

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ПОДВЕРЖЕННОЙ ДЕЙСТВИЮ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХ

В.И. Павлов, Т.Ю. Дорохова, С.В. Толстых

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Эффективность информационно-измерительных систем, применяемых в таких областях как радиолокация, связь, во многом зависит от их устойчивости к действию преднамеренно создаваемых помех. В статье рассматривается подход к повышению помехоустойчивости информационно-измерительных систем путем адаптации их структуры к изменениям сигнально-помеховой обстановки. Методами теории оптимизации динамических систем случайной структуры синтезирован алгоритм управления структурой информационно-измерительной системы, в состав которой входит радиолокационная станция. Показаны структурные схемы вновь разрабатываемых устройств. Приведены результаты исследования разработанного алгоритма управления структурой информационно-измерительной системы, подверженной действию организованных помех, подтверждающие его практическую значимость. Результаты исследований могут быть использованы при разработке информационно-измерительных и управляющих систем в области управления воздушным движением, самонаведения подвижных объектов, в связных и навигационных системах, других системах, располагающих открытыми входными информационными каналами.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, управление структурой, организованные помехи.

ВВЕДЕНИЕ

Радиолокационные станции (РЛС) являются неотъемлемым элементом информационно-измерительных систем (ИИС) как подвижных, так и стационарных объектов. РЛС входят в состав бортовых ИИС летательных аппаратов, кораблей, наземных подвижных объектов, а также используются для обзора воздушного пространства, управления воздушным движением и пр. В настоящее время РЛС, выполняющие важные функции, часто подвергаются воздействию, в том числе, организованных помех [1]. Организованные помехи по эффекту воздействия подразделяются на маскирующие, уменьшающие отношение сигнал/шум на входе приемника РЛС, и имитирующие, вносящие ложную информацию в измеряемые РЛС фазовые координаты лоцируемых объектов. Организованные помехи излучаются специальными станциями постановки помех, входящими в комплекс средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) защищаемого объекта, в соответствии с законами, правилами и приемами РЭБ и могут представлять собой различные, изменяющиеся во времени сочетания маскирующих и имитирующих помех [2]. От степени устойчивости РЛС к действию организованных помех во многом зависит эффективность соответствующей ИИС при выполнении ею задач по предназначению.

Одним из известных приемов повышения помехоустойчивости РЛС является адаптация ее структуры к изменениям сигнально-помеховой обстановки [3,4]. В статье рассматривается вариант управления структурой РЛС в соответствии с методами

теории оптимизации динамических систем случайной структуры [5,6]. Целью исследования является разработка практически реализуемого алгоритма управления структурой информационно-измерительной системы, повышающего ее устойчивость к действию организованных помех.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Широкое применение в ИИС, например, в системах управления воздушным движением, при самонаведении летательных аппаратов получили импульсные следящие РЛС, выступающие в качестве основного измерительного средства. К достоинствам импульсных РЛС прежде всего относятся большая дальность обнаружения целей, высокая точность измерения фазовых координат лоцируемых объектов, помехозащищенность. Импульсная следящая РЛС выбрана в качестве объекта исследования, в то же время принципы построения алгоритма управления структурой могут быть распространены и на другие типы РЛС. В литературе по радиолокации имеется большое количество схем импульсных РЛС различного предназначения [7,8].

На рисунке 1 приведен вариант обобщенной структурной схемы импульсной РЛС, где обозначено: А – антенна; ПРД – передатчик; АП – антенный переключатель; ПРМ – приемник; СС – синтезатор-синхронизатор; ПД – процессор данных; И – индикатор [9].

