

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

А. В. Полтавский¹, А. В. Григорьев², А. И. Мельничук³, А. Г. Избасов⁴, И. М. Рыбаков⁵

¹ Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

^{2,5} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

³ Учебная авиационная база Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков МО РФ, Ртищево, Саратовская обл., Россия

⁴ Военный институт Сил воздушной обороны имени дважды Героя Советского Союза Т. Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан

¹ avp57avp@yandex.ru, ² a_grigorev@mail.ru, ³ pelmenio@mail.ru, ⁴ iag1973@mail.ru, ⁵ rybakov_im@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цель работы – рассмотреть один из возможных подходов модификации моделей и алгоритмов обработки информации применительно к информационно-измерительным и управляющим системам (ИИУС) мобильных роботов (МР). Состав ИИУС составляет ядро для современных информационно-управляющих систем как одной из основных компонент для технической кибернетики. *Материалы и методы.* Методы, модели и реализующие действующие алгоритмы предварительного проектирования объектов ИИУС с разработкой современных систем автоматизированного проектирования данных объектов многофункциональным МР с оценкой основных показателей качества и функциональной эффективности, включающие комплекс информационных моделей аналитического конструирования, позволяют подключить их к динамическим модулям информационно-аналитической системы как современной информационной конструкции. *Результаты.* В качестве объекта исследования рассматривается ИИУС с многоспектральной оптико-электронной системой (ОЭС) мобильного робота. Предлагаются подход и действующие алгоритмы для осуществления задачи обработки сигналов ОЭС с возможностью дальнейшего использования в задачах математической обработки входных сигналов. *Вывод.* Обоснована информационная технология в задачах обработки сигнала ОЭС и предварительного проектирования объектов для перспективных и имеющихся комплексов с МР. Сегодня многофункциональные МР с многоспектральными ОЭС используют сигналы в привязке к объектам и конкретной местности их применения, в качестве телекоммуникационных каналов приема/передачи информации может использоваться радио- или оптическая связь. Отметим также, что более 80 % всего парка МР в мире имеют в своем составе информационно-измерительные и управляющие системы с многоспектральными ОЭС. Выявление первичных оценок измерений к основным показателям и основных характеристик ОЭС является одним из ключевых этапов по разработке проекта для комплекса многофункциональных МР с оценкой технического уровня.

Ключевые слова: информационно-измерительная и управляющая система, оптико-электронная система, состав, информационно-управляющая система, информационно-аналитическая система, структура, распознающее устройство, мобильные роботы, алгоритмическое и аппаратно-программное обеспечение ИИУС

Для цитирования: Полтавский А. В., Григорьев А. В., Мельничук А. И., Избасов А. Г., Рыбаков И. М. Оптимизация моделей объектов информационно-измерительных и управляющих систем мобильных роботов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 28–38. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-4

OPTIMIZATION OF MODELS OF OBJECTS OF INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM OF MOBILE ROBOTS

A.V. Poltavsky¹, A.V. Grigoriev², A.I. Melnichuk³, A.G. Izbasov⁴, I.M. Rybakov⁵

¹ V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^{2,5} Penza State University, Penza, Russia

³ Training aviation base of the Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Rtishchevo, Saratov region, Russia

⁴ Military Institute of Air Defense Forces named after twice Hero of the Soviet Union T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Kazakhstan

¹ avp57avp@yandex.ru, ² a_grigorev@mail.ru, ³ pelmenio@mail.ru, ⁴ iag1973@mail.ru, ⁵ rybakov_im@mail.ru

Abstract. *Background.* The purpose of the work is to consider one of the possible approaches to modifying models and algorithms for information processing in relation to information-measuring and control systems (IIUS) of mobile robots (MR). The composition of the IIUS is the core for modern information management systems (IUS) as one of the main components for technical cybernetics. *Materials and methods.* Methods, models and implementing operating algorithms for the preliminary design of IIUS objects with the development of modern computer-aided design systems for these objects by a multifunctional BWS with an assessment of the main quality indicators and functional efficiency, including a set of analytical design information models, allow them to be connected to dynamic modules of the information and analytical system (IAS) as a modern information design. *Results.* As an object of research, the IIUS from the multispectral optoelectronic system (ECO) of an unmanned aircraft is considered. An approach and operating algorithms are proposed to implement the task of processing ECO signals with the possibility of further use in problems of mathematical processing of input signals. *Conclusion.* The information technology in the tasks of signal processing of the ECO and preliminary design of facilities for promising and existing complexes with MR is substantiated. Today, multifunctional MR with multispectral ECO use signals in connection with objects and a specific area of their application, radio or optical communication can be used as telecommunication channels for receiving/transmitting information. It should also be noted that more than 80 % of the entire UAV fleet in the world includes information-measuring and control systems with multispectral ECO. Identification of primary measurement estimates for the main indicators and the main characteristics of the ECO is one of the key stages in the development of a project for a complex of multifunctional MR with an assessment of the technical level.

