

УДК 621.396.96

ББК 32.842

П. А. Хмарский

Минск, Республика Беларусь

Д. Родригес

Минск, Республика Беларусь

А. И. Соловов

Минск, Республика Беларусь

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ИМИТАТОР ПЕРВИЧНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДИСПЕТЧЕРСКОГО РАДИОЛОКАТОРА

Рассмотрены принципы построения разработанного программно-аппаратного имитатора первичных радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора. Использование предлагаемого программно-аппаратного имитатора в составе диспетчерского радиолокатора позволит существенно повысить его конкурентоспособность за счет возможности реализации режимов исследования и внедрения существующих и перспективных алгоритмов обработки радиолокационной информации.

Ключевые слова: диспетчерский радиолокатор, программно-аппаратный комплекс, генератор траекторий, формирователь помех, конструктор радиолокационных объектов.

P. A. Hmarskij

Minsk, Republic of Belarus

D. Rodriguez

Minsk, Republic of Belarus

A. I. Solovov

Minsk, Republic of Belarus

HARDWARE-SOFTWARE SIMULATOR FOR PRIMARY RADAR SIGNALS OF THE CONTROL RADAR

The article focuses on the principles of construction of the developed hardware-software simulator for primary radar signals of the control radar. The use of the proposed hardware simulator within a dispatching radar will significantly improve its competitiveness due to the possibility of realization of the modes of research and implementation of existing and future algorithms for radar information processing.

Keywords: control radar, hardware and software system, the generator of trajectories, noise shaper, designer of radar objects.

Введение. Вопросам разработки современных систем имитации воздушно-помеховой обстановки применительно к радиолокационным системам управления воздушным движением уделяется большое внимание [Солонар, 2014, с. 60–66; Костромицкий, 2013, с. 115–118; Курлович, 1999, с. 123; Горелик, 1985, с. 200–225; Канащенков, 2003, с. 15]. Особое место в системе управления воздушным движением занимает диспетчерский радиолокатор, обеспечивающий группу руководства полетами информацией о всей совокупности летательных аппаратов в ближней зоне аэродрома. При разработке алгоритмов математического моделирования составляющих принятого сигнала для программно-аппаратного имитатора радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора необходимо учитывать современное состояние систем создания и постановки имитирующих и дезорганизующих помех естественного и искусственного происхождения. Кроме того, реализуемые алгоритмы моделирования реализаций отраженного сигнала должны учитывать основные отличительные особенности сигналов реальных радиолокационных объектов [Ярмолик, 2008, с. 34–38; Ширман, 2007, с. 119–127]: мощностные характеристики, корреляционные свойства, фазовые соотношения, радиальные размеры целей и т. п. На этапе разработки алгоритмов имитации важным вопросом является также анализ и учет особенно-

стей тракта обработки диспетчерского радиолокатора, в интересах которого осуществляется имитация составляющих принятого сигнала [Охрименко, 1983, с. 72]. Разрабатываемые математические модели составляющих принятого сигнала основаны на результатах предварительных расчетов и экспериментальных исследований и позволяют установить связь между исходными данными (тип наблюдаемого объекта, его геометрические характеристики, особенности пространственного перемещения, параметры РЛС и т. п.) и характеристиками имитируемого процесса.

