

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

**А. В. Иванов, С. П. Москвитин, В. О. Сурков**

*Кафедра «Радиотехника», alexsandr-ivanov68@yandex.ru,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** адаптивное оценивание; дискретно-непрерывный процесс; идентификация; марковская теория оценивания случайных процессов.

**Аннотация:** Проведено исследование комплексных адаптивных алгоритмов обработки информации навигационных систем подвижных наземных объектов. Методами статистического компьютерного моделирования исследован вопрос о влиянии количества каналов обработки информации на апостериорную вероятность распознавания и на время идентификации параметра достоверности навигационных данных АП СРНС. В результате получены зависимости апостериорной вероятности параметра достоверности от числа каналов и времени идентификации параметра достоверности от числа каналов и отношения «сигнал – шум».

---

### Введение

Основу большинства современных навигационных систем (НС) составляют инерциальная навигационная система (ИНС) и аппаратура потребителя (АП) радиосигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС). Навигационные системы подвижных наземных объектов (ПНО), несмотря на свою высокую точность при определении координат местоположения объекта (среднеквадратическое отклонение от 1,5 до 5 м) [1, 2], в определенных случаях не способны обеспечить потребителя достоверными данными. Например, в произвольный момент времени возможно кратковременное отсутствие сигнала на входе АП СРНС по причинам затенения приемной антенны, выхода из строя бортовой аппаратуры НС, многолучевости распространения сигналов. Отсутствие сигнала на входе, пусть даже и кратковременное, негативно сказывается на достоверности данных, поэтому необходимо контролировать наличие сигналов на входе АП СРНС с целью реконфигурации рабочего созвездия СРНС. Помимо контроля наличия радиосигналов необходим также контроль достоверности получаемой навигационной информации. Даже при наличии радиосигнала на входе не всегда возможно получить достоверные данные от АП СРНС. Это связано с тем, что навигационный сигнал подвержен воздействию большого числа помех как естественных, так и искусственных, а также целенаправленному воздействию в целях изменения навигационных данных в радиосигналах СРНС. Для того чтобы обеспечить потребителя достоверными данными, необходим автономный контроль целостности навигационных данных, заключающийся в возможности одновременного определения отказа навигационного космического аппарата (НКА) и факта передачи недостоверных навигационных данных НКА СРНС [3]. Общим недостатком существующих на сегодняшний день НС ПНО с внутренним автономным контро-

лем целостности навигационных данных СРНС является то, что используемые в АП СРНС методы контроля основаны на вторичной обработке информации [4]. В случае если на входе АП СРНС будет отсутствовать полезный радиосигнал, то наличие помех может быть воспринято как полезный радиосигнал, будет проводиться его обработка и в итоге могут быть получены неточные навигационные данные. Методы вторичной обработки информации не позволяют решать задачу определения наличия радиосигналов на входе АП СРНС, так как не используются для обработки радиосигналов.

Поэтому необходимо дополнить НС ПНО системами контроля, позволяющими решать задачу совместного обнаружения, идентификации и адаптивного оценивания сигналов, используя методы первичной обработки информации. Решение задачи обнаружения позволит ответить на вопрос наличия радиосигналов СРНС на входе АП. Решение задачи адаптивного оценивания, предполагающей идентификации модели объекта по сигналам измерения, позволит ответить на вопрос достоверности навигационной информации, передаваемой по каналам СРНС.

Данная задача решена в работе [5] с помощью методов марковской теории оптимального оценивания [6, 7]. В результате синтезированы оптимальные по критерию максимума апостериорных распределений вероятностей алгоритмы и разработана многоканальная структурная схема обработки информации (рис. 1). В качестве параметра достоверности использовалась постоянная ошибка акселерометра  $\Delta a_{\zeta}^*(t_k)$ .

