На правах рукописи

РОЖКОВА ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА

ОЦЕНИВАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЙ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ С ПАМЯТЬЮ

05. 13. 01 –Системный анализ, управление и обработка информации
(в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук

Томск – 2006

Работа выполнена на кафедре прикладной математики Томского Государственного Университета.

Научный руководитель:

доктор физико–математических наук,
профессор Демин Николай Серапионович

Официальные оппоненты:

доктор физико–математических наук,
профессор Кошкин Геннадий Михайлович

доктор физико–математических наук,
профессор Якупов Рафаэль Темирович

Ведущая организация:

Красноярский государственный технический университет

Защита состоится:

26 января 2006г. в 10.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.12 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г.Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомится:

В научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан: "____"_____ 2006г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.т.н., профессор Смагин В.И.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Широкий класс задач обработки наблюдений заключается в следующем : по реализации $z_0^t = \{z_\sigma; 0 \leq \sigma \leq t\}$ случайного процесса z_t необходимо для случайного процесса x_t найти оценки $\mu[\sigma, t; z_0^t]$ (задача оценивания), либо построить решающее правило $\delta[t; z_0^t]$ (задача распознавания) о состояниях x_t. Задачи оценивания в зависимости от соотношения между моментом окончания наблюдения t и моментом времени σ, в который необходимо получить оценку $\mu[\sigma, t; z_0^t]$ для x_σ, разделяются на три типа: фильтрация ($\sigma = t$); интерполяция ($\sigma < t$); экстраполяция ($\sigma > t$). *Предмет исследования* диссертации - задачи оценивания и распознавания.

Рассмотрение проблемы оценивания случайных процессов было начато классическими работами А.Н. Колмогорова и Н. Винера, в которых были решены задачи минимизации среднеквадратической ошибки оценок фильтрации, интерполяции и экстраполяции стационарных случайных процессов в классе линейных фильтров. Следующим фундаментальным вкладом в развитие теории оценивания случайных процессов являются работы Р.Е. Калмана и Р.С. Бьюси, в которых дается решение задач дискретной и непрерывной линейной фильтрации и предсказания. Наиболее значительным вкладом в решение задач нелинейного оценивания являются работы Р.Л. Стратоновича, Р.Ш. Липцера и А.Н. Ширяева, Дж.Р. Фишера и Е.Б. Стира, Б.Д.О. Андерсона, Т.Накамизо , В.С. Пугачева. В этих работах оба процесса x_t и z_t одновременно являются процессами с непрерывным, либо дискретным временем. На практике распространена ситуация, когда вместе с непрерывными наблюдениями z_t могут присутствовать в отдельные моменты времени дискретные наблюдения $\eta(t_m)$ $(m = 0, 1, 2, ...)$. Принципиально новая ситуация заключается в том, что наблюдаемые процессы z_t и $\eta(t_m)$ обладают памятью произвольной кратности N относительно ненаблюдаемого процесса, т.е z_t и $\eta(t_m)$ зависят не только от текущих, но и от произвольного

числа N прошлых значений $x_{\tau_1}, x_{\tau_2}, ..., x_{\tau_N}$ процесса x_t. Для подобного класса процессов в работах О.Л. Абакумовой, Н.С. Дёмина и Т.В. Сушко рассмотрены задачи фильтрации и обратной экстраполяции. Другим важным классом задач являются задачи синтеза алгоритмов оценивания в условиях наличия аномальных помех. Таким образом, актуальной является проблема решения задач оценивания и распознавания процессов с непрерывным временем в случае совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью произвольной кратности N.

Цели диссертационной работы. 1) Рассмотреть обобщенную скользящую экстраполяцию с фиксированной памятью многомерного процесса с непрерывным временем x_t, когда наблюдаемые многомерные процессы с непрерывным z_t и дискретным $\eta(t_m)$ временем обладают фиксированной памятью произвольной кратности $N \geq 1$. 2) Рассмотреть задачу синтеза и анализа свойств фильтра-интерполятора для процессов с непрерывным временем по непрерывно-дискретным наблюдениям с памятью произвольной кратности N, когда в наблюдениях присутствуют аномальные помехи. 3) Рассмотреть задачу оптимального распознавания стохастических процессов с непрерывным временем по непрерывно-дискретным наблюдениям с памятью произвольной кратности и задачу обнаружения аномальных помех в дискретных наблюдениях с памятью произвольной кратности.

Методика исследования. Методы исследования включают в себя методы математического анализа, линейной алгебры и теории матриц, теории случайных процессов, теории обыкновенных и стохастических дифференциальных уравнений, статистики случайных процессов, теории статистических решений.

Научная новизна. 1) Рассмотрена задача *обобщенной скользящей экстраполяции* стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с *фиксированной памятью* произвольной кратности в общем нелинейном и условно–гауссовском случае. 2) Осуществлен совместный синтез оптимального в среднеквадратическом

смысле несмещенного *фильтра-интерполятора* в случае непрерывно-дискретных наблюдений с фиксированной памятью произвольной кратности при наличии аномальных помех и исследованы свойства полученного решения. 3) Решены задачи распознавания состояний случайных процессов по непрерывно-дискретным наблюдениям с фиксированной памятью произвольной кратности, обнаружения аномальных помех в дискретных каналах наблюдения и исследовано качество обнаружения.

Теоретическая ценность работы. Результаты диссертации могут служить основой для дальнейших исследований в области решения задач оценивания и распознавания случайных процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью.

Практическая ценность работы. Теоретические результаты могут быть использованы при разработке систем обработки измерений, систем управления, навигационных систем и систем управления подвижных объектов, когда доступная измерению (наблюдению) информация является непрерывно-дискретной во времени, наблюдения обладают памятью относительно ненаблюдаемого процесса и в системе присутствуют неопределенности типа аномальных помех.

Апробация работы. Основные результаты докладывались на следующих конференциях и симпозиумах:1) Международная конференция "Всесибирские чтения по математике" (Томск, 1997). 2) Russian-Korean International Symposium of Science and Technology "Korus" (Новосибирск 1999, Томск 2001). 3) IV Сибирский Конгресс по прикладной и индустриальной математике "INPRIM" (Новосибирск 2000).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, четырех приложений и списка литературы общим объемом 207 страниц, включая 25 рисунков. Библиография насчитывает 145 наименований.

Краткое содержание диссертации.

Во введении показывается актуальность работы, дается краткий обзор работ других авторов, формулируется цель работы, обосновывается выбор методики исследования, указывается область применения результатов и приводится краткое содержание диссертации.

