

Совместная обработка многоспектральной информации на основе экспертных систем

Вадим ШПЕНСТ,
д. т. н., профессор

Рассмотрены варианты обработки многоспектральной информации в бортовых системах наблюдения с применением технологий искусственного интеллекта. Предложено несколько вариантов построения экспертных систем, основанных на прецедентах, и структура их составных частей. Показано, что применение экспертных систем для решения задач объединения и совместной обработки многоспектральной информации, получаемой при функционировании комплексных бортовых радиоэлектронных систем, позволяет значительно повысить их оперативность, точность и надежность.

Постоянное возрастание требований к точностным характеристикам и показателям надежности приборного оборудования бортовых систем наблюдения, разведки, наведения и навигации приводит к необходимости использования комплексных систем (КС), в основу которых положен принцип рациональной совместной обработки информации разнородных датчиков на базе бортового вычислительного устройства. Комплексные системы позволяют значительно повысить точность оценки параметров полета, помехозащищенность измерительных систем и достоверность обнаружения аварийных состояний бортовых систем. Проектирование КС требует, помимо владения методами расчета отдельных приборов и датчиков, знания методов построения алгоритмов обработки информации. Главной проблемой при решении вопросов комплексирования радиоэлектронных систем является решение задач по определению принципов совместной обработки информации, поступающей с разноспектральных приемников, а также разработка общего алгоритма их взаимодействия. Эта проблема имеет ряд важных аспектов: различие способов представления данных разноспектральных приемников, несоответствие точности представления этих данных и обеспечение связи разноспектральных систем и обмена данными между ними.

Эти проблемы являются фактически различными аспектами проблемы представления знаний. Решить все вышеперечисленные проблемы можно на основе использования методов искусственного интеллекта, так как знания о наблюдаемых объектах, извлекаемые из многоспектральной информации с помощью экспертных систем (ЭС), могут быть представлены единообразно. Кроме того, применение экспертных систем для решения задачи совместной обработки многоспектральной информации имеет большую привлекательность из-за трудностей использования человеческого интеллекта в случаях, когда поступление информации об объектах происходит в темпе, значительно превышающем возможности человека по ее восприятию и преобразованию в необходимые действия.

Экспертные системы способны получать, накапливать, корректировать знания из используемой предметной области, выводить новые знания (то есть обучаться и самообучаться), решать на основе этих знаний практические задачи и объяснять ход их решения.

Экспертную систему в рассматриваемом случае можно представить как вычислительную систему, в которую включены знания специалистов о конкретной предметной области и которая в пределах этой области способна принимать решения с качеством, соответствующим принимаемым решениям экспертов — людей.

Такая система обладает следующим перечнем характеристик:

- Способность рассуждать при неполных и противоречивых данных.
- Способность объяснять цепочку рассуждений понятным для пользователя системы способом.
- Факты и механизмы вывода должны быть четко отделены друг от друга (знания не встраиваются в процедуру дедукции).
- Конструкция системы должна обеспечивать возможность эволюционного наращивания базы знаний.
- На выходе экспертная система должна выдавать четкий совет.
- Она должна быть технически и экономически эффективной.

Эффективность функционирования комплексных бортовых систем в значительной степени определяется их системой управления и обработки информации. Такая система должна решать следующие задачи:

- общее управление датчиками, получающими информацию;
- раздельная обработка информации разноспектральных датчиков;
- совместная обработка полученной информации;
- подготовка данных визуализации и передачи;
- организация диалога с оператором;
- адаптация характеристик системы к условиям функционирования;
- имитация процесса функционирования для обучения операторов.

Общее управление системой датчиков включает в себя следующие функции: выбор способа ведения поиска; анализ помеховой обстановки и установление состава, которые необходимы для решения поставленных задач датчиков в данных условиях; управление параметрами датчиков. Все перечисленные функции базируются на анализе множества параметров бортовых систем и реализуются путем передачи команд исполнительным органам управления.

Исходя из сформулированных выше принципов построения экспертных систем и задач совместной обработки разнородной информации, получаемой при функционировании бортовых радиоэлектронных систем, можно предложить следующий вариант экспертной системы, обеспечивающей поддержку принятия решений оператором при обработке многоспектральной информации.

Интеллектуальная система совместной обработки многоспектральной информации (рис. 1) должна содержать три концептуальных модуля: модуль обработки сигналов; модуль построения и идентификации моделей процесса функционирования; модуль управления.

