

УДК 629.7.05

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МНОГОДАТЧИКОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА

В. С. Верба, В. И. Меркулов, Д. А. Миляков, В. С. Чернов
Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»

Статья получена 14 апреля 2015 г.

Аннотация. В статье приводится общая характеристика информационных датчиков, уровней и вариантов их интеграции и возможностей качественного формирования обобщающих сведений об окружающем пространстве в мобильных комплексах мониторинга. Основное внимание уделено анализу режимов функционирования датчиков, рассмотрению современного подхода к трактовке третьего уровня объединения информации (так называемому «сочетанию датчиков / слиянию данных»), а также особенностям интеграции данных от измерительных датчиков с неполной координатной информацией в многопозиционных системах радиомониторинга и проблемам встраивания интегрированных комплексов мониторинга окружающего пространства в сетевые информационно-управляющие системы.

Ключевые слова: мониторинг окружающего пространства, информационные датчики, обработка информации, интеграция данных, радиолокационная система, оптико-электронная система, навигационная система, синтезированная апертура, уровень объединения, слияние данных, сетевая система, сервис-ориентированная архитектура, мультиагентные средства.

Abstract. The article provides an overview of information sensors, levels of integration options and features of high-quality formation of generalizing information about the surrounding area in the mobile complex monitoring. Emphasis is placed on the analysis of modes of operation of sensors, consider the modern approach to the treatment of third-level association information (so-called "combination sensor / data fusion"), and especially the integration of data from the measurement sensors with

incomplete information in the multi-position coordinate systems and radio monitoring problems embedding integrated complexes monitoring of the surrounding space in network-centric information management systems.

Keywords: monitoring of the surrounding space, information sensors, data processing, data integration, radar system, optical-electronic system, navigation system, synthetic aperture level association, data fusion, network-centric system, service-oriented architecture, multi-agent tools.

Введение

Под интегрированным комплексом мониторинга (ИКМ) окружающего пространства понимают совокупность совместно функционирующих датчиков, средств связи, вычислительных и программных средств, средств управления и индикации, предназначенных для получения информации о различного рода объектах, объединения поступающей информации от датчиков и отображения результирующей информации. Конечной целью функционирования ИКМ является формирование обобщающего представления об окружающем пространстве. Под окружающим пространством при этом будем понимать воздушное, наземное, водное, а иногда и подповерхностное пространства или любая их совокупность, а под объектами – любые сущности материального мира, в том числе, одиночные малоразмерные объекты, групповые объекты, распределенные (площадные и объемные) объекты и т.д.

Важнейшую роль в ИКМ играют информационные датчики, тактико-технические характеристики которых определяют возможности высокоэффективного функционирования ИКМ. К датчикам, обеспечивающим получение информации об окружающем пространстве, относятся:

– системы, получающие информацию на основе анализа электромагнитного поля в различных диапазонах длин волн: оптические датчики, инфракрасные датчики, системы активной локации, системы пассивной радиолокации, радиометрические датчики;

– магнитометрические датчики;

- сейсмические датчики;
- акустические и гидроакустические датчики

и др.

Интегрированная совместная обработка информации, получаемой от нескольких датчиков, позволяет сформировать сводные обобщающие сведения об окружающем пространстве и прогнозе его изменения.

Наиболее широкое применение при мониторинге окружающего пространства нашли рассматриваемые ниже оптико-электронные и радиолокационные датчики. Применение в составе интегрированных комплексов мониторинга этих датчиков значительно повышает возможности ИКМ по помехозащищенности, надежности и точности измерения координат и параметров движения воздушных, наземных и надводных объектов наблюдения и получению высококачественных изображений поверхности Земли.

1. Оптико-электронные системы

Оптико-электронные системы (ОЭС) обеспечивают формирование изображений объектов окружающего пространства на основе приема электромагнитных колебаний оптического диапазона волн. Под оптическим излучением понимают электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от $\lambda=10^{-3}$ мкм до $\lambda=1$ мм [1]. Оптический диапазон подразделяется на ультрафиолетовую область ($\lambda=10^{-3} \dots 0,38$ мкм), видимую ($\lambda=0,38 \dots 0,76$ мкм) и инфракрасную (ИК) область ($\lambda=0,76 \dots 10^3$ мкм). ИК-область оптического спектра излучения делится на коротковолновый участок ($\lambda=0,76 \dots 1,5$ мкм), средневолновый ($\lambda=1,5 \dots 20$ мкм) и длинноволновый ($\lambda=20 \dots 10^3$ мкм). Следует заметить, что границы этих диапазонов и участков являются в значительной степени условными. Так, в [2] ИК-область делится на следующие диапазоны волн: граничные – 15...300 мкм, дальние – 6...15 мкм, средние – 3...6 мкм и ближние – 0,75...3 мкм волны.

В зависимости от диапазона волн ОЭС имеют различные информативные возможности при решении задач мониторинга окружающего пространства.

Пассивные оптико-электронные датчики. К пассивным оптико-электронным датчикам относят телевизионные и тепловизионные. Применительно к летательным аппаратам (ЛА) наиболее известными ИК-системами являются системы FLIR (Forward – Loading Infrared – инфракрасная система переднего обзора) иIRST(Infrared Searchand Traking – ИК-система поиска и сопровождения). Системы FLIR, работающие в диапазоне длины волны 8...13 мкм, стали основным пассивным средством самолетов, обеспечивающих навигацию и обнаружение целей. ИК-система поиска и сопровожденияIRST является эффективным пассивным средством обнаружения целей на больших дальностях и в широких зонах. Дальность ее действия может быть сопоставима с дальностью действия некоторых современных бортовых радиолокационных систем (РЛС) обнаружения воздушных целей [1]. Однако системуIRST нельзя рассматривать как замену бортовой РЛС. Обе системы взаимно дополняют друг друга.

СистемаIRST работает в средней и длинноволновой ИК-области спектра в диапазонах длин волн 3...5 и 8...12 мкм, где атмосферное ослабление оптических волн при нормальных условиях является приемлемым. Система обнаруживает малейшие изменения температуры цели и фона, но функционирование ее в значительной степени зависит от погодных условий. При дожде или густом тумане эффективность системы снижается, поэтому системаIRST может быть эффективно использована только при ясной погоде.

СистемаIRST выполняет многие функции бортовой РЛС, к тому же она в меньшей степени уязвима от средств радиоэлектронного противодействия. Обе системы способны сканировать в широкой зоне обзора, обнаруживать и сопровождать цели. РЛС обеспечивает точное измерение дальности, тогда как системаIRST, являясь пассивной, не может определять дальности до объектов. В то же время системаIRS выдает более точную информацию об азимуте и угле места и обладает большей способностью по распознаванию объектов.

В сочетании с приемником предупреждения о радиолокационном облучении системаIRST может быть использована для получения точной

информации об азимуте и угле места источников угрозы. При отсутствии радиолокационного облучения система IRST может оказаться единственным пассивным средством обнаружения угрозы. Система IRST также может быть использована в качестве системы предупреждения о приближении атакующих ракет.

Между ИК-системой FLIR, используемой для обнаружения наземных целей и навигации, и системой IRST существует ряд различий. Так, за счет более низкой частоты сканирования система IRST обеспечивает более длительный процесс накопления сигналов, необходимый для дальнего обнаружения.

Система FLIR может работать с полем зрения, не превышающим $30 \times 40^\circ$, обеспечиваемым индикатором на лобовом стекле ЛА. Система IRST должна иметь широкое поле зрения около $140 \times 60^\circ$, для того чтобы осуществлять поиск целей в возможно более широком секторе обзора. Другим важным различием двух систем являются разные требования к цифровой обработке данных. Для системы FLIR может не требоваться никакой обработки, если изображение воспроизводится непосредственно на индикаторе, или требоваться обработка небольшого объема для улучшения качества изображения и обеспечения наведения средств поражения на цель. Для системы IRST необходима скорость обработки данных около 30...40 млн. операций/с для подавления помех и сопровождения реальных целей [1].

С технической точки зрения система IRST является более сложной, однако она может выполнять функции обычной системы FLIR и работать как комбинированная система FLIR/IRST для пассивного наблюдения, сопровождения и распознавания целей, навигации, а также обеспечения наведения оружия на наземные цели и посадки.

В настоящее время все более широкое применение находят многоспектральные оптико-электронные датчики. Преимуществом использования нескольких ОЭ/ИК-датчиков является их взаимодополняющий характер: если некоторые датчики «деградируют», например, из-за поглощения

в атмосфере, снижения уровня освещенности или суточных эффектов, то другие могут обеспечить получение четкого изображения.

У каждого диапазона волн и связанной с ним технологии реализации датчика есть свои преимущества и недостатки [3]. Так, неохлаждаемый длинноволновый ИК-датчик (LWIR) потребляет небольшое количество энергии, имеет неплохие характеристики при обнаружении целей и хорошо работает в полной темноте. Однако идентификация целей представляет определенные трудности, так как получаемые изображения в этом диапазоне волн имеют недостаточную детальность. Датчик коротковолнового ИК-диапазона (SWIR 1...2,6 мкм) подходит для идентификации цели и может хорошо видеть во время «теплового перераспределения», когда солнце восходит и заходит и нагревает или охлаждает Землю. Однако его способности к обнаружению не столь эффективны, как у LWIR, и он не работает в полной темноте [3].

Телевизионные (ТВ) системы, работающие при низких уровнях освещенности. Изображение, получаемое с помощью этих ТВ систем и выдаваемое на индикатор на лобовом стекле, в условиях однородных температур и высокой влажности значительно лучше, чем у системы FLIR.

ТВ системы имеют следующие преимущества [1]:

- отсутствие необходимости охлаждения системы;
- отсутствие проблем, связанных с температурными пересечениями;
- возможность наложения на изображение полетных данных.

ТВ системам свойственны и определенные недостатки [1]:

- присутствие эффекта расплывания изображения;
- существенные ограничения по освещенности;
- наличие свойства непрямого видения, приводящее к необходимости отображения изображений на специальном индикаторе.

Лазерные локаторы. Принцип работы лазерного локатора аналогичен принципу работы обычной активной РЛС и заключается в измерении в поле зрения объектива расстояния до каждой точки пространства и углового

направления на цель. Однако в отличие от обычной РЛС, лазерный локатор имеет более высокую разрешающую способность, поскольку длина рабочей волны у него значительно меньше. Это позволяет осуществлять обнаружение таких малоразмерных объектов, как провода линий электропередачи. Подобно тепловизионным системам FLIR, лазерный локатор может работать и при отсутствии дневного света, однако в отличие от подобных систем, он может обеспечивать получение трехмерного изображения. В лазерном локаторе путем выделения доплеровского смещения частоты импульсных отраженных сигналов можно обнаружить движение объекта.