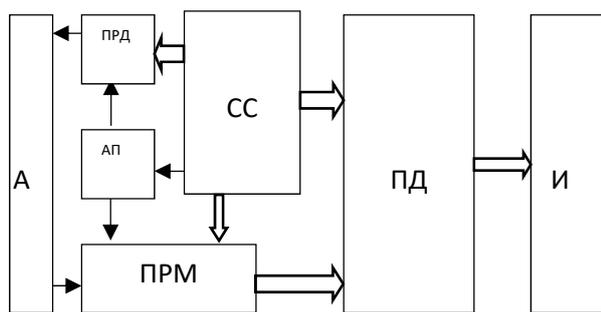


Рис. 1. Структурная схема импульсной РЛС

РЛС выполняет измерения Z вектора фазовых координат Y лоцируемого объекта в соответствии с моделью

$$Z_k^{(s)} = C_k^{(s)} Y_k + N_k^{(s)}, \quad (1)$$

где C – матрица дискриминационных характеристик измерителей РЛС, зависящая от индекса s задаваемая при разработке алгоритма управления структурой РЛС; N – шум измерений с дисперсией Q ; s – номер структуры РЛС; k – момент времени.

В состав вектора Y в общем случае входят угловые координаты (азимут, угол места и их производные), дальность и скорость сближения с объектом. Модель (1) соответствует управляемому измерителю, для которого характерны режимы нормальной работы и аномальных измерений. Причинами аномальных измерений могут являться воздействия на РЛС организованных помех, приводящие как к скачкообразным, так и постепенным негативным изменениям выходных сигналов. Вариант исполнения измерительной системы следающего типа со случайными скачкообразными изменениями структуры в виде схемы подключения датчиков показан на рисунке 2.

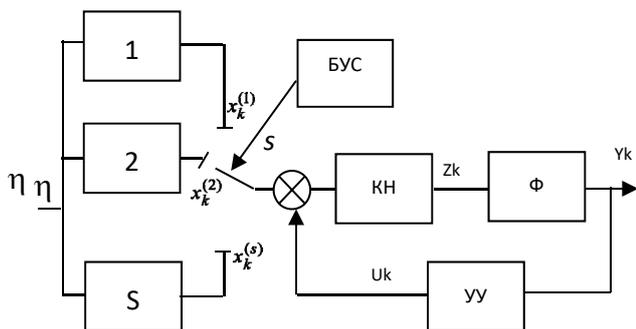


Рис.2 Структура измерительной системы следающего типа со случайными скачкообразными изменениями

На рисунке 2 обозначены: η_k – входной сигнал ИС; 1, 2, ... , S – номера датчиков; x_k, s, Z_k, Y_k, U_k – соответственно выходные сигналы датчиков, блока управления структурой (БУС), канала наблюдения

(КН), фильтра (Ф) и устройства управления (УУ); $k - 1, 2, \dots, K$ – последовательность шагов счета.

Выбор подключаемого в текущий момент времени датчика осуществляется в соответствии с оценкой s по сигналам алгоритма управления структурой. Другими вариантами исполнения измерительной системы следающего типа со случайными скачкообразными изменениями структуры могут быть такие, в которых каждый из блоков КН, Ф или УУ представлен в виде набора подсистем, одна из которых подключается к обработке информации по сигналам алгоритма управления структурой. Схема блока управления структурой ИИС показана на рисунке 3.