На рисунке 1 введены следующие обозначения:

$$P[\mu_i(t_{k+1})] = P[t_{k+1}, \mu_i(t_{k+1}) | \Xi_1^{t_{k+1}}, \Xi_2^{t_{k+1}}], \quad i = \overline{1, N_\mu};$$

$$p[X(t_{k+1}) | \mu_i(t_{k+1})] = p[t_{k+1} - 0, X(t_{k+1}) | \Xi_1^{t_{k+1}}, \Xi_2^{t_k}, \mu_i(t_{k+1})], \quad i = \overline{1, N_\mu};$$

$$P[\Omega(t_k + 0) | X(t_k), \mu_i(t_k)] = P[t_{k+1} - 0, \Omega(t_k + 0) | \Xi_1^{t_{k+1}}, \Xi_2^{t_k}, X(t_k), \mu_i(t_k)], \quad i = \overline{1, N_\mu}.$$

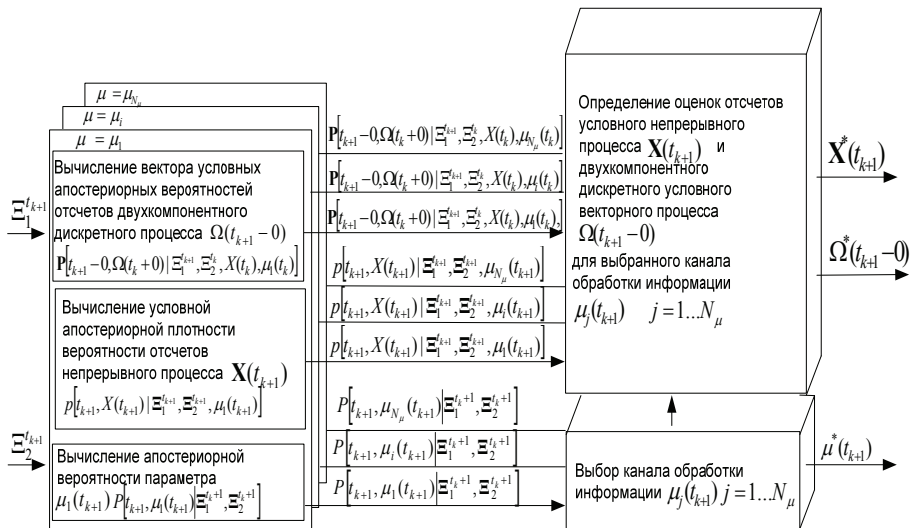


Рис. 1. Схема обработки информации

Однако в работе [5] не проведено исследование качества работы полученных алгоритмов обработки информации, а именно не исследованы вопросы:

– выбора количества каналов обработки информации для оценки параметра достоверности навигационных данных АП СРНС;

– влияния количества каналов обработки информации на апостериорную вероятность распознавания параметра достоверности навигационных данных АП СРНС;

– влияния количества каналов обработки информации на время идентификации параметра достоверности навигационных данных АП СРНС.

Цель работы – путем статистического компьютерного моделирования исследовать вопрос влияния числа каналов обработки информации на апостериорную вероятность распознавания и на время идентификации параметра достоверности навигационных данных АП СРНС, а также выбрать число каналов обработки информации, достаточное для оценки параметра достоверности навигационных данных АП СРНС.

### Постановка задачи

В схеме на рис. 1 показано, что выбор канала обработки информации заключается в сравнении апостериорных вероятностей  $P\left[t_{k+1}, \mu_i(t_{k+1}) \mid \Xi_1^{t_{k+1}}, \Xi_2^{t_{k+1}}\right]$ , вычисленных для каждого канала, и выборе канала, где апостериорная вероятность максимальна, на основе которой вычисляется оценка  $\mu_i^*(t_k)$ . Для выбранного канала найденные на основании соответствующих выражений значения условной (по  $\mu_i(t_k)$ ) апостериорной плотности вероятности непрерывного процесса и вектора условных апостериорных вероятностей двухкомпонентного дискретного процесса использовались для определения оптимальных оценок отсчетов условного непрерывного процесса  $X^*(t_{k+1})$  и двухкомпонентного дискретного условного векторного процесса  $\Omega^*(t_{k+1} - 0)$  с помощью процедуры определения глобальных максимумов этих функций по соответствующим переменным.

Для исследования влияния количества каналов обработки информации на апостериорную вероятность распознавания и время идентификации параметра достоверности навигационных данных АП СРНС проведен машинный эксперимент методами статистического компьютерного моделирования для случая, когда полезный сигнал, а, следовательно, и апостериорные распределения зависят только от квазидальности  $x_r$  до источника излучения, которая представляет собой случайную величину.