Основным фактором, ограничивающим возможности применения лазерного локатора, является небольшая дальность действия. Лазерное излучение значительно ослабляется атмосферой. Максимальная дальность для случая работы в чистой атмосфере может достигать 10 км [1], однако при наличии облаков или дымки дальность действия в общем случае соответствует дальности действия тепловизионной системе FLIR. При обычной тактической обстановке при сканировании земной поверхности на расстоянии 3...5 км впереди самолета как лазерный локатор, так и система FLIR эффективны при нахождении самолета ниже кромки облаков, если нет густого тумана.

Эффективность работы лазерного локатора и системы FLIR при наличии дымки или легкого тумана отличаются тем, что изображение, получаемое с помощью системы FLIR, теряет четкость постепенно при ухудшении погодных условий, в то время как лазерный локатор обеспечивает получение четкого высококонтрастного изображения, пока принимаются отраженные лазерные сигналы.

Явление ослабления сигналов в атмосфере имеет очень важный побочный эффект: вследствие существенного ослабления сигналов с увеличением расстояния и отсутствия боковых лепестков у лазерного луча функционирование лазерного локатора весьма сложно обнаружить и создать ему помехи.

К недостаткам лазерных локаторов относятся длительность процесса

обнаружения целей в тех случаях, когда обзору подлежит большое пространство, и высокие требования к точности сопровождения лоцируемых объектов. Объясняется это чрезвычайной узостью лазерного луча.

2. Радиолокационные системы

Важнейшим базовым элементом интегрированных комплексов мониторинга окружающего пространства являются РЛС. Особая роль РЛС обуславливается их способностью обнаруживать цели на значительно больших дальностях по сравнению с ОЭС, а также обнаруживать цели и получать радиолокационное изображение (РЛИ) поверхности Земли днем и ночью в любых погодных и метеорологических условиях.

Ниже рассматриваются возможности РЛС по мониторингу воздушного, наземного и водного пространств применительно к бортовым РЛС, установленным на ЛА. Особенностью бортовых РЛС является то, что они, как правило, являются многофункциональными. Наряду с мониторингом окружающего пространства они решают целый ряд других весьма сложных и ответственных задач, связанных с целевым предназначением конкретных типов ЛА.

2.1. Мониторинг воздушного пространства

РЛС современных ЛА при решении задачи мониторинга воздушного пространства обеспечивают [4, 5]:

- поиск, обнаружение и опознавание (совместно с системой государственного опознавания) воздушных объектов (целей);
- разрешение, измерение координат и параметров движения обнаруженных воздушных целей в различных режимах функционирования;
- распознавание типов и классов воздушных целей.

Существующие импульсно-доплеровские РЛС осуществляют эффективное обнаружение воздушных целей как на фоне отражений от поверхности Земли, так и в свободном пространстве с одновременным измерением дальности, угловых координат цели и радиальной скорости ее

движения. В настоящее время в РЛС находят применение следующие режимы излучения импульсных сигналов: с высокой (ВЧП), средней (СЧП) и низкой (НЧП) частотами повторения импульсов.

В режиме излучения зондирующих импульсов с ВЧП обеспечивается эффективное обнаружение воздушных целей (ВЦ), движущихся на встречных и встречнопересекающихся курсах. Это обусловлено наличием в спектре сигналов, отраженных от поверхности Земли, «свободной» зоны, в пределах которой находятся составляющие доплеровских смещений частот сигналов, отраженных от ВЦ. В этом случае обнаружение осуществляется на фоне только внутренних шумов.

При обнаружении целей на догонно-пересекающихся курсах, т.е. в задней полусфере режим излучения зондирующих сигналов с ВЧП, как правило, не применяется, так как эффективность обнаружения целей резко падает вследствие того, что спектральные составляющие сигнала, отраженного от цели, располагаются в области мешающих отражений от земной поверхности. Для обнаружения подобных целей используется режим излучения с СЧП. Режим излучения зондирующих импульсов с СЧП может быть использован и при обнаружении целей в передней полусфере, однако эффективность обнаружения в этом случае, по сравнению с режимом ВЧП, ниже. В то же время, если ракурс цели неизвестен, то предпочтительнее использовать режим излучения с СЧП.

В режиме излучения импульсов с НЧП осуществляется однозначное измерение дальности. Однако измерение радиальных скоростей движения целей сопряжено с большой неоднозначностью. Данный режим при наблюдении ВЦ в свободном пространстве (главный луч диаграммы направленности отклонен вверх относительно продольной оси ЛА) имеет наименьшие потери энергии при обработке сигналов. Однако при наблюдении целей в нижней полусфере (главный луч диаграммы направленности отклонен вниз относительно продольной оси ЛА) на фоне мешающих отражений от Земли дальность обнаружения ВЦ весьма мала [4].

При мониторинге воздушного пространства основными режимами функционирования РЛС являются режимы обзора пространства и автоматического сопровождения целей с излучением зондирующих импульсов с ВЧП и СЧП.

В режиме «Обзор» осуществляется поиск, обнаружение и опознавание целей в заданной области пространства. В настоящее время наибольшее распространение получил растровый способ обзора пространства, при котором осуществляется последовательный построчный просмотр главным лучом антенны всех элементов разрешения в зоне поиска. В перспективных РЛС возможен параллельный или последовательно-параллельный виды обзора, что сокращает время просмотра зоны поиска целей. Однако при этом в РЛС необходимо использовать фазированные антенные решетки и многоканальные приемники.

Первоначально обнаружение цели в режиме «Обзор» осуществляется с грубой оценкой ее координат. После этого проводится определение государственной принадлежности цели. Как правило, для решения задачи опознавания используются специальные РЛС, построенные на принципах активной радиолокации с активным ответом, сопрягающиеся с бортовой РЛС ЛА.

В РЛС для одновременного сопровождения нескольких целей по дальности, скорости и угловым координатам без выхода из режима «Обзор», предусмотрен режим «Автоматическое сопровождение целей в режиме обзора» («Сопровождения целей на проходе» при механическом обзоре) [6]. Точность измерения координат целей при этом существенно повышается.

2.2. Мониторинг наземной (надводной) обстановки

Для достижения высокой эффективности ИКМ бортовые РЛС в режимах работы «воздух-поверхность» должны обеспечивать [4, 5]:

- формирование радиолокационного изображения земной поверхности;
- обнаружение и измерение координат наземных (надводных) неподвижных и движущихся целей;

- информационное обеспечение распознавания целей;
- обнаружение объектов, скрытых в лесных массивах и находящихся под землей.

Для решения указанных задач существующие РЛС имеют режимы картографирования наземных объектов и селекции (обнаружения, сопровождения и индикации) наземных движущихся целей.

Картографирование. Режимы картографирования служат для получения РЛИ земной поверхности, обнаружения и оценивания координат ориентиров и целей.

Поиск и обнаружение целей и ориентиров, обзор земной поверхности с помощью РЛС может вестись либо в широкой зоне по азимуту и дальности для контроля большой площади и выбора района наблюдения, либо в узкой зоне для более детального изучения интересующего района мониторинга. Небольшой участок местности контролируется, как правило, при решении задач обнаружения малоразмерных объектов и их классификации. Для выполнения поиска, обнаружения, выбора объекта наблюдения в РЛС реализуется несколько режимов картографирования: с реальным лучом, с доплеровским обострением луча (ДОЛ), с фокусированной синтезированной апертурой (ФСА), которые отличаются значениями разрешающей способности РЛС.

В режиме картографирования реальным лучом обеспечивается получение условного радиолокационного изображения, не связанного с ограничениями на курсовой угол цели. Однако разрешающая способность по азимуту при картографировании реальным лучом определяется шириной диаграммы направленности антенны и не позволяет обнаруживать малоразмерные цели с больших расстояний.

Для повышения качества РЛИ местности применяют картографирование с ДОЛ. В этом режиме осуществляется сканирование антенной по углу, поэтому данный режим также называется секторным обзором (СО). Картографирование с ДОЛ позволяет получить РЛИ местности с разрешением

на порядок лучше, чем при картографировании реальным лучом. Однако при этом впереди по курсу ЛА имеется «слепая» зона.

Режим картографирования с ФСА (полосовой или телескопический) предназначен для получения радиолокационного изображения земной поверхности, по своей детальности приближающегося к оптическим изображениям. При полосовом (передне-боковом – ПБО) обзоре ось реальной диаграммы направленности антенны ориентируется под заданным углом к линии пути ЛА, причем этот угол постоянен в течение всего времени формирования РЛИ заданной зоны обзора. Формирование РЛИ участка поверхности Земли осуществляется либо построчно по мере пролета картографируемой местности, либо в виде отдельных кадров, которые стыкуются между собой. Максимальное разрешение по азимуту имеет место при чисто боковом обзоре (БО) и равно $d_a/2$, где d_a – размер реальной антенны по азимуту.

Телескопический обзор (ТО) применяется при необходимости многократного наблюдения одного и того же участка поверхности Земли, например, при выполнении наблюдения за малоразмерными объектами. При этом участок поверхности, представляющий интерес, должен полностью помещаться внутри реальной диаграммы направленности антенны, а его РЛИ формироваться при обработке траекторного сигнала на одном интервале синтезирования. В ТО обеспечивается линейное разрешение порядка одного метра и выше, что позволяет получить РЛИ местности, близкое по качеству к аэрофотоснимкам. Особенностью этого режима является необходимость поддержания курсового угла цели более $10...20^\circ$ и осуществление обзора местности справа или слева от ЛА в зависимости от характера выполняемого задания.

Среди комбинированных режимов наибольшее применение находит секторно-телескопический обзор, при котором в течение одного интервала синтезирования обеспечивается ТО, после поворота диаграммы направленности на ширину луча вновь выполняется ТО и так далее. Полученные при таком

обзоре парциальные кадры РЛИ стыкуются между собой.

Рассмотренные выше «простые» виды обзора земной поверхности (ПБО, ТО и СО) обладают набором свойств, которые позволяют для эффективного решения любой конкретной задачи выбрать наиболее подходящий. Так, ПБО (БО) дает возможность сформировать практически бесконечную зону просмотра по азимуту, но имеет ограничение по разрешающей способности. Телескопический режим снимает ограничения на разрешение, но имеет ограниченную зону просмотра. Секторный обзор при минимальном интервале съемки позволяет получить максимальную ширину зоны захвата, однако расширение зоны захвата достигается за счет снижения разрешающей способности.