В первой главе диссертации рассматривается задача *обобщенной скользящей экстраполяции* стохастических процессов с непрерывным временем по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с фиксированной памятью произвольной кратности. В п.1.1 формулируется постановка задачи Главы 1. Пусть $n-$мерный ненаблюдаемый процесс x_t и $r-$мерный наблюдаемый процесс z_t с непрерывным временем определяются стохастическими дифференциальными уравнениями (в смысле Ито)

$$dx_t = f(t, x_t)dt + \Phi_1(t, x_t)d\omega_t, \quad t \geq 0, \; x_0 \sim p_0(x), \tag{1}$$

$$dz_t = h(t, x_t, x_{\tau_1}, x_{\tau_2}, x_{\tau_3}, ..., x_{\tau_N}, z_t)dt + \Phi_2(t, z_t)d\upsilon_t, \tag{2}$$

а в дискретные моменты времени t_m $(m = 0, 1, 2, ...; \; t_0 \geq 0)$ наблюдается $q-$мерный процесс $\eta(t_m)$ вида

$$\eta(t_m) = g(t_m, x_{t_m}, x_{\tau_1}, x_{\tau_2}, x_{\tau_3}, ..., x_{\tau_N}, z_{t_m}) + \Phi_3(t_m, z_{t_m})\xi(t_m), \tag{3}$$

где: $0 \leq t_0 < \tau_N < \tau_{N-1} < ... < \tau_1 < t_m \leq t; \tau_k = const$; ω_t и υ_t – соответственно r_1 и r_2-мерные стандартные винеровские процессы; $\xi(t_m)$ – r_3-мерная стандартная белая гауссовская последовательность; $Q(\cdot) = \Phi_1(\cdot)\Phi_1(\cdot)^T, \; R(\cdot) = \Phi_2(\cdot) \cdot \Phi_2(\cdot)^T, \; V(\cdot) = \Phi_3(\cdot) \cdot \Phi_3(\cdot)^T$ – невырожденные матрицы (T–транспонирование). Задача: Для моментов времени $t + T_1, t + T_2, t + T_3, ..., t + T_L$, таких что $T_1 < T_2 < T_3 < ... < T_L$ и $T_l = const, \; l = \overline{1; L}$, по совокупности непрерывных $z_0^t = \{z_\sigma; 0 \leq \sigma \leq t\}$ и дискретных $\eta_0^m = \{\eta(t_0), \eta(t_1), \eta(t_2), ..., \eta(t_m); \quad 0 < t_0 < t_1 < ... < t_m \leq t\}$ наблюдений одновременно найти оптимальные в среднеквадратическом смысле оценки (ОСКСО) экстраполяции $\mu(t+T_l, t)$ для будущих значений $x_{t+T_l}, \; l = \overline{1; L}$, ненаблюдаемого процесса x_t. Если $t + T_l = s_l = const$,

$l=\overline{1;L}$, $s_1<s_2<s_3<...<s_L$, то будем иметь задачу *обобщенной обратной экстраполяции.*

В п.1.2 получено *основное уравнение нелинейной обобщенной скользящей экстраполяции с фиксированной памятью* (ОУНОСЭФП) для совместной апостериорной плотности

$$p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)=\frac{\partial^{N+L+1}\mathcal{P}\{x_t\le x;\ \tilde{x}^N_\tau\le\tilde{x}_N;\ \tilde{x}^L_{t+T_L}\le\tilde{x}^L|z^t_0,\ \eta^m_0\}}{\partial x\partial\tilde{x}_N\partial\tilde{x}^L} \qquad (4)$$

значений ненаблюдаемого процесса в текущий момент времени x_t, в прошлые моменты времени $\tilde{x}^N_\tau=\{x_{\tau_1},x_{\tau_2},x_{\tau_3},...,x_{\tau_N}\}$, связанные с наличием памяти, и в будующие моменты времени $\tilde{x}^N_{t+T_L}=$ $=\{x_{t+T_1},x_{t+T_2},...,x_{t+T_L}\}$, которые являются моментами экстраполяции. Так как $\mu(t+T_l,t)=M\{x_{t+T_l}|z^t_0,\eta^m_0\}, l=\overline{1;L}$, то ОСКСО $\mu(t+T_l,t)$ является первым моментом плотности (4) по переменной x^l, $l=\overline{1;L}$.

Теорема 1.1. (ОУНОСЭФП) *Апостериориорная плотность (4) на интервалах времени $t_m\le t<t_{m+1}$ определяется уравнением*

$$d_tp^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)=L_{t+T_L,x^L}[p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)]dt+\sum_{l=1}^{L-1}\left\{\left[\frac{p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)}{p^t_{t+T_l}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^l)}\right]\times\right.$$
$$\left.\times L_{t+T_l,x^l}[p^t_{t+T_l}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^l)]-p^t_{t+T_l}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^l)L^*_{t+T_l,x^l}\left[\frac{p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)}{p^t_{t+T_l}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^l)}\right]\right\}dt+$$
$$+\left\{\left[\frac{p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)}{p_t(x;\tilde{x}_N)}\right]L_{t,x}[p_t(x;\tilde{x}_N)]-p_t(x;\tilde{x}_N)L^*_{t,x}\left[\frac{p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)}{p_t(x;\tilde{x}_N)}\right]\right\}dt+$$
$$+p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)[h(t,x,\tilde{x}_N,z_t)-\overline{h(t,z_t)}]^TR^{-1}(t,z_t)[dz_t-\overline{h(t,z_t)}dt] \qquad (5)$$

с начальным условием

$$p^{t_m}_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)=[C(x,\tilde{x}_N;\eta(t_m),z_{t_m})/C(\eta(t_m),z_{t_m})]\,p^{t_m-0}_{t_m+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L), \quad (6)$$

где $L_{t+T_L,x^L}[\cdot],L_{t+T_l,x^l}[\cdot],L^*_{t+T_l,x^l}[\cdot],L_{t,x}[\cdot],L^*_{t,x}[\cdot]-$ *прямые и обратные операторы Колмогорова, соответсвующие процессу* x_t,

$$p_t(x;\tilde{x}_N)=\partial^{N+1}\mathcal{P}\{x_t\le x;\ \tilde{x}^N_\tau\le\tilde{x}_N|z^t_0,\ \eta^m_0\}/\partial x\partial\tilde{x}_N, \qquad (7)$$
$$\overline{h(t,z_t)}=\int...\int h(t,x,\tilde{x}_N,z_t)p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)\ dxd\tilde{x}_Nd\tilde{x}^L, \qquad (8)$$
$$C(\eta(t_m),z_{t_m})=\int...\int C(x,\tilde{x}_N;\eta(t_m),z_{t_m})p^{t_m-0}_{t_m+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)dxd\tilde{x}_Nd\tilde{x}^L, \qquad (9)$$
$$C(x,\tilde{x}_N;\eta(t_m),z_{t_m})=\exp\{-\frac{1}{2}[\eta(t_m)-g(t_m,x,\tilde{x}_N,z_{t_m})]^T\times$$
$$\times V^{-1}(t_m,z_{t_m})[\eta(t_m)-g(t_m,x,\tilde{x}_N,z_{t_m})]\}, \qquad (10)$$

$p^{t_m-0}_{t_m+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L) = lim\ p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)$ *при* $t \uparrow t_m$, *а* $p^t_{t+T_l}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^l)$ *имеет вид (4) с заменой* L *на* l *для всех* $l = \overline{1;L}$.