Полагаем, что на  $i$ -м,  $i = \overline{1,4}$ , входе приемного канала обработки радиосигналов СРНС на интервале времени  $t \in [t_k, t_k + T]$  наблюдается реализация процесса вида

$$\xi_{ik}(t) = \lambda_{ik} S_{ik} [t, x(\mu_j), \theta_{ik}] + n_i(t), \quad j = \overline{1, N_\mu}, \quad t \in [t_k, t_k + T], \quad (1)$$

в которой полезный сигнал имеет вид

$$S_{ik} [t, x(\mu_j), \theta_{ik}] = A_{ik} g(t - x(\mu_j)) \cos[\omega_{ik} t + \pi], \quad t \in [t_k, t_k + T], \quad (2)$$

где  $A_{ik}$  – амплитуда сигнала;  $g(\tau)$  – псевдослучайная последовательность (ПСП) с известным законом формирования;  $\lambda_{ik}$  и  $\theta_{ik}$  – дискретные параметры, принимающие одно из альтернативных значений  $\lambda_{ik}(t) = 1$  и  $\lambda_{ik}(t) = 0$ ,  $\theta_{ik}(t) = 1$

и  $\theta_{ik}(t) = 0$ ;  $x(\mu_j) = x_r(\mu_j)/c$  – задержка полезного сигнала относительно заданной шкалы времени,  $j = \overline{1, N_\mu}$ .

Разработанная в работе [5] математическая модель движения ПНО включает в свой состав уравнение, описывающее математическую модель изменения вертикальной составляющей вектора абсолютного ускорения ПНО, в которое входит постоянная медленно меняющаяся составляющая ошибки акселерометра – смещение нуля акселерометра  $\Delta_{a\zeta}(t_k)$ . Для различных типов акселерометров она неодинакова и лежит в пределах  $0,0001 \dots 0,2$  м/с<sup>2</sup>. Из анализа выражений в [5] видно, что квазидальность от НКА до ПНО функционально связана с постоянной медленно меняющейся составляющей ошибки акселерометра  $\Delta_{a\zeta}(t_k)$ .

В случае если в радиосигнале, передаваемом НКА, содержится недостоверная информация о навигационных данных, то получаемое значение оценки  $\Delta_{a\zeta}^*(t_k)$  будет больше, чем типовое. Это приведет через некоторый интервал времени к увеличению оценки значения квазидальности. В этом случае значение квазидальности будет больше, чем полученное при типовом значении постоянной медленно меняющейся составляющей ошибки акселерометра  $\Delta_{a\zeta}(t_k)$ . Для малых интервалов времени, порядка единиц секунд, можно полагать, что ошибка в приращении квазидальности связана только с постоянной медленно меняющейся составляющей ошибки акселерометра  $\Delta_{a\zeta}(t_k)$  в силу того, что ошибки, связанные с прохождением сигнала по каналу связи, остаются постоянными и параметры движения ПНО точно известны.

Апостериорная плотность вероятности для  $j$ -го значения параметра достоверности имеет вид [5]

$$P\left[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) \middle| \xi_1^{t_{k+1}}\right] = \frac{1}{C_4(t_{k+1})} P\left[t_k, \mu_j(t_k) \middle| \xi_1^{t_k}\right] \times \\ \times \Phi_{11}\left[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k), \mu_j(t_k), \lambda_{ik}(t_k + 0), \theta_{ik}(t_k + 0) \middle| \xi_1^{t_{k+1}}\right] \quad (3)$$

где  $C_4(t_{k+1})$  – нормировочная постоянная, определяемая из условия нормировки

$$\sum_{i=1}^N p\left[t_k, \mu_j(t_k) \middle| \xi_1^{t_k}\right] \Phi_{11}\left[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k), \mu_j(t_k), \lambda_{ik}(t_k + 0), \theta_{ik}(t_k + 0) \middle| \xi_1^{t_{k+1}}\right] = 1.$$

Входящий в выражение (3) функционал правдоподобия имеет вид

$$\Phi_{11}\left[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k), \mu_j(t_k), \lambda_{ik}(t_k + 0), \theta_{ik}(t_k + 0) \middle| \xi_1^{t_{k+1}}\right] = \\ = \exp\left\{\int_{t_k}^{t_{k+1}} F_{11}[\tau, x, \mu_i, \lambda_{ik}(t_k + 0), \theta_{ik}(t_k + 0)] d\tau\right\} = \\ = \exp\{\Phi_{1si}[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k)] + \Phi_{1ni}[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k)]\},$$

