



УДК 621.396.67
ГРНТИ 78.25.41

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

А.В. ДУБАТОВСКАЯ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Д.В. МИТРОФАНОВ, кандидат педагогических наук

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

С.Н. РАЗИНЬКОВ, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Разработана имитационная модель радиоэлектронной обстановки, создаваемой излучениями бортовых радиолокационных станций летательных аппаратов на входах комплексов пассивной радиолокации при контроле воздушного пространства. Обоснован моделирующий алгоритм, базирующийся на функциональной декомпозиции процессов генерации и приема потока сигналов, и определены правила повышения его быстродействия за счет исключения процессов генерации сигналов, прием которых не может быть выполнен. Осуществлена программная реализация модели с использованием объектно-ориентированного языка программирования C++, среды разработки Qt Creator и системы управления базами данных PostgreSQL.

Ключевые слова: система контроля воздушного пространства, радиоэлектронная обстановка, имитационная модель объектно-ориентированный язык программирования.

RADIOELECTRONIC ENVIRONMENT SIMULATION MODELING IN AIRSPACE CONTROL SYSTEMS

A.V. DUBATOVSKAYA

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

D.V. MITROFANOV, Candidate of Pedagogical sciences

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

S.N. RAZIN'KOV, Doctor of Physico-Mathematical sciences, Senior Researcher

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

The simulation model of the radio-electronic environment created by radiation of aircraft airborne radar stations on inputs of passive radar complexes at air space control is developed. The modeling algorithm based on functional decomposition of generation processes and signals stream reception is proved, and rules of increase of its speed at the expense of signals generation processes exception which reception cannot be executed are defined. The software implementation of the model using the object-oriented programming language C++, the Qt Creator development environment and the PostgreSQL database management system is carried out.

Keywords: airspace control system, radioelectronic environment, simulation model, object-oriented programming language.

Введение. Неуклонное совершенствование технических характеристик летательных аппаратов и наращивание возможностей их бортовых радиоэлектронных средств (РЭС) по комплексному выполнению функций передачи-приема сигналов при сохранении скрытности работы [1] определяет необходимость развития систем контроля воздушного пространства [2, 3].



Одним из приоритетных направлений развития является повышение эффективности контроля обстановки по излучениям бортового радиоэлектронного оборудования [1, 4], повышение надежности обнаружения и устойчивости трассового сопровождения воздушных объектов [5, 6].

Определение рациональных вариантов комплексов пассивной радиолокации [2, 4] и базовых технологий контроля воздушного пространства базируется на выявлении и эффективном разрешении информационных конфликтов, складывающихся между РЭС противоборствующих сторон. Решение данной задачи связано с выявлением закономерностей формирования и оценкой статистических характеристик потоков радиоизлучений РЭС.

При этом необходимо учитывать, что взаимодействие между бортовыми радиолокационными станциями (БРЛС), излучения которых являются основным видом их демаскирующих признаков [1, 4], вносящими наиболее существенный вклад в формирование радиоэлектронной обстановки, и средствами пассивной радиолокации из состава систем контроля воздушного пространства [2], как правило, осуществляется по схемам антагонизма или строгого конфликта [7]. Наиболее сложные условия анализа РЭО характерны для оценки состояний БРЛС, размещаемых на бортах маневрирующих летательных аппаратов, вследствие высокой плотности потока принимаемых сигналов и динамики изменения пространственного положения излучателей на интервале времени контроля.

В [4, 8] показано, что наиболее эффективным инструментом анализа сложных информационных систем является имитационное моделирование процессов их функционирования при последовательном воспроизведении состояний в дискретные моменты времени.

Цель работы – построение имитационной модели и оценка радиоэлектронной обстановки, создаваемой БРЛС при авиационном налете на наземный объект.

Актуальность. Модель РЭО предназначена для формирования и воспроизведения потоков излучений РЭС в интересах оценки эффективности пассивной радиолокации объектов в системах контроля воздушного пространства.

Базовые принципы имитационного моделирования РЭО представлены в [4, 9]. Однако при моделировании в [4] применена устаревшая в настоящее время процедурная парадигма программирования. В [9] используется современная объектно-ориентированная парадигма, но программная реализация модели РЭО ориентирована на воспроизведение потоков излучений неподвижных источников.