Из Теоремы 1.1 формулируется ряд следствий. В п.1.3 получено уравнение для семиинвариантной функции плотности (4) (Теорема 1.3). В п.1.4 показывается, что эффективный синтез скользящего экстраполятора на основе Теоремы 1.1 может быть осуществлен в условно-гауссовоском случае, когда выполняется свойство гауссовости$p^t_{t+T_l}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^l)$, $l = \overline{1;L}$. Далее всюду $\mathcal{N}\{y;a,B\}$−нормальное распределение (плотность) случайной величины Y с параметрами a и B.

Утверждение А1. *Пусть*

$$f(t,x_t) = f(t) + F(t)x_t, \quad \Phi_1(\cdot) = \Phi_1(t), \quad p_0(x) = \mathcal{N}\{x;\mu_0;\Gamma_0\}, \tag{11}$$

$$h(t,x_t,\tilde{x}^N_\tau,z_t) = h(t,z_t) + H_0(t,z_t)x_t + \sum_{k=1}^{N} H_k(t,z_t)x_{\tau_k}, \tag{12}$$

$$g(t_m,x_{t_m},\tilde{x}^N_\tau,z_{t_m}) = g(t_m,z_{t_m}) + G_0(t_m,z_{t_m})x_{t_m} + \sum_{k=1}^{N} G_k(t_m,z_{t_m})x_{\tau_k}. \tag{13}$$

Тогда для всех $l = \overline{1;L}$ *(см.(4))*

$$p^t_{t+T_l}(\tilde{x}_{N+l+1}) = \mathcal{N}\{\tilde{x}_{N+l+1};\tilde{\mu}_{N+l+1}(\tilde{\tau}_N,t+\tilde{T}_l,t),\tilde{\Gamma}_{N+l+1}(\tilde{\tau}_N,t+\tilde{T}_l,t)\} =$$
$$= \mathcal{N}\left\{\begin{bmatrix} x \\ \tilde{x}_N \\ \tilde{x}^l \end{bmatrix};\begin{bmatrix} \mu(t) \\ \tilde{\mu}_N(\tilde{\tau}_N,t) \\ \tilde{\mu}^l(t+\tilde{T}_l,t) \end{bmatrix},\begin{bmatrix} \Gamma(t) & \tilde{\Gamma}_{0N}(\tilde{\tau}_N,t) & \tilde{\Gamma}^l_{0,N+1}(t+\tilde{T}_l,t) \\ \tilde{\Gamma}^T_{0N}(\cdot) & \tilde{\Gamma}_N(\tilde{\tau}_N,t) & \tilde{\Gamma}^l_{N,N+1}(\tilde{\tau}_N,t+\tilde{T}_l,t) \\ (\tilde{\Gamma}^l_{0,N+1}(\cdot))^T & (\tilde{\Gamma}^l_{N,N+1}(\cdot))^T & \tilde{\Gamma}^l(t+\tilde{T}_l,t) \end{bmatrix}\right\}, \tag{14}$$

где $\tilde{\tau}_N = (\tau_1,\tau_2,...,\tau_N)$, $t+\tilde{T}_l = (t+T_1,t+T_2,...,t+T_l)$, $l = \overline{1;L}$.

Для параметров распределения (4), удовлетворяющих свойству (14) при $l = L$, с использованием Теоремы 1.3, получена замкнутая система дифференциально-рекуррентных соотношений, определяющих оптимальный *фильтр-интерполятор-экстраполятор* (ФИЭ) в случае фиксированной памяти (Теорема 1.5.). В п.1.5 формулируются ряд следствий. В п.1.6 проводится исследование эффективности дискретных наблюдений с памятью кратности $N = 1$ относительно наблюдений без памяти на основе задачи обратной экстраполяции с фиксированной памятью. Пусть процессы x_t, z_t, $\eta(t_m)$ скалярные и определяются

соотношениями

$$dx_t = -ax_t dt + \Phi_1 dw_t, \quad a > 0, \quad p_0(x) = \mathcal{N}\{x; \mu_0; \gamma_0\}, \tag{15}$$

$$dz_t = H_0 x_t dt + \Phi_2 dv_t, \quad \eta(t_m) = G_0 x_{t_m} + G_1 x_\tau + \Phi_3 \xi(t_m). \tag{16}$$

Тогда в случае редких дискретных наблюдений ($t \to \infty$, $t_m \ll t_{m+1}$) справедлив следующий результат.

Утверждение 1.2 *Пусть* $t^* = t - \tau$, $\mathbf{G} = \{(G_0, G_1) : G_1^2 + 2G_0G_1 \le 0\}$, $\varepsilon_{10} = \gamma^{11}(s, t_m)/\tilde{\gamma}^{11}(s, t_m)$, *где* $\gamma^{11}(s, t_m)$ *и* $\tilde{\gamma}^{11}(s, t_m)$*—точности оценок экстраполяции в момент* t_m *соответственно в случае дискретных наблюдений* $\eta(t_m)$ *с памятью кратности* $N = 1$ *и без памяти* $\tilde{\eta}(t_m)$. *Тогда* ε_{10}, *как функция* t^*, *обладает свойствами: если* $(G_0, G_1) \in \mathbf{G}$, *то* $\varepsilon_{10}(t^*) \ge 1$ *для всех* $t^* \ge 0$ *при произвольном значении глубины памяти; если* $(G_0, G_1) \notin \mathbf{G}$, *то* $\varepsilon_{10}(t^*)$ *при* $t^* \to \infty$ *монотонно возрастает от* $\varepsilon_{10}^0 < 1$ *до* $\varepsilon_{10}^\infty > 1$ *с равенством единице в точке* $t^* = t^*_{eff}$ *вида*

$$t^*_{eff} = \frac{1}{\lambda} \ln\{(|G_1|(V + æ\gamma G_0^2))/(|G_0| \left[\sqrt{V^2 + æ\gamma G_1^2(V + æ\gamma G_0^2)} \mp V\right])\}, \tag{17}$$

где $\lambda = \sqrt{a^2 + \delta Q}$, $\delta = H_0^2/R$, $\gamma = (\lambda - a)/\delta$, $æ = (\lambda + a)/2\lambda$, *знак* $\ll - \gg$ *берется в том случае, если* $G_0G_1 = |G_0| \cdot |G_1|$, *а знак* $\ll + \gg$, *если* $G_0G_1 = -|G_0| \cdot |G_1|$.