Следует отметить, что эффективность функционирования РЛС ЛА в существенной степени зависит от выбранного частотного диапазона излучения радиоволн. В существующих РЛС при обзоре земной поверхности применяются миллиметровый, сантиметровый, дециметровый и метровый диапазоны волн. Использование дециметрового и метрового диапазонов волн является целесообразным при необходимости обнаружения малоразмерных целей под листвой, под камуфляжем, а также при «просвечивании» зданий, картографировании городской застройки, обнаружении изменения состояния объектов в зданиях.

Режим селекции (обнаружения, сопровождения и индикации) наземных движущихся целей обеспечивает обнаружение и измерение координат этих целей в режиме картографирования. В настоящее время в этом режиме решается целый ряд взаимосвязанных задач на различных уровнях [7]:

- обнаружение только движущихся с радиальной скоростью объектов при подавлении сигналов всех других объектов и фона местности;
- обнаружение только движущихся объектов с измерением их координат (дальность-азимут) и радиальных скоростей;
- обнаружение только движущихся объектов с измерением их координат и векторов скорости (радиальной и тангенциальной составляющих);

– обнаружение одновременно только движущихся и неподвижных объектов с измерением их координат и векторов скорости с индикацией на фоне радиолокационного изображения земной поверхности.

При решении последней задачи в РЛС выполняется отдельная обработка принятых сигналов, позволяющая получить обычное РЛИ местности и отметки движущихся целей. Отметки движущихся целей на индикаторе совмещаются с РЛИ местности для обеспечения ориентации.

При обнаружении движущихся объектов используются специальные алгоритмы и устройства их реализации. Алгоритмы селекции основаны на различиях пространственно-временных характеристик сигналов, отраженных от движущихся и неподвижных объектов.

Одним из наиболее эффективных является алгоритм адаптивной пространственно-временной обработки сигналов (STAP), позволяющий обнаруживать, в частности, движущихся пешеходов.

Принято считать STAP одним из алгоритмов линейной адаптивной фильтрации, предназначенным для обработки данных наблюдений в пространственно-временной области с целью улучшения определенных характеристик сигнала, в частности при выполнении задачи обнаружения движущихся объектов на фоне мешающих отражений от земной поверхности и неподвижных наземных объектов (пассивных помех).

В STAP-системах обычно используется антенна с электронным сканированием, имеющая несколько приемных каналов [8]. Пространственный канал антенны образуют следующие элементы: подрешетка, состоящая из совокупности антенных элементов, радиочастотный сумматор, приемник и аналого-цифровой преобразователь. Многоканальная антенная решетка производит пространственную дискретизацию распространяющейся плоской волны путем измерения разности фаз между сигналами в приемных каналах. Ниже для простоты изложения метода STAP предполагается, что антенная решетка является линейной, а бортовая РЛС принимает периодическую последовательность из N отраженных радиоимпульсов с периодом повторения

T , используемую для дискретизации радиолокационных сигналов во временной области. В результате приема радиосигналов, поступающих от точечного отражателя и имеющих определенные значения пространственной и доплеровской частот, в РЛС формируется пространственно-временной вектор комплексных отсчетов (данных). Напомним, что значение пространственной частоты для узкополосного радиосигнала определяется выражением:

$$f_{\pi} = \frac{d}{\lambda} \cos \theta \sin \varphi,$$

где d – шаг M -канальной линейной антенной решетки (расстояние между центрами подрешеток); λ – длина волны; φ и θ – азимутальный угол и угол места соответственно, характеризующие положение единичного вектора, нормального относительно фронта падающей плоской радиоволны.

Для наглядного представления области данных при описании пространственно-временной обработки сигналов используется так называемый куб данных. Отдельный куб данных соответствует единичному интервалу когерентной обработки сигналов. Каждая строка куба соответствует одному из M приемных каналов, каждый столбец – одному из N временному отсчету импульсов, а L дальностных отсчетов образуют третье измерение куба. Количество L дальностных отсчетов для сигналов с низкой частотой повторения определяется разрешающей способностью и максимальной дальностью РЛС. Каждая «страница» куба данных соответствует одной ячейке дальности. Для l -го элемента дальности можно получить пространственно-временной кадр путем расположения каждого следующего столбца под предыдущим. Пространственно-временной кадр представляет собой вектор данных длины NM .

Используя данный формат, процессор обработки может формировать диаграмму направленности антенны по столбцам, а доплеровскую обработку вести по строкам куба. Следует отметить, что отражения от земной поверхности, соответствующие l -му элементу дальности, представляют собой результаты когерентного суммирования сигналов множества рассеивающих

центров в пределах элемента разрешения по дальности.

Пространственно-временная адаптивная фильтрация предполагает взвешивание компонентов l -го кадра данных с формированием на выходе скалярной величины [8]:

$$y_l = \sum_{m=1}^{NM} [w_l]_m^* [x_l]_m = \mathbf{w}_l^H \mathbf{x}_l, \quad (1)$$

где «*» обозначает операцию комплексного сопряжения, а индекс « H » – сопряжение по Эрмиту, \mathbf{w}_l – вектор весовых коэффициентов размера NM , а \mathbf{x}_l – вектор принятого сигнала, представляющего собой линейную сумму полезного \mathbf{s}_l и помехового сигналов. Операция скалярного произведения (1) может реализовываться фильтром с конечной импульсной характеристикой.

Основной целью пространственно-временной обработки является получение максимального значения отношения сигнал-помеха на выходе, что приводит к максимизации вероятности правильного обнаружения цели. Для этого оптимальный вектор весовых коэффициентов должен иметь вид [8]

$$\mathbf{w}_l = \beta \mathbf{R}_l^{-1} \mathbf{s}_l, \quad (2)$$

где β – скалярная величина, \mathbf{R}_l – ковариационная матрица помехового сигнала.

Алгоритм STAP представляет собой реализацию в некоторой области данных оптимального фильтра с вектором весовых коэффициентов, определяемым выражением (2). На практике компоненты ковариационной матрицы и полезного сигнала в (2) обычно не определены. Процессор обработки заменяет эти компоненты их оценочными значениями, получая, таким образом, адаптивный вектор весовых коэффициентов:

$$\hat{\mathbf{w}}_l = \hat{\beta} \hat{\mathbf{R}}_l^{-1} \hat{\mathbf{s}}_l, \quad (3)$$

где « \wedge » означает оценочное значение для скалярной величины β , матрицы \mathbf{R}_l и вектора \mathbf{s}_l . Этот метод называется обращением матрицы отсчетов (sample matrix inversion (SMI)).

Наиболее часто для вычисления оценочной ковариационной матрицы используется выражение

$$\hat{\mathbf{R}}_l = \frac{1}{P} \sum_{m=1}^P \mathbf{x}_m \mathbf{x}_m^H. \quad (4)$$

Вектор \mathbf{x}_m содержит вторичные или обучающие данные. Если все обучающие данные являются независимыми и одинаково распределенными относительно нулевой гипотезы (отсутствие цели), определяемой для анализируемого кадра данных, то при выборе $P \approx 2NM$ средний уровень потерь на выходе процессора составит примерно 3 дБ. Чтобы избежать «самообеления» цели, процессор исключает анализируемый элемент дальности, а также несколько смежных элементов из набора обучающих данных. Потери определяются отличием реальной ковариационной матрицы помехи от полученной оценочной ковариационной матрицы (4).

Оценки компонент полезного сигнала, необходимые для расчета вектора весовых коэффициентов (3), вырабатываются процессором на основании данных о положении антенной решетки и параметрах импульсной последовательности для серии дискретных точек на частотах, близких к пространственной и доплеровской частотам, представляющим интерес при проверке наличия движущихся целей.

За оценку параметра β рекомендуется выбирать величину [8]

$$\hat{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\hat{\mathbf{s}}_l^H \hat{\mathbf{R}}_l^{-1} \hat{\mathbf{s}}_l}},$$

а в качестве тестовой статистики адаптивного согласованного фильтра (adaptive matched filter (AMF)) равенство

$$\eta = |\hat{\mathbf{w}}_l^H \hat{\mathbf{x}}_l|^2 = \frac{|\hat{\mathbf{s}}_l^H \hat{\mathbf{R}}_l^{-1} \hat{\mathbf{x}}_l|^2}{\sqrt{\hat{\mathbf{s}}_l^H \hat{\mathbf{R}}_l^{-1} \hat{\mathbf{s}}_l}}.$$

Основным ограничением применения метода STAP являются значительные затраты вычислительных ресурсов системы, а также использование при адаптации малого числа обучающих кадров данных. Поэтому разработано несколько альтернативных методов STAP, основанных на уменьшении размерности обрабатываемых данных или использовании метода

аппроксимации ковариационной матрицы помехи низкого ранга. Хотя обычно эти методы показывают высокую эффективность, существуют некоторые проблемы их применения на практике. К ним относятся пониженная способность подавления помех, ухудшенные характеристики по минимальному значению скорости обнаруживаемых движущихся целей, возможное отрицательное влияние на процесс измерения азимутов целей, а при использовании метода с понижением ранга также значительные затраты вычислительных ресурсов системы на процедуру численного разложения ковариационной матрицы помех, а также определения ранга матрицы [8].

Следует отметить, что возможна реализация двумерной (угло-доплеровская частота) STAP в частотной области. Если не учитывать потери при аподизации, то анализ в частотной области обеспечивает эффективность системы не хуже, чем при обработке в пространственно-временной области.

При реализации метода STAP кроме алгоритма АМФ можно использовать и другие алгоритмы, например, алгоритм, полученный на основе обобщенного критерия отношения правдоподобия, и алгоритм функционирования адаптивного устройства оценки когерентности [8].

Отметим, что существующие методы селекции движущихся целей (СДЦ), которые оценивают только радиальную скорость объекта, позволяют выделить не более 60% движущихся наземных объектов военной техники [7]. Введение режима СДЦ по тангенциальной скорости позволяет селективировать до 80...90 % таких объектов. Основой этого режима является формирование динамического фазового портрета объектов, для чего необходимо введение дополнительного канала синтезирования, в роли которого может выступать выходной сигнал, сформированный другой, смещенной по траектории, апертурой или апертурой другой длительности.

Режим обнаружения морских целей (режим «Море»). При обзоре морской поверхности на бортовую РЛС помимо задач, выполняемых в режиме обзора земной поверхности, возлагается решение ряда дополнительных задач [5, 9, 10]:

– обнаружение надводных морских объектов как движущихся, так и неподвижных на дальностях прямой видимости в передней полусфере. В качестве таких объектов могут выступать как крупные морские объекты: авианосцы, крейсера, танкеры, так и малозаметные: катера, рубки и перископы погруженных подводных лодок;

– обнаружение неоднородностей морской поверхности, вызванных различными физическими причинами: нефтяными пятнами, следовыми аномалиями движущихся морских объектов и т.п.;

– измерение параметров морского волнения.