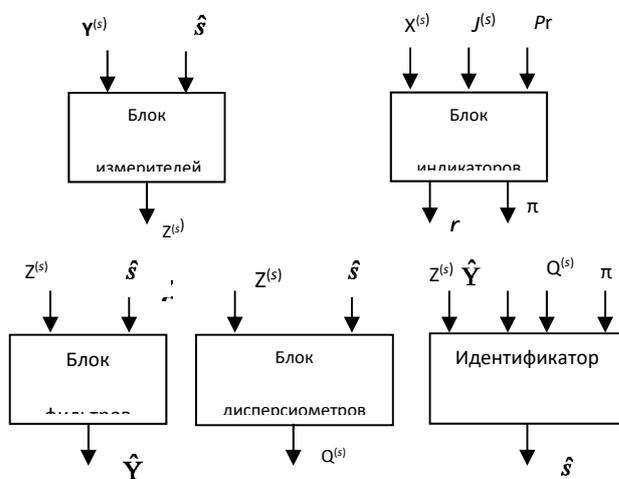


Рис. 3. Структурная схема БУС

Алгоритм управления структурой предназначен для формирования оценки s сложившейся в текущий момент времени сигнально-помеховой обстановки. Классификация возможных сигнально-помеховых ситуаций (СПС) выполняется таким образом, чтобы их совокупность представляла собой полную группу несовместных событий. Для распознавания сигнально-помеховой обстановки целесообразно совместно с измерителями РЛС, например, угломерным, дальности и скорости сближения с лоцируемым объектом, использовать так называемые индикаторы сопутствующих признаков (ИСП) сигналов и помех. В [10] приведена универсальная математическая модель, описывающая функционирование ИСП вне зависимости от физической природы индицируемого сопутствующего признака.

Алгоритм управления структурой ИИС, разработанный на основании байесовского подхода в соответствии с методами теории систем со случайной структурой имеет вид:

$$\hat{p}_k^{(s)} = p_k^{(s)} \prod (\text{Pr}) \exp(D) / \sum_{s=1}^{\infty} p_k^{(s)} \prod (\text{Pr}) \exp(D) \Delta Y; \quad (2)$$

$$D = -0.5(Z_k - Y_k)^2 / Q; \quad (3)$$

$$p_k^{(s)} = \hat{p}_{k-1}^{(s)}; \quad (4)$$

$$\prod (\text{Pr}) = \prod_{m=1}^M \pi_m(J, \text{Pr}), \quad m = \overline{1, M}; \quad (5)$$

$$\pi_k(J, \text{Pr}) = P(r_k, k | J_k, \text{Pr}, r_{k-1}, k); \quad (6)$$

$$\hat{s}_k = \arg \max_s \hat{p}_k^{(s)}, \quad s = \overline{1, S}, \quad (7)$$

где $p_k^{(s)}$ – апостериорная вероятность s -й СПС; Pr – признак помехи; J – индикаторная функция ИСП; M – количество ИСП; $\pi_k(J, \text{Pr})$ – вероятность правильного распознавания помехи; r – выходной сигнал ИСП; количество классифицируемых СПС.

Вариант возможной сигнально-помеховой обстановки, заключающийся в совокупности изменяемых в случайные моменты времени СПС, показан в виде таблицы 1. В таблице 1 также показано наличие выходных сигналов измерителей РЛС и ИСП, применяемых для распознавания. В таблице 1 приняты обозначения: БП, М, УД, УДС – соответственно беспомеховая ситуация, маскирующая, уводящая по дальности, уводящая по дальности и скорости помехи; $\alpha\beta$, D , V – соответственно угломерный, дальности и скорости сближения измерители; J_u, J_D, J_V – соответственно ИСП маскирующей, уводящей по дальности, уводящей по скорости помех.

Табл.1. Вариант сигнально-помеховой обстановки ИИС

s	СПС	Измерители РЛС			ИСП		
		$\alpha\beta$	D	V	J_u	J_D	J_V
1	БП	+	+	+			
2	М	+			+		
3	УД		+			+	
	УДС		+	+		+	+
...							
S	М+УДС	+	+	+	+	+	+

Радиотехнические элементы измерительной системы (рис.2) являются частью приемника, в то время как алгоритм управления структурой (1)-(7) предназначен для реализации в процессоре данных РЛС (рис.1). Важными характеристиками алгоритма (1)-(7) являются быстрдействие и достоверность распознавания текущей СПС. Под быстрдействием алгоритма понимается задержка $\Delta\tau$ в принятии решения об изменении номера СПС при наступлении какого-либо из двух событий – скачкообразного изменения выходного сигнала (1) любого из измерителей или изменения состояния любого из индикаторов (6). В качестве показателя достоверности

распознавания выступала оценка $\hat{p}^{(s)}$ вероятности текущей s -й ситуации по сравнению с вероятностями остальных возможных СПС. Результаты исследования алгоритма (1)-(7) показаны на рисунках 4 и 5.