Keywords: information-measuring and control system, optoelectronic system, composition, information-control system, information-analytical system, structure, recognition device, mobile robots, algorithmic and hardware-software of IIUS

For citation: Poltavsky A.V., Grigoriev A.V., Melnichuk A.I., Izbakov A.G., Rybakov I.M. Optimization of models of objects of information-measuring and control system of mobile robots. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(2):28–38. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-4

Введение

В настоящий период времени большинство задач исследования [1] и оптимизации динамических систем непосредственно связано с разработками объектов для беспилотных систем и комплексов, которые интенсивно развиваются. Многие постановки и подобные задачи для этих, прежде всего, динамических систем, как правило, сводятся к разработке обоснованных методов их решения и информационных моделей, которые являются неотъемлемой частью в современных сложных информационных конструкциях. Реализующие подходы к проблеме идентификации и оптимизации моделей объектов для информационно-измерительных и управляющих систем могут быть разными (также по уровням и решаемым задачам для ИИУС), но как основной составной части в сетевой информационно-управляющей системе (ИУС), а также и связанных блоков для системы автоматического управления (САУ) беспилотного воздушного судна (МР – это БПЛА) эти подходы требуют применения научных методов в анализе и синтезе именно на начальной стадии зарождения системы [1, 2]. Одним из вариантов на этом множестве путей для поисковых исследований и раннего решения ряда оптимизационных задач выступают задачи, которые предусматривают сравнение (сличение) реального выходного сигнала Y динамической системы с сигналом желаемым (требуемым) Y_T . По существу, это также означает то, что в основу поисковых исследований и оптимизации объектов, а также и информационных процессов положены признаки, которые связаны с функционированием системы ИИУС. Следовательно, за качество [3] системы ИИУС здесь принимается ее эффективность, точнее, условная эффективность. В состав блоков модели и принимаемых ограничений (условий) включаются требования к процессу формирования Y . Требуемый сигнал вида Y_T задается из объективных возможностей (и принимаемых ограничений в информационном моделировании) и целевого назначения системы. Сам желаемый сигнал Y_T может быть эталоном (базовым сигналом), а формально связь входного X и выходного Y сигналов можно записать с помощью оператора $A(Y, X; t)$:

$$Y = A(Y, X; t)X.$$

Создаваемая сложная информационная конструкция и информационно-аналитическая система ИАС, состоящая из динамических модулей и моделей объектов ИИУС, имеет многоуровневое и иерархическое управление (подчиненность нижестоящих подсистем вышестоящим),

которое подчинено достижению главной цели, поставленной перед всей системой [4]. В заданных границах информационного моделирования ИИУС каждая подсистема, а также объект и каждый элемент проявляют локальную независимость. Видоизменять информационную конструкцию в ИАС можно путем замены некоторых управляющих звеньев для объектов ИИУС, которые будем характеризовать, как и прежде, управляющей матрицей S_c . Физически элементами матрицы S_c могут быть численные значения некоторых параметров, а также и события. Подчеркивая зависимость выходного сигнала системы ИИУС от управляющей матрицы, еще раз запишем информационную модель для модулей информационной конструкции ИАС в следующем виде:

$$Y(S_c) = A(Y, X, S_c; t)X.$$

Основная задача, стоящая перед объектами для модели ИИУС, – управление качеством (сближение Y и Y_T). Чтобы придать отклонениям Y от Y_T свойство для измеримости, будем пользоваться функцией потерь $\ell(Y, Y_T)$. Задавая назначение системы Y_T оптимизационным критерием

$$\min \rho = \min M[\ell(Y, Y_T)],$$

на его реализации могут быть сформулированы основные ограничения (условия), которые обеспечивают физическую осуществимость оптимальной системы ИИУС. Оптимизация связана с сравнительным анализом для значений ρ , что требует проведения многократных опытов, если опытом в компьютерном моделировании назвать совокупность из действий, в результате которых для данной реализации входного сигнала $X(t)$ ИИУС ставится в соответствие одна реализация для выходного сигнала $Y(t)$. Для реализации опыта нужна реальная система ИИУС или адекватная процессам информационная модель. Опыт с реальной системой становится целесообразным тогда, когда лицам ЛПП или самим исследователям принципиально необходимо учесть основные конструктивные, а также энергетические и некоторые эксплуатационные особенности системы. Как правило, целью таких опытов, как ранее отмечено, является доводка уже готовой системы до состояния наилучшего в смысле принятого критерия качества. В свою очередь, опыты с моделями являются более доступными, более экономичными, а иногда и единственно возможными. К преимуществам информационного моделирования относится также и то, что при этом создается возможность контроля непосредственно за каждым элементом процесса любой сложности. Процесс информационного моделирования ИИУС состоит в создании целой цепочки: системы–аналога и среды–аналога. В основу построения моделей ИИУС для многоцелевых МР, а также описания условий их работы и применения положены [5] «идентичность формы» уравнений и однозначность соотношений между переменными.

