

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РАДИОЭЛЕКТРОННО-ОБЪЕКТОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПО ДАННЫМ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ

Калюжный Н.М.¹, Смильк В.И.¹, Николаев И.М.¹, Нань Дзяньше²

¹Харьковский национальный университет радиозлектроники, г. Харьков,
пр. Ленина, 14, т. (+38) 057-702-10-68, E-mail: monitoring@kture.kharkov.ua

²Юго-Западный научно-исследовательский институт электронных технологий,
Китай, г. Ченду, 610036, E-mail: nanjsh@sina.com

Results and scientific-technical aspects of development of expert system of complex estimation of radio electronic-objective situation in the real time from data of the spatially-distributed radiolocation, radio- and radio engineering supervision devices are brought in the lecture.

Введение. Современный уровень развития и использования активных радиозлектронных средств (РЭС) на объектах различного базирования предоставляет существенные возможности для существующих и перспективных активно-пассивных систем наблюдения в получении наиболее полной информации о местонахождении, классе (типе), состоянии наблюдаемых источников радиозлучения (ИРИ) и объектов в реальном масштабе времени [1]. При этом активно-пассивная система наблюдения должна решать следующие основные задачи:

- сбор и обработка радиолокационной, радио- и радиотехнической информации о наблюдаемых объектах;
- определение местоположения ИРИ и объектов, завязку и сопровождение траекторий их движения;
- распознавание типов ИРИ, режимов их работы, классов (типов) их носителей;
- отображение полученной информации о наблюдаемых объектах и ИРИ.

Поэтому разработка методов комплексной обработки различной по виду, темпу поступления и точностным параметрам информации об излучающих объектах и их практическая реализация для оценки радиозлектронно-объектовой обстановки является актуальной проблемой.

Основная часть. Экспертная система оценки радиозлектронно-объектовой обстановки (ЭСО РЭОО) предназначена для распознавания источников, объектов, состояний объектов и определения их местоположения по параметрам собственного или вторичного излучения на основе автоматизации процессов сбора, хранения, обработки и отображения сигнальной и координатной информации, поступающей от совокупности пространственно-распределенных активных и пассивных средств наблюдения, работающих в различных диапазонах частот.

В качестве признаков излучающих объектов в ЭСО РЭОО используются вид (структура) и параметры радиозлучений их РЭС радиолокации, радионавигации и радиосвязи. В качестве источников информации о параметрах излучений и режимах работы РЭС используются пассивные средства наблюдения (средства пассивной локации), работающие в различных диапазонах частот и обеспечивающие обнаружение излучений бортовых РЭС, сопровождение объектов по координатам и измерение частотно-временных параметров принимаемых излучений. Источниками информации о параметрах вторичного излучения являются активные (радиолокационные) средства наблюдения, обеспечивающие обнаружение, сопровождение и измерение параметров отраженных сигналов.

При разработке ЭСО РЭОО использованы математические методы теорий построения многосенсорных систем и систем объединения данных, методы формально-логического описания сложных структурно-динамических систем, распознавания образов, координатной и траекторной обработки информации, а также современные

технологии разработки и сопровождения баз данных, баз знаний и геоинформационных систем.

Разработанная ЭСО РЭОО представляет собой совокупность взаимосогласованных компонентов программного, информационного и технического обеспечения решения задач, возлагаемых на данную систему. Компоненты программного и информационного обеспечения устанавливаются на быстродействующих средствах вычислительной техники, в качестве которых используются современные компьютеры. Для эффективного выполнения функций и задач, возлагаемых на ЭСО РЭОО, в состав системы входят три компьютера, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС). При этом один из указанных компьютеров используется в качестве сервера баз данных (СБД), другой - в качестве рабочего места (РМ) оператора, а третий - в качестве графической станции (ГС).

Программное обеспечение ЭСО РЭОО состоит из специального, поддерживающего и функционального. В основу разработки функционального программного обеспечения (ФПО) были положены принципы системности, развития (открытости), совместимости, и стандартизации (унификации). Применение этих принципов позволило: определить связи между структурными элементами ЭСО РЭОО обеспечивающие её целостность и взаимодействие с другими системами, осуществить при необходимости возможность пополнения и обновления функций и состава системы без нарушения ее функционирования, применить типовые, унифицированные и стандартизованные проектные решения, пакеты прикладных программ и компоненты

ЭСО РЭОО представляет собой систему анализа и обработки данных о радиоэлектронно-объектовой обстановке и реализует следующие основные функции.