где  $\Phi_{1si}[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k)]$ ,  $\Phi_{1ni}[t_{k+1} - 0, t_k, x(t_k)]$  – сигнальные и шумовые функции, которые при аппроксимации ПСП последовательностью прямоугольных импульсов длительностью  $\tau_p$  могут быть определены аналогично [6]:

$$\Phi_{1si}(M\tau_p, x) = 2(qM/\tau_p) \left[\tau_p - |x - x_{ir}|(2M_1/M)\right]; \quad (4)$$

$$\Phi_{1ni}(M\tau_p, x) = 2\sqrt{2qM/\tau_p} \mathfrak{G}(x) + \sqrt{2qM/\tau_p} \mathfrak{G}(\tau_p), \quad (5)$$

где  $q = \frac{A_i^2 \tau_p}{2N_{01}}$  – отношение «сигнал – шум» в расчете на один элемент ПСП;

$M$  – общее число принятых элементов ПСП;  $M_1 = M/2$  – число переключений ПСП за время  $T = t_{k+1} - t_k = M\tau_p$ , определяемое законом ее формирования;  $\mathfrak{G}(x)$  – стандартный винеровский процесс

$$d\mathfrak{G}(x)/dx = n_g(x), \quad \mathfrak{G}(0) = 0,$$

где  $n_g(x)$  – стандартный формирующий белый гауссовский шум.

### **Исследование влияния количества каналов обработки информации на апостериорную вероятность распознавания и время идентификации параметра достоверности навигационных данных АП СРНС**

Для определения апостериорных вероятностей параметров достоверности  $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \Xi_1^{t_{k+1}}, \Xi_2^{t_{k+1}}]$ ,  $j = \overline{1, N_\mu}$ , и идентификации параметра достоверности используем следующую методику.

1. Задаем начальные значения: отношение «сигнал – шум»,  $\tau_p$ , общее число принятых элементов ПСП.

2. Выбираем число каналов обработки – число фиксированных значений параметра достоверности.

3. Задаем начальные значения вероятностей параметра достоверности  $P[t_0, \mu_j(t_0) | \xi_1^{t_0}]$  для каждого канала, которые считались равновероятными и принимались равными  $1/2\tau_p$ .

4. Моделируем сигнальные и шумовые функции согласно выражениям (10) и (11) соответственно.

5. Вычисляем значение апостериорной вероятности  $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$  для каждого канала обработки согласно выражению (9).

6. Строим зависимости апостериорной вероятности  $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$  от времени для каждого канала.

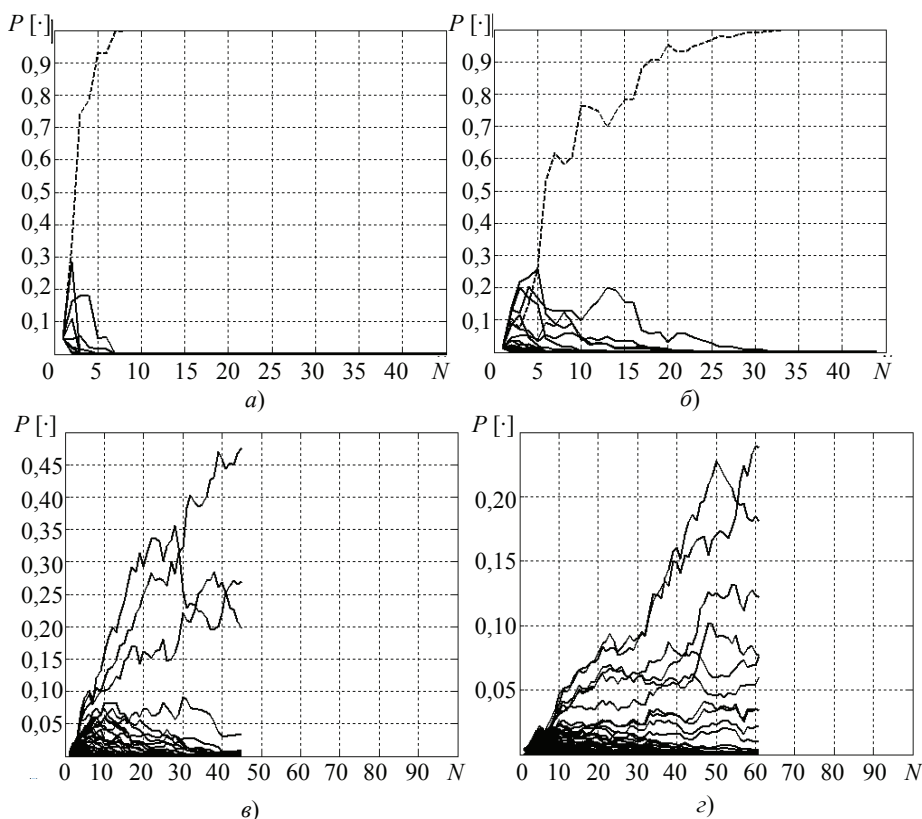
7. Изменяем число каналов обработки – число фиксированных значений искомого параметра.