Модель и ИИУС идентификации сигналов

Построение моделей для многих ИУС связано с предварительным анализом их структуры, а также возможных вариантов для их проектирования [6]. Описание подхода исследования оптимизации моделей объектов ИИУС в составе МР в следующем. Задана динамическая система – ИИУС (как ядро для ИУС), на вход которой действуют входные сигналы вида $X_1(U_1; t)$, $X_2(U_2; t)$, ..., $X_r(U_r; t)$. Функции [7] на входе $X_\mu(U_\mu; t)$, ($\mu = \overline{1, r}$) являются случайными функциями времени, а векторные случайные величины U_r характеризуют возможную регулярность функций $X_r(U_r; t)$ (в частном случае функции $X_r(U_r)$ могут и не зависеть от времени). Свойства системы зависят от блочной управляющей матрицы S_c :

$$S_c = \begin{Bmatrix} S_{c_1} \\ S_{c_2} \end{Bmatrix},$$

где элементами $S_v^{(1)} (v = \overline{1, N_s})$ матрицы $S_{c_1} = \begin{Bmatrix} S_1^{(1)} \\ S_2^{(1)} \\ \vdots \\ S_{N_s}^{(1)} \end{Bmatrix}$ являются параметры для управляющих звеньев. В свою очередь, матрица

$$S_{c2} = \left\| \begin{array}{c} C_1^{(2)} \\ C_2^{(2)} \\ \vdots \\ C_M^{(2)} \end{array} \right\|$$

с элементами $C_i^{(2)} (i = \overline{1, M})$ – сложные события, они отвечают следующим требованиям:

$$\prod_{i=1}^M C_i^{(2)} = C, P(C) = 1, \sum_{j_i=1}^{n_i} C_{j_i}^{(2)} = C_i^{(2)}; \prod_{j_i=1}^{n_i} C_{j_i}^{(2)} = \emptyset; P(\emptyset) = 0 \text{ и } \sum_{j_i=1}^{n_i} P(C_{j_i}^{(2)}) = 1.$$

Первое требование свидетельствует о совместности событий $C_i^{(2)} (i = \overline{1, M})$, второе о том, что каждое событие $C_i^{(2)} (i = \overline{1, M})$ является сложным, третьему требованию соответствует несовместность для событий $C_{j_i}^{(2)} (j_i = \overline{1, n_i})$, четвертое говорит о полной группе событий $C_{j_i}^{(2)} (j_i = \overline{1, n_i})$. Задача данной системы в том, чтобы обеспечить максимум события

$$\theta = \sum_{\mu=1}^r \theta_{\mu}, \tag{1}$$

в котором θ_{μ} – несовместные события, состоящие в выполнении всей совокупности из требований, предъявляемых к системе ИИУС при входных сигналах $X_{\mu}(U_{\mu;t})$. Учитывая несовместность событий θ_{μ} , получим следующую формулу:

$$P(\theta) = \sum_{\mu=1}^r P(\theta_{\mu}). \tag{2}$$

Задачу, связанную с исследованием и оптимизацией системы, можно решить путем выбора из всех элементов для матрицы S_c , т.е. моделируемых элементов, при которых $S_c = S_o$ с обеспечением критерия

$$P(\theta) = P(\theta/S_o) = \max. \tag{3}$$

Принимая управляющую матрицу как $S_c = S_o$, динамическая система (в среднем) по входным сигналам $X_{\mu}(U_{\mu;t})$ обеспечивает максимум вероятности $P(\theta/S_c)$, сама система ИИУС при этом будет иметь постоянную структуру. Эффективность по критерию для максимальной вероятности $P(\theta)$ и выполнения всех основных требований, связанных с регистрацией сигнала $X_{\mu}(U_{\mu;t})$, в модели ИИУС можно также повысить, если в состав ее блоков включить распознающее устройство, способное отличать сигналы $X_{\mu}(U_{\mu;t})$ друг от друга. При фиксированной матрице $S_c = S_o$ вероятность $P(\theta/S_o) = \sum_{\mu=1}^r P(\theta_{\mu}/S_o)$, при этом нет уверенности в том, что каждый член этой суммы будет принимать максимальное значение. Значение для $P(\theta)$ может возрасти, если обеспечить

$$P(\theta) = \sum_{\mu=1}^r P(\theta_{\mu}/S_{\mu_o}),$$

где $P(\theta_{\mu}/S_{\mu_o})$ – максимальная вероятность события θ при появлении μ -го сигнала на входе системы ИИУС и оптимальных для сигнала значений $S_c = S_{\mu_o}$. Таким образом, на вход для распознающего устройства поступает сигнал $X_{\mu}(U_{\mu;t})$. В соответствии с образом для входного

сигнала $X_\mu(U_{\mu}; t)$ и сигналом для блока выбора решений имеется программируемый «переключающий» ключ K_p в автоматизированной ИАС, он осуществляет подключение одного из моделируемых каналов системы (рис. 1). В свою очередь, свойства для каналов и моделей объектов ИИУС в ИАС определяются оператором $B_v(S_{v_i}), (v = \overline{1, m})$:

$$Sv_1 = \begin{pmatrix} S_{v_1}^{(1)} \\ S_{v_2}^{(1)} \\ \vdots \\ S_{v_{N_{Sv}}}^{(1)} \end{pmatrix},$$

в котором v – фиксированное значение для матрицы S_{c_2} .