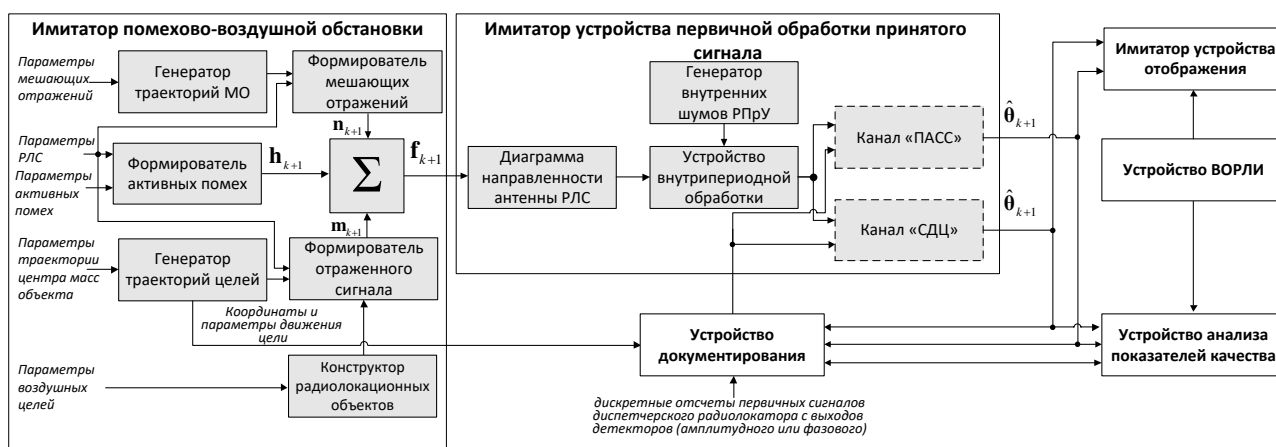


Рисунок – Структура программно-аппаратного имитатора первичных радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора

На кафедре авиационных радиоэлектронных систем учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» разработан и внедрен в учебный и научно-исследовательский процесс программно-аппаратный имитатор первичных радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора, структура которого изображена на *рисунке*.

Программно-аппаратный имитатор первичных радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора позволяет: моделировать входное воздействие для устройств первичной, вторичной обработки радиолокационной информации, записывать моделируемое или реальное (с выходов детекторов от реального диспетчерского радиолокатора) входное воздействие и результаты его обработки и анализировать показатели качества работы исследуемых и анализируемых устройств по записанным смоделированным или реальным входным данным.

Программно-аппаратный имитатор первичных радиолокационных сигналов диспетчерского радиолокатора состоит из: имитатора воздушно-помеховой обстановки, имитатора устройства первичной обработки принятого сигнала; имитатора устройства отображения; устройства вторичной обработки радиолокационной информации (ВОРЛИ); устройства документирования; устройства анализа показателей качества. Принципы построения разработанного программно-аппаратного имитатора следующие.

Имитатор воздушно-помеховой обстановки позволяет моделировать сложную обстановку в зоне обзора диспетчерского радиолокатора с числом воздушных целей до 250. Процесс моделирования отсчетов имитируемого процесса организуется в 2 этапа: этап предварительной подготовки исходных данных (выполняется однократно, после выбора конфигурации); этап непосредственных вычислений (выполняется на этапе моделирования). В имитаторе воздушно-помеховой обстановки предварительно задаются начальные параметры мешающих отражений, активных помех (активно-шумовых помех, ответных импульсных помех, несинхронных импульсных помех), воздушных целей, траекторий центров масс объектов и параметры диспетчерского радиолокатора. В генераторе траекторий рассчитываются кинематические траектории движения на основании аэродинамических и тягоскоростных характеристик целей. В ходе моделирования использовался конструктор радиолокационных объектов, описанный в [Солонар, 2014, с. 60–66] и позволяющий имитировать реализации отраженных радиолокационных сигналов от наблюдаемых наземных и воздушных объектов (таких как: реактивные и винтовые самолеты, беспилотные летательные аппараты, вертолеты, крылатые и противорадиолокационные ракеты, аэростаты и воздушные шары и пр.).

Разработанные алгоритмы моделирования, реализуемые в составе имитатора воздушно-помеховой обстановки, позволяют формировать дискретные отсчеты принятого сигнала $f_{k,i}$ (k – номер азимутального направления, i – номер анализируемого дискрета дальности), представляющего собой аддитивную смесь от-

ражѐнного сигнала от наблюдаемого объекта требуемого класса, объемно и поверхностно распределенных мешающих отражателей и составляющие шумовых помех. Каждая из составляющих принятого сигнала $f_{k,i}$ моделируется, независимо от других, а результирующий принятый сигнал представляет собой аддитивную смесь всех имитируемых составляющих:

$$f_{k,i} = m_{k,i} + n_{sk,i} + n_{vk,i} + h_{ak,i} + h_{ounk,i}^s + h_{nun k,i}^s,$$