1. Построение баз данных и знаний в экспертной системе распознавания невзаимодействующих объектов и реализация процедуры логического вывода.
2. Слияние данных о статических и динамических объектах, обнаруженных по многим датчикам, проведение распознавания объектов (идентификация), распознавание состояний, формирование и отображение ситуаций.
3. Анализ и обработка информации об электромагнитной обстановке.
4. Синтез информации.

Для выполнения указанных функций ЭСО РЭОО в соответствии с общей структурно-функциональной схемой прохождения и обработки информационных потоков (рис.1) обеспечивает решение следующих задач:

- получение информации об объектах и источниках радиоизлучения (ИРИ) от радиолокационных, радио и радиотехнических средств наблюдения (СН);
- нормализованную обработку информации;
- распознавание типов ИРИ радио и радиотехнического диапазонов и режимов их работы;

- совместную обработку координатной и траекторной информации о подвижных и неподвижных объектах и ИРИ;
- распознавание объектов и их состояний;

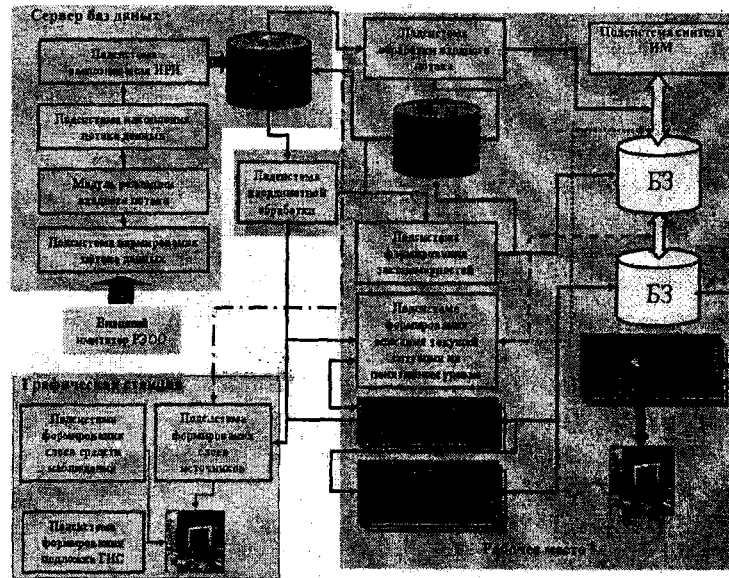


Рис.1

- синтез информационных моделей (ИМ) или их фрагментов;
- обработку информации об электромагнитной и объектовой обстановке;
- визуализацию информации

Исходными данными для экспертной системы являются:

- данные о местоположении (координаты) и технические характеристики СН;
- эталонные параметры излучений наблюдаемых источников;
- параметры координатной и траекторной обработки;
- информационные модели (ИМ) объектов наблюдения различного базирования;
- входной поток информации от СН;

Для проверки функционирования ЭСО РЭОО и отработки алгоритмов обработки информации разработан Имитатор данных, который позволяет имитировать активные и пассивные средств наблюдения и РЭОО в выбранном районе от различных объектов и источников радиоизлучений. Разработанные алгоритмы обработки Имитатора обеспечивают расчет зон видимости средств наблюдения с учетом рельефа местности и имитацию движения излучающих объектов по прямолинейной, круговой и эллиптической траекториям. ФПО Имитатора представляет собой программный продукт, размещенный на внешней платформе Microsoft и формирующий РЭОО в виде входных информационных пакетов с устанавливаемым тактом 12-60 с.