Для получения высокодетальных изображений надводных кораблей в условиях качки используется режим инверсного синтезирования. Данный режим позволяет осуществлять синтезирование апертуры антенны не за счет движения носителя РЛС, а за счет движения облучаемой цели. При этом речь идет не о поступательном движении, характерном для наземных объектов, а о маятниковом движении, характерном для плавучих объектов, раскачивающихся на волнах.

Следует подчеркнуть важность реализации этого режима при наблюдении морских целей, который имеет ряд преимуществ по сравнению с прямым синтезированием. Прежде всего, это возможность получения высокого разрешения в передней зоне обзора РЛС с синтезированной апертурой (РСА), так как необходимое угловое разрешение синтезированной апертуры обеспечивается за счет собственного движения (перемещения и вращения) цели. Кроме того, обратное синтезирование позволяет получить высокое разрешение не только в плоскости «дальность-азимут», но и в плоскости «дальность-угол места». Применительно к наблюдению морских целей (кораблей) это дает возможность сформировать изображение надстроек кораблей, что особенно важно при решении задач распознавания морских целей.

При радиолокационном наблюдении морской поверхности с целью обнаружения неоднородностей морской поверхности и измерения параметров

морского волнения вводится специальный режим работы РСА – формирование изображения распределения скоростей морской поверхности с высоким пространственным разрешением, получивший название режима скоростного портрета [11]. В этом режиме выполняется анализ характеристик (структуры и интенсивности) двух составляющих скоростного распределения: регулярных волновых структур, интервал пространственной корреляции которых превышает разрешение РСА, и случайной (турбулентной) составляющей скоростного распределения с интервалом корреляции меньшим разрешения РСА. В результате использования скоростного информационного признака существенно повышается эффективность обнаружения и идентификации различных процессов, возникающих на морской поверхности.

Поляризационный режим. Эффективность распознавания при картографировании может быть существенно повышена за счет привлечения дополнительной информации о поляризационных характеристиках функции отражения, которая наблюдается в виде электромагнитной волны в раскрыве приемной антенны РЛС и определяется не только свойствами объекта, но и условиями ее формирования, т.е. системой сигналов в процессе облучения.

Поляризационные характеристики функции отражения чувствительны к таким свойствам объекта как: геометрическая форма объекта, ориентация неоднородностей структуры объекта, наличие анизотропных отражателей, структура шероховатостей поверхности объекта, диэлектрическая постоянная материала объекта. Сигналы, отраженные от объектов с различными деполаризующими свойствами, даже если они находятся в одном элементе разрешения, могут быть полностью разделены в системе обработки поляриметрической РЛС при их представлении в различных поляризационных базисах: линейном и круговом.

Так, формирование изображений по элементам поляризационной матрицы рассеивания (ПМР), измеренной в линейном базисе, позволяет выделить объекты с преобладанием в составе отраженного сигнала поляризационных составляющих на основной или крессовой поляризации,

которые зависят от формы и ориентации объекта в пространстве. Однако изображение, полученное при измерении ПМР в линейном базисе, недостаточно. Более полно механизм деполяризации сигнала элементарными отражателями в составе сложной цели отображается в круговом поляризационном базисе.

Режим радиолокационной интерферометрической съемки. Одним из новых направлений решения задачи повышения информативности радиолокационных измерений при зондировании земной поверхности считается формирование и использование трехмерных радиолокационных изображений земной поверхности, полученных в результате интерферометрической съемки. С помощью таких изображений обеспечивается построение цифровых карт местности, обнаружение замаскированных целей и автоматическое распознавание распределенных наземных целей.

Основным источником информации при радиолокационной интерферометрической съемке является относительный сдвиг фаз между сигналами, принятыми на пространственно разнесенные антенны. Известны следующие способы радиолокационной интерферометрической съемки [7]:

– съемка с ориентацией базы интерферометра (расстояния между двумя антеннами, установленными на борту носителя) поперек либо вдоль трассы полета;

– съемка РЛС с близких повторяющихся траекторий носителя, расстояние между которыми составляет базу синтезируемого интерферометра;

– съемка РЛС с одной антенной в режиме телескопического обзора с прямолинейной траекторией носителя, на которой формируется синтезированная интерферометрическая база.

Режим обнаружения объектов, скрытых в лесных массивах. В радиолокационных системах, предназначенных для обнаружения объектов, скрытых в лесных массивах, приходится учитывать, что для растительных покровов в зависимости от диапазона волн возможны разные механизмы формирования отраженного сигнала [12]. Для коротких сантиметровых волн

(K_u -, X-, C-диапазоны) основное отражение формируется зеленой массой, причем в случае интенсивной растительности – ее верхним слоем. На более длинных волнах (S и L-диапазоны) лиственный покров оказывается более «прозрачным» за счет уменьшения уровня отражения и затухания в листве. Отраженный сигнал образуется в результате объемного рассеивания, частично от листвы, частично от древесной массы (стволов), а также отражения от поверхностного слоя почвы. В длинноволновом дециметровом (P-диапазон) и метровом диапазонах отражение формируется в основном древесной массой, почвой, а также подпочвенным слоем. Мощность отраженного сигнала зависит от объема биомассы, содержания влаги, определяемых типом растительности, фазой вегетации и сезонными изменениями, а также от длины волны РЛС и поляризации излучения.

Для обнаружения и слежения за стационарными и движущимися объектами, скрытыми кронами деревьев, используются режимы работы РЛС с фокусированным синтезированием апертуры. Съёмка объектов, скрытых в лесных массивах, ведется аналогично обычной съёмке в двух режимах: обзорном и детальном.

Режим обнаружения объектов, находящихся под землей. Для решения задач обнаружения объектов, находящихся под землей, применяются РЛС подповерхностного зондирования («проникающие» РЛС).

Известно [12], что системы подповерхностного зондирования с обычными импульсными сигналами позволяют обнаруживать находящиеся на различной глубине пустоты, трещины, заглубленные объекты, выявлять участки различной плотности. При этом энергия отраженного сигнала сильно зависит от поглощающих свойств почвы, размеров и формы цели, степени неоднородности граничных областей. Основным военным назначением подповерхностного зондирования является обнаружение заложенных мин, что позволяет непосредственно вскрывать карты минных полей. Помимо военно-прикладной направленности данная технология имеет важное народно-хозяйственное значение. В частности, с помощью РЛС подповерхностного

зондирования можно осуществлять диагностику дорожных покрытий и взлетно-посадочных полос аэродромов, грунтов под строительные площадки, подземных коммуникаций, локальных неоднородностей в грунте, утечек из подземных хранилищ топлива, уровня грунтовых вод, контроль газо- и нефтепроводов, а также проведение геофизических и т.п. исследований.

В заключение отметим, что важная роль в ИКМ принадлежит *навигационным системам* (датчикам информации), главным образом инерциальным системам и глобальным спутниковым радионавигационным системам. Объясняется это тем, что ИКМ по существу представляют собой геоинформационные системы. Под геоинформационными системами понимают системы, предназначенные для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных [13]. Они позволяют проводить обработку и обобщение пространственно-распределенных данных, обеспечивают интеграцию данных и знаний о территории или объектах для их использования при решении задач прогнозирования и выработки управляющих решений.

Отличительная особенность геоинформационных систем состоит в том, что в них обобщенные данные об окружающем пространстве отображаются в одной из систем координат, связанных с Землей. Для этого данные, полученные оптико-электронными и радиолокационными датчиками, должны быть с помощью данных навигационных датчиков пересчитаны в систему координат, используемую в геоинформационной системе.

Основным достоинством инерциальных систем является их автономность, большая дальность действия и неподверженность воздействию электромагнитных помех, а недостатком – низкая точность измерения навигационных параметров. Спутниковые радионавигационные системы отличаются глобальностью применения, высокой точностью оценивания координат и параметров движения носителя ИКМ, но они уязвимы к действию преднамеренных радиопомех. В настоящее время совершенствованию инерциальных и спутниковых радионавигационных систем во всем мире

уделяется большое внимание.

3. Общие сведения об интеграции датчиков

Для формирования сводных обобщающих сведений об окружающем пространстве и прогнозе его изменения в ИКМ осуществляется интегрированная совместная обработка информации, получаемой от нескольких датчиков.

Под интеграцией в технике обычно понимают информационное, функциональное, программное и конструктивно-технологическое (аппаратурное) объединение в единое целое базовых элементов комплекса оборудования на основе вычислительной системы [14].

В общем случае интеграция характеризуется уровнем и степенью. Уровень определяется перечнем базовых элементов, на основе которых осуществлена интеграция, а степень – количеством интегрируемых элементов, числом иерархических уровней интегрированной системы, числом используемых вариантов совместной обработки информации и числом возможных реконфигураций интегрированной системы.

В интегрированных комплексах мониторинга окружающего пространства можно выделить условно три уровня обработки информации и три варианта управления информационными потоками.

На нижнем уровне информация комплексируется в рамках первичной обработки сигналов в составе одного базового элемента (датчика), например, многофункциональной РЛС.

На среднем уровне комплексирование осуществляется в рамках вторичной обработки в процессе использования оценок состояния внутри того или иного бортового комплекса (радиолокационного, оптико-электронного, навигационного и т.д.).

На верхнем уровне в рамках третичной обработки комплексируется информация, поступающая от всех бортовых комплексов.

По вариантам управления информационными потоками выделяют

уровень интеграции внутри носителя информационных датчиков, уровень интеграции в рамках многопозиционных (территориально распределенных) систем мониторинга и уровень интеграции в рамках глобальной сетевидческой информационно-управляющей системы.

Спецификой первого уровня является то, что наряду со всеми информационными комплексами сам носитель рассматривается как элемент интегрированной системы радиуправления. Такой подход базируется на использовании алгоритмов траекторного управления наблюдением, при котором траектория полета носителя (самолета, корабля и т.д.) обеспечивает не только достижение конечной цели, но и наилучшие условия для радиолокационного наблюдения.

Интеграция в рамках многопозиционной системы мониторинга (МПСМ) позволяет еще более улучшить большинство ее системных показателей: эффективность, живучесть и информативность. Спецификой этого уровня интеграции является:

– появление еще одного более высокого уровня иерархии, на котором осуществляется распределение функций между носителями (ударные, информационные и т.д.);

– управление способами информационного взаимодействия: активный, полуактивный, пассивный, комбинированный;

– управление пространственным положением позиций (носителей), наилучшим способом обеспечивающим решение тактических и информационных задач;

– необходимость согласованной синхронизации аппаратуры на различных позициях;

– комплексная обработка информации в условиях одновременного, в том числе и случайного прихода измерений.