где $m_{k,i}$ – дискретные отсчеты сигнала, отраженного от аэродинамической цели (k – номер азимутального направления, i – № анализируемого дискрета дальности);

$n_{sk,i}$ – дискретные отсчеты мешающих отражений от поверхностно-распределенных отражателей;

$n_{vk,i}$ – дискретные отсчеты мешающих отражений от объемно-распределенных отражателей;

$h_{ak,i}$ – дискретные отсчеты активной шумовой помехи;

$h_{ounk,i}^s$ – дискретные отсчеты ответных импульсных помех (s – № источника помехи);

$h_{nun k,i}^s$ – дискретные отсчеты несинхронной импульсной помехи.

Методика формирования мешающих отражений включает: определение исходных данных; расчѐт мощности мешающих отражений для каждого отсчета дальности по всей зоне обзора РЛС в пределах области мешающих отражателей; создание формирующих фильтров для расчета междупериодной корреляции в каждом отсчете по дальности в пределах области мешающих отражателей; свертка по «дальности» случайных отсчетов формирующих фильтров с корреляционной функцией закона модуляции зондирующего сигнала; свертка отсчетов мощности мешающих отражений с диаграммой направленности антенны (ДНА). Динамика и формирование мешающих отражений реализована согласно методике, описанной в [Охрименко, 1983, с. 121]. Междупериодные отсчеты мешающих отражений моделировались по методике формирования дискретных

отсчетов случайных процессов с заданными корреляционными свойствами, описанной в [Ярмолик, 2008, с. 34–38].

При моделировании реализаций отраженных сигналов учитываются: пространственное положение цели, её геометрические размеры и форма, особенности конструкции и наличие наблюдаемых вращающихся компонент, значение ЭПО. При моделировании учитывается специфика отражений от воздушных объектов [Курлович, 1999, с. 123; Горелик, 1985, с. 200–225; Ширман, 2007, с. 119–127]: особенности пространственного перемещения, геометрические размеры наблюдаемой цели, радиальное распределение ЭОП, обусловленное конструктивными особенностями цели, форма временной корреляционной функции отраженного сигнала.

При моделировании дискретных отсчетов шумовых помех для анализируемых условий наблюдения учитываются [Канашенков, 2003, с. 47–52; Цветнов, 1998, с. 122–126]: специфические особенности активной шумовой помехи; особенности пребывания постановщика в пределах зоны действия радиолокатора (особенности пространственного перемещения, геометрические размеры имитируемой цели, ее радиальное распределение ЭОП, обусловленное конструктивными особенностями цели, форма временной корреляционной функции отраженного сигнала); особенности имитации отсчетов несинхронных импульсных помех от нескольких источников в пределах зоны действия радиолокатора.

На выходе имитатора воздушной обстановки формируется вектор дискретных отсчетов принятого сигнала на k -м обзоре $f_{k,i}$, поступающий на вход устройства первичной обработки принятого сигнала (конфигурация может изменяться, на *рисунке* в качестве примера изображена упрощенная структура данного устройства ДРЛ-6М2). На вход устройства первичной обработки принятого сигнала могут поступать:

при *математическом моделировании* – отсчеты сигнала с выхода имитатора воздушной обстановки;

при *полунатурных экспериментах* – дискретные отсчеты первичных сигналов диспетчерского радиолокатора выходов фазовых детекторов.

Сформированные разовые оценки $\hat{\theta}_{k+1}$ (вектор разовых оценок дальности и азимута, для ДРЛ-6М2 дополнительно включается устройство разового оценивания) с выхода имитатора устройства первичной обработки принятого сигнала поступают на вход устройства ВОРЛИ и имитатора устройства отображения. Результаты ВОРЛИ и истинные траектории целей и мешающих отражений поступают на вход устройства документирования и устройства анализа показателей качества.