На СБД ФПО решает следующие основные задачи:

- создания статических и динамических баз данных (БД) и баз знаний (БЗ) для обработки и слияния (объединения) различной информации об объектах;
- хранения типовых знаний экспертов и информационных моделей (ИМ) объектов наблюдения;
- проведения нормализованной обработки входной информации и ввода результатов в соответствующую исходную базу данных для дальнейшей обработки;
- выделения данных, необходимых для распознавания ИРИ, объектов и координатной обработки, из пакета входной информации, приведения её в определенный формат с целью автоматизации ее дальнейшей обработки;
- распознавание типов ИРИ и режимов их работы;
- координатной и траекторной обработки по данным СН;
- хранение информационных пакетов данных о наблюдаемых источниках и объектах после каждого этапа обработки в динамических БД;

Одной из важных задач, решаемых ФПО СБД, является распознавание в реальном масштабе времени типов ИРИ и режимов их работы. При разработке подсистемы распознавания ИРИ были проведены исследования по выбору наиболее эффективного алгоритма, обеспечивающего минимальный процент ошибочных решений при заданном словаре сигнальных признаков интервального типа. Исследования показали, что данному требованию в наибольшей степени отвечают статистический и логический алгоритмы. Однако логический алгоритм является более быстродействующим, проще в реализации, позволяет учесть нечеткость параметрического распознавания излучений и при высокой точности измерений признаков имеет преимущество перед статистическим алгоритмом.

Принятие решения о принадлежности вектора измеренных частотно-временных параметров к одному из распознаваемых типов ИРИ для логического алгоритма осуществляется путем нахождения величины максимума достаточных статистик:

$$\hat{\gamma}_{ir}(\vec{\alpha}_{изм}^*) = \arg \max_{\vec{\alpha}_{изм}} \{ [f_{0\min}(i, r) \leq f_{0изм} \leq f_{0\max}(i, r)] \& [\tau_{и\min}(i, r) \leq \tau_{иизм} \leq \tau_{и\max}(i, r)] \& \dots \& [T_{и\min}(i, r) \leq T_{иизм} \leq T_{и\max}(i, r)] \} \quad (1)$$

где $\vec{\alpha}_{изм} = \|f_{0изм}, \tau_{иизм}, \dots, T_{иизм}\|^T$ - вектор измеренных частотно-временных параметров излучения;

$f_{0изм}$ - значение несущей частоты;

$\tau_{иизм}$ - значение длительности излучаемых импульсов;

$T_{пизм}$ - среднее значение периода повторения импульсов.

Другой важной задачей, решаемой ФПО СБД, является совместная обработка координатной информации об излучающих объектах по данным активных и пассивных средств наблюдения, реализуемой по общему алгоритму, приведенному на рис. 2.

В фиксированные моменты времени (t_1, t_2, \dots, t_k) на вход подсистемы обработки поступают информационные кадры, содержащие фрагменты по данным от радиолокационных, радио и радиотехнических СН. Информационные поля фрагментов содержат спецификацию по номеру сообщения в каждом фрагменте, сигнальной информации, смысловому номеру СН, степени обработки координатной информации (0 – одиночное измерение; 1 – сглаженное значение) и собственно координатной информации.

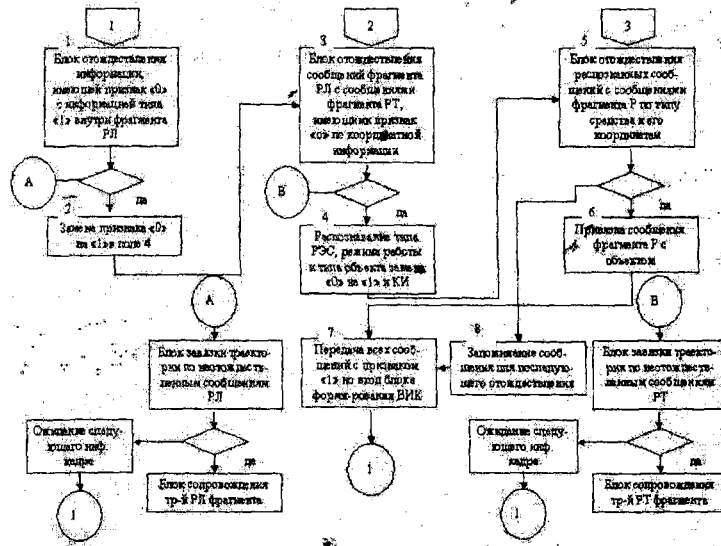


Рис. 2

Отождествление одиночных сообщений, имеющих признак «0» с объединенными сообщениями, имеющими признак «1» радиолокационного наблюдения (РЛН) принятого информационного кадра производится на основе известных методов отождествления радиолокационной информации. Аналогично осуществляется отождествление для фрагментов радиотехнического наблюдения (РТН) и радионаблюдения (РН). При обнаружении по изменению координат движущихся объектов для каждого вида наблюдения запускается процедура фильтрации координат α, β -алгоритмом с оптимизированными коэффициентами фильтрации в зависимости от маневра объекта.