Поэтому для развития методических основ имитационного моделирования РЭО и повышения достоверности оценки динамических состояний контролируемых РЭС являются актуальными вопросы разработки имитационной модели для воспроизведения потоков сигналов БРЛС, размещаемых на летательных аппаратах, в процессе налета на наземный объект с использованием объектно-ориентированной парадигмы программирования [8]. В работе рассмотрен наиболее сложный с позиций воссоздания обстановки вариант налета нескольких групп самолетов, выполняющих выход в район объекта с различных направлений. Для уменьшения вероятности радиолокационного обнаружения летательных аппаратов применяются вертикальные маневры со снижением на предельно малую высоту полета, приводящие к срыву приема сигналов бортовых источников средствами пассивной радиолокации.

Основные принципы построения имитационной модели РЭО в системах контроля воздушного пространства. Моделирование потока сигналов бортовых РЭС летательных аппаратов включает имитацию динамики полета с пересчетом координат носителей с заданным шагом воспроизведения потоков радиоизлучений в дискретные моменты каждого времени.

Перечень данных для моделирования РЭО в системах контроля воздушного пространства при авиационном налете включает в себя:

- количество самолетных групп и пунктов приема радиосигналов, образующих РЭО;



– пространственные параметры самолетной группы и пространственно-частотные параметры пунктов приема сигналов.

Типовая траектория движения самолетной группы в вертикальной плоскости (профиль полета) представляется ломаной линией, состоящей из участков, различающихся маневрами летательных аппаратов в вертикальной плоскости и режимами работы БРЛС. Смена режимов работы БРЛС, применяемая совместно с вертикальными маневрами для снижения заметности летательных аппаратов [4–6], представляет собой смену значений параметров излучений, а также размеров и направлений секторов обзора антенн при смене участков траекторий движения. К основным режимам работы БРЛС относятся обзор пространства, обеспечение полета на малых высотах (ОПМВ) и прицеливание [2].

Основными задачами имитационного моделирования РЭО являются:

– воспроизведение динамики авиационного налета с учетом вертикальных маневров летательных аппаратов и смены режимов работы БРЛС на участках движения;

– воспроизведение диаграмм направленности антенн БРЛС и пространственно-временных закономерностей сканирования пространства главными лучами в плоскостях азимута и угла места [10];

– формирование потока излучений БРЛС в точках расположения приемных пунктов с учетом возможностей срыва их приема на участках движения летательных аппаратов, где не выполняются требования прямой видимости [2, 4], и перехода БРЛС в пассивный режим [2, 10]. Мощности сигналов на входах приемных устройств средств пассивной радиолокации определяются в интересах установления энергетической доступности объектов [2, 4] на основе зависимостей от расстояний до точек наблюдения, угла рассогласования между направлениями главных лучей антенн излучателя и приемника [2], характеристик затухания на трассах распространения [10, 11].

Количественной характеристикой РЭО, оцениваемой по результатам статистических испытаний имитационной модели, служит интенсивность потока сигналов БРЛС в точке приема в единицу времени [4].

В соответствии с принципами системного анализа, разработка имитационной модели включает структурно-функциональную декомпозицию задачи [8], которая позволяет определить структурную модель как иерархическую систему классов, т.е. ее элементов с установлением логических взаимосвязей. Центральное место в модели класс, являющийся контейнером для других объектов, где инкапсулируются общие для модели задачи:

– загрузка исходной информации об условиях авиационного налета из базы данных о летательных аппаратах, их БРЛС и средствах пассивной радиолокации, применяемых в системах контроля воздушного пространства;

– выработка начальных состояний объектов и общее управление процессом моделирования полета самолетных групп по траекториям с одновременным излучением сигналов и их приемом в точках наблюдения.

Программная реализация имитационной модели РЭО. Программная реализация имитационной модели РЭО выполнена с использованием объектно-ориентированного языка программирования C++, среды разработки Qt Creator и системы управления базами данных PostgreSQL. Моделирующий алгоритм задавался на основе функциональной декомпозиции модели, включающей процессы генерации и приема потока сигналов.

