

И.А. Бледных, С.А. Попов, Филиппов Д.С.
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
г. Воронеж, ул. Старых Большевиков 54а
e-mail: popsa230@rambler.ru

Возможности информационно-технологического воздействия на БПЛА

В настоящее время строительство беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) переживает большой подъем. Создается широкая номенклатура машин – от стратегических аппаратов до мини-БПЛА. Неуклонно увеличивается численность их парка, расширяется круг решаемых ими задач. В результате, многие компании, имеющие разработки в области БПЛА, склонны обращать внимание на перспективы применения БПЛА в гражданской и коммерческой сферах. В свою очередь, заинтересованные государственные ведомства и спецслужбы, функции которых связаны с охраной, контролем и мониторингом объектов, ликвидацией чрезвычайных ситуаций; предприятия топливно-энергетического комплекса, а также фирмы, бизнес которых связан с получением пространственных данных, также проявляют встречный интерес к БПЛА. Так, с марта 2014 по февраль 2015 года было поставлено в вооруженные силы различных стран более 20000 экземпляров БПЛА [1].

Ведущие мировые державы осуществляют долгосрочные программы создания БПЛА, развивают промышленные технологии получения ключевых компонентов, таких как: платформа, многоцелевые датчики, системы связи и обработки их информации, необходимые для выполнения поставленных задач. Многие функции пилота воздушного судна в БПЛА заменяются аппаратными и программными модулями, входящими в состав бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), позволяющими решать следующие задачи: подготовка к вылету, навигация, управление БПЛА на всех этапах полета, обеспечение радиосвязи, обеспечение групповых действий БПЛА и взаимодействия, при необходимости, с пилотируемыми воздушными судами, управление целевой нагрузкой, обеспечение применения по назначению, контроль и диагностика БРЭО.

Развитие функциональной совместимости, надежности, эффективности и живучести компонентов БПЛА является необходимым условием для радиоэлектронных систем, размещаемых на борту в ограниченном пространстве. Перспективные комплексы БРЭО БПЛА, как и комплексы БРЭО перспективных пилотируемых воздушных судов, должны состоять из следующих взаимосвязанных систем: информационно-управляющая система, навигационное оборудование, бортовые средства радиосвязи, системы целевой нагрузки, система радиолокационного опознавания [1, 2]. Современные комплексы БРЭО БПЛА, объединяя огромное количество радиоэлектронных компонентов, позволяют значительно повысить уровень автономности и гарантировать выполнение задач, снижая вероятность ошибок, обусловленных человеком в системе управления БПЛА «земля-воздух» [3]. Перспективные комплексы БРЭО должны сводить ущерб человеческих ошибок к нулю.

Параллельно развитию БПЛА развиваются методы и средства целенаправленного нарушения их нормального функционирования. Современные технические средства позволяют обнаруживать и пеленговать каналы управления и сброса информации БПЛА, вмешиваться в работу БРЭО и наземных комплексов управления. К основным факторам риска в отношении БРЭО БПЛА следует отнести: 1) разрушающие радиоэлектронные воздействия на информационно-управляющую систему; 2) несанкционированный доступ к основным узлам на программном уровне и, как следствие, нарушение технологических циклов работы; 3) нарушение (срыв) управления из-за деструктивного воздействия вредоносного программного обеспечения (ПО); 4) человеческий фактор (свободный доступ к элементам БРЭО, ошибки программистов); 5) использование штатных операционных систем и аппаратных средств с имеющимися недеklarированными возможностями.

БПЛА управляется дистанционно через спутниковый или иной беспроводной канал передачи команд и данных. Операторы БПЛА могут находиться за тысячи километров в наземных пунктах управления. В связи с этим наиболее часто применяются следующие виды нарушения (срыва) управления БПЛА:

1. Создание помех, внедрение вредоносного ПО. Вещанием на частотах, используемых БПЛА, может быть нарушена связь с его оператором. Заглушив или перехватив канал связи, можно вмешаться в управление БПЛА, в том числе внедрив и вредоносное ПО.

2. Перехват трафика. Заключается в использовании спутниковой антенны, ТВ-тюнера и программы типа skygrabber, чтобы перехватить частоты БПЛА. Могут быть перехвачены как

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

команды и данные, отправляемые с пункта управления на БПЛА, так и команды и данные, идущие в обратном направлении.

3. Имитация и подмена сигналов GPS. Портативные GPS передатчики могут посылать более мощные ложные сигналы и нарушить систему навигации БПЛА. Используется для направления БПЛА по траектории, на которой он разобьется, для его перехвата и посадки.

Информационно-технологические воздействия на БПЛА могут быть и гораздо сложнее, иметь более широкий спектр применения и различаться по характеру и природе возникновения, использованию различных средств, например, в виде нарушения работы датчиков бортового и наземного оборудования. Неординарный подход к разработке средств информационно-технологических воздействий на БПЛА в настоящее время выражается в тенденции создания специальных дронов-охотников, разрабатываемых в целях перехвата других БПЛА. Особое место в нарушении (срыве) управления БПЛА играет информационно-технологическое воздействие с использованием технологии программно-определяемого радио (software defined radio или SDR), поскольку оно дает возможность получить доступные для широкого круга лиц средства, позволяющие проводить следующие преднамеренные воздействия:

1. Считывание и передача сигнала на любой частоте от 100 МГц до 6 ГГц, благодаря доступности универсальных радиопередатчиков (уязвимость практически всех частотных диапазонов, которые используются для передачи данных: 3G, WiFi, FM, GPS). Использование универсального передатчика для перехвата и расшифровки радиосигналов приведет к компрометации любого незащищенного протокола радиосвязи;

2. Извлечение секретных ключей шифрования аппаратно-программного средства при проведении экономичной электромагнитной атаки с замером побочных электромагнитных излучений в течение нескольких секунд (использование доступного оборудования: потребительского радиоприемника или USB-модуля с SDR).

Все это определяет необходимость разработки мер информационной защиты в отношении информационно-управляющей системы БРЭО БПЛА, которые заключаются в проведении комплекса работ, включающих: анализ и тестирование информационно-управляющих компонентов БРЭО с целью выявления уязвимостей и последующей их классификации по степени возможных угроз; разработку защищенной доверенной инфокоммуникационной инфраструктуры для специализированных систем управления; разработку методик поиска уязвимостей в программном обеспечении информационно управляющих систем и устройств БРЭО; создание системы сертификации и типовых стендов специального функционального и нагрузочного тестирования программного обеспечения; совершенствование нормативной базы по обеспечению безопасности информации в информационно-управляющих системах; разработку индивидуальных для каждой модели БПЛА средств, использующих шаблоны блокировки для защиты от атак через шину передачи данных и установки скрытой аппаратной закладки на шину, либо перепрограммирования штатного блока управления.

Данные меры позволят снизить риск реализации информационно-технологического воздействия, повысить уровень безопасности полетов БПЛА и эффективность выполнения возложенных на них задач.