Отождествления сообщений фрагмента РЛН с сообщениями фрагмента РТН проводится после распознавания источника и режимов его работы по параметрам принятого радиоизлучения и предварительного отождествления одиночных сообщений фрагмента РТН, имеющих признак «0». Данное предварительное отождествление проводится по аналогии с известными методами обработки сигнальной и пеленговой информации в системах пассивной локации. Отождествление сообщений фрагмента РН с сообщениями фрагмента РТН и объединенными данными РЛН-РТН производится аналогично после предварительного распознавания источника радиоизлучения и режимов его работы по параметрам принятого радиосообщения. В результате реализуется объединение сигнальной и координатной информации от разнотипных по темпу выдачи информации и точностям измерения СН (активных и пассивных), привязка излучающих источников к объектам и сопровождение траекторий движущихся объектов.

На РМ ФПО выполняет решение следующих основных задач:

- создания, отладки и импортирования информационных моделей (ИМ) объектов в рабочую среду;
- проведения распознавания объектов (идентификация), распознавания состояний;
- реализацию процедуры прямого и обратного логического вывода;
- синтеза информации.
- обработки информации по электромагнитной и объектовой обстановке и передаче их на графическую станцию для отображения.

Принцип действия ЭСО РЭОО предполагает априорное описание классов (типов) распознаваемых объектов и их возможных состояний некоторыми наборами признаков (сигнатур), связанными с режимами работы и параметрами сигналов, излучаемых

источниками радиоизлучений (ИРИ), входящих в состав этих объектов. Поскольку распознаваемые объекты предназначены, как правило, для решения определенного круга задач, их априорные описания были представлены в виде некоторого сценария функционирования (модели поведения), содержащего совокупность априорных описаний отдельных состояний этих объектов, каждое из которых соответствует решению данным объектом какой-либо одной задачи.

Для представления знаний при разработке ИМ объектов наблюдения использовался язык многосортного исчисления предикатов, относящийся к языкам декларативного типа и обеспечивающий возможность выполнения выводов, преобразования к внутреннему и внешнему языкам, описание иерархической структуры ИМ, динамической обработки, контроля полноты и непротиворечивости ИМ. Подобное описание является полной ИМ объекта излучения, графически и наглядно представленной в виде растущей пирамидальной сети, как структура всего объекта наблюдения. Оно может быть задано для каждого структурного элемента, входящего в ее состав и связанного с вершинами нижнего уровня структуры.

Разработанный алгоритм распознавания относится к классу логических систем, в которых применяются логические методы распознавания, основанные на дискретном анализе и базирующемся на нем исчислении высказываний. Решения о принадлежности распознаваемых объектов к тому или другому классу принимаются на основании конкретных значений признаков, получаемых в ходе наблюдения и результатов предыдущей обработки.

Перед началом сеанса работы подсистема объектового распознавания формирует обобщенное поле признаков для всех ИМ, хранящихся в базе знаний (БЗ). Для выборки признаков ИМ перед каждым сеансом работы проводится реализация процедур унификации. В соответствии с выбранным перечнем ИМ в ФПО РМ загружаются эталонные ИМ из БЗ. ФПО РМ организует структуру связи между обобщенным признаковым полем и загруженными эталонными ИМ. Структура связи обобщенного признакового поля и эталонных ИМ представляет собой ассоциативную сеть, в которой одному признаковому полю может соответствовать элементы нескольких эталонных (экземплярных) ИМ.