Простейший вариант организации взаимодействия излучающих и принимающих сигналы объектов базируется на использовании механизма событий. Его суть заключается в том, что объект может оповестить все остальные о каком-то происшествии путем отсылки события. В частности, источник радиоизлучения может отсылать сообщения об излучении сигналов, которые будут приниматься в точках расположения приемных постов. Событие обладает структурой определенного формата, позволяющую передавать внутри себя установленные параметры [12].



Для реализации процедур отправки и получения событий (сообщений) кроссплатформенный фреймворк Qt предоставляет уникальный механизм сигнально-слотовых соединений. Объект, генерирующий событие, высылает оповещение о том, что событие произошло, а объекты-приемники обрабатывают высылаемый сигнал в теле функции-слота. Наиболее естественным вариантом применения этого механизма к решаемой задаче было бы высылать сигнал от объектов класса «БРЛС» объектам класса «точки наблюдения» при излучении очередного радиосигнала. Однако реализация данного варианта показала крайне низкое быстродействие в силу временных затрат на отсылку большого количества сигналов, а также того, что имеет место синхронный характер взаимодействия объектов – излучатели пребывают в состоянии ожидания окончания приема перед тем, как перейти к следующей временной точке [4, 10].

Идея модернизации рассмотренного варианта взаимодействия объектов заключается в том, что вместо отсылки сигнала точкам наблюдения в момент излучения следует заносить его дескриптор в модельную очередь, созданную в текущей временной точке. После заполнения очереди (излучения пачек сигналов всеми излучающими объектами) следует отсылать единственный сигнал в точки наблюдения, передавая в качестве параметра указатель на очередь. При просмотре очереди в точках наблюдения создаются собственные очереди, упорядоченные по времени прихода сигналов для их передачи на обработку. В каждый определенный момент времени формируется новая модельная очередь, что позволяет не ждать окончания приема, т.е. реализовать асинхронное функционирование излучателей и приемников.

Программная реализация описанного способа показала увеличение быстродействия за счет значительного сокращения числа отсылок сигналов. С другой стороны, при увеличении числа излучающих объектов в задаче размер генерируемых очередей быстро возрастает, как возрастает и время их просмотра в точках наблюдения, что снова приводит к плохому быстродействию. Причина заключается в попытке сохранить естественную независимость функционирования излучающих и принимающих излучение объектов.

Вместе с тем, необходимо учитывать, что главный луч диаграммы направленности антенны станции пассивной радиолокации, характеризуемый шириной 3 град, при скорости последовательного кругового обзора пространства со скоростью 72 град/с будет находиться в одном положении в течение 41,7 мс. При неизменной скорости горизонтального полета летальных аппаратов и периоде следования сигналов их БРЛС 1 мс в течение 1 с может быть принято не более 41 импульса из 1000 излученных.

При значительном числе источников радиоизлучения становится очевидным нерациональный характер разработанного способа взаимодействия объектов. Для обработки очереди сигналов в точке наблюдения требуется просматривать длинную очередь, исключению из которой подлежит до 96 % сигналов. Также следует отметить, что в процессе формирования очередей в точках наблюдения осуществляется упорядочивание сигналов во времени, что дополнительно снижает быстродействие модели при больших размерах очередей.

В интересах рационального использования вычислительных ресурсов проведена оптимизация изложенного выше варианта моделирования РЭО по критерию быстродействия с сохранением результирующей интенсивности потока сигналов в точках наблюдения. Оптимизация выполняется за счет отказа от условия независимого функционирования источников и приемников радиоизлучения. При моделировании организуется излучение сигналов, при котором в каждый фиксированный момент времени излучаются только те сигналы, которые могут быть приняты. Для этого необходимо, чтобы в каждой точке оси времени были известны число, моменты времени генерации сигналов и точки их наблюдения. Последнее обстоятельство очень важно, поскольку в общем случае антенны приемников, расположенных в различных точках пространства, вращаются независимо друг от друга, поэтому один и тот же источник излучения будет наблюдаться при различных положениях главных лучей диаграмм направленности.



За интервал дискретизации времени авиационного налета антенна приемника при вращении проходит сектор углов, называемый текущим сектором приема [4, 8]. Следовательно, в определенный момент времени приемники в точках наблюдения способны принять только сигналы БРЛС самолетных групп, находящихся в секторах приема. При известных номерах групп и направлениях на них из точек наблюдения обеспечивается сокращение числа актов генерации излучаемых сигналов.