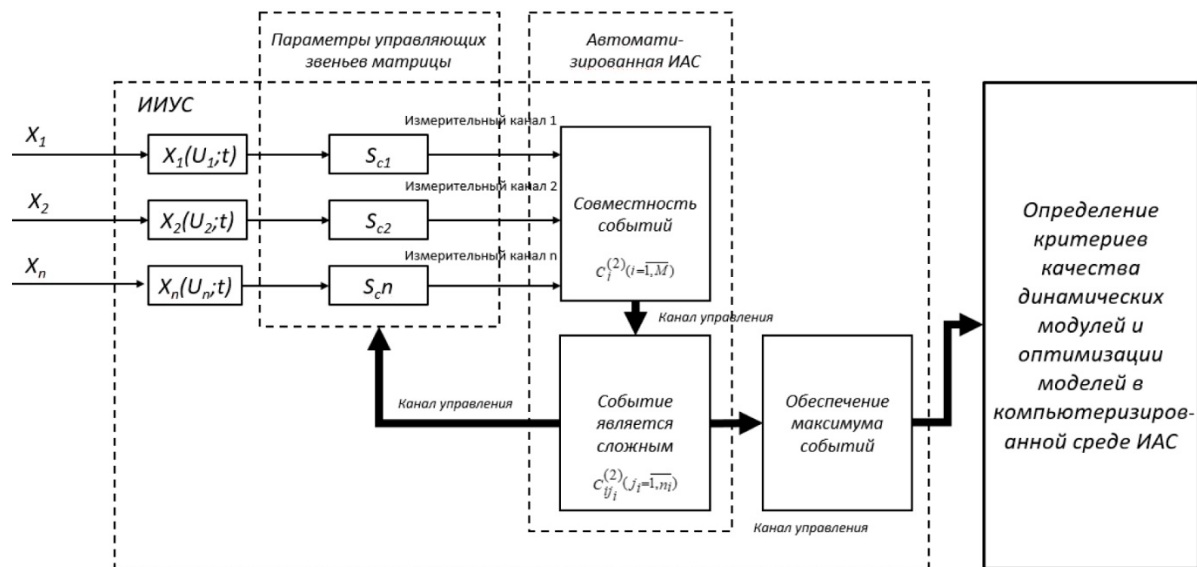


Рис. 1. Автоматизированная информационно-измерительная и управляющая система для оптимизации моделей объектов мобильных роботов

Рассмотрим идеальный случай, когда распознающее устройство в модели ИИУС и блок выбора решений работают без ошибок. Требуется определить матрицу $S\mu_0 (\mu = \overline{1, r})$, т.е. найти оптимальное решение (оптимальную матрицу S_{c2}) и оптимальные параметры подключенного в результате принятого решения канала в ИИУС (найти оптимальную матрицу S_{c1}) при принятом ранее условии, что на информационный вход действуют сигналы $X_\mu(U_\mu; t), (\mu = \overline{1, r})$. Критерием качества динамических модулей и оптимизации моделей в компьютеризированной среде ИАС будем считать максимум для вероятности $P(\theta) = \max$, критерий также применяется в распознавании образов [8]. Для решения задачи в компьютеризированной среде ИАС воспользуемся методом неградиентного случайного поиска Д. И. Гладкова. Рассмотрим систему, в которой матрица S_{c2} имеет в качестве своих составных элементов сложные события $c_1^{(2)}$ и $c_2^{(2)}$. На одном из уровней для ИИУС (пусть это первый уровень) происходит распознавание сигналов $X_\mu(U_\mu; t)$. При этом фиксируются события: $C_{11}^{(2)}$ – на вход действует сигнал $X_1(U_1; t)$; $C_{12}^{(2)}$ – на вход системы действует сигнал $X_2(U_2; t)$; ..., $C_{1r}^{(2)}$ – на вход системы действует сигнал $X_r(U_r; t)$. На втором уровне системы алгоритмом принимаются решения о подключении определенного канала в модели для ИИУС. При этом здесь происходят основные события, определяющие состояние системы в информационном моделировании: $C_{21}^{(2)}$ – подключен первый

канал $B_1(S_{11})$; $C_{22}^{(2)}$ – подключен второй канал $B_2(S_{21})$; $C_{2v}^{(2)}$ – подключен v -й канал $B_v(S_{v1})$; $C_{2m}^{(2)}$ – подключен m -й канал $B_m(S_{m1})$.

Матрица S_{c_2} имеет следующий вид:

$$S_{c_2} = \left\| \begin{matrix} C_1^{(2)} \\ C_2^{(2)} \end{matrix} \right\|. \quad (4)$$

Свойства для матрицы S_{c_2} характеризуются на основе

$$A_{\mu v} = C_{1\mu}^{(2)} C_{2v}^{(2)}, \quad (5)$$

где $C_{1\mu} (\mu = \overline{1, r})$ – события, определяющие образ входного сигнала в модели объектов для ИИУС; компонента C_{2v} – события, определяющие состояние системы ($v = \overline{1, m}$). Присутствие одного элемента от каждой строки матрицы (4) обязательно. Это обстоятельство вытекает из требования о совместимости событий $C_i^{(2)} (i = 1, 2)$. В свою очередь, каждое событие $A_{\mu v}$ определяет одно из возможных фиксированных состояний матрицы S_{c_2} . В процессе информационного случайного поиска все элементы для матрицы S_c будут также случайными. При фиксированном состоянии матрицы $S_c \Rightarrow \Xi_c$ случайные элементы заменяются их реализациями. Случайность для $C_{12}^{(2)}, \dots, C_{12}^{(2)}$ определяется по входным сигналам в модели ИИУС. Реализация $C_{11}^{(2)}, \dots, C_{1\mu}^{(2)}$ определяется алгоритмами поиска. Определяя управляющую матрицу S_c и событие θ_μ , запишем плотности

$$P(A_{\mu v}) f_{c_1}(\Xi_{c_1} / A_{\mu v}) P(\theta_\mu / A_{\mu v}; \Xi_{c_1}) = P(\theta_\mu) P(A_{\mu v} / \theta_\mu) f_\theta(\Xi_{c_1} / A_{\mu v}; \theta_\mu), \quad (6)$$