По каждой экземплярной ИМ запускается алгоритм прямого и обратного логического вывода для распознавания объекта и формирования оценок степени проявления ситуаций, определяющие состояние объекта наблюдения. Алгоритм прямого логического вывода реализует процедуры выбора требуемой ИМ объекта наблюдения и загрузки её из БЗ, означивания экземпляров ИМ, распознавания объекта наблюдения и его состояния по данным информационного кадра, поступающего от СБД. При этом реализуется второй уровень слияния данных о статических и подвижных объектах, обнаруженных по многим датчикам. Алгоритм обратного логического вывода осуществляет процедуры обработки информации для каждого узла семантической сети ИМ с использованием методов нечеткой логики, определения вклада каждого признака для распознавания состояния объекта наблюдения и подготовки информации для реализации прямого логического вывода. Информация распознавания записывается в БД информационных потоков в предварительно упакованном виде для каждого такта работы ЭСО РЭОО.

В случае получения от СН информации о неизвестных излучающих объектах и отсутствия их ИМ в базе знаний данные по объекту после реализации процедур распознавания и координатной обработки поступают на подсистемы формирования закономерностей и описания текущей ситуации на понятийном уровне. По данным выявленных закономерностей и логического описания текущей ситуации подсистемой синтеза осуществляется синтез ИМ (фрагментов ИМ) неизвестных излучающих объектов, которые в дальнейшем должны быть проанализированы экспертом.

Информационные данные по распознанным и нераспознанным ИРИ, объектам и их состояниям, координатам и завязанным траекториям в каждом такте работы ЭСО РЭОО передаются на ГС для отображения

ФПО ГС осуществляет выполнение следующих задач:

- подготовки исходных слоев цифровой карты по активным и пассивным СН и наблюдаемым объектам в форматах ГИС;
- преобразования потока входных данных в формат слоев цифровой карты;
- отображения геоинформационных и атрибутивных данных по наблюдаемым объектам и обстановке с масштабированием.

На рис.3 представлена основная форма экрана монитора ГС за 100 тактов работы ЭСО РЭОО от Имитатора РЭОО с отображением обобщенного слоя подвижных объектов в составе: 2 надводных (укороченные прямолинейные траектории), 6 воздушного (круговые и одна прямолинейная траектории) и 2 наземного базирования. На рис. 4 в увеличенном масштабе приведено отображение траекторий двух подвижных воздушных объектов с отображением атрибутивных данных по времени наблюдения и СН, результатам распознавания и координатам местонахождения объекта, совершающего маневр.



Рис.3

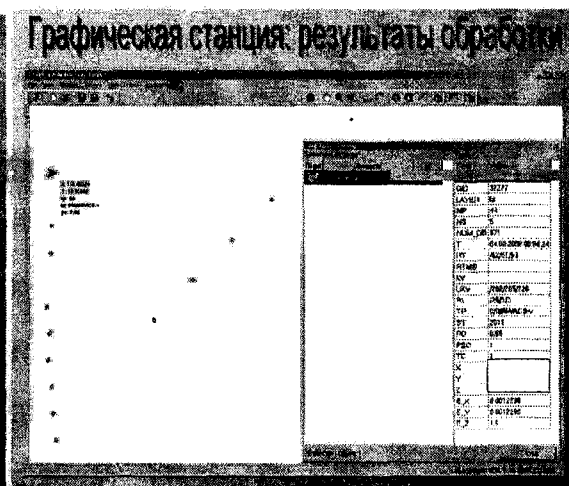


Рис.4

Достоинствами разработанной ЭСО РЭОО являются время обработки, периодичность обновления и доведения информации, достоверность, качество, количество и структура информации (глубина представления, физические поля, по которым она получена и др.), интеллектуальный уровень обработки информации.

Выводы. Разработка ЭСО РЭОО осуществлена на базе использования современных научных достижений и информационных технологий, разработки перспективных методов и технологий обработки разнородной информации, обеспечивающих сбор, накопление, отображение, регистрацию и хранение данных, анализ, синтез и объединение информации. Результаты проведенных исследований и практической реализации разработанной системы могут быть использованы при разработке и эксплуатации сложных систем радиомониторинга, контроля и управления воздушным движением, сбора, обработки, анализа и отображения информации об электромагнитной и объектовой обстановке в выбранном районе, а также систем контроля сложных технологических процессов. Дальнейшее совершенствование ЭСО РЭОО целесообразно осуществлять по направлениям разработки алгоритмов и программного обеспечения синтеза информационных моделей объектов и ситуаций, распознавания и прогнозирования динамики развития ситуаций, вариантов поддержки принятия решений.