

2. Радиотехнические системы в ракетной технике /Под ред. В.И.Галкина.-М.:МО СССР,1974-340с.
3. Монин М.А., Ягудина И.М. Радиолокационная заметность самолётов (по материалам открытой иностранной печати).-ОНТИ.-1986.-№665.-С.75-87.
4. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки.-М.:Сов. радио,1968.-322с.
5. Алимин Б.Ф. Современные разработки поглотителей электромагнитных волн и радиопоглощающих материалов //Зарубежная радиоэлектроника.-1989.-№2.-С.75-82.
6. Шнейдерман Я.А. Радиопоглощающие материалы //Зарубежная радиоэлектроника.-1975.-№3.-С.71-92.
7. Мировицкий Д.И., Будагян И.Ф., Дубровин В.Ф. Микроволноводная оптика и голография.-М.:Наука,1983.-318с.
8. Куртсеитов Т.Л. Определение распределённых параметров радиомаскировочных покрытий по поверхностному сопротивлению //Захист інформації.-2001.-№4.-С.35-45.
9. Richards P.I. Resistor-transmission-line circuits //Proc.,1948,v.36,p.217-220.
10. Young L. Until real functions in transmission-line circuit theory //IRE Trans. Circuit Theory, 1960, v.СТ-7,p.247-250.
11. Microwave filters and circuits /Ed. By A. Matsumoto. Research institute of applied Electricity Hokkaido University, Japan, 1976.-248p.

Поступила 26.02.2003

После доработки 20.05.2003

УДК 629.7.072.1

Блохин Л.Н., Кошечая Л.А.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОЙ ВИНЕРОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ОЦЕНИВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Задачи оптимальной фильтрации, как правило, решаются при использовании некоторых гипотетических моделей динамики заданной части системы (измерительного устройства), входных воздействий и помех.

При решении таких ответственных задач как динамическая аттестация бортовых измерительных систем летательных аппаратов в наземных условиях [1], ряда задач преобразования навигационной информации может быть полезно применение моделей динамики измеряемого вектора сигналов, которые не выбираются по литературным источникам, как делается в настоящее время, а формируются с использованием более точных экспериментальных оценок измеряемого вектора сигналов. В этом случае качество процессов оптимальной фильтрации измеряемой информации оказывается существенно более высоким.

Как модель входных воздействий (измеряемых сигналов) в ответственных трактах измерений можно использовать результаты измерений, получаемые согласно предложенному [2] ниже алгоритму оценивания. Представленный алгоритм оценивания полезен в задачах прямого и обратного преобразований навигационной информации, поскольку в них предполагается оптимальное оценивание первичной информации для ее дальнейшего наиболее эффективного использования в преобразующих и управляющих системах летательного аппарата.

Рассмотрим типовую задачу [3] винеровской многомерной фильтрации (рис.1). Здесь введены следующие обозначения: первый блок - измерительная система с матрицей

передаточних функцій K , второй блок - фильтр-наблюдатель с искомой матрицей передаточных функций G ; r , φ и i - Фурье-образы векторов программных сигналов, помех и "желаемых" сигналов системы (r , и i - n -мерные векторы, φ - m -мерный вектор).