Литература

1. Беспилотные летательные аппараты: справочное пособие / под общ. ред. С.А. Попова. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2015. – 619 с.
2. Жуков И. Актуальные вопросы обеспечения кибербезопасности беспилотных летательных аппаратов // Радиоэлектронные технологии. – 2016. – № 1. – С. 56-60.
3. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 280 с.

А.И. Болдинов, В.В. Шевченко
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
г. Воронеж, улица Старых Большевиков д.54а
e-mail: boldinovai57@mail.ru

Комплексирование датчиков высоты воздушного судна

В статье рассмотрены вопросы повышения точности, помехоустойчивости оценки высоты воздушного судна (ВС) на основе комплексной обработки информации от датчиков, находящихся на борту ВС. Одним из перспективных направлений повышения точности оценки высоты ВС является комплексирование датчиков высоты воздушного судна.

Разработка систем предупреждения приближения к земле (СППЗ) началась с середины 70-х годов, столкновения воздушных судов (ВС) с подстилающей поверхностью в полностью управляемом полете продолжают оставаться наиболее частой причиной катастроф ВС. В последние годы появилась возможность значительно расширить функциональность таких систем за счет добавления режимов раннего предупреждения приближения к земле (функция оценки местности в направлении полета, предупреждение о преждевременном снижении высоты) и индикации степени опасности окружающего рельефа местности на дисплее летчика. Это позволяет увеличить время, предоставляемое экипажу для принятия решения и исправления ситуации. Анализ летных происшествий, связанных со столкновением с подстилающей поверхностью или препятствием, показал, что установка систем раннего предупреждения приближения к земле (СРППЗ) смогла бы предотвратить от 95% до 100% из них. В связи с этим, актуальным является, обязательное рассмотрение предъявляемых требований к системе раннего предупреждения ВС с поверхностью земли.

Успешное решение задачи безопасного полета воздушного судна (ВС) на малой высоте требует совершенствования технического облика авиационных датчиков информации ВС, в частности, измерителей высоты. Перспективным направлением повышения точности оценивания высоты является комплексирование информации от нескольких датчиков, измеряющих высоту и параметры собственного движения ВС. В качестве датчиков высоты наряду с барометрическим высотомером и радиовысотомером могут использоваться спутниковые радионавигационные, оптико-электронные системы. В условиях жестких массо-габаритных ограничений применение более трех измерителей в составе системы управления ВС маловероятно.

Исходя из современного состояния научно-методического обеспечения боевых действий на малых высотах можно выделить следующие направления повышения точности радиовысотомеров:

уменьшение длительности и периода повторения импульсов зондирующего сигнала;

уменьшение погрешности, вызываемой изменением времени задержки сигнала в цепях приемопередатчика, и методической ошибки, вызываемой установкой приемной и передающей антенн на расстояние R , необходимое для уменьшения уровня зондирующего сигнала на выходе приемной антенны;

определение суммарной внутренней задержки сигналов при работе по опорному сигналу;

обеспечение достаточно малой дискретности квантования временных интервалов, для этого применяется импульсный рециркуляционный метод;

использование в качестве зондирующего сигнала длинных импульсов с внутримпульсной широкополосной фазокодовой или частотной модуляцией;

комплексная обработка информации от бортового оборудования воздушного судна, построенного на разных принципах действия

Одним из перспективных направлений повышения точности измерения высоты воздушного судна из выше указанных является комплексная обработка информации от спутникового приемоизмерителя, барометрического высотомера и радиовысотомера, находящихся на борту воздушного судна.

Определение наиболее выгодных условий комплексирования является одной из наиболее важной и сложной задачи. Сложность этой задачи обусловлена не только увеличением числа измерителей, но и их различием. Различие физической природы измеряемых величин затрудняет, в частности, требуемое согласование динамических характеристик (передаточных функций) измерителей. Использование в измерителях различных систем координат требует соответствующего преобразования координат, что является дополнительным источником ошибок и усложняет систему. Важно, чтобы имеющиеся при комплексировании принципиальные возможности

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

увеличения точности и помехоустойчивости не были бы в значительной степени сведены на нет возникающими при этом техническими трудностями.

В то же время при наличии в комплексных системах как минимум двух независимых датчиков одной и той же координаты имеется возможность повысить точность и помехоустойчивость измерителей за счет совместной обработки информации.

Потребность в одновременном измерении одних и тех же параметров с помощью устройств и систем, работающих на различных физических принципах, обусловлена тем, что каждый измеритель в отдельности не удовлетворяет всем требованиям по точности и помехозащищенности, которые предъявляются к измерению этих параметров.

Сущность комплексирования состоит в использовании информации об одних и тех же или функционально связанных параметрах, полученной от различных измерителей, для повышения точности и надежности определения параметров (в частности, навигационных).

В современных авиационных радиоэлектронных комплексах количество измерителей определяется на основе информационных моделей задач и находится в пределах от десяти и выше, поэтому комплексное использование информации наиболее широко применяется при ее вторичной обработке. Так, в комплексных системах навигации при вторичной обработке информации применяются алгоритмы оценивания, базирующиеся на дифференциальных или разностных уравнениях, полученных на основе методов калмановской фильтрации и методах теории инвариантности. Комплексная вторичная обработка информации дает положительный эффект в том случае, когда соответствующие измерители работоспособны.

Высокая степень интеграции оборудования в АРЭК предопределяет наличие в их составе мощных быстродействующих бортовых вычислительных машин (БЦВМ) для обработки информации в реальном масштабе времени и выдачи результатов обработки на управление элементами комплекса, самолетом в целом, а также в обобщенном виде на устройство индикации экипажу для осуществления контроля надежности работы систем и принятия решения в случае возникновения нештатной ситуации.

Современный АРЭК представляет собой сложную многомерную систему, содержащую в своем составе дорогостоящие прецизионные и другие типы измерителей (радиотехнические, оптико-электронные) и предназначенную для многократного использования.

Таким образом, для АРЭК характерны следующие особенности:

большое количество измерителей, работающих параллельно;

наличие мощной быстродействующей БЦВМ;

многократность применения (возможность использования дорогостоящих прецизионных измерителей);

наличие в контуре управления человека, осуществляющего контроль за работой комплекса и принимающего решения в определенной ситуации («человеко-машинная» система).

Литература

1. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации. М.: Радио и связь, 1985. 344 с.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 487 с.
3. Ярлыков М.С., Богачев А.С. Авиационные радиоэлектронные комплексы. М.: ВАТУ, 2000. 616 с.
4. Инструкция по ТЭ системы раннего предупреждения приближения к земле ТТА-12S.-2006г.
5. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: Учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.