В имитаторе реализованы три режима работы: «тренаж», «исследователь» и «исследователь-разработчик». Режим «тренаж» предназначен для подготовки оператора диспетчерского радиолокатора при работе в различной помеховой обстановке при различных сценариях налета (имеются готовые сценарии и возможность редактирования своего сценария). Режим «исследователь» предназначен для исследования параметров важных составных частей диспетчерского радиолокатора [Лобачев, 2005, с. 3–14]: временной автоматической регулировки усиления; автоматической подстройки частоты; системы селекции движущихся целей; системы борьбы с несинхронными импульсными помехами; адаптивного обнаружителя; измерителя азимута и дальности. Режим «разработчик-исследователь» предназначен для исследования возможности использования различных перспективных методов обработки радиолокационной информации [Солонар, 2015, с. 75–80; Солонар, 2015, с. 134-150; Хмарский, 2015, С. 110-130; Хмарский, 2014, с. 71–77]: использование различных типов широкополосных сигналов; методов борьбы с пассивными и активными помехами; методов отождествления разовых оценок с сопровождаемыми траекториями; методов фильтрации первичных радиолокационных измерений; методов межобзорной селекции движущихся целей.

Таким образом, разработанный комплекс моделирования и экспериментальных исследований позволяет: осуществлять тренаж операторов диспетчерского радиолокатора; моделировать входное воздействие для исследуемых и разрабатываемых устройств обработки радиолокационной информации; записывать моделируемое или реальное входное воздействие и результаты его

обработки; анализировать показатели качества работы исследуемых и разрабатываемых устройств по записанным смоделированным или реальным входным данным. Использование предлагаемого программно-аппаратного имитатора воздушно-помеховой обстановки в составе диспетчерского радиолокатора позволит существенно повысить его конкурентоспособность за счет возможности реализации режимов исследования и внедрения существующих и перспективных алгоритмов обработки радиолокационной информации.

Библиографический список

1. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. А. И. Канащенкова, В. И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
2. *Костромицкий С. М.* Математическая модель динамики облака дипольных отражателей / С. М. Костромицкий, А. А. Дятко, П. Н. Шумский // Труды БГТУ. 2013. № 6. С. 115–118.
3. *Курлович В. И.* Основы теории радиосистем: уч. пособие / В. И. Курлович, С. В. Шаляпин. Мн.: ВА РБ, 1999. 342 с.
4. *Лобачев Ю. В.* Радиолокационные системы управления воздушным движением / Ю. В. Лобачев, Е. С. Перевозов. Ч. 1. Тамбов, 2005. 283 с.
5. *Охрименко А. Е.* Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч. 1. М.: Военное издательство МО СССР, 1983. 456 с.
6. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 510 с.
7. Современное состояние проблемы распознавания / под ред. А. Л. Горелика. М.: Радио и связь, 1985. 247 с.
8. *Солонар А. С.* Конструктор объектов программного комплекса моделирования радиолокационных сигналов / А. С. Солонар, П. А. Хмарский, С. Н. Ярмолик, А. С. Храменков, А. А. Михалковский // Доклады БГУИР. 2014. № 6 (84). С. 60–66.
9. *Солонар А. С.* Межобзорная компенсация дискретных мешающих отражений с формированием карты местных помех и накоплением решений / А. С. Солонар, П. А. Хмарский, С. А. Горшков, А. М. Вашкевич // Доклады БГУИР. 2015. № 4 (90). С. 75–80.
10. *Солонар А. С.* Синтез устройства межобзорной селекции движущихся целей для радиолокаторов кругового обзора, учитывающего распределение принятого сигнала по пространству радиолокационного наблюдения / А. С. Солонар, П. А. Хмарский // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. 2015. № 2 (47). С. 134–150.

11. *Хмарский П. А.* Анализ показателей качества устройства межобзорной селекции движущихся целей, учитывающего распределение принятого сигнала по пространству радиолокационного наблюдения / П. А. Хмарский, А. С. Солонар // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. 2015. № 4 (49). С. 110–130.