где $P(A_{\mu v})$ – вероятность события $A_{\mu v}$; $f_{c_1}(\Xi_{c_1} / A_{\mu v})$ – плотность вероятности матрицы Ξ_{c_1} при фиксированном состоянии матрицы Ξ_{c_2} ; $P(\theta_\mu / A_{\mu v}; \Xi_{c_1}) = P(\theta_\mu / \Xi_{c_1})$ – вероятность события θ_μ , при фиксации элементов для матрицы Ξ_{c_2} ; $P(A_{\mu v} / \theta_\mu)$ – вероятность события $A_{\mu v}$, при условии, что имеет место θ_μ ; $f_\theta(\Xi_{c_1} / A_{\mu v}; \theta_\mu)$ – плотность вероятности матрицы Ξ_{c_1} , при фиксированном состоянии для Ξ_{c_2} и при условии, что имеет место событие θ_μ . Из данного равенства находим

$$P(\theta_\mu / A_{\mu v}; \Xi_{c_1}) = P(\theta_\mu) \frac{P(A_{\mu v} / \theta_\mu) f_\theta(\Xi_{c_1} / A_{\mu v}; \theta_\mu)}{P(A_{\mu v}) f_{c_1}(\Xi_{c_1} / A_{\mu v})}. \quad (7)$$

Вероятность $P(\theta_\mu)$ не зависит от $A_{\mu v}$ и значений элементов матрицы Ξ_{c_1} , тогда можно утверждать, что максимальному значению вероятности

$$P(\theta_\mu / A_{\mu v}; \Xi_{c_1}) = P(\theta_\mu / S_{\mu_0}) \quad (8)$$

соответствует наибольший из максимумов рассматриваемых функций, т.е. имеем

$$F_{\mu v}(A_{\mu v}; \Xi_{c_1}) = \frac{P(A_{\mu v} / \theta_\mu) f_\theta(\Xi_{c_1} / A_{\mu v}; \theta_\mu)}{P(A_{\mu v}) f_{c_1}(\Xi_{c_1} / A_{\mu v})}. \quad (9)$$

Таким образом, при организации случайного поиска без самообучения в блоке для апостериорной информации необходимо формировать $f_\theta(\Xi_{c_1} / A_{\mu v}; \theta_\mu), P(A_{\mu v} / \theta_\mu)$, а также находить $\sup_{A_{\mu v} \Xi_{c_1}} F_{\mu v}(A_{\mu v}; \Xi_{c_1})$, поиск с самообучением следует организовать на основе зависимостей следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} P(A_{\mu\nu}n+1) &= P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu}; n), \\ f_{c_1}(\Xi_{c_1} / A_{\mu\nu}; n+1) &= f_{\theta}(\Xi_{c_1} / A_{\mu\nu}; \theta_{\mu}; n), \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu}; n)$ – вероятность события $A_{\mu\nu}$ на n -м сеансе поиска, при условии, что имело место событие θ_{μ} ; $P(A_{\mu\nu}; n+1)$ – вероятность события $A_{\mu\nu}$ на $(n+1)$ -м сеансе поиска, $f_{\theta}(\Xi_{c_1} / A_{\mu\nu}; \theta_{\mu}; n)$ – плотность вероятности для матрицы Ξ_{c_1} на n -м сеансе поиска, при условии, что уже произошли события θ_{μ} и $A_{\mu\nu}$; $f_{c_1}(\Xi_{c_1} / A_{\mu\nu}; n+1)$ – плотность вероятности для матрицы Ξ_{c_1} на $(n+1)$ -м сеансе поиска при фиксированном событии $A_{\mu\nu}$. Вероятностные характеристики, которые относятся к n -му сеансу поиска являются апостериорными, а к $(n+1)$ -му сеансу случайного поиска – априорными. Практически имеем выражения к построению алгоритма в информационной конструкции:

$$\left. \begin{aligned} M_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1) &= M_{\theta_{\mu}}(A_{\mu\nu}; n), \\ K_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1) &= K_{\theta_{\mu}}(A_{\mu\nu}; n), \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $M_{\theta_{\mu}}(A_{\mu\nu}; n)$ – апостериорная матрица из математических ожиданий, $K_{\theta_{\mu}}(A_{\mu\nu}; n)$ – апостериорная матрица корреляционных моментов связи для параметров управляющих звеньев объектов для ИИУС, при которых имело место событие θ_{μ} ; $M_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1), K_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1)$ – априорные матрицы из математических ожиданий и корреляционных моментов связи параметров управляющих звеньев. Матрица параметров формируется по следующим правилам:

$$\Xi_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1) = M_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1) + \Gamma_{\mu\nu}(A_{\mu\nu}; n+1)\Xi_{\Gamma_2}, \quad (\mu = \overline{1, r}; \nu = \overline{1, m}),$$

где $\Gamma_{\mu\nu}(A_{\mu\nu}; n+1)$ – треугольная матрица с элементами, функционально связанными с элементами $K_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1)$. Матрица $\Xi_{\Gamma_2} : M[\Xi_{\Gamma_2}] = 0; K_{\Gamma_2} = M[\Xi_{\Gamma_2}\Xi'_{\Gamma_2}] = E; E \in R(0;1)$.