Наиболее сложным и информативным уровнем интеграции является использование глобальных сетевидческих сетей. Спецификой этой разновидности интегрированных систем является организация сбора и

совместной обработки информации от большого количества корреспондентов и организация приоритетного доступа к ней потребителей. В связи с этим резко возрастает роль радиолиний обмена информацией и объединение всех видов радиосвязи в единую радиосеть.

Ниже приводятся общие сведения о процессах объединения информации на указанных уровнях, при этом основное внимание уделено рассмотрению современного подхода к трактовке третьего уровня объединения (так называемому «сочетанию датчиков/слиянию данных»), а также особенностям интеграции данных от измерительных датчиков с неполной координатной информацией в многопозиционных системах радиомониторинга и проблемам встраивания интегрированных ИКМ в сетцентрические информационно-управляющие системы.

На нижнем уровне обработки информации осуществляется так называемая *первичная обработка информации*, под которой понимают поиск, обнаружение, селекцию, преобразование и обработку входных сигналов датчиков с целью определения соответствующих параметров, например, таких как дальность, радиальная скорость, угловые координаты наблюдаемого объекта, навигационные параметры носителя датчиков информации [14].

Для радиолокационных и радионавигационных измерителей первичным источником информации является электромагнитное поле радиодиапазона, для оптико-электронных – оптического видимого и инфракрасного диапазонов.

Применительно к радиолокационным датчикам устройства первичной обработки решают задачи обнаружения сигналов и измерения координат мгновенного положения радиолокационных объектов. В процессе измерения координат находятся статистические оценки дальности до цели, ее радиальной скорости и угловых координат. Значения измеренных координат поступают в устройство вторичной обработки.

Известны различные примеры объединения (комплексирования) информации различных разнотипных датчиков на уровне первичной обработки. Так, например, для обеспечения высокой разрешающей способности в

авиационных и космических РЛС землеобзора по азимуту при ее функционировании в режиме синтезирования апертуры необходимо осуществлять согласованную обработку траекторного сигнала, отраженного от наземной цели [4, 15]. Для этого нужно с достаточно высокой точностью знать параметры траектории движения фазового центра антенны РЛС, которые используются при формировании опорного сигнала, соответствующего сигналу от точечной наземной цели. Данный сигнал используется в алгоритме обработки траекторного сигнала с предварительной компенсацией изменения частоты сигнала и последующей доплеровской фильтрации. В результате умножения траекторного сигнала на опорную функцию осуществляется демодуляция (компенсация ЛЧМ) выходного сигнала, что обеспечивает устранение квадратичного набега фазы.

Определение параметров траектории с требуемой точностью может возлагаться на штатные или специализированные инерциальные навигационные системы, которые измеряют такие параметры движения носителя РЛС, как скорости и ускорения по осям нормальной системы координат. В настоящее время в качестве этих систем широко используются системы микронавигации [4, 5, 15, 16].

Следует отметить, что при комплексировании на первом уровне на основе наблюдения векторного процесса, компоненты которого представляют собой входные данные устройств первичной обработки сигналов, синтезируется не только система объединения отдельных устройств, но и сами устройства первичной обработки информации. Такой подход позволяет извлекать максимальное количество информации из наблюдаемого векторного процесса и синтезировать оптимальную комплексную систему обработки информации. В то же время не все разнотипные датчики могут объединяться на первом уровне, например, РЛС и оптико-электронные системы при выполнении мониторинга наземного пространства.

В целом, комплексирование устройств и систем на уровне первичной обработки информации в случае авиационных бортовых комплексов позволяет

[14]:

- компенсировать в той или иной степени влияние движения ЛА на работу радиотехнических измерителей (РТИ);
- сократить время поиска сигналов РТИ;
- устранить или уменьшить методические погрешности РТИ;
- уменьшить или в ряде случаев исключить вероятность ложных захватов следящих измерителей;
- уменьшить вероятность срыва слежения за соответствующими параметрами радиосигналов;
- повысить характеристики точности и помехоустойчивости РТИ в режиме слежения;
- обеспечить режимы квазикогерентного приема и обработки радиотехнических сигналов, что не представляется возможным в соответствующих некомплексных измерителях, и тем самым значительно повысить характеристики их точности.

Таким образом, комплексирование устройств и систем в составе бортовых комплексов оборудования на уровне первичной обработки информации имеет целью не только улучшить характеристики точности РТИ в режиме слежения, но и улучшить качество функционирования измерителей в аномальных режимах их работы (при срывах слежения, ложных захватах из-за действия помех, многолучевости и т.п.).

Под вторичной обработкой информации, называемой также обработкой данных, понимают выполняемую ЦВМ обработку выходных данных самих измерителей (датчиков), результаты которой используются для формирования оценок координат состояния различных объектов окружающего пространства. В частности, в результате вторичной обработки определяются координаты местоположения носителей датчиков или уточненные координаты наблюдаемых целей [14].

Применительно к радиолокационным системам вторичная обработка информации предполагает выполнение следующей совокупности операций

[4, 5, 17]:

- обнаружение (завязка) траектории цели по совокупности радиолокационных отметок, полученных в ряде последовательных периодов циклов обзора РЛС;

- формирование траектории цели (называемого также слежением за траекторией цели или, для краткости, сопровождением цели), в процессе которого необходимо в каждом обзоре отобрать новые отметки для продолжения траектории и уточнить параметры траектории с учетом координат новых отметок.

В свою очередь, завязка траектории включает следующие операции:

- стробирование и селекция отметок в стробе;
- формирование экстраполированных значений координат цели;
- проверку выполнения критерия обнаружения траектории, например, логического критерия k из n (k – число тактов обзора с обнаружением отметок, n – общее число следующих подряд тактов обзора).

Суть процесса формирования (построения) траектории цели заключается в последовательной от такта к такту привязке к ней поступающих измерений и в уточнении параметров самой траектории. Для выполнения данной процедуры реализуются следующие операции [4, 5, 17]:

- экстраполяция параметров траектории на очередной такт обзора;
- стробирование зоны возможного положения новых отметок целей;
- селекция отметок в стробах отождествления;
- коррекция траектории по селектированным измерениям (уточнение параметров траектории цели).

Следует отметить, что существенным недостатком селекции отметок (идентификация результатов измерений) в стробах отождествления является относительно низкая ее достоверность при сопровождении маневрирующих целей [18]. Более совершенными являются алгоритмы, так называемой, бесстробовой идентификации, основанные на формировании решающего правила по минимуму того или иного квадратичного функционала. В таком

функционале можно учесть и предысторию движения, и вероятность появления тех или иных траекторий, и важность отдельных слагаемых для процедуры идентификации в целом и т.д. Такой подход позволяет получить высокодостоверное решение, не принимая во внимание абсолютную величину функционала, а лишь определив его минимальное значение в процессе перебора траекторий. С другой стороны, абсолютное значение функционала, либо его составных частей, зависящих от несоответствия измерений и прогноза идентифицированной траектории, можно использовать для адаптации процесса коррекции в перспективных алгоритмах адаптивной аналого-дискретной фильтрации, рассмотренных в [18].

Указанные выше операции обнаружения и сопровождения цели могут выполняться с помощью общего алгоритма одним вычислительным устройством. Такой подход реализован, например, при автоматическом сопровождении целей в режиме обзора (АСЦРО). Под АСЦРО [18], называемом режимом дискретного или многоцелевого сопровождения, понимается процедура непрерывного формирования относительных и абсолютных фазовых координат целей при достаточно редком (дискретном) поступлении от них отраженных сигналов.

Применительно к пилотируемым авиационным комплексам несомненным достоинством АСЦРО является органическое сочетание возможностей повышения боевой эффективности и экономичности ведения боевых действий, которые базируются на использовании одного комплекса и одного экипажа (расчета) при решении широкого круга задач при обслуживании большого количества целей.

При вторичной обработке широко применяется комплексирование измерителей. В общем случае, под комплексированием устройств обработки информации понимается их объединение в единую систему, осуществляющую совместную обработку информации и обеспечивающую повышение точности функционирования, помехозащищенности, надежности [14, 17]. Как показывает практика комплексирования [19], увеличение числа измерителей как

однотипных, так и особенно разнотипных, основанных на различных физических принципах, улучшает тактические характеристики системы. Действительно, дублирование измерителей, определяющих одни и те же координаты, т.е. структурная избыточность, повышает надежность системы, так как выход из строя отдельных измерителей не приводит к отказу в работе системы в целом. Объединение радиотехнических измерителей с нерадиотехническими повышает помехозащищенность системы, так как последние не подвержены действию радиопомех. Далее, структурная избыточность, при которой одна и та же координата измеряется несколькими датчиками, приводит к информационной избыточности, что позволяет получить больше полезной информации и путем статистической обработки данных уменьшить погрешности измерений и тем самым повысить точность функционирования системы.

Следует отметить, что обычно, когда говорят о комплексировании информационных устройств, подразумевают комплексирование измерителей. Однако и другие устройства извлечения информации могут объединяться в комплексные системы для улучшения их тактических характеристик. В частности, такими устройствами могут быть обнаружители [17].

На третьем уровне выполняются интеграция и совместная обработка информации, поступающей от всех систем более низкого уровня [20-22]. Необходимо отметить, что в процессе третичной обработки может использоваться информация, получаемая не только на самом носителе датчиков, но и поступающая от датчиков других территориально удаленных позиций по линиям связи.

Применительно к радиолокационным датчикам третичная обработка радиолокационной информации предполагает объединение информации нескольких источников (отдельных РЛС или группы РЛС, имеющих общую систему вторичной обработки) по целям, находящимся в области перекрытия их зон обзора. В процессе объединения информации решаются задачи отождествления (идентификации) траекторий, полученных от нескольких

источников по одной и той же цели, и вычисление параметров объединенных траекторий.

Основными операциями третичной обработки являются [20, 21]:

- отбор и отождествление радиолокационных отметок, полученных от различных источников по принадлежности к одной цели;
- вычисление усредненных оценок параметров траекторий тех целей, данные о которых получены от нескольких источников.

При выполнении перечисленных операций используются результаты вторичной обработки от каждой РЛС.

Таким образом, используя всю информацию о параметрах траекторий, полученную РЛС, можно путем дополнительной обработки, используя избыточную информацию об отдельных траекториях, получить обобщенное более достоверное представление об обстановке в зоне ответственности РЛС. При этом качество процесса объединения информации может быть оценено следующими показателями [21]: вероятностью правильного отождествления каждой группы сообщений, относящихся к одной цели; вероятностью разветвления (размножения) и перепутывания траекторий; средней длительностью сопровождения объединенной траектории; средним числом ложных траекторий и их средней длительностью.