Для ε_{10}^0, ε_{10}^∞ найдены выражения и дается физическая интерпретация доказанных свойств с графическими иллюстрациями. Величинаt^*_{eff} может быть определена как "эффективная глубина памяти". В п.1.7 приводятся выводы по Главе 1.

Во второй главе диссертации осуществлен синтез и анализ оптимального в среднеквадратическом смысле несмещенного фильтра-интерполятора (ОСКСНФИ) для процессов с непрерывным временем по непрерывно-дискретным наблюдениям с фиксированной памятью произвольной кратности, когда в каналах наблюдения присутствуют аномальные помехи.

В п.2.1 формулируется постановка задачи Главы 2. Пусть

$$\dot{x}(t) = F(t)x(t) + \omega(t), t \ge 0, x(0) = x_0 \sim p_0(x) = \mathcal{N}\{x; \mu_0; \gamma_0\}, \tag{18}$$

$$z(t) = H_0(t)x(t) + \sum_{k=1}^{N} H_k(t)x(\tau_k) + \upsilon(t) + B\varphi(t), \tag{19}$$

$$\eta(t_m) = G_0(t_m)x(t_m) + \sum_{k=1}^{N} G_k(t_m)x(\tau_k) + \xi(t_m) + Cf(t_m), \qquad (20)$$

где: $\omega(t)$ и $\upsilon(t)$ -соответственно, $n-$ и $l-$ мерные белые гауссовские процессы с матрицами интенсивности $Q(t)$ и $R(t)$ и нулевыми математическими ожиданиями; $\xi(t_m)$ – $q-$ мерная белая гауссовская последовательность с нулевым математическим ожиданием и матрицей интенсивности $V(t_m)$; $\varphi(t)$–s-мерный ($s \leq l$) белый гауссовский процесс, а $f(t_m)$–r-мерная ($r \leq q$) белая гауссовская последовательность, которые являются аномальными помехами, причем $M\{\varphi(t)\} = \varphi_0(t)$, $M\{[\varphi(t) - \varphi_0(t)][\varphi(\sigma) - \varphi_0(\sigma)]^T\} = \Phi(t)\delta(t-\sigma)$, $M\{f(t_m)\} = f_0(t_m)$, $M\{[f(t_m) - f_0(t_m)][f(t_k) - f_0(t_k)]^T\} = \Theta(t_m)\delta_{mk}$. Матрицы B размера $(l \times s)$ и C размера $(q \times r)$, определяющие структуру действия компонент векторов аномальных помех $\varphi(t)$ и $f(t_m)$ на компоненты векторов наблюдений $z(t)$ и $\eta(t_m)$ соответственно, являются булевыми соответствующего вида, и предполагается, что $\varphi_0(t)$ и $f_0(t_m)$ неизвестны. Задача: По совокупности наблюдений z_0^t и η_0^m найти оптимальные в среднеквадратическом смысле несмещенные оценки фильтрации $\mu(t)$ и интерполяции $\mu(\tau_k, t)$, соответственно для $x(t)$ и $x(\tau_k)$, $k = \overline{1; N}$.

В п.2.2 рассматривается случай, когда аномальные помехи присутсвуют только в непрерывных наблюдениях, и осуществлен для этого случая систез ОСКСНФИ. В п.2.3 для случая совокупности непрерывных и дискретных наблюдений осуществлен, с использованием Теоремы 1.5, синтез ОСКСНФИ (Теорема 2.4.).

Теорема 2.4. *На интервалах времени $t_m \leq t < t_{m+1}$ оптимальный в среднеквадратическом смысле несмещенный фильтр-интерполятор (ОСКСНФИ) в классе линейных фильтров определяется уравнениями*

$$\dot{\mu}(t) = F(t)\mu(t) + \widetilde{L}_0(t)\tilde{z}(t), \dot{\mu}(\tau_k, t) = \widetilde{L}_k(t)\tilde{z}(t), \quad k = \overline{1; N},$$

$$\dot{\Gamma}(t) = F(t)\Gamma(t) + \Gamma(t)F^T(t) + Q(t) - \widetilde{L}_0(t)\widetilde{H}_0(t),$$

$$\dot{\Gamma}_{kk}(\tau_k, t) = -\widetilde{L}_k(t)\widetilde{H}_k(t), \dot{\Gamma}_{0k}(\tau_k, t) = F(t)\Gamma_{0k}(\tau_k, t) - \widetilde{L}_0(t)\tilde{H}_k(t), k = \overline{1; N},$$

$$\dot{\Gamma}_{kl}(\tau_l, \tau_k, t) = -\widetilde{L}_k(t)\tilde{H}_l(t), \quad k = \overline{1; N-1}, \quad l = \overline{2; N}, \quad l > k,$$

$$\tilde{L}_0(t) = L_0(t)[I_l - BS(t)], \quad \tilde{L}_k(t) = L_k(t)[I_l - BS(t)],$$
$$S(t) = [B^T \widetilde{R}^{-1}(t) B]^{-1} B^T \tilde{R}^{-1}(t),$$
$$\tilde{z}(t) = z(t) - H_0(t)\mu(t) - \sum_{j=1}^{N} H_j(t)\mu(\tau_j, t),$$