Автоматизация и организация поиска в конструкции ИАС [9, 10] процедурами нейронной сети с самообучением заключается в следующем. В блоки (Γ, M_{c_1}) поступает вся апостериорная информация. На выходы в информационной среде ИАС пропускаются (в зависимости от события $A_{\mu\nu}$) только значения элементов матриц $\Gamma_{\mu\nu}(A_{\mu\nu}; n+1)$ и $M_{c_1}(A_{\mu\nu}; n+1)$, далее в блок $L_{\mu\nu}$ поступает значение для вероятности $P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu})$. Автоматически в ИАС корректируется виртуальная длина из каждой части для μ -го единичного отрезка

$$L_{\mu\nu}(n+1) = P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu}; n), \quad (12)$$

где $P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu}; n)$ – вероятность события $A_{\mu\nu}$, при условии, что имело место событие θ_{μ} , определяемая в процессе информационного поиска. Процесс случайного поиска в модели ИИУС в ИАС производится в последовательности. В соответствии с сигналом $X_{\mu}(U_{\mu}; t)$, поступающим на вход системы, распознающее устройство фиксирует событие $C_{1\mu}^{(2)}$. Далее сигнал $C_{1\mu}^{(2)}$ поступает в блок $L_{\mu\nu}$, где непосредственно находятся r единичных отрезков, каждый из которых «разбит» на m частей. Моделируемый в блоке $L_{\mu\nu}$ μ -й отрезок поступает в блок $A_{\mu\nu}$. Генератор-задатчик S_{Γ_1} , который представляет собой встроенный датчик для псевдослучайных чисел, он воспроизводит случайную величину, имеющую закон (встроенный датчик случайных чисел) распределения вида

$$f(\Xi_{\Gamma_1}) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 < \Xi_{\Gamma_1} < 1, \\ 0 & \text{при } \Xi_{\Gamma_1} < 0; \Xi_{\Gamma_1} > 1. \end{cases}$$

В блоке $A_{\mu\nu}$ происходит определение, на какую часть для μ -го отрезка непосредственно попала случайная величина Ξ_{Γ_1} . Попадание величины на ν -ю часть μ -го отрезка означает то, что есть факт фиксации для события $A_{\mu\nu}$. В соответствии с этим событием блок выбора решений подключает ν -й канал. Генератор Ξ_{Γ_2} формирует реализацию из значений для матрицы Ξ_{Γ_2} . На выходе из информационного блока наблюдается сигнал $Y_{\mu\nu}(t) = B_{\nu}[\Xi_{\nu 1}, X_{\mu}(U; t)]$. В блоке сличения ИАС для θ_{μ} происходит его сравнение с сигналом, требуемым $Y_{T\mu}(t)$. Если требования удовлетворены, срабатывает управляющий ключ (программа) K_{θ} и в информационный блок S_o поступают значения для элементов управляющей матрицы Ξ_c , соответствующие сеансу поиска. Если известна вероятность P_{μ} входных сигналов $X_{\mu}(U_{\mu}; t)$, то факт события $A_{\mu\nu}$ можно установить с помощью одного единичного отрезка. Отрезок разделен на r частей, а длина L_{μ} μ -й части отрезка равна вероятности $P_{\mu}(\mu = \overline{1, r})$. Попадание случайной величины Ξ_{Γ_1} на виртуальный отрезок L_{μ} будет свидетельствовать о появлении на входе ИИУС входного сигнала $X_{\mu}(U_{\mu}; t)$. Отрезок $L_{\mu}(\mu = \overline{1, r})$ в программе делится на m отрезков $L_{\mu\nu}(\nu = \overline{1, m})$ с целью удовлетворения вероятностей

$$\frac{L_{\mu\nu}}{L_{\mu}} = P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu}). \tag{13}$$

Величина $L_{\mu} = P_{\mu}$, ее можно определить следующим образом:

$$L_{\mu\nu}(n+1) = L_{\mu} P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu}; n). \tag{14}$$

В алгоритмах по идентификации моделей ИИУС попадание случайной величины Ξ_{Γ_1} на виртуальный отрезок $L_{\mu\nu}$ свидетельствует о том, что имеет место событие $A_{\mu\nu}$, окончанием поиска в компьютеризированной ИАС принята мера приращения матрицы математических ожиданий параметров:

$$\frac{1}{n_p} \sum_{i=0}^{n_p} \left| \frac{H_{n_{y-i}} - H_{n_{y-i-1}}}{H_{n_{y-i}}} \right| \leq \epsilon_p, \tag{15}$$