Для реализации способа оптимизации удобно воспользоваться механизмом сигнально-слотовых соединений [12]. Изменение логики алгоритма по сравнению с ранее рассмотренным вариантом заключается в том, что взаимодействие с точками наблюдения организуется не для объектов, излучающих и принимающих сигналы [4, 5, 8], а для объекта контейнерного класса.

Сравнительный анализ вариантов моделирующего алгоритма. Логика взаимодействия объектов для рассмотренных вариантов моделирующего алгоритма представлена на рисунках 1 и 2 в виде диаграмм последовательности UML. Объекты представлены в виде прямоугольников, от которых тянутся вниз линии шкалы времени. Передача сообщений (сигналов) от одних объектов другим обозначена в виде стрелок. Сплошная стрелка означает синхронное сообщение (вызывающий объект ждет ответа), пунктирная стрелка – асинхронное (вызывающий объект продолжает выполнение) или ответ на полученное синхронное сообщение. Стрелка, замкнутая на сам объект, означает выполнение некой операции внутри объекта.

На диаграммах продемонстрирован порядок взаимодействия объектов в фиксированный момент времени авиационного налета. Рисунок 1 показывает асинхронный характер взаимодействия модели и точек наблюдения – модель отправляет очередь точкам наблюдения, после чего переходит к выполнению других операций и далее – к следующей временной точке. На рисунке 2 представлено синхронное взаимодействие модели и точек наблюдения – модель не переходит к выполнению других операций, пока точки наблюдения не реализуют свои функции в текущей временной точке.

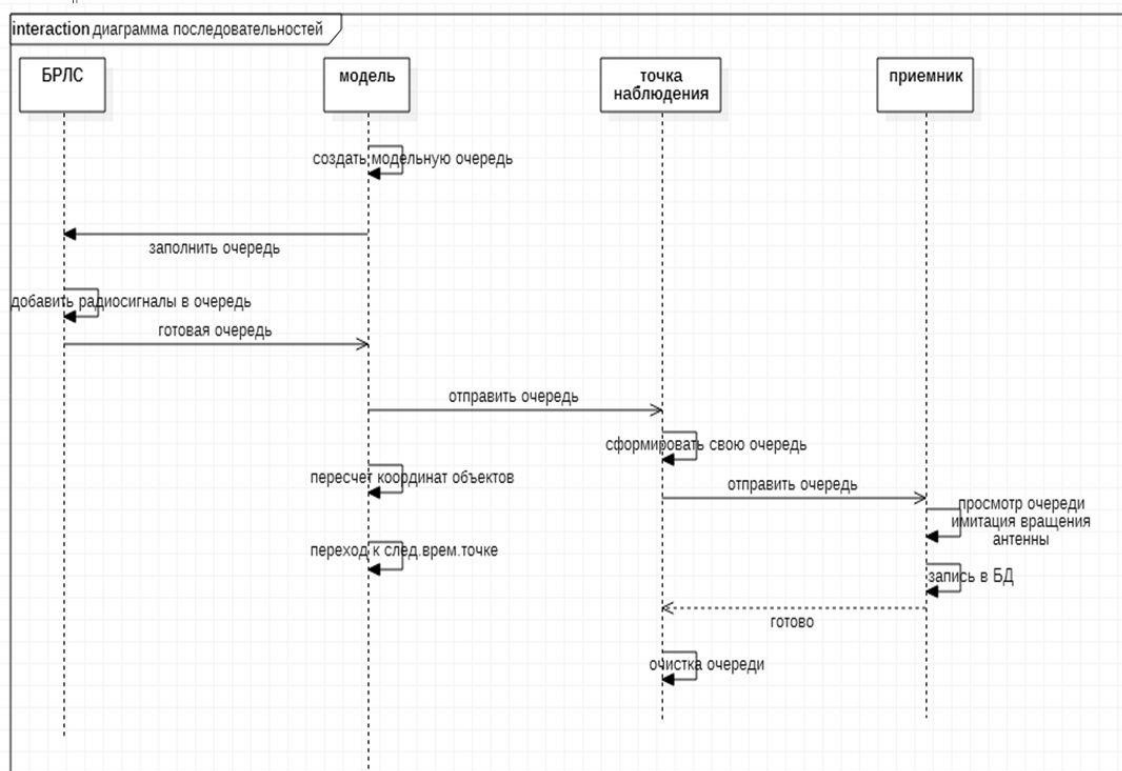


Рисунок 1 – Диаграмма последовательностей для первого варианта алгоритма моделирования