8. Повторяем выполнение пунктов 3 – 7.

9. Строим зависимости  $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$  от времени для каждого канала.

10. Определяем максимальное значение апостериорной вероятности  $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$ , по которому находим значение параметра достоверности.

На рисунке 2 представлены зависимости значений апостериорных вероятностей параметра достоверности  $\mu_j(t_k)$   $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$  от времени измерения (числа шагов) при различных значениях числа каналов обработки информации



**Рис. 2.** Зависимости апостериорных вероятностей  $P\left[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) \mid \xi_1^{t_{k+1}}\right], j = \overline{1, N_\mu}$ , параметра достоверности от времени (числа шагов)

для отношений «сигнал – шум»  $q=10^{-3}$ , полученные на основе выражений (3) – (5) путем статистического компьютерного моделирования при следующих исходных данных:  $\tau_p=1,0 \cdot 10^{-6}$  с,  $M=20\,000$  при  $n=3 \dots 1001$ , где  $n$  – число каналов. Один шаг соответствует времени  $t_{k+1} - t_k = 0,02$  с.

Из анализа графиков следует, что максимальные значения апостериорных вероятностей параметра достоверности, используемые для решения задачи идентификации, уменьшаются с увеличением числа каналов обработки информации. Так, максимальное значение апостериорной вероятности для числа каналов  $n=21$  (см. рис. 2, а) равно 0,999, а для  $n=601$  (см. рис. 2, в) – 0,45. Поэтому при большом числе каналов идентифицировать параметр достоверности становится все труднее, например, для  $n=1001$  (см. рис. 2, г) за время измерения 1,2 с, что соответствует 60 шагам, идентифицировать параметр достоверности невозможно. Кроме того рост числа каналов приводит к увеличению времени достижения значения апостериорных вероятностей, необходимых для принятия решения об идентификации значения параметра достоверности. Так, например, время достижения значения вероятности, равное 0,9, меняется от 0,1 с (5 шагов) при  $n=21$  (см. рис. 2, а) до 0,9 с (18 шагов) при  $n=71$  (см. рис. 2, б) что, соответственно, приводит к увеличению времени измерения.

На рисунке 3 представлена зависимость максимального значения апостериорной вероятности, достигаемой при заданном числе каналов идентификации параметра достоверности, при времени измерения  $t_{\text{изм}} = 0,9$  с. Время измерения ограничивалось в соответствии с требованиями [9].

Из анализа представленной зависимости видно:

1) значение максимальной апостериорной вероятности параметра достоверности уменьшается с ростом числа каналов обработки информации при одинаковом времени измерения. Так, при числе каналов  $n = 200$  апостериорная вероятность  $P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$  равна 0,72; при  $n = 800 - 0,3$ ;

2) при изменении числа каналов в пределах 3...101 максимальное значение апостериорной вероятности изменяется в диапазоне 0,995...0,95;

3) при  $n > 171$  максимальное значение апостериорной вероятности становится меньше 0,85.

Таким образом, для того чтобы наиболее точно (с вероятностью 0,95 и выше) идентифицировать параметр достоверности необходимо чтобы число каналов обработки информации лежало в пределах 3...101.

Исследовался вопрос зависимости времени идентификации параметра достоверности от числа каналов. Результаты моделирования для  $n = 3...101$  представлены на рис. 4.

Из полученных результатов следует, что:

1. Время идентификации параметра достоверности увеличивается с ростом числа каналов. Так, время идентификации параметра достоверности с апостериорной вероятностью 0,85 при увеличении  $n$  в пределах 40...80 увеличивается с 11 до 22 шагов.