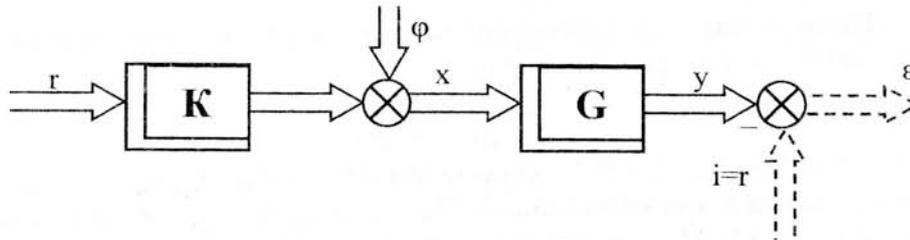


Рис 1. Структурная схема измерительного тракта с оптимальным фильтром

Пусть известны матрицы спектральных и взаимных спектральных плотностей векторов измеряемых сигналов r , помех измерений φ , S_{rr} , $S_{\varphi\varphi}$, $S_{r\varphi}$, $S_{\varphi r}$, матрица спектральных плотностей желаемых сигналов i S_{ii} , а также матрица передаточных функций измерителя K . Требуется сформировать оптимальные структуру и параметры многомерного фильтра G , который предполагается установить в исследуемом измерительном тракте.

Матрица передаточных функций многомерного фильтра-наблюдателя G определяется по аналогии с известным [3] алгоритмом синтеза оптимальных структур многомерного фильтра в тракте измерений.

Новый алгоритм оптимального оценивания (восстановления) динамических характеристик сигналов, непосредственно поступающих на входы многомерной измерительной системы, также создан на основе использования известного [3] алгоритма синтеза оптимальной структуры многомерного винеровского фильтра. Полагая входной сигнал r и помеху φ некоррелированными, по известной матрице передаточных функций измерителя K , спектральным плотностям оценок выходных сигналов измерителя $S_{\hat{x}\hat{x}}$ и помех измерения $S_{\hat{\varphi}\hat{\varphi}}$, которые могут быть получены по результатам идентификации измерительной системы, в соответствии с алгоритмом оценивания [2] предлагается восстановить (рис.2) непосредственно измеряемый сигнал (основные обозначения на рис.2 сохранены). В этом случае измеряемый сигнал \hat{r} формируется из сигналов "белого шума" Δ формирующим фильтром с искомой матрицей передаточных функций F .

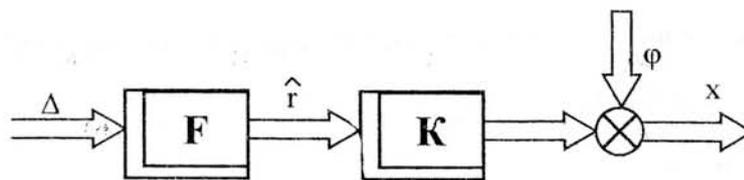


Рис.2. Структурная схема измерительного канала с формирующим фильтром F

Новую задачу оптимального оценивания выходного состояния измерительной системы при случайных воздействиях поставим и решим следующим образом. Пусть измеряется реакция x объекта K , и измерения сопровождаются помехами φ . Результат измерений запишем как

$$x(s) = K(s)r(s) + \varphi(s), \quad (1)$$

где $x(s)$ - Фурье-образ n -мерного вектора выходных сигналов измерительной системы;
 $K(s)$ - матрица передаточных функций системы;

$r(s)$ - Фурье-образ n -мерного вектора измеряемых случайных сигналов (спектральная плотность S_{rr});

$\varphi(s)$ - Фурье-образ n -мерного вектора помех измерений. Векторы r и φ представляют собой центрированные стационарные случайные процессы с известными матрицами спектральных плотностей S_{rr} , $S_{\varphi\varphi}$.

При дальнейшем рассмотрении задачи считаем, что вектор программных сигналов r может быть представлен в виде

$$r(t) = F \cdot \delta(t),$$

где $\delta(t) = [\delta_1(t), \delta_2(t), \dots, \delta_n(t)]'$ - n -мерный вектор-столбец, компонентами которого являются δ -коррелированные "белые" шумы с единичными дисперсиями;

F - искомая матрица передаточных функций формирующего фильтра размерности $n \times n$, элементы которой суть операторные функции аргумента p .