Первый из модулей представляет собой совокупность устройств обработки сигналов, принимаемых различными датчиками в процессе функционирования. Он обеспечивает выделение характеристик и формирование данных для построения моделей процесса функционирования. Второй модуль осуществляет построение этих моделей

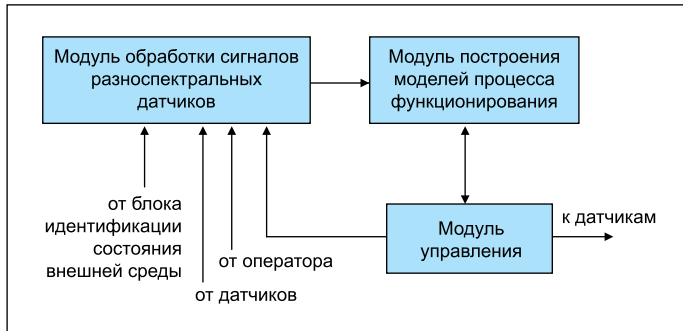


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы совместной обработки многоспектральной информации

и сравнивает их с теми, что занесены в библиотеку моделей объектов идентификации. Последний из модулей на основе правил, хранящихся в базе знаний, осуществляет управление работой модулей и принятие решений.

Реализация описанных функций системы вызывает необходимость представления этих модулей в виде отдельных элементов — блоков более низкого уровня. Архитектура интеллектуальной системы обработки многоспектральной информации как совокупность основных ее функциональных средств описывается структурной схемой, представленной на рис. 2.

Основным элементом предлагаемой системы является устройство обработки информации, представляющее собой вычислительное устройство и обеспечивающее формирование выводов на основании полученной от датчиков информации, оценки состояния среды функционирования и анализа решающих правил (рис. 3).

Ядром устройства обработки информации является блок объединения информации, функционирующий на основе интеллектуальных методов совместной обработки информации, описанных ниже, и моделирования информационных ситуаций, осуществляемых блоком математического моделирования. На этот блок поступает информация от датчиков в виде информативных признаков, данные из блока хранения электронной карты местности (ЭКМ) и информация из базы знаний (БЗ). Объединение информации основано на решающих правилах, хранящихся в базе знаний, и анализе достоверности полученной от датчиков информации. Процесс принятия решений циклический. Если в процессе решения задачи найдено успешное решение, то оно сохраняется в базе знаний для решения похожих задач; если попытка решения неудачна (не удалось решить задачу обнаружения и т. п.), то оно сохраняется в базе знаний для исключения подобных ситуаций в будущем.

Особое место среди методов объединения информации занимают методы искусственного интеллекта. Наиболее распространенными из них являются методы Демпстера-Шейфера и нечеткой логики. В данном случае рассматривается множество групп признаков или алгоритмов обнаружения. Каждому x_i ставится в соответствие степень важности g^i (определяется экспертами или экспериментально). Решение о принадлежности объекта к какому-либо классу принимается по максимуму значения нечеткого интеграла.

Полученный результат можно использовать на более высоком уровне (при объединении информации от различных датчиков) как частный. Степень важности датчика (радиолокационного, телевизионного, инфракрасного, лазерного локационного) определяется условиями работы системы.

Наряду с методами нечеткой логики применяются способы объединения данных, для представления которых служат статистические модели типа «вектор признаков».

Как известно, существует два варианта систем обнаружения объектов с помощью нескольких датчиков: децентрализованные (объект обнаруживается по информации каждого датчика, а в центре принимается окончательное решение) и централизованные (все резуль-