2. Число каналов обработки информации зависит от максимального значения апостериорной вероятности, которая задается для идентификации параметра достоверности. Так, для максимального значения апостериорной вероятности, равной 0,95, значение каналов не должно выбираться больше 41, а для максимального значения апостериорной вероятности, равной 0,85, значение каналов не должно выбираться более 101.

Исследовался вопрос зависимости времени достижения максимальной апостериорной вероятности параметра достоверности от отношения «сигнал – шум».

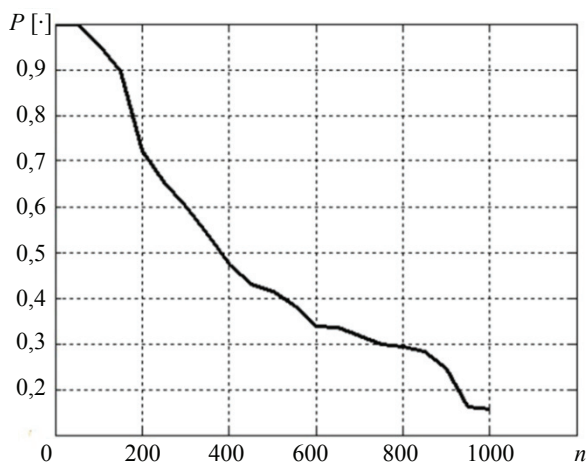
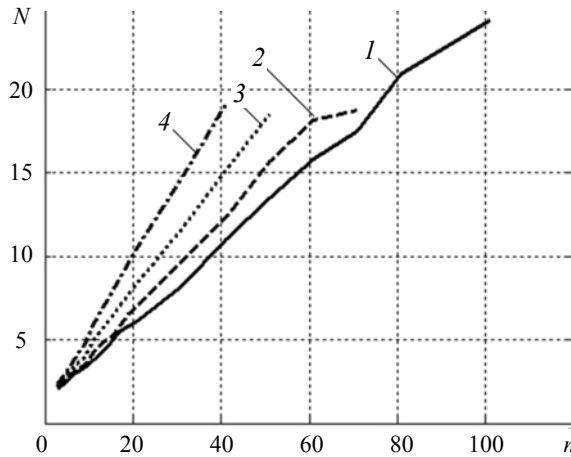


Рис. 3. Зависимость максимального значения апостериорной вероятности

$$P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}] \text{ от числа каналов } n$$

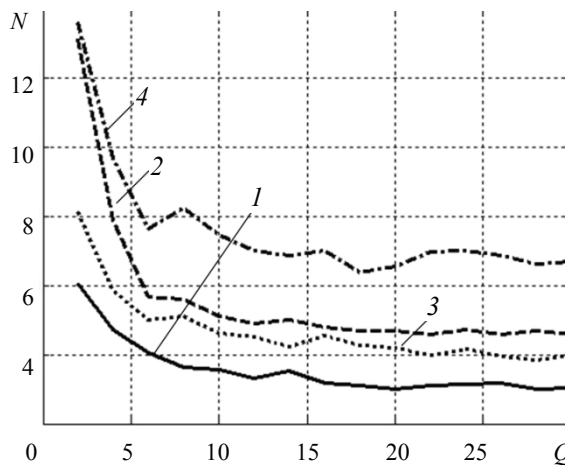


**Рис. 4. Зависимости числа шагов (времени достижения)  $N$  от числа каналов  $n$  при максимальных апостериорных вероятностях:**  
 1 – 0,85; 2 – 0,9; 3 – 0,96; 4 – 0,99

Результаты моделирования представлены на рис. 5. Максимальное значение вероятности, используемое для идентификации параметра, бралось равным 0,9. Отношение «сигнал – шум»  $Q$  определялось по формуле  $Q = qM$ , где  $M = 20\,000$ ;  $q = (0,5 \dots 1,5) \times 10^{-4}$ .

Из зависимостей следует, что с увеличением отношения «сигнал – шум» время измерения (число шагов измерения), необходимое для достижения значения апостериорной вероятности 0,9, уменьшается, стремясь к некоторому стационарному значению. Например, при  $n = 7$  время достижения максимальной апостериорной вероятности составляет 0,07 с;  $n = 21$  – 0,15 с, при одном и том же отношении «сигнал – шум»  $Q = 10$ .