Принципы реализации и последовательность решения основных операций в процессе третичной обработки при обобщении информации нескольких источников более детально рассмотрены в [21, 22].

4. Сочетание датчиков (слияние данных)

4.1. Общие сведения

Дальнейшим развитием принципов объединения данных, характеризующих отдельные объекты наблюдения, является идея «сочетание датчиков». Термин «сочетание датчиков» определяется также как «слияние разведывательных данных» (intelligence fusion) [3, 23].

Сочетание датчиков предполагает интеграцию и анализ данных от

средств обнаружения и представляет собой процесс сбора и обобщения данных по определению местоположения и идентификации, полученных от различных датчиков (видовой информации, РЛС, распознавания сигналов (Signal Intelligence SIGINT), обнаружителей движения), в целях получения единой комплексной картины окружающей обстановки. Сочетание датчиков, в процессе которого обрабатываются данные, поступающие от различных источников, направлено на получение более точной, надежной и полной информации по сравнению с информацией, получаемой от отдельного источника индивидуально.

Следует отметить, что термин «сочетание датчиков» (слияние данных) является более общим, чем «третичная обработка» и более полно отражает характер обработки информации в существующих и перспективных интегрированных комплексах окружающего пространства. Основное отличие состоит в том, что при формировании обобщенного представления об окружающем пространстве на основе слияния данных объединяется более разносторонняя информация, чем при традиционной третичной обработке. Например, многочастотный радиолокационный комплекс мониторинга земного пространства формирует в X-диапазоне длин волн изображение, основанное на отражении радиоволн непосредственно от земной поверхности и растительности на ней, но не от объектов, скрытых растительностью. В свою очередь, в Р-диапазоне волн обнаруживаются объекты, скрытые растительностью, и объекты, находящиеся в подповерхностных слоях почвы. При «слиянии данных» эти два совершенно разных изображения объединяются с целью получения обобщенной картины окружающего пространства.

Другая ситуация может складываться с получением сведений о состоянии объектов или процессов на большой территории при ограниченной дальности действия информационных датчиков. В этом случае приходится объединять информацию, поступающую от пространственно разнесенных датчиком, совокупная зона обзора которых обеспечивает перекрытие всей площади исследуемой территории.

Кроме того, при слиянии данных может использоваться вербальная информация, в частности, сведения от агентурной разведки [3].

Простейшим примером сочетания различных типов датчиков является объединение корабельной инфракрасной системы поиска и сопровождения (infrared search-and-track –IRST) и многофункциональной РЛС [3]. Такая комбинация данных (отметок цели) позволила обеспечить более надежное сопровождение, классификацию и идентификацию цели.

Наиболее сложным является сочетание датчиков в системах геопроостранственной разведки (Geospatial Intelligence Systems – GIS), представляющих важный инструмент ведения боевых действий [3, 23]. Изображения различных видов – оптико-электронные (ОЭ), ИК, полученные от РЛС с синтезированной апертурой – вносят свой вклад в уровни данных GIS, будь они представлены в виде сложной мозаики (показ широкой области) или в виде крупного плана (цели или области интересов). Изображения поступают от многих платформ: спутников, самолетов-разведчиков, беспилотных летательных аппаратов или аэростатов, а также от систем наземного или морского базирования. Эти изображения могут быть «сырыми» или обработанными, от одного источника или слитыми, объединенными, как правило, на наземной станции или в комплексах процессоров и дисплеев, имеющих сложное программное обеспечение. После выполнения интерпретации-анализа данных, формирования выводов и принятия решений полученная обобщенная информация становится данными геопроостранственной разведки.

Примером такой системы является многозадачная сетевая разведывательная система Imilite израильской компании Rafael Advancend Defence Systems [3]. Система предназначена для использования нескольких видовых датчиков и получения и обработки данных в унифицированном виде для распространения пользователям и клиентам. Система Imilite включает в себя три главные подсистемы:

- 1) усовершенствованный блок IP-адресного сервера, способного к

одновременному получению и геопривязке необработанных данных от нескольких ОЭ-, ИК-, SAR/GMTI-видеодатчиков и источников в режиме реального времени;

2) масштабируемую базу данных GIS, способную быстро записывать, архивировать и извлекать обработанные и необработанные видеоданные и уровни видеоданных для детального анализа изображений и исследования;

3) усовершенствованную многопользовательскую систему обработки видовой информации, обеспечивающую визуализацию, обработку, использование, анализ и представление различных стандартных и настроенных продуктов ISTAR (Image Storage, Translation and Reproduction), а также сообщений от всех вышеупомянутых источников комбинированным и объединенным способом.

Сочетание датчиков способствует увеличению четкости изображений. В частности, когда используется только один тип датчика, то при его функционировании в условиях плохой погоды или воздействия неблагоприятных факторов, обусловленных ведением боевых действий, получение четкого изображения может оказаться невозможным. Если ОЭ/ИК-изображение частично затенено из-за плохих погодных условий, то наложение на него изображения, полученное РЛС с синтезированной апертурой (РСА) позволяет сформировать качественное изображение части пространства, находящейся за облаками. Использование ОЭ-изображений, накладываемых на изображения РСА, может помочь в идентификации и опознавании целей, а также в выявлении временных изменений в районе наблюдения.

4.2. Сшивка изображений

Решающую роль в обработке и синтезе изображений принадлежит программному обеспечению вычислительных систем. Сочетание датчиков/слияние изображений требует значительных аппаратных и вычислительных затрат. В то же время существует менее дорогостоящий метод: сшивка изображений. Сшивка изображений представляет собой процесс, при котором ИК- и ОЭ-форматы массива совпадают друг с другом по полю зрения

и количеству пикселей. Это позволяет оператору переключаться между полностью ИК-изображением и полностью ОЭ-изображением, останавливаясь на любой комбинации, чтобы увидеть сшитые изображения [3].

4.3. Совмещение радиолокационного и топографического (оптического) изображений земной поверхности

Одним из направлений интеграции в авиационных и космических системах при мониторинге земной поверхности является совмещение цифровых карт местности с радиолокационным изображением (РЛИ), формируемым бортовой РЛС при функционировании ее в режимах высокого и сверхвысокого разрешения [24, 25]. При совмещении радиолокационного изображения местности с электронной картой местности и матрицей высот значительно облегчается определение соответствия между ориентирами на РЛИ и объектами на карте.

При совмещении оптических снимков с радиолокационными непосредственное выделение эталонных объектов, используемых для наложения изображений, должен выполнять оператор. В результате интеграции радиолокационного и оптических датчиков увеличивается четкость изображений, улучшаются условия для идентификации и распознавания целей.

Следует заметить, что после того как совмещение изображений датчиков уже достигнуто, процесс извлечения полезной информации в режиме реального времени из огромных доступных объемов данных в большой степени зависит от человека. Разработка процедур автоматизированного процесса сочетания датчиков в настоящее время находится на стадии формирования.

4.4. Сочетание радиолокационных датчиков

Сочетание радиолокационных датчиков, функционирующих в разных диапазонах длин волн, может существенно улучшить ситуационную осведомленность о состоянии окружающего пространства. Необходимость использования различных диапазонов частот в авиационных и космических бортовых РЛС объясняется следующим [6, 26, 27].

1. Использование Р-диапазона (≈ 70 см) целесообразно в РЛС разведки

наземных целей, поскольку позволяет обнаруживать объекты, замаскированные лесной растительностью. Кроме того, в этом диапазоне имеется возможность значительного увеличения дальности обнаружения целей и реализации высокой помехозащищенности [6, 26].

2. Радиолокационное наблюдение в L-диапазоне (15...30 см) по сравнению с S-диапазоном (7,5...15 см) обеспечивает повышение вероятности обнаружения и сопровождения скоростных и малозаметных целей и более высокую помехозащищенность. Кроме того, при работе РЛС в этом диапазоне возможно обнаружение сквозь листву объектов, «спрятанных» за деревьями и кустами, накрытых маскировочными покрывалами, достаточно эффективно поглощающими радиоволны S-диапазона и недостаточно толстыми, чтобы поглощать радиоволны дециметрового диапазона.

На канал РЛС в L-диапазоне могут быть возложены функции по всеракурсному обнаружению воздушных целей на дальностях, превышающих расстояние до радиогоризонта, а также по обнаружению надводных кораблей на фоне отражений от морской поверхности, значительно меньших, чем в S-диапазоне.

3. Использование S-диапазона в бортовых РЛС является предпочтительным в режимах «воздух-воздух» и «воздух-море» [6, 26]. В этом диапазоне можно обеспечить всеракурсное обнаружение воздушных целей при использовании одной частоты повторения импульсов, достаточно просто обеспечить компромисс между малым уровнем боковых лепестков и шириной диаграммы направленности основного луча.

В качестве недостатков использования S-диапазона в бортовых РЛС необходимо отметить низкую точность оценивания угловых координат целей в вертикальной плоскости, а соответственно и высоты полета низколетящих объектов.

4. Использование в бортовой РЛС X-диапазона (2,4...3,75 см) дает возможность по сравнению с диапазонами P и S обеспечить ряд преимуществ в режимах работы как по воздушным, так и наземным целям. При работе в

режиме «воздух-воздух» использование X-диапазона обеспечивает [6, 26]:

- более высокие показатели разрешения по угловым координатам и точности их оценивания, в том числе и в угломестной плоскости;
- значительное уменьшение секторов зон доплеровской режекции, а соответственно и времени потери целей при сопровождении;
- улучшение распознавания целей вплоть до их типа за счет более детального спектрального анализа отраженных сигналов при их длительном когерентном накоплении.

Использование X-диапазона в режиме «воздух-поверхность» дает возможность:

- реализовать в режиме синтезирования апертуры антенны разрешающую способность до 1...5 м, что обеспечивает обнаружение малоразмерных, малозаметных наземных и надводных целей (автомобили, танки, катера, перископы подводных лодок и т. д.);
- формировать скоростные портреты водной поверхности, что обеспечивает обнаружение надводных кораблей и подводных лодок в погруженном состоянии по их следам, нефтяные и биозагрязнения, следы аварий и т.д.;
- увеличить темп поступления информации от скоростных наземных и надводных целей за счет трехкратного уменьшения времени формирования кадра радиолокационного изображения по сравнению с S-диапазоном, что позволяет повысить точность их сопровождения;
- одновременно решать задачи по картографированию местности без потери контроля над воздушной обстановкой.