Скоростные характеристики системы СДЦ при использовании неэквидистантных последовательностей зондирующих сигналов

Пассивные помехи существенно ухудшают работоспособность РЛС, снижают их тактико-технические характеристики. К пассивным помехам относят отражения зондирующего сигнала от подстилающей поверхности (поверхность земли и моря), местных предметов (гор, линий электропередач, здания, трубы и т.п.), облака и метеообразования (дождь, град), облака искусственных отражателей, стаи насекомых и птиц, неоднородности атмосферы. Отраженные от пассивных помех сигналы обладают, как правило, большой мощностью (отношение помеха/шум может доходить до 80-90 дБ) и малым доплеровским сдвигом частот.

Одним из основных устройств, обеспечивающих устойчивую работу РЛС в условиях пассивных помех, является устройство селекции движущихся целей (СДЦ). Устройство СДЦ представляет собой рекурсивный или нерекурсивный фильтр, обеспечивающий значительное ослабление сигналов, доплеровский сдвиг частот которых находится вблизи нуля.

В [1-4] рассмотрено большое количество применяемых в настоящее время устройств СДЦ. Принципиально эти устройства отличаются лишь частотной характеристикой и способом реализации. Самым простым, но в то же время достаточно эффективным является устройство черзпериодной компенсации (ЧПК), структурная схема которого приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема однократной системы ЧПК

Отсчеты видеосигнала, огибающая которых изменяется в соответствии с частотой Доплера поступают на устройства ЧПК. На выходе устройства ЧПК формируется разность между текущим отсчетом и задержанным на один период. Если амплитуда отсчетов одинакова, то уровень сигнала на выходе устройства ЧПК будет равен нулю. Если амплитуда отсчетов сигнала изменяется в соответствии с частотой Доплера, то уровень сигнала на выходе устройства ЧПК будет отличен от нуля.

Было проведено моделирование устройства ЧПК, показанное на рис. 1 при воздействии на его вход неэквидистантных последовательностей импульсов с различными законами изменения периода следования импульсов.

На рис. 2 приведена частотная характеристика устройства ЧПК в диапазоне частот от 0 до 10 000 Гц, полученная для случая, когда период следования импульсов увеличивался по закону [5] при $T_{\min} = 1$ мс, а $\Delta T = 50$ мкс.

Из рис. 2 видно, что использование неэквидистантной последовательности вместо регулярной изменяет частотную характеристику устройства ЧПК, при этом пропадает периодичность этой характеристики. Максимальные провалы частотной характеристики составляет значения около -10 дБ.

Результирующая частотная характеристика устройства ЧПК при поступлении на его вход неэквидистантной последовательности импульсов, с другим законом следования импульсов, показана на рис. 3.

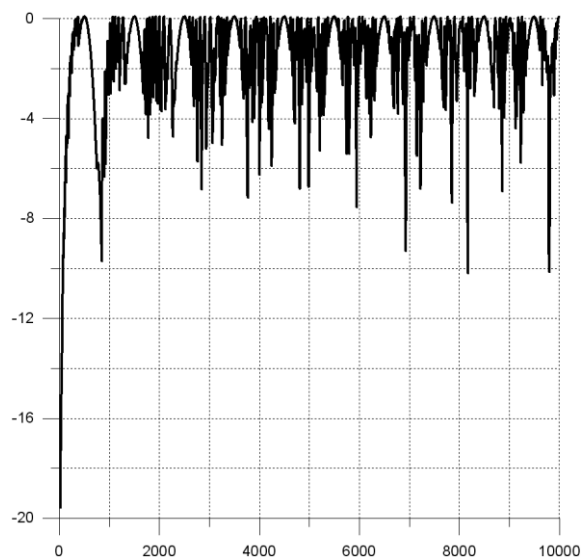


Рис. 2. Частотные характеристики однократной системы ЧПК в случае неэквидистантной последовательности импульсов на ее входе

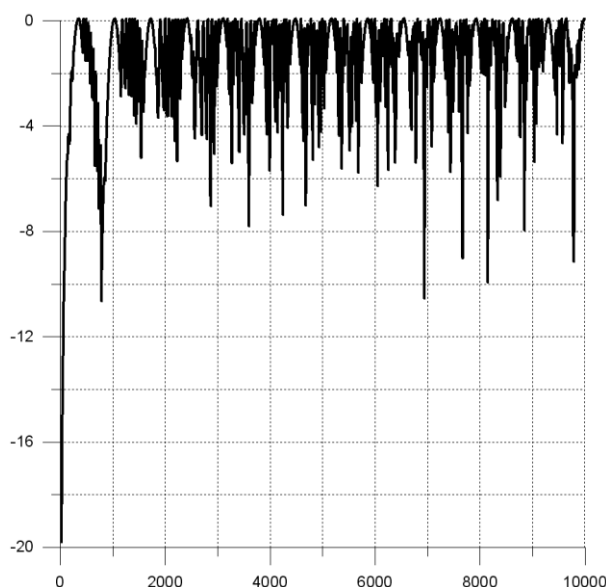


Рис. 3. Частотные характеристики однократной системы ЧПК в случае неэквидистантной последовательности импульсов на ее входе

Из сравнения рис. 2 и 3 видно, что частотные характеристики устройства ЧПК при подаче на ее вход неэквидистантных последовательностей с разными законами изменения периода практически одинаковые - частотная характеристика перестает быть периодической, в отличие от регулярной последовательности импульсов и максимальные провалы частотной характеристики составляют значения не более -10 дБ.

Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Сов. Радио, 1977. – 608 с.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособ. для вузов по спец. "Радиотехника" / Баскаков С.И. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высшая школа, 1988. – 448с.
3. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебное пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
4. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике.-М.: Сов. радио, 1971. - 326 с.

А.Б. Жолобов, В.А. Воронцев*, А.С. Артюх*

Научно-производственный концерн «Штурмовики Сухого» (г. Москва)

** Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)*

394064, Воронеж, ул. Старых большевиков, 54а

e-mail: artyukh@list.ru

Особенности применения авиационных комплексов в различных климатогеографических условиях

При разработке программ и методик по оценке климатогеографических условий применения ударных авиационных комплексов, особое внимание уделяется подклассу случайных помех, возникающих на трассе визирования целей при выполнении непосредственной поддержки Сухопутных войск (СВ) на поле боя в полетах на малых и предельно малых высотах.

К случайным помехам относятся:

- световые вспышки при разрывах снарядов, мин, авиабомб;
- горящая бронетанковая и автотракторная техника;
- пылевые и дымовые облака;
- лучи танковых прожекторов, фар и других осветительных приборов;
- пылевые восходящие потоки теплого воздуха – термики, возникающие при движении техники по грунтовым дорогам и бездорожью;
- костры, пожары высокой интенсивности зданий и сооружений;
- блики отраженного излучения от зеркальных поверхностей наземных объектов;
- вспышки и пороховые шлейфы от применения собственного оружия [1].