с начальными условиями

$$\mu(t_m) = \mu(t_m - 0) + \widetilde{K}_0(t_m)\tilde{\eta}(t_m), \mu(\tau_k, t_m) = \mu(\tau_k, t_m - 0) + \widetilde{K}_k(t_m)\tilde{\eta}(t_m),$$
$$\Gamma(t_m) = \Gamma(t_m - 0) - \widetilde{K}_0(t_m)\widetilde{G}_0(t_m), \Gamma_{kk}(\tau_k, t_m) = \Gamma_{kk}(\tau_k, t_m - 0) - \widetilde{K}_k(t_m)\widetilde{G}_k(t_m),$$
$$\Gamma_{0k}(\tau_k, t_m) = \Gamma_{0k}(\tau_k, t_m - 0) - \widetilde{K}_0(t_m)\widetilde{G}_k(t_m),$$
$$\Gamma_{kl}(\tau_l, \tau_k, t_m) = \Gamma_{kl}(\tau_l, \tau_k, t_m - 0) - \widetilde{K}_k(t_m)\widetilde{G}_l(t_m),$$
$$\widetilde{K}_0(t_m) = K_0(t_m)[I_q - CY(t_m)], \widetilde{K}_k(t_m) = K_k(t_m)[I_q - CY(t_m)],$$
$$Y(t_m) = [C^T \widetilde{W}^{-1}(t_m) C]^{-1} C^T \widetilde{W}^{-1}(t_m),$$
$$\tilde{\eta}(t_m) = \eta(t_m) - G_0(t_m)\mu(t_m - 0) - \sum_{j=1}^{N} G_j(t_m)\mu(\tau_j, t_m - 0),$$
$$\widetilde{G}_0(t_m) = G_0(t_m)\Gamma(t_m - 0) + \sum_{j=1}^{N} G_j(t_m)\Gamma_{0j}^T(\tau_j, t_m - 0),$$
$$\widetilde{G}_k(t_m) = G_k(t_m)\Gamma_{kk}(\tau_k, t_m - 0) + \sum_{j \neq k}^{N} G_j(t_m)_{kj}^T(\tau_j, \tau_k, t_m - 0),$$
$$K_0(t_m) = \widetilde{G}_0^T(t_m)\widetilde{W}^{-1}(t_m), \quad K_k(t_m) = \widetilde{G}_k^T(t_m)\widetilde{W}^{-1}(t_m),$$
$$\widetilde{W}(t_m) = W(t_m) + C\Theta(t_m)C^T,$$
$$W(t_m) = V(t_m) + G(t_m)\tilde{\Gamma}_{N+1}(\tilde{\tau}_N, t_m - 0)G^T(t_m),$$
$$G(t_m) = [G_0(t_m) \vdots G_1(t_m) \vdots \cdots \vdots G_N(t_m)].$$

Исследуются свойства ОСКСНФИ относительно нечувствительности к матрицам интенсивности аномальных помех (Теоремы 2.2, 2.5) и относительно процедуры исключения аномальных компонент векторов наблюдений (Теоремы 2.3, 2.6). В Теоремах 2.7 и 2.8 проводится исследование точности оценивания в зависимости от *структуры* воздействия компонент аномальной помехи $f(t_m)$ на компоненты вектора наблюдений $\eta(t_m)$. В п.2.4 результаты п.п.2.2 и 2.3 обобщаются на случай *резервирования* дискретных наблюдений. В Теоремах 2.9 и 2.10 проводится исследование точности оценивания в зависимости от *кратности* резервирования.

Проводится исследование эффективности дискретного канала с памятью при наличии аномальных помех относительно канала без памяти в задачах фильтрации и интерполяции. Рассматривается частный случай процессов (18)-(20). Ненаблюдаемый процесс является процессом Орнстейна-Уленбека, когда в (18) $F(t) = -a$, $a = const > 0$. Наблюдаемый процесс с непрерывным временем (19) является процессом без памяти и без аномальных помех. Дискретный канал наблюдения обладает памятью кратности $N = 1$ и формируется как совокупность двух скалярных каналов с коэффициентами передачи G_0 и G_1 соответственно для x_{t_m} и x_τ. В задачах фильтрации и интерполяции рассмотрим два случая: 1) аномальная помеха действует по первой компоненте $\eta_1(t_m)$; 2) аномальные помехи действуют по обеим компонентам $\eta_1(t_m)$, $\eta_2(t_m)$ двумерного вектора наблюдений $\eta(t_m)$. Соответствующие этим случаям ошибки оценок фильтрации в момент t_m будем обозначать $\gamma^1(t_m)$, $\gamma^2(t_m)$, а ошибки оценок интерполяции – $\gamma^1_{11}(\tau, t_m)$, $\gamma^2_{11}(\tau, t_m)$. Пусть $\Delta^f_{21} = \gamma^2(t_m) - \gamma^1(t_m)$, $\Delta^i_{21} = \gamma^2_{11}(\tau, t_m) - \gamma^1_{11}(\tau, t_m)$. Если над этими величинами стоит знак "волна", то они относятся к случаю дискретных наблюдений без памяти ($G_1 = 0$). Доказывается, что $\Delta^f_{21} > 0$, $\Delta^i_{21} > 0$. В качестве мер эффективности наблюдений с памятью относительно наблюдений без памяти в задачах фильтрации и интерполяции берутся соответственно величины $\varepsilon^f_{21} = \Delta^f_{21} - \widetilde{\Delta}^f_{21}$, $\varepsilon^i_{21} = \Delta^i_{21} - \widetilde{\Delta}^i_{21}$. Если $\varepsilon^f_{21} > 0$, $\varepsilon^i_{21} > 0$, то наблюдения с памятью эффективнее наблюдений без памяти. При $\varepsilon^f_{21} < 0$, $\varepsilon^i_{21} < 0$, имеем обратное свойство. Исследование ε^f_{21} и ε^i_{21}, как функции глубины памяти $t^* = t - \tau$, даёт следующие результаты.

Утверждение 2.7 *Пусть* $\mathbf{G} = \{(G_0, G_1) : G_1^2 + 2G_0G_1 \le 0\}$. *Тогда* $\varepsilon^f_{21}(t^*)$ *при* $(G_0, G_1) \notin \mathbf{G}$ *является монотонно убывающей функцией от значения* $\varepsilon^0_{21} > 0$ *до значения* $\varepsilon^\infty_{21} < 0$ *с равенством нулю в точке* $t^* = t^*_{eff}$ *вида (17). Если* $(G_0, G_1) \in \mathbf{G}$, *то* $\varepsilon^f_{21}(t^*) \le 0$.

Утверждение А2. *Пусть* $(G_0, G_1) \in \mathbf{G}^- = \{(G_0, G_1) : G_1^2 + 2G_0G_1 < 0\}$. *Тогда* $\varepsilon^i_{21}(t^*)$ *является монотонно возрастающей функцией от значения*

$\varepsilon_{21}^0 < 0$ *до значения* $\varepsilon_{21}^\infty > 0$ *с равенством нулю в точке* $t^* = t_{eff}^*$ *вида*

$$t_{eff}^* = \frac{1}{\lambda} \ln\{(|G_0| + \sqrt{|G_0|^2 - æ(1-æ)|G_1|^2})/(æ|G_1|)\}. \qquad (21)$$

Если $(G_0, G_1) \notin \mathbf{G}$ *, то* $\varepsilon_{21}(t^*) > 0$.