Функции точек наблюдения считаются выполненными, если прием сигналов невозможен по причинам отсутствия излучающих объектов в контролируемом секторе, а также невыполнения условий прямой видимости и энергетической доступности излучателей. Такие точки наблюдения исключаются из рассмотрения с одновременным исключением просмотров очередей сигналов.

По результатам сравнения быстродействия вариантов моделирующего алгоритма на основе тестовых испытаний имитационной модели РЭО установлено, что для малых самолетных групп (не более 5 летательных аппаратов) выигрыш в быстродействии второго варианта алгоритма составляет до 30 раз. При увеличении числа объектов в группе до 100 этот показатель возрастает до 170 раз.

Важно отметить, что все указанные преимущества моделирующего алгоритма становятся реализуемыми в условиях параллельности вычислений, что возможно только на мультипроцессорной системе или многоядерном процессоре (не менее четырех ядер). При этом в каждой точке наблюдения осуществляются прием и обработка очереди сигналов в отдельном вычислительном потоке при выделении дополнительного потока для генерации сигналов.

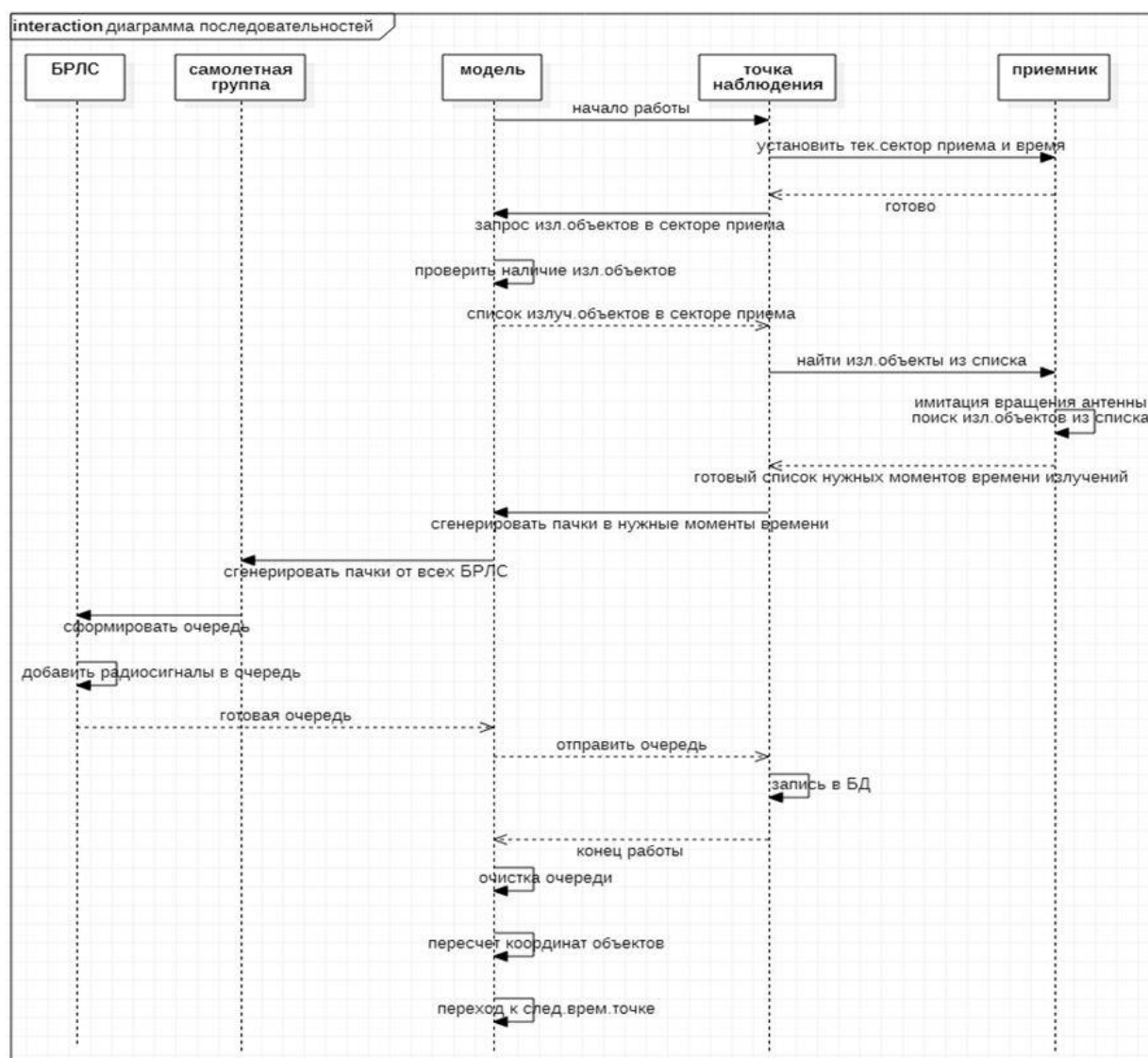