Преобразовав уравнение $r(t)$ по Фурье, перепишем его как

$$r(s) = F(s) \cdot \Delta(s), \quad (2)$$

Подставив уравнение (2) в выражение (1), запишем последнее в виде

$$x(s) = K(s)F(s)\Delta(s) + \varphi(s). \quad (3)$$

Опустив для простоты записи аргумент s и учитывая, что в равенстве (3) используются оценки динамических характеристик векторов x и φ , полученные по данным эксперимента, это уравнение перепишем как

$$x = KF\Delta + \varphi. \quad (4)$$

Если определитель матрицы K - гурвицев, сигналы r и φ - некоррелированы и известны матрицы спектральных плотностей оценок векторов x и φ , то согласно теореме Винера-Хинчина запишем матрицу спектральных плотностей реакции x как

$$S_{xx}^j = KFS'_{\Delta\Delta}F^*K^* + S_{\varphi\varphi}^j.$$

Тогда матрица спектральных плотностей вектора полезных сигналов на выходе системы имеет вид

$$KFS'_{\Delta\Delta}F^*K^* = S_{xx}^j - S_{\varphi\varphi}^j. \quad (5)$$

Факторизовав выражение (5), получим матрицу передаточных функций формирующего фильтра

$$F = K^{-1} (S_{xx}^j - S_{\varphi\varphi}^j)^+, \quad (6)$$

где знак "+" сверху обозначает, что матрица $(S_{xx}^j - S_{\varphi\varphi}^j)^+$ подлежит винеровской операции факторизации.

При известной матрице F оценка матрицы спектральных плотностей входного сигнала имеет следующий вид

$$S_{rr}^j = FF^* = K^{-1}(S_{xx}^j - S_{\varphi\varphi}^j)K^{-1*}. \quad (7)$$

Результат решения этой задачи - оптимальные структура и параметры искомого винеровского фильтра. Восстановленный сигнал \hat{r} в дальнейшем может использоваться как входной (измеряемый) и "желаемый" сигналы для построения фильтра-наблюдателя в

разных навигационных системах при использовании процедур винеровской оптимальной фильтрации.

Рассмотрим задачу синтеза оптимальной структуры фильтра-наблюдателя G_0 , в которой использованы полученные экспериментально: матрица спектральных плотностей уточненной оценки входного сигнала $S_{\hat{x}\hat{x}}$, оценки матриц спектральных плотностей помехи измерения $S_{\phi\phi}$, спектральных плотностей выходного сигнала S_{yy} , матрица передаточных функций измерителя K .

Структурная схема, соответствующая этой задаче представлена на рис.3

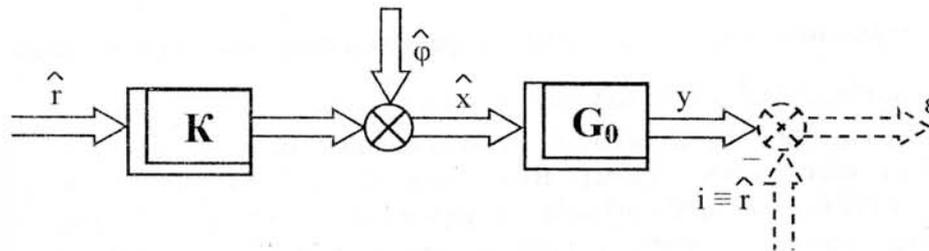


Рис.3 Структурная схема измерительного канала с оптимальным фильтром-наблюдателем G_0

Используя предложенный в [3] алгоритм синтеза оптимальной структуры фильтра при уточненном входном сигнале определим структуру оптимальной передаточной функции фильтра-наблюдателя G_0 .

Уравнение выходной реакции измерительной системы (рис.3) имеет вид

$$y = G_0(K\hat{x} + \phi). \quad (8)$$

Как функционал качества измерений в системе используем выражение

$$e = \langle \varepsilon'R\varepsilon \rangle = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}[S'_{\varepsilon\varepsilon}R]ds, \quad (9)$$

где $S_{\varepsilon\varepsilon}$ - матрица спектральной плотности ошибки измерений;

tr - след матрицы;

R - известная положительно определенная симметрическая весовая матрица.