На концентрацию примесей, поступающих во внешний канал связи систем наведения самолета из различных источников на поле боя, большое влияние оказывают метеорологические условия. Поскольку интенсивные помеховые образования на поле боя сосредоточены вблизи земной поверхности на высоте до 150-200 м, а подавляющая часть – ниже 20-30 м, то с увеличением высоты концентрация примесей над полем боя убывает. Концентрация примесей на высоте в несколько сотен метров в верхней части пограничного слоя, а также толщина облака примесей при слабом ветре (до 2-3 м/с) и инверсионной стратификации меньше, чем при сильном ветре (свыше 8-10 м/с) и отсутствии инверсии температуры. В первом случае толщина облака примесей составляет 250-300 м, а во втором случае – увеличивается до 1.5-2 км.

Коричневый оттенок помеховым образованиям, возникающим над полем боя при массивном движении бронетехники, придают окислы азота и иодистый калий, входящие в состав пероксилацетилнитрата. Пероксилацетилнитрат образуется при воздействии солнечной радиации, прежде всего – ультрафиолетовой, на углеводороды и окислы азота, выбрасываемые двигателями внутреннего сгорания автомобильной и бронетехники при движении. В отличие от дымок, цвет которых, как правило, серый или сине-голубой, относительная влажность в коричневых помеховых образованиях над полем боя СВ невысокая, поэтому образующийся в данных условиях фотохимический смог ближе не к дымкам, а к мгле – явлению понижения видимости под влиянием твердых слабообводненных примесей, характерному для пожаров.

В большинстве случаев мгла представляет образования крупных частиц, диаметр которых составляет десятки микрометров. Однако над полем боя вдали от пустынной местности такие образования не могут распространяться выше 200-450 м от места возникновения и быть долговременными, так как скорость падения частиц на землю пропорциональна квадрату их размера.

Ориентировочные размеры области и стойкость помеховых образований, влияющих на характеристики лазерно-телевизионных систем наведения воздушных судов, осуществляющих непосредственную поддержку СВ над полем боя, в первом приближении можно определить, учитывая уравнение скорости q_r падения твердых инородных частиц в атмосфере $q_r = 4.15 \cdot d_i^2 \cdot 10^{-5}$, где d_i – диаметр твердых частиц, мкм [2].

Наиболее вероятная концентрация частиц пыли (C_T), вызванная движением боевой техники или взрывами артиллерийских снарядов и обладающая устойчивостью до нескольких минут, находится в диапазоне от 0.1 до 1.2 граммов в метре кубическом для различных типов грунта.

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

Литература

1. Жолобов А.Б., Воронцев В.А., Артюх А.С. Классификация совокупности помех оптико-электронным приборам и системам / Академические Жуковские чтения. Современное состояние и перспективы развития авиационного РЭО: в 2-х т. Т. 1. Современное состояние и перспективы развития БРЭО, систем локации, опознавания, управления и РЭБ. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. С. 96-99.
2. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1984. 480 с.

Использование материалов объективного контроля для диагностики технического состояния БРЛС

Осуществляемая в последние годы модернизация воздушных судов (ВС) преследует цель повысить эффективность их применения по воздушным целям, особенно при обнаружении на больших дальностях. Это привело к необходимости повышения эксплуатационных требований к контролю и обеспечению заданных характеристик бортовых радиолокационных станций (БРЛС), при их применении во всем диапазоне дальностей обнаружения и захвата целей. В тоже время существующие технологии контроля технического состояния БРЛС ВС обладают существенными недостатками, негативно влияющими на эффективность их применения, это прежде всего большие трудозатраты [1]. Согласно этим технологиям осуществляется контроль каждого элемента (передатчика, приемника и др.) БРЛС индивидуально. Это приводит к росту трудозатрат на контроль и выполнение проверочных и юстировочных работ в составе комплекса.

Анализ материалов контрольно-записывающей аппаратуры показал, что в 20% случаев захват цели на сопровождение не был осуществлен. Этот факт характерен для случаев, когда захват цели произошел, но стабильного сопровождения не было.

В процессе перехвата воздушной цели переход к сопровождению по угловым координатам происходит только при условии, что сопровождение по скорости и дальности выполняется с погрешностями не превышающими заданных значений и при требуемой величине отношения сигнал/шум [2], что в целом определяет качество функционирования каналов измерения дальности, скорости сближения и углов.

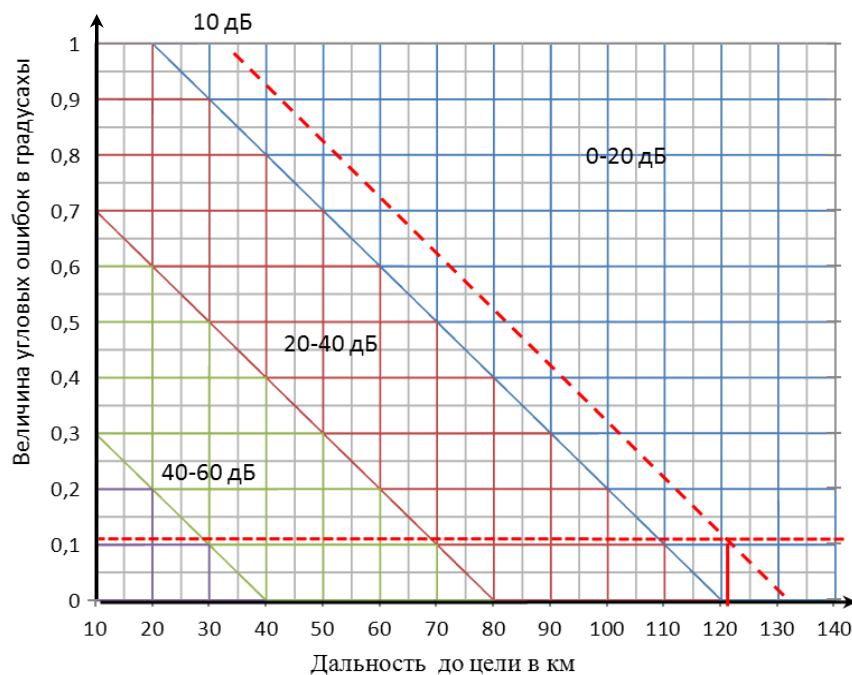


Рис.1. График зависимости дальности обнаружения от угловых ошибок и отношения сигнал/шум

Поскольку на больших дальностях отношение сигнал/шум снижается, система слежения за воздушной целью становится чувствительней к ошибкам угломерных каналов. При одинаковых величинах угловой ошибки по мере увеличения дальности величины линейных ошибок возрастают. Это означает, что при линейных размерах цели в 20-60 метров и наличии угловой ошибки воздушная цель может не попасть в диаграмму направленности БРЛС [3].

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

Особенностью устойчивого захвата и срыва сопровождения цели является отсутствие выявленных отказов или нарушений функционирования при проверке БРЛС перед выполнением задания встроенной системой контроля (ВСК). Из этого следует, что причина невыполнения перехвата обусловлена уходом параметров БРЛС, характеристики которых не контролируются ВСК.