Для ε_{21}^0, ε_{21}^∞ в обеих задачах найдены выражения и дается физическая интерпретация доказанных свойств с соответствующими графическими иллюстрациями. Результаты Утверждений 2.7 и А2 подтверждают справедливость общих свойств, доказанных в Теоремах 2.7-2.10. Величины t_{eff}^* могут быть определены как "эффективная глубина памяти". В п.2.5 приводятся выводы по Главе 2.

В третьей главе диссертации рассматривается задача распознавания произвольного числа гипотез, когда ненаблюдаемый процесс является процессом с непрерывным временем, а наблюдаемый процесс представляет собой совокупность процессов с непрерывным и дискретным временем с фиксированной памятью произвольной кратности. Также решается важная частная задача распознавания– задача обнаружения аномальных помех в дискретных каналах наблюдения с памятью.

В п.3.1 приводятся модели процессов и формулируется постановка задачи Главы 3. Пусть (см. (1) – (3))

$$dx_t = f(t, x_t, z_t, \theta)dt + \Phi_1(t, x_t, z_t, \theta)dw_t, \quad t \geq 0, \qquad (22)$$

$$dz_t = h(t, x_t, x_{\tau_1}, \cdots, x_{\tau_N}, z_t, \theta)dt + \Phi_2(t, z_t)dv_t, \qquad (23)$$

$$\eta(t_m) = g(t_m, x_{t_m}, x_{\tau_1}, \cdots, x_{\tau_N}, \theta) + \xi(t_m) \ , m = 0, 1, \ldots, \qquad (24)$$

где параметр θ является идентификатором типа гипотезы. Предполагается: 1^0) $\theta \in \Omega_\theta$ с априорными вероятностями $p_0(x_0) = \partial\mathcal{P}\{\theta = \theta_j\}$, $j = \overline{0;r}$. 2^0) $\xi(t_m)$ - белая гауссовская последовательность с $M\{\xi(t_m)|\theta = \theta_j\} = b_j(t_m)$ и $M\{[\xi(t_m) - b_j(t_m)][\xi(t_m) - b_j(t_m)]^T|\theta = \theta_j\} = V(t_m, \theta_j)$; 3^0) x_0, w_t, v_t, $\xi(t_m)$, θ – независимы в совокупности; 3^0) заданы начальные плотности $p_0(x_0|\theta_j) = \partial\mathcal{P}\{x_0 \leq x|\theta = \theta_j\}/\partial x$, $j = \overline{0;r}$. Задача: По совокупности реализаций z_0^t и η_0^m найти отношения правдоподобия $\Lambda_t(\theta_j : \theta_\alpha)$ в задаче распознавания гипотез $\mathcal{H}_j\{\theta = \theta_j\}$ и $\mathcal{H}_\alpha\{\theta = \theta_\alpha\}$, $j = \overline{0;r}$, $\alpha = \overline{0;r}$.

В п.3.2 находятся апостериорные вероятности гипотез $p_t(\theta_j) = \partial\mathcal{P}\{\theta = \theta_j | z_0^t, \eta_0^m\}, \quad j = \overline{0;r}$ и отношения правдоподобия. Утверждение 3.1 и Теорема 3.1 определяют соответственно $p_t(\theta_j)$ и $\Lambda_t(\theta_j : \theta_\alpha)$. Следствия 3.1 и 3.2 дают интегральные представления для $p_t(\theta_j)$ и $\Lambda_t(\theta_j : \theta_\alpha)$, как решения соответствующих стохастических дифференциальных уравнений. В п.3.3 рассматривается случай, допускающий эффективное вычисление указанных статистик, что возможно, когда выполняется условие гауссовости для $p_t(x; \tilde{x}_N | \theta_j) = \partial^{N+1}\mathcal{P}\{x_t \le x;\ \tilde{x}_\tau^N \le \tilde{x}_N | \theta = \theta_j,\ z_0^t,\ \eta_0^m\}/\partial x \partial \tilde{x}_N$.

Утверждение 3.2. *Пусть (см. (11)–(13), (22)–(24))*

$$f(\cdot) = F(t, z_t, \theta)x_t,\ \Phi_1(\cdot) = \Phi_1(t, z_t, \theta),\ p_0(x|\theta_j) = \mathcal{N}\{x; \mu_0^j, \Gamma_0^j\}, j = \overline{0;r},$$
$$h(\cdot) = H_0(t, z_t, \theta)x_t + \sum_{k=1}^{N} H_k(t, z_t, \theta)x_{\tau_k},$$
$$g(\cdot) = G_0(t, z_t, \theta)x_{t_m} + \sum_{k=1}^{N} G_k(t_m, z_{t_m}, \theta)x_{\tau_k}. \tag{25}$$

Тогда справедливо свойство

$$p_t(\tilde{x}_{N+1}|\theta_j) = \mathcal{N}\{\tilde{x}_{N+1}; \tilde{\mu}_{N+1}(\tilde{\tau}_N, t|\theta_j), \tilde{\Gamma}_{N+1}(\tilde{\tau}_N, t|\theta_j)\}, \quad j = \overline{0;r}. \tag{26}$$

Блочные составляющие параметров $\tilde{\mu}_{N+1}(\cdot)$ и $\tilde{\Gamma}_{N+1}(\cdot)$ определяются при каждом θ_j замкнутой системой дифференциально- рекуррентных соотношений согласно Главе 1 (Теорема 1.5, Замечание 1.5) с коэффициентами, зависящими от θ_j.

Теорема 3.2 определяет $\Lambda_t(\theta_j : \theta_\alpha)$ при этих условиях. В п.3.4 решается задача оценивания. В п.3.5 рассмотрен частный случай задачи распознавания, когда в условиях (25) отсутствуют зависимости от z_t. Теорема 3.3 определяет $\Lambda_t(\theta_j : \theta_\alpha)$ для этого случая. Далее рассматривается случай, когда гипотезы связаны только с шумом $\xi(t_m)$, т.е. в условиях Теоремы 3.3 зависимость от θ_j, $j = \overline{0;r}$, сохраняется только через $b_j(t_m)$, $V(t_m, \theta_j)$ и начальные условия, а решение выносится только по значениям $\Lambda_{t_m}(\theta_j : \theta_\alpha)$, что соответствует случаю редких дискретных наблюдений. Утверждение 3.3 определяет для этого случая отношение правдоподобия $\Lambda_{t_m}(\theta_j : \theta_\alpha)$ и односторонние дивергенции $I_{t_m}(j : \alpha) =$