Таким образом, на основе статистического компьютерного моделирования проведено исследование вопроса влияния числа каналов обработки информации на качество идентификации параметра достоверности. В результате получены следующие зависимости: вероятностей параметров достоверности



**Рис. 5. Зависимости числа шагов (времени достижения) от отношения «сигнал – шум» при числе каналов  $n$ :**  
 1 – 7; 2 – 9; 3 – 11; 4 – 21



$P[t_{k+1}, \mu_j(t_{k+1}) | \xi_1^{t_{k+1}}]$ ,  $j = \overline{1, N_\mu}$  от числа каналов  $N_\mu$ ; времени идентификации параметра достоверности от числа каналов  $N_\mu$  и отношения «сигнал – шум»  $Q$ .

Результаты исследования показали:

1) максимальные значения апостериорных вероятностей параметра достоверности, используемые для решения задачи идентификации, уменьшаются с увеличением числа каналов обработки информации. Так, максимальное значение апостериорной вероятности снижается с 0,999 до 0,45 при увеличении числа каналов  $n$  с 21 до 601;

2) наиболее точно (с вероятностью 0,95 и выше) идентифицировать параметр достоверности возможно если число каналов обработки информации лежало в пределах 3...101;

3) время идентификации параметра достоверности увеличивается с ростом числа каналов. Так, время идентификации параметра достоверности с апостериорной вероятностью 0,85 при увеличении числа каналов  $n$  с 40 до 80 увеличивается с 0,22 до 0,44 с;

4) число каналов обработки информации зависит от максимального значения апостериорной вероятности, которая задается для идентификации параметра достоверности. Так, для максимального значения апостериорной вероятности, равного 0,95, значение каналов не должно выбираться больше 41, для 0,85 – не более 101.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00312 А.*

#### *Список литературы*

1. Сурков, В. О. Анализ точностных характеристик систем навигации подвижных наземных объектов и их сравнение с требуемыми характеристиками в зависимости от решаемой задачи / В. О. Сурков // Молодой ученый. – 2016. – № 14. – С. 170 – 173.

2. КомпНав-2Т. Малогабаритная интегрированная навигационная система для наземного применения. Описание системы [Электронный ресурс] / ООО «ТеКнол». – Режим доступа : [http://www.teknol.ru/pdf/rus/CN-2T\\_description\\_rus.pdf](http://www.teknol.ru/pdf/rus/CN-2T_description_rus.pdf) (дата обращения: 29.04.2019).

3. Иванов, А. В. Алгоритмы обработки информации в навигационных системах наземных подвижных объектов с контролем целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, В. О. Сурков // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск (52). – С. 53 – 58.

4. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. И. Харисова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2010. – 800 с.

5. Иванов, А. В. Адаптивное оценивание и идентификация сигналов спутниковых радионавигационных систем в навигационных системах / А. В. Иванов, С. П. Москвитин, В. О. Сурков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 44 – 57. doi: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.044-057

6. Ярлыков, М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. – М. : Радио и связь, 1993. – 464 с.

7. Ярлыков, М. С. Статистическая теория радионавигации / М. С. Ярлыков. – М. : Радио и связь, 1985. – 344 с.

8. Иванов, А. В. Обработка сигналов спутниковых радионавигационных систем в бортовом навигационно-посадочном комплексе / А. В. Иванов // Радиотехника. – 2001. – № 10. – С. 29 – 36.

9. Радионавигационный план Российской Федерации : приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 28 июля 2015 г. N 2123 «Об утверждении радионавигационного плана Российской Федерации и о признании утратившими силу приказов Минпромторга России от 02 сентября 2008 г. N 118 и от 31 августа 2011 г. N 1177» [Электронный ресурс] // Гарант. – Режим доступа : <https://base.garant.ru/71645396/> (дата обращения: 29.04.2019).

10. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – Введ. 1997-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 12 с.

---

## Research into Complex Adaptive Information Processing Algorithms for Navigation Systems of Moving Ground Objects

A. V. Ivanov, S. P. Moskvitin, V. O. Surkov

*Department of Radio Engineering, alexandr-ivanov68@yandex.ru,  
TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** adaptive assessment; discrete-continuous process; identification; Markov theory of evaluation of random processes.

**Abstract:** A study of complex adaptive algorithms for processing information of navigation systems of moving ground objects is made. Using statistical computer modeling methods, the issue of the influence of the number of information processing channels on the posterior probability of recognition and on the identification time of the reliability parameter of the navigation data of the AP SRNS was investigated. As a result, the dependences of the posterior probability of the confidence parameter on the number of channels and the identification time of the confidence parameter on the number of channels and the signal-to-noise ratio are obtained.