В связи с этим, большой интерес представляет решение задачи, связанной с совершенствованием процедуры контроля технического состояния БРЛС, с целью ее автоматизации без структурных и функциональных изменений существующей системы технического обслуживания. Решение этой задачи должно позволить снизить эксплуатационные затраты и существенно сократить время выполнения юстировочных и проверочных работ без снижения их качества.

Литература

1. А.Е.Иванов, В.А.Зотов, А.К.Малыков. Анализ СОК-Б с целью их использования для диагностики технического состояния бортовых комплексов самолетов. Сборник материалов докладов всероссийской НТК часть 2. г. Воронеж.: ВАИУ, 2012;
2. П.И. Дудник, Г.С. Кондратенков, Б.Г. Татарский, А.Р. Ильчук, А.А. Герасимов. Под ред. П.И. Дудника. Авиационные радиолокационные комплексы и системы: учебник для слушателей и курсантов ВУЗов ВВС – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006.;
3. А.Е.Иванов., А.Н.Савельев, А.Н.Семенов. Модель канала углового сопровождения БРЛС с ФАР с использованием исходных данных бортовой системы объективного контроля. Труды ЦНИИ ВВС Минобороны РФ (НИЦ, г. Люберцы). Эксплуатация и ремонт вооружения и военной техники, проблемы и решения. №97, 2015.

Н.Д. Комиссарова, В.В. Шутова
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23
E-mail: merry55@mail.ru

Анализ влияния тропосферы на точность определения координат объекта с помощью РСА

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) с развитием технологий находят всё более широкое применение. Они позволяют получать более полную, оперативную и точную информацию, особенно в труднодоступных районах Земли. РСА применяются в таких областях, как геология, цифровое картографирование, воздушная и космическая разведка, экология, мониторинг ЧС и др. Современные технологии позволяют создавать спутниковые радиолокаторы с РСА, способные получать высокодетальные изображения объектов на Земле с пространственным разрешением менее 1 метра. В связи с увеличением разрешения РСА усложняется и аппаратура, и алгоритмы обработки РЛИ [1,2].

Радиолокационная съемка обладает рядом преимуществ и особенностей - возможностью получения радиолокационных изображений (РЛИ) в любое время суток и в любую погоду, более высокой точностью измерения координат и геометрических характеристик объектов, возможностью наблюдения и обнаружения объектов, невидимых в оптическом или ИК-диапазонах электромагнитного спектра, скрытых снежным или растительным покровом.

Ряд явлений и эффектов затрудняет получение высококачественных РЛИ. В [1] отмечалось, что на качество получаемых РЛИ с высоким разрешением влияет отклонение траектории распространения радиоволн от прямолинейной при прохождении через атмосферу Земли. Наиболее сильные искажения дают атмосферные осадки – дождь и снег, потому что эти явления имеют большую интенсивность и возникают наиболее часто [3].

Цель работы - исследование влияния нижних слоев атмосферы на траекторию распространения радиоволн в пространстве и точность определения местоположения объектов с помощью РСА.

Предполагалось, что на борту космического аппарата установлен радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) и производится когерентная обработка радиолограмм. Для примера рассматривался КА с высотой орбиты 600 км, РСА с фазированной антенной решеткой S-диапазона частот с размерами 3 м × 6 м, разрешение по наклонной дальности составляло 0,3 м. Для низкоорбитального космического аппарата и модели слоистой атмосферы приведено решение задачи оценки точности определения координат точечных наземных целей в автономной системе дистанционного зондирования Земли. Отмечается, что из-за рефракции радиоволн смещение оценки может достигать нескольких десятков метров и существенно зависит от угла визирования, а также времени года. При получении высокодетальных РЛИ учет ошибок позиционирования в алгоритме обработки поможет улучшить точность определения координат объекта. Этот алгоритм можно применить при формировании опорной функции по азимуту в алгоритме неразделимой двумерной обработки [4]

Литература

1. *Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э.* Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. *Кондратенков Г.С.* Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли / Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
3. *Горячкин О.В.* Влияние атмосферы земли на деградацию характеристик изображений космических радиолокационных станций с синтезированной апертурой // Компьютерная оптика. 2002. Вып. 24. С.177-182.
4. *Сидоров А.А.* Исследование характеристик алгоритмов устранения эффекта миграции сигнала в каналах дальности для РСА бокового обзора / А.А. Сидоров, В.В. Костров // Радиопромышленность. – 2012. – Вып. 2. – С.97-104.

Методы управления параметрами диаграммы направленности антенны в РТС

Одной из основных задач радиотехнических систем (РТС) является измерение координат объектов, за которыми установлено радиолокационное наблюдение. Точность измерения угловых координат, разрешающая способность по угловым координатам зависят от ряда факторов, однако основным параметром, влияющим на эти тактико-технические характеристики радиолокационных станций (РЛС), является ширина диаграммы направленности. Линейное разрешение по тангенциальной координате зависит еще и от дальности до цели: чем дальше цель находится от РЛС, тем хуже разрешающая способность. В дальней зоне эта зависимость становится практически линейной. Поэтому для организации наблюдения целей желательно иметь в ближней зоне широкую диаграмму направленности антенны (ДНА), а в дальней зоне – узкую ДНА. В последние годы стали появляться методы управления формой ДНА, которые позволяют получить разнообразные ДНА, в том числе при изменении ширины ДНА [1,2]. Однако основные методы применимы для дискретного управления параметрами, что не всегда удобно, в ряде тактических ситуаций желательно иметь плавную (с учетом реакции системы) перестройку. Целью работы является анализ методов плавного управления шириной диаграммы направленности антенны для улучшения пеленгационных характеристик радиолокационной станции.

Наиболее широкими возможностями для целей управления параметрами ДНА обладают активные фазированные антенные решетки (АФАР), поэтому основные исследования проведены применительно к АФАР. В наиболее совершенных АФАР используются приемо-передающие модули с отдельной регулировкой амплитуды и фазы на передачу и прием, что позволяет формировать различные амплитудно-фазовые распределения. Наиболее простым методом управления является изменение параметров амплитудного распределения, в частности уровня пьедестала. Применение только фазового управления токами в апертуре антенны для формирования ДНА ограничено эффектом раздвоения диаграммы. Хорошие результаты дает одновременное изменение амплитудного и фазового распределений.

В результате выполненных исследований разработана методика оптимизации выбора амплитудной функции распределения для более качественного непрерывного управления шириной ДНА. Данные рекомендации целесообразно учитывать при выборе тактико-технических характеристик радиолокационных систем для наблюдения целей и слежения за их угловыми координатами. Также следует учитывать, что полученные результаты не учитывают поведение значений других параметров антенных систем (коэффициента направленного действия, уровня боковых лепестков, скорости их спадания и т.д.). Поэтому при окончательном решении о применении того или иного распределения необходим дополнительный анализ этих характеристик в диапазоне регулирования.