Задача состоит в том, чтобы выбором структуры G_0 доставить минимум функционалу (9) и обеспечить устойчивость вычислителя, который реализует оптимальный фильтр.

Задачу выбора функции G_0 решим методом Винера-Колмогорова. В соответствии с процедурой метода первая вариация функционала (9) запишется выражением

$$\delta e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \{ [R(G_0K - E_n)S_{\hat{x}\hat{x}}K_* + RG_0S_{\phi\phi}] \delta G_{0*} + \delta G_0 [KS_{\hat{x}\hat{x}}] (K_*G_{0*} - E_n)R + S_{\phi\phi} G_{0*}R \} dS \quad (10)$$

Алгоритм для определения оптимальной структуры фильтра-наблюдателя запишем в виде

$$G_0 = \Gamma^{-1}(N_0 + N_+)D^{-1}, \quad (11)$$

где Γ - результат факторизации матрицы $\Gamma_*\Gamma = R$;

матрица $(N_0 + N_+)$ -результат сепарации выражения $N = N_0 + N_+ + N_- = \Gamma FF_* K_* D_*^{-1}$;
 D - результат факторизации матрицы

$$DD_* = KS_{ff}^* K_* + S_{\phi\phi}^* = KFF_* K_* + S_{\phi\phi}^* . \quad (12)$$

С целью оценивания изменений минимального значения показателя качества e_{\min}/σ_f^2 и оптимальных параметров структуры G_0 в задачу анализа включают и стадию исследований изменения качества системы с изменением эксплуатационных ситуаций. Так, например, варьируя значениями коэффициента усиления передаточной функции измерителя, а также отношением дисперсий помех измерений σ_{ϕ}^2 и входного сигнала σ_f^2 (т.е. вводя параметр $\gamma^2 = \sigma_{\phi}^2/\sigma_f^2$ - "шум-сигнал"), можно оценить характер изменения относительного критерия качества измерений e_{\min}/σ_f^2 в функции параметров γ^2 и k .

Для подтверждения эффективности использования экспериментально уточненного входного сигнала рассмотрим пример измерения угловой скорости ЛА в одном из измерительных каналов с применением измеряемого входного сигнала, взятого по литературным источникам и входного сигнала, восстановленного с помощью алгоритма оценивания [2].

Пусть передаточная функция для одного из каналов измерения угловых скоростей имеет вид

$$K = \frac{k}{0.1s + 1}, \quad \text{В}\cdot\text{с}/\text{град}, \quad (13)$$

где k - коэффициент усиления передаточной функции измерителя.

Спектральная плотность S_{ff}^* программного сигнала, подлежащего измерению, взятая для канала измерения угловой скорости по литературным источникам [5], имеет вид

$$S_{ff}^* = \left| \frac{1.297s + 0.507}{1.714s^2 + 1.69s + 1} \right|^2, \quad \text{град}^2/\text{с}. \quad (14)$$

Спектральную плотность помехи, действующей в тракте измерения угловой скорости, взятую по литературным источникам [5], запишем как

$$S_{\phi\phi}^* = \frac{\sigma_{\phi}^2}{\pi} \frac{10^{-5}}{|1.12 \cdot 10^{-4} s + 1|^2}, \quad \text{В}^2\cdot\text{с}. \quad (15)$$

Используя известный [3] алгоритм синтеза оптимальной структуры скалярного фильтра-наблюдателя измерения угловой скорости канала крена измерителя, определим оптимальную передаточную функцию G вычислителя (фильтра-наблюдателя) для модели входного сигнала, выбранного по литературным источникам.