где $H_{n_{y-i}}$ – норма матрицы M_{θ} на n_{y-i} -м сеансе поиска; n_p – интервал усреднения; ϵ_p – заданное число, определяющее меру для приращения матрицы M_{θ} , характеризующее стационарность информационного процесса. При оптимизации решений стационарность процесса поиска также является сигналом к окончанию поиска. При неустановившемся режиме поиска оптимальные решения в среде ИАС будут находится из формулы

$$\frac{P(A_{\mu\nu} / \theta_{\mu})}{P(A_{\mu\nu})}. \tag{16}$$

Оценкой оптимальных параметров объектов в модели ИИУС при симметричной апостериорной плотности вероятности $f_{\theta}(\Xi_{c_1} / \theta_{\mu})$ является

$$S_{\mu\nu_0} = M \left[\Xi_{c_i} / A_{\mu\nu}; \theta_{\mu} \right]. \quad (17)$$

В итоге результатом поиска наилучшей модели в ИИУС являются оптимальные решения $a_{\mu\nu_0}$ для каждого вида моделируемых входных сигналов. А также одновременно определяются значения параметров управляющих звеньев $S_{\mu\nu_0}$, которые вводятся, а затем также фиксируются в аппаратно-программной среде ИАС.

Заключение

Важное практическое значение имеют разработки из информационных конструкций для ИИУС, основанные на математических моделях. Автоматизация сложных процессов управления в информационных блоках беспилотных авиационных систем приводит к необходимости использования различных моделей для систем в ИИУС с переменной структурой как мультиструктурной прежде всего. Анализ и сами исследования таких сложных технических систем часто [11] основаны на теоретико-множественных и логико-вероятностных подходах для рассмотрения динамики системы в пространстве состояний. Одной из основных и главных задач для ИИУС в МР является задача поиска сигнала (источника сигнала) и его сопровождения (слежения). Эта задача достаточно комплексная. Направления моделирования систем с современными информационными технологиями и разработки для автоматизации объектов информационных процессов направлены, прежде всего, на комплексирование задач, обоснование методов, моделей и алгоритмов к многокритериальному оцениванию показателей качества и технического уровня объектов ИИУС с целью выбора наилучших альтернатив. Они также предлагают и различные подходы к идентификации объектов в БАС. Известные положения из теории исследования операций предполагают комплексный набор – ряд из методов и способов формирования единого критерия $J(\cdot)$ ИИУС как набора из частных критериев J_i . Метод введения (учета) ограничений в информационной конструкции на выходные параметры в форме их для «свертки» позволяет решать многие задачи анализа и оптимизации. Преобразование задачи оптимизации в ИИУС с ограничениями в задачу оптимизации без ограничений путем изменения целевой функции является базисом и основой для целой группы методов, часто также еще называемых методами штрафных функций. Алгоритмы поиска лучших параметров и лучших решений (особенно на ранней стадии их предварительного анализа, проектирования и контроля испытаний) для объектов ИИУС в информационной конструкции методом НСП наряду с известными методами экспертных оценок могут дать не только оптимальные решения к выбору моделей для систем и объектов современным МР, но и указать на меру их конкурентоспособности в соответствии с принятым условием для критерия, формируемого из набора основных показателей качества и функциональной эффективности всей. Создание сложных информационных конструкций с основными блоками к модели ИИУС для разных типов компьютеризированных информационно-аналитических систем (ИАС), как правило, двойного назначения позволяет ЛПР выработать более объективные решения при построении современных систем управления и систем наведения беспилотных воздушных судов. Важно и то, что данный подход к поисковым исследованиям и оптимизации моделей объектов беспилотной техники может дополняться основными компонентами также современных технологий – технологий построения геоинформационных систем (ГИС). В настоящее время различные виды ГИС-технологий интенсивно развиваются, особенно это видно при построении современных информационных моделей для объектов беспилотных транспортных систем (морских надводных, наземных, подземных, подводных и космических), связанных также с алгоритмами и переработкой пространственно-временных данных.

Список литературы

1. Гладков Д. И. Оптимизация систем неградиентным случайным поиском. М. : Энергоиздат, 1984. 256 с.
2. Гришко А. К., Лапшин Э. В., Полтавский А. В. [и др.]. Основы управления в радиоэлектронных системах : учеб. пособие. Пенза, 2016.
3. Казаков И. Е., Мальчиков С. В. Анализ стохастических систем в пространстве состояний. М. : Наука, 1983. 384 с.

4. Семенов А. Д., Артамонов Д. В., Брюхачев А. В. Идентификация объектов управления : учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. 211 с.
5. Жумабаева А. С., Полтавский А. В., Юрков Н. К. К проблеме модельного синтеза комплексов беспилотных летательных аппаратов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 1. С. 73–81.
6. Кульба В. В., Микрин Е. Н., Павлов Б. В., Платонов В. Н. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов // Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. М. : Наука, 2006. 579 с.
7. Полтавский А. В. Модель измерительной системы в управлении БПЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 10. С. 73–77.
8. Гладков Д. И., Полтавский А. В. Информационный аспект маневренного противодействия антиракетам // Проблемы повышения эффективности УАСП : сб. тр. НММ ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского. М., 1996. 128 с.
9. Полтавский А. В., Бурба А. А., Русяева Е. Ю. Оптико-электронная система мониторинга окружающего пространства // Изобретательство. 2012. Т. 12. № 8. С. 28–31.
10. Полтавский А. В., Юрков Н. К., Неведьев Д. И., Гриншкун А. В. Информационная модель распознавания образов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т. 2. С. 114–117.
11. Дремлюга Г. П., Есин С. А., Иванов Ю. А., Ляшенко В. А. Беспилотные летательные аппараты. Состояние и тенденции развития / под общ. ред. Ю. Б. Иванова. М. : Варяг, 2004. 176 с.

