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, в том числе добавлять публикации, которых нет в базе данных РУНЭБ, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.