Литература

1. Вендик О.Г., Калинин С.А., Козлов Д.С. Фазированная антенная решетка с управляемой формой диаграммы направленности // Журнал технической физики. 2013. Т83. Вып. 10. С.117-121.
2. Лайко К.А., Филимонова Ю.О. Амплитудный синтез диаграмм направленности множителя антенной решетки с контролируемым законом распределения боковых лепестков // Доклады ТУСУРа. 2014. № 1 (31), март. С.23-27.

С.А. Попов, Дрындин К.Р., А.М. Старков
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
г. Воронеж, ул. Старых Большевиков 54а
e-mail: popsa230@rambler.ru

Проблемные вопросы реализации групповых действий БПЛА

Создание Воздушно-космических сил России позволяет говорить об усилении значимости воздушно-космических средств нападения и защиты, которое должно осуществляться по пути реализации основных направлений развития: расширение боевых возможностей воздушных судов (ВС) различного назначения; усиление роли групповых действий вплоть до проявления эффекта «роя»; повышение информативности и живучести в группе при организации совместной обработки информации; использование оружия на новых физических принципах; расширение пространства информационно-управляющего покрытия; усложнение условий разрешения объектов, оценки их состава; снижение потерь личного состава и экономических затрат на производство и боевое применение ВС. Применение БПЛА в сложных, постоянно изменяющихся условиях требует качественного возрастания их «интеллекта», что и предопределило введение термина «робототехнические комплексы» (РТК) авиационного базирования, которые могут выполнять анализ обстановки, осуществлять ее прогнозирование, принимать решения, а также функционировать в составе групп при решении общей задачи [1].

Для решения задач различной сложности требуется различный уровень интеллекта БПЛА. Стремление повысить его уровень предопределяет необходимость расширения возможностей РТК при ведении автономных и групповых действий. Конечная цель повышения интеллектуального уровня БПЛА – полная замена пилота (оператора) на его виртуальный аналог. Проблемы интеллектуализации автономных действий одиночных БПЛА в той или иной степени решаются, однако интеллектуальное обеспечение групповых действий находится на недостаточном уровне. Для достижения общих целей в группе возможно использование нескольких способов управления: 1) централизованное – формирование команд для каждого БПЛА на наземном или воздушном пункте управления; 2) иерархическое – формирование команд управления отдельными ключевыми объектами на пункте управления, каждый из которых, в свою очередь, управляет несколькими ведомыми БПЛА; 3) децентрализованное – индивидуальные команды каждому БПЛА формируются внутри группы.

Алгоритмы, реализующие различные способы группового управления, должны обеспечивать полет по требуемым траекториям, исключая столкновения БПЛА между собой. РТК с централизованным управлением являются разновидностью систем командного радиоуправления 2-го рода. Они несут основные датчики информации, но управляются оператором, который ввиду ограниченности своих психофизических возможностей не способен одновременно управлять большой группой БПЛА и реализовать их «человекоподобные» действия. Для уменьшения размерности задачи группового управления может быть использован иерархический подход к ее решению (рисунок 1а): БПЛА с бортовыми системами управления (БСУ) разбиваются на подгруппы. В каждой из них выделяется ведущий. Подгруппы могут включать более мелкие подгруппы со «своими» ведущими.

Управление осуществляется по уровням: ведущий элемент верхней подгруппы – ведущим элемент нижней подгруппы. Закон управления полетом по требуемой траектории формируется только для ведущих. Другие участники выдерживают заданные интервалы и дистанции относительно ведущего. К преимуществам такого управления следует отнести высокую живучесть и существенное снижение размерности задачи управления и относительную вычислительную простоту ее решения. Этот подход целесообразен для совместных действий с пилотируемыми ВС – ведущими группы БПЛА. Оператор осуществляет дальнейшее наведение, а они, в свою очередь, управляют каждым участником группы. Оба вида централизованного управления не полностью соответствуют требованиям роботизации БПЛА, так как основные задачи анализа обстановки, принятия решения и управления возложены на оператора.

В децентрализованном управлении выявляют две стратегии: стайную и сетевую. Достоинства стайной стратегии – высокая автономность БПЛА при решении ударных задач и экономия каналов обмена информацией. Недостатки – возможность столкновения участников группы в процессе решения общей задачи и сложности взаимодействий с оператором. При сетевой – сигналы управления формируются на каждом объекте самостоятельно с учетом целевого назначения группы,

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

текущего положения в пространстве своего и других БПЛА. Достоинства сетевой стратегии – обширная область применения, более высокая автономность и интеллектуальность, обусловленные возможностями автоматического принятия решений на борту БПЛА. Недостатки – высокие требования к вычислителям и требуемым каналам обмена информацией. Принципы взаимодействия БПЛА и операторов в составе локальной сети иллюстрирует рисунок 1б.

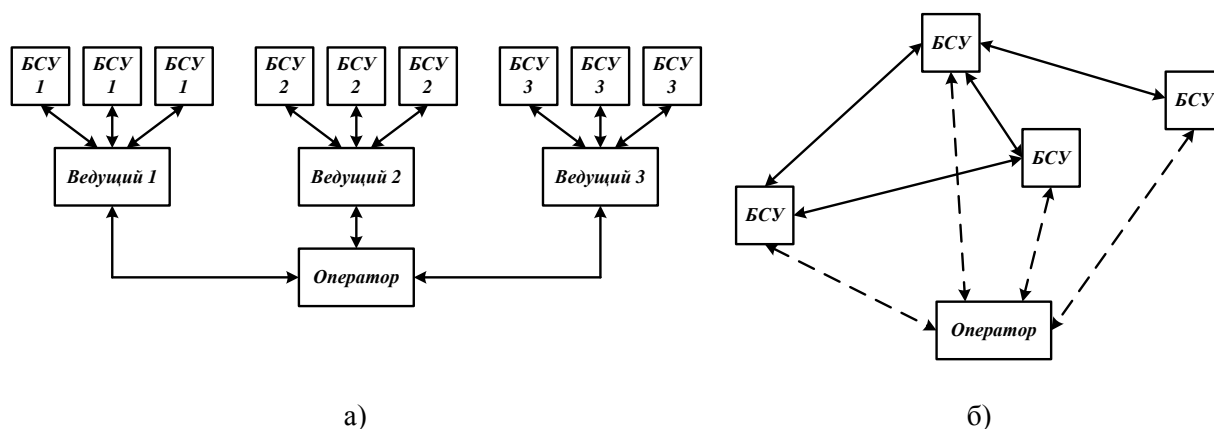


Рис. 1. Взаимодействие БПЛА и операторов в локальной сети: а) иерархический способ управления группой; б) принципы взаимодействия БПЛА и операторов

Управление действиями для достижения общей целевой установки возлагается на БСУ всех БПЛА, объединенных в единую информационно-вычислительную сеть. Специфика групповых действий предопределяет необходимость многоцелевого сопровождения целей с достоверной идентификацией измерений и обменом информацией в группе. Анализ информационных потоков в РТК и взаимосвязанных с ними системах, показывает наиболее рациональное направление обеспечения интеграции комплексов различного вида в единую систему. Это стандартизация информационных интерфейсов обмена данными между наземными станциями управления (НСУ) и БСУ БПЛА, операторов НСУ, информационного обмена НСУ с объектами автоматизированных систем управления (АСУ). Подобная стандартизация достигла высокого уровня в странах НАТО, где широко применяют стандарт STANAG 4586 для организации работы средств дистанционного управления и передачи данных, в том числе интерфейса оператора управления и обмена данными по радиолинии [2].