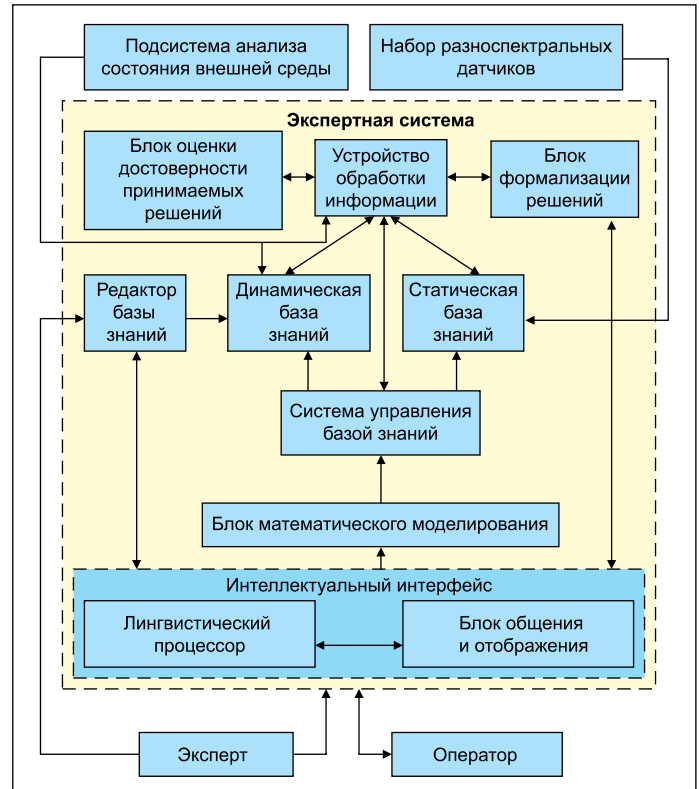


Рис. 2. Архитектура интеллектуальной системы совместной обработки многоспектральной информации

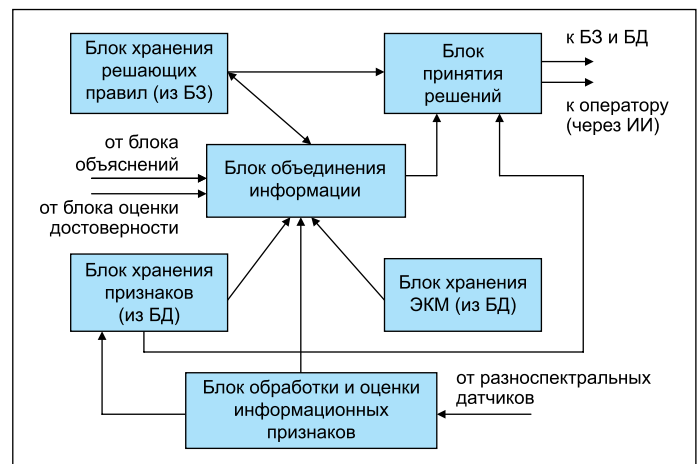


Рис. 3. Структурная схема решателя

таты наблюдения передаются в центр, где принимается решение). Предлагается в централизованной системе передавать в центр только минимум информативных признаков, обеспечивающих заданное качество обнаружения, а решения принимать с помощью двоичного дерева, генерируемого в результате обучения.

База данных содержит информацию о спектральных характеристиках объектов, фонов, данные ЭКМ, тактическую информацию и другие виды априорных данных, необходимых для принятия решений. Функционирование базы знаний зависит от системы управления. Для редактирования и внесения изменений в базу используется специальная подпрограмма — редактор базы знаний. Вся информация, поступающая в базы данных и знаний, оценивается оператором на достоверность.

Подсистема анализа внешней среды (рис. 4) представляет собой вычислительное устройство, которое осуществляет математическое

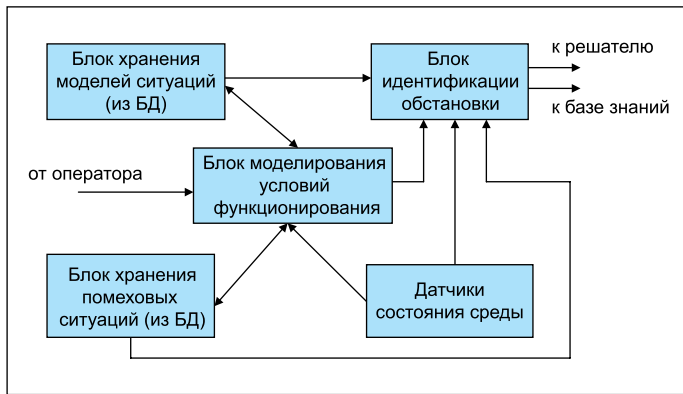


Рис. 4. Структура подсистемы анализа состояния внешней среды

моделирование процесса и условий функционирования и состоит из блока хранения моделей ситуаций, блока моделирования условий функционирования, блока идентификации обстановки, а также блока хранения помеховых ситуаций. Подсистема функционирует на основе данных, поступающих от датчиков состояния среды, и управляется оператором.