Рассмотренные выше особенности использования многодиапазонной РЛС дают возможность прийти к однозначному выводу о возможности существенного улучшения информативности радиолокационных систем мониторинга окружающего пространства [28].

В заключение отметим, что отличительной особенностью интеграции на уровне сочетания датчиков является возможность ведения разнопланового

высокоинформативного наблюдения в рамках одного комплекса мониторинга окружающего пространства. Например, установка на базовый патрульный самолет типа Р-8А бортовой РЛС, системы радио- и радиотехнической разведки, магнитометрических и сбрасываемых гидроакустических датчиков позволяет осуществлять не только мониторинг воздушного и надводного пространств, радиомониторинг источников радиоизлучений, но и выполнять обнаружение и слежение за подводными лодками, находящимися в погруженном состоянии [10, 29]. Далее, при размещении на летательном аппарате многоспектральной оптико-электронной системы и многочастотного радиолокационного комплекса за счет особенностей извлечения информации о состоянии окружающего пространства в различных взаимодополняющих диапазонах длин волн удастся сформировать полную и достаточно детальную обобщенную картину окружающей обстановки.

5. Особенности интеграции датчиков в многопозиционных системах радиомониторинга

В общем случае, к задачам радиомониторинга относятся:

- обнаружение, определение координат, распознавание типов источников радиоизлучений (ИРИ) в военных целях;
- радиоконтроль на местности (радиоразведка и радионаблюдение при проведении антитеррористических мероприятий, обнаружение излучений несанкционированных радиопередатчиков и определение их местоположения);
- выявление технических каналов утечки информации в контролируемых зонах;
- контроль эффективности мер по защите информации на границах контролируемой зоны.

Для решения задач мониторинга работы ИРИ в пределах определенного географического района могут применяться многопозиционные угломерные и разностно-дальномерные пассивные системы [17, 23, 26]. В процессе радиомониторинга выполняются обнаружение и измерение параметров

радиосигналов, отождествление измерений, распознавание типов и определение местоположения источников радиоизлучений.

С точки зрения организации управления информационными потоками многопозиционные системы радиомониторинга могут быть централизованными и децентрализованными. Централизованные системы состоят из центрального пункта сбора, обработки информации и управления (ПОИУ) и неподвижных либо подвижных приемных позиций, на которых осуществляется прием сигналов от ИРИ [26, 30, 31]. Извлекаемая на приемных позициях (ПП) из принимаемых сигналов информация и данные о местоположении самих приемных позиций транслируется по радиолиниям связи в ПОИУ, где осуществляется оценивание координат и параметров движения ИРИ.

В децентрализованных системах отсутствует ПОИУ. Между приемными позициями осуществляется обмен информацией о пеленгах ИРИ, радиотехнических параметрах принимаемых сигналов ИРИ и местоположении ПП, что позволяет на любой приемной позиции формировать оценку полного вектора относительных и абсолютных координат ИРИ и их производных.

Особенности интеграции данных, получаемых на приемных позициях, рассмотрим на примере угломерных систем, в которых на приемных позициях измеряются пеленги ИРИ и координаты приемных позиций [26, 30-33].

По характеру использования результатов первичных измерений пеленгов для получения оценок фазовых координат цели различают многопозиционные системы с обработкой непосредственно пеленгов (азимутов) целей и с обработкой косвенных измерений. Под косвенными измерениями понимаются первичные оценки относительных и абсолютных координат цели, найденные в результате математических расчетов по формулам, связывающим прямоугольные либо сферические координаты цели с координатами приемных позиций и угловыми положениями цели относительно приемных позиций.

Процедура объединения данных от двух выбранных ПП может выполняться непосредственно на любой из двух ПП, либо в ПОИУ. В первом случае в многопозиционной системе из отдельных приемных позиций

образуется совокупность угломерных двухпозиционных (УДП) систем, первичные оценки с которых передаются в ПОИУ. Во втором случае совокупность УДП систем формируется непосредственно в ПОИУ. Таким образом, в обоих случаях в многопозиционных системах с обработкой косвенных измерений образуется совокупность попарно объединенных приемных позиций, условно называемых базами.

Следует отметить, что при непосредственном использовании первичных измерений пеленгов целей алгоритмы фильтрации параметров траекторий ИРИ получаются существенно более сложными, чем в случае косвенных измерений.

При использовании косвенных измерений на первом этапе обработки данных выполняется отождествление пеленгов целей. На втором этапе по отождествленным данным и координатам приемных позиций вычисляются первичные оценки (косвенные измерения) местоположения целей. На третьем этапе по поступившим от всех баз данным выполняются процедуры отождествления их между собой и с построенными ранее траекториями. Предварительно при необходимости первичные оценки преобразуются в единую систему координат. Неотождествленные данные могут использоваться для завязки новых траекторий. На основе отождествленных данных на последнем этапе обработки осуществляется построение траекторий целей.

Косвенные измерения могут использоваться также для построения траекторий целей в отдельных УДП системы. При этом могут применяться, в частности, рекуррентные алгоритмы линейной фильтрации. В результате для каждой цели будет сформирован набор траекторий, число которых равно количеству УДП системы, насчитывающихся в многопозиционной системе радиомониторинга. На последнем этапе обработки для каждой цели производится объединение полученных от разных УДП систем траекторий в результирующую [30, 31].

Особенностью функционирования УДП систем является то обстоятельство, что точность формирования косвенных измерений в существенной степени зависит от «геометрии» решения задачи

местоопределения ИРИ, т.е. от взаимного положения приемных позиций и ИРИ. В связи с этим, при разработке алгоритмов траекторного управления отдельными приемными позициями предусматривается возможность реализации концепции траекторного управления наблюдением. Суть концепции состоит в том, что УДП системы способны за счет целенаправленного управления пространственным положением одной или обеих приемных позиций обеспечить наивысшую точность определения координат и параметров движения ИРИ. Соответствующие методы и алгоритмы траекторного управления наблюдением применительно к УДП системам рассмотрены в [31-33].

6. Встраивание комплексов мониторинга окружающего пространства в сетевые информационно-управляющие системы

В настоящее время за рубежом ведутся работы по созданию глобальной сетевых информационно-управляющей системы, способной реализовать стратегию бесконтактных войн [6, 26]. Среди элементов информационно-управляющей сети важная роль отводится интегрированным комплексам мониторинга окружающего пространства [34].

«Сетевизм» с использованием боевых систем, в том числе и средств интегрированных КМПО, формирующих определенные данные, и средства их поддержки, осуществляющих оптимальное распределение данных, уже реализуется в проектах по разработке новых и модернизации существующих средств вооружения. Все эти средства в течение их срока службы будут оснащаться аппаратно-программными системами, превращающими их в узлы распределенной системы. Блоком НАТО в настоящее время проводятся работы по созданию единой информационно-управляющей сети в масштабах всего альянса. Такая сеть строится на принципах C4ISR (Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) – командование, управление, связь, обработка данных, разведка, наблюдение и обнаружение. Возможности сетевого управления боевыми действиями с

использованием ИКМ в реальном времени, приобретенные ими после соответствующих модернизаций, играют все большую роль в воздушных компаниях США и НАТО.

Примером такой модернизации может быть переоснащение самолета радиолокационного дозора и наведения (РЛДН) ВМС США – «Хокай» E2-C. Модернизация сетевых возможностей и систем E2-C состоит в установке нового программного обеспечения связующего слоя, реализующего метод «сетевцентрической» архитектуры и повышающего показатели эффективности (в частности, увеличение пропускной способности интерфейсов). До модернизации E2-C «Хокай» был оборудован комплексом датчиков и систем сбора данных, каналами связи с другим оборудованием и операторами комплекса. Каналы связи были построены на основе технологии «точка-точка» или «точка-многоточка». Модернизация E2-C превратила комплекс его систем в платформу, обеспечивающую формирование полной картины угроз нападения на основе объединения данных от различных датчиков (в том числе РЛС РЛДН). Платформа в соответствии с этой картиной вырабатывает программу мер по их нейтрализации.

Центральной задачей модернизации стало создание системы объединения данных и шины передачи данных как услуг (другим термином описания этой системы стало понятие «глобальное пространство данных»).

Абстрагирование данных и механизмов обеспечения качества обслуживания от уровня приложений и перемещение их в глобальное пространство данных позволили сделать систему независимой от конкретной реализации источника поступления данных. Такой подход дает возможность проводить модернизацию на основе существующих элементов и выполнять проекты с учетом объективных потребностей заказчиков, а не потенциала определенных технологий.

Аналогичная модернизация сетевых возможностей проводится и для самолета РЛДН AWACS E-3. Перспективные самолеты РЛДН уже с самого начала разрабатываются как ключевые узлы «сетевцентрической» системы.

Отметим особенности организации программного обеспечения сетевых систем [35]. Оно должно соответствовать перспективной модели сервис-ориентированной архитектуры – СОА (SOA – Service-Oriented Architecture). Его работу будут обеспечивать сервисы обеспечения безопасности информации, поиска услуг, управления корпоративными услугами, межмашинного обмена, обнаружения пользователей и устройств, посредничества и каталога метаданных (информации, описывающей информационное наполнение базы данных). Под сервисами понимают дискретные вычислительные процессы, которые могут быть инициированы посредством стандартизованного программного интерфейса другими процессами для выполнения определенной функции или набора функций. Эти и другие специализированные сервисы, входящие в СОА, физически могут храниться и выполняться на различных серверах, включенных в сеть, обеспечивая формирование адаптивной распределенной вычислительной среды. По своему функциональному назначению в СОА сервисы могут быть поставщиками или потребителями услуг. Кроме того, они могут инициализировать выполнение других сервисов и/или осуществлять обмен данными с ними. Сервисная архитектура полагается на принцип слабой связи – каждый сервис представляет собой изолированную сущность с минимумом зависимостей от других совместно используемых ресурсов: баз данных, традиционных приложений и интерфейсов программирования.

Принципиальным отличием СОА от устаревающей архитектуры «клиент-сервер» является наличие каталога услуг, который обеспечивает их учет и возможность поиска, предоставляя возможность обмена данными между территориально разнесенными сервисами без необходимости настройки жесткой адресации в сети. При этом сервисы-поставщики предоставляют услуги, в формализованном виде публикуют информацию об их наличии, способе получения и месте расположения в каталоге услуг, в котором накапливаются сведения обо всех имеющихся сервисах для их последующего поиска. Такое построение позволяет сервисам-потребителям находить

требуемые услуги в сети и осуществлять инициализацию соответствующих сервисов-поставщиков.