Рассмотрим использование модели входного сигнала, уточненного по результатам измерений, когда известна спектральная плотность выходного сигнала X , динамическая характеристика измерительной системы, а также модели динамики помех измерений, определенные экспериментально. В этом случае спектральная плотность выходного сигнала с блока датчиков угловых скоростей имеет вид [6]

$$S_{xx}^* = \frac{\sigma_x^2}{\pi} \left| \frac{0.419(0.895s + 1)}{0.16s^2 + 0.636s + 1} \right|^2 10^{-3}, \quad \text{В}^2\cdot\text{с}, \quad (16)$$

а спектральная плотность уточненного входного сигнала представляется следующим образом

$$S_{ff}^* = \frac{\sigma_f^2}{\pi} 10^{-3} \left(\frac{-1.4003 \cdot 10^{-1} s^2 + 1.655}{1.46s^4 - 3.89s^2 + 5.31} \right) = \frac{\sigma_f^2}{\pi} \left| \frac{9.2 \cdot 10^{-1}(s+1)}{1.2s^2 - 1.97s + 2.3} \right|^2, \quad \text{град}^2/\text{с}. \quad (17)$$

Используя алгоритм синтеза [2] оптимальной структуры фильтра-наблюдателя для уточненного входного сигнала определим структуру передаточной функции G_0 .

Подставляя оптимальную структуру G_0 в функционал качества (9), определим изменение минимального значения относительной дисперсии ошибки измерения угловой скорости крена при уточненном входном сигнале

$e_y = e_{\min} / \sigma_{\Gamma}^2$ для различных значений параметра γ^2 "шум-сигнал" и коэффициента усиления k измерителя.

Сравнительная эффективность измерения угловой скорости крена для обоих вариантов фильтров-наблюдателей G и G_0 , синтезированных в измерительном канале приведена в таблице. Здесь e_b - относительная дисперсия ошибки измерения угловой скорости в канале крена при синтезированном оптимальном фильтре-наблюдателе G (базовый вариант), e_y - то же при синтезированном фильтре-наблюдателе G_0 (уточненный вариант).

γ^2	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1
e_b/e_y	2.45	2.68	3,48	3,63	4,45

На примере измерения угловой скорости крена видно, что с увеличением уровня шума сравнительная эффективность показателей качества уточненной измерительной системы по сравнению с базовой возрастает. Дисперсия ошибки в базовой системе при этом почти в четыре с половиной раза больше дисперсии ошибки в уточненной системе.

Литература:

1. Блохин Л.Н. Динамическое проектирование оптимальных произвольных структур комплексов стабилизации движения при стохастических эксплуатационных воздействиях. Автореф. дис. д-ра техн. наук / КИИГА.-К., 1985.
2. Кошечая Л.А. Автономное оптимальное оценивание стохастических отклонений ЛА от траектории крейсерского полета: Автореф.дис...канд.техн.наук (ДСП): К. НАУ, 2002 - С.16
3. Блохин Л.Н. Оптимальные системы стабилизации. К.: Техника, 1982. -144 с.
4. Блохин Л.Н. Оптимизация характеристик измерительных устройств: Конспект лекций.- К.: КМУГА, 1997.-104 с.
5. Доброленский Ю.П. Динамика полета в неспокойной атмосфере.- М.: Машиностроение. 1969.-256 с.
6. Азарсков В.Н., Косюк М.Ю., Кривоносенко А.П. Определение динамических характеристик навигационных сигналов по данным летных испытаний // Моделирование полета в задачах эксплуатации ВС ГА.- К: КИИГА.-1985.-С.62-68.

Поступила 21.01.2003

После доработки 9.06.2003

УДК 861.3.004

Козлов В.С., Хорошко В.О.

Кількісна оцінка захищеності інформації

Метою технічного захисту інформації (ТЗІ) є запобігання витоку або порушенню цілісності інформації (ІзОД). Ця мета може бути досягнута побудовою системи захисту інформації, що є організованою сукупністю методів і засобів забезпечення ТЗІ.

Технічний захист здійснюється поетапно:

- 1 етап – визначення й аналіз загроз.