Рисунок 2 – Диаграмма последовательностей для второго варианта алгоритма моделирования

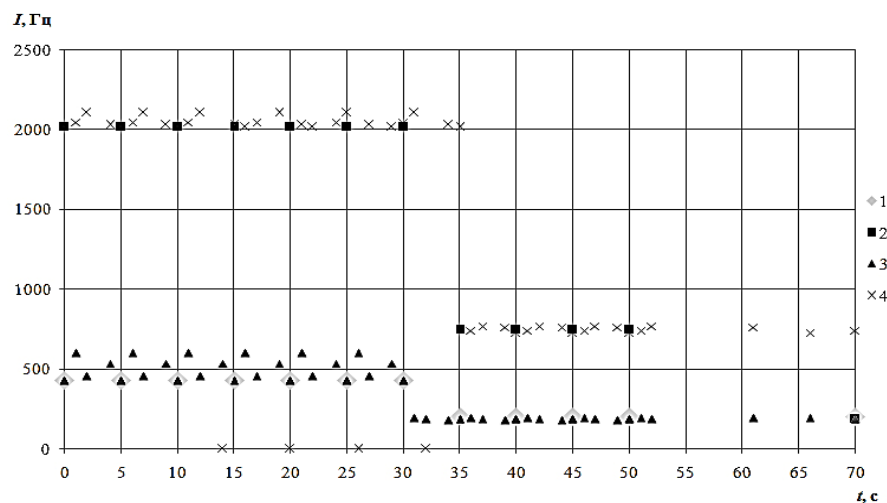


Анализ результатов статистических испытаний имитационной модели РЭО. Анализ результатов статистических испытаний имитационной модели РЭО выполнен применительно к варианту «звездного» авиационного налета, при котором движение самолетных групп на наземный объект выполняется во всех координатных четвертях пространства одновременно.

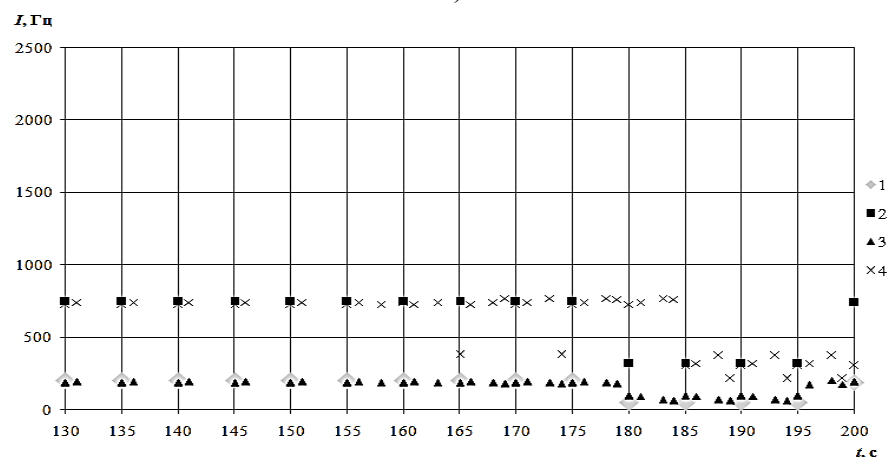
При испытаниях модели число самолетных групп изменялось в пределах от 1 до 4 при числе самолетов в группе от 1 до 4. Дальность начала налета составляла 85 км при высоте полета летательных аппаратов 3700 м. В горизонтальной плоскости группы распределены по координатным четвертям, в процессе их движения угол подлета к объекту оставался постоянным. В целях скрытия от радиолокационных средств системы контроля воздушного пространства группы снижались на высоту 100 м, для выполнения маневра типа «горка» осуществляли подъем на высоту 1000 м; с аналогичной высоты выполнялось прицеливание и применение средств поражения [2, 13].