Обстановка, в которой функционируют бортовые системы, представляется совокупностью частных ситуаций:

- Целевая обстановка (количество объектов в заданном секторе обзора, координаты и параметры движения каждого из них, а также ожидаемое положение объектов, определяемое на основе априорных данных: особенностей применения, тактических нормативов, тактико-технических характеристик, ожидаемого количества объектов, вносимых местностью ограничений и интенсивности потока объектов).
- Помеховая обстановка: информация о ней поступает от блока хранения помеховых ситуаций.
- Техническое состояние датчиков, а также климатические условия окружающей среды: информация о них поступает от соответствующих датчиков.
- Данные о характере местности в секторе обзора: информация поступает от блока хранения ЭКМ.

Эти частные ситуации формируют обстановку, которая подлежит идентификации в рассматриваемый момент времени, которая осуществляется на основе сравнения параметров обстановки с эталонами, хранящимися в базе знаний.

Формализованная информация об обстановке, в которой функционирует средство, вместе с информацией, поступившей от оператора, подается с выхода данной подсистемы на вход устройства обработки информации и сохраняется в базе знаний для последующего использования. В процессе функционирования модель условий функционирования постоянно уточняется (обновляется).

Общение оператора с экспертной системой осуществляется с помощью интеллектуального интерфейса — специальной программы, обеспечивающей лингвистическое согласование и регламентирующей операции управления.

Как уже отмечалось, устойчивое функционирование системы обработки информации возможно только при взаимодействии ее с внешней средой, откуда черпается информация о текущей конкретной сложившейся окружающей обстановке.

Для взаимодействия с окружающей средой в состав ЭС должны входить программно-аппаратные средства, которые информировали бы ее об окружающей обстановке и обеспечивали совместно с БЗ и системой логического вывода полновесную выработку адекватных решений и необходимых управляющих воздействий. Информация о внешней обстановке должна быть представлена в виде знаний.

Для получения достаточного объема знаний в состав системы, взаимодействующей с внешней средой, должны входить средства:

- доступа к параметрам обстановки;

- сопряжения с имеющимися в базе знаниями;
- формирования процедур обработки параметров внешней обстановки;
- задания нормативных характеристик;
- расчета истинностных значений фактов;
- выдачи текущих истинностных значений фактов.

Кроме того, должна обеспечиваться возможность подготовки операторов в информационно-справочном режиме работы. С этой целью в состав экспертных систем должны входить средства, обеспечивающие такой режим.

Исходя из анализа построения и функционирования интеллектуальной системы обработки многоспектральной информации, очевидно, что основным и наиболее важным ее элементом является база знаний. Опираясь на задачи, которые возложены на комплексную систему обработки многоспектральной информации, необходимо из всего потока имеющейся информации выбрать и поместить в базу знаний факты, данные из предметной области, а также специальные эвристики или правила, которые управляют использованием фактов при решении задач обнаружения объектов.

В общем виде база знаний представляет собой компьютерную программу, содержащую экспертные знания о предметной области и о знаниях в предметной области, а также правила управления экспертными знаниями и необходимые метаправила (правила о правилах).

При создании базы знаний необходимо переработать знания экспертов таким образом, чтобы они были преобразованы в машинную компьютерную программу.

Такое преобразование должно включать:

- извлечение знаний, предусматривающее объективизацию человеческих знаний в вербальном, символьном, графическом или каком-либо ином, ориентированном на человека, материальном виде;
- трансформацию знаний, заключающуюся в изменении, преобразовании внешнего облика знаний, придании им символьной или графической конфигурации в соответствии с канонами принятой формы представления знаний;
- отбор и компоновку релевантных знаний в интересах формирования работоспособного фрагмента знаний, имеющих отношение к рассматриваемой задаче и обеспечивающих ее решение;
- машинную реализацию знаний, направленную на размещение знаний в памяти или другом носителе ЭВМ в таком коде, который обеспечивает машинный доступ к заключенному в этих знаниях содержательному смыслу.

Качество преобразования знаний можно охарактеризовать коэффициентом сохранения смысла:

$$K = |Z^{(p)}|/|Z^{(a)}|,$$

где $Z^{(p)}$ — количество смыслового содержания знаний, попадающих в ЭВМ; $Z^{(a)}$ — исчерпывающее количество смыслового содержания знаний для решения данной проблемы.

При $K = 1$ смысловое содержание знаний полностью и неукоснительно сохраняется при преобразовании знаний от человека-эксперта к ЭВМ. Однако на практике добиться $K = 1$ очень сложно.

Одной из наиболее важных проблем, характерных для систем, основанных на знаниях, является проблема представления знаний, то есть знания должны существовать и функционировать в какой-то среде.