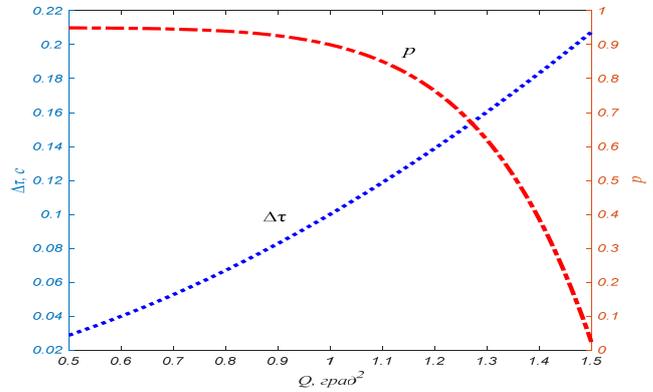


Рис. 4. Зависимость $\Delta\tau$ и $\hat{p}^{(s)}$ от дисперсии углового шума пеленгатора

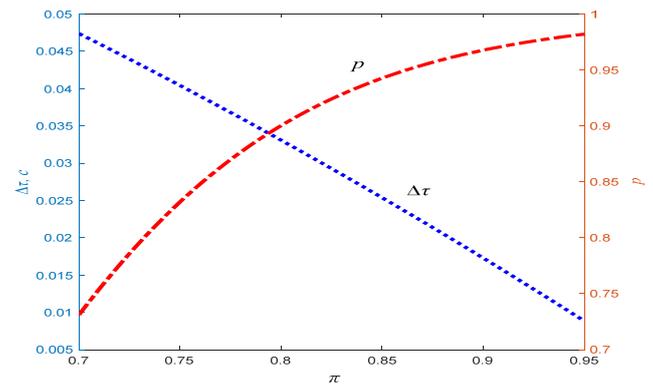


Рис. 5. Зависимость $\Delta\tau$ и $\hat{p}^{(s)}$ от вероятностей распознавания помех

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Адаптация ИИС путем изменения ее структуры позволяет повысить помехоустойчивость и, следовательно, точность выполняемых измерений. Изменения структуры должны осуществляться в так называемом режиме реального времени, то есть сигнал на изменение структуры должен формироваться до завершения переходных процессов в измерителях, вызываемых скачкообразным изменением входных сигналов ИИС.

Анализ результатов исследования алгоритма (1)-(7) позволяет сделать следующий вывод – удовлетворительные для практики значения вероятности распознавания сигнально-помеховых ситуаций и быстрдействия достигаются при значениях дисперсии углового шума ниже $Q=1.2$ град² и вероятностях правильного распознавания помех $\pi_k(J, \text{Pr}) > 0.7$. При этом увеличение количества

индикаторов помех, задействованных в алгоритме, приводит к повышению достоверности распознавания без снижения быстродействия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-08-00091-а

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. М.Ю.Перунова. – М.: Радиотехника. 2003. – 416 с.
2. Палий А.И. Радиовойна. – Рипол Классик, 2013. – 214 с.
3. Павлов, В.И. Оптимизация функционирования измерительных систем, устанавливаемых на подвижные объекты / В.И.Павлов, В.В.Аксенов, Т.В.Аксенова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 18. – №4. – С. 828-833.
4. Павлов, В.И. Информационно-измерительная и управляющая система, повышающая устойчивость радиорелейной станции к действию имитационных помех / В.И.Павлов, В.В.Аксенов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Специальный выпуск. – 2014. – Т. 52. – С. 12-15.
5. Казаков И.Е., Артемьев В.М. Оптимизация динамических систем случайной структуры. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
6. Бухалев В.А. Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой. – М.: Наука, 1996. – 288 с.
7. Авиационные системы радиопередачи. Т.2. Радиолокационные системы самонаведения / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: «Радиотехника». 2003. – 390 с.
8. Радиотехнические системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Ю.М. Казаринов и др.]; под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: «Академия», 2008. – 592 с.
9. Основы теории радиолокационных систем и комплексов : учеб. / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев ; под общ. ред. М. И. Ботова. – Красноярск :Сиб. федер. ун-т, 2013. – 530 с.
10. Павлов В.И. Оптимальное обнаружение изменения свойств случайных последовательностей по информации измерителя и индикатора // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 1. – С. 54-60.