$M\{\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_j : \theta_\alpha)|\mathcal{H}_j\}$, $I_{t_m}(\alpha : j) = -M\{\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_j : \theta_\alpha)|\mathcal{H}_\alpha\}$, где $\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_j : \theta_\alpha) = \ln\{\Lambda_{t_m}(\theta_j : \theta_\alpha)\}$. В п.3.6 рассматривается задача обнаружения аномальных помех в дискретных каналах наблюдения, когда в (25) отсутствуют зависимости от z_t и θ, а в (20) последнее слагаемое в правой части имеет вид $\theta C f(t_m)$, где $\theta \in \Omega_\theta = \{\theta_0; \theta_1\} = \{0; 1\}$. Остальные условия те же, что и в п. 2.1, кроме одного -$f_0(t_m)$ предполагается известным. Таким образом, задача обнаружения в моменты времени t_m аномальной помехи в дискретном канале наблюдения по совокупности наблюдений z_0^t и η_0^t является задачей различения гипотез $\mathcal{H}_0\{\theta = \theta_0\}$ и $\mathcal{H}_1\{\theta = \theta_1\}$. Получены соотношения, определяющие логарифм отношения правдоподобия $\tilde{\Lambda}_t(\theta_1 : \theta_0)$ и направленные дивергенции $I_{t_m}(1:0) = = M\{\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_1 : \theta_0)|\mathcal{H}_1\}$, $I_{t_m}(0:1) = -M\{\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_1 : \theta_0)|\mathcal{H}_0\}$.

<u>Утверждение 3.4.</u> *Логарифм отношения правдоподобия и направленные дивергенции имеют вид*

$$\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_1 : \theta_0) = \frac{1}{2} ln \frac{|W(t_m)|}{|\widetilde{W}(t_m)|} + \frac{1}{2}\tilde{\eta}^T(t_m) tr\left[W^{-1}(t_m) - \widetilde{W}^{-1}(t_m)\right]\tilde{\eta}(t_m) +$$
$$+ f_0^T(t_m) C^T \widetilde{W}^{-1}(t_m)\tilde{\eta}(t_m) - \frac{1}{2} f_0^T(t_m) C^T \widetilde{W}^{-1}(t_m) C f_0(t_m), \qquad (27)$$
$$I_{t_m}(1:0) = \frac{1}{2} ln \frac{|W(t_m)|}{|\widetilde{W}(t_m)|} + \frac{1}{2} tr\left[W^{-1}(t_m)\widetilde{W}(t_m)\right] +$$
$$+ \frac{1}{2} f_0^T(t_m) C^T W^{-1}(t_m) C f_0(t_m) - \frac{q}{2}, \qquad (28)$$
$$I_{t_m}(0:1) = \frac{1}{2} ln \frac{|\widetilde{W}(t_m)|}{|W(t_m)|} + \frac{1}{2} tr\left[\widetilde{W}^{-1}(t_m) W(t_m)\right] +$$
$$+ \frac{1}{2} f_0^T(t_m) C^T \widetilde{W}^{-1}(t_m) C f_0(t_m) - \frac{q}{2}, \qquad (29)$$

где $\tilde{\eta}(t_m)$, $W(t_m)$, $\widetilde{W}(t_m)$ определены в Теореме 2.4.

Как и качество оценивания (п. 2.2), качество обнаружения зависит от структуры матрицы C, определяющей структуру воздействия компонент аномальной помехи на компоненты вектора наблюдения. В качестве меры "расстояния" между гипотезами $\mathcal{H}_0$ и $\mathcal{H}_1$ берем дивергенцию по Кульбаку $J_{t_m}(1,0) = I_{t_m}(1:0) + I_{t_m}(0:1)$. Исследуется эффективность процедуры обнаружения в зависимости от структуры воздействия компонент

аномальной помехи на компоненты вектора наблюдений (Теорема 3.5) и от кратности резервирования каналов наблюдения (Теорема 3.6). В п.3.6 также исследуется эффективность наблюдений с памятью относительно наблюдений без памяти в задаче обнаружения аномальной помехи. Рассматривается случай (15), (16), но при этом в правой части соотношения для $\eta(t_m)$ добавляется слагаемое $\theta f(t_m)$, $\theta = \{\theta_0, \theta_1\}$, $f(t_m) \sim p_0(x) = \mathcal{N}\{f_0; \Theta\}$. Тогда $\Delta I_{t_m}(1:0) = I_{t_m}(1:0) - \tilde{I}_{t_m}(1:0)$, и $\Delta I_{t_m}(0:1) = I_{t_m}(0:1) - \tilde{I}_{t_m}(0:1)$, где "волна" сверху означает соответствующие величины в случае канала без памяти ($G_1 = 0$), будут характеризовать эффективность канала с памятью по сравнению с каналом без памяти относительно нижних границ вероятностей α^* и β^* вероятностей α (ложная тревога) и β (пропуск аномальной помехи). Исследование с использованием Утверждения 3.4 дало следующие результаты.

Утверждение 3.7. *Пусть* $(G_0, G_1) \in \mathbf{G}^- = \{(G_0, G_1) : G_1^2 + 2G_0G_1 < 0\}$. *Тогда* $\Delta I_{t_m}(1:0)$ *и* $\Delta I_{t_m}(0:1)$ *при* $t^* \uparrow_0^\infty$ *монотонно убывают от значений* $\Delta I_{t_m}^0(1:0) > 0$ *и* $\Delta I_{t_m}^0(0:1) > 0$ *до значений* $\Delta I_{t_m}^\infty(1:0) < 0$ $\Delta I_{t_m}^\infty(0:1) < 0$, *переходя через ноль в точке* $t^* = t^*_{eff}$, *которая имеет вид (21).*