Для реализации возможности групповых действий высокоэффективных РТК авиационного базирования необходимо решить следующие задачи: создание сценариев группового применения БПЛА, определение критериев их эффективности и показателей качества групповых действий; разработка методов оптимизации групповых действий БПЛА и конкретных алгоритмов оптимального управления, реконфигурации группы при появлении отказов и потерь; рациональное распределение интеллектуальных функций между оператором и БПЛА в различных вариантах управления и решения боевых задач, повышение уровня интеллектуальности РТК; создание высокоскоростных радиосетей обмена информацией оператора с БПЛА и беспилотных аппаратов между собой, а также способов сжатия и защиты информации, повышение их скрытности и помехоустойчивости радиообмена, унификация протоколов обмена информацией; повышение быстродействия используемых процессоров.

Литература

1. Верба В. Робототехнические комплексы авиационного базирования // Радиоэлектронные технологии. – 2016. – № 1. – С. 68-72.
2. Слюсарь В. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника: НТБ. – 2010. – № 3. – С. 80-86.

Методы и критерии сравнительной оценки микропроцессоров

Практически все существующие на сегодняшний день методы оценки производительности процессоров фактически основаны на измерении времени, затрачиваемого вычислителем на решение некоторой детерминированной пользовательской задачи. Считается, что чем меньше вычислитель затрачивает времени, тем более производительным он является. Однако, оценка таких временных затрат является весьма сложной задачей. Связано это во многом с наличием дополнительных накладных временных расходов, возникающих в процессе измерений, связанных с необходимостью выполнения системного кода и осуществления операций ввода/вывода. Особенно серьезные трудности возникают при выполнении измерений с последующим сравнением результатов на разных платформах и операционных системах. В связи с этим в методах оценки производительности в зависимости от целевой задачи используют разное время: астрономическое, показывающее временной интервал между двумя событиями; время выполнения, показывающее время, требуемое для выполнения определенного алгоритма; время ответа, показывающее временной интервал, проходящий между окончанием некоторого запроса и началом ответа на него вычислительной системой; или прошедшее время, представляющее собой общее время выполнения задания и включающее в себя время работы процессора, время на обращение к оперативной памяти, время на операции ввода/вывода, накладные расходы на выполнение системного кода. Для описания времени, затрачиваемого процессором на выполнение заданного алгоритма, используется термин время центрального процессора. Из этого времени исключено время ожидания выполнения операций ввода-вывода и время выполнения других программ. Необходимость применения этого параметра обусловлена тем, что в многозадачном режиме происходит совмещение выполнения разных задач, использующих различные ресурсы.

Особенностью процессора как объекта измерения является то, что скорость взаимодействия функциональных устройств процессора чаще всего не зависит от динамических характеристик этих устройств, а задается частотой генератора тактовых импульсов. Поэтому время центрального процессора может быть вычислено двумя способами: умножением количества тактов синхронизации необходимых для выполнения заданного алгоритма на длительность такта синхронизации, либо делением количества тактов синхронизации, необходимых для выполнения заданного алгоритма, на частоту синхронизации. Важной характеристикой процессора является среднее количество тактов синхронизации, необходимых для выполнения одной команды (CPI clock cycles per instruction). Этот параметр позволяет оценить время процессора, необходимое для выполнения заданного алгоритма, зная количество выполняемых команд.

В итоге производительность процессора определяется тремя параметрами: тактовой частотой; средним количеством тактов на команду; количеством выполняемых команд. При сравнении производительности процессоров необходимо рассматривать все три компонента. Исходя из определения производительности, как скорости выполнения операций можно сказать, что интегральными критериями оценки производительности процессора будут являться количество выполненных операций за единицу времени или количество времени, затрачиваемое на выполнение заданного числа операций.

В процессе поиска стандартной метрики для оценки производительности исторически было выбрано несколько единиц измерения. Одной из наиболее распространенных среди них является IPS (instructions per second), которая показывает количество инструкций, выполняемых процессором в одну секунду. На первый взгляд метрика проста, но ее использование не позволяет учесть особенности выполняемого кода и архитектуру процессора. С ее помощью невозможно сравнивать процессоры, имеющие разные системы команд и архитектуры. Серьезные проблемы возникают также в связи с использованием сопроцессоров для выполнения команд с плавающей запятой и оптимизирующих компиляторов. Все это не дает возможности выполнять объективное сравнение с помощью метрики IPS разных процессоров.

Для задач, связанных с научно-техническими расчетами, требующими арифметики с плавающей точкой, производительность процессоров оценивается в показателе FLOPS (floating point operations per second), который показывает, сколько операций с плавающей запятой выполняет

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

в секунду данный процессор. В реальности FLOPS также является достаточно плохой мерой производительности, поскольку неоднозначным является уже само его определение, а получаемые результаты существенно зависят от конкретного выполняемого кода и архитектуры процессора. Другая проблема заключается в том, что время выполнения разных операций с плавающей запятой может существенно отличаться, в результате рейтинг FLOPS существенно зависит от состава тестовой смеси. Поэтому результаты, полученные на одной и той же системе с помощью различных тестов, могут существенно различаться.

Кроме того, IPS и FLOPS подвержены влиянию очень многих факторов, напрямую не связанных с производительностью самого процессора, например: пропускная способность каналов связи с окружением процессора, производительность основной памяти, синхронность работы кэш-памяти и других. Все это приводит к получению разных количественных результатов даже при проведении серии однотипных измерений на одной и той же вычислительной системе.

Несмотря на большое число существенных недостатков, IPS и FLOPS продолжают использоваться для оценки производительности процессоров. Причины такой популярности обусловлены тем, эти метрики являются абсолютными величинами, кроме того подавляющее большинство вычислительных систем построены по классической архитектуре с использованием стандартных процессоров, что позволяет использовать для сравнения общепринятые тесты.