Павлов Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, vpravl@mail.ru, тел. (4752)63-94-17

Дорохова Татьяна Юрьевна – кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, e-mail: tandor81@mail.ru, тел. (4752)63-94-17

Толстых Сергей Владимирович – аспирант, ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет, e-mail: tolstserge@mail.ru, тел. (4752)63-94-17

ALGORITHM FOR MANAGING THE STRUCTURE OF AN INFORMATION-MEASURING SYSTEM SUBJECT TO ORGANIZED INTERFERENCE

V.I. Pavlov, T.Yu. Dorohova, S.V. Tolstuh
Tambov State Technical University (TSTU), Tambov

Abstract – The effectiveness of information and measurement systems used in such areas as radar, communications, largely depends on their resistance to the action of deliberately generated interference. The article discusses an approach to increasing the noise immunity of information-measuring systems by adapting their structure to changes in the signal-interference environment. Using the methods of the theory of optimization of dynamic systems of random structure, an algorithm for controlling the structure of an information-measuring system, which includes a radar station, has been synthesized. The block diagrams of newly developed devices are shown. The results of the study of the developed algorithm for controlling the structure of the information-measuring system exposed to organized interference are presented, confirming its practical significance. The research results can be used in the development of information-measuring and control systems in the field of air traffic control, homing of mobile objects, in communication and navigation systems, and other systems with open input information channels.

Keywords: data measuring system, structure management, organized interference.

REFERENCES

1. *Electronic suppression of information channels of weapons control systems* / Ed. M.Yu. Perunova, M.: Radio engineering, 2003.
2. Paliy, A.I. *Radio war*. - Ripol Classic, 2013.
3. Pavlov, V.I., Aksenov V. V., Aksenova T. V. "Optimization of the functioning of measuring systems installed on mobile objects," *Bulletin of the Tambov State Technical University*. - Vol. 18 (4), pp. 828-833, 2011.
4. Pavlov, V.I., Aksenov, V.V. "Information-measuring and control system that increases the resistance of the radio relay station to the action of imitation interference," *Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky*. Special issue, vol. 52, pp.12-15, 2014.
5. Kazakov I.E., Artemiev V.M. *Optimization of dynamic systems of random structure*, M.: Nauka, 1980.
6. Bukhalev, V.A. *Recognition, estimation and control in systems with a random jump-like structure*, M.: Nauka, 1996.
7. *Aircraft radio control systems. Vol.2. Radar homing systems* / Ed. A.I. Kanashenkov and V.I. Merkulova. - M.: "Radiotekhnika". 2003.
8. Kazarinov, Yu. M., *Radio engineering systems*. Moscow: Publishing center "Academy", 2008.
9. *Fundamentals of the theory of radar systems and complexes: textbook* / M. I. Botov, V. A. Vyakhirev; under total. ed. M.I.Botova, Krasnoyarsk: Sib. Feder. un-t, 2013.
10. Pavlov, V.I. "Optimal detection of changes in the properties of random sequences based on the information of the meter and indicator," *Automation and Telemekhanics*, Vol. 1, pp. 54-60, 1998.

Pavlov Vladimir Ivanovich, doctor of sciences, professor, Tambov State Technical University, (4752)63-94-17, e-mail: vpavl@mail.ru

Dorohova Tatiana Yurievna, Ph.D. of sciences, Associate Professor, Tambov State Technical University, (4752)63-94-17, e-mail: tandor81@mail.ru

Tolstuh Sergey Vladimirovich, Postgraduate, Tambov State Technical University, (4752)63-94-17, e-mail: tolstserge@mail.ru