12. *Хмарский П. А.* Оценка влияния условий наблюдения на точность измерения дискретных фильтров Калмана при наблюдении объектов в полярных координатах методом Монте-Карло / П. А. Хмарский, А. С. Солонар // Доклады БГУИР. 2014. №7 (85). С. 71–77.

13. *Цветнов В. В.* Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. М.: МАИ, 1998. 240 с.

14. *Ярмолик С. Н.* Формирование гауссовских случайных процессов с корреляционной функцией требуемой формы / С. Н. Ярмолик, А. С. Солонар // Сборник научных статей Мн.: ВАРБ, 2008. № 15. С. 34–38.

References

1. Protection radar systems from interference. Status and trends of development / Ed. by A. I. Kanashenkov, V. I. Merkulov. Moscow: Radiotekhnika, 2003. 416 p

2. Kostromitskiy S. M. (2013). Mathematical model of dynamics of clouds of dipole reflectors. S. M. Kostromitskiy, A. A. Dyatko, P. N. Shumskiy // Proceedings of BSTU. 2013. No. 6. Pp. 115-118. (In Russian).

3. Kurlovich I. V. (1999). Fundamentals of the theory of systems: textbook / V. I. Kurlovich, S. V. Shalyapin. Minsk.: VA RB, 1999. 342 p. (In Russian).

4. Lobachev Yu. V. (2005). The radar system of air traffic control / Yu. V. Lobachev, E. S. Perevozov. Part 1. Tambov, 2005. 283 p. (In Russian).

5. Okhrimenko A. E. (1983). Basics of radar and electronic warfare. Part 1. Moscow: Military publishing house of Ministry of defense USSR, 1983. 456 p. (In Russian).

6. Electronic systems. Bases of construction and theory: a handbook / Ed. by J. D. Shirman. M.: Radio Engineering, 2007. 510 p.

7. Modern state of the problem of recognition / Ed. by A. L. Gorelik. M.: Radio and communication, 1985. 247 p.

8. Solonar A. S. (2014). Designer software for modeling radar signals / A. S. Solonar, P. A. Khmarsky, S. N. Yarmolik, A. S. Khramenkov, A. A. Mikhalkovsky // Reports of BSUIR. 2014. No. 6 (84). Pp. 60-66. (In Russian).

9. Solonar A. S. (2015). Intersurvey compensation of discrete reflections interfering with the formation of a map of clutter and accumulation of solutions / A. S. Solonar, P. A. Khmarsky, S. A. Gorshkov, A. M. Vashkevich // Reports of BSUIR. 2015. No. 4 (90). Pp. 75-80. (In Russian).

10. Solonar A. S. (2015). Synthesis of the device of intersurvey selection of moving targets for radar of the circular review, taking into account the distribution of the received signal in space of radar surveillance / A. S. Solonar, P. A. Khmarsky // Vestn. Military. Acad. Resp. Belarus. 2015. No. 2 (47). Pp. 134-150. (In Russian).
11. Khmarsky P. A. (2015). Analysis of indicators of the quality of the device of intersurvey selection of moving targets, taking into account the distribution of the received signal in space of radar surveillance / P. A. chmarsky, A. S. Solonar // Vestn. Military. Acad. Resp. Belarus. 2015. No. 4 (49). Pp. 110-130. (In Russian).
12. Khmarsky P. A. (2014). Assessment of the impact of observation of conditions on the measurement accuracy of the discrete Kalman's filters when observing objects in polar coordinates by the method of Monte Carlo / P. A. Khmarsky, A. S. Solonar // Reports of BSUIR. 2014. No. 7 (85). Pp. 71-77. (In Russian).
13. Tsvetnov V. V. (1998). Electronic warfare: radio reconnaissance and radioprotection / V. V. Tsvetnov, V. P. Demin, A. I. Kupriyanov. Moscow: MAI, 1998. 240 p. (In Russian).
14. Yarmolik S. N. (2008). The formation of the Gaussian random process with correlation function of the required forms / S. N. Yarmolik, A. S. Solonar // Collection of scientific articles Minsk.: VARB, 2008. No. 15. P.p. 34-38. (In Russian).