Достоинства сервис-ориентированной архитектур [35]:

- возможность построения сложных систем путем интеграции сервисов от различных производителей независимо от платформ и технологий;
- принцип слабых связей помогает организовать взаимодействие с унаследованными системами;
- возможность использования имеющиеся приложения для решения новых задач и, как следствие, ускорение разработки и снижение затрат;
- повышение гибкости и улучшение масштабируемости благодаря простоте создания множества сервисов путем интеграции существующих приложений;
- возможность снижения затрат на сопровождение и высокая интероперабельность (способность к взаимодействию без каких-либо ограничений) систем за счет опоры на стандарты;
- возможность мобильного доступа к данным и инкрементальных обновлений для более быстрого решения задач заказчиков путем внедрения новых сервисов.

Вместе с тем сервис-ориентированная архитектура имеет и ряд недостатков [35]:

- сложности с реализацией асинхронной связи между приложениями;
- большое время отклика, трудности организации обмена большими объемами данных;
- наличие уязвимостей из-за совместного участия в процессах множества приложений и систем;
- потребность в сложных механизмах управления транзакциями при взаимодействиях между логически разделенными системами.

Именно поэтому перейти на SOA непросто и при ее внедрении разработчики неизбежно столкнутся со сложностями. При этом придется идти на те или иные компромиссы. Для максимальной эффективности и гибкости

рекомендуется инкрементально (последовательно, поэтапно) переводить традиционные среды на СОА.

Наряду с СОА предлагаются и другие варианты построения архитектуры сетевых систем. В частности, в [36] рассматривается архитектура, использующая концепцию точек подключения. Эта концепция позволяет избавиться от необходимости знания конкретных приложений, требуемых в СОА для установления непосредственных подключений между собой приложений. Для реализации названной концепции все приложения работают под управлением мультиагентных средств организации вычислительного процесса (СОВП), называемых также мультиагентным диспетчером. В такой среде каждое приложение подключается не к сервису напрямую, а к логической точке подключения. Организацией передачи данных и определением того, где находится сервис, представляющий требуемую информацию, или клиент, запросивший данные, занимается СОВП. При этом связь с одной точкой подключения могут осуществлять одновременно несколько сервисов и клиентов. Причем подключение новых клиентов и сервисов ничего не изменяет для уже работающих программ, осуществляющих информационный обмен.

Данная организация информационного обмена, сочетающая в себе возможности СОА с применением мультиагентных средств организации вычислительного процесса и распределенных баз данных, обладает следующими преимуществами [36]:

- удобством разработки, создания и подключения новых сервисов и клиентов;
- прозрачной и бесшовной (на основе общих стандартов) интеграцией;
- возможностью работы с устаревшими системами при помощи создания приложения обертки, подключающего устаревшие приложения в объединенную систему;
- возможность гибкого масштабирования;
- возможностью обеспечения высокого уровня надежности.

Следует подчеркнуть, что для реализации концепции «сетевых систем»

боевых операций в приложении к интегрированным комплексам мониторинга окружающего пространства необходимо, прежде всего:

- разработать перечень стандартов, протоколов обмена информацией и универсальных шин, обеспечивающих его включение в глобальную сеть;
- увеличить количество каналов связи с другими элементами сетевидческой системы на базе широкополосных закрытых систем связи;
- принять специальные меры по увеличению помехозащищенности всех излучающих систем.

Выработка стратегии ведения «сетевидческих» операций с использованием всех преимуществ, предоставляемых современными информационными комплексами – это важнейшая задача. Одним из центральных мест в решении этой задачи станет встраивание ИКМ в глобальную информационно-управляющую сеть, что, в свою очередь, потребует решения целого ряда частных и общих задач, реализация которых потребует определенных усилий.

Заключение

Из изложенного выше можно сделать вывод о том, что в комплексах мониторинга окружающего пространства интеграция датчиков осуществляется на разных уровнях объединения информации, целесообразность использования которых определяется решаемыми задачами, конкретными условиями применения комплексов и состоянием развития алгоритмического и программного обеспечения вычислительных систем. Использование многоспектральных и многочастотных датчиков, взаимодополняющих друг друга, позволяет в процессе мониторинга формировать высокоинформативные обобщенные сведения об окружающем пространстве. При этом наибольший объем информации об окружающем пространстве может быть получен при совместной комплексной обработке сигналов в рамках интегрированной ИКМ. Из проведенного анализа следует, что современный уровень развития информационных датчиков и разработанное алгоритмическое обеспечение по

объединению информационных потоков позволяют создавать интегрированные комплексы мониторинга окружающего пространства, обладающие широкими возможностями для решения разнообразных задач военного и народно-хозяйственного назначения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-04000-а.

Литература

1. Самарин О.Ф. Интегрированные информационно-вычислительные системы летательных аппаратов. Учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ. 2013. – 220 с.
2. Перунов Ю.М., Мацукевич В.В., Васильев А.А. Зарубежные радиоэлектронные средства. / Под ред. Ю.М. Перунова. В 4-х книгах. Кн. 2: Системы радиоэлектронной борьбы. М.: Радиотехника, 2010. – 352 с.
3. Сочетание датчиков: улучшение ситуационной осведомленности. Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления. // Серия: «Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств». – М.: ВИНТИ. 2013. № 1.
4. Дудник П.И., Ильчук А.Р., Татарский Б.Г. Под ред. Б.Г. Татарского. Многофункциональные радиолокационные системы. М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
5. Антипов В.Н., Колтышев Е.Е., Кондратенков Г.С. и др. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей: учеб. пособие для вузов. / Под ред. В.Н. Лепина. – М.: Радиотехника. 2014.
6. Вербя В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. – М.: Радиотехника, 2014. – 528 с.
7. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Теоретические основы построения радиолокационных систем дистанционного зондирования земли. – М. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2009. – 360 с.
8. Melvin W.L. STAP Overview // IEEE Transactions Aerospace and Electronic Systems. – 2004. AES-19, № 1.

9. Слатин В.В. Авиационные БРЛС для обнаружения морских целей. // Научно-техн. информация. Сер. Авиационные системы. – М.: НИЦ ГосНИИАС. 2014. №3.
10. Бокова А.Ю. Функциональные возможности морских авиационных систем дальнего наблюдения. // Научно-техн. информация. Сер. Авиационные системы. – М.: НИЦ ГосНИИАС. 2014. №7.
11. Лавров А.А. Радиолокационный скоростной портрет. Основы теории. – М.: Радиотехника, 2013.
12. Виноградов М. Перспективные комплексы воздушной радиолокационной разведки ведущих зарубежных стран. // Зарубежное военное обозрение. 2008. №2.
13. Алексеев В.В., Орлова Н.В., Минина А.А., Куракина Н.И. Применение геоинформационных технологий в информационно-измерительных системах мониторинга. // Приборы. 2014. № 11.
14. Ярлыков М.С., Богачев А.С., Меркулов В.И., Дрогалин В.В. Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением. Т.1. Теоретические основы. / Под ред. М.С. Ярлыкова. – М.: Радиотехника, 2012.
15. Вербя В.С., Татарский Б.Г., Юрчик И.А. и др. Радиолокационные системы авиационно-космического мониторинга земной поверхности и воздушного пространства / Под ред. В.НС. Вербя, Б.Г. Татарского. Монография. – М.: Радиотехника, 2014.
16. Канащенко А.И., Меркулов В.И., Герасимов А.А. и др. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / Под ред. А.И. Канащенко и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2006. 656 с.
17. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
18. Меркулов В.И., Дрогалин В.В., Канащенко А.И. Авиационные

системы радиуправления. Т.2. Радиоэлектронные системы самонаведения. – М.: Радиотехника, 2003.

19. Верба В.С., Меркулов В.И., Попов Е.В., Чернов В.С. Интеграция данных в многодатчиковых бортовых информационно-управляющих системах. // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2.

20. Справочник офицера Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны. / Под ред. И.П. Азаренко. – Минск: командование ВВС и войск ПВО, 2009.

21. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.

22. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993.

23. Бортовые системы управления боевыми режимами современных и перспективных самолетов. Кн.1.: Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников. / Под общей ред. акад. РАН Е.А. Федосова. – М.: НИЦ ГосНИАС, 2009.

24. Кондратенков Г.С., Быков В.Н., Викентьев А.Ю. Методика автоматического совмещения радиолокационных изображений с цифровыми картами и оптическими снимками местности. // Радиотехника. 2007. № 8.

25. Кирдяшкин В.В., Сосулин Ю.Г. Автоматическое совмещение радиолокационного изображения с оптическим изображением и цифровой картой местности. // Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 10.

26. Белик Б.В., Белов С.Г., Верба В.С. и др. Авиационные системы радиуправления / Под ред. В.НС. Вербы, В.И Меркулова. Монография. – М.: Радиотехника, 2014. – 376 с.

27. Справочник по радиолокации. / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общей ред. В.С. Вербы. Третье издание. В 2 книгах. – М.: Техносфера, 2014. Книга 2 – 680 с.

28. Верба В.С., Кондратенков Г.С., Меркулов В.И. Влияние многодиапазонной РЛС с АФАР для многофункционального авиационного

комплекса разведки, оповещения и наведения. // Радиотехника. 2011. №1.

29. Ерохин Е.И., Чабанов В.А. Современные средства воздушной разведки и наблюдения США. // Научно-техн. информация. Сер. Авиационные системы. – М.: НИЦ ГосНИИАС. 2014. №6. С. 18-35.

30. Верба В.С., Меркулов В.И., Дрогалин В.В. и др. Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Ч.3 / Под ред. В.С. Вербы, В.И. Меркулова. М.: Радиотехника. 2010.

31. Меркулов В.И., Чернов В.С., Юрчик И.А. Авиационные многопозиционные системы радиоправления // Успехи современной радиоэлектроники. 2006. № 12.

32. Меркулов В.И., Миляков Д.А., Чернов В.С. Траекторное управление наблюдением в распределенных угломерных радиоэлектронных системах управления воздушного базирования // Материалы 2-й Всероссийской конференции «Суперкомпьютерные технологии СКТ-2012» 24-29 сентября 2012 г. Дивноморское, Геленджик.

33. Меркулов В.И., Чернов В.С. Анализ методов наведения двухпозиционными пассивными системами воздушного базирования на источники радиоизлучения. // Успехи современной радиоэлектроники. 2014. №7. С. 26-40.

34. Балохонцев Я., Кондратьев А. Влияние концепции «сетевая война» на эффективность разведывательного обеспечения ВС США. // Зарубежное военное обозрение. 2011. №2.

35. Серрано Н., Эрнантес Х., Галлардо Г. Сервисы, архитектура и унаследованные системы. // Открытые системы. 2014. №8.

36. Верба В.С., Поливанов С.С. Организация информационного обмена в сетевых боевых операциях. // Радиотехника. 2009. №8.