С целью получения интегрального показателя производительности и локализации измерительного алгоритма в классе предполагаемых решаемых задач было разработано большое количество пакетов синтетических и натуральных тестов, содержащих наборы команд специально подобранных тестовых фрагментов алгоритмов, максимально приближенных к предметной области применения вычислителя. С учетом области применения настоящей работы к таким тестам в первую очередь можно отнести LINPACK, тесты SPEC, смеси AIM, Whetstone/Dhrystone, Nbench и CoreMark. В области цифровой обработки сигналов наиболее авторитетным специализированным пакетом тестов является тест VTDImark2000. Синтетические и натуральные тесты не могут служить в качестве настоящих тестовых пакетов для оценки производительности, поскольку они не могут точно моделировать среду конечного пользователя и оценивать производительность всех компонентов системы, участвующих в конкретном вычислительном процессе. Без такой гарантии точность результатов измерения производительности остается под вопросом.

Более того, результаты тестов обычно представляются в виде некоторых относительных индексов, позволяющих провести сравнение процессоров между собой по различным параметрам, включая производительность. При этом остается совершенно не ясно, сможет ли процессор, обладающий некоторым значением индекса, удовлетворить требованиям по выполнению целевой задачи за заданное время, следовательно, вопрос, может ли быть тот или иной процессор применен для построения пользовательской системы, остается в итоге открытым.

А.И. Рымов, Р.Р. Шахтемиров
Военный учебный научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)
394064, Воронеж, ул. Старых большевиков, 54а
e-mail: Rymov69@mail.ru

Оценка скрытности работы радиолокационной станции

Радиотехническая разведка, как правило, предполагает последовательное выполнение следующих задач: обнаружение факта работы радиолокационной станции (РЛС) (обнаружение сигнала), определение структуры обнаруженного сигнала (определение ряда его параметров), что позволяет определить тип РЛС. Для связных скрытных систем дополнительно решается задача раскрытия передаваемой информации.

Перечисленным задачам радиотехнической разведки (РТР) могут быть противопоставлены три вида скрытности: энергетическая, структурная, информационная [1].

Энергетическая скрытность характеризует способность противостоять мерам, направленным на обнаружение сигнала приемником станции РТР. Как известно, обнаружение сигнала происходит в условиях, когда на приемник станции РТР действуют помехи (шумы), и может сопровождаться ошибками двух видов: пропуск сигнала при его наличии на входе и ложное обнаружение (ложная тревога) при отсутствии сигнала. Эти ошибки носят вероятностный характер. Наиболее полной количественной мерой энергетической скрытности может являться вероятность правильного обнаружения D (при заданной вероятности ложной тревоги F), которая, в свою очередь, зависит от отношения сигнал/помеха.

Структурная скрытность характеризует способность противостоять мерам радиотехнической разведки, направленным на раскрытие сигнала, т.е. выявляют необходимые для радиопротиводействия параметры сигнала. Это означает распознавание формы сигнала, определяемой способами его кодирования и модуляции, т.е. отождествление обнаруженного сигнала с одним из множества априорно известных сигналов. Следовательно, для увеличения структурной скрытности необходимо иметь по возможности большой ансамбль используемых сигналов и достаточно часто изменять форму сигналов. Задача определения структуры сигнала является также статистической, а количественной мерой структурной скрытности может служить вероятность раскрытия структуры сигнала $P_{стр}$ при условии, что сигнал обнаружен. Таким образом, $P_{стр}$ является условной вероятностью.

Информационная скрытность определяется способностью противостоять мерам, направленным на раскрытие смысла передаваемой с помощью сигналов информации, и являются характеристикой связных радиоэлектронных систем.

Для оценки скрытности в условиях радиолокационного конфликта существует ряд критериев [2].

1. Критерий, основанный на определении скрытности по отношению энергий пороговых сигналов для РЛС и приемника станции РТР, при условии, что антенны РЛС и приемника станции РТР направлены друг на друга максимумами диаграмм направленности антенн. В этом случае вводят коэффициент скрытности

$$k_{скр} = \frac{E_{п.РТР}}{E_{п.РЛС}},$$

где $E_{п.РТР}$ – энергия порогового сигнала для оптимального приемника станции РТР; $E_{п.РЛС}$ – энергия порогового сигнала для оптимального приемника РЛС.

2. Критерий оценки скрытности по отношению дальности обнаружения цели с заданной эффективной поверхностью рассеивания, на которой расположен приемник станции радиотехнической разведки ($R_{РЛС}$), к дальности обнаружения излучения РЛС приемником станции РТР ($R_{РТР}$). Это отношение имеет вид

$$S = R_{РЛС} / R_{РТР}.$$

Для скрытной работы РЛС необходимо, чтобы выполнялось условие $S \geq 1$.

Секция 12. Построение и анализ радиотехнических систем

3. Критерий оценки скрытности по вероятностным характеристикам: характеристикам обнаружения цели РЛС и обнаружения излучения РЛС приемником станции РТР

$$D_{РЛС}(R_{РЛС}) = F^{\frac{1}{1+q^2(R_{РЛС})}},$$

где $q^2(R_{РЛС})$ – отношение сигнал/помеха на выходе приемника РЛС в зависимости от расстояния $R_{РЛС}$.

Для заданного вида приемника станции РТР можно построить характеристики обнаружения сигнала РЛС

$$D_{РТР} = f(R_{РТР}).$$

Вероятность $D_{РТР}$ зависит от вероятности исполнения этапов обработки в приемнике РЛС, которые снижают ее значение. Эти факторы могут быть учтены соотношением

$$D_{РТР}(R_{РТР}) = D_f \cdot D_t \cdot D_\theta \cdot D_{КЛ} \cdot D_o \cdot D_{обн}(R_{РТР}),$$

где D_f – вероятность совпадения настройки приемника станции РТР на частоту РЛС; D_t – вероятность совпадения времени излучения сигнала РЛС и приема его приемником станции РТР; D_θ – вероятность совпадения главного лепестка диаграммы направленности антенны РЛС с направлением на диаграмму направленности антенны приемника станции РТР в случае разведки по главному лепестку; $D_{КЛ}$ – вероятность распознавания и классификации принятого приемником станции РТР сигнала; $D_{обс}$ – вероятность обслуживания перехваченного сигнала приемником станции РТР; $D_{обн}(R_{РТР})$ – вероятность обнаружения излучения РЛС с помощью приемника станции РТР.

4. Критерий оценки скрытности по зависимости дальности обнаружения цели и дальности разведки излучения от мощности РЛС

$$R_{РЛС} = f(P_{изл}); R_{РЛС} = f(P_{изл}).$$

Первая зависимость позволяет определить, на какой дальности будет обнаружена цель при заданных тактико-технических характеристиках РЛС; вторая – на каком расстоянии приемник станции РТР обнаруживает сигнал РЛС при заданных характеристиках приемника станции РТР.

Таким образом рассмотренные характеристики скрытности работы РЛС позволяют количественно оценить скрытность работы РЛС.

Литература

1. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М.: Вузовская книга, 2011.
2. Бакулев П.А., Клементьев А.Н., Степин В.М. Анализ эффективности устройств радиолокационных сигналов в обзорных РЛС. М.: МАИ, 1992.