Основу целесообразного поведения операторов при оценке обстановки составляют знания того, что необходимо делать при той или иной конкретной ситуации, при различной целевой, помеховой, фоновой обстановке. То есть оператор должен знать, что если сложилась конкретная обстановка S , он должен предпринять действие D . Например, сложилась обстановка $S1$, при которой цель на экране индикатора порой пропадает, то есть возможна потеря цели. При этом оператор должен выполнить действие $D1$, заключающееся в переходе на ручное сопровождение цели. В этой ситуации оператор может не знать, как работает система сопровождения цели, как происходит преобразование управляющих сигналов, почему цель со-

проводится неустойчиво, но он должен знать предписание: при обстановке S1 необходимо выполнить действие D1.

Эта идея заложена в продукционной форме представления знаний, то есть представления знаний с использованием правил типа:

Если... (конкретная обстановка),
то... (конкретное действие).

Таким образом, знания в базе можно представить в виде правил или набора правил, которые проверяются на группе фактов или знаний о конкретной текущей ситуации (обстановке).

В ходе работы с правилами проводится просмотр левых частей правил и сравнение их с правой частью. В случае их соответствия логическому значению «Истина» выполняется действие, заданное в правой части. После этого рассматривается следующее правило и т. д.

Для организации управляемого процесса обработки информации большое значение играет правильный выбор и реализация управляющих и корректирующих воздействий. На основе информации, имеющейся в базе знаний и поступающей извне, необходимо формировать такие управляющие воздействия, которые обеспечат наиболее эффективное принятие решений.

Для решения этих задач необходима управляющая структура, или интерпретатор правил, роль которого в описываемой БЗ играет система управления базой знаний. Она представляет собой компьютерную программу, поддерживающую методологию обработки информации из базы знаний, получение и представление заключений, рекомендаций, управляющих воздействий.

Для того чтобы привести в действие скрытый в знаниях логический потенциал, необходимо выполнить следующие действия:

- Задать начальное состояние знаний.
- Скомпоновать совокупность вызываемых элементов знаний, то есть определить, какие элементы из числа имеющихся и в какой последовательности следует просматривать на предмет их активизации и приведения в действие.
- Реализовать операторы активности знаний и зарегистрировать их воздействие на текущее состояние.
- Разрешать возникающие противоречия.
- Разрешать обнаруживающиеся неопределенности.
- Контролировать достижение предельного состояния.
- Формировать сводный перечень конечных результатов.

Для устранения противоречий и разногласий в ходе логической обработки необходимы средства обработки противоречий, в функции которых входят:

- фиксирование возникших противоречий;
- диагностирование причин возникновения противоречий;
- разрешение противоречий;
- протоколирование принятых мер по разрешению противоречий.

Очень часто возникает ситуация, когда нежелательны неизвестные определенные истинностные значения отдельных элементов знаний, то есть нежелательна неопределенность. Разрешение неопределенностей опирается на несколько принципов:

- Создание в БЗ разделов по специальным знаниям, которые предназначены для восполнения недостающей информации и организации на этой основе присвоения истинностных значений по умолчанию.
- Выбор истинностного значения по минимальному количеству возникающих противоречий, то есть когда выбирается значение «истина» или «ложь», из которого логическим путем вытекает меньшее количество противоречий.

С течением времени информация, хранящаяся в базе знаний, будет устаревать, следовательно, необходимо иметь механизм, который бы обеспечивал оперативное изменение и пополнение информации БЗ. Решение этих проблем в экспертных системах осуществляет редактор базы знаний. В общем случае в виде механизма изменения содержимого БЗ можно использовать специальную компьютерную программу, позволяющую вести диалог пользователя с системой и вносить необходимые изменения в базу знаний. При этом процесс внесения изменений в базу знаний системы обработки информации можно условно разделить на несколько этапов:

- обеспечение требуемого (легко доступного) интерфейса для пользователя (синтез вопросов, ответов, сообщений и указаний в понятной для пользователя форме);
- анализ ответов пользователя;
- формирование из ответов пользователя знаний в форме, необходимой для работы программы базы знаний;
- размещение полученной информации в базе знаний.

Таким образом, применение экспертных систем для решения задач объединения и совместной обработки многоспектральной информации, получаемой при функционировании комплексных бортовых радиоэлектронных систем, позволяет значительно повысить их оперативность, точность и надежность. ■

Литература

1. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Терано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993.
2. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 2006.
3. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО – РЕС, 1995.
4. Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурнева Г. В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989.
5. Шпенст В. А. Комплексная обработка многоспектральной информации (монография). СПб.: МО РФ, 2008.