Вокруг объекта на взаимном удалении 20 км рассредоточены три пункта наблюдения, выполняющие последовательный круговой обзор пространства главными лучами диаграмм направленности антенн в азимутальной плоскости.

По итогам моделирования были получены зависимости интенсивности потоков сигналов БРЛС, принимаемых в точке наблюдения, от времени налета. На рисунке 3а приведены результаты для интервала времени налета от 0 до 70 с (рисунок 3а) и от 130 с до 200 с (рисунок 3б).



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимости интенсивности потоков сигналов БРЛС от времени налета (1 – 1 группа из 1 самолета; 2 – 1 группа из 4 самолетов; 3 – 4 группы по 1 самолету; 4 – 4 группы по 4 самолета)



Распределение интенсивности потоков сигналов от времени носит дискретный характер, что связано с режимом последовательного обзора пространства главным лучом антенны приемника. При скорости сканирования 72 град/с кругового сектора углов в азимутальной плоскости каждая самолетная группа может наблюдаться один раз в 5 секунд. Ширина главного луча антенны приемника составляет 3 град, поэтому длительность пачки сигналов БРЛС, которая может быть принята в течение 1 секунды, составит около 42 мс. В зависимости от частоты следования радиосигналов для установленного режима работы БРЛС принимаемая пачка будет содержать от 30 до 600 сигналов, поступающих от одной БРЛС.

Как следует из рисунка 3, первая смена режима работы БРЛС происходит на 30 секунде налета; частота следования сигналов снижается вследствие перехода в режим ОПМВ, что приводит к уменьшению интенсивности потока радиоизлучений. Срыв приема сигналов в период с 50 по 70 секунду обусловлен нарушением условия прямой видимости источников радиоизлучения из точки наблюдения вследствие снижения летательных аппаратов на предельно малую высоту полета при большой дальности. Аналогичная тенденция изменения интенсивности потока радиоизлучений характерна для 180 секунды налета ввиду перехода БРЛС в режим прицеливания и 200 секунды, когда БРЛС переходят в режим ОПМВ.

При авиационном налете нескольких самолетных групп, распределенных по координатным четвертям, главным лучом антенны будет обнаруживаться каждая группа в различное время; поток радиоизлучений в единицу времени при этом не увеличивается. При увеличении числа летательных аппаратов в группе суммарный поток сигналов в единицу времени пропорционально увеличивается.

Средняя интенсивность потоков сигналов на входе приемника за время оборота его антенны, полученная путем усреднения интенсивностей за время налета, составляет: для 1 группы из 1 и 4 самолетов – 220,28 Гц и 877,16 Гц соответственно, для 4 групп по 1 и 4 самолета – 225,9 Гц и 860,2 Гц.

Выводы. В интересах определения рациональных вариантов комплексов пассивной радиолокации и базовых технологий контроля воздушного пространства разработана имитационная модель РЭО, создаваемой БРЛС летательных аппаратов. Обоснован моделирующий алгоритм, базирующийся на функциональной декомпозиции процессов генерации и приема потока сигналов. Определены правила повышения быстродействия алгоритма за счет исключения из рассмотрения процессов генерации сигналов, прием которых не может быть выполнен из условий прямой видимости или отсутствия в установленный момент времени контролируемого объекта в секторе углов приема.

Осуществлена программная реализация модели с использованием объектно-ориентированного языка программирования C++, среды разработки Qt Creator и системы управления базами данных PostgreSQL.