### References

1. Surkov V.O. [Analysis of the accuracy characteristics of navigation systems for mobile land objects and their comparison with the required characteristics depending on the problem being solved], *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2016, no. 14, pp. 170-173. (In Russ.)

2. [http://www.teknol.ru/pdf/rus/CN-2T\\_description\\_rus.pdf](http://www.teknol.ru/pdf/rus/CN-2T_description_rus.pdf) (accessed 29 April 2019).

3. Ivanov A.V., Komrakov D.V., Surkov V.O. [Algorithms for processing information in navigation systems of ground-based mobile objects with monitoring the integrity of navigation data of satellite radio navigation systems], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2014, Spets. vypusk (52), pp. 53-58. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Perov A.I., Kharisov V.I. [Eds.] GLONASS. *Printsipy postroyeniya i funktsionirovaniya* [GLONASS. Principles of construction and operation], Moscow: Radiotekhnika, 2010, 800 p. (In Russ.)

5. Ivanov A.V., Moskvitin S.P., Surkov V.O. [Adaptive estimation and identification of signals of satellite radio navigation systems in navigation systems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 44-57, doi: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.044-057 (In Russ., abstract in Eng.)

6. Yarlykov M.S., Mironov M.A. *Markovskaya teoriya otsenivaniya sluchaynykh protsessov* [Markovskaya theory of estimation of random processes], Moscow: Radio i svyaz', 1993, 464 p. (In Russ.)
  7. Yarlykov M.S. *Statisticheskaya teoriya radionavigatsii* [The Statistical Theory of Radio Navigation], Moscow: Radio i svyaz', 1985, 344 p. (In Russ.)
  8. Ivanov A.V. [Signal processing of satellite radio navigation systems in the on-board navigation and landing complex], *Radiotekhnika* [Radio engineer], 2001, no. 10, pp. 29-36. (In Russ.)
  9. <https://base.garant.ru/71645396/> (accessed 29 April 2019).
  10. GOST 27.310–95. *Nadezhnost' v tekhnike. Analiz vidov, posledstviy i kritichnosti otkazov. Osnovnyye polozheniya* [Reliability in technology. Analysis of the effects and critical failures. The main provisions], Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1996, 12 p. (In Russ.)
- 

### **Untersuchung von komplexen adaptiven Algorithmen zur Informationsverarbeitung für Navigationssysteme der beweglichen Bodenobjekte**

**Zusammenfassung:** Es ist eine Studie der komplexen adaptiven Algorithmen der Informationsverarbeitung von Navigationssystemen beweglicher Bodenobjekte durchgeführt. Unter Verwendung der Methoden der statistischen Computermodellierung ist untersucht, wie sich die Anzahl der Informationsverarbeitungs Kanäle auf die Aposteriori-Wahrscheinlichkeit der Erkennung und auf die Zeit der Identifizierung der Authentizität des Parameters der Zuverlässigkeit der Navigationsdaten AP SRNS auswirkt. Infolgedessen sind die Abhängigkeiten der Aposteriori-Wahrscheinlichkeit des Zuverlässigkeitsparameters von der Anzahl der Kanäle und der Zeit der Identifikation des Zuverlässigkeitsparameters von der Anzahl der Kanäle und des «Signal-Rausch-Verhaltens» erhalten.

---

### **Recherche d'algorithmes adaptatifs complexes de traitement de l'information pour les systèmes de navigation d'objets terrestres mobiles**

**Résumé:** Sont étudiés des algorithmes adaptatifs complexes du traitement de l'information des systèmes de navigation des objets terrestres mobiles par les méthodes de la modélisation informatique statistique est examiné l'impact du nombre de canaux de traitement de l'information sur la probabilité de la reconnaissance a posteriori et sur la durée de l'identification du paramètre de fiabilité des données de navigation AP SRNS. En issu sont obtenus les dependences de la probabilité a posteriori du paramètre de confiance du nombre de canaux et du temps d'identification du paramètre de confiance et du rapport “signal-bruit”.

---

**Авторы:** *Иванов Александр Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника»; *Москвитин Сергей Петрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника»; *Сурков Владимир Олегович* – ассистент кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Чернышова Татьяна Ивановна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», директор института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.