References

1. Gladkov D.I. *Optimizatsiya sistem negradientnym sluchaynym poiskom = Optimization of systems by non-gradient random search*. Moscow: Energoizdat, 1984:256. (In Russ.)
2. Grishko A.K., Lapshin E.V., Poltavskiy A.V. et al. *Osnovy upravleniya v radioelektronnykh sistemakh: ucheb. posobie = Fundamentals of control in radio-electronic systems : a textbook*. Penza, 2016. (In Russ.)
3. Kazakov I.E., Mal'chikov S.V. *Analiz stokhasticheskikh sistem v prostranstve sostoyaniy = Analysis of stochastic systems in the state space*. Moscow: Nauka, 1983:384. (In Russ.)
4. Semenov A.D., Artamonov D.V., Bryukhachev A.V. *Identifikatsiya ob"ektov upravleniya: ucheb. posobie = Identification of management objects : a textbook*. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2003:211. (In Russ.)
5. Zhumabaeva A.S., Poltavskiy A.V., Yurkov N.K. On the problem of model synthesis of unmanned aerial vehicle complexes. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2017;(1):73–81. (In Russ.)
6. Kul'ba V.V., Mikrin E.N., Pavlov B.V., Platonov V.N. Theoretical foundations of designing information and control systems of spacecraft. *Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN = V.A. Trapeznikov Institute of Control Problems of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Nauka, 2006:579. (In Russ.)
7. Poltavskiy A.V. Model of a measuring system in UAV control. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Information-measuring and control systems*. 2009;(10):73–77. (In Russ.)
8. Gladkov D.I., Poltavskiy A.V. Informational aspect of maneuverable counteraction to anti-missile. *Problemy povysheniya effektivnosti UASP: sb. tr. NMM VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo = Problems of increasing the effectiveness of UASP : sb. tr. NMM VVIA named after prof. N.E. Zhukovsky*. Moscow, 1996:128. (In Russ.)
9. Poltavskiy A.V., Burba A.A., Rusaeva E.Yu. Optical-electronic monitoring system of the environment pro-wanderings. *Izobretatel'stvo = Invention*. 2012;12(8):28–31. (In Russ.)
10. Poltavskiy A.V., Yurkov N.K., Nefed'ev D.I., Grinshkun A.V. Information model of pattern recognition. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2017;2:114–117. (In Russ.)
11. Dremlyuga G.P., Esin S.A., Ivanov Yu.A., Lyashenko V.A. *Bespilotnye letatel'nye apparaty. Sostoyanie i tendentsii razvitiya = Unmanned aerial vehicles. The state and trends of development*. Moscow: Varyag, 2004:176. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Васильевич Полтавский

доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН (Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)
E-mail: avp57avp@yandex.ru

Aleksandr V. Poltavsky

Doctor of technical sciences, senior researcher, leading researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences (65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)
E-mail: avp57avp@yandex.ru

Алексей Валерьевич Григорьев

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: a_grigorev@mail.ru

Антон Иванович Мельничук

инженер группы обслуживания
и ремонта бортовой
контрольно-записывающей аппаратуры,
Учебная авиационная база Краснодарского
высшего военного авиационного училища
летчиков МО РФ
(Россия, Саратовская область,
г. Ртищево, ул. Котовского 1/1)
E-mail: pelmenio@mail.ru

Аскар Гадылшиевич Избасов

заместитель начальника,
Военный институт Сил воздушной обороны
имени дважды Героя Советского Союза
Т. Я. Бегельдинова
(Казахстан, г. Актобе,
пр-т Алии Молдагуловой 39)
E-mail: iag1973@mail.ru

Илья Михайлович Рыбаков

кандидат технических наук,
доцент кафедры конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: rybakov_im@mail.ru

Aleksey V. Grigoriev

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of radio equipment design and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Anton I. Melnichuk

Engineer of the on-board control and recording
equipment maintenance and repair group,
Training aviation base of the Krasnodar Higher
Military Aviation School of Pilots of the Ministry
of Defense of the Russian Federation
(1/1 Kotovsky street, Rtishchevo,
Saratov region, Russia)

Askar G. Izbasov

Deputy head,
Military Institute of Air Defense Forces
named after twice Hero
of the Soviet Union T.Ya. Begeldinov
(39 Aliya Moldagulova avenue, Aktobe, Kazakhstan)

Илья М. Rybakov

Candidate of technical sciences,
associate professor of the sub-department
of radio equipment design and production,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 27.01.2023

Поступила после рецензирования/Revised 27.02.2023

Принята к публикации/Accepted 24.03.2023