Утверждение 3.8. *Пусть* $\Theta = 0$ *и* d*-порог в обнаружителе* $\tilde{\Lambda}_{t_m}(\theta_1 : \theta_0) \underset{\mathcal{H}_0}{\overset{\mathcal{H}_1}{\gtrless}} d$. *Тогда для вероятностей ошибок* α *и* β *имеют место формулы* $\alpha = 1 - \Phi\left(\frac{d-h}{b\sqrt{W}}\right)$, $\beta = \Phi\left(\frac{(d-h) - bq\sqrt{V}}{b\sqrt{W}}\right)$, *где* $\Phi(y) = 1/\sqrt{2\pi} \int\limits_{-\infty}^{y} \exp\{-\frac{1}{2}s^2\} ds$, $q = f_0/\sqrt{V}$, $W = V + \gamma g(t^*)$, $g(t^*) = G_0^2 + G_1^2\left[æ + (1 - æ)\exp\{-2\lambda t^*\}\right] + 2G_0G_1 \exp\{-\lambda t^*\}$, $b = q\sqrt{V}/W$, $h = -q^2V/2W$. *Если* $d = 0$, *то* $\Delta\alpha = \Delta\beta = \Delta\chi$, *причем при выполнении условия* $(G_0, G_1) \in \mathbf{G}^-$ $\Delta\chi(t^*)$ *монотонно возрастает при* $t^* \uparrow_0^\infty$ *от* $\Delta\chi_0 < 0$ *до* $\Delta\chi_\infty > 0$, *где* $\Delta\chi_0 = \Phi\left(\frac{1}{2}\frac{q\sqrt{V}}{\sqrt{V + \gamma G_0^2}}\right) - \Phi\left(\frac{1}{2}\frac{q\sqrt{V}}{\sqrt{V + \gamma(G_0 + G_1)^2}}\right)$, $\Delta\chi_\infty = \Phi\left(\frac{1}{2}\frac{q\sqrt{V}}{\sqrt{V + \gamma G_0^2}}\right) - \Phi\left(\frac{1}{2}\frac{q\sqrt{V}}{\sqrt{V + \gamma(G_0^2 + æG_1^2)}}\right)$, *переходя через ноль в точке* $t^* = t^*_{eff}$, *имеющей вид (21).*

Величина t^*_{eff} может быть определена как "эффективная глубина памяти". В п.3.7 приводятся выводы по Главе 3.

В заключении формулируются основные результаты исследования, выносимые на защиту. В приложения вынесены некоторые формальнае преобразования.

Основные результаты работы

Основные научные положения, выносимые на защиту, сводятся к тому, что для случая совокупности непрерывных и дискретных во времени наблюдений с фиксированной памятью произвольной кратности N :

1) Получено основное уравнение нелинейной обобщенной скользящей экстраполяции с фиксированной памятью (ОУНОСЭФП) для апостериорной плотности $p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)$. Сформулированы частные результаты, следующие из ОУНОСЭФП как следствия.

2) В условиях апостериорной гауссовости $p^t_{t+T_L}(x;\tilde{x}_N;\tilde{x}^L)$ на основе ОУНОСЭФП осуществлен синтез фильтра-интерполятора-экстраполятора, определяющего оптимальные в среднеквадратическом смысле оценки фильтрации $\mu(t)$, интерполяции $\mu(\tau_k,t)$, $k = \overline{1;N}$, экстраполяции $\mu(t+T_l,t)$. Сформулированы частные результаты, следующие из этого общего результата.

3) Осуществлен совместный синтез оптимального в среднеквадратическом смысле несмещенного фильтра-интерполятора в случае непрерывно-дискретных наблюдений с памятью произвольной кратности, когда в наблюдениях присутствуют аномальные помехи, и исследованы его свойства.

4) Получено решение проблемы нахождения апостериорных вероятностей гипотез и отношений правдоподобия в общей задаче распознавания произвольного числа гипотез по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений для случая фиксированной памяти произвольной кратности. Решена задача обнаружения аномальных помех

с заданной структурой воздействия её компонент на компоненты вектора наблюдения и исследованы свойства алгоритма.

5) С использованием общих результатов решены задачи исследования эффективности наблюдений с памятью относительно наблюдений без памяти в задачах фильтрации, интерполяции, экстраполяции, обнаружения аномальных помех.

Основные публикации по теме диссертации

1) Дёмин Н. С., Рожкова С. В., Рожкова О. В. Обобщенная скользящая экстраполяция стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с фиксированной памятью // Автоматика и вычислительная техника. – 1999. – №4 – С. 23-34.

2) Дёмин Н. С., Рожкова О. В. Распознавание в стохастических системах в случае наблюдений с фиксированной памятью // Вестник Томского гос.ун-та – 2000. – №271 – С.164-168.

3) Дёмин Н .С., Рожкова С. В., Рожкова О. В. Непрерывно-дискретная фильтрация стохастических процессов в случае резервирования каналов наблюдений с памятью при наличии аномальных помех. // Автоматика и вычислительная техника – 2001. – №5 – С. 56-67.

4) Дёмин Н. С., Рожкова С. В., Рожкова О. В. Обнаружение аномальных помех в случае непрерывно-дискретных каналов наблюдения с памятью.// Автоматика и вычислительная техника – 2003 – №5 – С. 70-82.

5) Дёмин Н. С., Рожкова С. В., Рожкова О. В. Фильтрация в динамических системах по непрерывно – дискретным наблюдениям с памятью при наличии аномальных помех. I. Непрерывные наблюдения // Вестник Томского гос.ун-та – 2003. – №280 – С. 175-179.

6) Дёмин Н. С., Рожкова С. В., Рожкова О. В. Фильтрация в динамических системах по непрерывно- дискретным наблюдениям с памятью при наличии аномальных помех. II. Непрерывно – дискретные наблюдения // Вестник Томского гос.ун-та – 2003. – №280 – С. 180-184.

7) Рожкова О. В. Фильтрация в стохастических системах с непрерывным временем по наблюдениям с памятью при наличии аномальных помех. Синтез // Математическое моделирование. Кибернетика. Информатика. Томский гос.ун-т – 1999. – С. 127-133.

8) Рожкова О. В. Фильтрация в стохастических системах с непрерывным временем по наблюдениям с памятью при наличии аномальных помех. Анализ // Математическое моделирование. Кибернетика. Информатика.Томский гос.ун-т – 1999. – С. 134-139.

9) Dyomin N. S., Roshkova S. V, Roshkova O. V. Filltering of stochastic systems in the case of continuous-discrete time channels of observations with memory in the presence of anomalous interferences in the discrete channels with reservation // The Third Russian-Korean International Symposium of Science and Technology. Proceedings "KORUS 99" – Novosibirsk: NSTU – 1999. – V.1. – P. 261-264.

10) Dyomin N. S., Roshkova S. V., Roshkova O .V . Simultaneous problem of filtering and interpolation of stochastic process to the set continuous-discrete time memory observations in the presence of anomalous noises // Proceedings of the fifth Russian-Korean Int. Symp. of Science and Techology ("KORUS 2001") – Tomsk: TPU – V.2. – P. 223-226.

11) Dyomin N. S., Roshkova S. V., Roshkova O .V . Generalized adaptive sliding exstrapolation on the set of continuous and discrete time observations with the fixed memory // Proceedings of the fifth Russian-Korean Int. Symp. of Science and Techology ("KORUS 2001")– Tomsk: TPU – V.2. – P. 232-234.

12) Dyomin N. S., Roshkova S. V., Roshkova O. V. Likelihood ratio determination for stochastic processes recognition problem with respect to the set of continuous and discrete memory observations // "Informatica" – 2001 – V.12, N.2 – P. 263-284.