По результатам ее статистических испытаний установлены зависимости распределения интенсивности потоков сигналов, обрабатываемых в системе контроля воздушного пространства, от времени авиационного налета, числа авиационных групп и входящих в их состав летательных аппаратов, а также режимов работы БРЛС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / Под ред. В.Г. Радзиевского. М.: Радиотехника, 2005. 432 с.
2. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория / Под ред. Я.Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
3. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003. 400 с.
4. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: Радиотехника, 2004. 432 с.



5. Разиньков С.Н., Сирота А.А. Оценка эффективности первичной и вторичной обработки импульсных радиосигналов в системах пассивной радиолокации // Измерительная техника. 2004. № 2. С. 53–59.
6. Попов В.Г., Разиньков С.Н., Решетняк Е.А. Оценка эффективности трассового сопровождения маневрирующих воздушных источников радиоизлучений // Воздушно-космические силы. Теория и практика, 2019. № 9. С. 90–96.
7. Владимиров В.И. Принципы и аппарат системных исследований радиоэлектронного конфликта: учебное пособие. Воронеж: Воронежское высшее военное инженерное училище радиоэлектроники, 1992. 107 с.
8. Сирота А. А. Компьютерное моделирование сложных систем: учебное пособие. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. 248 с.
9. Алгазинов Э. К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем: учебное пособие для вузов. М.: Диалог-Мифи. 416 с.
10. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / Под ред. В.В. Григорина-Рябова. М.: Сов. радио, 1970. 680 с.
11. Долуханов М.П. Распространение радиоволн: учебник для вузов. М.: Связь, 1972. 336 с.
12. Шлее М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 928 с.

REFERENCES

1. Sovremennaya radio`elektronnaya bor'ba. Voprosy metodologii / Pod red. V.G. Radzievskogo. M.: Radiotekhnika, 2005. 432 p.
2. Radio`elektronnyye sistemy: osnovy postroeniya i teoriya / Pod red. Ya.D. Shirmana. M.: Radiotekhnika, 2007. 512 p.
3. Perov A.I. Statisticheskaya teoriya radiotekhnicheskikh sistem. M.: Radiotekhnika, 2003. 400 p.
4. Radzievskij V.G., Sirota A.A. Teoreticheskie osnovy radio`elektronnoj razvedki. M.: Radiotekhnika, 2004. 432 p.
5. Razin'kov S.N., Sirota A.A. Ocenka `effektivnosti pervichnoj i vtorichnoj obrabotki impul'snyh radiosignalov v sistemah passivnoj radiolokacii // Izmeritel'naya tehnika. 2004. № 2. pp. 53–59.
6. Popov V.G., Razin'kov S.N., Reshetnyak E.A. Ocenka `effektivnosti trassovogo soprovozhdeniya manevriruyuschih vozdushnyh istochnikov radioizluchenij // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika, 2019. № 9. pp. 90–96.
7. Vladimirov V.I. Principy i apparat sistemnyh issledovaniy radio`elektronного konflikta: uchebnoe posobie. Voronezh: Voronezhskoe vysshee voennoe inzhenernoe uchilische radio`elektroniki, 1992. 107 p.
8. Sirota A. A. Komp'yuternoe modelirovanie slozhnyh sistem: uchebnoe posobie. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj universitet, 2006. 248 p.
9. Algazinov `E. K., Sirota A.A. Analiz i komp'yuternoe modelirovanie informacionnyh processov i sistem: uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Dialog-Mifi. 416 p.
10. Radiolokacionnye ustrojstva (teoriya i principy postroeniya) / Pod red. V.V. Grigorina-Ryabova. M.: Sov. radio, 1970. 680 p.
11. Doluhanov M.P. Rasprostranenie radiovoln: uchebnik dlya vuzov. M.: Svyaz', 1972. 336 p.
12. Shlee M. Qt 5.3. Professional'noe programmirovaniye na S++. SPb.: BHV-Peterburg, 2015. 928 p.

© Дубатовская А.В., Митрофанов Д.В., Разиньков С.Н., 2019



Дубатовская Анна Вячеславовна, научный сотрудник научно-исследовательского испытательного института (радиоэлектронной борьбы), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vsu_phys@mail.ru.

Митрофанов Дмитрий Викторович, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, mitrofanovd@mail.ru.

Разиньков Сергей Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского испытательного института (радиоэлектронной борьбы), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, razinkovsergey@rambler.ru.